

A photograph of Albert Einstein riding a bicycle on a green lawn, with a white grid of intersecting lines representing spacetime curvature overlaid on the image. The grid lines are denser around the bicycle and become sparser towards the background.

Аманда Гефтер
**На лужайке
Эйнштейна**

Что такое
НИЧТО,
и где
начинается
ВСЁ

CoRpus

Annotation

Вселенная выглядит так, словно ее объем конечен, и время ее существования также конечно. Значит, вопрос о ее возникновении не лишен смысла: может быть, ей предшествовало ничто? Ни пространства, ни времени, ни материи, ни существования? Можно ли себе представить ничто? Такой неожиданный вопрос задал Аманде Гефтер ее отец Уолтер Гефтер, когда ей было всего пятнадцать лет. Так получилось, что этот странный вопрос определил всю ее дальнейшую судьбу. Аманда стала погружаться в пучину современной физики и разбираться в хитросплетениях современной философии. Принято считать, что современная физика делается так далеко за пределами обыденного опыта, что только строгость и мощь используемого ею математического аппарата может обеспечить физику-теоретику подобие путеводной нити в его исследованиях, а философия может ему только помешать. Аманда Гефтер блестяще опровергает оба тезиса: журналистская непосредственность и философская проницательность помогают ей научиться видеть смысл формул, почти не обращая внимания на сами формулы, благодаря этому она добивается признания лучших физиков планеты и разговаривает с ними на равных.

- [Аманда Гефтер](#)
 -
 -
 -
 - [Обращение к читателю](#)
 - [Глава 1](#)
 - [Глава 2](#)
 - [Глава 3](#)
 - [Глава 4](#)
 - [Глава 5](#)
 - [Глава 6](#)
 - [Глава 7](#)
 - [Глава 8](#)
 - [Глава 9](#)
 - [Глава 10](#)

- [Глава 11](#)
- [Глава 12](#)
- [Глава 13](#)
- [Глава 14](#)
- [Глава 15](#)
- [Благодарности](#)
- [Глоссарий](#)
- [Литература, использованная автором](#)
- [Дополнительная литература, рекомендованная автором книги](#)
- [notes](#)
 - [1](#)
 - [2](#)
 - [3](#)
 - [4](#)
 - [5](#)
 - [6](#)
 - [7](#)
 - [8](#)
 - [9](#)
 - [10](#)
 - [11](#)
 - [12](#)
 - [13](#)
 - [14](#)
 - [15](#)
 - [16](#)
 - [17](#)
 - [18](#)
 - [19](#)
 - [20](#)
 - [21](#)
 - [22](#)
 - [23](#)
 - [24](#)
 - [25](#)
 - [26](#)
 - [27](#)

- [28](#)
 - [29](#)
 - [30](#)
 - [31](#)
 - [32](#)
 - [33](#)
 - [34](#)
 - [35](#)
 - [36](#)
 - [37](#)
 - [38](#)
 - [39](#)
 - [40](#)
 - [41](#)
 - [42](#)
 - [43](#)
 - [44](#)
 - [45](#)
 - [46](#)
 - [47](#)
 - [48](#)
 - [49](#)
 - [50](#)
 - [51](#)
 - [52](#)
 - [53](#)
 - [54](#)
 - [55](#)
 - [56](#)
 - [57](#)
 - [58](#)
-

Аманда Гефтер

На лужайке Эйнштейна

Что такое ничто, и где начинается все

Amanda Gefter

TRESPASSING ON EINSTEIN'S LAWN:

A Father, a Daughter, the Meaning of Nothing, and the Beginning of Everything

© Amanda Gefter, 2014

All rights reserved

© А. Ростовцев, перевод на русский язык, 2016

© Д. Манин, перевод на русский язык стихотворных цитат, 2016

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2016

© ООО «Издательство АСТ», 2016

Издательство CORPUS ®

* * *

Посвящается отцу, подарившему мне вселенную^[1].

Когда-то мы думали о мире, как существующем «где-то там», независимо от нас, а себя, наблюдателей, представляли надежно скрытыми за толстым стеклом, ни во что не вмешивающимися, а только наблюдающими. Однако теперь мы уже знаем, что это не так и что мир устроен по-другому. Нам пора и на деле разбить стекло и выбраться наружу.

Джон Арчибальд Уилер

Обращение к читателю

Книга, которую вы собираетесь прочитать, посвящена современному состоянию физики, представленному в виде личных воспоминаний, которые охватывают последние семнадцать лет моей жизни. Как таковые, воспоминания неизбежно страдают от несовершенства человеческой памяти, которая, по утверждениям нейробиологов, крайне ненадежна. Тем не менее в реконструкции сцен и диалогов я сделала все от меня зависящее, чтобы передать их как можно более точно – сверяясь с моими собственными заметками и фотографиями, разговаривая с другими людьми, которые были участниками описываемых событий, и, самое главное, обращаясь за помощью к моей маме, которая как-то умудряется помнить мою жизнь в больших подробностях, чем я сама. Все мои беседы с физиками были расшифрованы непосредственно с диктофонной записи, хотя и отредактированы для облегчения чтения и восприятия. В некоторых случаях я объединила несколько интервью с одним и тем же физиком в одну беседу. При необходимости я изменяла хронологию событий так, чтобы представить физику в логической последовательности, облегчающей понимание. Семнадцать лет я провела в движении по долгому, извилистому и тернистому пути к более глубокому пониманию физики и познанию природы реальности; но я решила передать все, что узнала, в укороченной и упрощенной форме. Конечно, я могла бы предпочесть идеальную точность изложения, но тогда в книге пришлось бы показать, как я смотрю дурные телевизионные передачи, тихо читаю или безмятежно сплю. Мне бы пришлось потратить на такую книгу значительно больше семнадцати лет, а вы бы потратили семнадцать лет, чтобы прочитать ее; я думаю, что в итоге мы все согласимся: это, вероятно, был бы далеко не лучший выбор. Логик Курт Гёдель доказал, что любая форма самореференции страдает неопределенностью, и я не могу придумать лучшего тому примера, чем мемуары. И все-таки я постаралась рассказать глубоко правдивую историю. Мы же находимся в поисках окончательной реальности, в конце концов.

Глава 1

За окончательной реальностью без приглашения

Трудно решить, с чего начать. И даже – что именно считать началом? Я могла бы сказать, что моя история началась в китайском ресторане, году так в 1995-м, когда мой отец спросил меня ни о чем или, точнее, про ничто. Но, наверное, правильнее было бы говорить, что она началась примерно четырнадцать миллиардов лет назад, когда так называемая Вселенная якобы родилась, вдруг раскалившись и пропитавшись бытием. Затем я пришла к мысли, что *моя* история только-только начинается, прямо сейчас. Я понимаю, как странно это должно звучать. Поверьте мне, это зазвучит еще более странно.

Что же касается моей истории, то, вероятно, она началась в тот день, когда я солгала, выдав себя за журналиста. И я тогда совсем не знала, что это было начало. Тогда я никак не могла знать, как далеко все пойдет. Что я в скором времени буду тусоваться среди самых блистательных физиков современности. Что из незначительного обмана выстроится вся моя дальнейшая карьера. Тогда я бы ни за что не подумала, что буду переписываться со Стивеном Хокингом, обедать с лауреатами Нобелевской премии или преследовать человека в панаме. Тогда я не могла представить себе, что вместе с отцом мы будем пересекать пустыню, направляясь в Лос-Аламос, или что я буду корпеть над старыми манускриптами в попытках разгадать тайны Вселенной. Я не могла предвидеть, что одна маленькая ложь, одно импульсивное решение откроет новый для меня мир и положит начало всепоглощающей охоте за окончательной реальностью.

Но самое странное – я больше не верю, что какое-то из этих событий и есть начало. Потому что после всего, что случилось, после всего, что я узнала, я пришла к мысли, что эта история начинается с тебя, с того момента, когда ты открыл эту книгу, услышал мягкий треск ее корешка, шелест перелистываемых страниц. Не поймите меня неправильно – я бы хотела сказать, что это моя история. Моя вселенная.

Моя книга. Но после всего, что мне пришлось пережить, я твердо знаю: это твоя история.

Ложь родилась, когда я работала в редакции журнала. Это так только называлось – «работа» и «редакция». В действительности я разбирала почту в небольшой и захлавленной квартире одного парня по имени Рик. Я и правда собиралась работать в журнале *Manhattan*. Но в действительности журнал назывался *Manhattan Bride*.

Журнал *Manhattan* был посвящен светской благотворительности в Нью-Йорке, но уже тогда, когда я начала работать в этом журнале, он был на грани исчезновения и вскоре после этого прекратил свое существование^[2]. Новый, основанный Риком, глянцевого журнала для новобрачных был вполне жив и здоров. Поэтому, хотя теперь мои обязанности сводились главным образом к ответам на телефонные звонки от флористов и кондитеров, украшающих свадебные торты, а однажды я полдня провела, плясая на старомодный пышный свадебный наряд, я продолжала говорить знакомым, что работаю в журнале *Manhattan*. Это звучало солиднее.

Итак, как-то я работала у себя в «редакции» и уже подумывала, не послать ли мне всю эту тягомотину и смотаться к себе в Бруклин, но вдруг наткнулась на статью в *New York Times*. Джону Арчибальду Уилеру, ведущему физику-теоретику и поэту, тогда только-только исполнилось девяносто лет, и физики со всего мира съезжались в Принстон, чтобы отпраздновать это событие.

«В эти выходные, – говорилось в статье, – видные ученые собираются обсудить по-настоящему Большие Вопросы, которые волнуют профессора Уилера, во время проведения организованного в его честь симпозиума под скромным названием „Наука и окончательная реальность“^[3]».

Как только я прочитала статью, я загорелась желанием задать Уилеру Большой Вопрос. Если бы только я была «выдающимся ученым»! Я сидела в кресле и рассеянно смотрела на старую обложку журнала *Manhattan*, которая висела на стене.

И тогда в голову пришла идея.

Я подождала, пока Рик уйдет на обед, позвонила в пресс-службу конференции и самым профессиональным голосом, на какой только

была способна, сказала в трубку, что я журналист, работаю в *Manhattan* и была бы заинтересована в освещении мероприятия.

– Конечно, мы бы хотели, чтобы вы приехали, – ответили на том конце провода.

– Прекрасно, – сказала я. – Нас будет двое.

Я была совершенно уверена, что эти славные люди в оргкомитете конференции никогда не слышали про журнал *Manhattan*. Большинство людей в Нью-Йорке, не говоря уже об остальном мире, никогда не слышали о таком издании, но когда я говорю людям, что я работаю для журнала *Manhattan*, они всегда восклицают: «О, конечно!» Журнал *Manhattan* – это название, которое каждому кажется знакомым. Только почти все, кто так думает, ошибается. И это, как я поняла, открывало мне путь в мир Науки и окончательной реальности.

Я была столь же уверена, что эти же пиарщики предположили, что мое «вдвоем» подразумевало коллегу или фотографа, который поможет мне проиллюстрировать мой большой материал. Я взяла телефон и позвонила отцу:

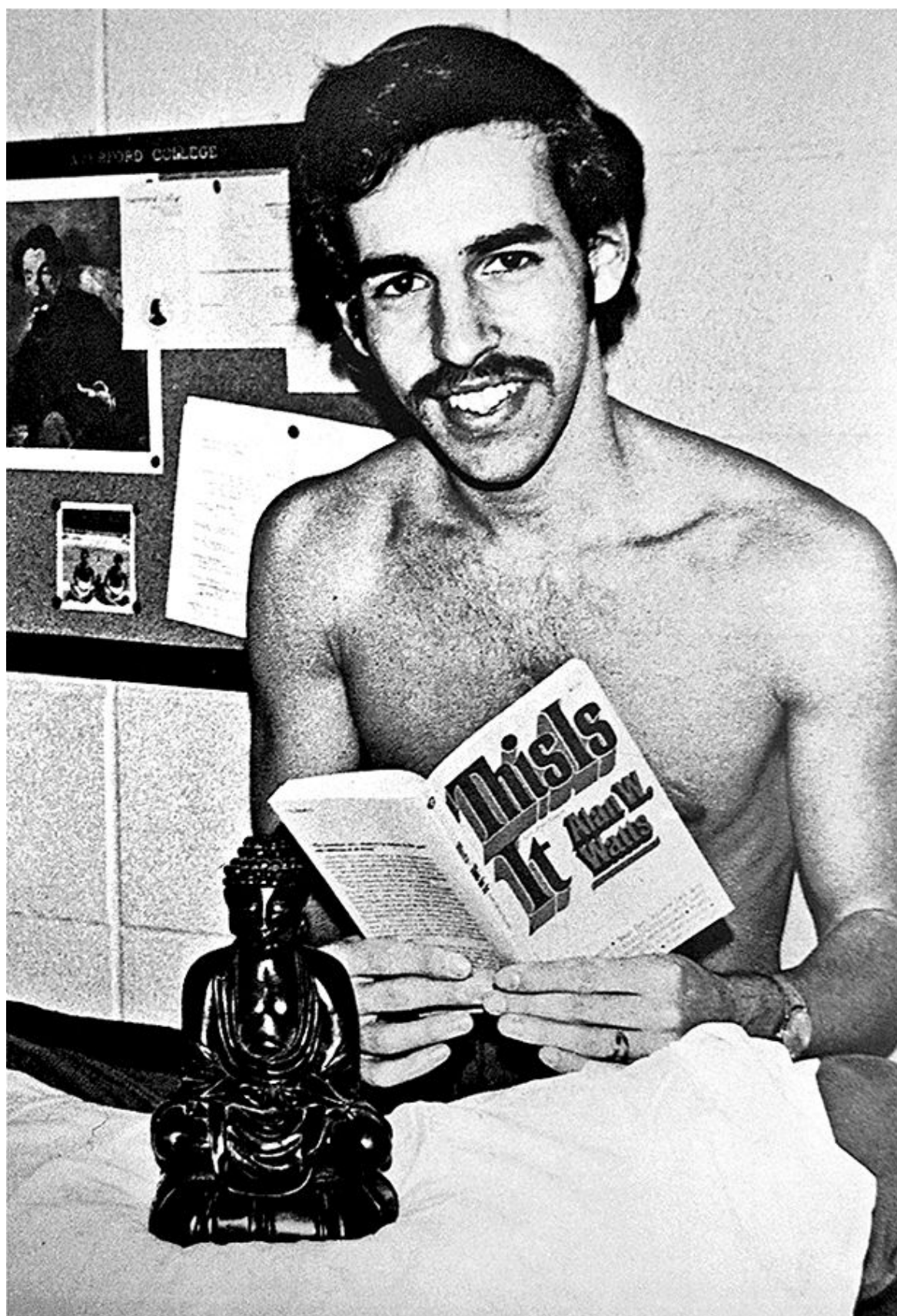
– Поменяй свои планы на эти выходные. Мы собираемся в Принстон.

Чтобы объяснить мое внезапное желание появиться на конференции по физике вместе с отцом, мне придется вернуться к одному разговору, который состоялся семью годами раньше.

Мне было пятнадцать в то время, и отец взял меня на ужин в наш любимый китайский ресторан рядом с нашим домом, в небольшом пригороде к западу от Филадельфии. Обычно мы ели там с моей матерью и старшим братом, но на этот раз мы были вдвоем. Я гоняла палочкой орешек кешью по тарелке, когда он посмотрел на меня внимательно и спросил:

– Ты не могла бы определить ничто?

Услышать такой вопрос за ужином, конечно, странно, но только для того, кто не знает моего отца: в 60-е годы он был интеллектуалом и увлекался хиппи-буддизмом, и с тех пор сохранил склонность к дзэн-коанам.



Фотография У. Гефтера из его дневника. Хаверфорд-колледж, 1970.
Фото: П. Горски.

Эта часть его биографии открылась для меня в тот день, когда я случайно наткнулась на его дневник. Раскрыв его наугад, я увидела фотографию, где он сидит без рубашки в позе лотоса с книгой Алана Уотса *This Is It*^[4] в руках. Зрелище было веселым, учитывая, что в те дни он работал радиологом в Университете Пенсильвании, где не только постоянно носил рубашку, но часто дополнял ее и аккуратно повязанным галстуком. Он сделал себе имя, объяснив, как целый ряд заболеваний легких был вызван одним видом грибка, а кроме того, он изобрел одноразовые маркеры для сосков – своего рода наклейки, которыми пользуются во время рентгеноскопического исследования грудной клетки, чтобы не спутать тень от сосков с опухолью. Но со всеми этими грибками и сосками он оставался прикольным чуваком, медитирующим в позе лотоса и ожидающим подходящего момента, чтобы высказаться. Когда такой момент наступал, он выдавал какое-нибудь неожиданное родительское наставление. Например:

– Есть кое-что относительно реальности, о чем тебе нужно знать. Тебе, наверное, кажется, будто ты – это ты, и есть еще весь остальной мир вне тебя. Ты видишь границу, но это просто иллюзия. Внутри и снаружи – это все одно целое.

В юном возрасте я была рациональным скептиком и практиковала свой вариант дзэн-буддизма – фильтровать советы взрослых, но к словам отца прислушивалась: когда он говорил, это звучало не как приказ сверху, а, скорее, как доверенная тайна. «Это просто иллюзия». Вот и теперь он говорил так же спокойно: наклонившись ко мне, чтобы другие не смогли нас подслушать, он просил меня определить ничто.

Я сначала подумала, что вопрос ни о чем задан к тому, чтобы удержать меня от сползания в нигилистическую полосу. Я была созерцательным, но беспокойным ребенком. Таких детей родители называют трудными для воспитания. По правде говоря, я думаю, что мне было просто скучно. Покой фешенебельных американских пригородов не по мне. Я прочитала Джека Керуака и, выбрав его учителем жизни, пыталась идти собственной дорогой. В конце концов я пришла к убеждению: когда тебе пятнадцать, скука плюс пригород плюс экзистенциализм равняется проблема. Я не могла себе

представить счастливого Сизифа, и, честно говоря, я не очень-то к этому стремилась. Курт Кобейн покончил с собой, а я не верила в математику. Я где-то читала, что между числами 1 и 2 есть еще бесконечное число других чисел, и все время думала, как вообще можно досчитать до двух. Моя мама, учитель математики, мужественно пыталась учить меня геометрии, но я отказывалась учиться из принципа.

– Хорошо, я вычислю площадь, – говорила я, – но только после того, как ты мне объяснишь, как досчитать до двух.

Она сразу поднимала руки и убегала прочь, в результате в школе я так и осталась без оценки по математике. Позже выяснилось, что этот вопрос сводил с ума Зенона, но тогда мне никто об этом не сказал.

– Не могу ли я определить ничто? Я думаю, что могу. Я бы определила ничто как отсутствие чего-либо. Как отсутствие всего. А что?

– Я думал над этим вопросом в течение многих лет, – сказал он. – Как получить что-то из ничего? Это казалось просто невозможным, но я подозревал, что мы, наверное, ничто понимаем неправильно. И вот однажды, ожидая машину из ремонта, я вдруг все понял!

– В смысле – ничего?

Он взволнованно кивнул:

– Я подумал так: а что, если бы у нас было состояние, в котором все было бы везде одинаково, однородно, безгранично и беспредельно?

Я пожала плечами:

– Наверное, это и было бы ничто?

– Ну конечно! Подумай: ведь все определяется границами. Они отделяют всякую вещь от любой другой. Вот почему, когда мы рисуем что-то, достаточно изобразить абрис, контур. Контур определяет предмет. Но если у нас имеется абсолютно однородное состояние, у которого нет краев, так что нет ничего, чтобы отличить его от... оно не будет содержать ничего. Это и есть ничто!

Я положила еще немного риса на тарелку:

– Ну ладно...

Отец продолжал, его волнение усилилось.

– Обычно люди думают так: чтобы получить ничто, надо, чтобы ничего не было. Но если ничто определить как неограниченное однородное состояние, нам не придется что-либо удалять. Мы получим

его, просто приведя все в определенное состояние. Представь себе, что ты все кладешь в один огромный блендер – каждый предмет, каждый стул и стол, и даже эти печенья с прорицаниями. Потом включаешь блендер и размалываешь все до тех пор, пока оно не превратится в отдельные атомы, затем размалываешь и атомы, до тех пор, пока не исчезнет структура, до тех пор, пока все во Вселенной не будет выглядеть одинаково, и все это будет равномерно распределено в бесконечном пространстве и никак не связано между собой. Все погрузится в бесконечное единообразие. Все превратится в ничто. Но в некотором смысле оно все еще все, потому что все, с чего начиналось, еще содержится в нем. Ничто – это все, только в другой конфигурации.

– Круто получилось, – сказала я. – Все и ничто в действительности не противоположности, они просто разные состояния одного и того же.

– Точно! – воскликнул отец, сияя. – И если это так, то возможность получить нечто из ничего уже не кажется такой невероятной. Потому что нечто всегда существует. Это как если бы ты построила песочный замок на пляже, а потом разрушила его – где теперь этот замок? Вещественность замка была определена его формой, границами, которые выделяли его из всего остального на пляже. Когда ты разрушила замок, он исчез в бесконечном единообразии песка. Замок и пляж – нечто и ничто, это просто два разных состояния.

Идея меня зацепила. В моих экзистенциальных размышлениях и раньше уже рисовалась картина ничто, – но это было ничто не в смысле трансцендентального единства, как представлял его мой отец, а скорее в смысле разнообразия Хайдеггера, смешанного с безразличием и страхом. Мое ничто означало отсутствие не только вещи, но и смысла. Оно представлялось мне огромной и непроницаемой тьмой, как пустота, которую я обнаруживаю за закрытыми веками ночью. Это была концепция, которая с легкостью вызывает головокружение, парадокс заключался в самом факте ее существования. Ее имя подразумевает вещь, однако ничто это вовсе не что-то, не вещь, но каким-то странным образом это именно что-то, это та самая вещь, которая определяет мир. Если что-либо существует, то оно существует как противоположность ничему, ничто – сущность, обреченная на самоуничтожение, идея, которая неотделима от собственного отрицания. Здесь мы сталкиваемся с ограничением не только реальности, но и наших знаний и нашего языка. Хайдеггер утверждал, что вопрос «что

есть ничто?» – один из самых важных философских вопросов, и в то же время, как писал Геннинг Генц, «никто так никогда и не дал нам ответ на вопрос, что именно определяет ничто, но лишь снабжал его негативными характеристиками». Это как раз то, что мой отец попытался сделать – определить ничто, указывая не на то, чем оно не является, а на то, что это такое. Состояние неограниченной однородности.

– Мне это нравится, – сказала я ему.

Он улыбнулся.

И затем произошло нечто.

Мой отец посмотрел на меня – свою пятнадцатилетнюю дочь – и со всей серьезностью спросил:

– Ты думаешь, это могло бы объяснить рождение Вселенной?

Я открыла рот, пытаюсь найти ответ, потом замолчала в поиске правильных слов, любых слов, чтобы выразить нарастающее беспокойство за его рассудок. Не обкурился ли он травки, которую я прятала под матрасом?

– Ты спрашиваешь меня, как образовалась Вселенная?

– Ну, до Вселенной ничего не было. Поэтому, чтобы возникла Вселенная, ничто должно было стать чем-то. В течение многих лет я думал, что это должны быть два разных состояния одного и того же – одной и той же мировой реальности, иначе не было бы никакой возможности трансформации одного в другое. Но как ничто может быть состоянием чего-нибудь? Только теперь я понимаю, что может: это состояние беспредельной, безграничной однородности. Если начать с этого, то, по крайней мере, проблема возникновения Вселенной становится мыслимой, о ней можно рассуждать.

До этого момента я думала, что мы играли в философский вариант семантической дженги, но теперь он добавил в нее Вселенную?

– Разве это не что-то из физики? – спросила я.

Он утвердительно кивнул.

– Я даже не проходила физику в школе. Я отказалась от уроков физики и вместо этого выбрала курс метеорологии. Но даже и здесь я не смогу рассказать, как зарождается ураган, потому что я проспала урок.

Он попросил официантку принести счет.

– Ну, я думаю, что мы должны в этом разобраться.

«Мы должны разобраться»! Это говорит родитель ребенку. Так может один взрослый человек сказать другому взрослому. Я была заинтригована. Это было безумно необычно, но безумие было бесконечно лучше, чем скука. Кроме того, я знала важную вещь: мой отец был искрометен. Все знали, что мой отец был искрометен. Он скрывал это за слащавой внешностью и плохим чувством юмора. Неудивительно, если вы не разглядите его искрометность сразу, так как он постоянно делает что-то не так, обрывая предложения на полуслове и даже, по семейному преданию, забывая надеть брюки. Однако его рассеянная манера поведения была смелой, творческой, а ум проницательным, и на любого, кто имел возможность пообщаться с ним хотя бы несколько минут, он производил впечатление человека неординарного. Если бы вам пришлось искать, кто подаст безумную идею, как вам выбраться из затруднительного положения, то лучше всех на эту роль подошел бы мой отец. Впервые, как мне показалось, за много лет я улыбнулась.

– Ладно. Как?

Он пожал плечами:

– Мы проведем небольшое научное исследование.

Итак, мы начали читать. Если нам попадалась книга о физике или космологии, мы совали в нее нос. Мы читали о Большом взрыве, инфляционной модели Вселенной, теории относительности, квантовой теории образования галактик, физике элементарных частиц, термодинамике, дополнительных размерностях пространства, черных дырах, реликтовом излучении. Мы обсуждали все это до поздней ночи, пока мама не начинала кричать, чтобы мы шли спать. Каждый раз, когда мы узнавали что-то новое, у нас возникали сотни новых вопросов, и чтение превратилось в бесконечную охоту. Мы корпели над огромной стопкой книг в лихорадочной попытке узнать, что было известно о том, как образовалась Вселенная, как из ничего родилось нечто. Это стало нашим тайным миром.

Вскоре только для книг по физике нам пришлось отвести в нашем доме отдельную комнату. К счастью, у нас была лишняя – небольшая спальня, в которой я когда-то по неосторожности устроила маленький пожар, играя со свечой, которую мне подарили на день рождения. Мы очистили комнату от пепла, покрасили стены и соорудили полки. Книги

размножались в геометрической прогрессии, заполняли полки от пола до потолка и даже покрывали пол.

Отец убедил меня, что до рождения Вселенной было состояние беспредельной, безграничной однородности, лишенности черт, равномерной одинаковости, простирающейся и длящейся до бесконечности. Или, по крайней мере, до тех пор, пока не родилась Вселенная. Что, конечно, не отменяло вопрос на миллион: почему это ничто вдруг изменилось? Как могло нечто, определенное, как вечная одинаковость, в один момент времени стать другим? Почему вообще Вселенная появилась?

Нас сводила с ума одна дилемма. С одной стороны, если предположить, что нечто и ничто суть просто разные состояния одного и того же, то получить что-то из ничего казалось возможным. Но, с другой стороны, состояние совершенной однородности, казалось бы, исключает возможность изменения вообще.

Чем дольше мы рассуждали на эту тему, тем больше меня раздражала формулировка «состояние беспредельной, безграничной однородности». Я пробовала называть его просто «ничто», но грамматическая неоднозначность неизбежно приводила нас к философской вариации вопроса «кто играл на первой базе?»

– Серьезно, – сказала я отцу. – Если мне придется сказать «однородное состояние» еще хоть раз, я убью себя вот этим учебником физики.

– Мы введем аббревиатуру, – предложил отец. – Как насчет просто *H*-состояние?

Я на мгновение задумалась.

– *H*-состояние. Я могу ужиться с этим.

Для того чтобы выяснить, почему *H*-состояние могло измениться, мы должны были узнать, почему ученые-космологи считали, что произошел Большой взрыв. Что за физический процесс мог из ничего в одночасье создать целый мир?

В растущей гряде книг мы обнаружили интригующие предположения, но не нашли ответов. Проблема была в том, что космология не начинается с ничто. Мир начинался с чего-то – с расширяющейся Вселенной, наполненной материей и излучением, и если повернуть время вспять, заглянуть на четырнадцать миллиардов

лет в прошлое, то мы увидим, как Вселенная сжимается, галактики сближаются друг с другом, пока вся обозримая Вселенная не соберется в одной точке, предположительно точке, из которой в результате Большого взрыва Вселенная родилась, точке бесконечно горячей, бесконечно плотной. Космического семени. Сингулярности.

Соблазнительно представлять себе сингулярность малой по размеру, но, как мы с отцом быстро выяснили, это мнение – ошибка неопита. Сингулярность только кажется маленькой, потому что вы представляете ее в виде точки в пространстве, как будто вы смотрите на нее снаружи. Но сингулярность не имеет «снаружи». Это не точка в пространстве, потому что она и есть само пространство. Она – Вселенная, она – все. Мы находимся в точке. Кроме того, точка не мала – она безразмерна. Я узнала об этом на уроке геометрии, несмотря на все мои протесты. Вы можете также рассматривать точку как бесконечно большую. «Большой взрыв произошел везде, – написала я в своем дневнике. – Даже в пригородах».

Проигрывая космическую эволюцию в обратном направлении, можно видеть, как в сингулярности все превращается в ничто. Ответ на вопрос, почему *H*-состояние изменилось, кроется здесь. Он был спрятан хорошо. Расширение Вселенной описывается уравнениями общей теории относительности, теории Эйнштейна о пространстве, времени и гравитации, но сингулярность – это то единственное состояние, в котором эти уравнения не работают. Если общая теория относительности рисует нам карту Вселенной, то сингулярность – это терра инкогнита, место, о котором картографы не знают, как нарисовать его карту. Здесь водятся драконы.

Квантовые драконы, скорее всего. Сингулярность предполагает, что общая теория относительности в конечном счете должна уступить место более фундаментальной теории, и физики уже знают об этом. Теория Эйнштейна несовместима с квантовой механикой, теорией, описывающей явления на крайне малых масштабах. В повседневной жизни физики могут закрыть глаза на эту проблему, сохраняя две теории отдельно друг от друга. С помощью общей теории относительности они описывают то, как массивные тела, такие как планеты и галактики, искажают пространство-время, а с помощью квантовой механики описывают то, как субатомные частицы играют в кости. Но в конце концов это искусственное разделение исчезнет.

Пространство-время и материя постоянно разговаривают друг с другом. По выражению Уилера, «материя говорит пространству, как искривляться. Пространство говорит материи, как двигаться».

Сингулярность на космической карте – это не вещь, а смысл: она говорит нам, что пространство-время, по крайней мере, каким мыслил его Эйнштейн, не может быть нижним уровнем реальности. Что-то скрывается за ним, что-то более фундаментальное, что-то такое, из чего возникают пространство и время. Это «что-то» будет раскрыто только в рамках теории, которая объединит общую теорию относительности с квантовой механикой, – теории квантовой гравитации.

«Чтобы понять природу сингулярностей, нужна квантовая гравитация», – записала я в своем дневнике. *Чтобы понять ничто.* «Забавно, – подумала я. – Нам нужна теория всего, чтобы мы смогли создать теорию ничего».

Вдруг меня осенило, что если сингулярности – это не более чем просто белые пятна на космической карте, то Большой взрыв – это тоже не более чем белое пятно. Теория расширяющейся Вселенной – это важная теория, подкрепленная мощными доказательствами, – но это не вся история.

Итак, мы продолжали читать книги. В конце концов мы наткнулись на некоторые статьи Уилера. Мне сразу понравилась форма изложения, которой он владел. Это было не похоже на любые другие работы по физике, встречавшиеся мне прежде. Это больше напоминало поэзию: интеллектуально смелые и провокационные, полные немного странных, но очень емких фраз. Уилер подчеркивал, что пространство-время не может быть конечным основанием реального мира, потому что при высочайшем пространственном разрешении и в квантовой механике, и в общей теории относительности оно разрушается, его геометрия искажается до тех пор, пока сама не прекратит свое существование. Он предполагал, что невозможно понять, как случился Большой взрыв – как ничто превратилось в нечто – без учета роли наблюдателей. «Можем ли надеяться однажды понять „бытие“ с помощью надлежащего рассмотрения роли „наблюдателя“?» – написал он. Действительно ли архитектура мироздания такова, что только при посредстве «наблюдения» могла возникнуть Вселенная? Эта мысль кажется совершенно необычной, но я знала, что Уилер считался гением, наравне с некоторыми величайшими физиками всех времен. В этом что-

то было. Все-таки мы не можем пройти мимо наиболее очевидного вопроса: если для существования всего необходимы наблюдатели, то откуда взялись сами наблюдатели? Поначалу я не хотела принимать эту идею во внимание, но идея была настолько странной, что она не выходила у меня из головы. «Уилер говорит, что у наблюдателей своя роль в Большом взрыве, — записала я в своем блокноте. — Надо выяснить, что, черт возьми, это может значить».

В конце концов идти тусить с друзьями стало казаться менее захватывающим занятием, чем путешествовать сквозь Вселенную с отцом. В те дни, когда я все же выбиралась на вечеринки, я, возвращаясь домой в три часа утра, заставляла отца за чтением книг. И тогда мы садились за кухонный стол вдвоем и до рассвета под овсяные батончики говорили о физике.

Я наслаждалась каждой минутой, — и это было удивительно, учитывая, что раньше я никогда не проявляла интереса к науке. В самом деле: задумываясь об этом, я припоминаю только два случая, когда факт существования науки хоть как-то привлекал мое внимание. Первый раз — когда мне было семь лет и кто-то принес мне подборку детских научно-популярных книг. Меня тогда заинтересовала лишь одна из них, о воздухе. Несколько месяцев я не расставалась с ней, очарованная мыслью о том, что на первый взгляд что-то невидимое было на самом деле чем-то сложным и жизненно важным. Второй случай произошел в десятом классе на уроке химии. Наш учитель, господин Макафус, был одним из тех редких школьных учителей, которым удавалось быть крутыми и в то же время увлеченными своим предметом, так что их энтузиазм оказывался выносимым даже для наиболее циничных из его учеников (а именно для меня). В день, когда он рассказывал нам о строении атомов, он вдруг запрыгнул на парту и в коротком танце изобразил динамику электронных энергетических уровней, умеряя скорость своего твиста по мере того, как воображаемые электроны переходили с высоких уровней на более низкие. Но больше всего мне запомнилась та часть урока, когда он рассказывал, что более чем 99 % объема атома — это просто пустое пространство. Не пустота, подобная воздуху, который состоит из атомов, а абсолютная пустота, в которой нет ничего вообще. «Этот стол, — сказал он нам, улыбаясь и постукивая кулаком по дереву, словно чтобы показать нам его прочность, — в

основном состоит из ничего». В течение нескольких недель после этого его слова не шли у меня из головы. Я была поражена, что то, что выглядело как нечто, состояло в основном из ничего. Что за нашим миром скрывался другой мир, за видимым – что-то невидимое.

Чем-то ничто пленило мое воображение – может быть, именно потому что это была наименее вероятная вещь, способная пленить воображение, в том же самом смысле, в каком «самая обычная вещь в мире» по определению должна быть необычной. Как ни странно, ничто пленило и воображение моего отца. Каждый раз, когда я видела его погруженным в свои мысли, он, вероятно, глубоко задумывался ни о чем.

Но кроме тех двух случаев, наука мало меня заботила – дело в том, что до начала моих космических приключений с отцом я понятия не имела, что такое наука вообще. Никто никогда мне этого не объяснял. Вы приходите в класс, и учитель начинает мучить вас фактами, и вы должны запомнить их, и вы понятия не имеете, зачем все это нужно. В школе нам представляют дело так, как будто оно уже сделано, будто готов уже список фактов, которые в совокупности составляют своеобразную инструкцию по использованию природы. Но инструкция по эксплуатации еще не написана. Эйнштейн сказал: «Этот огромный мир стоит перед нами, как огромная вечная загадка». Почему ни один из моих учителей не говорил мне этого? «Слушай, – они могли бы сказать, – никто не имеет никакого представления, что, черт возьми, происходит. Проснулись мы в этом мире, и мы не знаем, почему мы здесь или как что работает. Я имею в виду, посмотрите вокруг. Посмотрите, как странно все устроено! Зачем, черт возьми, все это барахло? Реальность – это огромная загадка, и вы должны сделать выбор. Вы можете закрыть на нее глаза, вы можете успокоить себя сказками, вы можете только делать вид, что все нормально, или вы можете посмотреть этой тайне в глаза и пытаться ее разгадать. Если вы один из немногих отважных, то вы выберете последнее. Добро пожаловать в мир науки! Наука состоит в стремлении решить эту вечную загадку. Мы еще далеки от этого, но мы уже кое-что раскрыли. Цель этого урока – донести до вас те знания, которые мы уже получили, так что вы сможете взять их и отправиться в мир науки, чтобы открыть большее. И кто знает? Может быть, вы будете тем, кто, наконец, решит

эту загадку». Если бы один из моих учителей так сказал, я бы не стала заниматься метеорологией.

К счастью, мой отец открыл для меня мир науки. Так что, пока днем мои учителя в школе заставляли меня чувствовать себя просто еще одним ничем не примечательным ребенком, по вечерам дома я открывала для себя удивительный мир, в котором я была избрана для окончательной разгадки тайны природы, требующей интенсивного обучения, миссии, в которой не меньше чем сама Вселенная была поставлена на карту.

– Однажды, когда мы разрешим загадку Вселенной, мы должны будем написать свою книгу, – сказал мой отец, разбирая кипу только что приобретенных книг по космологии. – Мы читаем все эти книги в поисках ответов, но, может быть, книга, которую мы ищем, еще не написана. Может быть, мы сами должны написать ее.

– Книгу по физике?

– Ты всегда хотела стать писателем.

– Ну да, – сказала я. – Но я хочу писать стихи и рассказы.

– Что может быть поэтичнее разгадки тайн Вселенной?

Я не могла не улыбнуться, задумавшись о такой перспективе. Я не была уверена, что мой отец действительно верил, что мы когда-нибудь разгадаем загадку Вселенной, но его оптимизм был заразителен. Еще совсем недавно весь мой мир был полон сознанием моей собственной малой значимости и апатией. Теперь же каждый атом во Вселенной казался тайной, каждое слово – подсказкой. В мгновение ока мой отец превратил мой мир в поиск сокровищ, и теперь мы должны были рисовать карты сокровищ сами для себя.

– Когда мы напишем нашу книгу, я собираюсь избавиться от всех до одной из этих, – он кивнул на сотни книг на полках, – и заменить их нашей. У нас будет целая библиотека только для одной книги.

По сравнению с интеллектуальным возбуждением, которое я испытывала, изучая физику вместе с отцом, учеба в средней школе мне казалась отупляющим занятием. Настолько скучным, что, собравшись с духом, я окончила школу на год раньше. В моих планах было переехать в Нью-Йорк, чтобы стать писателем и параллельно, вместе с моим отцом, продолжать познавать мироздание. Я поступила в Новую школу социальных исследований, которая привлекла меня своей

альтернативной либеральной программой, не требующей занятий математикой. Моя мама, которая обожала поездки в студенческие кампусы, расположившиеся на зеленых просторах Новой Англии, когда мой брат несколько лет назад выбирал колледж для дальнейшей учебы, решила сопроводить меня в Нью-Йорк, чтобы посетить Новую школу. Во время первой экскурсии по кампусу нас вместе с другими будущими студентами, отличавшимися ярко окрашенными прядями волос в прическах, татуировками и пирсингом, запихнули в маленький лифт. Наш гид во время экскурсии ограничился четырьмя предложениями:

– Это первый этаж. Это второй этаж. Это третий этаж. Есть какие-нибудь вопросы?

Моя мама начала плакать. Я была продана.

Вернувшись домой, я не пошла на школьный выпускной вечер. Окончание средней школы не было для меня таким уж особым достижением, чтобы тратиться на полиэстеровую мантию. Все же родители устроили небольшую вечеринку у нас дома. В разгар торжества мой отец отвел меня в сторону и протянул мне синюю папку.

Пока все разговаривали и смеялись в соседней комнате, я села на лестнице и открыла папку.

Ты первые годы молчала.

Ждала, дожидалась слов.

Я улыбнулась. Он написал поэму в своеобразном ритмическом бит-стиле, как бы намекая на мои литературные вкусы того времени. В стихах было запечатлено мое детство: время, когда я научилась читать, ночь, когда я сбежала из дома, все книги и все мысли, которые сделали мою жизнь такой, какая она есть.

И Керуака, «В дороге»

Ритма, словесного ритма

И Гинзберга, «Вопль» и «Кадиш»

Ритма певучего

И Кизи, и Бэрроуза, Фитцджеральда и Пруста

Слова, слова

Лу Рида и «Вельвет Андерграунд»

И ритма, ритма, ритма и слов

Экзистенциализма и дзэна, Торо и Уолдена
И смысла слов, распорядка и смысла
Потом Нью-Йорк и Новая школа
Виллидж и Вашингтон-сквер
Весь мир – это чистый дневник
Он ждет твоих слов
Пускай все услышат ритм, ритм твоих слов^[5].

Через несколько дней после семнадцатилетия я собрала вещи и переехала из фешенебельного пригорода в нью-йоркский Ист-Виллидж. В Новой школе студенты не выбирали предметы, они «выбирали путь». Я выбрала два: философия и литературное творчество. Меня интересовали идеи: о формах у Платона, о боге Спинозы, об объектах Витгенштейна, о которых нельзя говорить. Я хотела бы воспользоваться этими идеями не только в своих произведениях, но и для того, чтобы понять смысл Вселенной.



Фотография семьи Гефтер примерно в 1998 году: Уоррен, Брайан, Марлен и я.

Фото: Г. Бергельсон.

В Новой школе занятия по философии были вдохновляющими, но литературные уроки были перенасыщены постмодернистской социально-политической повесткой дня, что было слишком либерально даже для меня. Светская еврейская семья, в которой я выросла, была ультралиберальной, но мы все еще придерживались некоторых фундаментальных ценностей, таких как «факты» и «орфография».

Когда профессор вернул мне одну из моих историй, в которой слово *women* было обведено большой красной окружностью, а замечание на полях сообщало мне, что правильное написание этого слова *womun*, я решила, что с меня достаточно. Я перевелась в Школу индивидуального обучения Галлатина при Нью-Йоркском университете, которая располагалась всего в нескольких кварталах от отеля. После окончания школы я вступила в жизнь, твердо намереваясь стать писателем, и на первых порах устроилась на довольно-таки сомнительную работу в малоизвестном журнале с красивым названием *Manhattan*.

В день открытия симпозиума «Наука и окончательная реальность» я села на утренний поезд, направлявшийся из Нью-Йорка в Принстон. Отец встретил меня на вокзале. Вместе мы поехали в конференц-центр, готовясь задать Уилеру вопрос, который давно нас волновал.

Мы скромно вошли в вестибюль. Я ни разу еще не была на конференции по физике и не знала, чего ожидать. Я полагала, что, наряду со звездным составом ораторов, будет какая-то аудитория из простых, не столь гениальных людей, что кто-то придет поглазеть на физиков, попить с ними кофе в перерывах. Но нет. Нас было только двое.

Мы просто стояли, как два ошеломленных оленя, ослепленных ярким светом фар. Мы были, очевидно, единственные посторонние в этом помещении, полном ведущих физиков со всего мира и законных аккредитованных журналистов, прибывших сюда для освещения события.

– Журналисты, – пробормотала я отцу. – Помни, мы – журналисты.

Он кивнул. Он выглядел аккуратным и подтянутым в своем темно-синем костюме. Я смотрела на него и думала, что он не очень-то и выделяется среди этой однородной массы седых мужчин среднего возраста. Конечно, у него все-таки была одна заметная особенность – стоящая рядом и глядящая на него с сомнением двадцатилетняя девушка.

– Не нужны ли нам какие-нибудь бейджики? – прошептал он.

– Бейджики! Да. Я пойду получу бейджики. Оставайся здесь.

Я решила, что, если меня спросят, буду придерживаться своей легенды о том, что работаю в *Manhattan*, но я понятия не имела, что сказать об отце. (*Этот журналист? Ну да, странно, конечно, что мы*

так похожи. По возрасту вполне мог бы быть моим отцом? Вы думаете?)

Я направилась к столику регистрации, по пути вчитываясь в таблички с именами, ставшими уже для нас нарицательными. Я быстро отыскала свой бейджик: Аманда Гефтер, *Manhattan*. Рядом с ним лежал пустой бейджик, мой плюс один. Когда я наклонилась, чтобы взять их, я случайно задела плечом стоявшего рядом мужчину.

– Извините, – сказала я, взглянув на него.

Я покраснела и быстро вернулась к отцу.

– Боже мой! – пропищала я. – Я только что коснулась Брайана Грина!

Заняв свои места в конференц-зале, мы с трепетом осмотрелись вокруг. Толкая друг друга локтями, мы шептали что-то вроде: «Боже! Вот Алан Гут!» и «Макс Тегмарк прямо перед нами!» Мы были на седьмом небе от счастья. Эти люди были главными героями наших разговоров в течение многих лет, и теперь мы сидели среди них. Я толкнула отца и кивком указала вперед. Там, заняв место в первом ряду, сидел человек, ради которого все здесь собрались, чтобы отпраздновать его юбилей: Джон Арчибальд Уилер.

Физик, философ, поэт, пророк, легенда. Даже в девяносто у него было мальчишеское лицо. Миловидный, с озорным блеском в глазах. В молодости Уилер учился квантовой физике в Копенгагене, у Нильса Бора, и читал начальный курс по общей теории относительности в Принстоне, где гулял по аллеям, обсуждая природу мироздания с Эйнштейном. Вместе с Бором он разрабатывал теорию деления ядер, затем перешел на работу по созданию атомной бомбы в Манхэттенском проекте, а после участвовал и в разработке водородной бомбы. Он придумал термины «черная дыра» и «кротовые норы». Он воспитал плеяду талантливых учеников, сделавших замечательные открытия: Ричард Фейнман, Хью Эверетт, Якоб Бекенштейн, Кип Торн и так далее.

Четыре фундаментальных вопроса, сформулированные Уилером, стали главными вопросами, обсуждавшимися на симпозиуме: Почему квант? Бытие от бита? Интерактивная Вселенная^[6]? Отчего существование? Мы были уверены, что в ответах на эти вопросы кроется ключ к разгадке главной тайны.

Почему квант? С квантовой механикой была такая заковыка: картина реальности, которую она предложила, не очень-то, похоже, вязалась с тем, что мы знаем о мире: она подразумевала явления, не имеющие причин, наблюдателей, влияющих на результаты измерений, и куда бы вы ни глянули, повсюду были ящики полные котов, одновременно и живых и мертвых. А может быть, квантовая механика и не предлагала никакой картины реальности вовсе. Может быть, она просто размыла имевшиеся до неузнаваемости. Теория позволяла физикам делать необычайно точные предсказания, но эти предсказания сами по себе не давали никакого ключа к пониманию того, что это все вместе означает. Жизнь Уилера прошла среди основателей квантовой теории, он всегда был в гуще событий. Такие физики, как Бор, Фейнман, Эверетт и Эйнштейн, отчаянно пытались разобраться в странных фактах и явлениях, разворачивающихся перед их глазами. Не имея фундамента, на который можно было бы опереться, самая успешная физическая теория так и парила в воздухе, поражая странной произвольностью. Многих это заставило сдаться и выкинуть белый флаг со словами: «Заткнись и вычисляй!» Но Уилер отказался сдаваться. Он знал, что на первый взгляд произвольное поведение частиц является ключом к разгадке тайны. Странность теории должна подсказывать нам что-то.

Бытие от бита? – в этой краткой формуле Уилера заключалась идея, что физическая Вселенная построена не из материи, а из информации. Всякое наблюдение квантовая теория понимает как вопрос, на который возможны только два ответа – «да» или «нет». Эта частица здесь, или она не здесь? Этот кот жив, или этот кот мертв? Уилер предположил, что бит информации создается уже самим *задаванием* такого вопроса и что эти биты служат исходными кирпичиками реальности. «Вселенная и все, что в ней содержится (*бытие*), вероятно, возникает из необозримого множества измерений, в каждом из которых делается выбор одной из двух возможностей (*бит*), – писал Уилер. – Возможно, информация – это не просто то, что мы узнаем о мире. Возможно, это именно то, что создает мир». Идея довольно странная, если принять во внимание нашу интуицию, которая подсказывает, что исходными кирпичиками материи должна быть сама эта материя, но только в виде крошечных ее кусочков, частиц. При этом, как я узнала от господина Макафуса, частицы сами на 99 %

состоят из пустоты. Вы-то можете надеяться, что и жалкого 1 % так или иначе хватит, чтобы сделать наш мир прочным. Но, по словам Уилера, даже этот 1 % не дает возможности ответить на вопрос наблюдателя или «да» или «нет». «Дом строят из кирпичей, но кирпичи изготавливаются из информации?» – записала я в блокноте. Возможно ли такое, что, рассматривая физический мир с достаточно близкого расстояния, мы обнаруживаем нечто вовсе не материальное, словно вся Вселенная – что-то вроде виртуальной реальности? А есть ли разница? Означает ли что-нибудь слово «физический»?

Интерактивная Вселенная? Если результаты измерений побитно выстраивают нашу Вселенную, как подозревал Уилер, то все наблюдатели так или иначе причастны к созданию реальности. Это довольно радикальная картина мира, и если она верна, то, значит, наша Вселенная напрямую создана их совместными усилиями. Как писал физик Поль Дэвис: «Уилер стремится... перевернуть с ног на голову обычную объяснительную цепочку: материя → информация → наблюдатель и поместить наблюдения в ее основание: наблюдатель → информация → материя». На этом месте у нас с отцом в голове зазвенело: а не могли ли наблюдатели превратить каким-то образом ничто в нечто? Странная мысль. А сами наблюдатели откуда? И что вообще можно было бы так называть? Конечно, это совсем не обязательно разумное существо или человек... но что это?

Наконец, *отчего существование?* Хороший вопросик. Почему «что-то есть», а не «ничего нет»? Этот вопрос много лет не давал покоя моему отцу, подвиг нас на поиски и в конце концов привел нас на эту конференцию в надежде найти здесь ответ. Отчего существование? Отчего же, в самом деле!

– Мне посчастливилось пережить первый и единственный сердечный приступ только в прошлом январе, – так Уилер начал свое выступление. Он говорил медленно и тихо, своим немного дребезжащим голосом, который выдавал не только его возраст, но и важность того, что он говорил.

– Я говорю «посчастливилось», потому что благодаря ему я понял: времени остается мало и мне лучше сосредоточиться на чем-то одном: откуда существование? Откуда квант? Может быть, эти вопросы звучат слишком философски, но, может быть, философия слишком важна, чтобы оставить ее философам.

Когда сессия закончилась, рой физиков окружил Уилера, оставшегося сидеть в первом ряду, улыбаясь и кивая; один физик за другим присаживался рядом, чтобы поговорить с ним. Мы терпеливо ждали своей очереди. И вот настал наш черед. Толпа рассеялась, и мы устремились вниз, к первому ряду. Это был кульминационный момент. Это было то, за чем мы пришли.

Мы наклонились, и каждый из нас пожал ему руку.

– Я Уоррен Гефтер; это моя дочь, Аманда. Она здесь освещает конференцию для журнала *Manhattan*. Мы очень рады встретиться с вами! – сказал мой отец.

Уилер кивнул, но, казалось, ничего не услышал и лишь из вежливости не сказал об этом. Мой отец придвинулся ближе и заговорил громче.

– У нас есть вопросы, которые мы давно хотим задать вам, – сказал он, старательно выговаривая каждое слово. – Если наблюдатели создают реальность, то откуда эти наблюдатели берутся?

Уилер улыбнулся.

– Из физики. Из Вселенной. Я хотел сказать, – он сделал паузу, пытаясь подобрать слова, – что Вселенная – это самонастраивающийся контур.

Мой отец благодарно кивнул, потом задумчиво спросил:

– Так это все берется из ничего?

Снова Уилер, казалось, не расслышал, поэтому мой отец переспросил еще громче:

– Так это все берется из ничего?

Уилер кивнул и медленно заговорил:

– Существует принцип, согласно которому граница границы равна нулю^[7].



Джон Арчибальд Уилер (слева) и Уоррен Гефтер (справа) на конференции «Наука и окончательная реальность», 2002.

Фото: А. Гефтер.

В этот момент к нему повернулись какие-то физики и заговорили с ним. Нам не оставалось ничего другого, как поблагодарить его, сказав, что это была большая честь для нас. Мы поулыбались и пошли прочь. В работе конференции был объявлен перерыв на целый день, и мы решили побродить по Принстону. Свежий весенний воздух казался наэлектризованным. Прогуливаясь по улице, мы безостановочно болтали о людях, которых нам удалось увидеть, и идеях, которые они обсуждали. Теперь мы чувствовали свою причастность к чему-то, хотя нас никто туда и не приглашал.

– Мы говорили с самим Уилером! – сказал отец. Он выглядел ошарашенным и ухмылялся, словно не веря самому себе.

– Да, мы это сделали!

Мы дошли до Мерсер-стрит, тихой улицы, на которой жил Эйнштейн в годы работы в Принстоне, по ней они с Уилером бродили, обсуждая великие космические тайны. Вдруг меня осенило: как забавно, что Эйнштейн жил в Нью-Джерси. Нью-Джерси? Это примерно то же самое, что увидеть Шекспира, жующего бургер в *Wendy's*, или узнать, что Платон на самом деле не грек, а канадец.

Мы нашли дом Эйнштейна, 112 по Мерсер-стрит, и немного постояли перед ним, рассматривая. Мы испытывали трепет, но дом был весьма скромнен. Он был старомоден и непритязателен, окрашен в типичный для маленького города анонимно белый цвет. В доме проводились какие-то ремонтные работы, и крыльцо обвязали желтой лентой, словно место убийства.

Мой отец указал на ленту.

– Наверное, это тот парень, что вечно падал с крыши в его мысленных экспериментах, наконец встретил свою судьбу^[8].

Я знала, что Эйнштейн настоятельно просил Принстон сохранить его дом в качестве обычного места для жилья, а не превращать его в какую-то достопримечательность или музей. «Этот дом никогда не станет местом паломничества, куда паломники приходят поклониться костям святого», – говорил он. Ну и ладно. С этой желтой лентой мы могли поклониться разве что крыльцу. Кроме того, патологоанатом, который проводил вскрытие Эйнштейна, похитил его мозг. По сравнению с этим наше благоговейное топтание на газоне перед домом вопреки его воле вряд ли можно было бы счесть святотатством.

Отец однажды показал мне старую потрепанную книгу в твердом переплете, которую его отец дал ему, когда он был еще ребенком. Это были статьи Эйнштейна по теории относительности. Отец рассказывал мне, что пытался читать ее, когда ему было всего десять или одиннадцать лет, притворяясь, будто что-то понимает. Все свое детство он хранил эту книгу на полке в спальне, иногда смотрел на нее, иногда перелистывал страницы и мечтал понять ее смысл, потому что был уверен: в этой книге кроется истина. Теперь, глядя на дом, на белой краске которого играло мартовское солнце, я чувствовала себя так, будто мой разум покидает мою голову и вливается во что-то

значительно большее, чем я. Я смотрела на отца и понимала, что он наконец встал на путь, которым в глубине души всегда хотел идти. А я? Я просто хотела следовать ему.



Перед домом Эйнштейна в Принстоне.
Фото: У. Гефтер.

Мы напряженно смотрели на дом, словно в любую минуту Эйнштейн мог показаться в дверях, высунуть язык, а потом крикнуть, чтобы мы проваливали к чертям с его лужайки.

«И что же, этот дом действительно построен из информации?» – подумала я. И эта информация создана мной? Нами? Есть ли хоть что-нибудь похожее на то, чем кажется? Существует ли хоть что-то из этого в реальности?

Я знала, что мир вокруг должен быть больше, чем кажется. Физика явно подкрепляет эту мысль: в конце концов, стол состоит главным образом из пустоты, но если посмотреть на эту пустоту достаточно внимательно, словно в микроскоп с большим разрешением, то она

окажется не такой уж и пустой, но заполненной чем-то неизвестным. Если посмотреть с достаточно близкого расстояния на что угодно, то все, что мы о нем знали, распадется, оставив взамен... что? Какие-то исходные ингредиенты реальности? Что-то нематериальное, вроде информации? Мне не нужна наука, чтобы понять, что внешность обманчива. Я знаю это на своем опыте. Я знала это с того самого дня, когда мой отец сказал мне, что все вокруг иллюзия. Я не могу смириться с мыслью, что реальность оканчивается на свадебном торте, офисной тягомотине и доме в богатом пригороде. Если миром у меня перед глазами начинается и заканчивается бытие, то на меня не рассчитывайте. Мне нужна тайна. Мне нужно знать, что это – история с продолжением.

Я подозревала, что отцу это тоже было нужно. Хотя он никогда не признавался в этом. Мне становится все более очевидным, что его тихая профессиональная жизнь в богатом университетском пригороде противоречила его существу. У него внутри жил бунтарь – тот хиппи, сидящий без рубашки в позе лотоса и медитирующий на природе, должен был молчать и делать карьеру, вписываясь в рамки своего возраста, но у него был шанс обнаружить себя. Этот шанс дала ему физика. И я.

Мы сели на тротуар перед домом.

– Самонастраивающийся контур... – пробормотала я.

Отец кивнул:

– Граница границы равна нулю...

– Он кто? Йода? – спросила я. – Человек говорит загадками. Что все это значит?

Отец улыбнулся:

– Ума не приложу.

Итак, вот мы – в Принстоне, штат Нью-Джерси, в огромной расширяющейся Вселенной, бродим по улицам, нарушая их привычный покой, наполовину реальные, постепенно осознавая, что то, что когда-то было хобби, теперь стало миссией.

Мы сидели несколько минут, погруженные в тяжелое молчание. Затем подъехал автомобиль, и мы бросились наутек.

Глава 2

Идеальное алиби

Когда я вернулась в Нью-Йорк, у меня возникла идея.

Я рассматривала свой бейджик с конференции «Наука и окончательная реальность», висящий теперь над компьютером в качестве сувенира. На нем гордо красовалось мое имя, под которым было напечатано: «Журнал *Manhattan*» – своего рода шутка для посвященных. Логотипом конференции был выбран рисунок поверхности сферы, устланной крошечными плиточками с нулями и единицами на каждой. Я была почти уверена, что это один из рисунков Уилера – но что же он значит? Я быстро набросала этот рисунок в блокноте с напоминанием для себя разобраться с ним позднее.

Удивительно, какой могущественной была эта штука. Не может ли этот кусок ламинированной бумаги на веревке служить пропуском в круг посвященных, давать доступ к окончательной реальности? Он был как золотой билет на космическую шоколадную фабрику – получив его, вы обретаєте возможность посетить каждую лекцию, поговорить с любым физиком и даже пообедать и сходить на банкет.

Если бы вы хотели посетить научную конференцию в надежде найти какие-то ответы на волнующие вас вопросы, то выдать себя за представителя прессы явно был правильный способ добиться своей цели. И все-таки я была уверена, что моя маленькая афера будет в скором времени разоблачена. В конце концов кто-нибудь решит заглянуть в журнал *Manhattan* и быстро поймет, что он не имеет ничего общего с физикой... как если бы кто-то заглянул в коробку и обнаружил в ней мертвого кота.

Если бы только у меня был способ получить пресс-карту!

Как в мультфильме, у меня над головой зажглась лампочка.

Я позвонила отцу:

– Я собираюсь быть журналистом.

– Ладно...

– Только подумай! Если мы хотим выяснить природу реальности, нам нужен доступ к лучшим ученым-физикам, к новейшим данным, встречам, журналам, ко всему. И если ты пресса, то все это в твоём

распоряжении! Если у нас появится вопрос по космологии, мы не будем копаться в двадцати книгах, чтобы найти ответ. Мы просто спросим космолога! Это идеальное алиби!

– Отличная идея, – сказал он. – Возможно, ты могла бы устроиться куда-нибудь стажером. Или ты должна сначала получить диплом?

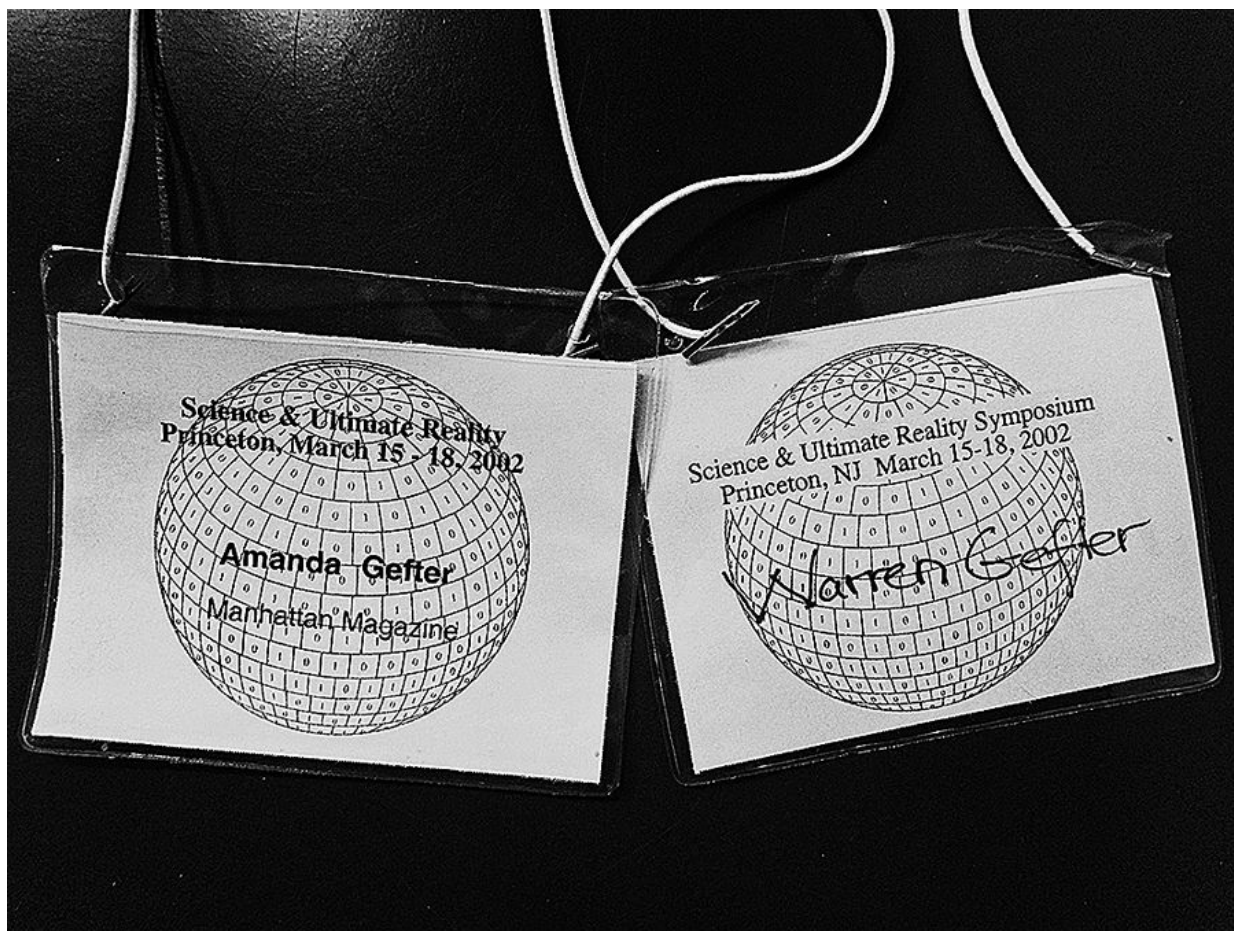
– Нет-нет, – сказала я, – Я собираюсь стать журналистом сегодня.

– Извини, что?

– Я собираюсь позвонить в редакцию журнала *Scientific American* и спросить, могу ли я написать для них кое-что о симпозиуме. И тогда у нас все будет в шоколаде!

– Слушай, – сказал он, – я не хочу тебя обидеть и думаю, что когда-нибудь в будущем ты смогла бы стать прекрасным журналистом, но ты не можешь просто так позвонить в *Scientific American*.

– Да ну? – сказала я. – Давай посмотрим.



Наши бесценные пропуска на праздник окончательной реальности.

Я знала, это звучит несколько неожиданно. В конце концов, я не училась на журналиста. О черт, я еще никогда не посещала уроки по физике! «Но кого это может волновать?» – думала я. Буду учиться на ходу. Кроме того, мне не нужны ни степень, ни стажировка, ни опыт работы – это все равно как поступать в кулинарную школу, собираясь открыть ресторан. Я не собираюсь получать Пулитцеровскую премию; я просто пытаюсь провернуть небольшую аферу, чтобы получить удостоверение журналиста.

Я набрала номер телефона редактора отдела новостей *Scientific American*. На том конце включился автоответчик. Как только я услышала сигнал, я прокашлялась и изо всех сил постаралась симитировать голос, который походил бы на голос профессионального журналиста, а не на лепетание двадцатилетней девушки.

– Привет, Фил, это Аманда Гефтер из журнала *Manhattan*. Я вчера была в Принстоне на симпозиуме в честь Джона Уилера и решила позвонить, чтобы узнать, не нужно ли вам какое-либо освещение мероприятия. Мы в действительности не пишем про науку в *Manhattan*, но физика – мое хобби. В любом случае, у меня неплохой материал, так что не стесняйтесь, позвоните мне.

Я продиктовала номер и повесила трубку. Если мы собираемся это сделать, то мы собираемся сделать это как надо, а значит – начиная с самого верха.

Фил из *Scientific American* перезвонил на следующий день.

– Один из наших редакторов тоже был на симпозиуме, – сказал он мне, – так что мы в значительной степени получили материал. Но если вы дадите историю под каким-то интересным углом, напишите мне на электронную почту.

Интересный угол? Я смогла бы. Я села и пересмотрела свои заметки с симпозиума. Пытаться построить статью вокруг какого-нибудь выступления – не пойдет: любой, кто был на симпозиуме, смог бы сделать то же самое. Конечно, загадочные слова Уилера «Вселенная – это самонастраивающийся контур», «граница границы равна нулю» могли бы стать таким интересным углом, но я ведь понятия не имела, что, черт возьми, он имел в виду. Требовалось нечто иное.

И я поняла, что бы это могло быть. На протяжении всего симпозиума над всеми присутствующими гигантской тенью, словно от

невидимого слона, витал вопрос об антропном принципе.

Антропный принцип использует сам факт нашего собственного существования, чтобы объяснить некоторые свойства нашей Вселенной, ее размеры, физические константы, существование звезд и галактик. Если бы эти свойства были даже слегка другими, нас бы не было и некому было бы ими поинтересоваться. С одной стороны, антропный принцип является пустой тавтологией: мы существуем, следовательно, Вселенная – это то, что дает нам возможность существовать. С другой, он предлагает физикам способ объяснить, почему многие космические константы имеют такие чрезвычайно маловероятные значения – невероятные, но вполне пригодные для жизни.

Я села за компьютер и написала письмо, предлагая Филу небольшую статью под заголовком «Слова на А физикам не избежать». На конференции «Наука и окончательная реальность», написала я, физик Энди Альбрехт начал свое выступление, заверив зрителей: «Я не собираюсь использовать слово, начинающееся с буквы А».

Выражениями вроде «слово на А» заменяют слово «антропный», в котором ощущается некоторый неприятный религиозный смысл, поясняла я. Как будто Вселенную кто-то создал специально и только для нас. Это верно лишь в том случае, если наша Вселенная только одна. Логика здесь точно такая же, как и в случае с планетой Земля. Наша домашняя планета находится на идеальном расстоянии от Солнца, что позволяет воде оставаться в основном в жидком состоянии. Если бы Земля была ближе к Солнцу, то вода превратилась бы в пар, если дальше – превратилась бы в лед. Если бы Земля была единственной планетой в Солнечной системе, ее свойство обладать водой в жидком виде казалось бы нам чудом. Но если имеется целое семейство других планет, вращающихся на разных расстояниях от Солнца, то вряд ли можно считать чудом, что мы оказались на той из них, которая лучше всего подходит для жизни: мы здесь, потому что это единственное место среди множества других мест, в котором мы можем существовать. Таким же антропным отбором можно объяснить свойства Вселенной, пригодной для жизни. Цена такого объяснения – всего лишь несколько триллионов дополнительных вселенных. Но такое объяснение не всех устраивает. Физики хотят объяснить свойства Вселенной, опираясь на логическую и математическую неизбежность.

Они хотят, чтобы мир был таким, каков он есть, потому что только такой мир может существовать. В противоположность этому, согласно антропному принципу, вселенные могут быть любыми.

Так что, принимая это во внимание, все попытки не упоминать «слова на А» кажутся немного странными. «В конце концов, – писала я, – именно Уилер дал свое знаменитое описание *интерактивной Вселенной*, и ему принадлежит вопрос: „На каком еще принципе могла быть построена познаваемая Вселенная, кроме как на принципе познаваемости?“ Уилер не верил ни в то, что Вселенная была предназначена для нас, ни в то, что она – небольшой островок в огромной мультивселенной. Он считал, что Вселенная была предназначена для наблюдателей, поскольку именно наблюдатели как-то ее создали».

Я отметила, что на этой конференции премия конкурса молодых ученых в области физики в \$10 000 была вручена сотруднице Института теоретической физики «Периметр» в Канаде Фотини Маркопулу за ее работу по петлевой квантовой гравитации. В своей работе она доказывает, что космология должна описывать Вселенную так, как ее видит наблюдатель, находящийся внутри нее. В конце концов складывается впечатление, что чем глубже мы проникаем в тайны космоса, писала я, тем больше мы приближаемся к самим себе.

И я нажала «отправить».

Фил сразу же прислал ответ по электронной почте. Он пояснил, что тема антропного принципа уже поднималась на страницах журнала *Scientific American*, но их заинтересовала история с Фотини Маркопулу.

– Что вы знаете о петлевой квантовой гравитации? – спросил он.

Что я знала о петлевой квантовой гравитации? Чуть больше чем ничего. Я позвонила отцу и прочитала ему письмо.

– Ну, хорошо, – сказал он. – Ты все-таки попыталась.

– Попыталась? – возразила я. – Игра только начинается. Это был пробный выстрел!

– Ладно, но...

– У нас всего одна ночь, чтобы разобраться, что такое петлевая квантовая гравитация.

– Ты шутишь, – сказал он. – Почему одна ночь?

— Если я не напишу ответ завтра, то будет казаться, что я взяла тайм-аут, чтобы разобраться с этим. А все должно выглядеть так, будто я знаю про нее в совершенстве. У нас не так много времени — начинай читать и перезвони мне через несколько часов!

Как смогла, я попыталась собрать вместе все, что когда-то читала. Петлевая квантовая гравитация была попыткой объединения общей теории относительности и квантовой механики — двух столпов современной физики, каждый из которых казался достаточно надежным, но друг другу они противоречили. Только такое объединение открывало доступ к белому пятну на карте, где ничто превращается в нечто, где *H*-состояние становится миром. «Квантовая гравитация нужна, чтобы понять сингулярность, — написала я в блокноте. — Понять ничто». В петлевой квантовой гравитации пространство рассматривается с минимального расстояния, чтобы увидеть природу в максимально возможном приближении и разглядеть, какие драконы там водятся.

Уже то, что у природы есть предел для масштаба длин, довольно трудно понять. У меня в голове не укладывается, как это возможно — взять крошечный кусочек пространства и увеличивать его, увеличивать, все глубже и глубже всматриваясь в него, и достичь наконец глубин, дальше отстоящих от меня, чем вся видимая часть Вселенной, и все это прямо здесь, на кончике пальца. Другая вселенная, намного большая нашей Вселенной, уместается у меня на ладони! Только так не может продолжаться вечно. На масштабе одной миллионной миллиардной миллиардной сантиметра вы постучитесь в дно реальности. Извините, друзья, вы дошли до конца — до края Вселенной.

Пространство заканчивается на так называемом планковском масштабе, потому что здесь квантовая механика и общая теория относительности объединенными усилиями искривляют пространство-время до того, что оно рвется. Высокая плотность гравитационных сил производит море черных дыр, которые Уилер назвал «пространственно-временной пеной».

Это, на первый взгляд, противоречит интуиции: обычно, когда вы имеете дело с маленькими объектами, силы гравитации пренебрежимо малы. Сила тяжести действует на массу, и вам нужна довольно большая масса, прежде чем вы заметите притяжение. Даже на человеческом

масштабе силы тяготения не очень значительны. Магнит на холодильнике, прижимая лист бумаги, перевешивает притяжение всей планеты. А для протонов и электронов сила тяжести вообще едва ли существует.

Но при дальнейшем погружении вглубь материи положение вещей, как ни странно, начинает коренным образом меняться. Законы квантовой механики содержат лазейку, позволяющую крупным флуктуациям энергии возникать прямо из вакуума, при условии, что они живут не слишком долго. На более коротких временных масштабах энергия мерцает, то возникая, то исчезая в виде флуктуаций или виртуальных частиц. Чем более локализована частица в пространстве, тем больше ее импульс, тем выше ее энергия. Благодаря соотношению $E = mc^2$ чем больше энергия, тем больше масса частицы. По мере того, как вы приближаетесь на все меньшие и меньшие расстояния, виртуальные частицы становятся все более массивными, пока, на масштабе планковской длины, гравитационная сила по своей величине не сравнивается с другими силами. Энергия вступает в свои права, и гравитационное крещендо идет вразнос, вроде как при коллапсе массивной звезды в черную дыру. На расстояниях меньших, чем планковская шкала, гравитационный разгон становится патологическим. Вселенная поедает самое себя. Реальность лопаётся по швам. Прошедшее и будущее перемешиваются, далекое становится близким, в пространстве-времени наступает смятение и хаос, оно растворяется и исчезает. Уравнения искрят и с шипением исчезают, математика распадается в ничто. Словом, все летит в тартарары. Это конец света.

Теория петлевой квантовой гравитации – это модель пространства на планковских масштабах, перед тем как гравитация разрывает его на куски. Ли Смолин, еще один физик, сотрудник Института «Периметр» и основоположник этой теории, понял, что ситуация могла бы стабилизироваться, если бы пространство, как и материя, было своего рода атомарной структурой. Это означает, что при попытке рассмотреть область пространства во все большем и большем увеличении вы в конце концов упретесь в тупик – мельчайшее пространственное зерно, которое не может быть разбито на части, пространственный «атом», меньше которого уже ничего быть не может. Пока размер пространственного атома больше планковской длины, говорит Смолин,

сила тяжести будет оставаться под контролем. Его энергия может расти только до определенного предела, который не позволит посеять хаос и разрушения во Вселенной.

Листая книгу Смолина на эту тему, я обнаружила раздел, который привлек мое внимание. «Вселенная, – писал он, – должна рассматриваться как замкнутая система. Вселенная прекрасна и обладает причудливым строением. Но она не была сотворена кем-то, кто обитает за ее пределами. По определению, Вселенная – это все, что существует, и не может быть ничего вне ее. По определению, не могло ничего существовать до момента рождения Вселенной. Если что-то вызвало рождение Вселенной, то это что-то существовало и должно было быть частью Вселенной. Поэтому первым принципом космологии должно быть утверждение „нет ничего за пределами Вселенной“». Я не могла отделаться от мысли, что тот же принцип был бы справедлив по отношению к H -состоянию, поскольку оно, по определению, бесконечно и безгранично. У ничего нет ничего снаружи.

Мой отец прекратил читать примерно в 4.00 утра, но я продержалась за чтением всю ночь и утром написала самое лучшее письмо, какое только могла написать после бессонной ночи, предлагая свежий взгляд на теорию петлевой квантовой гравитации.

Но что-то все-таки меня беспокоило. На симпозиуме Маркопулу в своем докладе говорила не только об атомарной геометрии, но и о значении наблюдателей в квантовой Вселенной. «Физические космологические теории должны апеллировать к наблюдателям внутри Вселенной», – утверждала она, повторяя суть главного принципа Смолина. Вместо одного описания Вселенной извне лучшее, что мы можем получить, – это огромный массив частичных описаний Вселенной, сделанных изнутри нее. Теория квантовой гравитации, сказала она, должна содержать набор правил для переходов между ними. Космология Маркопулу, построенная на частичных ограниченных наблюдениях Вселенной, напоминала мне предположение Уилера о том, что наблюдатели участвуют в создании Вселенной. Имеет ли мир квантовой гравитации какое-то отношение к самонастраивающемуся контуру Уилера? Я была уверена, что, если мне удастся опубликовать статью в журнале *Scientific American*, то у меня появится шанс найти ответ на этот вопрос.

Я сидела за компьютером в редакции *Manhattan Bride*, когда пришел ответ от Фила. Прежде чем открыть электронное письмо, я оглянулась и убедилась, что Рик погружен в свои дела. «Привет, Аманда. Спасибо. Было бы вам интересно написать статью о Фотини Маркопулу?»

Я позвонила отцу, прижимая губы к телефонной трубке и прикрывая рот рукой так, чтобы Рик не мог слышать.

– Я пишу для *Scientific American*, – прошептала я. – Дело в шляпе.

Я запланировала встретиться с Фотини Маркопулу через несколько месяцев, когда она появится в Нью-Йорке. На следующее утро я зашла в офис сообщить, что увольняюсь.

– Ничего личного, – сказала я Рiku. – Просто я хочу написать о физике.

– Может, я смогу найти способ, чтобы ты могла писать про это здесь? – спросил он.

Я моргнула.

– В свадебном журнале?

Спустя час я снова была в метро. Я ехала в Бруклин. Когда поезд проезжал центр города со стороны Уолл-стрит, я начала склоняться к мысли, что решение бросить работу было, возможно, слишком эмоциональным поступком. Одной статьи недостаточно, чтобы платить по счетам. Но уже на Ист-ривер я была уверена, что сделала правильный выбор. Костным мозгом я знала, что это было начало чего-то бóльшего. За резкими переменами обязательно последуют новые приключения.

Мое волнение несколько усилилось, когда я позвонила моим родителям.

– Я знаю, что это было не самое ответственное решение, – сказала я сконфуженно. – Но я чувствую, что поступаю правильно.

– Ты должна доверять интуиции, – сказал отец. – Деньги – это полезно. А то, чем ты сейчас занимаешься, – *важно*.

Я слышала, как мама вздохнула.

– Тебе лучше бы было выйти замуж за врача.

Избавившись от необходимости каждый день ходить на работу, я посвятила все свое время чтению и размышлениям о физике. К

сожалению, для моих друзей и моего бойфренда, с которым я жила в то время, «думать о физике» было сродни банальному ничегонеделанию. Когда я пыталась объяснить, все вежливо кивали, но их вопросы выдавали глубокое убеждение, что я просто сошла с ума.

– А не думаешь ли ты, что, ни разу не побывав ни на одном уроке физики, ты можешь столкнуться со сложностями, посвящая физике свою жизнь? – спрашивали они.

– Время покажет, – отвечала я.

Чтобы не остаться совсем на мели, я работала несколько ночей в неделю гардеробщицей в ночном клубе у моего брата. Это было забавно. Под оглушительные звуки хип-хопа, в мини-юбке и на высоких каблуках, я сидела на полу, прислонившись спиной к горе модных пальто, и потихоньку читала о Вселенной.

Когда потеплело, я проводила вторую половину дня, сидя на крыльце с Кэссиди – моим черным лабрадором, купаясь в солнечных лучах, размышляя о реальности и готовясь к встрече с Фотини Маркопулу.

Я знала, что физикам нужна теория квантовой гравитации, поскольку общая теория относительности и квантовая механика не могли мирно сосуществовать в одной Вселенной. Но что именно сделало их столь безнадежно несовместимыми? Куда бы я ни посмотрела, я везде находила только технические тонкости: мир теории относительности – непрерывный, квантовый мир – дискретный; в теории относительности положение в пространстве-времени точно определено, а в квантовой теории – размыто. Это были препятствия, конечно, но не принципиально непреодолимые. Это было похоже на то, как если бы теория относительности предпочитала шоколад, а квантовая теория – ваниль. То есть совсем не так, как если бы теория относительности была протестантом, а квантовая теория – уткой.

Теория относительности, по сути, говорит о том, что такое пространство и время для разных наблюдателей. Все началось с простого вопроса, который сводил с ума шестнадцатилетнего Альберта Эйнштейна. Как будет выглядеть луч света для наблюдателя, перемещающегося со скоростью света вдоль этого луча? Будет ли он находиться в состоянии покоя, так же как автомобиль на соседней полосе выглядит стоящим на месте, если вы едете вместе с ним в одном направлении и с точно такой же скоростью? В уравнениях Джеймса

Клерка Максвелла электромагнитные волны, иначе известные как свет, всегда распространяются с одной и той же скоростью – 186 000 миль в секунду (или 300 000 км/с). Эйнштейн сразу увидел проблему. Для наблюдателя, перемещающегося со скоростью 186 000 миль в секунду, скорость света упадет до нуля. И что тогда? Электромагнетизм перестанет существовать? Вселенная закончится? Эйнштейн понял: чтобы во Вселенной не произошло светопреставление и чтобы законы электромагнетизма в равной степени действовали для любого наблюдателя, не должно существовать системы отсчета, в которой бы свет остановился. Такое возможно только в том случае, если для любого наблюдателя свет распространяется с постоянной скоростью 186 000 миль в секунду, независимо от того, как быстро движется сам наблюдатель относительно света. Неважно, насколько быстро вы передвигаетесь, – вы никогда не сможете поймать луч света. Даже если вы перемещаетесь с высокой скоростью вдоль светового луча, все равно световой поток будет неумолимо удаляться все с той же скоростью 186 000 миль в секунду. Горизонт отступает так же быстро, как вы приближаетесь.

Насколько безумно это звучит, не сразу заметишь. Скорость определяется пространством, которое что-либо пересекает за определенное время. Чтобы свет всегда двигался с одной и той же скоростью независимо от того, как быстро перемещается наблюдатель, пространство и время по отдельности должны изменяться от наблюдателя к наблюдателю. Общее расстояние в пространстве и времени в сочетании остается же для каждого наблюдателя постоянным – объединенное четырехмерное пространство-время, которое наблюдатели бороздят в различных направлениях, выбирая, какие координаты назвать пространством, а какие – временем, в соответствии с их индивидуальными точками зрения.

Эйнштейн знал, что должен существовать какой-то способ преобразования от одной точки зрения к другой, некоторое предписание, которое дает возможность представить, как одно и то же пространство-время выглядит для разных наблюдателей, поскольку, предположительно, есть только одна Вселенная. Когда он нашел такое предписание, он назвал его специальной теорией относительности. *Специальной* – потому что она работает только при условии равномерного и прямолинейного движения наблюдателей относительно

друг друга. Эта теория ничего не говорила о неравномерно перемещающихся наблюдателях или наблюдателях,двигающихся с ускорением. Из нее следует, что тот парень, который едет по Бедфорд-авеню с постоянной скоростью, окажется совсем в другой вселенной, чем тот парень, который разгоняет свой автомобиль рядом с ним, хотя оба находятся в Бруклине.

Для Эйнштейна это было почти трагедией. Он свято верил, что истинная природа Вселенной не зависит от произвольного выбора координат, что реальность едина, объединяя все наши частные точки зрения, что существует способ увидеть мир таким, каков он в действительности есть, сам по себе, независимо от того, кто на него смотрит и как при этом движется. Он отчаянно пытался слой за слоем снять с мира кожуру ложных представлений и добраться до истины, которая находится под ней. Для этого было необходимо найти способ, с помощью которого можно перейти от того, что видит инерциальный наблюдатель, к тому, что видит наблюдатель, движущийся с ускорением. Эта задача привела Эйнштейна к созданию его шедевра – общей теории относительности.

Я мысленно вернулась в ту ночь, когда общая теория относительности наконец обрела для меня смысл. Я тогда еще училась в школе. Поздней ночью мы сидели за кухонным столом с отцом. Это был один из тех редких моментов, когда что-то в мозгу щелкает, и все вокруг изменяется навсегда.

До того я читала обычные объяснения. Что постоянством скорости света пространство и время сшиты вместе в четырехмерный пространственно-временной континуум. Что массы или энергии в этом пространстве-времени вызывают деформацию его метрических свойств, определяют ландшафт склонов и долин, который мы называем гравитационным полем. Что то, что предстает перед нами как сила тяжести, в действительности является скрытой геометрией пространства.

Итак, гравитация – это не сила, это искривление пространства-времени. Все это говорят. Но я не вижу, в чем здесь суть. Конечно, «искривление пространства-времени» звучит загадочно и таинственно, как и «гравитационные силы». Это было как замена одного фантома на другой.

– Взгляни на это с другой стороны, – сказал отец, открыв чистый лист бумаги в одном из желтых блокнотов, которые всегда лежали у нас на письменном столе.

– Вот диаграмма Вселенной, – он начертил прямым углом систему координат, где вертикальной осью обозначалось время, а горизонтальной – пространство.

– Вот тут, – он провел рукой по чистому полю внутри нарисованного угла, обрамленного осями координат, – четырехмерный пространственно-временной континуум. Предположим, я двигаюсь сквозь пространство-время с постоянной скоростью. Это – я.

Он провел прямую линию по диагонали:

– А ты двигаешься с какой-то другой, но тоже постоянной скоростью, вот здесь.

Он провел вторую прямую линию немного под другим углом.

– Но мы оба наблюдаем один и тот же мир. Он может выглядеть по-разному для каждого из нас, мы каждый по-своему измеряем расстояния и время, и то, что выглядит пространством для тебя, может выглядеть как время для меня... но, в конечном счете, это же просто один мир, который описывается с двух различных точек зрения, верно? Так, специальная теория относительности дает уравнения, которые позволяют поворачивать мой путь в пространстве-времени, пока он не совпадет с твоим. Это преобразования Лоренца. Ты можешь вращать систему координат до тех пор, пока одна линия идеально не совпадет с другой. Это говорит о том, что мы наблюдаем один и тот же мир.

– Ладно, – сказала я.

Было любопытно посмотреть, к чему он клонит.

Он перевернул лист желтой бумаги и быстро начертил новые оси координат.

– Итак, я снова здесь, – сказал он, проводя прямую под углом. – Но ты на этот раз двигаешься с ускорением. Мировая линия ускоренного движения в координатах пространства-времени изогнута, потому что ты проходишь все большие расстояния за все меньшее время.

Он нарисовал кривую линию, которая устремилась вверх к правому углу страницы.

– Теперь представь себе, как повернуть кривую, чтобы она совпала с моей прямой линией.

Я на минуту задумалась:

– Это невозможно, – сказала я. – Кривая никогда не сможет совпасть с прямой линией.

– Но это возможно, – возразил он. – Эйнштейн знал, что должна существовать такая возможность, потому что есть только одна Вселенная. Если мы не можем получить из кривой прямую, это означает, что мы с тобой видим совершенно разные миры только потому, что я двигаюсь с постоянной скоростью, а ты с ускорением.

– Эйнштейн открыл, как можно кривую линию преобразовать в прямую?

– Ага. – Отец посмотрел на меня, ухмыляясь. – Сверни лист бумаги.

Вдруг все прояснилось. Это было как озарение. Где-то хор пел «Аллилуйя!» Согнуть бумагу! Если вы свернете лист бумаги так, как нужно, вы можете превратить кривую линию в прямую. Гравитация эквивалентна сворачиванию листа бумаги. Общая теория относительности одновременно чрезвычайно глубока и невероятно проста – классический случай нестандартного мышления.

– Этот Эйнштейн был какой-то дьявольский гений, да? – спросила я.

– Изгиб бумаги, то есть пространства-времени, называется диффеоморфным преобразованием, – сказал отец. – Мы должны уметь искривлять пространство-время, чтобы каждый видел одну и ту же реальность. В нашем четырехмерном пространстве-времени мы видим кривизну как гравитацию.

Общая теория относительности говорит, как склеить обратно реальность, разбитую различными точками зрения. Мы можем находить соответствие между наблюдениями, сделанными в инерциальных и ускоренных системах координат. Для этого нам просто нужна сила тяжести. Инерциальная система отсчета в гравитационном поле эквивалентна ускоренной системе без гравитационного поля. Это означает, что в самом ускорении нет ничего принципиально нового и что все наблюдатели, независимо от состояния их движения, равноправны. Вселенная выглядит по-разному в зависимости от той или иной точки зрения, но в конечном итоге есть только одна окончательная реальность.

Квантовая теория оказалась посложнее. Все книги по физике, которые я прочитала, предупреждали, чтобы я не впадала в уныние, когда мой мозг плавится в попытках понять ее. Если квантовая теория покажется сумасбродной, предупреждали они, не надо волноваться. Она таковой и является. Как бы подкрепляя сказанное, те же книги цитировали некоторых гениальных физиков, которые признавались, что никто не понимает квантовой физики, и если этого было недостаточно, чтобы утешить читателя, они в качестве неоспоримого аргумента приводили некоторые возражения Эйнштейна.

Но мне не очень нравится, когда тебя гладят по головке и говорят: не волнуйся, если ничего не понимаешь. Квантовая теория – это такая мистерия? Или это и в самом деле *наука*?

После прочтения большого количества так называемых объяснений теории мне стало ясно, что все мои надежды на понимание квантовой механики держались на одном-единственном эксперименте: с прохождением света через двойную щель. Он состоит в следующем.

Физики направляют луч лазера на экран с двумя параллельными щелями. Свет проходит через щели и попадает на фотопластинку, расположенную за экраном. Если свет состоит из частиц – а Эйнштейн уже доказал, что это так, – следовало бы ожидать два пятна света напротив каждой щели. Но вместо этого вы увидите череду светлых и темных вертикальных полос, похожих на штрих-код.

Физики поняли, что могут объяснить появление штрих-кода, предположив, что свет – это волна, которая дробится на две части при прохождении через щели и затем восстанавливается при сложении этих двух частей за экраном. Когда части волны складываются, они не обязательно попадают в фазу. В местах, где эти две волны находятся в фазе, они усиливают друг друга, давая яркую полосу света, регистрируемую пластинкой. В местах, где они находятся в противофазе, они взаимно уничтожаются, и остаются только темные полосы.

Ну, хорошо, все это кажется немного странным, но это ерунда по сравнению с тем, что происходит дальше. Физики повторяют эксперимент, уменьшив интенсивность лазера до уровня одного фотона в импульсе света, производимого лазером. После каждого такого импульса на фотопластинке за экраном, как и ожидается, появляется новая точка. Так продолжается до тех пор, пока на фотопластинке не

прорисуется изображение, состоящее из множества точек. Оказывается, проходя через щели в экране, импульсы лазера медленно, но верно создают ту же интерференционную картину, состоящую из светлых и темных полос.

На основе этого опыта во всех книгах делается вывод о том, что свет ведет себя и как частица, и как волна — это так называемый корпускулярно-волновой дуализм; но при измерениях свет — всегда *частица*. Единичный фотон неизменно будет зарегистрирован в одной конкретной точке. Только когда вы попытаетесь построить распределение этих точек на поверхности, вы обнаружите, что свет — это волна.

Волна, которая описывает квантовую частицу, — это математическая волна, волновая функция. Если физические волны переносят энергию, то математические волновые функции переносят вероятность. Квадрат амплитуды волновой функции в любой точке пространства определяет вероятность нахождения в этой точке частицы. Если сделать достаточно много измерений положений точек света в пространстве, то получится карта распределения вероятности.

Насколько я могу судить, то, что распределение вероятности для одной частицы можно представить в виде волны, не так уж и странно. Странно то, что интерференционная картина возникает даже в том случае, когда фотоны летят поодиночке. Распределение вероятности, изображаемое чередованием светлых и темных полос, не закодировано в волновой функции единичного фотона — такое распределение получается в результате сложения двух волновых функций. Можно подумать, что один фотон проходит одновременно через обе щели и его волновая функция делится на две. Складываясь за экраном, они интерферируют друг с другом, и в результате получается новая волновая функция. В этом случае отдельные фотоны будут распределены в соответствии с новой волновой функцией, отчего и возникают чередующиеся светлые и темные полосы.

Если закрыть вторую щель и повторить эксперимент с однофотонными импульсами света, то интерференционная картина исчезает. Распределение интенсивности светового пятна на фотопластинке будет соответствовать волновой функции единичного фотона. Интерференционные полосы появляются только в случае, когда обе щели открыты.

Наконец, книги повествуют еще об одном варианте того же эксперимента, который физики проводят в попытке понять, каким образом фотон проходит через обе щели сразу. Они оставляют обе щели открытыми, но на этот раз снабжают их детекторами, которые срабатывают, определяя, через какую из щелей проходит фотон. Затем лазер снова включают в однофотонном режиме и направляют луч на экран с двумя щелями, которые до этого давали интерференционную картину. Но на этот раз на фотопластинке появляются два пятна, соответствующих волновой функции единичного фотона. Как если бы фотон знал, что это за ним следят.

«Ладно, – подумала я. – Это было то, о чем меня предупреждали: запах вскипающих мозгов. Он *действительно* знает, когда за ним следят?»

Нет, конечно: фотон не знает ничего. Но как вы объясните то, что происходит? Действительно ли фотон может находиться в двух местах одновременно, когда никто на него не смотрит, и в одном, если кто-то следит за ним? Что значит – наблюдать за фотоном? И почему наши наблюдения так влияют на исход эксперимента?

«Эксперимент с двойной щелью, в сухом остатке, – записала я в своем блокноте. – Почему распределения вероятностей одиночных фотонов дают интерференционную картину, как если бы фотон проходил оба пути одновременно? И почему интерференционная картина исчезает при попытке измерить, какой из двух путей выбирает фотон?»

Различные физики видели эту ситуацию по-разному. Фейнман, например, говорил, что когда мы не наблюдаем за частицами, они действительно проходят по двум траекториям одновременно. Бор, в свою очередь, утверждал, что если мы не производим наблюдение, у нас нет права говорить что-либо о частице. До тех пор, пока мы не проводим измерение, говорил Бор, у частицы нет определенного положения в пространстве. До тех пор, пока мы ее не измерили, она даже не частица. Она еще не стала чем-то вообще. Но если частицы не становятся чем-то до тех пор, пока их не измерят, что именно интерферирует, образуя интерференционный узор? Полосы нереализованных альтернатив? Нагромождение событий, которые могли бы случиться, да никогда в полной мере и не произошли?

Нет сомнений, что-то случается в тот момент, когда мы выполняем измерения: стоит выяснить, какой путь выбирает фотон, и интерференционная картина исчезает. Но квантовая теория сама по себе не описывает ничего подобного. Она не говорит ни слова об измерениях вообще. Согласно теории, все описывается с помощью волновых функций: фотон, щели, детекторы, фотографические пластинки и даже физик, проводящий эксперимент. Согласно теории, когда фотон проходит через детектор, его волновая функция накладывается на волновую функцию детектора. Система «фотон плюс детектор» описывается новой комбинированной волновой функцией, описывающей одновременно два состояния – «да, фотон прошел через эту щель» и «нет, фотон не проходил через эту щель». Согласно теории, когда физик проверяет показания детектора, его волновая функция накладывается на комбинированную волновую функцию фотона плюс детектор, образуя нагромождение вероятностей событий: «физик видит, что детектор А зарегистрировал фотон» и «физик видит, что детектор А не зарегистрировал фотон».

Вселенная, согласно квантовой теории, – это просто нагромождение суперпозиций. Иногда мы наблюдаем это в странном чередовании полос. Но мне никогда не приходилось оказываться и на Манхэттене и в Бруклине одновременно или повесить одно пальто сразу на несколько вешалок. Если мир действительно такой квантовый, где все эти одновременно живые и мертвые кошки?

Физики называли это проблемой измерения: в волновой функции закодировано множество возможных состояний, но лишь одно из них дано нам в измерении. Что происходит в процессе измерения, из-за чего распределение вероятностей, описываемое волновой функцией, сводится к одному конкретному исходу? Как из множества разрешенных волновой функцией состояний выбирается одно? Действительно ли выбор происходит случайно и беспричинно? Действительно ли мир на своем самом фундаментальном уровне случаен? Эйнштейн не верил в случайность, но Вселенную, похоже, этот факт не волнует.

Бор утверждал, что квантовые явления, например частицы, обретают реальные свойства только после того, как происходит их измерение; нет смысла даже спрашивать, в каком состоянии они находились до этого. Нет никакого таинственного коллапса волновой

функции, говорил он, потому что нечему коллапсировать. Бор не верил, что наблюдатели магическим образом оказывают влияние на результаты экспериментов или создают реальность в результате работы мысли – любой результат измерения объективен независимо от измерительного устройства, будь то детектор или фотопластинка или человеческий глаз.

Нельзя сказать, что он не понимал, насколько серьезной была эта проблема, требуя, как он писал, «радикального пересмотра наших взглядов на проблему физической реальности»^[9]. Но в каком-то смысле тот факт, что свойства определялись относительно наблюдателя, не сильно отличался от постулатов теории относительности Эйнштейна, – это Бор с радостью отметил, когда Эйнштейн настаивал на том, что квантовая теория не могла быть полным описанием реальности. «Мне нравится думать, что Луна существует, даже если я не смотрю на нее», – говорил Эйнштейн. В ответ на это Бор писал, что «пересмотр наших взглядов на физическую реальность», которого требует квантовая теория, «может быть поставлен в параллель с тем фундаментальным изменением всех представлений об абсолютном характере физических явлений, который был вызван общей теорией относительности»^[10]. Другими словами, *квантовая теория, конечно, изнасиловала реальность, но это вы первые начали.*

На деле в квантовой теории было что-то гораздо более странное, чем в теории относительности. По крайней мере, в теории относительности существует некая фундаментальная реальность – единое четырехмерное пространство-время, которое просто по-разному выглядит в разных системах отсчета, связанных с наблюдателями, и теория Эйнштейна любезно предлагает инструменты, такие как преобразования Лоренца или диффеоморфные преобразования для перехода между различными системами. Но что является фундаментальной реальностью в квантовой теории? В этой теории как будто не существует реальности вовсе, пока кто-то не сделал измерения.

Конечно, если бы это было так, то не существовало бы наблюдателей, чтобы провести измерения. Наблюдатель сам должен обитать в реальном мире. В этом состояла основная проблема с интерпретацией Бора. Если измерения определяют реальность, то измерительный прибор должен находиться вне реальности, что даже в

сумасшедшем квантово-механическом мире выглядит абсолютно невозможным. Кроме того, любой измерительный прибор, включая самого человека, в конечном счете состоит из субатомных частиц, и проведение какой-либо онтологической грани между ними просто вызывает приступ шизофрении.

Утверждение, что частица не имеет никаких «реальных» свойств до тех пор, пока кто-то не измерит их, выглядит особенно странно, когда понимаешь, что некоторые свойства не могут быть измерены одновременно. Это означает, что определенные свойства не могут существовать одновременно. Например, положение в пространстве и импульс частицы. Не существует никакого мыслимого способа измерить одновременно и положение частицы в пространстве, и ее импульс с идеальной точностью. Если вы хотите точно измерить положение частицы, то вам необходимо жестко зафиксированное измерительное устройство, которое не будет двигаться, когда частица столкнется с ним, в противном случае его движение исказит результат измерения. Но если вы хотите точно измерить импульс частицы, то для этого лучше выбирать измерительное устройство, способное легко двигаться при попадании в него частицы, так что его откат регистрирует импульс, переданный частицей.

Неважно, как вы проводите эти измерения: они в любом случае взаимно исключают. Чем точнее вы знаете положение частицы в пространстве, тем менее точно вы знаете ее импульс. И это не просто практический вопрос. Это не просто потому, что вы не можете измерить то и другое сразу. Частица не может иметь их одновременно. Соотношение неопределенности между координатами и импульсом лежит в основе квантовой теории. Волновая функция частицы в координатном представлении и волновая функция той же частицы в импульсном представлении являются Фурье-образами друг друга – это два в равной степени пригодных, но взаимоисключающих представления одного и того же. Выбрав одно из них, надо забыть о другом. Распределение вероятностей, закодированное в волновой функции, отражает факт такого взаимного исключения. Если вы предположите, что частица обладает одновременно определенным импульсом и определенным положением в пространстве, то полученное распределение вероятностей приведет к расхождению с экспериментом. Другими словами, вы можете делать вид, что все это чисто техническая

проблема, отражающая наши ограниченные возможности проводить измерения, а вовсе не фундаментальные свойства реальности, но тогда вы будете получать ошибки.

Таково положение вещей. Частица не может одновременно обладать точно определенными положением в пространстве и импульсом, но наблюдатель может измерить одно из них и волен выбрать то свойство частицы, которое необходимо измерить. Мораль: не существует реальности в обыденном смысле, скрывающейся за квантовой сценой, не существует никакого объективного эйнштейновского мира, который не зависит от наблюдателя. Есть просто вещи, которые мы измеряем. Это походит на парадокс, но, как говорил Фейнман: «парадокс» – это только конфликт между реальностью и ощущением того, что, как мы полагаем, «должно реальностью быть».

Мне было ясно, что в нашей охоте за окончательной реальностью нам с отцом надо быть готовыми к тому, что земля вдруг уйдет у нас из-под ног. Реальность, согласно квантовой теории, – это совсем не фунт изюму, это не привычный нам уютно освещаемый луною мир, который мы знали. Но было также ясно, что Бор и его последователи еще не сказали последнего слова в интерпретации теории – поскольку не существует четкого разграничения между наблюдателем и наблюдаемым миром. Если, предположительно, эта мнимая разделительная линия отмечает место рождения реальности, то было бы важно узнать, что происходит с реальностью, когда эта разделительная линия стирается.

Было также понятно, что нам необходимо внимательно рассмотреть значение и роль «наблюдателей» в целом. Как теория относительности, так и квантовая теория изменили роль, которую наблюдатели играют в физике – наблюдатели не в смысле люди или сознательные существа, но наблюдатели в смысле точки зрения. Теория относительности учит нас, что мы не можем говорить о пространстве и времени без указания системы отсчета. Независимо от наблюдателя эти понятия теряют всякий смысл, поскольку время одного наблюдателя может превратиться в пространство другого. Квантовая механика учит нас, что мы не можем говорить о свойствах материи, не определив сначала, что именно мы измеряем – положение в пространстве, например, или импульс. В сердце обеих теорий одно прозрение: важно

направление взгляда. По некой, пока еще неизвестной причине, точка зрения определяет не только то, как мы видим мир, но и сам мир.

Во всяком случае, в этом они совпадают. А в чем же корень их несовместимости? Почему же те «сумасшедшие ребята»^[11] так и не смогли заставить идею работать?

Лето в Нью-Йорке было в разгаре, когда мне наконец удалось увидеться с Фотини Маркопулу. Мы договорились о встрече в холле отеля *Tribeca Grand*. По моим представлениям, там у нас были неплохие шансы найти спокойное местечко, хорошо охлаждаемое кондиционером – к тому времени я уже научилась ценить эту роскошь. В моей бруклинской квартире ее не было, и я брала книгу и блокнот с собой в ванну, чтобы не перегреться.

Я приехала на встречу заранее и заняла столик в углу. Было слишком рано для аперитива или ужина, поэтому зал был почти пуст, только несколько человек сидели кто тут, кто там, болтали, читали журналы, потягивая ледяные напитки, прячась от солнца в затемненном зале, чтобы хоть немного отдохнуть от безжалостной жары.

Маркопулу вошла неторопливо, в длинной юбке и сандалиях. Сейчас она показалась мне красивее, чем тогда на конференции, греческие черты ее лица поражали, как и длинные, блестящие черные волосы. Сейчас, мне казалось, она выглядела даже моложе. Она была лет на десять меня старше, но в это было трудно поверить. Для физика на четвертом десятке она казалась практически ребенком – ее внешность никак не выдавала ее профессии. Когда я кому-то рассказываю, что занимаюсь физикой, это всегда вызывает некоторое недоумение, и я подумала, что Маркопулу должно быть хорошо известно, каково это. Я улыбнулась про себя, зная, что любой, кто взглянул бы на нас двоих, легко мог предположить, что мы разговариваем о парнях или о моде, но никак не о микроскопической структуре пространства-времени. Не то чтобы мне не нравилось говорить о парнях и о моде. Но сегодня мы говорили о петлевой квантовой гравитации.

Я встала, чтобы поприветствовать Маркопулу, пожала ей руку и сказала, как это здорово, что нам наконец удалось встретиться лично. Если ее и шокировал мой возраст, она не подала вида. Она расположилась на диване рядом со мной, и мы заказали себе

прохладительных напитков. После нескольких дежурных фраз я обрушила на нее шквал вопросов. Я была уверена, что она с легкостью разгадает во мне неопита, но не придавала этому значения. Я была слишком взволнована самой возможностью получения знаний непосредственно из уст физика. Кто знал, представится ли мне когда-нибудь такой шанс снова?

Маркопулу объяснила мне основные трудности на пути объединения общей теории относительности с квантовой механикой. Именно Уилер первым серьезно отнесся к необходимости общей теории и сделал смелую попытку применить квантовую теории ко Вселенной в целом. Может показаться, что не было никакой нужды так изошряться, поскольку квантовая теория имеет дело с микроскопическими объектами, а не со вселенными. Но, как признавал даже сам Бор, нет четкой границы, отделяющей квантовый мир от классического, и нигде вы не встретите билборд с надписью «Добро пожаловать в неквантовый мир!» Да, квантовая механика требует разделения между квантовой системой и прибором, между наблюдаемым и наблюдателем, между тем, что внутри, и тем, что снаружи. Но теория никогда не говорит нам, как провести эту разделительную линию. Эта линия как движущаяся мишень: она может проходить где угодно и перемещаться в область все бóльших размеров. Если у реальности где-то квантовая природа, то она везде квантовая. И не в некоторой области длин, а всегда, на любых масштабах.

Конечно, в обычной квантовой механике вы можете хотя бы делать вид, что у вас есть граница между наблюдателем и наблюдаемым, произвольно разделив Вселенную на две части и назвав одну часть измерительным прибором, а другую – квантовой системой. Но когда дело касается всей Вселенной в целом, вы даже не можете имитировать такую процедуру. Вселенная по определению включает в себя все пространство-время целиком, полный комплект всего, что существует. Для нее невозможно никакое «снаружи». А нет «снаружи» – нет и наблюдателей.

Квантовая космология родилась, когда Уилеру пришлось скоротать несколько часов между рейсами в аэропорту. Был 1965 год, и он ждал пересадки в Северной Каролине. Он попросил своего коллегу и друга физика Брайса Девицка, который по воле случая в то время жил неподалеку, составить ему компанию на несколько часов в аэропорту.

Там они написали уравнение, которое Уилер назвал уравнением Эйнштейна – Шрёдингера, но оно более известно как уравнение Уилера – Девитта, и сам Девитт со временем стал называть его «это проклятое уравнение».

Это проклятое уравнение должно было решить проблему, которая обрекла на неудачу все предыдущие попытки квантования общей теории относительности. В квантовой механике время существует независимо от квантовой системы, вне ее, а часы находятся в том маловразумительном «неквантовом мире», будучи такой же частью «измерительного прибора», как и сам наблюдатель. Волновая функция описывает мгновенное состояние физической системы в каждый конкретный момент времени, эволюционируя в соответствии с уравнением Шрёдингера. Когда же дело касается пространства-времени, то говорить о его мгновенном состоянии становится невозможно, потому что пространство-время уже содержит все мыслимые мгновения. Пространство-время не может изменяться со временем, поскольку оно само и есть время. Кажется, что остается единственный способ выйти из положения: отделить от четырехмерного пространства-времени три пространственных измерения и одно временное, а затем описать пространственное распределение волновой функции, которая теперь может эволюционировать по отношению к измерению, называемому «время».

Однако в такой процедуре теряется нечто очень важное. А именно – главное свойство общей теории относительности, так называемый принцип общей ковариантности, который, в частности, гласит, что не существует предпочтительного способа разбивать пространство-время. Всякая система отсчета равноправна по отношению к любой другой системе отсчета, не существует способа выделить какую-то одну, в том или ином смысле лучшую, чем остальные. Разные наблюдатели могут разбивать пространство-время по-разному. Если мы решили квантовать только три пространственных измерения, нам придется отделить «пространство» от «времени». Но чье это будет пространство? И чье время? Любой выбор предполагал бы, что один из наблюдателей видит реальность в более правдивом свете, чем все остальные. А так быть не может: для Эйнштейна это было важнее всего, чтобы законы физики были одинаковы для всех.

Уилер и Девитт нашли выход. В их проклятом уравнении – аналоге уравнения Шрёдингера для пространства-времени – принцип общей ковариантности не нарушен, все наблюдатели в равных условиях, физические законы одинаковы для всех, и все бы в квантовой Вселенной было хорошо, да возникла одна загвоздка. Уравнение требовало, чтобы полная энергия Вселенной точно равнялась нулю.

Само по себе это не было таким уж странным: если Вселенная действительно возникла из ничего, то ее полная энергия должна равняться нулю. Но в квантовой механике это не так уж и бесспорно. Как положение в пространстве и импульс связаны принципом неопределенности – чем точнее вы знаете одно, тем менее точно знаете другое, – так же принципом неопределенности связаны время и энергия. Как только вы определили энергию квантовой Вселенной с бесконечной точностью, вам лучше распрощаться со временем.

Уилер и Девитт преуспели в спасении попыток квантования пространства-времени, но дорогой ценой: в конечном итоге в квантовой Вселенной время оказалось заморожено, мы застряли в одном вечном мгновении. Это была Вселенная в подвешенном состоянии – не существовало никаких гигантских часов, отсчитывавших одну абсолютную секунду за другой, давая нам возможность жить в мире, в котором время действительно что-то значит, в котором хоть что-то иногда меняется.

Если вы задумаетесь об этом, то для вас станет очевидно, что не существует никакого способа сохранить принцип общей ковариантности во Вселенной, которая изменяется во времени. Это две взаимоисключающие идеи, потому что если вся Вселенная развивается во времени, она должна развиваться относительно системы отсчета, которая находится за пределами Вселенной. Такая система отсчета становится выделенной, и мы тем самым нарушаем принцип. Так что выбирайте что-нибудь одно из двух.

Во время разговора с Маркопулу мне пришло в голову, что само понятие «Вселенная как целое» может быть так же бессмысленно. Вы не можете говорить о «Вселенной в целом», не подразумевая несуществующую систему отсчета за пределами Вселенной.

Проблема замороженной Вселенной Уилера и Девитта тесно связана с проблемой измерения в квантовой механике. Квантовая система находится в своем призрачном неопределенном состоянии до

тех пор, пока наблюдатель или измерительный прибор не произведут измерения, подвергнув коллапсу волновую функцию всех возможностей и оставив одну действительность. Но если квантовой системой является сама Вселенная, то кто может проводить над ней измерение? Опять проблема сводится к тому, что никто не может выйти за рамки Вселенной, повернуться и посмотреть назад.

– Это скользкий вопрос, – сказала Маркопулу. – Кто наблюдает за Вселенной?

Космос – это полумертвый, полуживой кот. Почти действительный, но никогда не реальный.

Маркопулу пояснила, что она намеревалась решить проблему квантовой космологии, не угодив в ловушку проклятого уравнения и взяв на вооружение призыв Смолина: «первый принцип космологии должно быть такой: „нет ничего за пределами Вселенной“». Без часов, без наблюдателей. Без божественной выделенной системы наблюдения. «Как странно, – подумала я, – Вселенная – это единственный объект, у которого есть что-то внутри, но нет ничего снаружи». Это напомнило мне строки из стихотворения Борхеса:

И мир – лишь орел без решки,
Монета с одной стороною^[12].

Вселенная – это и есть «монета с одной стороною».

Невозможный объект, как лестница Эшера или треугольник Пенроуза. Квантовая космология – это наука невозможных объектов.

Маркопулу верила, что у этой проблемы есть решение, и это означало радикально новый взгляд на вещи.

– Любая удовлетворительная квантово-теоретическая космология должна опираться на наблюдения, которые могут быть сделаны наблюдателями, находящимися внутри Вселенной, – сказала она. – Без уравнения Уилера – Девитта, без волновой функции Вселенной.

Под наблюдателями при этом понимаются, как она пояснила, не люди или какие-то иные разумные существа, а просто различные системы отсчета, то есть возможные точки зрения. И квантовая космология, которая оперирует только внутренними наблюдателями, понимаемыми как системы отсчета, требует от нас изменения одной вещи, которая кажется принципиально неизменной, – логики.

Вы, конечно, думаете, что логика – это логика, логика и еще раз логика, вечная и нерушимая. Но если это было бы так, то обычной логике не требовалось бы имя собственное. А оно имеется – булева логика. Это логика, состоящая из бесчисленных утверждений типа «если P , то Q », она известна также как бинарная логика, логика истинного или ложного, в которой надо выбирать между да и нет, 0 или 1, черным или белым.

Но квантовой космологии нужны оттенки серого. Эту потребность Маркопулу объяснила очень просто: скорость света конечна. Всякий раз, когда мы что-то наблюдаем, свет должен приходить к нам от объекта, и это требует времени. Свет распространяется со скоростью 186 000 миль в секунду, или 300 000 км/с. Ему нужно восемь минут, чтобы от Солнца достичь Земли – глядя на солнце на земле, мы как бы заглядываем на восемь минут в прошлое. Глядя на звезды, мы оглядываемся назад на тысячи лет, а наводя на них телескоп, мы попадаем в прошлое на миллиарды лет. Но и это еще не все: существуют звезды, свету которых не хватило всего времени существования Вселенной с самого момента Большого взрыва, чтобы до нас добраться. Если подождать достаточно долго, часть его до нас дойдет. Но при конечной скорости света всегда будут области Вселенной, которые мы не можем видеть.

Маркопулу пояснила, что часть Вселенной, которую я вижу, называется моим световым конусом – это растущий со временем шар. Если рисовать его в пространственно-временных координатах на желтых листах бумаги из отцовского блокнота, то мы бы увидели последовательность окружностей, увеличивающихся в диаметре по мере того, как они двигаются вверх вдоль оси времени, образуя конус. Если событие находится в моем световом конусе, то я могу его увидеть, если нет – то не могу. Я знаю, что мой световой конус должен быть довольно большим, ведь прошло уже почти четырнадцать миллиардов лет с момента рождения Вселенной. Но все же испытываю некоторую клаустрофобию.

– Давайте посмотрим, что мы можем сказать о каком-нибудь событии, например взрыве сверхновой, – продолжала Маркопулу. – Этому событию можно присвоить одно из двух возможных значений – «да» или «нет». Оно либо происходит, либо не происходит. Такой способ рассуждений о наблюдаемых событиях подсказывается булевой

логикой. Но давайте спросим, произошел ли взрыв сверхновой звезды для данного наблюдателя? Существуют следующие возможности. Если сверхновая находится в его прошлом, мы можем сказать «да». Другая возможность заключается в том, что сверхновая не в его прошлом, но если подождать достаточно долго, то ее удастся увидеть. Ответ тогда – «да, но позднее». Еще одна возможность заключается в том, что сверхновая взорвалась так далеко от наблюдателя, что он никогда ее не увидит, и тогда это «нет». Тот факт, что вспышка сверхновой была, не имеет значения, потому что вопрос формулировался *для данного наблюдателя*. Так что в отличие от прежнего способа рассуждений, когда были только два возможных значения – «да» и «нет», сейчас мы получили целый спектр возможностей.

Этот новый вид небулевой логики называли интуиционистской логикой, как пояснила Маркопулу, и, услышав это название, я поперхнулась, сдерживая смех: трудно придумать что-нибудь, больше противоречащее интуиции. Эта логика существовала как своего рода логическая игра среди математиков, и Маркопулу была среди первых, кто применил ее в космологии.

Я начинала понимать, почему сделанное ею произвело такое большое впечатление на жюри конкурса молодых ученых во время конференции, посвященной юбилею Уилера. Она поместила крошечные световые конусы в вершины дискретной решетки квантового пространства, позволив структуре световых конусов определять эволюцию всей этой конструкции, применила правила интуиционистской логики в математической форме, известной как алгебра Гейтинга, сформулировала правила перехода от одного наблюдателя к другому, и – вуаля! – получилась квантовая космология, в которой ни наблюдатели, ни часы, находящиеся за пределами пространства-времени, не требуются. Строго говоря, это не было квантовой космологией. Это не квантовое описание Вселенной; это квантовое описание *вселенной каждого индивидуального наблюдателя*.

Несколько часов, казалось, пролетели незаметно. Мне было неловко, что я отняла у нее так много времени, но это был мой первый разговор с физиком с глазу на глаз, и не исключено, что последний, поэтому мне было важно выяснить все, что только можно. И я была рада, что она не попыталась воспользоваться своим квантовым туннелем, чтобы ускользнуть от меня и моих непрекращающихся

вопросов. Я закончила разговор, спросив ее, что она думает о юбилейном симпозиуме Уилера.

– Я никогда не была на таких конференциях, – сказала она. – Люди просто вставали и говорили то, что они действительно думали. Так вообще-то не бывает. Это все благодаря Джонни Уилеру. Он не только поднимал большие, важные проблемы, он еще очень доброжелательно принимал людей. Мы не часто так подбадриваем людей, говорящих что-то рискованное. Обычно мы стремимся находить в их рассуждениях ошибки. Научное сообщество – это кучка мальчишек, которым хотелось бы выглядеть умными.

Мы рассмеялись, вышли на залитую солнцем улицу и распрощались. Я направилась в Сохо, чтобы успеть на поезд в Бруклин. Я не могла дожидаться момента, когда залезу в ванну и начну писать.

Пока я шла к метро, мой мозг гудел. Мне еще до этой встречи пришло понимание, что и теория относительности, и квантовая механика пытались сказать одно и то же: причина наших трудностей в попытке описать мир с позиций невозможного Бога-наблюдателя, взгляда из ниоткуда. Мы должны определить систему отсчета, наблюдателя. Но теперь наконец я поняла реальное противоречие между двумя теориями. Весь бардак можно суммировать в одном вопросе: а где наблюдатель?

В общей теории относительности наблюдатели должны быть внутри системы, так как «система» – это все пространство-время, и теория должна учитывать каждый бзик, который возникает как следствие их различия в системах отсчета. Это закрытое автономное целое. Квантовая механика, со своей стороны, имеет дело с открытыми системами, и наблюдатель должен быть вне их, чтобы делать измерения, превращая возможность в реальность. Если вы хотите объединить их в единую теорию, вы должны сперва выяснить, где находится наблюдатель: внутри или снаружи. Квантовая гравитация собирается поднять вопрос об этой опасной уловке-22^[13]: поместив наблюдателя вне Вселенной, вы нарушаете принцип общей ковариантности; если держать наблюдателя внутри, то коллапс волновой функции Вселенной будет невозможен.

Казалось очевидным, что первый вариант едва ли можно считать вариантом вообще: не существует наблюдателя, находящегося вне

пространства и времени. Поэтому вопрос, казалось бы, сводится к тому, как квантовая механика работает в замкнутой системе. А может быть, квантовая механика вовсе не виновата? Может быть, квантовая космология пытается сказать нам, что не существует замкнутой системы? В конце концов, в модели Маркопулу Вселенная – это просто набор открытых систем, каждая из которых определена для своего собственного наблюдателя. Но если не существует единой замкнутой системы, то как быть с реальностью? Со Вселенной в целом?

Имеет ли вообще смысл говорить о Вселенной в целом, или само это понятие требует невообразимого божественного наблюдателя? Может быть, мы ошибаемся, думая о Вселенной как о вещи, имени существительном, объекте, обладающем всеми теми свойствами, которыми должны обладать объекты, включая сюда и их внешнюю сторону? Но если Вселенная – это не предмет, тогда что это? Беспорядочный набор точек зрения? И если это так, то чьих точек зрения?

Эти вопросы напомнили мне один ночной разговор с отцом, когда я училась в средней школе. Мы говорили об искривлении пространства-времени.

– Погоди-ка, – сказала я. – Если пространство-время – это все, что есть, как оно может быть кривым? Оно должно быть искривленным относительно чего-то внешнего, оно должно быть встроено в пространство с большей размерностью.

Я с гордостью улыбнулась: пятнадцатилетней девчонкой я смогла заметить пробел в теории Эйнштейна.

Отец лишь рассмеялся:

– Математика позволяет говорить о внутренней кривизне, так что можно измерить кривизну пространства-времени. Это не обязательно должно относиться к чему-либо вне его. Кривизна – это просто деформация метрики.

Теперь я подумала: а если что-то подобное может спасти Вселенную? Существует ли какая-нибудь возможность говорить о Вселенной, рассматривая ее только изнутри? Маркопулу, казалось, так и полагала, но за это приходится платить немалую цену. Это означало отказаться от обычной булевой логики и заменить ее логикой, которая зависит от наблюдателя. Это означало переопределение того, что мы называем истиной. Это означало отказ физики от способности делать

абсолютные утверждения относительно окончательной реальности. Утверждения больше не носят бинарный характер – «истина» или «ложь». Они становятся «истиной» или «ложью» в зависимости от некоторых свойств наблюдателя.

Я смеялась про себя, думая о том, насколько некоторые мои старые одноклассники из Новой школы, которые постоянно несли постмодернистский бред, были бы рады услышать, что истина относительна. Конечно, то, что говорила Маркопулу, никак не попадало в их систему понятий: ни то, что относительность истины определяется геометрией систем отсчета и объективными законами физики, ни то, что под «наблюдателями» тут имелись в виду отнюдь не люди, а «независимые наблюдатели» не подразумевали субъективности. Но я легко могла представить себе, какой простор для произвольных интерпретаций тут открывался.

В результате разговора с Маркопулу было ясно одно: прежний подход к космологии больше не работает. Мы больше не можем продолжать делать вид, что можно описать Вселенную извне, с точки зрения внешнего богоподобного существа. Необходимо брать в расчет то, что видят отдельные наблюдатели изнутри своих световых конусов.

Тротуары Нью-Йорка пылали жаром. Я чувствовала себя обладателем Тайны. Город, по которому я шла, был совсем не тот, который я оставила, когда входила в отель *Tribeca Grand*. Я смотрела на людей, которые, спеша каждый по своим делам, обгоняют меня по тротуару дальше, словно такие понятия, как «истина», «ложь», «пространство» и «время» все еще что-то для них значат.

«Это правильно, – подумала я, – продолжайте потягивать ваш фрапучино и смотреть на мир через ваши булевы очки. Бинарная логика – это блаженство».

Человек, прогуливавшийся с несколькими собаками, проходя мимо, нечаянно налетел на меня. «В этом нет ничего необычного, – сказала я себе, когда он даже не потрудился извиниться. – Мы же даже не живем в одной вселенной». Для таких, как я, для тех, кто боится толпы, это, как ни странно, довольно уютная мысль. У каждого из нас своя собственная вселенная: она, может быть, немного безлюдна, но зато прекрасна. Мы просто этого не замечаем, потому что наши вселенные слишком часто перекрываются.

Я была настолько погружена в себя, что не заметила, как прошла свою станцию метро, очнувшись только рядом со следующей. Перед тем как спуститься в безбожную духоту, царившую на платформе, я достала из сумки сотовый и набрала номер офиса отца.

– Это было потрясающе, – сказала я ему. – Я перешлю тебе интервью, как только расшифрую его. Эта встреча заставила меня задуматься: может быть, не имеет смысла думать о нашем ничто извне, поскольку никакого «вне» не существует? По определению ничто бесконечно и безгранично. Наверное, мы должны подумать о том, как это выглядит изнутри, так как это единственный способ на него посмотреть.

Я замолчала на мгновение:

– Ты не думаешь, что световые конусы могут быть границами, на которых ничто превращается в нечто?

Глава 3

Улыбнитесь!

Мама рассказывала, что она точно помнит, что она делала в тот момент, когда она услышала, что Джон Ф. Кеннеди убит. Мой отец точно помнит, где он находился, когда Нил Армстронг ступил на поверхность Луны. А я? Я никогда не забуду тот день, когда WMAP опубликовал свои данные.

Это было 12 февраля 2003 года, я была у себя в Бруклине и разговаривала по телефону с ветеринарной скорой помощью. Моя собака Кэсси, черный лабрадор, забралась в кладовку, учуяв яд для тараканов, и быстро разделалась там с целой упаковкой, разжевав ее вместе с коробкой и всем прочим. Когда я увидела искромсанные остатки ее трапезы, я в панике бросилась звонить в скорую. Женщина на другом конце провода спокойно спросила меня, какой марки был яд, затем она попросила подождать несколько минут, которые понадобятся ей на поиск ингредиентов. Пока она печатала что-то на компьютере, Кэсси, довольная собой, разлеглась на полу у моих ног. Я пролистывала свежий номер *New York Times*.

– Святые угодники!

– Мисс, с собакой все в порядке? – забеспокоилась оператор.

– Что? Ах да, с собакой все хорошо, извините. Опубликованы данные по космическому микроволновому фону.

– Что?

– Реликтовое излучение. Лучшее изображение ранней Вселенной.

– Уф, – сказала она. – Вы о космосе?

– Вроде того, – сказала я. – Это картина мироздания примерно четырнадцать миллиардов лет назад.

– Хорошо.

Она продолжила поиски, а я тем временем читала статью. Наиболее подробная карта Вселенной, какой она была сразу после ее рождения, с удивительной точностью подтверждает теорию Большого взрыва и открывает новую главу в ранней истории космоса... дает первое указание на природу «динамита» Большого взрыва...

– С вашей собакой должно быть все в порядке, мисс. Ингредиенты токсичны для насекомых, но не для млекопитающих. Единственное, что меня беспокоит, – это пластик. Это дешевый пластик, и он может образовать осколки в желудке. Лучше всего, если вы скормите ей батон. Хлеб обволакивает пластмассу и предотвращает от повреждений.

– Батон целиком? – спросила я.

– Да.

Я поблагодарила ее, схватила перчатки и шарф и направилась в магазин на углу за хлебом. Пока я ждала в очереди в кассу, я отправила моему отцу эсэмэску: WMAP!

Когда я вернулась в квартиру, Кэссиди встретила меня, виляя хвостом.

– Это твой счастливый день, – сказала я ей, крошив хлеба в миску. В качестве наказания за тараканий яд я дала ей самое объемное в ее жизни лекарство. Пока она блаженно пожирала его, я открыла веб-страницу НАСА.

«НАСА опубликовало сегодня лучшие „картинки из детства“ Вселенной, когда-либо полученные. Изображения содержат такие потрясающие подробности, что это может быть один из наиболее важных научных результатов последних лет», – сообщал пресс-релиз.

Десятилетием раньше, когда спутник COBE сделал первые снимки новорожденной Вселенной, будущий лауреат Нобелевской премии Джордж Смут сказал, что это как если бы мы увидели лицо Бога. Новый космический зонд микроволновой анизотропии имени Уилкинсона, известный по аббревиатуре своего английского названия как WMAP и обладающий в тридцать пять раз более высокой чувствительностью, мог теперь разглядеть его слабые веснушки и тончайшие морщины у губ. Пресс-релиз пояснял, что данные подтверждают теорию Большого взрыва и инфляционную модель, которые являются основой космологической стандартной модели. Прислушавшись, вы могли бы услышать звук откупориваемого шампанского.

Стандартная модель началась с Большого взрыва. С Эдвина Хаббла, наблюдавшего на горе Уилсон за галактиками, разбегающимися в бесконечных просторах пространства и времени. С Эйнштейна, с ужасом осознавшего свою величайшую ошибку: находясь

в плену своих философских предрассудков, он упустил возможность сделать из своих уравнений самый неординарный вывод: что Вселенная расширяется и что пространство-время растягивается, растет вокруг нас.

Физикам не понадобилось много времени, чтобы мысленно прокрутить фильм назад во времени, пронаблюдать, как галактики устремляются навстречу друг другу, Вселенная становится все меньше и меньше, плотнее, жарче, сжимаясь в одну точку.

Если Вселенная зародилась в огне, то от него должен был остаться дым. Космос должно наполнять излучение рождающейся Вселенной, за четырнадцать миллиардов лет расширения растянутое в микроволновое фоновое излучение с температурой межзвездного пространства чуть-чуть выше абсолютного нуля. Арно Пензиас и Роберт Вильсон, два радиоастронома, работавших в Лаборатории имени Белла в 1965 году, случайно обнаружили излучение во время поиска источника постоянного статического шума их антенны. Сначала они думали, что виной всему был голубиный помет. Оказалось, что это было реликтовое излучение, и они стали лауреатами Нобелевской премии.

Но что-то в истории о реликтовом излучении не складывалось. Оно обладало одной и той же температурой, независимо от направления наблюдения на небе. Выбираем мы участок неба на расстоянии двенадцати миллиардов световых лет от нас в одном направлении, измеряем температуру микроволнового фона, и она оказывается равной 2,7 кельвинам. Выбираем другой участок неба на расстоянии двенадцати миллиардов световых лет от нас в противоположном направлении – и снова 2,7 кельвина. Разделенные расстоянием в двадцать четыре миллиарда световых лет, эти две области не могли узнать друг о друге всего за четырнадцать миллиардов лет истории Вселенной. Но они обладали одной и той же температурой, измеренной с точностью невероятной, чтобы это было просто совпадением. Чего-то в этой картине не доставало.

Решение проблемы пришло к Алану Гуту, тогда еще никому неизвестному постдоку^[14] из Стэнфордского университета, поздней декабрьской ночью 1979 года как внезапное озарение. Он размышлял о монополях. В то время физики считали, что при чрезвычайно высоких температурах в первые мгновения после Большого взрыва все взаимодействия частиц объединены в единую суперсилу, которая затем

разделяется на свои составляющие по мере того, как Вселенная расширяется и охлаждается. У этой идеи был один существенный недостаток. Когда температура снижается, суперсила – это не единственное, что подлежит расщеплению на составляющие: пространство-время само должно будет претерпевать топологические повреждения. Подобно воде, превращающейся в кристаллы льда, фрагменты пространства-времени при замерзании превращаются в экзотические частицы – согласно предсказанию теории, у них должен быть только один магнитный полюс, и поэтому они получили название монополей, однако их существование не было экспериментально подтверждено и оставалось гипотетическим. Неудача в поисках монополей представляла собой серьезную проблему для теории, которая предсказывала, что во Вселенной монополи более многочисленны, чем атомы.

Посидев над задачей, Гут понял, каким мог быть Большой взрыв, чтобы в пространстве-времени не было монополей. Решение пришло внезапно, и он записал в своем блокноте: «Захватывающий сценарий!»

Идея Гута заключалась в том, что, если в первые доли секунды расширения Вселенной некоторые ее части удаляются со скоростью больше скорости света, то любые монополи, возникнув в результате Большого взрыва, очень быстро окажутся за пределами области, доступной для каких-либо реальных наблюдений. Такое быстрое раздувание, называемое инфляцией, объясняет, почему никто никогда не наблюдал монополи в природе. И, в качестве бонуса, это также объясняло, почему значение температуры реликтового излучения распределено в пространстве настолько равномерно.

Почему области пространства, расположенные настолько далеко друг от друга, что даже свету не хватило бы всего времени существования Вселенной, чтобы из одной попасть в другую, имеют одну и ту же температуру, объяснить не просто. Ведь у них не было времени прийти в состояние термодинамического равновесия. Теория инфляции находит это дополнительное время за счет того, что некоторые области удаляются друг от друга со скоростью большей скорости света. Само по себе сверхсветовое расширение кажется находящимся в вопиющем противоречии с теорией относительности, но здесь имеется своеобразная космическая лазейка: хотя ничто в пространстве-времени не может двигаться быстрее, чем свет, нет

закона, запрещающего самому пространству-времени расширяться со сверхсветовой скоростью. У фотонов не было нужного времени, чтобы обеспечить термодинамическое равновесие между удаленными областями, но если сами эти области удаляются друг от друга со сверхсветовыми скоростями, у фотонов появляется дополнительный запас времени, позволяющий им добраться до самых далеких уголков космоса гораздо быстрее, чем они могли бы, двигаясь сами по себе.

Конечно, чтобы теория заработала, необходим какой-то физический механизм, который заставит Вселенную раздуваться, словно рыба фугу. И Гут его придумал. Он предположил, что новорожденная Вселенная была заполнена полем гипотетических частиц – инфлатонов, представляющим собой ложный вакуум, то есть состояние неустойчивого равновесия с энергией, превышающей энергию основного состояния. Его можно сравнить с мячиком, катящимся с горы вниз и на мгновение задержавшимся на случайном выступе на полпути. Легкого толчка достаточно, чтобы столкнуть его дальше вниз, к основному состоянию, которое мы в этом случае называем землей. В случае с инфлатонами толчок к более низкому энергетическому состоянию обеспечивают квантовые флуктуации. В этот момент в пространстве-времени действует отрицательное давление, своего рода антигравитационная сила, которая заставляет Вселенную экспоненциально расширяться, увеличиваясь в миллион триллионов триллионов раз в течение всего долей секунды. Как выразился Гут, инфляция объясняет, что начинает взрываться.

Когда Вселенная перейдет в истинный вакуум, вся кинетическая энергия инфлатонного поля высвободится, разогрев зарождающуюся Вселенную до тысячи триллионов триллионов градусов и заполнив ее излучением. То, что когда-то было крошечной квантовой флуктуацией плотности материи и энергии размером порядка 10^{-33} сантиметра, теперь растянулось до астрономических размеров, покрытое тонкой рябью и рассеченное глубокими долинами на всем протяжении пространства, определяя гравитационный ландшафт, которому в конечном счете предстоит стать сетью звезд и галактик.

Горячая Вселенная продолжает расширяться за счет инерции инфляции. Первые 380 000 лет горячая плазма настолько плотно заполняет пространство, что даже свет не может распространяться через него. Любой фотон, который пытается выкарабкаться оттуда,

быстро поглощается протонами или электронами. Но по мере расширения Вселенной ее температура снижается, и частицы замедляются в достаточной степени, чтобы образовывать связанные состояния. По мере того как материя самоорганизуется в ядра, а затем и в атомы, фотоны, высвобожденные из непрозрачной плазмы, устремляются путешествовать по Вселенной самостоятельно. Эти высвобожденные фотоны первого поколения как раз и составляют микроволновой фон, отпечаток Вселенной от времени.

В то время как фотоны беспрепятственно распространяются в пространстве, частицы собираются в областях с повышенной плотностью, высеченных квантовыми флуктуациями, положив начало цепной реакции гравитационного коллапса. Материя громоздится и уплотняется, ее температура неуклонно растет, пока, примерно через двести миллионов лет, не запустится ядерный синтез. В этот момент пейзаж резко изменяется: звезды начинают сиять во тьме, рассеянные по всему небу. Цепная реакция продолжается – звезды сливаются в галактики, галактики в кластеры, кластеры в сверхскопления.

Все это время Вселенная продолжает лениво расширяться. В конце концов родилась звезда, вокруг которой какой-то каменистый мусор образовал планетарную систему. На одной конкретной каменистой планете, третьей от звезды, такие элементы, как кислород, водород и углерод, оказались вместе, элементы, рожденные в печах других звезд, взорвавшихся суперновых, и преодолевшие пустое пространство, чтобы в один прекрасный день оказаться на счастливой планете, где они смогли объединиться и создать условия, пригодные для жизни. Жизнь из какой-то первобытной слизи росла, размножалась и эволюционировала до тех пор, пока – раз! – и не появились на свете мы.

Только история на этом не заканчивается. Если инфляция и в самом деле была, то она была не раз. Пока наша скромная Вселенная эволюционировала, вокруг происходило что-то гораздо, гораздо большее. Благодаря квантовой случайности ложный вакуум, из которого родилась наша Вселенная, не мог распадаться везде с одной и той же скоростью. В то время как одна область ложного вакуума скатывалась в основное состояние, с возникновением нашей Вселенной, другие области отставали. В конце концов они также испытают распад, образуя другие вселенные, навсегда изолированные от нашей собственной. И так далее, до бесконечности... Не важно, как

много родилось вселенных, всегда существуют области ложного вакуума, и процесс возникновения вселенных никогда не заканчивается. Инфляция идет перманентно.

Даже если мы допустим, что расширение произошло единожды в нашей космической истории, мы вдруг обнаружим бесконечное число вселенных за пределами нашей собственной, постоянно растущую мультивселенную, Мета-Вселенную с большой буквы, состоящую из причинно не связанных малых вселенных, возникающих последовательно одна из другой в непрерывном процессе рождения и размножения. И хотя все они подчиняются некоторым общим фундаментальным законам физики, каждая вселенная рождается со своими локальными законами, своей геометрией, своим набором физических констант, своим семейством элементарных частиц, своим собственным спектром взаимодействий и своей уникальной историей. Реальность в целом напоминает необъятное космическое лоскутное одеяло, дико разнообразное и быстро устремляющееся в бесконечность.

Данные WMAP позволили космологам составить подробную карту микроволнового излучения неба, на которой видны небольшие отклонения от средней температуры, горячие и холодные пятна, температуры которых различались лишь на одну стотысячную градуса... Эти пятна образовались на этапе, когда плотная плазма все еще заполняла раннюю Вселенную, они – свидетели борьбы между гравитацией и электромагнетизмом. Если гравитация пыталась плотнее сжать плазму, то электромагнитное излучение пыталось раздуть ее. Это напоминало игру с перетягиванием каната, сжатие и растяжение меха плазменной гармошки. Когда плазма плотнее сжата, она нагревается, а когда она расширяется, она охлаждается, оставляя за собой горячие и холодные области, которые WMAP обнаружил четырнадцать миллиардов лет спустя.

Эти колебания – отпечатки пальцев, вещественные доказательства эволюции ранней Вселенной. Трудно было поверить, что цветные пятна, выглядевшие случайно разбросанными по карте, на самом деле содержат подробную информацию о Вселенной, ее происхождении и эволюции. Такие точные данные, как данные WMAP, переводят космологию из спекулятивной в разряд строгих наук, наравне с

астрономией и астрофизикой. В космологии начинался золотой век, и космологи были готовы устроить по этому поводу большой праздник.

И на самом деле такой праздник был уже даже запланирован. Я узнала об этом из интернета: большая четырехдневная конференция должна была пройти через месяц в Калифорнийском университете в Дейвисе. Я должна была туда попасть!

Я позвонила отцу.

– Четыре дня солнца и космологии! – сказала я. – Если мы хотим понять происхождение Вселенной, то это те самые люди, которые смогут нам все объяснить. Ты должен поехать со мной!

Он вздохнул:

– Я хотел бы, но не смогу. Мне необходимо было предупредить об этом на работе заранее. Но ты должна туда поехать! Быть журналистом. Записывай как можно больше для меня.

Я повесила трубку, не зная, хочу ли ехать туда одна. У нас была общая миссия; выступление соло казалось мне неправильным. Я имею в виду именно поездки на конференции по физике, они были *нашим* делом – насколько, конечно, сделанное один раз можно считать «делом». При этом я в одиночку брала интервью у Фотини Маркопулу, но, похоже, это было не совсем то же самое. Главная идея нашей борьбы за повышение своего журналистского рейтинга заключалась в том, чтобы использовать его для создания новых кротовых нор ко все большему числу конференций. Заново обдумывая это решение, я совсем не была уверена, что наш рейтинг помогал бы отцу проникать куда-либо, но тогда это казалось маленькой технической трудностью, из тех, что преодолеваются по мере поступления. Теперь я начала сомневаться, достаточно ли хорошо я все взвесила за те пять секунд, которые понадобились мне, чтобы его принять. Возможно, что оно было слишком спонтанно. Выбирая карьеру научного журналиста, я понимала, что наши пути в скором времени разойдутся, подобно двум параллельным мировым линиям, которые, находясь в блаженном неведении, пересекают искривленное пространство, и, оглядываясь назад, я вижу, как росла дистанция между нами, несмотря на все наши усилия, направленные на то, чтобы продолжать двигаться вместе по прямой.

Но какой был у меня выбор? Мне было двадцать два, и я могла позволить себе проводить время в идеалистических грезах. Это было

похоже на путешествие с рюкзаком по Европе, если только забыть о том, что ни за какие коврижки я не буду таскать на себе рюкзак, и тем более о том, что нужные мне на месяц одежда и обувь ни в какой рюкзак не поместятся. Итак, я выбрала окончательную реальность. И чем же мне пришлось ради этого пожертвовать? Работой в онтологически сомнительном журнале в квартире какого-то парня. Для моего отца все было совершенно иначе. Он уже выбрал свой путь. У него были семья, дом и карьера. Он работал в больнице каждый день, с утра до вечера, от него зависело спасение человеческих жизней. Он не собирался взять и бросить свою работу. Даже если бы он и захотел, у него бы ничего не вышло, потому что мама никогда бы не отпустила его в свободное плавание.

«Я должна продолжать путь в одиночку, – подумала я, – зная, что я делаю это за нас обоих». Я отправила электронное письмо тому, кто отвечает за регистрацию журналистов. «Я пишу о физике, – сообщала я. – Я работаю внештатно с журналом *Scientific American*». Это было почти правдой, за исключением того, что я использовала настоящее время. Мое интервью с Маркопулу было опубликовано в предыдущем выпуске журнала. Организаторы конференции сразу предоставили мне пресс-пасс, и я забронировала билет в Калифорнию.

Несколько недель спустя, прибыв в Дейвис, я наслаждалась, после промозглого Бруклина, теплым калифорнийским воздухом. Каждое утро я проходила пешком несколько кварталов от моего отеля до университетского кампуса ради восьми часов лекций по физике, перемежающихся кофе-брейками и обедом. Я яростно строчила в своем блокноте, стараясь поспеть за докладчиками, выступавшими со сцены, пытаюсь продраťся сквозь слои научного жаргона и понять, о чем, черт возьми, все они говорили. Получалось это у меня не очень хорошо. В мире, к которому я не принадлежу и языком которого не владею, я так и не почувствовала себя как дома.

Не сказать, чтобы я совсем выпадала из этого общества. Мой пол, возраст и сомнительный род занятий, конечно, давали о себе знать. Но я сделала все от меня зависящее, чтобы слиться с окружением. Я прикрыла мои татуировки рубашкой с длинными рукавами. Я носила мокасины. Я пыталась не привлекать особого внимания.

Большинство докладов были посвящены тому, что данные WMAP означают для нашего понимания Вселенной. Для начала они позволили более точно определить возраст Вселенной, который составил 13,7 млрд лет. Далее они предоставили уникальную возможность определиться с геометрией Вселенной.

Благодаря гравитации наше пространство искривлено. При этом возможны три варианта космической геометрии: Вселенная может иметь положительную кривизну, подобно поверхности сферы; отрицательную кривизну, подобно поверхности седла; или быть плоской, как обычное евклидово пространство, в котором параллельные линии не расходятся и не пересекаются.

Лучший способ определить геометрию пространства – это нарисовать большой треугольник и сложить его углы. Если их сумма больше 180 градусов, вы будете знать, что пространство положительно изогнуто; если их сумма меньше, то кривизна отрицательна.

Слушая доклады, я узнала, что реликтовое излучение позволяет построить идеальный космический треугольник со спутником WMAP в самом остром из его углов. Траектории двух фотонов, испущенных из противоположных концов горячего или холодного пятна, представляют собой две равные стороны длинного узкого треугольника, их длина определяется временем, которое свет провел в пути, поскольку плазма излучила фотоны одновременно. Длина третьей стороны треугольника определяется расстоянием, на которое звуковые волны могут распространиться за 380 000 лет, то есть поперечным размером горячего или холодного пятна.

Зная длины всех трех сторон и используя простейшие законы тригонометрии, физики вычислили, что углы у основания треугольника составляют каждый 89,5 градусов, или в сумме 179 градусов. Теперь им просто нужен третий ближайший к нам угол. Если фотоны распространялись вдоль прямой линии, этот угол будет равняться одному градусу, доведя общую сумму до 180. Если их траектории были выгнуты наружу, как если бы они прошли сквозь положительно изогнутую Вселенную, то этот угол будет больше, а если их траектории были вогнуты внутрь из-за отрицательной кривизны, то этот угол был бы меньше. Согласно данным WMAP, третий угол равнялся точно одному градусу. Мы живем в евклидовом пространстве.

Но оставалась одна проблема. Геометрия Вселенной определяется суммарной массой или, с учетом того, что $E = mc^2$, энергией, которую она содержит. Как сказал бы Уилер, масса говорит пространству, как ему искривляться. Для того чтобы Вселенная была плоской, требуется критическая плотность массы, соответствующая в среднем шести атомам водорода на один кубический метр. На первый взгляд это совсем не много. Можно подумать, что в космосе наберется более чем достаточно материала, с учетом всех звезд и галактик. Но нет. И даже не близко.

Обычная материя – частицы, такие как протоны, электроны и кварки, – составляет жалкие 4 % от того, что нам нужно, чтобы набрать критическую плотность. Наша планета, звезды, мы сами – все, что мы видим и знаем, – дает пренебрежимо малый вклад в космическую систему вещей. Это не более чем скорбная, хоть и сияющая, вершина огромного темного айсберга.

Так что же еще находится во Вселенной? У физиков на этот счет есть несколько идей.

С одной стороны, они уже давно знали, что во Вселенной содержится гораздо больше материи, чем видит глаз. Это было обнаружено благодаря простому факту: галактики не рассыпаются на миллиарды звезд, покидающих свой галактический дом во всех направлениях. Некая сила притяжения удерживает их вместе, собрав в тугую спираль или эллиптические образования, несмотря на то что общая масса всех звезд в типичной галактике не обеспечивает достаточной гравитации, чтобы проделать этот фокус. Что-то еще должно прятаться тут, скрытое в темном пространстве между звездами или окружающее каждую галактику невидимым забором, не позволяя звездам вылетать из нее. Это что-то должно обеспечивать необходимую силу тяжести, но одновременно оставаться невидимым, это что-то крепкое и твердое, как и материя, но не безразличное к электромагнетизму. Что-то темное.

Астрономы подсчитали, сколько этой темной материи скрывается в космосе. Но когда вы сложите ее с видимой частью материи, то получите только 27 % общей массы и энергии, необходимых для того, чтобы распрямить Вселенную. Неизвестные 73 % по-прежнему отсутствуют.

Введем темную энергию. В конце 90-х годов две команды астрофизиков – одна под руководством Сола Перлмуттера, другая под руководством Брайана Шмидта и Адама Рисса – занимались поисками сверхновых звезд в надежде измерить скорость расширения Вселенной. Они знали, что все началось с инфляционного раздувания, но считали, что затем расширение Вселенной стало замедляться, сдерживаемое гравитацией, и так и продолжает замедляться до сих пор.

Перлмуттер, Шмидт и Рисс поняли, что история расширения Вселенной записана в свете от взорвавшихся когда-то звезд. Некоторые виды сверхновых звезд, так называемые стандартные свечи, светят всегда с одной и той же силой, даже если кажутся несколько потускневшими из-за большого расстояния до них. Именно то, насколько потускневшей мы видим стандартную свечу, позволяет определить, как далеко от нас она находится. По мере того как ее свет проходит через расширяющееся пространство, его волны удлиняются, смещаясь по спектру в красную сторону. Это красное смещение показывает, насколько Вселенная расширилась за время, которое потребовалось свету, чтобы добраться до нас. Регистрируя свет от многих стандартных свечей, расположенных на различных расстояниях, физики нанесли на карту историю расширения Вселенной. Оказалось, что расширение Вселенной не только не замедляется. Оно ускоряется.

Что же может ускорить расширение Вселенной вопреки замедляющим его силам гравитации? Какие-то таинственные темные силы должны пронизывать пустоту межзвездного пространства, прячась в глубинах вакуума, расталкивая его, как своего рода антигравитация, заставляя пространство-время расширяться все быстрее и быстрее. Сколько этой темной энергии содержится в космосе, если судить по наблюдениям за сверхновыми звездами? Ответ похож на чудо. Это именно то количество, которое требовалось, чтобы покрыть недостаток плотности массы-энергии в плоской Вселенной: 73 %.

Все данные находились в довольно впечатляющем согласии друг с другом. Что касается инфляционной модели, то WMAP подтвердил ее наиболее общие предсказания. Флуктуации температуры не проявляют характерного масштаба, а горячие и холодные пятна были распределены случайным образом. Было кое-что и сверх того: плоская

Вселенная точно соответствовала предсказаниям инфляционной модели, потому что даже если пространство в ранней Вселенной было сильно искривлено, то со временем радиус кривизны увеличится до такой степени, что пространство будет казаться плоским, как кажется плоской земля под моими ногами. Физики были так довольны полученными WMAP подтверждениями инфляционной модели, что просто светились от счастья. Уже ходили слухи, что Гут может получить Нобелевскую премию.

Но за праздничным настроением угадывалось что-то и не совсем радостное. Не все детали головоломки, разгаданной WMAP, встали на свои места. Инфляционная модель предсказывала, что флуктуации температуры должны быть на любых масштабах, а в наблюдениях они резко останавливались, если размер области звездного неба превышал 60 градусов. Эта проблема известна как «аномально низкая мощность квадрупольной компоненты реликтового излучения», и при всяком ее упоминании лица физиков мрачнели. У меня было такое чувство, что она может быть слишком важна, чтобы ей можно было пренебречь.

Если и есть в физике сюрреалистическая суперзвезда вроде Майкла Джексона, то это Стивен Хокинг. Увидеть его живьем – нечто на грани фантастики! Даже другие физики, многие из которых знали его в течение многих лет как коллегу и близкого друга, казалось, тушевались в его присутствии.

Во время одной из лекций я сидела прямо за Хокингом. Я старалась изо всех сил сконцентрировать свое внимание на докладчике, но была буквально загипнотизирована словами, возникавшими на экране компьютера, вмонтированного в поручень его инвалидной коляски. У парализованного в результате тяжелого заболевания Хокинга подвижность осталась лишь в мимической мышце щеки, напротив которой был закреплен датчик, и с его помощью он мог управлять курсором на мониторе. Курсор постоянно прокручивается через каталог наиболее часто используемых слов, и движением мышцы щеки он мог выбрать одно слово из списка. Так, слово за словом, Хокинг медленно, с трудом, строил предложения, последние затем отправлялись на синтезатор речи, выговаривавший фразы голосом робота, которому не хватало не только человеческих чувств, но и, как сетовал Хокинг, британского акцента.

Видя его сидящим передо мной в инвалидной коляске, чем-то похожим на сдувшийся воздушный шар, я почувствовала еще больший трепет перед всем тем, что он смог сделать в своей жизни. И когда я смотрела на слова, появлявшиеся на его мониторе, прекрасно зная, что это не более чем случайным образом сгенерированные списки, я не могла отделаться от мысли, что если бы удалось увидеть их поближе, я смогла бы разгадать тайну Вселенной.

Когда на конференции был объявлен перерыв на обед, все направились к выходу. Обед не был предусмотрен организаторами конференции, и поэтому мы самостоятельно выбирали себе место, где можно было перекусить. Я заметила Лизу Рэндалл, физика из Гарвардского университета – она стояла одна и, скорее всего, ждала кого-то, поэтому я подошла к ней и представилась. В своем выступлении Рэндалл обсуждала происхождение таинственного инфлатонного поля, и я была рада услышать об этом, так как сама размышляла на ту же тему. Инфлатонное поле в состоянии ложного вакуума отвечало за начало инфляции и образование большой, равномерно заполненной звездами Вселенной, которую мы знаем и любим. Но что же породило сами инфлатоны? Какие-то другие таинственные поля? А что породило в свою очередь их? Это как башня из черепашек? Я собиралась задать ей эти вопросы, но в этот момент к нам подошли еще несколько физиков со словами:

– Мы нашли ресторан. Пошли обедать!

Они, казалось, обращались и ко мне тоже – или, по крайней мере, они никак не дали мне понять, что не хотят видеть меня в их компании, и я восприняла это как приглашение.

Так я увязалась за ними и вскоре очутилась за длинным столом в простом итальянском ресторанчике в компании с сэром Мартином Рисом из Королевского астрономического общества Великобритании, Дэвидом Шпергелем, физиком из Принстона, сыгравшим ключевую роль в анализе данных WMAP, Рэндалл и несколькими первостатейными журналистами.



Мы с Лизой Рэндалл в Калифорнийском университете в Дейвисе.
Фото: Д. Фальк.

После того как каждый сделал свой заказ, зазвучало страшное слово на А – страшное, но неизбежное сегодня, учитывая его способность объяснить необъяснимое.

Например, темную энергию. Физики знали из наблюдений сверхновых, а теперь – и из данных WMAP, что плотность темной энергии чрезвычайно мала, всего 10^{-23} граммов на кубический метр пространства – едва слышимый шепот в темной пустоте, но шепот, который на больших расстояниях превращается в явственный вой.

Это происходит потому, что темная энергия, скорее всего, внутреннее свойство пустого пространства самого по себе, «космологическая константа», как окрестил ее Эйнштейн. Ее сила заключается в самом постоянстве – по мере того как пространство расширяется, все, содержащееся в нем, становится менее плотным, – кроме темной энергии, чья плотность остается постоянной. Больше пространства – больше темной энергии: своеобразная разновидность положительной обратной связи.

Вы можете подумать, что физики способны предсказать наблюдаемую плотность темной энергии, учитывая все, что они уже знают о квантовом вакууме. Действительно, квантовая теория поля предоставляет все необходимые инструменты, чтобы рассчитать энергию вакуума. К сожалению, теория здесь дает абсолютно неверный ответ. Согласно теории, плотность энергии вакуума должна быть бесконечной. Ясно, что она не может иметь бесконечное значение, иначе мы все были бы разорваны в клочья быстро расширяющимся пространством. Поскольку предметы вокруг нас не разрушаются спонтанно, вакуум должен быть достаточно безопасным их местонахождением, по крайней мере на атомных и даже несколько больших масштабах. Так что если она не бесконечна, решили физики, то должна быть равна нулю.

На первый взгляд, это звучит немного странно, но ноль и бесконечность больше похожи друг на друга, чем вы думаете. Они представляют собой два наиболее простых и элегантных результата численных расчетов. Теория, которая предполагает, что некоторое число должно быть равно нулю или бесконечности, гораздо более элегантна, чем та, которая дает, например, число 3,746. Конечные числа могут показаться довольно случайными. Так что если исключить бесконечность, то следующим наилучшим выбором должен быть ноль. Физики предположили, что вакуум может обладать некоторым свойством с положительной и отрицательной составляющими в равных количествах, дающими в сумме идеальный ноль.

Но это было до того момента, как астрофизики поменяли карандаши на телескопы и фактически измерили значение темной энергии, обнаружив, что оно равно почти нулю, но не совсем. Это был худший сценарий: маленькое, но конечное число. Чтобы получить правильное значение, необходим какой-то механизм, который берет бесконечности из квантовой теории поля, сокращает их до 120 десятичных знаков, а затем чудесным образом останавливается, оставляя в результате мизерное значение. Мизерное значение, которое управляет всей Вселенной.

Число, появляющееся в результате такой тонкой настройки, само по себе редкость, чтобы не сказать больше, и физики не смогли найти для него ни одного хорошего объяснения. В отчаянии они обратились к слову на А. Так уж случилось, что плотность темной энергии

пряমেхонько попала в узкий диапазон значений, при которых возможно существование атомов, звезд, углерода и, в конечном счете, жизни. Немного больше или немного меньше, и существование нашей Златовласки было бы недолгим. А это обстоятельство значительно ухудшает все дело – теперь значение плотности оказывается не только невероятно странным, но и, по случайному совпадению, именно настолько странным, насколько необходимо для жизни. Нам повезло. От этой случайности неприятно пахнет фатализмом и телеологией. Но здесь есть одна хитрость. Значение плотности темной невероятно странное, только если предположить, что наша Вселенная – единственная. Однако мы знаем, что в рамках инфляционной модели получить единственную изолированную Вселенную практически невозможно. Как только в результате инфляции родилась одна Вселенная, вы будете иметь дело с бесконечным количеством похожих вселенных, с огромной и разнообразной мультивселенной. Если каждая из этого бесконечного набора вселенных обладает разным собственным количеством темной энергии, то наше мизерное значение становится не только вероятным, но и неизбежным.

Это дает ответ, но совсем не того рода, на который надеялись физики, это было объяснение, накладывающее неприятное ограничение на саму природу объяснения. Физики любят красивые законы, демонстрирующие единство и неизбежность. Они любят элегантные расчеты, сингулярные решения, и уверены, что мир должен быть именно таким, каков он есть, потому что он является отражением гармонии и порядка, которые пронизывают космос платонического совершенства. Никто из них не хотел бы думать, что мир устроен случайным образом. Для них сама эта мысль была бы угнетающей.

Рис, который был чрезвычайно вежлив и казался вылепленным из воска, пояснил, что он относится к идее мультивселенной весьма серьезно и считает, что обращение к антропному принципу не только оправдано, но и необходимо. И все-таки, сказал он, физики должны продолжать работать так, как будто его нет, в противном случае они рискуют совсем облениться. Они должны по-прежнему продолжать пытаться выводить физические законы на основе фундаментальных принципов, даже если это и не всегда получается. Шпергель не разделял его энтузиазма. Антропный принцип, сказал он, означает, что наука сдала свои позиции.

Сидя молча, я все вспоминала, как однажды Уилер написал: «Если антропный принцип, то *почему* антропный принцип?» Для Уилера это «слово на А» было не объяснением, а, скорее, ключом к разгадке роли наблюдателя в происхождении Вселенной, ключом к природе окончательной реальности.

Я собрала все свое мужество, чтобы довести до своих соседей эту мысль, когда Рис вдруг перевел разговор на политику, борьбу с биотерроризмом и ядерную войну. За панини и кофе эспрессо он пояснил, что шансы человечества уничтожить себя к концу двадцать первого века очень высоки, не менее чем 50 на 50. Для рыцаря он был как-то уж слишком серьезен.

Среди замечательных людей, собравшихся на конференции, был один, возможная беседа с которым смущала меня больше всего, – Тимоти Феррис. Может быть, потому, что Феррис был писателем, а не физиком. Его книга *Coming of Age in the Milky Way* всегда мне очень нравилась, я восторгалась его книгами и была его фанатом.

Итак, на следующий день, как и другие участники конференции, я пришла послушать доклады и заметила, что Феррис занял место в первом ряду. Я быстро скользнула в кресло позади него, надеясь рано или поздно придумать какой-нибудь предлог, чтобы завязать разговор. Но так и не придумала. А когда лекция закончилась, Феррис обернулся и спросил:

– Как вы собираетесь попасть на банкет сегодня вечером?

Организаторы конференции запланировали банкет в Калифорнийском музее железной дороги, находящемся примерно в получасе езды отсюда, в историческом районе Сакраменто.

– Думаю, они повезут нас туда на автобусе, – сказала я.

Феррис взглянул на меня, словно говоря: «Неужели я похож на тех парней, которые ездят на автобусах?»

– Я здесь на машине, – сказал он. – Мне надо только узнать, как туда проехать. Я не хочу терять время в ожидании автобуса. Эти конференции хороши своей физикой, но что до светских мероприятий...

Он улыбнулся со знанием дела:

– Если вы решите, что с вас довольно и вам пора, просто разыщите там меня. Я отвезу вас обратно в Дейвис.

Мне не терпелось узнать побольше о беспокоящей всех квадрупольной аномалии. К счастью, во время одного из перерывов мне представилась такая возможность. Когда все вышли на улицу, наслаждаясь калифорнийским солнцем, я подошла к Лайману Пейджу, физику из Принстона и одному из ведущих исследователей из команды WMAP, и представилась.

– В чем проблема с этими квадрупольями? – спросила я его.

Пейдж объяснил, что отсутствие температурных флуктуаций на масштабах больше шестидесяти градусов подразумевает какие-то ограничения, накладываемые на размер пространства как такового.

В этом есть свой смысл. Температурные флуктуации были сформированы, когда горячая плазма в ранней Вселенной сжималась и расширялась, подобно космическому аккордеону, игравшему по всему пространству. Если мы не наблюдаем никаких флуктуаций на масштабах больше шестидесяти градусов на небесной сфере, то это означает, что на масштабах больше шестидесяти градусов на небесной сфере нет никакого *пространства*. Как если бы Вселенная была конечна. Конечно, эти шестьдесят градусов соответствуют размеру Вселенной на тот момент, когда реликтовые фотоны впервые вырвались на свободу. За прошедшие с того момента 13,7 млрд лет Вселенная значительно расширилась. Итак, вопрос состоит в следующем: если размер пространства тогда ограничивался областью размером около шестидесяти градусов на сегодняшнем небе, где находится граница пространства сегодня?

Ответ был шокирующим. Низкая мощность квадрупольной составляющей излучения подразумевает не только то, что Вселенная конечна, но и то, что она имеет небольшой размер по космологическим стандартам. Она подразумевает, что Вселенная была почти такого же размера, как ее наблюдаемая часть. Иными словами, если бы мы могли каким-то образом заглянуть за пределы нашего светового конуса, мы бы там ничего не обнаружили.

– Может быть, дело в аппаратном сбое? – спросила я.

– Нет, – сказал Пейдж. – Дело не в этом. Эффект стабилен. Эту же проблему мы видели раньше в данных COBE, только там отношение сигнала к шуму было хуже. Обнаружить то же самое в данных WMAP –

это нам как звонок, напоминающий, что мы имеем тут дело с чем-то, вероятно, по-настоящему новым.

Мне пришлось задуматься об инфляционной модели. Главная идея теории состояла в том, что пространство-время расширялось далеко за пределами нашего космического горизонта, расширялось до таких огромных размеров, что все монополи исчезли за ним, а кривизна пространства стала пренебрежимо мала.

– Если это правда и Вселенная действительно небольшая, – спросила я, – то как быть с инфляцией?

– Если не брать здесь в расчет Линде, то девяносто процентов корифеев по теории инфляции говорят, что теперь нам нужна другая модель. Идея конечной Вселенной – это нечто уж слишком странное, – сказал Пейдж. – Вероятно, нам придется признать, что весь механизм не работает. Я думаю, что это беспокоит нас всех.

Мне заинтересовало, почему Пейдж выделил космолога Андрея Линде как корифея, который не откажется от инфляционной модели даже при наличии в ней конечной Вселенной, и, увидев его во дворе, я направилась в его сторону. Я подумала, что, может, он знает, как спасти теорию инфляции в сложившихся обстоятельствах – у меня тогда и в мыслях не было, что Линде просто был одним из основоположников инфляционной теории.

Представившись, я спросила его, не придется ли физикам отказаться от инфляционной теории, если аномально низкая мощность квадрупольной компоненты окажется реальной проблемой. Очевидно, спрашивать Андрея Линде, сможет ли он отказаться от инфляционной модели, было все равно, что спрашивать папу римского, сможет ли он плюнуть на Библию.

– Никому нельзя отказываться от инфляции! – закричал он с сильным русским акцентом.

Я съежилась и судорожно огляделась, ожидая, что все вокруг оставят свои дела или даже в страхе ретируются, но никому, казалось, до нас и дела нет. Между тем Линде продолжал:

– Если у вас есть модель, которая объясняет, почему Вселенная изотропна и почему возникли эти флуктуации плотности, то вам не стоит отказываться от этой теории, пока у вас нет другой, которая может так же хорошо объяснить эти явления. Инфляция может подавить флуктуации на больших угловых масштабах; она просто

требует тонкой настройки, и это некрасиво. Но Вселенная сама уродлива – стандартная модель уродлива, космологическая постоянная уродлива, темная материя, темная энергия, 90 % Вселенной, – что, черт возьми, это такое? Это все уродливо. Но это не означает, что нужно отказаться от теории инфляции.

Алан Гут, герой дня, выглядел странновато для ученого, которому все прочили Нобелевскую премию по физике в самом скором времени. Ему было за пятьдесят, но он продолжал светиться какой-то мультяшной молодостью, со своей копной каштановых волос и огромным желтым рюкзаком. Он был известен тем, что спал на каждом докладе, просыпаясь как раз вовремя, чтобы задать нетривиальный вопрос по существу обсуждавшейся проблемы – этот феномен я уже не раз наблюдала сама. Я спросила его, есть ли у него время поговорить со мной, и он милостиво согласился. В перерыве между докладами, без тени сна на лице, он вышел поговорить со мной на свежем воздухе.

– Теория инфляции говорит нам, что происходило в первые доли секунды после того, как Вселенная родилась, – сказала я. – Но что мы знаем о самом ее рождении?

– Никакой ясной теории, как возникла Вселенная, у нас нет, – сказал Гут. – Но существуют разного рода спекуляции, которые, я думаю, достаточно туманны, чтобы быть истиной^[15]. В действительности мы даже плохо себе представляем, о чем мы говорим, то есть является ли рождение Вселенной квантовым событием.

Понимание такого события, как он объяснил, требует квантовой теории гравитации.

– Главное, для чего она нужна, – это получить полное квантовое описание геометрии пространства-времени. Затем мы хотели бы понять, что значит «ничего нет», и описать ничто как квантовое состояние. Состояние, которое описывает отсутствие пространства, отсутствие времени, отсутствие материи и энергии, отсутствие чего бы то ни было. Но оно все-таки будет возможным состоянием бытия. Это ключевой момент. Я предполагаю – без особых на то оснований, но все же предполагаю, что законы физики существовали и до рождения Вселенной. Если мы не предположим это, то мы не сможем продвинуться дальше в теории.

– Такое предположение означает, что рождение может быть познаваемо?

– Вот именно. Рождение Вселенной может быть познаваемо в рамках законов физики. Сейчас я не представляю, как понять, откуда взялись сами законы, но мы побеспокоимся об этом позже. А сейчас мы надеемся, что в системе, описываемой окончательными законами физики, будут существовать квантовые состояния, соответствующие полному отсутствию чего бы то ни было. Мы знаем, что квантовые системы могут спонтанно переходить из одного квантового состояния в другое, атомы то и дело совершают такие переходы в процессе распада. Квантовая система, находящаяся в одном состоянии, может сделать случайный переход в другое состояние, так что вы могли начать именно отсюда, от состояния полного отсутствия всего, и совершить переход к маленькой вселенной, затем механизм инфляции мог превратить эту маленькую вселенную в большую Вселенную. В общих чертах, я думаю, это правдоподобная картина образования Вселенной.

– И в этом смысле возможно получить что-то из ничего? – спросила я.

– Со времени моей учебы в университете наше понимание этого вопроса сильно изменилось, – сказал Гут. – Тогда все верили, что во Вселенной существует множество сохраняемых величин, которые имели большие количественные значения, и что единственный способ создания Вселенной – начать с чего-то большого. Но все эти законы сохранения более или менее исчезли. Сегодня мы думаем, что Вселенная имеет нулевые значения для всех сохраняемых величин.

В сохраняемых величинах выражаются неизменные свойства природы, иконизированные в непреложных законах – таких, как закон сохранения энергии, который говорит, что при любых обстоятельствах суммарная энергия всех задействованных во взаимодействии объектов до взаимодействия и после взаимодействия одна и та же. Энергия не может ни возникнуть из ничего, ни исчезнуть, она только перераспределяется. Законы сохранения обеспечивают плавную и непрерывную эволюцию Вселенной. Без них в вашей ванной могла вдруг появиться атомная бомба, или ваша собака могла вдруг исчезнуть. Физика была бы невозможна. Ее уравнения рассыпались бы прежде, чем вы достигали бы знака равенства.



Леонард Сасскинд, Алан Гут и Андрей Линде наслаждаются калифорнийским солнцем.

Фото: А. Гефтер.

И теперь Гут говорит, что все сохраняемые величины равны нулю. Это было довольно шокирующим. Казалось бы, законы физики обязаны сохранить нечто – по крайней мере *нечто*, начало существованию которого было положено 13,7 млрд лет назад. Но если все сохраняемые величины равны нулю, это означает, что законы физики должны вместо *нечто* сохранять *ничто*.

– И для энергии тоже? – спросила я.

– С энергией сложнее всего, потому что если сложить все массы во Вселенной и использовать $E = mc^2$, может показаться, что Вселенная обладает огромной энергией. Но необходимо учесть, что гравитация дает отрицательный вклад в полную энергию. Это нетрудно доказать. Грубый способ понять это состоит в том, чтобы применить закон Кулона к гравитации, как мы применяем его в электростатике. В

электростатике, если вы возьмете два положительных заряда, они будут отталкиваться друг от друга, поэтому для того чтобы получить большой электростатический заряд, необходимо собрать много элементарных зарядов вместе и совершить много работы. Это значит – тратить энергию. В случае гравитации все ровно наоборот. Масса имеет только один вид заряда – положительный. Такие заряды всегда притягиваются друг к другу. Вы можете образовать большую массу, сложив много масс вместе. Но необходимо затратить энергию, чтобы растащить их. Поэтому вклад гравитации в полную энергию Вселенной компенсирует положительную энергию всех масс.

– Еще одна важная сохраняющаяся величина – барионный заряд, – продолжал Гут, имея в виду полное число протонов и нейтронов, компонентов ядра любого атома. – Когда я учился в университете, все думали, что барионное число сохраняется и что в наблюдаемой Вселенной имеется очень большое число барионов, то есть большое число протонов и нейтронов, и, насколько мы можем судить, очень мало антипротонов или антинейтронов. Некоторые предполагали, что, может быть, существует большое количество антиматерии где-то там, где мы еще ее не обнаружили, но эта гипотеза не была особенно успешной. С развитием теории великого объединения в 1970-е годы физики поняли, что мы в действительности не знаем, сохраняется ли барионный заряд. Позже выяснилось, что даже в так называемой стандартной модели физики элементарных частиц, где, как все думали, барионный заряд точно сохраняется, это на самом деле оказалось не так из-за необычных квантовых эффектов. Сегодня число доказательств несохранения барионного заряда стало уже ошеломляющим.

Итак, энергия сохраняется, но это не имеет значения, потому что гравитация уже скомпенсировала все остальное, а барионный заряд не сохраняется вовсе. Чтобы он сохранялся, общее число протонов и нейтронов во Вселенной сегодня должно быть таким же, каким оно было при ее рождении, и не было бы никакого способа объяснить, откуда взялись все эти протоны и нейтроны.

– Означает ли это, что материя может спонтанно возникать из ничего?

– Да, – кивнул Гут. – Когда теория инфляции только-только создавалась, я говорил, что Вселенная, возможно, представляет собой абсолютно бесплатный обед. С тех пор идея инфляции в нашем

видимом мире превратилась в теорию мультивселенной, которая постоянно растет. Если эта картина верна, то совершенно ясно, что вы получили все даром, в обмен на ничто, и продолжаете получать еще больше. И все это основано на идее, что во Вселенной не существует ненулевых сохраняемых величин.

– Гравитация компенсирует положительную энергию по всей мультивселенной?

– Совершенно верно, – сказал он.

– А что можно сказать о величинах, которые все-таки вроде бы сохраняются, как, скажем, момент импульса?

– Мы считаем, что угловой момент сохраняется, но, насколько мы можем судить, общий момент импульса Вселенной равен нулю. Если сложить угловые моменты всех галактик, вращающихся в разных направлениях, то согласно астрономическим данным сумма, действительно, равна нулю. Электрический заряд – еще одна величина, которая, как мы считаем, абсолютно точно сохраняется, но Вселенная в целом – электрически нейтральна.

– А если мы обнаружим, что существуют некоторые сохраняющиеся величины, принимающие ненулевое значение, будет ли это означать, что невозможно получить что-то из ничего?

– Конечно, это все изменило бы. Вечное расширение сразу стало бы мыслимым. Если для создания нашей Вселенной действительно требуется ненулевое значение какой-либо сохраняемой величины, то было бы невозможно создавать все больше и больше вселенных без нарушения закона сохранения.

– Но пока сохраняемые величины принимают нулевые значения, вы можете получить что-то из ничего.

– Наверное, лучше будет сказать, что нечто и есть это самое ничто, – сказал Гут. – Все, что мы видим вокруг, в некотором смысле – ничто.

Когда пришло время выступления Хокинга, я едва могла сдерживать волнение. Хокинг был упрям, провокационен и неординарен. Он слыл скандалистом мирового класса, и мне не терпелось увидеть, какую новую штуку он выкинет на этот раз.

Он выехал на середину сцены в своем кресле.

– Вы меня слышите? – вежливо осведомился его компьютер.

– Да, – ответила публика.

– В моем выступлении я хочу предложить другой подход к космологии, который поможет ответить на главный вопрос: почему Вселенная такая, какая она есть?

Другой подход к космологии? Это обещает быть интересным.

– Каким образом мы можем выяснить, как родилась Вселенная? – спросил Хокинг. – Некоторые – в основном это те, кто воспитывался в традициях физики элементарных частиц, – просто игнорируют эту проблему. По их ощущению, задача физики – предсказывать то, что происходит в лаборатории... Меня поражает, что люди могут поддерживать такую убогую точку зрения, что они могут сосредоточиться только на конечном состоянии Вселенной и не задаваться вопросом, как и почему она возникла.

Те, кто делает попытку объяснить ее происхождение, говорил он дальше, движутся снизу вверх. Они начинают с некоторого начального состояния и отслеживают его изменения во времени, чтобы увидеть, как получается что-то, отдаленно напоминающее нашу Вселенную. Инфляционная модель именно это и делает, но, сказал он, даже теория типа «снизу-вверх» не имеет никакого смысла.

Хорошенькое дельце! Каждый участник этой конференции восхваляет большой успех инфляционной теории, а Хокинг встает и говорит, что она не имеет никакого смысла.

Инфляционная модель, между тем растолковывал Хокинг, нарушает принцип общей ковариантности, ключевой ингредиент теории Эйнштейна, который гарантирует, что всякая система отсчета равным образом предоставляет все необходимое для описания Вселенной. Вместо того чтобы работать с четырехмерным пространством-временем, в теории инфляции пространство-время разбито на три пространственных измерения и одно временное. Но чье это пространство? Чье время? Разбивая таким образом пространство-время, мы выбираем привилегированную систему отсчета – тяжелейшее преступление против теории относительности. Еще хуже то, продолжал он, что при определенном выборе координат, играющих роль времени, инфлатонное поле не будет расширяться. Другими словами, теория работает только в некоторых системах координат.

Это было увлекательно, но доклад делался крайне медленно. Проходили минуты между предложениями, минуты, в течение которых

участники конференции старались сидеть тихо из уважения к докладчику. Было только слышно, как кто-то менял положение в кресле или покашливал.

Внезапно его правая нога начала сильно дрожать. Из-за этого компьютер, прикрепленный к коляске, стал вибрировать. Его помощник бросился к нему и, стоя на коленях, держал Хокинга за ногу так, чтобы он смог продолжать доклад.

Помимо проблем с инфляцией, говорил дальше Хокинг, существует фундаментальная проблема с подходом от простого к сложному вообще.

– В космологии путь снизу вверх – принципиально классический, поскольку предполагается, что он единственный и вполне определенный, – сказал он. – Но в одной из наших ранних работ с Роджером Пенроузом мы показали, что любые разумные классические космологические решения имеют сингулярность в прошлом. Это означает, что рождение Вселенной – квантовое событие.

Квантовые события описываются не единственным состоянием, а суперпозицией всех возможных состояний. То есть мы не просто не можем знать, в каком из этих состояний была Вселенная на самом деле, – но Вселенная, собственно, и не была ни в одном из них. По этой причине, сказал Хокинг, нам нужно рассматривать эволюцию Вселенной от настоящего к прошлому. Наблюдая особенности нашей Вселенной, сегодня мы сможем определить все возможные пути эволюции, которые привели бы к такой Вселенной. Поступая так, мы создаем некую историю Вселенной.

– Это означает, что истории Вселенной зависят от того, что измеряется, в противоположность обыденному представлению об истории Вселенной как о чем-то объективном и не зависящем от наблюдателя, – сказал он.

«Нет независимой от наблюдателя истории», – нацарапала я в моем блокноте и, немного поразмыслив, подчеркнула эту запись. Я не была уверена, что понимаю ее значение, но у меня было предчувствие, что она крайне важна.

Вечером я села в автобус, отправлявшийся на банкет. Рядом со мной в кресле сидел мужчина, бейдж которого также указывал на его причастность к прессе.

– Майкл Брукс, главный редактор журнала *New Scientist*, – представился он с очаровательным британским акцентом.

Я сразу узнала это имя. Я была заядлым читателем журнала *New Scientist*, и недавняя статья под названием «Жизнь как компьютерная симуляция, стираемая в конце» произвела на меня такое впечатление, что я вырезала ее из журнала и прикрепила к стене над моим компьютером. Автор статьи, Майкл Брукс, обсуждал работу философа Ника Бострома, который утверждал, что мы, по всей вероятности, живем внутри компьютерной симуляции вроде «Матрицы»^[16]. Мысль Бострома состояла в том, что в конце концов наши компьютеры станут достаточно мощными, чтобы имитировать жизнь сознательных существ, таких как люди. Когда наступит это время, будущие программисты смогут имитировать целые сообщества, даже целые вселенные, и наблюдать, как разыгрываются различные сценарии – как в научно-исследовательских целях, так и для гиперреалистичных телепередач. Как только будет создана первая имитация реальности, сразу же последуют сотни, тысячи, миллионы моделей. Поэтому, учитывая неизбежное существование миллионов симулированных миров, вероятность того, что мы живем в одном-единственном по-настоящему реальном мире, близка к нулю.

В статье Брукс задавался вопросом, существует ли какой-то способ определить, в каком мире мы живем, в реальном или смоделированном. Программисты, рассуждал он, не стали бы тратить ресурсы на проектирование мельчайших микроскопических особенностей поддельной реальности. Если симитированные наблюдатели начнут обнаруживать нестыковки тут и там, программисты всегда смогут на ходу заполнить пробелы. Таким образом, утверждал он, на микроскопическом масштабе смоделированный мир может выглядеть несколько бессмысленно. «Для тех, кто когда-нибудь сталкивался со странностями квантовой механики, они, возможно, могут служить тревожным сигналом», – писал Брукс.

Я сказала Бруксу, что я работаю внештатно: пишу для научных журналов, и мы разговорились о космологии и выслушанных докладах.

– Присылайте мне свои статьи, – сказал он, когда автобус подъехал к Музею железных дорог. – Я отвергаю девяносто процентов рукописей, но вы не унывайте и продолжайте присылать.

– Непременно! – пообещала я.

Я вышла из автобуса навстречу теплому калифорнийскому вечеру. Я не могла отделаться от мысли, что все это слишком хорошо, чтобы быть правдой. Наверное, и в самом деле это была симуляция. Но тут я вспомнила, как Брукс закончил свою статью. «У этого мира есть шанс оказаться и в самом деле истинной реальностью, – писал он. – Для этого надо, чтобы человечество уничтожило себя прежде, чем наши компьютеры станут достаточно мощными для моделирования сложных обществ и осознающих себя сущностей». Я вспомнила вчерашний обед и сценарии конца света, о которых говорил Рис. Может быть, сэр Серьезность знал ответ.

Немного нервничая при мысли о необходимости общения с самыми выдающимися физиками, я быстро опрокинула два бокала вина. Это было большой ошибкой. Моя сопротивляемость по отношению к алкоголю была ужасающе низкой. Эффект был такой, словно вместо вина мне налили текилу.

Все начали быстро рассаживаться за круглыми столами, накрытыми по этому случаю. Я села на первое попавшееся свободное место. Я вежливо улыбнулась, но физики переговаривались друг с другом, пока официанты наполняли наши бокалы, а затем отправились за салатами.

Осмелев от выпитого вина, я решила завязать разговор.

– Кто-нибудь из вас читал статью о Жуане Магейжу в журнале *Discover*? – спросила я.

Я прочитала эту статью, пока летела в самолете. И теперь она первой пришла мне в голову. В статье обсуждалась теория Магейжу, согласно которой в ранней Вселенной скорость света была намного больше. Она предлагалась в противовес теории инфляции, но я так и не смогла понять различие между ними. Допустить сверхсветовую скорость распространения электромагнитных волн, но при этом принять пространство-время расширяющимся со скоростью ниже скорости света, или сохранить скорость света и допустить расширение пространства-времени со сверхсветовой скоростью – казалось мне двумя разными взглядами на одно и то же, так зачем спорить с Эйнштейном?

– Эта теория с переменной скоростью света, наверное, просто липа, как вы думаете?

Физик напротив сурово поглядел на меня:

– Я думаю, что нет. Я соавтор этой теории.

Никто не проронил ни слова.

О боже! Куда деваются все эти бейджики с именами, когда вы нуждаетесь в них больше всего? Теперь я поняла, это был Энди Альбрехт, второй автор теории с переменной скоростью света. Неужели я просто так взяла и заявила, что его теория была липой? Я лихорадочно придумывала какое-нибудь оправдание. Почему на обложке журнала красовался огромный портрет Магейжу и нигде не было фотографии Альбрехта? Я хотела извиниться. Я хотела объяснить, что я просто пыталась завязать разговор, что мне нравится теория Эйнштейна, что я вовсе не думаю, что его теория неверна, и что меня, наверное, просто какая-то муха укусила. Вместо всего этого я сказала:

– Вау, да он просто украл вашу славу!

Это так просто вылетело из моего рта? Что, черт подери, я делаю? «Заткнись, – приказала я себе. – Просто перестань говорить слова».

– Меня это не особо волнует, – сказал Альбрехт раздраженно.

Я кивнула и улыбнулась. Я хотела тихо сползти под стол и спрятаться там. Я оглядела зал, тщетно ища путь к спасению.

И в этот момент произошло чудо. Среди моря физиков я случайно наткнулась на взгляд Тимоти Ферриса. Феррис встал, посмотрел прямо на меня и кивнул головой в сторону задней двери. Ни слова не говоря, я поднялась из-за стола, быстро прошла к задней части зала и тихо проскользнула за стеклянную дверь. Он уже ожидал снаружи.

– Моя машина за углом, – сказал он.

«Ладно, – подумала я, – это, видимо, и в самом деле симуляция». Мы шли по пустой улице. Феррис спросил меня, для какого издания я пишу.

– Ну, последнюю статью я написала для журнала *Scientific American*, – сказала я, не уточняя, что это была также моя первая статья. – А ты?

– Я работаю в *The New Yorker*, – сказал он.

Я почувствовала себя недостойной просто вот так идти с ним по одному тротуару.

Мы завернули за угол, где на пустынной, мощенной булыжником улице был припаркован небольшой блестящий *Porsche*. Я осмотрелась вокруг в поисках другого автомобиля, который мог принадлежать

журналисту. Но Феррис нажал на кнопку на его брелоке, и *Porsche* дружески пискнул в ответ. «Серьезно? – подумала я. – Ты журналист?» Перспективы моей новой профессии выглядели все лучше с каждой минутой.

Я расположилась на пассажирском сиденье и пристегнула ремень безопасности. Взревел двигатель, и Феррис включил стерео, увеличив громкость. Автомобиль заполнили барабанная дробь и плач электрогитары.

– Это Боуи?

Феррис улыбнулся, нажал на газ и тронулся. Сила инерции прижала меня к моему сиденью, и, выруливая по узеньким улочкам старого Сакраменто, Феррис не снижал скорость, словно участвовал в ралли. Вскоре мы уже мчались по калифорнийскому хайвею, то и дело обгоняя другие автомобили, рассекая теплый ночной воздух, между силуэтами пальм, и силуэты пальм пролетали мимо моего окна.

Через пять минут мы уже были в Дейвисе. Феррис подвез меня к моей гостинице и вежливо попрощался. Слегка пошатываясь, я ступила на тротуар, расстроившись, что праздник уже окончен, но счастливая, что осталась жива и стояла на твердой земле.

Я достала из сумки сотовый и позвонила отцу.

Наступил последний день конференции. Я не хотела, чтобы она заканчивалась. Я уже узнала так много, что думала, мой мозг может переполниться, но я хотела узнать еще больше. Я не могла отделаться от мысли, что чего-то не хватало во всех этих разговорах о Вселенной. Чего-то... квантового.

– Любая удовлетворительная теория квантовой космологии должна опираться на наблюдения, которые могут быть сделаны наблюдателями внутри Вселенной, – говорила мне Маркопулу. Но теория инфляции подразумевает существование области за пределами нашей видимой Вселенной, и, что еще хуже, вечная инфляция предполагает существование целой мультивселенной, которую никто, даже в принципе, не мог бы наблюдать. Дело в том, что стандартная космология не была квантовой. Конечно, переход инфлатонного поля из состояния с ложным вакуумом был квантовым процессом, но все остальные теоретические построения были выполнены в чисто классическом стиле. Это было как раз то, о чем говорил Хокинг: «В

космологии путь снизу вверх – принципиально классический... но рождение Вселенной было квантовым событием». Мне нужно было узнать больше. Что у него за космология «сверху вниз»? И как она учитывала сам факт нашего существования во Вселенной?

Я также не могла забыть о моем разговоре с Гутом. Все указывает на то, что Вселенная появилась из ничего, говорил он. Вселенная – это ничто. И самое интересное было то, что он представил это как легко фальсифицируемую гипотезу: достаточно было найти одну ненулевую сохраняемую величину, и вся гипотеза рухнет. Если Вселенная – это ничто, думала я, то все вокруг ставят неверный вопрос. Вопрос не в том, как получить нечто из ничего. Вопрос состоит в том, почему ничто выглядит чем-то?

Большое количество легендарных ученых, собравшихся в одном месте, и торжественность момента начала золотого века космологии побудили организаторов конференции пригласить фотографа, чтобы сделать групповую фотографию, которая обязательно займет свое место в анналах истории науки.

– Я прошу всех в перерыве собраться на улице, на ступеньках перед входом в здание, чтобы сделать коллективное фото, – объявил Альбрехт со сцены.

Пока физики медленно собирались на ступеньках перед входом, я отошла в сторону, чтобы позвонить отцу.

– Что стряслось? – спросил он.

– Все они обеспокоены аномально низкой мощностью квадрупольной составляющей, – сказала я почти шепотом, как шпион, докладывающий обстановку в генштаб Реальности, – из которой следует отсутствие флуктуаций микроволнового фона на больших углах. Может показаться, что Вселенная недостаточно велика для их появления.

– А как велика она должна быть? – спросил он.

– В этом-то и вопрос. Возможно, размером с видимую Вселенную.

– Да, это действительно подозрительно, – сказал он.

– Вот именно! Какое-то безумие... Черт, я должна идти. Они сейчас будут делать групповое фото всех физиков, и я хочу сделать несколько фотографий сама.

– Сфотографируйся с ними!

– Мама?

– Сфотографируйся с ними сама! – повторила мама голосом то ли еврейской матери, то ли капитана команды болельщиц.

– Ладно, ладно, – сказала я, закатывая глаза.

Но, стоя в стороне вместе с другими журналистами и наблюдая, как физики занимают свои места, я не могла забыть слов матери. А в самом деле, почему я не могу быть на фото? Нет же у физиков никаких телохранителей, которые могли бы остановить меня? Честно говоря, кто это заметит? Я посмотрела на фотографа: он по-прежнему копался со своей камерой. Незаметно, насколько это было возможно, потупив взгляд так, чтобы никто не смог его поймать, я скользнула вдоль края лестницы и быстро направилась в дальний угол, к последнему ряду группы. Я была уверена, что никто этого не заметит, зато потом, даже если бы я была едва видна на фото, я могла бы показывать крошечную точку, едва заметную позади кого-то важного, и говорить: «Посмотрите, а вот это я!»

Фотограф, наконец, взглянул на нас и приложил глаз к видоискателю. Каждый из нас задержал вздох и расплылся в улыбке. Но тут фотограф опустил камеру и оглядел толпу, словно пытаюсь найти... *Боже, неужели меня?*

– Эй, вы там! – крикнул он, указывая на меня. Я почувствовала, как мое лицо заливается краской. Он собирался вытащить меня, как мошенника, прямо здесь, перед всеми? Объявить, что я не только не физик, но даже и не журналист? Что у меня была секретная миссия выяснить природу реальности, и что я была готова пойти на любые жертвы, только бы сделать это? Откуда он мог знать? И где, черт возьми, был Феррис с его автомобилем?

– Вы! Вас плохо видно из-за вашего роста, – крикнул он. – Выйдите вперед!

Снова избегая взглядов, я проскользнула вперед и встала с края. Тогда он схватил меня за плечо и быстро поставил на место, которое выбрал сам, – впереди и почти в самом центре. Справа от меня стоял Гут, а еще через одного располагался Хокинг. «Почему бы просто не посадить меня прямо Хокингу на колени?» – подумала я.

– Вы здесь, – пробормотал Гут, имитируя голос фотографа, – у вас нос набок, выпрямите его!

Я засмеялась.

– Снимаю! – крикнул фотограф. И нам уже ничего не оставалось делать, как улыбаться.



Я среди участников конференции по космологии в Калифорнийском университете в Дейвисе 2003 года.
Фото: Д. Олдриджа (UC Davis).

Глава 4

Отложенный выбор

Возвратившись домой, я не переставала думать о рассуждениях Ника Бострома. Если мир вокруг нас – действительно виртуальная реальность, симулированная на компьютере в какой-то высшей реальности, то как мы это можем обнаружить? И есть ли нам до этого дело?

Декарт размышлял над теми же проблемами. Конечно, в его эпоху не было компьютеров, но были злые демоны, и Декарт спрашивал себя, можно ли, обманывая свои чувства, существовать в ложной реальности. Он беспокоился, что все вокруг него, включая его собственное тело, может быть обманом. Но в океане демонических сомнений одно он знал наверняка: он ощущал. Он думал. Он был настоящим. Даже если все, что представлялось его сознанию, было иллюзией, сам факт существования его сознания оставался истинным. Я мыслю, следовательно, я существую. *Cogito ergo sum*.

И это все? Одно я могу сказать наверняка? Я существую. Точка.

Это была удручающая мысль. Декарт никогда по-настоящему не исходил из *cogito*, в рамках логики по крайней мере. Он должен был обратиться к вере и уповать на благосклонность Бога, который был не так жесток, чтобы дурить нас поддельным миром. Но если вы готовы принимать вещи на веру, думала я, зачем тогда нам посредники? Почему бы просто не поверить в реальность и не назвать это нашим миром?

Меня не особо беспокоят злые демоны, компьютерные симуляции Бострома выглядят более реальной угрозой. Перелистывая журнал *New Scientist*, я наткнулась на статью космолога Джона Барроу, в которой он утверждал, что если мы находимся в симуляции, то должны видеть в окружающей реальности нестыковки. «Если мы живем в симулированной реальности, то надо ожидать таких научных явлений, как нестыковки в результатах экспериментов, которые мы не можем повторить, или небольшие изменения фундаментальных констант и законов природы, которые мы не можем объяснить, – писал Барроу. – В действительности, у нас уже есть несколько таких результатов:

очевидные в астрономии изменения величины постоянной тонкой структуры на несколько миллионных долей, например. Очевидно, объяснение этих явлений является приоритетной задачей. Если мы не сможем их объяснить, то ошибки природы могут оказаться так же важны для нашего понимания истинной реальности, как и сами законы природы».

Это звучало соблазнительно. Но даже если бы мы наблюдали эти нестыковки, откуда бы мы знали, что они были доказательствами симуляции? Разве они не могли быть просто ошибками в самой реальности? Барроу, казалось, предполагал, что истинная реальность обязана быть безукоризненной, служить незапятнанным образцом логической последовательности. И если это так, то, пожалуй, есть только одна возможная реальность, которая является уникальным идеалом логического совершенства. В конце концов физики должны прийти к одной полной и логически непротиворечивой модели физической Вселенной, чем они, собственно и занимаются. И если мы не можем прийти даже к одной модели, то каковы шансы, что программисты-имитаторы смогут найти несколько или, тем более, бесконечное количество сценариев мироздания? Если есть только один возможный мир, он может быть познаваем — к черту демонов и программистов.

А может быть, человеческий мозг не создан для решения такой задачи. Может быть, программисты без проблем изобретают вселенную за вселенной. И если это симуляция, кто может сказать, что авторы этой симуляции не симулированные ранее существа, и кто говорит, что их реальность — не просто симулирование из другой симуляции, которая, в свою очередь... Подвергая сомнению реальность реальности, легко потерять почву под ногами. У меня поехала крыша. Реальность непознаваема? Может, все это дело было ошибкой с самого начала? *Cogito ergo* паникую.

Я в своих размышлениях шла по кругу, когда вдруг у меня возникла странная мысль: а если реальность — это не симуляция, то что? Симуляция — это неприятное слово, служащее антонимом какому-то другому, но какому? Симуляция — это все, что мы знаем. Наш мозг — своеобразный портал к так называемой реальности. Нет ничего во Вселенной, что мы можем воспринимать, не пропустив его через лабиринт серого вещества в наших головах. Мы, в буквальном смысле,

вечно живем в ловушке нашего сознания. Все, что мы видим, слышим, трогаем, запах и вкус – не что иное, как представления, порожденные нашим мозгом. Кошки, собаки, деревья, другие люди... все это удивительно реалистичные нейронные симулякры. Потом, опять же, кто может сказать, что они удивительно реалистичны? По сравнению с чем?

Наши глаза – не прозрачные окна во внешний мир. Когда мы думаем, что мы ходим по улицам города, мы в действительности прогуливаемся по нейронной сети нашего мозга. Все, что кажется находящимся снаружи, на самом деле находится внутри. Как бы нам этого ни хотелось, никакого «вне» не существует. Мозг – это Вселенная в самой себе: миллионы мерцающих нейронов, растопыренные, как пальцы, дендриты, химические реакции, постоянно протекающие в бессмысленном мраке бездонного внутричерепного пространства. Как сказал космолог Джеймс Джинс: «Вселенная больше похожа на гигантскую мысль, чем на огромный механизм».

Конечно, заманчиво думать, что симуляции нашего мозга симулируют нечто, какую-то внешнюю реальность, воздействующую на наши чувства, запускающие наши нейронные шарики и ролики, чтобы воспроизвести правдоподобную иллюзию. Но кто знает – не галлюцинация ли это, не сон ли? Чжуан-цзы приснилось, что он бабочка, а проснувшись, он обнаружил, что он и в самом деле бабочка, которой снилось, что она была человеком. Я вдруг поняла мораль всей этой истории: мы все сошли с ума.

Беркли утверждал, что мир зависим от нашего сознания, а физическая реальность – плод абстрактных мыслей. Если для Декарта *cogito ergo sum*, то для Беркли *esse est percipi*: быть – значит ощущаться. Мир обрывается на восприятии, за ним ничего нет. Восприятие, сказал он, является началом и концом существования, а не представлением о внешнем, физическом мире. Эти мысли не получили широкого распространения. Возмущенный идеалистической философией Беркли, Сэмюэл Джонсон лихо пнул большой камень, воскликнув: «Вот мое опровержение!» «Как нам опровергнуть Бострома? – думала я. – Кто его пнет?»

У идеализма Беркли был один фатальный – и, честно говоря, очевидный – недостаток: его зависимый от сознания мир сам зависел от сознания всех тех, кто его воспринимал, тех, кто поэтому должен быть

каким-то образом отделен от воспринимаемого мира. В этом состоял категорийный дуализм наблюдателя и наблюдаемого. Две принципиально разные категории. Но чем тогда является наш мозг, если не физическим объектом, созданным из того же, что он симулирует? В конце концов, мы просто части Вселенной, наблюдающие сами себя, и если мы симуляция, то мы – симуляция, симулирующая самое себя. Итого: все это просто большой космический зеркальный зал? Зеркала, отражающие зеркала, бесконечный регресс изображений и больше ничего? Может, это и имел в виду Уилер, когда говорил о самонастраивающемся контуре? Или мой отец, когда садился в позу лотоса? *Тебе, наверное, кажется, будто ты – это ты, и есть еще весь остальной мир вне тебя. Но это все только один единый мир.*

Я уже была готова обречь себя на жизнь в платоновской пещере, путая тени с реальными предметами, когда меня осенило: *мозг и сам по себе вселенная. Что бы мы ни думали, никакого «вне» не существует. Односторонняя монета, одна сторона вещей...*

Смолин сказал, что первым принципом космологии следует считать утверждение, что нет ничего вне Вселенной. Может быть, нам было нужно аналогичное утверждение и здесь: нет ничего за пределами реальности. Внезапно проблема симуляции стала ужасно похожа на проблему наблюдателя в квантовой космологии, только в другом обличье. Вы не можете выйти за пределы Вселенной, вы не можете выйти за пределы вашего мозга, и вы не можете выйти за пределы реальности. Если я симуляция, то нет никакого способа заглянуть за пределы этой симуляции и посмотреть на нее с более высокого уровня реальности, я даже не могу выйти на следующий уровень самой симуляции. А если я не симуляция, то, аналогичным образом, я не могу выйти за пределы реальности и, оглянувшись, убедиться, что она реальна. Просто нет систем отсчета, которые позволили бы оценить реальность знакомой нам реальности. Рассуждения о симуляциях апеллируют к несуществующей богоподобной системе отсчета. Значит ли это, что мы никогда не узнаем истину? Или истина состоит в том, что реальность – это односторонняя монета?

Согласно Лейбницу: «...Даже если бы сказали, что вся эта жизнь не более чем сон, а наблюдаемый мир не более чем фантазма, то я бы ответил, что этот сон или эта фантазма были бы достаточно реальны, если бы мы, хорошо пользуясь разумом, никогда не обманывались

ими»^[17]. Ну, извините, господин Лейбниц, но я искала чего-то немного большего, чем то, что можно назвать «достаточно реальным»! Я ищу окончательную реальность и не собираюсь соглашаться ни на что меньшее.

Несколько месяцев спустя мне позвонили из *New Scientist*. Они хотели, чтобы я написала статью о группе физиков на Лонг-Айленде, которой удалось создать фajerбол. Я уже однажды писала для них статью о петлевой квантовой гравитации – по просьбе их главного редактора Майкла Брукса, с которым познакомилась в автобусе в Дейвисе. Несмотря на все предупреждения о почти неизбежном отказе принять статью, Брукс не только взял ее, но и вынес на обложку. А теперь меня просят написать еще одну? Слишком хорошо, чтобы быть правдой.

– Материал сложный, связан с физикой элементарных частиц, – пояснила редактор, с которой я никогда не встречалась. – Мы все решили, что вы относитесь к тем немногим авторам, которые могли бы с этим справиться. Вы готовы попробовать?

Мы все решили?

Я прокашлялась, чтобы скрыть волнение:

– Да, конечно.

– Они подозревают, что у них получилась кварк-глюонная плазма, – продолжила она.

– Ах да, кварк-глюонная плазма, – сказала я. – Очень интересно!

Положив трубку, я сразу же приступила к работе. Мне нужно было позвонить физикам на Лонг-Айленд и попросить их подробно рассказать об эксперименте. И мне необходимо было обсудить это с другими физиками, работающими в этой области, чтобы понять, насколько эти наблюдения важны для познания Вселенной. Но в первую очередь надо было разобраться, что это за чертовщина, кварк-глюонная плазма.

Эта ночь была самой сюрреалистической из всех моих сюрреалистических ночей.

Я уже свернулась калачиком в постели с книгой о кварках, когда зазвонил телефон. Это был отец, звонивший из гостиницы в Чикаго, где он посещал симпозиум радиологического общества.

Я заложила страницу и закрыла книгу:

– Что случилось?

– Меня пригласили на прием в Филдовский музей сегодня вечером, – сказал он. – Пока все занимались в атриуме коктейлями, я пошел посмотреть музей. Он был уже закрыт, так что посетителей не было. И оказалось, что сейчас там проходит выставка, посвященная Эйнштейну! Я был один в комнате, наполненной вещами Эйнштейна – его рукописями, фотографиями, письмами. Это было так странно. Было очень тихо, и я оставался наедине со всеми его вещами. Почему-то я не мог отвести глаз от его компаса. Мне захотелось схватить его и убежать.

– Могу себе представить! – сказала я.

Когда он повесил трубку, я улыбнулась: у меня перед глазами встала картина, как мой отец разбивает стеклянную витрину и, прихватив компас, убегает сквозь толпу растерянных врачей-радиологов, а рой музейных охранников гонится за ним, крича: «Держите его!» А потом он бы летел обратно на восточное побережье. И затем – это же все-таки были мои грезы – я представила, как он упаковывает компас в небольшую коробку, обернув его поклоном, и передает его мне.

Эйнштейну было всего четыре или пять лет, когда его отец подарил ему этот компас. Это был один из тех предметов, которым каким-то образом было суждено изменить мир. Наблюдая, как невидимая сила каждый раз снова направляла стрелку компаса на север, Эйнштейн убедился, что «в нем есть что-то глубоко скрытое». И он провел остаток своей жизни, пытаясь найти это.

Аналогичным образом мой отец тоже предложил мне впервые задуматься над тем, что реальность – это не то, что мы видим. Только в моем случае это был не компас, а идея, и вместо того чтобы стать Эйнштейном, я сделалась горе-журналистом, у которого больше вопросов, чем ответов. Все же – мне пришло в голову только сейчас – лучший подарок, который родители могут сделать своему ребенку, – это тайна.

Квантовая хромодинамика, или КХД, – это теория, описывающая, как глюоны связывают кварки друг с другом в группы по три, образуя протоны и нейтроны, которые можно найти в ядре каждого атома. Кварки, как я узнала, бывают трех возможных цветов (метафорически):

красного, синего и зеленого. Если сложить все три цвета, то получится нейтральный белый. В нашем мире группы кварков всегда должны быть нейтрального цвета. Это означает, что они обязаны существовать только группами, связанные глюонами. В свободном виде одиночные кварки не встречаются. Все это верно до тех пор, пока вы не начали их подогревать. При экстремальных температурах, например тех, которые образовались после Большого взрыва, связи глюонов ослабевают, кварки высвобождаются, и материя растворяется в первичной плазме.

Для достижения таких экстремальных температур физики с помощью коллайдера для релятивистских тяжелых ионов, или RHIC, в Брукхейвенской национальной лаборатории разгоняют ядра золота почти до скорости света и затем сталкивают их вместе, высвобождая при этом сотню миллиардов электрон-вольт энергии, в результате чего образуется файербол в триста миллионов раз горячее, чем поверхность Солнца. Он живет всего 10^{-23} секунды. Но в эту долю секунды кварки пребывают в свободном состоянии.

Это было волнующее открытие, но плазма оказалась весьма непохожа на то, что физики ожидали. Вопреки их расчетам, кварки и глюоны двигались, по-видимому, упорядоченным образом. Это вовсе не было хаотическим свободным движением газа: они, скорее, плавали синхронно, что характерно для жидкости. Причем по своей вязкости эта жидкость ближе к идеальной, чем любая другая известная жидкость — она почти в двадцать раз более жидкая, чем вода.

Это было любопытно, но по-настоящему мое внимание зацепило сказанное Иоганном Рафельским. Он был экспертом по кварк-глюонной плазме, и я позвонила ему, чтобы обсудить скрытые смыслы открытия.

— Удержание кварков объясняется структурой вакуума, — сказал он мне. — Поэтому надо было расплавить вакуум, растворить связи между кварками, позволяя им свободно двигаться.

Расплавить вакуум? Эта фраза не выходила у меня из головы. Она была пугающе странной — как вы можете расплавить ничто? Ладно, я знала, что вакуум на самом деле не был «ничто». Ничто — это, по-видимому, состояние с нулевой энергией. Но ноль — слишком точное число для квантовой механики. Квантовое ничто активно бурлит благодаря соотношению неопределенности между энергией и временем: чем короче интервал времени, тем больше энергия, которая может спонтанно возникнуть из глубины вакуума только для того,

чтобы в мгновение ока снова исчезнуть. Эта энергия может принять форму виртуальной пары частицы и античастицы, которые рождаются из кипящего вакуума и затем, встретившись, аннигилируют друг с другом. Но как же эти виртуальные флуктуации вакуума связывают кварки вместе? Мне придется еще разобраться в этом, – и побыстрее.

Из всего, что я узнала о квантовой хромодинамике, в которую по уши погрузилась, именно вакуум, как и сказал Рафельский, удерживает кварки, не позволяя им удаляться друг от друга. Благодаря квантовой неопределенности в глюонном поле рождаются виртуальные глюоны. Но дело в том, что глюоны – даже виртуальные – несут заряд. Задача глюонов – склеивать кварки за счет так называемого сильного взаимодействия. Глюоны распознают кварки по их цветовому заряду. Фотоны действуют аналогичным образом, перенося электромагнитное взаимодействие между электронами, которые они определяют по их электрическому заряду. Но, в отличие от фотонов, которые не переносят никакого электрического заряда, глюоны имеют цвет и, помимо кварков, взаимодействуют и сами с собой, и с другими глюонами. В кипящем вакууме виртуальные глюоны прилипают друг к другу, скручиваются и деформируются, образуя сложные структуры – структуры, которые создают для кварков барьер, делая невозможным их свободное существование в вакууме. Сжатые в кипящем море виртуальных глюонов, кварки жмутся друг к другу – красный, синий и зеленый. Отсутствие цвета защищает их от опасных клейких глюонов. Бесцветный конгломерат из трех кварков образует протон или нейтрон, а из них, в свою очередь, составляются массивные ядра атомов. Если бы не структура вакуума, атомы бы развалились.

Сила виртуального глюонного поля препятствует движению кварков; если вы попытаетесь ухватить один из кварков и сдвинуть с места, ничего не выйдет. Как будто бы он *тяжелый*. Таким образом, виртуальное глюонное поле вакуума обеспечивает кваркам 95 % их массы, что, в свою очередь, обеспечивает протоны и нейтроны их массой, а это, в свою очередь, определяет 99 % массы атомов... Все это означает, что масса всего, что нас окружает, включая наши собственные тела, не сильно отличается от массы самого вакуума. Материальный мир состоит из ничего. Лукреций сказал, что «ничто из ничего не рождается». Квантовая хромодинамика это опровергает.

Чтобы сделать кварки свободными, вы должны растворить виртуальные глюонные структуры вакуума. Позаботьтесь, чтобы температура и энергия были повыше, поближе к тем, что были в условиях Большого взрыва, и вакуумные структуры расплавятся. По мере того как исчезают замысловатые формы, вакуум начинает все больше и больше походить на ничто. Становится гладкий и простой. Недифференцированный. Симметричный.

Как я выяснила, у симметрии есть важное свойство, которое всегда необходимо иметь в виду – она имеет тенденцию нарушаться. Как объясняется в любой из прочитанных мной книг, карандаш, балансируя на кончике своего грифеля, обладает идеальной осевой симметрией – обходя его по окружности на 360° , мы будем видеть одно и то же. Но положение его очень неустойчиво. Хотя карандаш находится в равновесии, он в любой момент готов упасть, потому что существует состояние с более низкой энергией: состояние, в котором он принимает горизонтальное положение. Малейшего ветерка будет достаточно, чтобы опрокинуть его. И хотя любой угол, под которым он может упасть, имеет одни и те же шансы, карандаш выберет только один. Когда он перейдет в горизонтальное положение, исходная симметрия нарушится.

Один из способов нарушить симметрию – понизить температуру. Лужа воды обладает высокой симметрией. На нее можно смотреть под любым углом, и она выглядит всегда одинаково. Но если ее охладить, она замерзает, в ней образуются кристаллы льда, обладающие большей структурой и меньшей симметрией.

Как я выяснила, физики аналогично рассуждают о Вселенной. При высоких температурах Большого взрыва вакуум был симметричен. По мере расширения и остывания Вселенной ее структура застывала, подобно сложным формам виртуального глюонного поля. Со структурой пришла масса. С массой пришло все остальное. Мир, который мы видим вокруг нас, и люди, которых мы видим, не представляют собой ничего большего, чем осколки нарушенной симметрии. Осколки ничто.

Я взяла книгу «Тоска по гармонии» Фрэнка Вильчека, лауреата Нобелевской премии по физике за его выдающийся вклад в создание КХД. Он пояснял, что спонтанное нарушение симметрии возникает всегда, когда для одного состояния с более высоким уровнем энергии

существует бесконечное множество одинаковых состояний вакуума – как континуум возможных горизонтальных положений, которые может принять падающий карандаш.

«Наиболее симметричное состояние Вселенной, как правило, получается наименее устойчивым, – писал он. – Можно предположить, что Вселенная образовалась в самом симметричном из возможных состояний и что в таком состоянии не существовало материи, Вселенная представляла собой очень пустой вакуум, лишенный как частиц, так и полей. Для нее доступно и другое состояние на более низком энергетическом уровне, в котором фоновые поля заполняют пространство. В конце концов, если не по какой-либо иной причине, то в результате квантовых флуктуаций возникает клочок пространства с менее симметричным состоянием поля, который, в силу благоприятной энергии, начинает расти. Высвобождаемая при этом энергия расходуется на рождение частиц. Это событие может соответствовать Большому взрыву... Наш ответ на знаменитый вопрос Лейбница „почему существует нечто, а не ничто?“ звучит так: „ничто неустойчиво“».

Но симметрия в действительности не нарушена, говорит Вильчек. Она просто скрыта. Вы всегда можете отыскать ее снова, если достаточно внимательно поглядите, скажем, на фундаментальные уравнения или внутрь файербола.

Наблюдение кварк-глюонной плазмы на RHIC свидетельствовало в пользу того, что в исходном состоянии вакуум был более симметричным. Но все же вакуум оказался более упругим, чем кто-либо ожидал. Слитное, как у жидкости, поведение кварков проявляло, скорее, какую-то остаточную асимметрию, а не свободное хаотичное движение частиц в газе. Чтобы достичь ничто, физики вставали перед необходимостью расплавить вакуум еще больше.

Когда я брала интервью у разных физиков, я обнаружила, что никто, казалось, не знает, что делать с этим неожиданным результатом. Но когда я искала в интернете, я наткнулась на незнакомое понятие – «AdS/CFT соответствие», с помощью которого можно было объяснить наблюдение ультражидкой плазмы. У меня не было достаточно времени, чтобы выяснить, что конкретно под этим имелось в виду, и не хватило места в статье, чтобы упомянуть о нем, но я записала в моем блокноте, чтобы потом не забывать: «Разобраться с AdS/CFT

соответствием... что-то из области теории струн... объясняет жидкий файербол?»

Я написала статью и отправила ее в журнал незадолго до истечения срока. Но идея Вильчека о том, что ничто нестабильно, не выходила из моей головы. Это была какая-то удивительная мысль, и она обещала прояснить ужасно много чего. Мы с отцом провели много времени, размышляя над тем, почему ничто – бесконечное однородное и неограниченное состояние – когда-либо изменяется. С какой стати что-то совершенно однородное, абсолютно симметричное должно когда-нибудь начать разрушаться? Почему оно когда-нибудь должно стать Вселенной? Вильчек, казалось, дал на это ответ. Ничто было нестабильным. Эта загадка Вселенной решена.

Почти. Проблема с привлечением механизма спонтанного нарушения симметрии для объяснения изначальной алхимии, превращения ничто в нечто, симметрии в структуру, заключается в том, что он требует некоторой внешней силы, легкого ветерка, который подтолкнет Вселенную к изменениям. Но вне Вселенной ничего нет. Вильчек высказал предположение, что квантовые флуктуации могли бы обеспечить такой легкий бриз, но от этого легче не становилось. Если вы используете законы квантовой механики для того, чтобы объяснить возникновение Вселенной, вы оставляете факт существования самих законов необъяснимым. Гут признавал это: «Я предполагаю, без особых на то оснований, но я предполагаю, что законы физики существовали и до рождения Вселенной. Если мы не предположим это, то мы не сможем продвинуться дальше в теории».

Это обескураживало. Настоящее решение проблемы существования должно начинаться с ничего и объяснить, как возникают законы физики. Мы не можем просто предположить существование квантовой механики, а затем использовать ее для объяснения всего остального – например, возникновения Вселенной. Нам нужно объяснить квантовую механику. *Почему квант?*

История, в которой Вселенная рождается из абсолютно симметричного состояния, при условии, что симметрия спонтанно нарушается, создавая богатый, замороженный мир, не может быть настоящей историей, потому что в этом мире нет никого, кто бы мог ее рассказать. Это такая история, которая требует всеведущего повествователя, богоподобного рассказчика, а существование такого

строго запрещено принципом Смолина. Проклятое уравнение Уилера – Девитта не работало, потому что вы в конечном итоге придете к Вселенной, замороженной во времени, Вселенной, где ничто никогда не происходит – никакого Большого взрыва, ни кварк-глюонной плазмы, ни компьютерного моделирования. Мне сейчас пришло в голову, что, возможно, *H*-состояние, предложенное моим отцом, сталкивается с той же проблемой. Ничто никогда не может измениться, потому что не существует системы отсчета, относительно которой оно изменяется. Нам понадобятся системы отсчета вне ничего, чего, по определению, не может быть, так как ничто безгранично и бесконечно. Ничто – это монетка с одной стороной.

Я осознала, что мы отчаянно нуждаемся в истории, рассказанной здесь, внутри Вселенной. Здесь, внутри ничего, если Гут был прав. *Нечто* – это *ничто*. И если Вселенная – ничто, то ничто, возможно, никогда и не меняется. Может быть, Вселенная на самом деле никогда и не была рождена. Может быть, ничто просто *выглядит* как нечто, когда вы находитесь внутри него.

Если ничто по определению безгранично, подумала я, то, чтобы сделать его похожим на что-то, нужна граница. Маркопулу говорила, что, если вы находитесь внутри Вселенной, вы не можете видеть ее всю – она доступна только в пределах вашего светового конуса. Может ли световой конус обеспечить границы, которые превратят ничто во что-то? Я в этом не уверена. В конце концов, площадь светового конуса растет со временем. В лучшем случае он может представлять собой временные границы. Я не была уверена, что этого будет достаточно. Кроме того, световой конус нематериален; это просто разграничение системы отсчета. Как вообще он может произвести какую-нибудь физическую работу, например создать Вселенную?

Сделав стремительный набег на симметрию и квантовую хромодинамику, я наконец получила возможность отдохнуть. Вместо этого я по-мазохистски принялась искать на просторах интернета что-нибудь про Ника Бострома и его симуляционный кошмар. В самый разгар моего экзистенциального самобичевания я наткнулась на сайт, который называется Edge.org.

Как я не видела его раньше?

Сайт представлял собой интеллектуальный салон, род виртуального Алгокинского круглого стола^[18], на котором наиболее выдающиеся ученые, писатели и мыслители обсуждали все, начиная от сознания и происхождения жизни до теории игр и параллельных вселенных. На сайте велись новейшие научные дискуссии, как если бы они разворачивались в реальном времени, таким образом, что любой мог понять их содержание.

Покопавшись, я обнаружила, что основателем Edge.org был Джон Брокман, литературный агент и успешный импресарио культурных мероприятий. Карьера Брокмана началась на Манхэттене в шестидесятые, когда ему было двадцать пять, с кино и авангардной живописи. Он тусовался с Энди Уорхолом, Джоном Кейджем, Робертом Раушенбергом и Бобом Диланом, занимался организацией мероприятий для мультимедиа-художников и Нью-Йоркского независимого кинофестиваля.

Однажды Кейдж одолжил ему копию «Кибернетики» и книги Джеймса Джинса и Георгия Гамова, которые рекомендовал Раушенберг. После этого Брокман стал интересоваться наукой и обдумывать идею об использовании ученых в качестве публичных интеллектуалов, которые, как и художники авангарда, могли бы формировать общественное мнение, побуждая людей задумываться о самых насущных проблемах нашего мира. Этого нельзя было осуществить до тех пор, пока у ученых не было прямого доступа к широкой общественной аудитории. Итак, в 1973 году Брокман основал свое литературное агентство, которое специализировалось на привлечении ученых к написанию научно-популярных книг.

Пять лет спустя, совместно с физиком Хайнцем Пегельсом, Брокман основал реалити-клуб, интеллектуальный салон, члены которого встречались в ресторанах, музеях и гостиных на Манхэттене. Клуб существовал пятнадцать лет, пока Брокман не превратил его в онлайн-группу Edge.org. Между тем, он полностью преобразил мир научной литературы, клиентами его агентства были такие известные ученые, как Ричард Докинз, Стивен Пинкер, Мартин Рис, Дэниел Деннет, Джаред Даймонд, Крейг Вентер, Брайан Грин. И хотя встречи членов реалити-клуба переместились в виртуальное пространство, Брокман поддерживал деятельность еще нескольких «живых» салонов.

Раз в год он приглашал небольшую группу ученых и писателей на свою просторную ферму в Западный Коннектикут.

Реалити-клуб? Это и в самом деле был реалити-клуб? Как можно было стать членом такого клуба? – недоумевала я. Я не была ни ученым, ни публичным интеллектуалом. Я был вообще никем – ну, разве что меня можно было считать мошенником, пролезшим в научные журналы. Но мне наплевать. Я знала, что хочу стать членом этого клуба. Я хотела участвовать в интеллектуальной дискуссии на Edge.org. Я хотела поехать на ферму Брокмана. И самое главное, я хотела, чтобы Джон Брокман стал издателем нашей книги о природе окончательной реальности, которую мы с отцом когда-нибудь напишем. К сожалению, мир Брокмана не был похож на то место, куда можно было пролезть, кем-то притворившись.

Я кликнула мышкой на фото Брокмана. Он выглядел грубоватым и импозантным, в полотняном костюме и панаме, напоминая одновременно главаря мафии и члена клуба «Буэна Виста».

Ник Бостром был членом сообщества Брокмана. Это было осмысленно, учитывая его склонность обращаться с реальностью как с пластилиновой фигуркой. Я посмотрела его биографию: любопытно, что привело его в клуб к Брокману? Очевидно, он получил степень доктора философии в Лондонской школе экономики, где он изучал философию, логику, искусственный интеллект и когнитивные науки. Но до этого, согласно информации на сайте Edge.org, Бостром был артистом-комиком.

Вы взорвали мне мозг, подумала я, глядя на его суровое лицо. Очень смешно.

Несколько недель спустя я снова оказалась в пригороде Филадельфии, чтобы провести несколько дней с родителями.

– Теперь, когда ты стала писать больше статей, ты, наверное, думаешь, что это позволит тебе сделать настоящую карьеру? – спросила мать за ужином.

Я отложила вилку.

– Карьеру журналиста? Не знаю. Может быть. Но дело не в этом.

– А в чем? – спросила она.

– Моя цель – выяснить природу окончательной реальности. Как получить что-то из ничего. Журналистика – это просто вывеска. Это

средство достижения цели.

В поисках поддержки я посмотрела на отца. Он одобрительно кивнул.

– Ну, я не знаю, как там в окончательной реальности, – сказала мать, – но в этой реальности ты безработная гардеробщица.

– Это совсем не моя вина, – сказала я. – Сейчас август. Все ходят без пальто.

– Пусть так, – сказала она. – Но я думаю, что сейчас самое время задуматься о планах на жизнь.

Она была, конечно, права. Я не могла всю жизнь изучать физику в гардеробе. К счастью, у меня созрел план.

– Я подумываю о возвращении в университет, – объявила я. – В Лондонской школе экономики есть курсы по философии науки. Ник Бостром посещал их. Он говорит, что мы, наверное, живем в компьютерной симуляции, и он участвует в дискуссиях на сайте Джона Брокмана. Нет-нет, сайт Брокмана – это не симуляция! Это...

Я взмахнула руками в воздухе, указывая на нашу кухню.

– Сначала я думала, что если все – симуляция, то какой смысл заканчивать университет? Но ведь чем может симуляция учебы отличаться от просто учебы, правда? В любом случае, я подозреваю, что все дело в неправильной точке зрения, предполагающей, что на реальность можно посмотреть из-за ее пределов.

– Ты едешь в Лондон? – спросила мать.

– В симуляцию Лондона, – уточнил отец.

– Мы будем без тебя, – сказала она. – И у нас будут астрономические счета за телефон.

С тех пор как я переехала в Нью-Йорк, мы с отцом заменили наши ночные разговоры о космологии за кухонным столом на телефонные разговоры, которые длились часами.

– Мы будем пользоваться электронной почтой, – сказал отец.

– А что с Кэссиди? – спросила она.

Я неуверенно улыбнулась.

– О нет, – запротестовала мама. – Я говорила тебе, когда ты заводила собаку, что мы не собираемся до конца наших дней заботиться о ней. Я не хочу собирать собачью шерсть по всей моей мебели. Я не собираюсь убирать за ней ее какашки.

– Симуляцию какашек, – уточнил отец.

– И должны быть программы по философии науки в США! – воскликнула мать.

– Несомненно, – сказала я. – Но нет никакой уверенности, что они приведут меня в клуб к Брокману.

– А тебе это нужно, потому что...?

– Потому что он может быть нашим издателем.

– Издателем чего?

– Издателем книги, которую мы напишем, когда раскроем секрет Вселенной.

– А ты не можешь просто позвонить ему, когда придет время?

Я рассмеялась над ее очаровательной наивностью.

– Конечно же нет! Я не могу просто так позвонить Джону Брокману. Вы знаете, что вы получите, если зайдете на веб-сайт его издательства? Пустую страницу с надписью *Brockman, Inc.* И все. Там нет ничего, на что можно было бы кликнуть. Это так круто!

– Так ты собираешься переехать в Лондон, чтобы пойти в школу в надежде, что по какой-то необъяснимой причине она приведет тебя к издателю книги, которую вы не написали, о том, чего пока не знаете?

Я кивнула:

– Точно!

Я посмотрела на моего отца. Он усмехнулся.

Мама всплеснула руками:

– Ну, по крайней мере, у тебя хоть есть план.

Позже, в ту же ночь, мне не спалось, и я забрела в нашу библиотеку. Мне было приятно снова очутиться в теплой и уютной атмосфере этой комнаты, с ее разбитым кожаным диваном и корешками бесчисленных книг, которые выглядели разноцветными яркими полосками, украшавшими стены. Окружающая со всех сторон мудрость успокаивала. Я заметила, что отец добавил новый книжный шкаф, и, как всегда, поразилась, когда он находит время, чтобы прочитать так много книг. Я всегда знала, что работа оставляет ему мало свободного времени, но только сейчас до меня начало доходить, что он использует это время без остатка для продолжения нашей странной миссии. Для него это не просто хобби. Он был медлителен в поступках и склонен к дзеновским медитациям, а новый книжный шкаф выдавал поспешность. Чувство голода. В его появлении был *смысл*. Конечно,

для отца он был всегда, но было странно видеть этот смысл в облике нового шкафа, богато украшенного красным деревом, придававшим ему особую значительность и вес – кроме веса древесины и томов на полках, тут был и вес его амбиций, амбиций, которые теперь стали моим наследством. Мне хотелось чего-то большего. Я хотела вспомнить его слова, которые он много лет назад, наклонившись, говорил мне в китайском ресторане, доказать ему, что он сделал правильный выбор, сделав меня наследницей его секретов, истинным выгодоприобретателем из всего и из ничего.

Одна из книг, стоявших на полке, привлекла мое внимание: «Во Вселенной как дома», сборник эссе Уилера по физике. Я не открывала ее с тех пор, как состоялся наш загадочный разговор с Уилером в Принстоне, поэтому я свернулась на диване с пледом и начала читать.

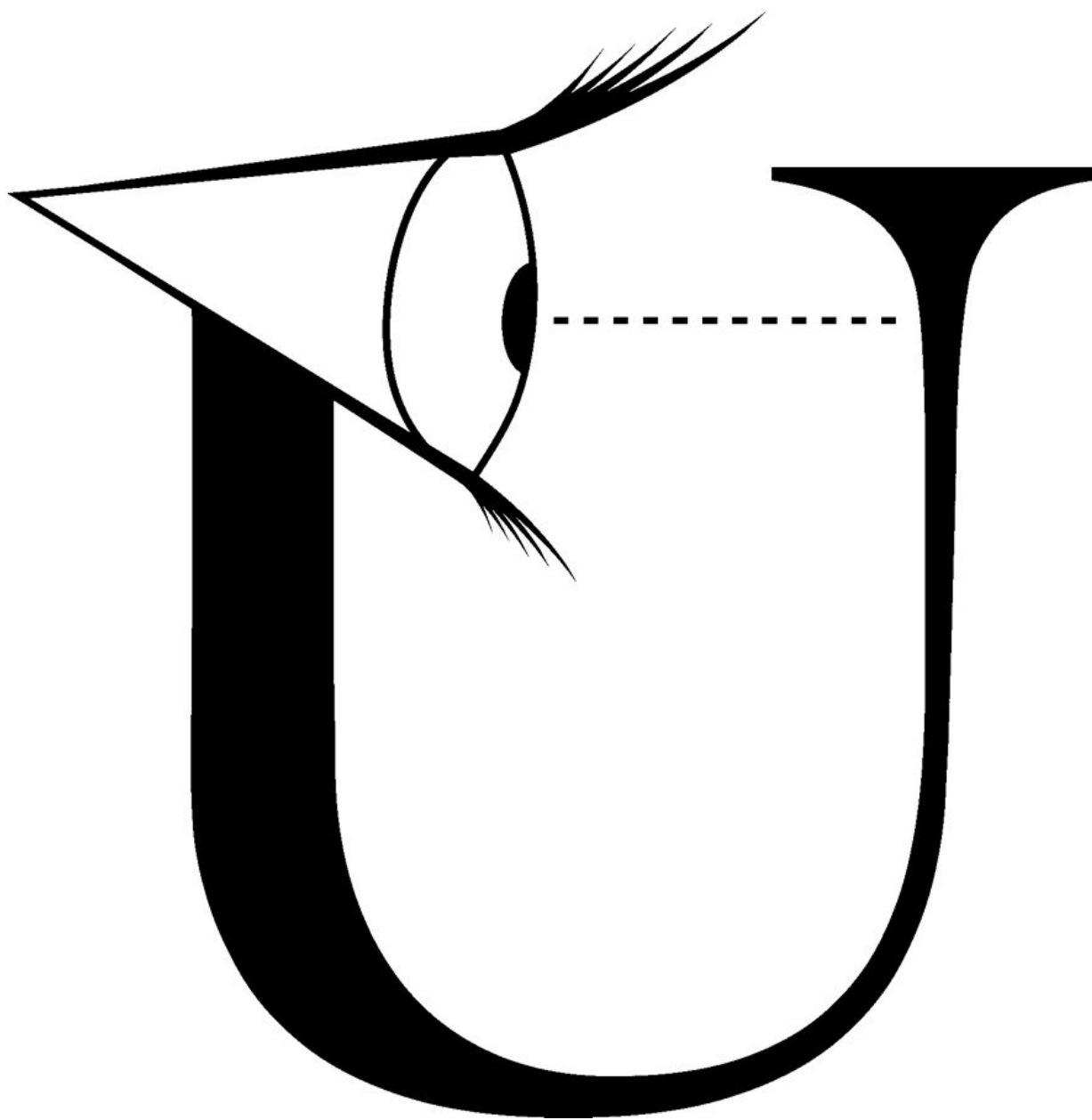
Уилер искал исходные кирпичики реальности, элементы, из которых возникли жизнь, Вселенная и все вокруг. «Никогда поиск рациональных обоснований сложной системы подпорок многоэтажного здания физических законов не был успешным ни в физике, ни в математике, – писал он. – Поэтому одни подозревают, что, проникая все глубже и глубже в структуру физики, мы никогда не сможем достичь конца, обнаружив, что она завершается на каком-то N-ом уровне. Другие опасаются, что столь же неверно думать о структуре, слои которой чередуются, сменяя друг друга до бесконечности. Третьи в отчаянии спрашивают: что, если структура не заканчивается на уровне каких-то мельчайших объектов или частиц, а непрекращающийся поиск основ мироздания приводит обратно к самому наблюдателю, образовав таким образом замкнутую цепь взаимозависимостей?.. Не представляет ли собой Вселенная воспроизводящей себя цепи, „самонастраивающегося контура“? Не вызывает ли Вселенная к существованию наблюдателя, чтобы наблюдатель придавал ей сущностный смысл (материю, реальность)?»

Я обожала Уилера. Он писал поэтично, пророчески и в то же время доступно. Слияние науки и искусства, действительности и мечты. В своем стремлении к абсолютной реальности он рассматривал каждую необъяснимую тайну как ключ. Уилер был не из тех, кто говорил: «Заткнись и вычисляй!» Он ставил вопросы и искал ответы на них, и он не собирался останавливаться, пока он их не находил.

В своей книге Уилер нарисовал схему: прописная буква *U* обозначала Вселенную. В верхней части справа был изображен Большой взрыв, кривая эволюции Вселенной во времени проходит справа налево, и, как ее кульминация, в верхней левой части расположен гигантский глаз – современный наблюдатель, результат космической эволюции длиной в миллиарды лет.

В свою очередь, глаз смотрит через пропасть в дальний кончик буквы, из настоящего в прошлое. Этот взгляд, предположительно, придает смысл (материальность, реальность) Вселенной. Замкнутая *U*-система.

Вселенная создает нас, чтобы мы могли создать ее? Реальность, для Уилера, была как лист Мёбиуса, как руки на рисунке Эшера, рисующие сами себя. Была ли это просто замкнутая логика, или это было единственное удовлетворительное объяснение мироустройства? Альтернативы этому, конечно, не было. Либо ты довольствуешься бесконечной регрессией черепашек поверх черепашек, и тебе остается только гадать, откуда, черт возьми, все эти черепахи пришли, либо реальность снова резко притормозит у какой-то новой частицы или поля, и ты снова интересуешься: почему? Откуда это взялось? Такая причинно-следственная петля казалась гораздо более приемлемой, но я не могла отделаться от мысли, что вершиной мастерства, тем, что навсегда бы прекратило все разговоры на тему «откуда это все берется?», была бы петля из ничего.



Так, по представлениям Джона Уилера, Вселенная наблюдает процесс своего рождения, тем самым создавая себя.

Рис.: Б. Уилсон.

Я наблюдала, как Уилер прокладывал свой тернистый путь через, казалось бы, никак не связанные друг с другом области физики, прежде чем поняла, что он старается тщательно объединить их вместе в одно большое, хотя и незаконченное, видение реальности, — настолько ошеломляющее, что оно могло бы показаться безумным, если бы его автором был кто-то другой.

В основе этого видения была главная загадка – квант. Совершая свободный выбор объекта измерения – частицы или волны, положения в пространстве или импульса, – наблюдатель вызывает к существованию бит информации, превращая туманную неопределенность в единичный фрагмент реальности. Такие биты, говорит Уилер, и были строительными кирпичиками Вселенной. Физическая реальность в основе своей состоит не из электронов, не из кварков или струн, не из пространства или времени, а из информации, – а информация, по сути, рождается посредством наблюдения.

Но что конкретно Уилер имел в виду, когда говорил про наблюдателя? Без внятного разъяснения слово «наблюдатель» ничего не значило. Фотини Маркопулу объясняла, что наблюдателями она называет системы отсчета. Такое же значение им придавалось и в теории относительности. Но в квантовой механике все гораздо сложнее, особенно в интерпретации, которая стремится придать наблюдателю привилегированную роль – такую, как способность создавать реальность. Уилер сам признавал эту проблему. «Любое исследование концепции „наблюдателя“ и тесно связанного с ним понятия „сознание“ обречено на дурной конец в бескрайнем мистическом болоте», – писал он. И все же временами он, опасно балансируя на краю трясины, приписывал наблюдателю гораздо больше сознания, чем имеется у системы отсчета.

«Если бы череда случайных мутаций и естественный отбор не приводили к возникновению сознательной жизни, а в какой-то момент и к появлению наблюдателя, – писал он, – Вселенная не могла бы возникнуть... было бы ничто, а не нечто». И потом: «Если не говорить о том, с чем согласны мы и наши последователи, то для многих мысль о мире без какой-либо цели оборачивается глубоким шоком. После этого возникает ощущение какого-то противоречия; и затем, наконец, приходит ясность: ощущение, что мы, будучи настолько незначимыми в этом огромном мире, в действительности являемся носителями бесценного дара, светочами во всей темной Вселенной».

Я улыбнулась поэтичному образу, но сама мысль заставила меня съежиться. Как бы мне ни хотелось представить себя носителем бесценного дара, я не могла понять, чем может помочь наличие сознания – и не в последнюю очередь просто потому, что ученые не знают, что такое сознание. Но чем бы оно ни было, оно подчинено тем

же законам физики и состоит из тех же частиц, полей или битов информации, как и все остальное. Конечно, Уилер согласен с этим: в первой дуге его цикла посредством слепой череды мутаций и естественного отбора Вселенная порождает наблюдателей. Ничего мистического или сверхъестественного не происходит. Но если все это так, то какое же преимущество у одних физических объектов (мозгов) по сравнению с другими (камнями) превращает их в «наблюдателей», способных, заглянув в прошлое, создать Вселенную? Я была в замешательстве, но решила пока принять слова Уилера на веру и посмотреть, к чему он клонит. Я продолжила чтение.

Несмотря на всю привлекательность концепции наблюдателя, гипотеза Уилера о Вселенной, построенной из битов информации путем проведения наблюдений и измерений, обладала очевидным недостатком: как мог один наблюдатель провести достаточное количество измерений, чтобы создать все, что мы видим вокруг? Оставим в стороне галлюцинации и злых демонов. Вселенная содержит гораздо больше битов информации, чем создается за несколько наблюдений, которые могут провести даже целая планета наблюдателей. «И мыши, и люди, и все на земле, кто хоть как-то соучаствует в наблюдениях и способен сообщать обнаруженные смыслы другим, никогда не смогут произвести достаточный объем информации, чтобы вынести столь большую нагрузку», – писал Уилер.

Он предложил двойное решение. Во-первых, общее количество битов во Вселенной должно быть конечным. Я знала, что общая теория относительности исключает такую возможность – ее пространственно-временное многообразие непрерывно, между любыми двумя точками всегда существует бесконечное количество точек, некий континуум, от осознания которого мою душу в подростковом возрасте охватывал дух бунтарства, которое понял бы Зенон. Вам необходимо бесконечное число битов только для того, чтобы описать гравитационное поле, не говоря уже о всей Вселенной. Но я знала также, что общая теория относительности – не последнее слово в науке о пространстве-времени; мое знакомство с петлевой квантовой гравитацией научило меня этому. На масштабах пространства-времени в одну миллионную миллиардной миллиардной долей сантиметра, благодаря квантовой механике, континуум распадается. При большем увеличении понятие

точки теряет смысл, ткань реальности рвется в клочья, как в центре черной дыры или в сингулярности при рождении Вселенной.

«Пространство-время, — писал Уилер, — часто считается бесконечным физическим континуумом, но у нас есть свидетельства (наиболее яркие — Большой взрыв и коллапс звезд) того, что оно не может быть континуумом». Более того, «квантовые флуктуации геометрии и квантовые скачки в топологии наполняют все пространство и на планковском масштабе длин придают ему пенистую структуру».

Во-вторых, необходимо учесть вклад всех наблюдателей, не только тех, живущих сегодня, но и всех, кто когда-либо существовал и когда-либо будет существовать. Это был смелый шаг, учитывая его вопиющее пренебрежение обычным правилом времени, которое гласит, что будущее наступает после прошлого. Но квантовая механика уже нарушает это правило, и никто не знал этого лучше Уилера.

В конце 70-х годов он предложил мысленный эксперимент, известный как отложенный выбор и построенный на основе классического опыта с двойной щелью, он взрывал мозг похлеще оригинала. В классической версии у наблюдателя есть выбор: он может наблюдать интерференционную картину, появляющуюся на фотографической пластине после того, как фотон пройдет одновременно через обе щели, а может расположить детекторы в каждой из щелей и выяснить, по какому пути прошел фотон, тем самым разрушив интерференционную картину. В новой версии Уилера наблюдатель делает этот выбор после того, как фотон прошел через щели. В самый последний момент он может заменить фотографический экран, установив два небольших телескопа: направив один на левую щель, а другой на правую. С помощью телескопов вы сможете определить, через какую щель прошел фотон, и окажется, что фотон всегда выбирает только один путь. Но если наблюдатель решает поставить пластину на прежнее место, на ней снова возникнет интерференционная картина, показывая, что фотон прошел через обе щели. Отложенный выбор наблюдателя диктует фотону, по одной траектории он распространялся или сразу по двум... уже после того, как он миновал щели.

Для тех, кому этого было еще недостаточно, Уилер предложил более экстремальный вариант. Представьте себе свет,

распространяющийся в сторону Земли от квазара, расположенного на расстоянии в миллиард световых лет. Между нами и квазаром находится массивная галактика, которая своим гравитационным полем, как линза, отклоняет лучи света. Свет огибает центр галактики либо слева, либо справа с одинаковой вероятностью. Представьте себе, говорит дальше Уилер, что интенсивность излучения квазара достаточно низка и мы видим только одиночные фотоны. Тогда у нас есть обычный выбор: мы можем расположить фотографическую пластину в месте падения фотонов, и на ней неизбежно появится интерференционная картина, или мы можем направить на галактику телескоп, чтобы увидеть, какой путь выбирают фотоны. Наш выбор определяет, как распространялся фотон: выбрал ли он один из путей или оба сразу. Мы определяем его маршрут (или маршруты) от его начала до конца, прямо сейчас – несмотря на тот факт, что фотон начал свое путешествие миллиард лет назад. Нет смысла задавать вопрос, какой путь (пути) фотон «на самом деле» прошел: просто не существует «на самом деле» до тех пор, пока мы не выбрали, какие измерения провести. Когда мы делаем выбор, мы создаем прошлое, которое простирается назад на миллиарды лет.

«Когда-то мы думали о мире как существующем „где-то там“, независимо от нас, – писал он. – А себя, наблюдателей, представляли надежно скрытыми за толстым стеклом, ни во что не вмешивающимися, а только наблюдающими. Однако теперь мы уже знаем, что это не так и что мир устроен по-другому. Нам пора и на деле разбить стекло и выбраться наружу».

Эксперименты с отложенным выбором были проведены в лаборатории, и каждый раз их результат подтверждал предположения Уилера. Это установленный научный факт: измерения, проведенные в настоящем, могут переписать историю в прошлом. Нет, не переписать. Просто написать. До начала наблюдения истории не существует, просто существует множество возможностей, прошлое ждет своего рождения. «Нет более замечательной особенности этого квантового мира, чем странная связь между будущим и прошлым», – писал Уилер. Если наблюдения, которые мы делаем сегодня, могут создать то, что происходило миллиарды лет назад, то значит, наблюдения, которые будут сделаны в будущем, определяют Вселенную, которую мы видим сегодня.

Если общее количество битов, из которых строится Вселенная, конечно и если мы можем считать и те биты, которые произведут наблюдатели, живущие в далеком будущем, то утверждение, что наблюдатели создают реальность, становится по крайней мере правдоподобным. Во всяком случае, с точки зрения Уилера. «За исключением связывающих будущее с прошлым квантовых явлений, обеспечивающих интерактивное соучастие наблюдателей, каждый из которых выполняет свой элементарный акт наблюдения, не предлагается никакого другого способа построить то, что мы называем реальностью», – писал он.

В общем, получается просто невероятная история – гораздо более интересная, чем привычная история развития от простого к сложному, в которой Вселенная рождается в каком-то горячем и плотном состоянии, расширяется, эволюционирует и через 13,7 млрд лет случайно порождает в меру разумное серое вещество в унылой смене прошлого будущим, причин и следствий. Но в истории Уилера оставалось без ответа множество вопросов. Кого считать наблюдателем? Что придает наблюдателю его особый статус создателя реальности? Какой физический механизм позволяет наблюдателю создавать биты информации посредством измерения? Что общего между «границей границы» и замкнутой Вселенной? И если для того, чтобы вызвать к существованию некий смысл (субстанцию, реальность), требуется акт наблюдения, то кто наблюдает самого наблюдателя?

Наделяя своих наблюдателей особым статусом, Уилер следовал боровской интерпретации квантовой механики, в которой наблюдатели находятся вне наблюдаемой системы. В то же время его цепь была замкнутой: внутренние наблюдатели заглядывают назад в прошлое, из которого они выросли, подобно Уроборосу, заглатывающему свой хвост. Так где же они все-таки? Внутри или снаружи?

Наконец, мне не давал покоя вопрос, куда это должно нас привести. Если, как говорила мне Маркопулу, у каждого из нас свои световые конусы и обычная двоичная булева логика не работает в космических масштабах, как смогут все наблюдатели, которые будут когда-нибудь жить, вместе создать единый объект, который называется Вселенная?

Книга Уилера не давала ответа на все эти загадки, но у меня было чувство, что он ставит правильные вопросы. «Можем ли мы когда-

нибудь познать бытие? – спрашивал он. – У нас есть уже некоторые мысли на этот счет, и мы знаем, что необходимо сделать, чтобы продвинуться в понимании этой проблемы. Конечно, мы можем надеяться в один прекрасный день осознать, что центральная идея, стоящая за всем этим, настолько проста, так красива и притягательна, что мы все скажем друг другу: „Ах, как же это могло быть иначе! Почему так долго мы все были настолько слепы!“».

Тихий стук в дверь заставил меня покинуть мир Уилера.

– Ты не спишь? – спросил отец, заглядывая в комнату.

– Я не смогла заснуть.

– Пойдем на улицу, – сказал он. – Там сейчас можно увидеть метеорный поток.

Я схватила свитер и кроссовки, и мы на цыпочках спустились по лестнице, чтобы не разбудить маму. Выйдя из дома, мы прошли по подъездной дороге в сторону улицы и остановились, как только крона клена перестала загораживать нам прекрасный вид на безоблачное звездное небо. На часах было три часа ночи. Дома погрузились в темноту, и только пение цикад и жужжание кондиционеров насыщали звуками густой летний воздух.

Мы стояли бок о бок и глядели вверх, ожидая увидеть хвост кометы.

– По-моему, это здорово, что ты собираешься вернуться в университет, – сказал отец, глядя на небо.

– К тому же редакция *New Scientist* расположена в Лондоне, – сказала я. – Надеюсь, там смогу продолжать писать статьи, и это даст мне хороший повод общаться с физиками.

Я расфокусировала взор, стараясь расширить мое периферийное зрение.

– Вон, вон! – закричали мы одновременно, когда искорка света прорезала небо.

– Сглазил, – сказал я смеясь.

– Ты никогда не думала о том, чтобы стать писателем другого рода? – спросил отец.

Вопрос застал меня врасплох:

– Что ты имеешь в виду?

– Ты уехала в Нью-Йорк с намерением стать писателем или поэтом, – сказал он. – Очень здорово, что ты занялась журналистикой. Но я волнуюсь, не заведет ли это тебя слишком далеко, не заставил ли я тебя слишком отклониться от курса. Ты уверена, что занимаешься именно тем делом, о котором мечтала?

Я задумалась. Он не ошибся: я действительно хотела быть писателем другого рода. Писать о физике никогда не было моей мечтой, тесная шляпа научного журналиста плохо держалась на моей голове и норовила вот-вот свалиться. По-настоящему я мечтала просто *писать*: то есть придавать форму бесформенным мыслям, изливать их в чернилах, задумываться о морфологии того, что вначале казалось аморфным, словно из ничего вылепливая нечто, пусть и бесконечно малое, нечто плотное, надежное и вечное. Писать для меня было чем-то вроде приведения мыслей в порядок, когда их требуется выстроить одну за другой, рассмотреть каждую со всех сторон и понять, куда все они ведут, даже если каждая из них только и ведет, что обратно к себе. Мои любимые рассказы и стихи как прожектором освещали мыслительный процесс автора, обнажая все его трещины и противоречия. А работа журналиста была прямо противоположна этому. Она высвечивала только конечные продукты мысли, выводы. Научная журналистика ставит целью настолько запудрить мозги читателю, чтобы он по ошибке принял мысли о мироустройстве за сам мир – каким он видится с логически невозможной точки зрения Бога, в парадигме объективности синонимичной обыкновенной лжи. Для меня прятать мысли писателя значило лишать само писательское дело его главного достоинства – открывать людям доступ к мыслям других людей. Магический потенциал письма заключается в том, что оно позволяет нам увидеть одну вещь, которую мы не можем увидеть никаким иным способом; оно открывает глаза на ту сторону мира, которая глубоко и принципиально невидима. Творчество писателя подобно пустыне, куда мы ссылаем себя сами, чтобы спасти свою причастность, излечить себя от клаустрофобии, мучающей ограниченный ум в ограниченном интеллектуальном пространстве себя самого.

Но меня вполне удовлетворяло, что моя журналистика не была именно тем писательским творчеством, о котором я мечтала. Журналистика не была моей целью, она была моей маскировкой. Она

была ламинированным приглашением в мир окончательной реальности, и я хотела посмотреть, как далеко можно было зайти, пользуясь им.

– Это важно для меня, – сказала я, проследив глазами за еще одной светящейся линией, прочертившей небо. – Писать я начну гораздо позже. Когда это произойдет, мне будет что сказать.

Он улыбнулся.

– А что насчет тебя? – спросила я.

– А что насчет меня?

– Ты прочитываешь каждую новую книгу по физике, едва она успевает выйти, и каждый новый научный журнал. Ты купил новый книжный шкаф. Это не отвлекает тебя от работы?

– Мне кажется, для меня и то и другое в равной степени важно, – сказал он. – А может быть, *это* даже важнее. Отдать ли предпочтение грибковым инфекциям в легких или природе реальности?

Он сделал паузу:

– Иногда я сожалею, что я не астрофизик. Если бы я был немного моложе, я бы подумал, не сменить ли профессию.

– Ты и сейчас можешь, – сказала я.

Он ничего не ответил.

Мы стояли на улице в тишине. Хвост кометы освещал ночное небо.

Итак, следуя своему не-очень-то-хорошо-продуманному-плану, я переезжала в Лондон. Я думала, что если Бостром поступил в Лондонскую школу экономики и политических наук изучать философию науки, решил, что реальность – это, по-видимому, компьютерная симуляция, и подружился с Джоном Брокманом, то и у меня должно что-то получиться. У меня не было намерения отказываться от своей журналистской авантюры, но я хотела сделать шаг назад и увидеть картину целиком, чтобы не потерять цель из виду.

– Опасайся комфорта, – говорил мне когда-то отец. – Как только ты почувствуешь, что все устоялось, знай: вероятно, настало время что-то менять.

Уилер сказал, что философия слишком важна, чтобы оставить ее философам. Ну и почему бы мне было не попробовать?

В результате я арендовала студию на первом этаже очаровательного белого таунхауса на шикарной небольшой тупиковой

улочке в Ноттинг-Хилл. Мои родители и брат приехали вместе со мной, чтобы посмотреть, как я устроилась.

– Это небольшая, но очень современная студия, – предупредила нас агент по недвижимости, поворачивая ключ в замке.

Она открыла дверь, и я всмотрелась в темноту. Студия действительно была очень маленькой. Я повернулась к своим:

– Может быть, нам лучше заходить по двое?

Мы с мамой вошли внутрь. Студия действительно была очень современной. Все блестело и выглядело новым, напоминая квартиру класса люкс, которую нечаянно засунули в сушилку и сжали.

– Деревянный пол – это просто чудесно, – сказала агент.

Я кивнула. Все правильно, хотя на стольких квадратных метрах можно было усыпать пол бриллиантами и это не сильно отразилось бы на цене.

Я осмотрелась: в комнате стояло раскладное кресло, какой-нибудь пессимист мог бы даже назвать его стулом, и круглый рабочий/журнальный/обеденный столик, размером аккурат под ноутбук. Или тарелку.

– А где спать? – спросила я.

Агент указала вверх. Небольшая крутая лестница вела к кровати под потолком.

– Хорошо, годится, – сказала я, отметив про себя, что расстояние между матрасом и потолком не превышало два фута.

– Просто буду помнить, что не надо садиться, проснувшись.

– А это кухня? – спросила мама так, словно надеялась на настоящую, спрятанную где-то в шкафу.

Агент кивнула:

– И все совершенно новое!

«Все» состояло из миниатюрной раковины, миниатюрной плиты и миниатюрного холодильника.

– Может быть, где-то поблизости есть миниатюрный продуктовый магазин, в котором продается миниатюрная еда? – предположила я услужливо.

– И нет морозильной камеры? – уточнила мама, прекрасно зная ответ.

Я пожала плечами:

– Но зато как удобно, что можно до всего на кухне дотянуться, не вставая с дивана!

– Обратите внимание, как остроумно закреплен на стене телевизор, – сказала агент. – Он не занимает никакого пространства, и вы можете смотреть его из любого места в квартире!

– Да, – улыбнулась я. – Блестящее инженерное решение.

– Я выйду пока, чтобы и папа смог зайти в комнату, – сказала мама упавшим голосом.

Отец зашел и осмотрелся вокруг, не зная, что сказать.

– Не находишь ли ты деревянный пол прекрасным? – сказала я, подначивая его.

Он кивнул, затем прошептал:

– Ты думаешь, это место для квантовых эффектов?

– Сколько стоит аренда? – спросила я агента и поморщилась, услышав ее ответ. Плата оказалась выше, чем за любую из квартир, арендованных мной в Нью-Йорке, хотя каждая из них была гораздо большего размера. Но это был красивый район города, и до станции метро, расположенной на одной линии с университетским кампусом, всего несколько минут пешком. Кроме того, я не планировала привозить сюда много вещей. Оглядываясь, я не могла себе представить, что я могла бы получить за меньшие деньги.

– Хорошо, – сказала я. – Сойдет.

Глава 5

Крысы Шрёдингера

Выбрав Лондон, чтобы размышлять о природе реальности, я, определенно, поступила правильно. На моем курсе по философии науки эта тема обсуждалась бесконечно. Существует ли реальность? Находится ли она вне нас и независимо от нас? Если да, то из чего она состоит? Как мы можем отличить ее от простой видимости? Есть ли надежда, что мы когда-нибудь познаем ее?

Во время занятий мы долго спорили о преимуществах и недостатках реализма и антиреализма. Реализм – это здравый смысл, убеждение, что научные теории описывают реальные свойства реального мира, который существует независимо от того, смотрим мы на него или нет, – и что электроны, кварки, темная материя и все другие объекты присутствуют в наших лучших теориях независимо от того, можем ли мы их наблюдать непосредственно или нет, они являются реальными объектами, истинной онтологической фурнитурой нашего единственного и существующего независимо от нашего сознания мира.

Антиреализм – обобщенная категория, включающая в себя всевозможные идеи, которые так или иначе отвергают реализм. Существует кантианский антиреализм, который учит, что, поскольку реальный мир существует независимо от нас, то он для нас непознаваем. Существует берклеевское *esse est percipi* – более радикальное утверждение, что за всяким явлением таятся другие явления, что объекты состоят не из атомов, а из ощущений. Существует социальный конструкционизм, который говорит о том, что реальность и истина – это все то, что мы договорились называть реальностью и истиной; эта теория напомнила мне некоторые утверждения моих постмодернистских однокашников из Новой школы, доказывавших их истинность тем, что они в нее верят, даже после того, как я указала им, что, в силу их собственного определения, не соглашаясь с их утверждениями, я тем самым опровергаю их. К более умеренным теориям относится инструментализм, для которого наука – это просто инструмент для предсказания результатов экспериментов, независимо

от того, существует реальность или нет, дана она нам в ощущении или нет.

Я уже знала, что инструментализм был широко распространен среди физиков, которые всегда, казалось, кривятся при любом упоминании о реальном мире. Они говорят, что беспокоиться о реальности – это удел философов. Мы просто делаем расчеты, предсказываем и проверяем предсказания.

Сколько бы раз я это ни слышала, это всегда казалось мне полной фигней. Ну, я еще согласилась бы, может быть, если бы вы были инженером-электриком, или хирургом, или метеорологом: тогда у вас в распоряжении были бы только предсказания и результаты экспериментов. Но люди, которые это говорили, были физиками. Физиками-теоретиками. Люди, которые имели дело с черными дырами, множественными вселенными и компьютерными симуляциями. Может быть, находясь на работе, вы, как физик-теоретик, и испытываете необходимость в гиперкомпенсации, изображая свое дело столь же бессмысленным, как ремонт холодильника, но, возвращаясь домой после рабочего дня, кого вам обманывать? Вы ночи напролет размышляете о том, как материя ведет себя на масштабах длины в одну миллионную миллиардной миллиардной сантиметра в шести дополнительных измерениях, которые невозможно обнаружить экспериментально в сколько-нибудь обозримом будущем, но вам плевать на то, что представляет собой реальность на самом деле? Я вас умоляю!

Мне бы и в голову не пришло, что после всех своих тревог по поводу симуляций, теней и бабочкиных снов я окажусь тут на стороне самого прямолинейного реализма. Но я же подписалась на охоту за реальностью, и заигрывать теперь с любыми антиреалистическими теориями – это было как стрелять себе в ногу. Кроме того, порой аргументы антиреализма казались мне совершенно абсурдными. Вершиной абсурда стала девушка из моего класса, которая обосновывала свои антиреалистические убеждения с феминистской точки зрения.

– погоди, как она сказала? Феминистская? – переспросила я парня рядом со мной. – Феминистская физика?

Я еще не понимала, куда она клонит.

– Дело не только в том, что наука – это социально сконструированное предприятие. Это предприятие носит выраженный андроцентрический характер, – поясняла она. – Вдумайтесь в терминологию. Частицы представляются в виде *яйцеобразных шариков*, взаимодействующих друг с другом посредством *силы*.

Серьезно? В деле задействованы *яйца*? Я закашлялась, скрывая смех. Судя по ее лицу, это был для нее очень серьезный вопрос.

– Итак, физика – социальный конструкт, – начал один из присутствующих. – И независимо от того, кто выступает в роли конструктора, мужчина или женщина, ты считаешь, что она совсем не соответствует реальности?

– Да, именно так, – ответила она.

Я не удержалась и спросила:

– Почему же тогда, скажем, летают самолеты?

– Потому что мы все согласны, что они летают, – ответила она.

Я моргнула:

– Ты серьезно?

Как-то мгновенно класс разделился на два лагеря – реалисты против антиреалистов. Мы даже передвинули столы, чтобы было ясно, кто на чьей стороне в этом споре.

Антиреализм казался мне достаточно безумной теорией, пока я не получила от него сильнейший хук справа: любая научная теория, когда-либо существовавшая в истории науки до сих пор, оказывалась в конце концов неверной. Так какими же дебилами мы должны быть, чтобы после этого верить, что наши нынешние теории – это исключение, что человечество наконец обрело истинные знания? А если теории всегда оказываются неверными, то как они могут нам что-то рассказать об истинной природе реальности? Я узнала, что этот убийственный аргумент на языке философов называется «пессимистической метаиндукцией», то есть в результате бесспорных индуктивных рассуждений становится очевидным, что наука – это безнадежное занятие.

Это была удручающая мысль, но, к счастью, у реализма был в ответ готов свой апперкот – аргумент, который я, сама того не зная, выдвинула против девушки, помешанной на яйцах: если научные теории не в состоянии описать даже часть нашей действительности, то все успехи технологии – не говоря уже о способности самих теорий

делать смелые новые предсказания, далеко выходящие за рамки наблюдений, на которых эти теории изначально были основаны, — должны восприниматься как чудо.

Допустим, что все теории оказываются неверными, но технологии, которые мы разрабатываем на основе этих теорий, чудесным образом работают! Пессимистическая мета-индукция и одновременно неверие в чудеса заводят философов в своеобразный тупик, и споры об этом до сих пор не утихают. Один философ, однако, нашел золотую середину. И оказалось, что его офис находился совсем рядом.

Едва я распаковала мои вещи, как услышала странный шум. Шорох, как будто где-то сновали мыши. Несколько раз мне казалось, что краем глаза я видела какое-то движущееся пятно. Затем, как-то ночью, лежа в своей кровати, в полудреме, я услышала гортанный звук, такой звук издает кошка перед прыжком, что-то вроде рычания двигателя. Это поразило меня, и я присела в кровати, забыв про низкий потолок, ударившись в него головой. К тому времени, как мне удалось включить свет, источник звука, каков он ни был, уже исчез.

Было нетрудно догадаться, что происходит. Это был Лондон, в конце концов. Я читала, что где бы вы ни находились в этом городе, то не более чем в двадцати ярдах от вас обязательно будет хотя бы одна крыса. Здесь обитали 50 миллионов крыс. Это примерно по семь крыс на человека. Могли ли семь крыс уместиться в моей квартире? По моему, нет, если они были так велики, что могли издать тот гортанный звук. Я попыталась снова заснуть, с трудом убеждая себя, что крысы не смогут взобраться по лестнице.

Утром я пошла в хозяйственный магазин, где меня ждал огромный выбор различных инструментов для борьбы с грызунами. Я смотрела на все это с трепетом и смятением, когда один из продавцов спросил, чем он мог бы мне помочь.

— Я не хочу быть к ним жестокой, — сказала я. — Но я хочу от их избавиться. Хорошо, если бы мне удалось их урезонить. Я не хочу ничего ужасного.

Он кивнул:

— Тогда я, на вашем месте, не стал бы пользоваться ловушками с клеем.

Он показал мне ловушку, представлявшую собой коробку со створками, в которую кладется приманка. Когда крыса приходит полакомиться, то створки за ней захлопываются, и она оказывается запертой внутри, дожидаясь, когда вы придете и ее выпустите. Я купила две штуки.

Готовясь ко сну, я слышала, как в квартире шуршат крысы. *Esse est percipi. Esse est percipi.* Я повторяла эту фразу как заклинание, надеясь, что она поможет преобразовать онтологически значимую крысу в невесомую мысль, и я смогу наконец выспаться. Возможно, агент по недвижимости собиралась мне сказать, что квартира была современной и субъектно-обусловленной. Я успокаивала себя тем, что должна принимать любое живое создание, поскольку их существование – не более чем пессимистическая индукция. *Cogito ergo крыс.* Может быть, проблема в каких-то неизвестных программах. Может быть, эти странные звуки – глюк симуляции. Или, может быть, папа был прав, и тут не обошлось без квантовых флуктуаций, внезапной материализации грызунов из пенящегося вакуума. Может быть, если бы я не начала наблюдать за ними, они бы не материализовались, оставшись в подвешенном состоянии, наполовину реальные, наполовину иллюзия. Крысы Шрёдингера.

Но наутро ловушки были пусты.

У Джона Уоррола был исключительно благостный вид. Он, казалось, специально создан, чтобы улаживать межклановые распри в академической среде или вдруг стать солистом эпистемологической рок-группы, называющейся «Критика чистого ритма». В начале своей карьеры он занимался статистикой, но затем Карл Поппер, основавший здесь отдел философии науки, соблазнил его занятиями философией. В 1989 году Уоррол опубликовал статью в журнале *Dialectica*, в которой предлагал компромисс между реализмом и антиреализмом. Свою идею он назвал структурным реализмом и утверждал, что она впитала в себя все самое лучшее из обоих миров: она могла объяснить успехи науки без апелляции к чуду и одновременно объясняла пессимистический прогресс от одной неверной теории к следующей.

Проблема состоит в том, объяснял Уоррол, что реалисты были реалистами в отношении не тех вещей, каких надо. На самом деле, в «вещах» и заключена вся проблема. Реалисты говорили о реальном

мире, не зависящем от сознания, состоящем из каких-то реальных вещей – атомов, столов, крыс. Но если вы посмотрите внимательно, научные теории вовсе не о «вещах». Они о математических структурах.

Математическая структура – это множество изоморфных элементов, каждый из которых может быть отображен в другой. Выражения 25 и 5^2 или $27-2$ принадлежат одной и той же математической структуре. Структура – это не какое-то конкретное число, а весь набор эквивалентных представлений этого числа, это монолитная единая сущность, скрывающаяся во множестве различных явлений. Множества более фундаментальны, чем сами числа.

«Вся математика – всякая структура – сводится к множествам?» – записала я в свою записную книжку. Я читала где-то, что все множество чисел может быть построено из пустого множества: множества, не содержащего никаких элементов. Пустое множество ничего не содержит. Ноль. Но множество, содержащее пустое множество, уже не пусто. Оно содержит один элемент – пустое множество. Это – число 1. Оно не просто равно 1, а прямо-таки определяет число 1. Дальше: множество, которое содержит пустое множество и множество, содержащее пустое множество, – это 2. И так до бесконечности. То есть до пустоты.

Числовая прямая – ничто иное, как ряд вложенных множеств, в скрытом центре которой ничто. Уоррол сказал, что физика причастна математической структуре. Теория множеств говорит, что математические структуры причастны пустоте.

Мысль, что числовая прямая строится из пустого множества, – это ловкий трюк, или из нее можно вывести какое-то важное знание о Вселенной? Она рассказывает нам, как ничто превратить в нечто? *Взять его в скобки. Очертить границы.* Чтойность возникает в результате изменения точки зрения. От «внутри» к «снаружи».

Я не совсем была уверена, как можно применить этот урок к чему-то вроде Вселенной, к чему-то, у чего никакого «снаружи» нет. К односторонней монете, к однобокому предмету. Как это применить? Даже если бы вы знали как, то вы бы все равно столкнулись с парадоксом Рассела. Брадобрей бреет любого человек, который не бреется сам, – так кто бреет самого брадобрея? Если он бреет сам себя, то он не бреет себя, а если нет, то таки да. Речь не о растительности на лице. Речь о парадоксах, которые возникают, если множества могут

содержать себя. Если вы смотрите из-за скобок и попытаетесь засунуть увиденное внутрь.

Уоррол возводил структурный реализм к Анри Пуанкаре, который в 1905 году написал: «...Уравнениями выражаются отношения, и если уравнения остаются справедливыми, то это означает, что и эти отношения сохраняют свою реальность... Истинные отношения между этими реальными предметами представляют собой единственную реальность, которую мы можем постигнуть»^[19]. Теории являются просто наборами математических соотношений – уравнений, связанных изоморфными преобразованиями. С помощью знака равенства. Квантовая теория поля имеет дело не с твердыми маленькими (*кхе-кхе!*) яйцами-шариками, именуемыми частицами; она имеет дело с «неприводимыми представлениями группы симметрии Пуанкаре». Если вам проще представить себе эти неприводимые представления в качестве маленьких шариков, то это ваше право. Но если такая картина не выдерживает натиска новых данных, то не стоит пенять на теорию. Квантовая теория поля – это набор математических структур. Электроны – это маленькие истории, которые мы рассказываем сами себе.

Конечно, нам нужны истории. Существует причина, по которой мы не соглашаемся принять «42» в качестве ответа на вопрос о возникновении жизни, Вселенной и всего прочего. Структура сама по себе не может утолить нашей экзистенциальной жажды. Мы хотим, чтобы был смысл. И для нашего мозга смысл приходит в виде рассказов.

Тем не менее важно отделить то, что теории значат для нас, от того, что они утверждают. Это была точка зрения Уоррола. Теории никогда не говорят об *объектах* – этим занимаются наши интерпретации теорий. Теории сами по себе говорят только о математической структуре. И если мы реалисты в отношении структур, то пессимистическая мета-индукция нам больше не нужна.

Если теории оказываются неверными, то, как говорит Уоррол, это обычно наши интерпретации оказываются неверны, а не структуры. Взять для примера гравитацию. В соответствии с законами Ньютона, гравитация – это сила, с которой действуют друг на друга массы, находящиеся на некотором удалении одна от другой. Согласно Эйнштейну, причина гравитации локальна – это кривизна

пространства-времени в данной точке. Две эти концепции противоречат друг другу. Так как они не могут быть одновременно справедливыми, то, как бы сказал антиреалист, теория Ньютона не описывает реальность вообще, но тогда довольно трудно объяснить, как Ньютону удавалось предсказывать движение планет. И Уоррол не согласен с позицией антиреалиста. Если исключить интерпретации и просто посмотреть на математику, это полностью меняет дело. В случае слабой гравитации и низких скоростей уравнения Эйнштейна превращаются в уравнения Ньютона. Ньютонская гравитация – это низкоэнергетический предел общей теории относительности. Ньютон предложил неправильную интерпретацию, но структура была верна, – только она оказалась крошечным уголком чего-то гораздо большего. Нам не нужны чудеса, чтобы понять, почему ньютоновская гравитация хорошо себя зарекомендовала: она была успешной, потому что жила на небольшой части реальной структуры. Эйнштейн обнаружил большую часть реальности, но и это далеко еще не ее предел.

Аналогичная картина наблюдалась и в квантовой механике. Хотя ее описание мира резко отличается от классической механики, – в которой частицы имеют одновременно определенное положение в пространстве и импульс, в которой кошачий некролог выглядит гораздо более простым, и демоны могут предсказывать будущее с бесконечной точностью, – ее математическая структура сводится к структуре классической механики, когда физические системы велики в масштабах, определяемых постоянной Планка. Когда одна теория уступает место следующей, страдают физические интерпретации, а математическая структура сохраняется. Научный прогресс – это не парад ошибочных теорий, это оптимистичный снежный ком пополняющейся структуры реальности по мере его роста.

За ночью, наполненной шорохами, следовало утро, но крыс в ловушках не было. Я прочесала всю квартиру в поисках каких-либо отверстий, в которых могли прятаться крысы. Я заделала даже мельчайшие трещины в стенах и отверстия вокруг труб стальной ватой. Я расставила по всему периметру книги. В случае, если бы они смогли перепрыгнуть через книги, на другой стороне их встречали разнообразные препятствия. Все сооружение получилось довольно сложным, с импровизированной крепостью и рвами, и ловушкой в

центре. Крысы могут быть умными и выносливыми, думала я, но у меня были книги по физике, клейкая лента и крепкие большие пальцы.

Ночные шорохи по-прежнему продолжались, и однажды ночью меня разбудил звук упавшей книги. Утром я увидела, что это был «Конец времени» Джулиана Барбура^[20]. Я подумала: может быть, крысы хотели сказать мне что-то.

Согласно Уорролу, я не должна испытывать онтологическое доверие к отдельным крысам – все, о чем я должна беспокоиться, это структурные отношения между ними. При этой мысли я почувствовала себя немного лучше, но все же окончательно влиться в ряды социальных конструктивистов духу мне не хватало. Еще я могла бы избавиться от проклятых тварей, просто отказавшись верить, что они существуют, – то есть встав на путь философской экстерминации. К сожалению, я верила, что физика – это именно то, что заставляет самолеты летать, а крыс сновать. Учитывая эти экспериментальные данные, а именно ночные звуки, движения, схваченные периферическим зрением, падающие книги, апокалипсические сообщения о крысах в Лондоне и мое физическое присутствие в этом городе, я должна была признать факт: существование крыс, неважно – квантовых или классических, давало самое простое объяснение всей совокупности наблюдений.

Оказавшись не в силах отсечь их бритвой Оккама, я была вынуждена прибегнуть к более конвенционалистским методам.

– Ладно, – сказала я все тому же парню в магазине, – давайте мне ловушки, которые будут их убивать. Но убивать быстро, чтобы они не мучались.

Он помог мне сложить в корзинку мышеловки для крыс. Это были стандартные мышеловки с пружиной, только покрупнее. Я купила семь штук.

Я пришла домой и стала устанавливать ловушки. Это оказалось не так-то просто. Мышеловка – это вершина инженерной мысли, но мне это чуть не стоило пальца. В итоге мне все же удалось снарядить их все, использовав арахисовое масло в качестве приманки: я где-то читала, что крысы его любят. Затем я схватила чемодан и свалила из квартиры к черту.

Я сидела в японском ресторане на Холборне, в центральном Лондоне, ожидая встречи с Майклом Бруксом.

После установки мышеловок я переселилась в гостиницу в нескольких кварталах от дома в направлении Ноттингхилл-гейт. Я не хотела оказаться поблизости, когда крысы обнаружат арахисовое масло, и к тому же я решила, что несколько дополнительных квадратных футов меня тоже порадуют. Устроившись в гостинице, я отправила Бруксу электронное письмо о статье в *New Scientist* и отметила, что живу сейчас недалеко от него. «Раз вы здесь, в Лондоне, – отвечал он, – то почему бы нам не встретиться за обедом?»

Брукс прибыл в ресторан вместе с Валери Джеймисон, тоже редактором-физиком из *New Scientist*, представившейся с мелодичным шотландским акцентом. Мы заказали напитки и суси, вскоре прибывшие к нашему столу на большой деревянной лодке. Вылавливая палочками кусочки рыбы с палубы, мы болтали о жизни в Лондоне и во Вселенной вообще.

– Что вы думаете об инфляции? – спросил меня Брукс.

Отправив в рот кусок лосося, я получила немного времени на обдумывание ответа. Инфляция. С одной стороны, мне была ясна притягательность теории, походившей, как любил говорить Гут, на абсолютно бесплатный обед: Вселенная расцвела из некоторого изначального семени и продолжает постоянно расти, отрицательная энергия гравитации компенсирует безграничное создание бесконечного пространства, по которому пробегает квантовая рябь, жизненно важная гравитационная кровь звезд и галактик.

С другой стороны, инфляция не могла объяснить, почему вообще Вселенная существует. Откуда взялось изначальное семя? Теория предполагала изначальное существование инфлатонного поля, не говоря уже о самих законах физики, и в основе своей была не квантовой. Она не учитывала наблюдателей внутри Вселенной и не объясняла, почему ничто выглядит как нечто. Она опиралась на булеву логику, смотрела на мир глазами Бога и была беспомощна перед лицом квантовых драконов. И вдобавок эта тревожащая всех история с аномально низкой мощностью квадрупольной составляющей. WMAP так и не нашел никаких масштабных флуктуаций температуры, – а это совсем не то, что ожидалось от раздувающейся Вселенной.

Лосось был наконец проглочен.

– Я думаю, что с ней больше проблем, чем о них говорят.

Высказывая свое мнение, я чувствовала себя как-то неуютно, словно мне совсем не полагалось его иметь, и на протяжении всей беседы я не могла отделаться от ощущения некоторой вины. У Брукса и Джеймисон были докторские степени по физике, и они, на минуточку, были самые настоящие журналисты. А я была просто самозванка, старающаяся получше вписаться в образ. И как это ни удивительно, я чувствовала, что играю убедительно. Пока мы обменивались мнениями об инфляции и ее косяках, о встречах с именитыми космологами, до меня дошло, что существует целое сообщество людей – *писатели*, то есть те, кто на самом деле хочет говорить о физике за суси. Научной журналистике полагалось быть моей маскировкой, но сегодня эта маска даже слишком мне шла.

Подцепив кусочек португальского тунца, я не могла не подумать о том, чем сейчас занимался отец по ту сторону океана. Там было утро. Он, вероятно, собирался на работу.

Один... два... три. Поворачиваю ключ в замке. Делаю глубокий вдох. Открываю дверь. После недели жизни в отеле настало время вернуться в мою миниатюрную квартирку и снова погрузиться в реальную реальность. Я замерла снаружи перед дверью: мне пришло в голову, что, когда я устанавливала ловушки, я не в полной мере просчитала конечный результат. Я хотела, чтобы крысы ушли, но они не ушли. Они были прямо там, по другую сторону двери, возможно все семь, с переломанными позвоночниками и с застывшим ужасом на мордочках, в ловушках – гильотинах, останки грызунов революции, благородный отряд, угодивший в засаду, соблазнившись арахисовым маслом. И что именно я должна была с ними делать? Провести коллективные «похороны»? Произвести двадцать один выстрел из крошечной пушки? Вхожу?

Один... два... три...

Черт!

Есть ли что-нибудь в квартире, без чего я не могу жить?

После нескольких неудачных попыток я, наконец, повернула ключ и толкнула дверь. Передо мной предстала ужасная картина. Это было даже страшнее, чем я себе представляла. Все арахисовое масло исчезло, а заряженные мышеловки были пусты.

Философия структурного реализма Уоррола меня зацепила. Если я хотела познать окончательную реальность и природу того, что предположительно возникло из ничего, решающим шагом в этом направлении было бы отделение нашего описания мира от самого мира, того, что физика действительно говорит, от значения, которое мы этому приписываем. Но кое-что оставалось непонятным. Уорролл утверждал, что теории говорят о математических структурах, а не об объектах. Означает ли это, что объекты не существуют вовсе, или – только то, что наши научные теории никогда не смогут сказать нам, какие объекты действительно существуют? Она претендовала лишь на то, что мы можем знать, или все же на то, что существует на самом деле? Речь шла об эпистемологии или об онтологии?

– Об эпистемологии, – не сомневаясь ответил Уорролл, когда я спросила его. – Мне очень трудно понять идею отношений в отсутствие объектов отношений. И вообще, я чувствую, что мы должны хранить молчание о метафизике. Физика дает нам возможность размышлять о том, из чего построена реальность. Структурный реализм, и в этом его смысл, настаивает, что мы не должны рассчитывать на познание реальности сверх того, что сообщают нам нынешние теории.

На первый взгляд, возражения Уоррола против онтологического структурного реализма кажутся справедливыми. В конце концов, какой смысл в отношениях, когда нет объектов, связанных этими отношениями? Если мир состоит из математических отношений, то это отношения между чем и чем?

Может быть, они ничего не связывают. Может быть, эти отношения – все, что существует. Может быть, мир сделан из математики. Сначала это звучало глупо, но когда я задумалась об этом, я задалась вопросом: а что, собственно, можно предложить взамен? Мир, состоящий из «вещей»? А что, черт возьми, такое – «вещь»? Это одно из тех понятий, которые не выдерживают ни малейшего критического рассмотрения. Взгляните на любой предмет, и вы увидите, что он состоит из элементарных частиц. Но посмотрите внимательно на частицы, и вы найдете, что они представляют собой неприводимые представления группы симметрии Пуанкаре, – что бы под этим ни имелось в виду. Суть в том, что в частицах трудно увидеть что-либо, кроме математики.

Если структура – это все, что наши теории могут когда-нибудь рассказать нам о мире, навсегда заменив ими какую-то непознаваемую онтологию, то наше стремление познать окончательную реальность совершенно безнадежно. Принятие эпистемологического структурного реализма Уоррола подобно отступлению в компьютер Бострома и вывешиванию оттуда симуляции белого флага.

С другой стороны, если структура – это все, что существует, и если мир действительно состоит только из математики, а не из материи, то физика может рассказать нам все, что нужно знать об окончательной реальности. Онтический структурный реализм оставался нашей единственной надеждой. Наша миссия висела на волоске.

– Думает ли кто-нибудь о структурном реализме как онтологии? – спросила я профессора философии однажды после занятий.

Он на мгновение задумался, затем кивнул:

– Вам надо поговорить с Джеймсом Ледиманом.

Исчезновение арахисового масла было чертовски веским доказательством онтологической валидности крыс, но я знала, что не смогла бы логически надежно защитить свой вывод. Очевидно, это казалось наиболее вероятным умозаключением, но, притупив бритву Оккама, необходимо было признать, что существовало бесконечное количество возможных способов объяснить исчезновение арахисового масла, – хотя мне было трудно представить, какими, разрази меня гром, они могли бы быть! Английское арахисовое масло слишком быстро испаряется? Семь ложек антиарахисового масла спонтанно возникли из вакуума и аннигилировали с маслом, приобретенным в магазине, во внезапной вспышке света? Эта недоопределенность теории опытными данными подкреплялась нулевым результатом в мышеловках, которые стояли пустыми, полными потенциальной энергии, готовой перейти в кинетическую. На занятиях по философии я узнала, что индуктивную аргументацию ничем невозможно подкрепить; никаких подтверждений в мире не может быть достаточно. Единственный путь, позволяющий приписать крысам категорическую реальность, – это логически вывести их существование из некоторого набора самоочевидных аксиом, представив его необходимым, а не случайным. И даже если крыса будет сидеть прямо передо мною и махать мне лапой, доказательство ее существования ненадежно. Я могла слышать, как

условные крысы скребутся по стенам, снуют по потолку в двух футах над моей головой.

– Ладно, – сказала я все тому же уже мне знакомому продавцу. – Возьму мышеловки с клеем.

– Я скажу вам, чем реальность не является. Она не состоит из мелочей.

Джеймс Ледиман сидел на полу в своем номере в отеле.

– Мы не можем так не думать, но реальность совсем не такова.

Я раскачивалась в скрипучем кресле. Мы встретились в баре гостиницы *Holiday Inn*, в которой Ледиман остановился, приехав в город на конференцию по метафизике. Несмотря на призыв Уоррола хранить молчание о метафизике, как оказалось, существует целая армия философов, не готовых держать рты на замке. В баре было слишком шумно для обсуждения природы реальности, и поэтому мы удалились в его номер, где он сидел теперь на полу, вытянув свои ноги. По свисавшим до середины спины дредам его легко можно было принять за ударника регги-группы, и только его британский акцент был окрашен отчетливой академической мелодикой.

– Но как перейти от утверждения «структура – это все, что мы можем знать» к утверждению «структура – это все, что существует»? – спросила я.

– Всматриваясь в современную физику, я обнаружил, что она не поддерживает никакой интуитивно понятной картины ненаблюдаемых объектов. Это дало мне исходный толчок. Вы можете сказать, что физика элементарных частиц – это наука о мезонах, кварках, барионах, электронах, нейтрино и так далее, но когда вы отвлекаетесь от всего этого и просто обращаетесь к теориям, то оказывается, что их очень трудно интерпретировать как имеющие отношение к частицам, верно? – сказал Ледиман. – То есть главное в частицах заключается в том, что они не частицы... Если вы хотите знать, что такое онтология, посмотрите на то, что говорит теория. Не пытайтесь наложить на математическую структуру какой-то образ, знакомый из повседневного опыта.

Яйца-шарики, например?

– Значит, сама физика привела вас к онтологической интерпретации структурного реализма? – сказала я, улыбаясь.

Уоррол разработал структурный реализм как реакцию на спор философов. Если версия Ледимана была основана на физике, а не на чистой философии, она имела больше шансов быть истинной.

— Как квантовая механика, так и теория относительности принципиально противоречат нашим интуитивным представлениям о мире как состоящем из объектов, — сказал он. — У квантовых частиц полный набор трудностей, лишаящий их предметной индивидуальности: запутанные состояния, квантовая статистика. В общей теории относительности точка пространства-времени уже не кажется исходным элементом реальности; реальность — это нечто, больше похожее на метрическое поле. В обоих случаях мы удалились от онтологии, согласно которой мир состоит из мельчайших фундаментальных частиц.

Это был хороший аргумент. В квантовой статистике почти невозможно думать о частицах как о «вещи». Если у вас есть два электрона, нет никакого способа, чтобы различать их. Электроны не имеют известной внутренней конструкции; они определены исключительно их массой покоя, спином, зарядом, которые одинаковы для каждого электрона. Электроны, по определению, являются идентичными. Конечно, можно подумать, что вы могли бы отличить их просто по их местоположению в пространстве и времени — электрон здесь не такая частица, как электрон там, в силу того что они находятся в разных местах. Этот трюк, возможно, сработал бы в классической физике, но не в квантовой. У квантовых частиц нет определенного местоположения в пространстве-времени, а есть только вероятность обнаружить их в разных местах, само же их положение в пространстве «размазано» квантовой неопределенностью. В результате в квантовой физике элементарные частицы оказываются буквально неразличимы. Этот факт играет важную роль, когда вы вычисляете вероятности. Если бы каждая из семи крыс в моей квартире неизбежно заканчивала свой путь, приклеившись к мышеловке, то я могла бы сказать, что у меня есть один шанс из семи обнаружить данную крысу в данной мышеловке. Но если бы крысы на самом деле были квантовыми, у меня было бы 100 % вероятности найти какую-то крысу в любой из мышеловок. Когда вы делаете ставки или заключаете пари, разница между классической статистикой и квантовой может иметь большое значение. Какой смысл называть крысу «вещью», если у нее нет

никакой предметной индивидуальности, на которую можно было бы нацепить ее «вещность»?

В общей теории относительности ситуация еще хуже. Отец показал мне, что уравнивать в правах инерциальные и ускоренные системы отсчета можно, превратив кривую линию в прямую – для этого достаточно, например, согнуть бумагу. Проблема в том, что вы можете гнуть бумагу по-разному и получить при этом одинаковый результат. Причем количество различных способов, приводящих к одному результату, – бесконечно. Это следует из принципа общей ковариантности, центрального принципа теории относительности Эйнштейна. Различные конфигурации бумаги могут соответствовать одной и той же физике. Такая недоопределенность заставила не только Ледимана, но и самого Эйнштейна поверить в то, что бумага сама по себе – «вещность» пространства-времени – в конечном счете не существует. Реальны только пространственно-временные соотношения между прочерченными на бумаге линиями. Метрика. Структура.

Чем больше я думала об этом, тем больше убеждалась, что такая же онтологическая недоопределенность присутствует также и в физике. Я вспомнила историю про дырки Дирака. На заре квантово-механической эпохи Поль Дирак вывел уравнения, которые являлись релятивистской формой уравнения Шрёдингера, тем самым сделав его совместимым со специальной теорией относительности. Единственная проблема заключалась в том, что новые уравнения разрешали таким частицам, как электроны, обладать отрицательной энергией, чего, очевидно, на самом деле не бывает. Чтобы спасти свои уравнения, Дирак предположил, что квантовый вакуум представляет собой море, в котором все возможные состояния электронов с отрицательной энергией уже заполнены. Свободными остаются только состояния с положительной энергией, они-то и доступны для настоящих электронов. Но возникла новая проблема, когда Дирак понял, что при возбуждении электрона в состоянии с отрицательной энергией он может перейти в состояние с положительной энергией, оставив дырку в море негативной энергии. Такая дырка обладала бы всеми свойствами электрона, но имела бы положительный заряд.

Дирак предсказал существование античастиц. То, что Дирак рассматривал в качестве положительно заряженной дырки, физики сегодня называют позитроном – вполне материальный объект, а не

просто дырка. Но суть в том, что математика здесь не изменилась. Изменилась только интерпретация. Физики могут продолжать представлять себе дырку и, тем не менее, успешно предсказывать события, которые они могут наблюдать в лаборатории. Вы можете считать, что позитрон – это частица или ее отсутствие, две противоположные онтологии, но представляемые ими математические структуры идентичны. Я хотела как можно скорее поделиться этой хорошей новостью с моими одноклассниками: вам нет необходимости говорить о частицах как о маленьких *шариках*! Вы можете говорить о них как о маленьких *дырках*!

– Как вы определяете структуру? – спросила я Ледимана.

– Я бы сказал, что это – система отношений. Кое-кто может возразить: «Ну, система отношений должна связывать между собой объекты», – он словно подслушал критику Уоррола. – А ни квантовая механика, ни общая теория относительности не производят впечатления теорий, основанных в первую очередь на онтологии объектов, между которыми устанавливаются какие-то отношения – во вторую. Все в точности наоборот: объекты – не более чем узлы реляционной структуры или что-то еще в этом роде.

Шарики и дырки – просто *описания*; они проявления структуры, а не структура сама по себе. По-настоящему существуют только математические отношения. Если ты реалист в отношении структуры, то кризис недоопределенности тебе не грозит.

– Значит ли это, что физический мир состоит из математики?

– Возможно, что на определенном уровне описания мироздания становится невозможным адекватно отражать мир иначе, чем математически. Если вы читали популярные книги, скажем, по квантовой теории поля, то должны были заметить, что автору в определенный момент приходится сказать: «Мы не можем объяснить, как это происходит, но получается так-то и так-то...». Используемый ими коммуникационный ресурс неадекватен, потому что заставляет людей думать о маленьких частицах, а на деле это не так. Поэтому чем более фундаментальным становится описание реальности, тем больше оно использует математику, и различие между абстрактным и конкретным становится менее определенным. С другой стороны, я не хочу сказать, что конкретная Вселенная построена на математике. Но ее истинная природа может быть так далека от нашего, основанного на

здравом смысле, представления о конкретном физическом объекте, что говорить о Вселенной как о состоящей из математики может быть чревато меньшими недоразумениями, чем говорить о ней как о состоящей из материи. Это очень сложный вопрос. Я действительно не знаю ответа.

– Я бы изобразила это следующим образом: реальность – это самый нижний слой, затем поверх него находится слой математики. Между этими двумя слоями есть взаимно однозначное соответствие, – сказала я. – А поверх этой конструкции – язык, только взаимно однозначного соответствия между математикой и языком нет, так что при переводе, как вы и сказали, кое-что теряется. Но тогда у меня возникает вопрос: если действительно существует взаимно однозначное соответствие между математикой и реальностью, не означает ли это по определению, что они суть одно и то же?

– Я полагаю, что проблема на данный момент заключается в том, что никакого взаимно однозначного соответствия у нас нет, так как даже самые лучшие наши теории не являются абсолютно точными, – сказал Ледиман. – Но, конечно, можно думать, на каких основаниях оспаривать математическую природу реальности, если бы такое взаимно однозначное соответствие имелось. Даже не знаю. Я очень скептически отношусь к любым философским построениям, претендующим на то, чтобы объяснить различие между абстрактной математикой и математикой, наполненной субстанцией. Потому что, в конце концов, в каких терминах вам бы удалось объяснить это различие? По тем же причинам я отвергаю вопрос «А что вдыхает жизнь в уравнения?» Ведь что бы вы ни сказали, это будет не более чем метафорой, верно? Ведь вот вы скажете: «Здесь у нас абстрактная математика, и тогда актуальная Вселенная – это субструктура всех возможных структур, какие только тут могут быть. И тогда в чем разница между реализованной (инстанцированной^[21]) и не инстанцированной структурами?» Допустим, философ скажет, что существует первичное отношение инстанциации или еще что-нибудь – мало ли какой можно придумать метафизический язык, чтобы говорить об этом, но, на мой взгляд, это равносильно признанию, что бывает математика с волшебной пылью внутри. От подобного не может быть пользы. Ведь что может связывать такое с чем-то имеющим смысл? Когда вы хотите знать, как отвечает наука на вопрос «от чего бывают

землетрясения?», вы обращаетесь к неким понятийным ресурсам, и эти ресурсы не пусты, потому что привязаны к наблюдениям. Но математика – чистая математика – не привязана к наблюдению. Если теория всего – математическая теория, то как мы можем это проверить? У нее должно быть какое-то содержание, отличающееся от одной только математики.

– Я слышала, как некоторые люди говорят, что если бы мы действительно имели теорию всего, то она была бы непроверяемой, – вставила я.

– Хм, и действительно, – задумчиво сказал Ледиман. – Интересное мнение.

Я сама едва могла поверить, что после своего подросткового скептицизма защищала тезис о том, что в основе мира нет ничего, кроме математики. Мама была бы довольна, но как хорошо, что она этого не видит!

Как и Ледиман, я видела единственную возможность – последовать совету Уоррола и прислушиваться к тому, «что наши нынешние теории нам говорят». Насколько я могла судить, наши нынешние теории говорили, что реальность построена из математики. Что материя уступает дорогу уравнениям, а вещьность расплавляется до абстракции. В условиях крайней онтологической недоопределенности общей теории относительности и квантовой механики версия структурного реализма Ледимана, казалось, была той единственной спасательной шлюпкой, которая еще как-то могла бы удержать нас на плаву в море экзистенциального кризиса и противоречий. Думая обо всем этом, я не переставала удивляться тому, как оно устроено. Я хочу сказать, что ожидать надо было бы чего-то прямо противоположного, а именно – того, что физические теории, совершенствуясь, приближают нас к окончательной реальности, предлагая нам все более и более ясные картины того, что мы в действительности наблюдаем. А вместо этого они с достаточной ясностью говорят нам только одно: у «объектов» нет никакой внятной онтологии. Физика не только опрокинула всякую нашу интуицию относительно мира, но и изрядно прополола всю философию. Я сидела в никакой комнате никакого отеля, и отсюда мне было хорошо видно: единственное, что еще там как-то держалось на ногах, это был онтический структурный реализм.

Я шла по улицам Лондона, надо мной было грязно-серое небо, под ногами омытый дождевой водой тротуар. Я рассматривала так называемый мир вокруг себя. От одной мысли, что все вокруг – величественные таунхаусы и двухэтажные автобусы, зеленый Гайд-парк и белый камень Мраморной арки – все это было сделано не из физической материи, а из математики, голова шла кругом. Но разве не именно это имел в виду Уилер?

Бытие из бита: мир построен из информации. Не описывается с помощью информации, а именно *построен* из информации. Дом построен из кирпичей, но каждый кирпич в отдельности – из информации. А что такое информация, если не математическая структура?

Быть реалистом в отношении объектов сродни уверенности, что *love* и *amor* – две абсолютно разные вещи только потому, что звучат и выглядят по-разному. Мы должны уметь переводить с английского языка на испанский, чтобы обнаружить эквивалентность этих слов, поскольку существует изоморфизм, взаимно однозначное отображение, при котором одно из них превращается в другое, отображение, которое сохраняет базовую структуру, не *love* или *amor*, а понятие, которое они выражают. *Love* и *amor* – слова. Описания. То, что реально, – это то, что остается неизменным при переводе, отношение эквивалентности внутри структуры. Мы не можем дать этому имя. Давая имя, мы снова променяем структуру на описание. Давая имя, надо выбрать язык, привилегированную систему координат, нарушающую общую ковариантность, симметрию языкового пространства-времени.

Наука изучает структуры. Истории, которые мы рассказываем, и образы, которые мы создаем для описания структур, – наше дело. Все дело в том, чтобы не путать описание с реальностью. Но как в них разобраться? Мы должны рассмотреть все разнообразные описания, найти общие знаменатели, структуры, которые являются для них общими, то, что остается неизменным, когда вы переходите от одного описания к другому. И в этот момент меня осенило.

Из кэба я почти выпрыгнула и бросилась к двери, увлекая за собой чемодан. Звонок в дверь. С той стороны радостно залаяла Кэссиди.

– Хорошая девочка, – услышала я, как мама успокаивает ее, пробираясь к двери.

– Боже мой! – вскричала она, увидев меня стоящей у порога с чемоданом в руке. – Что ты здесь делаешь?

Она попыталась обнять меня, но безуспешно: Кэссиди оттолкнула ее, прыгая, скуля и энергично виляя задницей, да так, что она чуть не потеряла равновесие. Подпрыгнув, Кэссиди положила мне лапы грудь и лизнула в подбородок.

– Кэссидииииии! – завизжала я, хватая ее за висящие уши и осыпая поцелуями морду. Она махала от восторга хвостом, а потом выскочила во двор пописать.

Теперь я могла обнять маму и в этот момент увидела отца, пришедшего на шум, чтобы выяснить, отчего такой переполох.

– Сюрприз! – сказала я.

Он обнял меня, счастливый и немного обеспокоенный.

– Что ты здесь делаешь?

Я ухмыльнулась:

– Я знаю, что мы ищем.

Глава 6

ФИКТИВНЫЕ СИЛЫ

– Есть хочешь? – спросила мама, пока отец, ухватив мой чемодан, потащил его в дом.

Мы пошли следом. Кэссиди тоже побежала рядом, радостно колотя меня хвостом по ногам.

– Должно быть, проголодалась, пока летела, – говорила мама. – Поверить не могу, что ты отправилась в путь, не предупредив нас.

Судя по выражению лица, она действительно была недовольна.

– В нашей семье, – сказала она суровым голосом, глядя на меня сверху вниз, – не принято летать через океан, никому ничего не сказав.

– Извини, – попросила я. – Это было внезапное решение.

– Настолько внезапное, что даже позвонить было некогда?

– Мне хотелось удивить папу. У меня случилось прозрение.

– О прозрении тоже можно рассказать по телефону.

– По-моему, – сказал я, обиженно надувая губы, – это совсем не то.

Мы прошли на кухню, и я села за стол. Отец сел рядом. Кэссиди разлеглась на полу у моих ног.

– Так ты хочешь есть?

– Я только что из Англии, – сказала я. – Так что я умираю с голоду!

– А что за прозрение? – спросил отец.

– Я могу приготовить курицу, – сказала мама, заглядывая в холодильник. – А еще есть та острая лапша, которая тебе нравится. Посмотрим... Есть фруктовый салат. Есть арахисовое масло...

Кэссиди наострила уши, а я содрогнулась от одной только мысли.

– Нет, только не арахисовое масло, никакого арахисового масла!

– Так в чем прозрение? – повторил отец.

– Могу сделать салат с фетой и грецкими орехами.

– Было бы неплохо.

– А чем заправить? У меня есть уксус с малиновым сиропом.

– Ради бога, не томи: что еще за прозрение?

– Ладно, – сказала я, поворачиваясь к отцу. – Ты готов меня слушать?

Он весь обратился в слух.

– Что-либо реально, только если оно инвариантно, – сказала я.

Он уставился в пространство, шепотом повторяя за мной:

– Что-либо реально, только если инвариантно...

– Подумай сам. Инвариантно – то, что в любой системе отсчета одно и то же. Это нечто такое в мире, относительно чего у всех наблюдателей единое мнение. Мы так интуитивно определяем понятие «объективный». Так мы проверяем что-то на реальность. Если можно найти хотя бы одну систему отсчета, в которой оно исчезает, тогда это не инвариант, оно зависит от наблюдателя. Оно не реально.

Он на мгновение задумался.

– Итак, если нечто инвариантно, то оно реально. А если оно зависит от наблюдателя, тогда это что? Иллюзия?

– Нет. Я не говорю, что это галлюцинация или что это субъективно. Но оно в конечном счете не реально.

– Как радуга.

– Точно! Это физическое явление, оно не субъективно, но и не реально. Верно? Подожди. А откуда берется радуга?

– Радуга возникает, когда лучи солнечного света преломляются в капельках воды в воздухе.

– Правильно. Так нам нужно солнце и капельки воды, поэтому радуга объективна, но она зависит от вашей системы отсчета. Если вы перейдете на другое место, вы можете ее больше и не увидеть. Это вполне солидное физическое явление, а вовсе не обман зрения. Не существует физической разноцветной радуги как предмета, висящего в небе, который можно пощупать. Вы не можете ее ухватить. Она как мираж. Она не реальна.

– Она как цвет галактики, – подхватил отец. – Цвет галактики – вовсе не ее собственное свойство, он зависит от того, как галактика движется относительно наблюдателя. Из-за их относительного движения частота световой волны изменяется, а от частоты зависит, какого цвета мы ее видим. Если цвет галактики смещен в красную сторону спектра, то мы знаем, что она удаляется от нас. Если в голубую, – она движется к нам. Это эффект Доплера. Он зависит от наблюдателя.

Я кивнула.

– Если мы хотим отыскать конечную реальность, мы должны устранить все свойства Вселенной, зависящие от выбора системы

отсчета, пока не останутся только те, которые действительно инвариантны.

Мама поставила на стол салатник с тарелками и вилками.

Кэссиди заскулила. Я посмотрела вниз. Она посмотрела на меня, высунула язык и подала лапу.

– Ты уверена? – спросила я ее. – Салат?

Я подбросила листик салата в воздух; ее челюсти схлопнулись, листик исчез.

Мама нагадила меня неодобрительным взглядом.

Вечером я достала из чемодана несколько книг и статей и направилась в сторону нашей физической библиотеки. В коридоре мама сидела на полу рядом с собакой и шептала: «Да, я люблю тебя. Да».

– Все еще ненавидишь собак? – спросила я.

– Да, – проворковала она, и Кэссиди лизнула ее в нос.

В библиотеке отец сидел, развалившись в своем кожаном кресле, и листал книгу. Я устроилась поудобнее на кушетке.

– Посмотри эту статью, – сказала я. Она была написана Максом Борном, одним из основоположников квантовой механики, опубликована в *Philosophical Quarterly* в 1953 году и озаглавлена «Физическая реальность». Я прочитала вслух первые строки:

– «За последние сто лет понятие реальности в физическом мире стало довольно проблематичным».

Мой отец рассмеялся:

– Вот как?

Я продолжала читать вслух, отец внимательно слушал:

«Вырежьте из куска картона фигуру, – писал Борн, – скажем круг, и наблюдайте тени, которые он отбрасывает от удаленной лампы на плоскую стену. Тени от круга в общем случае окажутся эллипсами; вращая вашу картонную фигуру, вы можете получить любое значение длины оси эллиптических теней между близкими к нулю и максимумом. Это точная аналогия с поведением длины в теории относительности: в различных состояниях движения она может иметь любое значение между нулем и максимумом... Очевидно, что одновременного рассмотрения теней на многих различных плоскостях достаточно для того, чтобы доказать тот факт, что первоначальная картонная фигура является кругом, и однозначно определить ее радиус.

Этот радиус есть то, что математики называют инвариантом преобразований, вызываемых параллельными проекциями»^[22].

– На том же принципе основана томография, – нахмурился отец.



Мама, очарованная Кэссиди.

Фото: У. Гефтер.

Я продолжала читать:

«Проекция (тень в нашем примере) определяется относительно системы отсчета (стен, на которые может отбрасываться тень). В общем случае существует много эквивалентных систем отсчета. <...> Инварианты суть величины, которые имеют одно и то же значение для любой системы отсчета и потому независимы от преобразований».

– То есть не зависят от наблюдателя.

– Точно. И вот зацепка, – сказала я, продолжая. – «И вот главный прогресс в структуре понятий в физике состоит в открытии того, что

определенная величина, которая рассматривалась как свойство предмета, в действительности есть только свойство проекции».

– Это очень интересный момент, – сказал мой отец. – Прогресс в физике связан с осознанием того, что нечто, считавшееся когда-то инвариантным, на самом деле зависит от системы наблюдения. Как тень.

– Угу. Борн продолжает: «Я убежден, что идея инвариантов является ключом к рациональному понятию реальности». Затем он рассказывает о квантовой механике, аргументируя, что измерение – это проекции на какую-либо систему отсчета, с которой связана измерительная аппаратура. И он заканчивает словами: «Таким образом, инварианты суть понятия, о которых естествознание говорит так же, как на обыкновенном языке говорят о „вещах“... Что здесь приближает к реальности, так это всегда своего рода инвариантный характер структуры, независимый от аспекта, от проекций».

– Реальное – это то, что инвариантно.

Я кивнула:

– Реальное – это то, что инвариантно. Звучит слишком очевидно, но это невероятно глубокое умозаключение, как оно ни банально.

– Я начинаю понимать, – сказал отец, перелистывая страницы сборника научных трудов Эйнштейна. – В целом эта же идея лежит в основе теории относительности. Вот послушай. Эйнштейн размышлял об электричестве и магнетизме. При перемещении магнита возникает электрическое поле, и при перемещении электрона возникает магнитное поле. Но как можно различить, что на самом деле движется? Движение относительно – вы покоитесь относительно электрона или относительно магнита? Он писал: «Мысль, что это две принципиально различные ситуации, была невыносима для меня. Я был убежден, что разница между ними не могла быть существенной, а возникала только из-за разницы в системе координат. В системе [движущегося] магнита не было никакого электрического поля. В системе эфира электрическое поле, конечно, присутствует. Таким образом, существование электрического поля было относительно, в зависимости от состояния движения используемой системы координат, и только электрические и магнитные поля вместе можно было бы отнести к разновидности объективной реальности, которая не зависит от состояния движения наблюдателя или системы координат. Это явление

магнитоэлектрической индукции помогло мне сформулировать (специальный) принцип относительности»^[23].

Пока мой отец зачитывал мне слова Эйнштейна, я поняла, что главное, за что физики должны были благодарить Эйнштейна, – это доказательство фундаментальной связи между инвариантностью и реальностью.

Поскольку движение относительно, а законы электромагнетизма требуют, чтобы свет распространялся со скоростью 186 000 миль в секунду, пространство и время сами должны изменяться при переходе от одной системы отсчета к другой. То есть пространство и время зависят от системы отсчета наблюдателя. Они не реальны.

Отметая все, что зависело от систем отсчета наблюдателя, Эйнштейн обнаружил, что реальным является единый четырехмерный пространственно-временной континуум. Разные наблюдатели могут по-разному разрезать его, называя одни проекции «пространством», а другие «временем», но это просто разные точки зрения на один и тот же инвариант. Если протяженность вашей мировой линии, скажем, десять единиц, то я могла бы отнести пять из них на счет пространства и другие пять – на счет времени. Но в другой системе отсчета мой отец мог бы назвать семь из них единицами пространства и только три – единицами времени, иными словами, два единицы, которые он видит как пространство, я вижу как время. Световые волны видят все десять единиц единицами пространства, ничего не оставляя на счет времени. Вот почему вы не можете двигаться быстрее, чем свет. Вы не можете выделить на счет времени меньше нуля. Если вы это сделали, то у вас оказалось бы отрицательное число, означающее, что вы научились путешествовать назад во времени.

Дело же все в том, что как ни разрежай пространство-время, оно так и останется пространством-временем. Это инвариант.

Вот почему Герман Минковский сказал: «...Отныне пространство само по себе и время само по себе обречены исчезнуть, превратиться в тень, и только их своеобразный союз сохранит независимую реальность». Пространство и время были как тени на стене; пространство-время было подобно картонной фигуре.

Эйнштейн полагал, что второе было важнее, чем первое: для него не так было важно то, что было относительным, как то, что было инвариантным, поскольку он знал, что то, что инвариантно, то и

реально. В связи с этим он выражал сожаление, что назвал свою теорию теорией относительности, вместо того чтобы назвать ее *Invariantentheorie*: теория инвариантов.

Интересно, что мы никогда не увидим пространства-времени. Как узники в платоновской пещере, мы вынуждены познавать мир через его тени, а Вселенную – разрезанной на части трехмерного пространства и одномерного времени. Но, обнаруживая в уравнениях Эйнштейна инвариант, получивший название интервала и сохраняющийся неизменным при преобразованиях Лоренца, мы можем за обманчивой видимостью разглядеть истинную реальность. Пространство-время – это симметрия, но в нашем восприятии Вселенной эта симметрия нарушена. Мы живем среди ее осколков.

Зависимость от системы отсчета наблюдателя только возросла, когда Эйнштейн проапгрейдил специальную теорию относительности до общей. Рассказывают, что озарение – Эйнштейн назвал его своей «самой счастливой идеей» – пришло, когда он увидел, как рабочий упал с крыши здания, расположенного напротив его патентного офиса. Это звучит, как если бы Эйнштейн был последним подонком. Но это, наверное, не так. В любом случае, ему пришло в голову, что человек, падающий с крыши, находился в свободном падении и испытывал состояние невесомости, как если бы гравитация для него внезапно исчезла. Это была его самая счастливая мысль, поскольку в ней содержалось невероятное прозрение: если гравитация может исчезнуть в одной из систем отсчета, то она не может быть фундаментальным свойством реальности. Она должна была быть иллюзией восприятия.

В восприятии злополучного кровельщика он находился в обычной инерциальной системе отсчета, и в ней отсутствует сила тяжести. И чувства его не обманывали: со своей точки зрения, он действительно находился в невесомости, и если бы он успел сделать некоторые простые научные опыты по пути вниз, их результаты подтвердили бы это. Если бы, например, он вынул свои ключи из кармана и уронил их, они бы не упали к его ногам, как бы это случилось в присутствии силы тяжести, а просто повисли бы рядом с ним, падая с такой же скоростью. Единственное, что в этом случае было необычным, это массивная планета, которая с неожиданным ускорением приближалась к нему.

Инерциальной системе отсчета соответствует прямая линия в пространстве-времени. Но падение человека в восприятии стоящих на

земле зрителей, которые показывают на него пальцем и смеются, происходит с ускорением. Для них он ускоряется и его мировая линия описывается кривой линией. Так что это? Прямая или кривая линия?

Эйнштейн знал, что и то и другое верно, поскольку прямая и кривая линии – это лишь разные описания одного и того же движения одного и того же человека. Но как могут быть оба варианта ответов верными одновременно? Как может кривая быть прямой? Чтобы превратить кривую линию в прямую, вы должны согнуть бумагу. Переход от системы отсчета кровельщика к системе отсчета зевак требует диффеоморфного преобразования. Он требует изгиба пространства-времени. Он требует гравитации.

Принцип общей ковариантности Эйнштейна требовал, чтобы для всех наблюдателей выполнялись одни и те же законы физики. Гравитация превращает кривые линии в прямые. «Мы можем воспроизвести гравитационное поле, просто изменив систему координат, – писал Эйнштейн. – Требование общей ковариантности... отнимает у пространства и времени последний остаток физической реальности».

Ньютон верил в реальность абсолютного пространства, потому что без этого ускорение ничего не значит – ускорение относительно чего? Но Эйнштейн в общей теории относительности показал, что то, что выглядит как система отсчета, двигающаяся с ускорением, с другой точки зрения может выглядеть как инерциальная система отсчета, в которой действует сила тяжести. Нет онтологической разницы между ускоренной и инерциальной системами отсчета, что, в свою очередь, означало, что не существует абсолютного пространства. То есть вам не нужно, чтобы пространство было реальным.

Это также объясняло другой любопытный факт, который, вероятно, могла бы с пеной у рта оспаривать девушка из моей группы по философии науки: предположим, два шарика падают одновременно с Пизанской башни, например шар для боулинга и мячик для пинг-понга. Предполагая, что их падение происходит в безвоздушном пространстве, можно ожидать, что они ударятся о землю точно в одно и то же время. Вы бы могли подумать, что более тяжелый из них будет падать быстрее, но это не так. Потому что, если бы более тяжелые предметы падали быстрее, чем более легкие, то вы были бы в состоянии

отличить, в какой системе вы находитесь: в ускоренной системе или инерциальной системе отсчета с гравитацией.

Каким образом? Допустим, вы находитесь в кабине лифта без окон и чувствуете, что ваш вес прижимает вас к полу. Вы могли бы задаться вопросом, ускоряется ли лифт по направлению вверх, заставляя пол давить вам на ноги, или лифт находится в состоянии покоя на планете с сильным гравитационным полем. Чтобы ответить на этот вопрос, вы могли бы одновременно уронить что-то очень тяжелое и очень легкое. Если тяжелое упадет на пол первым, мы будем знать, что находимся в сильном гравитационном поле. Если тяжелое и легкое достигнут пола одновременно, мы будем знать, что лифт движется с ускорением вверх, поскольку поднимающийся пол коснется обоих свободно падающих в пространстве предметов одновременно.

Только потому, что тела разного веса падают с одинаковой скоростью, работает принцип эквивалентности Эйнштейна: вы никогда не можете отличить ускорение от гравитации. Если бы вы могли это сделать, то «пространство» бы что-то значило. Оно было бы реальным. Но это не так.

— Специальная теория относительности доказывает, что пространство и время не реальны — они зависят от наблюдателя, — сказала я отцу. — А общая теория относительности доказывает, что сила тяжести не реальна, так как она исчезает в определенных системах отсчета. Но здесь мы подходим к самой безумной мысли — дело не ограничивается Эйнштейном. Это относится ко всем силам. Ни одно из так называемых «фундаментальных» взаимодействий не реально!

Кроме гравитации есть еще три фундаментальных взаимодействия. Электромагнетизм — наиболее знакомый из них, поскольку мы постоянно встречаемся с ним в повседневной жизни. Еще два проявляются на субатомных масштабах и поэтому нам менее известны. Сильное ядерное взаимодействие связывает кварки в протоны и нейтроны, которые, в свою очередь, составляют ядро любого атома. Слабое ядерное взаимодействие превращает протоны в нейтроны, и наоборот, изменяя аромат содержащихся в них кварков, отвечает за радиоактивный распад — это из-за него Солнце светит.

Несмотря на все разговоры о гравитации как о «выбывшей из игры» в квантовую механику, все остальные взаимодействия, по существу, играют ничуть не лучше, в особенности если принять во

внимание, насколько по-разному они проявляются в разных системах отсчета.

Когда речь заходит о силах в квантовой механике, приходится забыть и о пространстве, и о времени и говорить только о квантовых волновых функциях. А у волновой функции, как и у всякой волны, есть фаза, и в этом все дело.

– Допустим, имеется какая-то материальная частица, например электрон, – сказала я. – Она описывается волновой функцией, а у волновой функции есть фаза. Но фаза – это не какая-то физическая вещь. Она просто показывает, к какой стадии колебательного цикла привело волновое движение некое участвующее в нем материально тело в данной точке пространства: приближается ли колеблющаяся величина к своему максимальному значению или, напротив, находится на спаде и уже скоро достигнет минимума – в отношении какого-то из измерительных приборов. Кого-то из наблюдателей. Если ты смотришь на проходящие мимо тебя волны и делаешь шаг влево, то фаза волны по отношению к тебе меняется. Поэтому очевидно, что фаза не может быть внутренним свойством волны, ее значение зависит от системы отсчета наблюдателя. Конечно, значение имеет только *разница* фаз – именно она, например, определяет вид интерференционной картины в опыте с двойной щелью. Фаза сама по себе не имеет определенного смысла.

– Фаза определяет систему отсчета, – сказал отец.

– Точно! Представь себе, что волновая функция электрона заполняет собой все пространство. Конечно, ее амплитуда, вероятно, достигает максимума только в какой-то ограниченной области, но, формально говоря, она простирается бесконечно. В силу принципа неопределенности она нигде не может в точности равняться нулю. Ты следишь за этим электроном и вдруг делаешь два шага влево. Волновая функция меняет фазу. Но фаза не меняется сразу во всем пространстве, потому что это действие ограничивается только твоим световым конусом. Изменение фазы всей волновой функции сразу во всей Вселенной потребует сверхсветовой скорости. Если бы это было возможно, то оно было бы эквивалентно чему-то вроде преобразования Лоренца. Но это невозможно. В твоих силах изменить волновую функцию только в ограниченной части пространства. Так что теперь у тебя имеются две части волновой функции: у одной фаза сдвинута, а у

второй – нет. Они не соответствуют друг другу, как кривая и прямая линии. Поэтому нужно ввести силу, которая компенсирует это несоответствие. Тебе нужно найти преобразование, позволяющее плавно совместить эти две части – диффеоморфное преобразование.

– То есть необходим эквивалент гравитации.

– Точно. И в случае электронов эквивалентом гравитации выступает электромагнетизм.

Электромагнетизм проявляется как калибровочная сила^[24]. Калибровка – это просто другое слово, означающее фазу. Это – точка зрения, система отсчета. Аналогично принципу общей ковариантности Эйнштейна, принцип калибровочной инвариантности требует, чтобы при любой калибровке силы были одинаковыми; не существует выделенной системы отсчета, которая была бы более истинна, чем остальные. Но локальное изменение калибровки – смещение системы отсчета – приводит к фазовому несоответствию частей волновой функции. Для того чтобы скомпенсировать этот фазовый сдвиг и сохранить все системы отсчета равноправными, вам необходима калибровочная сила.

Во многих книгах и статьях, которые я прочла, утверждалось, что силы воздействуют на частицы путем изменения фазы их волновой функции, но на самом деле все происходит наоборот: переход к другой системе отсчета создает сдвиг по фазе, который вызывает силу. Иными словами, не совпадающие между собой системы отсчета и являются силой. В случае электрона сила, возникшая из несоответствия фаз, – это электромагнетизм, а элементарное возбуждение электромагнитного поля – это фотон.

Электромагнитная сила гарантирует, что мы не перепутаем два разных описания одного электрона с двумя разными электронами, как и гравитация гарантирует, что мы не перепутаем два разных представления пространства-времени одной и той же Вселенной с двумя разными вселенными. Сильные и слабые ядерные взаимодействия – также калибровочно инвариантны. Они возникают исключительно для того, чтобы скомпенсировать сдвиг фаз волновой функции кварков, возникающий при переходе из одной системы отсчета в другую. И сходство калибровочных преобразований с диффеоморфизмом общей теории относительности не случайно: гравитация – это тоже калибровочная сила.

Я узнала о ядерных взаимодействиях давно, еще когда писала свою статью о кварк-глюонной плазме, но тогда я не оценила всей глубины теории калибровочных полей, пока меня не осенила мысль о связи между инвариантностью и реальностью. Дело в том, что калибровочные силы не являются инвариантными. Как и в случае с падающим кровельщиком, вы можете найти такую систему отсчета, в которой они исчезают. Более того, в одной-единственной системе отсчета они даже не существуют. Они появляются только тогда, когда вы сравниваете одну систему отсчета с другой. Они зависят от наблюдателя. Они не реальны.

– Они фиктивны, – взволнованно сказал отец.

– Правильно! Они не настоящие.

– Да нет, они именно фиктивные, – сказал он, наклоняясь вперед в своем кресле.

– Это что такое?

– Представь себе: ты стоишь на светофоре. Включается зеленый свет, и ты давишь на газ. Машина начинает двигаться, и ты чувствуешь силу, которая вдавликает тебя в кресло. Физики называют такие силы инерционными или фиктивными, – как центробежную силу, которая прижимает тебя к двери на крутом вираже. Эти силы не настоящие – они возникают в результате ускорения системы отсчета, о котором ты, может, и не знаешь. Но вернемся к светофору, к тому моменту, когда ты нажимаешь на газ. Давай посмотрим на это с точки зрения парня, стоящего на тротуаре: он находится в инерциальной системе отсчета, верно? Он видит, как автомобиль рванул вперед, а ты навалилась на спинку своего автомобильного кресла. Но, с его точки зрения, тут все просто объясняется: автомобиль разгоняется и вместе с собой разгоняет и тебя. Он совершенно не понимает, что тебя кто-то будто бы вдавликает в автомобильное кресло. Вместо этого спинка кресла давит на твою спину сзади. Но, находясь внутри автомобиля, ты не можешь установить, разгоняется ли автомобиль в самом деле.

– Ну, я все же вижу в окно, что он двигается все быстрее и быстрее, – возразила я.

– Но равным образом то, что ты видишь, может объясняться и тем, что все вокруг убегает от тебя все быстрее и быстрее, а ты сама остаешься на месте. А если зашторить все окна, то ты вообще можешь думать, будто не движешься совсем: ведь по отношению к тебе ничто из

находящегося внутри автомобиля, включая сиденья, не движется. У тебя было бы полное право предположить, что ты находишься в состоянии покоя, и тебе показалось бы очень странным, с чего это вдруг тебя что-то внезапно вжало в кресло. Единственный способ объяснить это – предположить, что на тебя действует какая-то сила.

– Но это не настоящая сила...

– Правильно, это фиктивная сила, так как ее не существует с точки зрения инерциального парня на тротуаре. Для него нет силы, есть только ускорение автомобиля. Физики называют такие силы фиктивными, поскольку можно найти систему отсчета, в которой они отсутствуют. Но в действительности из того, что ты говоришь, следует, что все силы, даже те, о которых мы думали, что они реальные, фиктивны в не меньшей мере.

– Да, точно! Гравитация, электромагнетизм, ядерные силы... они все фиктивные. Они зависят от калибровки, а это просто другой способ сказать, что они зависят от наблюдателя. Они не инвариантны. Но ты сказал, что фиктивная сила возникает потому, что «на самом деле» испытываешь ускорение, хотя, возможно, и не знаешь этого. Но разве не в том суть теории относительности, что мы не можем утверждать, что «на самом деле» ускоряемся? Есть ли сила в инерциальной системе отсчета, или нет силы в системе отсчета, движущейся с ускорением, обе ситуации должны быть эквивалентны. Мы не можем отдать предпочтение парню на тротуаре как единственной «реальной» системе отсчета – все наблюдатели должны быть равноправны.

– Это абсолютно верно, – отец кивнул. – Концепция фиктивных сил происходит из ньютоновской физики, где инерциальный парень на тротуаре считается покоящимся в абсолютном пространстве, относительно которого ускоряется автомобиль. Эйнштейн сделал обе эти системы отсчета (парня и водителя автомобиля) эквивалентными.

– Сделав пространство и время зависимыми от наблюдателя!

Мы обсуждали этот вопрос несколько часов, пока не сказалась разница во времени и мои глаза не начали сами собой закрываться.

– Пойдем спать, девочка! – сказала я Кэссиди и направилась в мою старую спальню. Она сначала последовала за мной, но потом развернулась, побрела обратно по коридору и улеглась на пороге спальни родителей.

– Вот, значит, как? – сказала я ей и укоризненно покачала головой. – Предательница.

Лежа в ту ночь в постели, в комнате, к счастью достаточно большой, чтобы подчиняться законам классической физики, я думала об окончательной реальности. Эйнштейн как-то сказал: «Физика – это попытка концептуально постичь реальность, которая, как считается, существует независимо от наблюдателя. В этом смысле говорят о физической реальности». «Реальный» для Эйнштейна означало «независимый от наблюдателя», и единственным способом выяснить, что не зависит от наблюдателя, было сравнение всех возможных точек зрения в надежде найти те редкие ключевые свойства, которые не меняются при смене точек зрения. То, что реально, – это то, что инвариантно.

Эти философские истины каждый уже знает или, по крайней мере, инстинктивно чувствует. Если мы видим что-то настолько странное, что не верим своим глазам, и мы хотим убедиться, что мы не сошли с ума или не перебрали с алкоголем в баре, то что мы делаем? Мы обращаемся к парню, который сидит рядом с нами, и спрашиваем: «Вы это тоже видите?» Если он говорит «нет», тогда мы знаем: это никакой не инвариант и, наверное, настало время побеспокоиться о своем состоянии.

Будучи новоявленным структурным реалистом, я понимала, что должна быть осторожной, чтобы не спутать наши рассказы о физике с ее базовой математической структурой, чтобы не принять разные описания за разные материальные объекты. И теперь, имея инвариантность в качестве моего единственного критерия окончательной реальности, я поняла, что описания могут различаться при переходе от одной системы отсчета к другой. Только структура обладает возможностью оставаться инвариантной.

Ледиман был прав, повернув идею структурного реализма в онтологическое русло: структура, полностью освобожденная от бремени нашего индивидуального восприятия, была единственным жизнеспособным кандидатом на реальность. Потому что существует бесконечно много способов взглянуть на одно и то же, описать одну и ту же структуру. Это было очевидно уже из общей теории относительности. Вы могли бы прочертить изогнутую мировую линию

в плоском пространстве-времени или прямую мировую линию в искривленном пространстве-времени. Вы могли бы описать космос с помощью неевклидовой геометрии, или вы могли бы придерживаться евклидовой геометрии пространства и ввести некоторые дополнительные силы. Вы могли бы обозначить и переобозначить точки пространства-времени бесконечным количеством самых разнообразных способов. И все это не привело бы к каким-либо изменениям. Базовая структура всегда остается одной и той же. Наши творческие возможности для описания реальности, наверное, безграничны. Фокус в том, чтобы узнать, что является только описанием, а что базовой структурой.

К счастью, я открыла для себя простое правило: все, что служит для сохранения калибровочной симметрии, – это просто описание. Однако просто *описания* могут вызвать к жизни такое физическое явление, которое покажется очень даже реальным, а то и драматическим. Простой переход от одной системы отсчета к другой может превратить пространство во время, заставить гравитацию исчезнуть или сгенерировать электромагнитное поле. Может вызвать ядерную реакцию. Может заставить Солнце светиться.

В дополнение к четырем принципиально фиктивным взаимодействиям есть еще кое-что, без чего калибровочную симметрию не сохранить: хиггсовское поле.

Все частицы обладают свойством, называемым спином, – разновидностью внутреннего вращения, которое отвечает за то, как частицы представлены в разных системах отсчета. Мне нравится иллюстрировать это свойство на примере с пляжным мячиком. Когда мячик пролетает мимо меня, я вижу рисунок то на одной стороне его поверхности, то на другой, так, словно он вращается, хотя в его собственной системе отсчета никакого вращения нет вообще. Конечно, вопрос о том «действительно» ли мяч вращается, не имеет смысла, потому что движение относительно. Наблюдатель, обходящий на 360 градусов вокруг находящегося в покое объекта, и наблюдатель, который стоит на месте, а объект поворачивается на 360 градусов – два эквивалентных описания одного и того же.

Про частицы, обладающие ненулевым спином, в зависимости от его проекции на направление движения говорят, что они имеют правую или левую спиральность, словно бы частица была закручена в

направлении движения или в противоположном направлении^[25]. Но спиральность относительна: если у вас есть частица с правой спиральностью, вы всегда сможете бежать быстрее нее, и, обернувшись, вы увидите, что знак спиральности частицы сменился на противоположный. Спиральность зависит от системы отсчета, в которой она измеряется^[26].

Это проблема. Спиральность зависит от системы отсчета наблюдателя – это означает, что она не реальна. Не существует истинного различия между частицами с левой и правой спиральностями. И все же эксперименты в конце пятидесятих годов показали, что слабые ядерные взаимодействия, в которых участвуют кварки и электроны, действуют по-разному на лево- и правоспиральные частицы, бросая тем самым дерзкий вызов главному принципу теории Эйнштейна и его современному воплощению в виде калибровочной симметрии. Отрадите пространство-время в зеркале, поменяйте местами лево и право, и вы увидите другой мир. Как если бы левое и правое имело какое-то значение. Как если бы они были инвариантами. Почему при слабых взаимодействиях спиральность проявляет себя как инвариантное свойство материи, когда оно в действительности зависит от наблюдателя?

Существует только одна возможность: если частицы движутся со скоростью света, то никто и никогда не может их обогнать; иными словами, во всех системах отсчета левоспиральные частицы останутся левоспиральными, а правоспиральные частицы – правоспиральными. Даже несмотря на то что спиральность принципиально зависит от системы отсчета наблюдателя, левоспиральность и правоспиральность в данном случае будут всегда проявляться как инвариантное свойство материи.

Казалось бы, это достаточно простое решение проблемы: просто все кварки и электроны должны перемещаться со скоростью света. Но основная загвоздка состоит в том, что кварки и электроны обладают массой. Вы не можете одновременно обладать массой и перемещаться со скоростью света – даже крошечный вес заставит вас замедлить скорость. Если частицы движутся медленнее, чем свет, то получается, что мы не можем объяснить, почему слабое взаимодействие предпочитает левоспиральные частицы, не нарушая при этом калибровочную симметрию.

Картина меняется, если у вас есть хиггсовское поле. Физики предположили^[27] существование скалярного поля, всюду заполняющего пространство-время таким образом, что при взаимодействии с ним знак спиральности у частиц меняется на противоположный. Так, слабое взаимодействие только *думает*, что оно действует исключительно на левоспиральные частицы, а хиггсовское поле в фоновом режиме меняет правое с левым, из-за чего в слабом взаимодействии участвуют и правоспиральные, и левоспиральные в равной степени. Теперь вы можете отразить пространство-время в зеркале, и мир от этого не изменится. Благодаря хиггсовскому полю такие частицы, как кварки и электроны, могут иметь массу, не нарушая калибровочной симметрии.

Если вы внимательно посмотрите на то, что делает бозон Хиггса, вы заметите, что со временем происходит что-то странное. Когда левоспиральный электрон взаимодействует с хиггсовским полем, он переходит в правоспиральный антипозитрон. А антипозитрон – это не что иное, как электрон в системе отсчета, в которой стрела времени развернута вспять.

Два наблюдателя всегда придут к единому мнению об очередности событий во времени, если они происходят в области, в которой световые конусы наблюдателей перекрываются. Они могут не прийти к единому мнению о том, в какой момент времени происходят события, но они всегда будут согласны по поводу очередности событий. Для перекрывающихся наблюдателей «до» и «после» инвариантны. Но для девушки, находящейся вне моего светового конуса, эти слова потеряют всякий смысл. Мое «до» может быть ее «после», ее причина может стать для меня следствием. Вы можете предположить, что нам не надо беспокоиться об этом, коль скоро мы никогда не сможем сверить свои записи об этих событиях. Но в квантовой механике это не совсем так. Согласно принципу неопределенности частица вне моего светового конуса все-таки с некоторой ненулевой вероятностью и в обход законов теории относительности находится также и внутри него. При этом может показаться, что частица перемещается быстрее света – иначе говоря, что она движется назад во времени.

Уилер первым понял, что античастицы – это просто обычные частицы, для которых стрела времени обращена вспять^[28]. Античастицы должны существовать хотя бы потому, что для некоторых

наблюдателей частица может выглядеть так, словно она решила прокатиться на *DeLorean*^[29]. Частицы и античастицы – это не что-то принципиально различное. Это – две разные точки зрения.

Не случайно бозон Хиггса обладает именно такими свойствами, которые позволяют компенсировать различия, создаваемые при переходе из одной системы отсчета к другой, потому что бозон Хиггса (меня только что осенило!) не существует в окончательной реальности. Как гравитация, электромагнетизм и ядерные силы, бозон Хиггса фиктивен – мы вынуждены добавить его в наше описание реальности, чтобы обеспечить равные права для всех систем отсчета и не путать различия в представлении с различием сути.

Я поняла: это именно то, для чего нужна физика. Каждый раз, когда мы различием систем отсчета разбиваем мир на куски, физика предлагает способ, как собрать его обратно воедино. Измените направление каждой пространственной координатной оси на обратное, превращая Вселенную в ее зеркальное изображение, и физика изменится. Замените заряд частиц на противоположный, превратив все частицы в их античастицы, и физика изменится.

Обратите стрелу времени вспять, поменяв местами будущее и прошлое, и снова физика изменится. Но если произвести все эти три операции одновременно, физика остается той же. СРТ-инвариантность, как называют свойство мира сохраняться при одновременном применении этих трех операций, – это прямое следствие Лоренц-инвариантности пространства-времени. Заряд, четность (знак спиральности) и время вместе сохраняют структурную эквивалентность систем отсчета и не позволяют спутать разнообразие представлений с разнообразием реальности.

СРТ-инвариантность выявила глубокую связь между структурой пространства-времени и строением материи. Всякий раз, когда я просила физиков дать определение частицы, они отвечали, что это «неприводимое представление группы Пуанкаре», что звучало лучше, чем «маленький шарик». Но теперь я наконец поняла, что они имели в виду. Они имели в виду, что симметрия пространства-времени определяет все сущее в нем. Симметрия Пуанкаре – это симметрия плоского, свободного от гравитации пространства-времени специальной теории относительности, симметрия, которая обеспечивает эквивалентность инерциальных систем координат,

повернутых друг относительно друга, или движущихся равномерно с разными скоростями, или смещенных друг относительно друга в пространстве. То, что мы называем «частицами», – это исходные инвариантные структуры, которые в плоском пространстве-времени никогда не исчезают при переходе из одной системы координат в другую.

Системы отсчета имеют огромное значение в физике. В теории относительности конечная величина скорости света и относительность пространства и времени означали, что у разных наблюдателей разные представления об одной и той же конечной реальности. В ньютоновской физике, где пространство было абсолютным и скорость света бесконечной, вам не надо было заботиться о различии наблюдателей, потому что они все видели одно и то же. В мире Эйнштейна вам нужны правила, чтобы сравнивать между собой различные системы отсчета, отфильтровывая артефакты видения. Для чего вам понадобились диффеоморфные преобразования и преобразования Лоренца, для того же вам понадобились и калибровочные силы. В мире Эйнштейна необходимость смотреть на все с собственной точки зрения затеняет единство реальности. Физика возвращает утраченное единство. Должна возвращать. Потому что реальность не разбилась, она только такой кажется.

Внезапно мне стала ясна мораль истории с падающим карандашом. Парадигма спонтанного нарушения симметрии. Я перечитывала снова и снова: карандаш балансирует на острие, затем под действием легчайшего дуновения ветра падает, принимая одно из бесконечного числа основных состояний, окружающих его и эквивалентных в том смысле, что энергия каждого из них одна и та же и ее значение минимально – из каждого из этих состояний падать уже некуда. Но ни в одном из них уже нет изначальной вращательной симметрии вертикально стоящего карандаша – симметрия нарушена.

Теперь я поняла, что эти основные состояния – это калибровки, эталонные положения лежащего карандаша. Это точки зрения. Это означает, что в действительности карандаш никогда не падает – это только кажется, что он упал. Это представление в одной выделенной системе отсчета наблюдателя. С этой точки зрения, карандаш отбрасывает горизонтальную тень, которую мы принимаем за реальность, тень, которая не обладает изначальной вращательной

симметрией. Чтобы увидеть симметрию полностью, нужно быть в положении Бога, который мог бы видеть карандаш одновременно с каждой точки, расположенной по окружности вокруг него. Поскольку это невозможно, мы вынуждены догадываться о существовании симметрии вращения с позиций нашего выделенного положения. Но мы можем сделать это, обходя по кругу на все 360 градусов наш карандаш, переходя от одной системы отсчета к другой. Обходя по кругу карандаш, мы проходим одну за другой калибровки, не забывая учитывать незначительное угловое смещение, необходимое, чтобы удерживать карандаш в поле зрения, пока мы делаем наш круговой обход. Калибровочная симметрия гарантирует, что такие преобразования систем отсчета возможны. Калибровочные силы компенсируют угловое смещение.

Вильчек предположил, что Вселенная образовалась в результате спонтанного нарушения симметрии, которой обладало ничто. Это объяснение раздражало меня, потому что это вообще не было настоящим объяснением – необходимость какого-то изначального квантового ветерка нарушала принцип Смолина, сформулированного им в качестве «первого принципа космологии»: «за пределами Вселенной ничего нет». Но если карандаш никогда по-настоящему не падает, Вселенная, может быть, никогда по-настоящему не рождалась? Может быть, это просто выглядит так отсюда, изнутри нее?

И сами по себе симметрии не нарушаются – они просто выглядят нарушенными в наших ограниченных системах отсчета, не способных объять полную симметрию конечной реальности. Если бы можно было видеть все пространство-время из некой Архимедовой точки, расположенной за пределами Вселенной, то фазы каждой волновой функции выглядели бы взаимно согласованными и был бы виден каждый угол карандаша одновременно. В мире царила бы симметрия. Силы бы исчезли. И что бы тогда осталось – инварианты? Это, как я знала, был конечный вопрос. Ответом, каким бы он ни был, является окончательная реальность.

Здесь – внутри Вселенной, под одеялом – мне остается только наблюдать вещи в кривом зеркале, в надежде воссоздать единую реальность из обманчивого разнообразия. Все равно я должна была признать, что искажения были довольно необычными. Спин, заряд,

спиральность, скорость, причинно-следственная связь, масса... они все работают вместе, сохраняя реальность единой, несмотря на фрагментарность наших точек зрения, и при этом образуют наш мир. Издалека физика выглядит чрезвычайно запутанно, настолько она изобилует разными разделами и таким большим количеством произвольных параметров. Только в действительности ни один из них не является произвольным. Все они работают для достижения одной и той же цели: для того чтобы описать, как единая реальность выглядит со всех возможных точек зрения.

Это как раз то, что я люблю в физике – момент абсолютной неожиданности, когда вы вдруг осознаете: то, что, как вы думали, было одним, в действительности оказалось чем-то другим, или две вещи, которые, казалось, настолько разные, в действительности оказались просто двумя ракурсами одного и того же. Это такое приятное ощущение, которое возникает от открытия, что мир далеко не таков, каким он нам кажется.

С возрастом я признала необходимость имитировать простые поступки обыденной жизни, хотя так и не научилась совершать их как надо. Ни платить по счетам, ни готовить, ни посидеть за кофе, ни вести «малые разговоры» – ничего из перечисленного, хотя этим исчерпывается жизнь здесь, на поверхности бытия. Иногда, гуляя по улице, я чувствую, что все вокруг словно парят над землей, едва касаясь ее, а мои ноги налиты тяжестью и земля прогибается подо мной, я могу провалиться в любой момент, и я бы очень хотела провалиться под землю, но этого делать нельзя, потому что жизнь проходит здесь, на поверхности, и наше дело – держаться и не соскальзывать вниз. Случалось, что из-за этого я по несколько дней мучила себя сомнением: может быть, я чужая не только на физических конференциях и редакционных совещаниях, но и здесь, в мире, на поверхности бытия? И временами по ночам, вот так же как сегодня, я вдруг видела будто бы краем глаза очертания базовой структуры мироздания, мир за нашим миром, истину, скрытую под поверхностью. Я видела, как все идеально связано со всем остальным, как все основано на простых понятиях сингулярности и симметрии, – и это было просто чертовски красиво. «Я верю, что природа совершенна», – писал Эйнштейн. Лежа в постели в темноте, я начала понимать, что он имел в виду.

– Я все время думаю об инвариантности и ее связи с симметрией, – сказал отец, передавая мне сироп.

Мы сидели в блинной и завтракали.

– Теорема Нётер утверждает, что для каждой непрерывной симметрии есть свой интеграл движения – инвариант. Если мы ищем инварианты, то симметрии помогут нам их найти.

– Наверное, так и есть, – сказала я. – Симметрии говорят нам о том, что остается неизменным при переходе от одной системы отсчета к другой.

Я в это время решала сложную задачу: начать ли мне завтрак с омлета или с блинов. Они выглядели симметрично вкусно. Я даже вспомнила какого-то философского осла, умершего с голоду. Буриданова, что ли?

– Правильно. Снежинка после поворота на шестьдесят градусов выглядит так же, как до поворота, то есть она обладает осевой симметрией шестого порядка. Но это дискретная симметрия, она не исключает таких преобразований системы отсчета, при которых, как, скажем, при повороте на шестьдесят четыре градуса, снежинка не совпадет сама с собой. Поэтому чтобы найти настоящие инварианты, нам потребуется непрерывная симметрия, которую не нарушит никакое преобразование системы отсчета.

– Хорошо, – сказала я, – давай рассматривать непрерывные симметрии.

Я все-таки решила начать с блинов. Симметрия была нарушена. Осел сегодня не собирался умереть от голода.

– Ну, трансляционная симметрия пространства дает нам сохранение импульса, вращательная симметрия пространства сохраняет угловой момент, – сказал отец. – Смещение во времени сохраняет энергию. Вращательная симметрия четырехмерного пространства-времени сохраняет пространственно-временной интервал. А калибровочная симметрия сохраняет заряд.

– Хорошо. Значит, у нас уже есть несколько претендентов на подлинное существование. Давай составим список, – сказала я, вынимая ручку из сумки. Взяла салфетку и написала на ней: «Ингредиенты окончательной реальности».

– Давай просто перечислим все, что могло бы быть реальным, и после этого мы рассмотрим их более детально. Давай посмотрим...

пространство, время, пространство-время, гравитация, электромагнетизм, ядерные взаимодействия, масса, энергия, импульс, момент импульса, заряд... что еще?

– А как насчет количества измерений? – спросил отец. Я записала на салфетке и это.

– Или элементарные частицы? Мы ведь должны предположить, что элементарные частицы тоже реальны, верно?

– Если только они не струны, – сказала я.

– Ну, частицы – это возбужденные состояния поля, поэтому частицы нельзя отделить от полей. А поля определены в вакууме.

Я кивнула, добавив их в список. Частицы/поля/вакуум. Струны.

– Как насчет Вселенной? Я надеюсь, что она реальна. Может быть, она подходит нам по умолчанию?

Отец покачал головой:

– Ничто в физике не делается по умолчанию.

Я добавила Вселенную в список. И, немного подумав, добавила мультивселенную тоже.

– Скорость света, – сказал отец, указывая на список и одновременно сделав глоток кофе. – Это однозначно инвариант.

Я записала: «Скорость света».

– Бостром сказал бы, что мы должны рассмотреть реальность самой реальности, – сказала я. – Но боюсь, что добавление ее в этот список может отправить нас в своеобразную бесконечную башню, построенную из черепашек.

– Пропустим, – кивнул он. – Это как рассматривать пирожное в качестве ингредиента самого пирога.

– Итак, давай посмотрим, – сказала я, переворачивая салфетку, чтобы мы могли оба читать список. – Исходя из теории относительности, мы можем поставить крест на пространстве и времени. И то и другое зависит от наблюдателя.

– Можно вычеркнуть гравитацию, – сказал папа. – И все другие взаимодействия. Все они фиктивны. Как насчет массы? Масса – это инвариант, верно? По крайней мере, масса покоя?

Я сделала глоток кофе и покачала головой:

– Это не так. Масса покоя – это инвариант в специальной теории относительности, но в общей теории относительности она не определена. Для того чтобы ее определить, нам придется нарушить

принцип общей ковариантности: мы должны будем определить координатную ось времени, а это приведет к выделенной системе отсчета. Масса определяется только относительно конкретной системы отсчета, и поскольку соотношение $E = mc^2$ связывает массу с энергией, то же самое касается и энергии. И масса и энергия зависят от системы отсчета наблюдателя.

Я вычеркнула их из списка.

– Импульс и угловой момент определяются через массу, так что они тоже становятся зависимыми от наблюдателя в рамках общей теории относительности.

– Даже в квантовой теории поля масса изменяется в зависимости от масштаба, – сказал отец. – В зависимости от разрешения, с которым она измеряется.

Я кивнула.

– Стандартная модель говорит, что все частицы в конечном счете безмассовые – масса возникает как следствие нарушения симметрии или структуры вакуума при низких энергиях или при взаимодействии с бозоном Хиггса. При достаточно высоких энергиях массы исчезают.

– Мы должны добавить бозон Хиггса в список?

– Я думаю, частицы/поля/вакуум включают его.

– Ладно, – сказал отец, переходя вниз к следующей позиции на салфетке. – А что насчет заряда? Зарядовая четность ведь нарушается в некоторых видах слабого ядерного распада?

– Да, – сказала я. – Она сохраняется, только когда мы используем ее одновременно вместе с пространственной четностью и отражением времени. Но СРТ-инвариантность – это просто Лоренц-инвариантность. Лоренц-инвариантность сохраняет пространственно-временные интервалы. Так что нам нужно сохранить пространство-время в списке.

– Мы можем вычеркнуть спин, – сказал отец. – Суперсимметрия показывает, что то, что представляется как бозон в одной системе, выглядит как фермион в другой.

Это был хороший аргумент. Обычно легко отличить бозоны, переносчики взаимодействия, которые обладают целочисленным спином, и фермионы, или частицы материи, которые несут полуцелый спин: просто поверните частицу на 360 градусов, и если она будет выглядеть точно так же, как и до вращения, то это бозон. Если же амплитуда ее волновой функции окажется перевернутой и вы должны

повернуть ее второй раз, в сумме на семьсот двадцать градусов, чтобы она выглядела точно так же, как вначале, то это фермион.

Чтобы превратить фермион в бозон и наоборот, необходимо некоторым способом преобразовать амплитуду его волновой функции. Вы можете это сделать, если добавите несколько дополнительных измерений. Не пространственных измерений, а математических. При вращении частицы в дополнительных измерениях положительная амплитуда станет отрицательной, а отрицательная амплитуда положительной^[30], целый спин – полуцелым, и наоборот. В многомерном суперпространстве бозоны и фермионы идентичны. В обычном пространстве они – разные тени одного и того же куска картона, их различие зависит от системы отсчета, в которой они рассматриваются.

– Мы *принимаем* суперсимметрию? – спросила я.

Экспериментальных подтверждений суперсимметрии пока нет. Если бы реальность действительно была суперсимметричной, у каждого бозона был бы свой партнер-фермион, и наоборот. В каждой паре частицы-партнеры были бы идеальной копией друг друга, но только подчинялись бы противоположной статистике. Физики с нетерпением ждут начала охоты на такие суперсимметричные пары при помощи Большого адронного коллайдера около Женевы, но ускоритель еще не начал свою работу. Суперсимметрия остается теорией^[31].

Отец пожал плечами:

– Есть веские теоретические основания в нее верить.

Это правда. Одно из них заключалось в том, что в суперсимметричном вакууме все фундаментальные взаимодействия могут быть объединены. Мы видим мир холодным, энергии частиц в нем низки, и сильное взаимодействие в 100 раз сильнее электромагнитного, а слабое – в 100 миллиардов раз слабее. Но при нагревании вакуума относительные силы взаимодействий начинают изменяться. Вакуум ослабляет хватку кварков – сильное взаимодействие ослабевает. В то же время электромагнитные и слабые силы крепнут. Продолжая нагрев, можно приблизить все три силы к одному и тому же значению. При температуре около 10^{16} миллиардов электрон-вольт электромагнитные и слабые силы сливаются в единое электрослабое взаимодействие, но сильное взаимодействие все еще остается немного более сильным. Но в рамках суперсимметричных

моделей ситуация меняется, силы объединяются в одной точке, и все три взаимодействия оказываются проявлениями единой фиктивной суперсилы.

Это было не единственным теоретическим основанием. Суперсимметричные частицы не участвуют ни в электромагнитном, ни в сильном ядерном взаимодействии, но они взаимодействуют гравитационно. Как темная материя.

– Кроме того, нет никаких оснований надеяться, что экспериментаторы смогут обнаружить суперсимметричные частицы, – продолжал отец. – Для этого могут потребоваться значительно бóльшие энергии, чем есть в их распоряжении в обозримом будущем.

– Ладно, – сказала я. – Давай предположим, что есть суперсимметрия, и вычеркнем спин.

– И что же осталось?

От волнения я стиснула зубы, взяла салфетку и зачитала торжественно, будто это была Геттисбергская речь, а ожиревшие посетители блинной в тренировочных костюмах были храбрыми воинами Союзной Армии:

– «Потенциальные ингредиенты окончательной реальности».

– Еще кофе?

Отец засмеялся, и мы оба кивнули официантке. Когда наши чашки были снова полны ароматного кофе, я начала читать второй раз:

– «Потенциальные ингредиенты окончательной реальности»: пространство-время, размерность, частицы/поля/вакуум, струны, Вселенная, мультивселенная и скорость света.

– Ты знаешь, я подозреваю, ничто из перечисленного в действительности не является инвариантом, – сказал мне отец с улыбкой.

– То есть ничто не реально?

– Точно. Только ничто могло бы быть реально. Если все в конечном счете – ничто (и правда, так и должно быть!) и мы определяем окончательную реальность как нечто инвариантное, то единственным инвариантом и должно быть ничто. И это понятно: ничто – это самая симметричная вещь, которую мы знаем.

– Но у нас много инвариантов в списке. Неужели все они ничто?

– А ты посмотри, сколь многое из того, что физики когда-то считали инвариантным, уже вычеркнуто. Борн говорил, что таково

развитие физики. Я сомневаюсь, что оно уже достигло конца.

– Но если все в конечном счете – ничто, тогда каждый из оставшихся ингредиентов в этом списке должен оказаться зависимым от наблюдателя.

– Да. Должен.

Я улыбнулась, заинтригованная:

– Ну что ж, посмотрим!

Мне хотелось записать свои мысли об инвариантности, симметрии и реальности, и я в поисках ручки выдвинула ящик письменного стола в своей детской спальне. Мой взгляд упал на синюю папку, торчащую из-под кипы бумаг. Я вытащила ее и, усевшись на кровать, открыла.

Ты первые годы молчала.

Ждала, дожидалась слов.

Я усмехнулась. Это было стихотворение, которое отец написал мне по случаю окончания школы много лет назад. Я всегда думала, что это что-то слащавое. Но когда я прочла его сейчас, меня наконец осенило, что он сделал, чтобы написать это. Дело не только в том, что он обратил внимание на книги, которые я читала, и близкие мне идеи.

И Керуака, «В дороге»

Ритма, словесного ритма

И Гинзберга, «Вопль» и «Кадиш»

Ритма певучего

И Кизи, и Бэрроуза, Фитцджеральда и Пруста

Слова, слова

Это означало, что он прочел слова. Он заметил, какие из книг имели для меня самое большое значение, и он – в его чрезвычайно ограниченное свободное время в промежутках между спасением жизней, маркированием сосков и разгадкой секретов Вселенной – читал их, причем так, что смог написать мне стихотворение, которое я бы слышала, стихотворение, чтобы отправить меня в Нью-Йорк, чтобы отправить меня в мир. Только это был не просто мир, и даже не просто

его мир. Это был *мой* мир. Словно мой мир был. Словно было мое слово.

Весь мир – это чистый дневник
Он ждет твоих слов
Пускай все услышат ритм, ритм твоих слов.

Я закрыла папку и осторожно положила ее обратно в стол. Накатила щемящая грусть. Как ностальгия, противоречащая факту. Будто мир все еще огромен и по-прежнему пуст. Будто я все еще жду, все еще жду.

Несколько дней спустя я села на самолет, направлявшийся обратно в Лондон. Сколько бы я ни путешествовала, я никак не могла заставить себя не волноваться в полете. На взлете – больше всего. Я заставила себя дышать глубоко, пока самолет выезжал на взлетно-посадочную полосу. «Физика работает, физика работает», – твердила я свои стандартные мантры. Внезапно мне вспомнилась девушка из моей группы по философии. Самолеты летают только потому, что мы все соглашаемся, что они умеют это делать. Я закатила глаза в раздражении. Самолет набирал скорость, разгоняясь по взлетно-посадочной полосе. В нескольких рядах позади меня начал плакать ребенок. Салон завибрировал. В багажном отделении над головой что-то заскрипело. Затем колеса оторвались от земли, самолет подрагивал. Мы взлетели. Я согласна, что самолеты могут летать, я согласна, что самолеты могут летать, повторяла я про себя. Тревога побеждает реализм. Постмодернистский Паскаль.

Вскоре мы уже плавно летели над облаками. Я разжала кулаки и вновь убедилась в правильности моей философии. На высоте тридцать тысяч футов над Атлантическим океаном, в состоянии покоя относительно того полного мужчины, через кресло от меня, в самолете, летящем со скоростью пятьсот миль в час, мое движение относительно медленно вращающейся внизу планеты не быстро, и я могу подумать о своей миссии познания Вселенной. Найди инварианты, и ты найдешь реальность. Я вытащила из кармана скомканную салфетку и уставилась на горстку позиций, которые выжили в первом раунде отсева, – оставшиеся кандидаты в ингредиенты окончательной реальности.

Пространство-время. Размерность. Частицы/поля/вакуум. Струны. Вселенная. Мультивселенная. Скорость света. Все они были достойны внимания, и я почувствовала новый прилив энтузиазма – теперь у нас надежный план. Стратегия.

По-прежнему я не могла избавиться от мысли, что, окажись любой из этих ингредиентов инвариантом, это бы меня разочаровало. Реальность имеет десять измерений и состоит из крошечных струн – это, должно быть, правильное заключение, но я была уверена, что оно не удовлетворило бы меня. По правде говоря, любая онтология выглядела бы неуклюжей и произвольной. Реальность по форме напоминает тромбон и сделана из маленьких печенюшек. Я задумалась над фразой Уилера: «[Подозреваю], что, проникая все глубже и глубже в структуру физики, мы никогда не сможем достичь конца, обнаружив, что она завершается на каком-то N-ом уровне. ...на каком-то мельчайшем объекте, на каком-то исходном поле». Казалось, он верил, что единственной конечной реальностью был сам наблюдатель. Тогда, если мы посмотрим достаточно внимательно на Вселенную, мы увидим себя, смотрящими в ответ на нас. Но кто были эти наблюдатели – крекеры в форме золотых рыбок или что-то менее произвольное? Я постоянно задаю себе все тот же старый вопрос: откуда берутся эти наблюдатели? Вселенная представляет собой самонастраивающийся контур. Мне действительно нужно выяснить, что, черт возьми, это значит.

Мой отец, между тем, казалось, был убежден, что инвариантом не будет ничто. То есть ничто и будет инвариантом. Второе выглядит лучше. Ничто, и спрашивать не о чем. К чему вопрос «откуда оно взялось?» Ничто не появляется откуда-то. На то оно и ничто. Оно не нуждается в объяснении. В то же время почти невозможно представить, как вся эта безумная Вселенная, страдающий ожирением пассажир и упаковки Ксанакса, пресс-пассы и шляпы-панамы, океаны и крысы, стихи и блины... как это все может быть просто ничем?

Возвратившись на твердую землю, в мою крошечную квартирку, я достала крошечную бутылочку содовой из моего крошечного холодильника и села за компьютер, чтобы проверить мою электронную почту. В почтовом ящике я нашла письмо из *New Scientist*.

От: Майкл Бонд

Кому: Аманда Гефтер
Тема: *New Scientist*

Здравствуйте, Аманда,

Вам пишет редактор отдела комментариев и мнений журнала *New Scientist*. Майкл Брукс рекомендовал мне обратиться к Вам как к прекрасному специалисту. В конце апреля одна из сотрудниц отдела уходит в декретный отпуск на шесть месяцев, и я ищу, кто мог бы работать на ее месте в течение этого периода. Может ли Вас заинтересовать такое предложение? Работа обычная и предполагает редактирование, написание текстов и интервьюирование по различным темам отдела комментариев и мнений. Работа в лондонском офисе.

С наилучшими пожеланиями,

Майкл

Вот как? Работа редактора в журнале *New Scientist*? Мы только что выработали стратегию охоты за реальностью, и теперь мне предлагают свою пресс-карту? Черт возьми, да, мне было интересно! Я начала сочинять ответ. Пока я набирала текст, я заметила что-то краем глаза. На прекрасном деревянном полу, между одноместным диваном и миниатюрной раковиной, была поставлена ловушка с клеем, и из этой ловушки торчал одинокий серебристый хвост.

Глава 7

Как разрезать мир на части

Как только моя рабочая виза была готова, началось мое полугодовое погружение в редакцию *New Scientist*. Момент для этого был идеальным: в конце апреля закончились мои занятия, и у меня оставалось несколько месяцев исключительно для работы над диссертацией.

В свой первый день на работе я обошла офис редакции, чтобы познакомиться со всеми редакторами и журналистами. С каждой новой встречей я чувствовала себя все более и более обескураженной. В свои двадцать пять лет я оказалась самым молодым редактором, причем с заметным отрывом. У всех был диплом по какой-либо научной специальности или по научной журналистике, не говоря уж о британском акценте, из-за которого все, что они говорили, звучало намного умнее. Все они прошли стажировку в редакциях ведущих газет и научных журналов и получили опыт общения с учеными либо в полевых, либо в лабораторных условиях. Заложив надежный фундамент, каждый из них начал свой путь вверх. Мне же пока удалось только побывать на паре конференций и написать несколько статей. Мне предстояло в кратчайшие сроки показать, на что я способна.

Казалось, все шло отлично, но каждое утро, когда я скромно входила в офис, дежурный неизменно поднимал на меня взгляд и спрашивал: «С вами все в порядке?» Он казался довольно доброжелательным, но причина его беспокойства была мне непонятна, поэтому я отвечала: «Да», – а затем добавляла: «Ну, возможно, я немного не выспалась сегодня», или «Было трудно добираться на работу сегодня», или «Меня преследовал целый отряд невидимых крыс». Он вежливо, но натянуто улыбался, а я проходила к своему рабочему столу, недоумевая, не цвет ли моей рубашки вызывал его беспокойство.

Лишь по прошествии многих недель работы одним прекрасным утром я оказалась в нескольких шагах позади другого редактора. «С

вами все в порядке?» – услышала я вопрос дежурного, обращенный к ней. Она ответила: «А с вами все в порядке?»

Я прибавила шагу и, догнав ее, спросила:

– Извините, что это все значит?

– Что именно?

– Он спросил, все ли с вами в порядке, а вы в ответ спросили, все ли в порядке с ним самим.

Она рассмеялась.

– Это просто такое выражение. Приветствие. Это похоже на... – она постаралась подобрать американский аналог, – на «Как дела?» – «What's up?».

– О-ох.

– А что, в Америке это не одно и то же?

– Нет, – сказала я. – Вы спросите «С вами все в порядке?», увидев, как кто-то, споткнувшись на высоких каблуках, рассыпал по тротуару тампоны из сумочки. «С вами все в порядке?» означает: «Вы абсолютно не выглядите, как человек, у которого все в порядке».

Она снова рассмеялась, и мы продолжили наш путь к нашим рабочим столам. Я села за стол. Было приятно узнать, что со мной, оказывается, все было в полном порядке, но теперь меня стали немного беспокоить некоторые из моих предыдущих ответов.

На следующее утро я открыла большую стеклянную дверь и, направившись к стойке дежурного, сделала глубокий вдох. Я чувствовала себя во всеоружии.

Дежурный поднял голову и улыбнулся:

– С вами все в порядке?

Я открыла рот, чтобы повторить эту фразу в ответ на его вопрос, но просто не смогла этого сделать. Отвечать на вопрос таким же вопросом было слишком необычно для моего небольшого разговорного опыта. Вместо этого я, немного приподняв вверх подбородок, ответила:

– Да. А как дела?

Он улыбнулся, но по-прежнему во всем этом было что-то не то.

Между тем, мне пора было выбирать тему дипломной работы. Я знала, что для меня это хорошая возможность глубоко вникнуть в какой-нибудь конкретный вопрос. Это было как раз то, за чем я приехала в Лондон. Мне нужно было сделать выбор.

Отсеивая различные идеи, я все время возвращалась к теме стрелы времени. Мы много обсуждали загадку стрелы времени на занятиях по философии статистической механики. В теории Эйнштейна время и пространство присутствуют на равных условиях, сшитые вместе в одну большую модель блочной Вселенной. Почему же тогда мы можем двигаться назад в пространстве, но не можем во времени? Теория относительности не дает ответа на этот вопрос, и физика элементарных частиц также здесь беспомощна. Законы физики, которые описывают взаимодействие частиц, работают одинаково вперед и назад во времени. Если частицы не видят стрелу времени, почему мы должны ее видеть?

Необходимо иметь какую-то глобальную асимметрию, на которую можно было бы прикрепить стрелу времени. К счастью, такая имеется: энтропия никогда не уменьшается. Как энтропия, так и стрела времени существует только на макро-уровне в нашем мире, а не в микромире элементарных частиц. Часто говорят, что энтропия описывает меру беспорядка, но в принципе, как я узнала, это мера скрытой информации. Если вы хотите описать физическую систему, скажем газ в объеме, то у вас есть два варианта. Вы можете проследить постоянно изменяющееся положение и импульс каждой из отдельных молекул газа, или же вы можете просто взять средние значения. Среднюю скорость перемещения молекул газа называют его температурой, среднюю скорость изменения импульса – давлением. Температура и давление – эти два числа, как значок на посылке, указывающий на ее содержание, кодируют информацию о постоянно меняющемся микросостоянии системы.

Существует огромное число различных возможных микроскопических состояний, которые, усредняясь, дают одни и те же макроскопические величины. Чем больше количество микроскопических возможностей, тем труднее нам угадать, какая из них была реализована, а значит, менее точны наши знания о микросостоянии и выше энтропия системы. В этом месте в игру вступает беспорядок – существует гораздо больше микроскопических конфигураций, совместимых с «неупорядоченным» состоянием, чем с «упорядоченным». Бесчисленные конфигурации молекул H_2O соответствуют луже воды; гораздо меньшее их количество соответствуют сложно устроенным кристаллам льда. Лужа – это что-то более беспорядочное: мы имеем меньше информации о ее скрытом

внутреннем устройстве, поэтому в ней больше энтропия. А энтропия подразумевает тепло.

На первый взгляд это кажется странным. Почему недостаток информации проявляет себя как нечто физическое, как тепло? «Может ли собственное невежество сжечь нас в буквальном смысле слова?» – записала я в своем блокноте. Такое вполне возможно – не будем забывать, о каких масштабах идет речь! Температура не относится к краеугольным характеристикам реальности – она возникает как коллективное свойство большого количества частиц на макроскопическом уровне. У отдельной молекулы нет температуры. Так что если вы выберете для исследования системы, состоящие из отдельных молекул, о температуре можно не думать. Усредните микроскопическую информацию, полученную в результате наблюдения за кипящим роem молекул, и вы получите тепло. Все дело в размерах – выберете побольше, и сможете выменивать информацию на температуру.

Когда я наливаю молоко в кофе, оно за короткий промежуток времени растворяется, придавая напитку однотонный оттенок мокко. Почему? Почему бы ему спонтанно не сложиться в слово «Hello»? Потому что в чашке кофе имеется около 10^{24} молекул и число их конфигураций, соответствующих равномерному цвету мокко, значительно превышает количество конфигураций, соответствующих слову «Hello». Сказать «значительно» – это не сказать почти ничего. Я могла бы сидеть здесь и ждать миллиарды лет, и все равно это было бы недостаточно долго, чтобы мой кофе послал мне горячее приветствие. «Какова вероятность, что молекулы воздуха в моей квартире соберутся в конфигурацию убегающей крысы?» – задалась я вопросом. А как насчет просто хвоста?

Второй закон термодинамики гласит: энтропия никогда не убывает. Это чисто статистическое утверждение, но этого достаточно, чтобы физики считали его законом природы. Он задает нам стрелу времени. Энтропия всегда увеличивается, потому что у состояний с высокой энтропией гораздо большая вероятность, чем у состояний с низкой энтропией. Если энтропия уменьшается – порция молока выделяется из кофе, дым из выхлопной трубы моего автомобиля засасывается обратно в трубу, расколотая чашка собирается по кусочкам обратно, – все это выглядит так, будто кто-то прокручивает время назад.

Но сказать только, что высокое значение энтропии более вероятно, чем низкое, еще не достаточно, чтобы определить стрелу времени. В конце концов, состояние с более высокой энтропией было более вероятным и в прошлом. Статистически энтропия должна быть всегда высокой, а когда она становится достаточно высокой и достигается состояние равновесия цвета кофе с молоком, дальше ей расти уже некуда. В равновесной Вселенной ничего не может произойти, лишь редкие статистические флуктуации, раз в несколько миллиардов лет. Но мы не живем в равновесии. Мы живем в мире, в котором постоянно что-то происходит. В мире, где энтропии по-прежнему есть куда расти. Чтобы получить стрелу времени, необходимо допустить, что по некоторым неизвестным нам причинам Вселенная образовалась в чрезвычайно маловероятном состоянии с низким значением энтропии. Молоко растворяется в утреннем кофе потому, что 13,7 млрд лет назад Вселенная образовалась в очень маловероятной конфигурации. Завтрак имеет космическое значение. Больше нет загадки, связанной со стрелой времени; зато появилась загадка, откуда столь невероятное состояние у Вселенной в момент запуска?

Когда я впервые услышала вопрос об этом загадочном низкоэнтропийном старте, он показался мне абсурдным. А как быть с космическим микроволновым фоном? Это снимок Вселенной, полученный почти в самом начале ее эволюции, и он показывает, что Вселенная была идеально гладкой, с неоднородностью порядка одной сотысячной. Это, конечно, на мой взгляд, вполне выглядело равновесием. Я полезла в книги за разъяснениями и в конце концов нашла одно. Низкое значение энтропии в начале времен – это не про термодинамическую энтропию, это про энтропию гравитационную. Для большого размера термодинамическая энтропия не так важна. Важна гравитация. А у гравитационной энтропии своя стрела времени, повернутая совсем в другую сторону, в противоположную. С гравитационной точки зрения, однородная Вселенная как раз созрела для комкования. Сила гравитации всегда притягивает, поэтому состояние без комков чрезвычайно маловероятно. Если бы гравитации дать волю, то вся Вселенная превратится в гигантскую черную дыру – состояние гравитационного равновесия.

Космическая стрела времени зависит от гравитационной энтропии, но когда я попыталась разобраться в этом вопросе глубже, я

обнаружила, что физики, по сути, не знали, что такое гравитационная энтропия. Если энтропия – это мера отсутствия информации о микросостояниях, то какая микроскопическая информация закодирована в гравитации? Конечно, если бы физики знали ответ на этот вопрос, то есть если бы они знали микроскопическое строение гравитационного поля, – они бы больше не думали о стреле времени. Они бы обнаружили квантовую гравитацию.

Но есть одно место, где гравитационная энтропия вполне определена. Это горизонт событий черной дыры. Я вдруг поняла, что тут есть что-то поразительное, какой-то скрытый смысл. Я еще не знала, как его искать, но уже знала, что нашла тему для диплома.

Эйнштейн обнаружил, что масса и энергия искажают пространство, но он не ожидал, что найдутся такие места, где пространство замыкается само на себя, как змея, укусившая себя за хвост. Когда в массивной звезде выгорает топливо и она схлопывается под собственным весом, гравитация запускает необратимый процесс коллапса звезды. Становясь все плотнее и плотнее, звезда проваливается внутрь себя и прорывает самую ткань пространства-времени. Процесс подобен цепной реакции, и когда он заканчивается, пространство и время становится не узнать. Уилер придумал название для того, что получается, – черная дыра.

Черные дыры сводят вместе три столпа физики – общую теорию относительности, квантовую теорию, термодинамику, – чтобы они показали, на что каждый из них способен. Когда охотишься за окончательной реальностью, в черную дыру стоит заглянуть. Тут рвутся пространство и время, начинается и кончается Вселенная. Это то место, где из осколков восстанавливаются симметрии. В ее центре таится сингулярность, место, где кривизна пространства-времени становится бесконечной, а физика превращается в патологию. Так как радиус пространственно-временной кривизны устремляется вниз, к планковской длине, привычная физика, как мы знаем, отступает, обнажая *terra incognita*, пересечь которую способна только теория квантовой гравитации.

Учитывая сходство сингулярности черных дыр с сингулярностью в момент рождения Вселенной, я всегда считала, что черные дыры наиболее интересны именно наличием у них сингулярности. Я была

неправа. Я довольно быстро выяснила, что по-настоящему интересные события происходят на внешней стороне черной дыры, на горизонте событий. Горизонт событий – это гравитационная точка невозврата, поверхность пространства-времени, где хватка сил гравитации точно уравнивает скорость света. Это поверхность, на которой лучи света застыли на месте под действием силы тяжести. Для наблюдателя вне черной дыры горизонт событий – это своего рода космическая стена. Поскольку свет не может пройти сквозь нее, то наблюдатель никогда не сможет увидеть что-либо на другой ее стороне. *При любых намерениях и целях можно считать, что у нее просто нет другой стороны.* Другая сторона принципиально и во веки веков недостижима – что бы за ней ни происходило, это не может иметь никакого физического воздействия на внешний мир. Это то, что делает черную дыру черной. Горизонт событий разрезает мир на части.

Горизонт – это дверь на одну сторону: в нее можно войти, но никак не выйти. Для физиков тут огромная проблема. Это означало, что энтропия может в нее войти и никогда не выйти, а тогда энтропия Вселенной за пределами черной дыры будет уменьшаться. Непонятно, как быть со стрелой времени.

Первый шаг к решению проблемы был сделан в 1970 году, когда Стивен Хокинг готовился ко сну. Вдруг Хокинг понял: из требования стабильности горизонта событий следует, что площадь горизонтов событий никогда не может уменьшаться. Если материя или излучение поглотились в черной дыре, образующие его лучи света не могут сходиться, они обязательно должны двигаться либо параллельно, либо прочь друг от друга. А поэтому площадь горизонта событий неизбежно вырастет, и если две черные дыры сольются, площадь горизонта новой черной дыры должна быть равной или большей, чем сумма исходных двух.

Площадь горизонта событий никогда не может уменьшаться. Когда Якоб Бекенштейн, один из студентов Уилера в Принстоне, услышал про эту теорему Хокинга, он не мог не заметить разительное сходство со вторым законом термодинамики. Могли ли они быть связаны? Это была только догадка, но он знал, что это еретическая мысль, и он, возможно, выбросил бы ее из головы, если бы не Уилер.

«Я всегда чувствую себя преступником, когда ставлю чашку горячего чая рядом со стаканом чая со льдом и дожидаясь, пока они

оба не придут к одной комнатной температуре, сохраняя энергию, но увеличивая мировую энтропию, – сказал ему Уилер. – Последствия моего преступления останутся до конца жизни Вселенной, и нет никакого способа, чтобы стереть или отменить их. Но допустим, я уронил чашку горячего чая и стакан холодного чая в черную дыру. Тогда все свидетельства моего преступления оказываются стерты навсегда?»

Боже, думала я. Неужели Уилер никогда не использует в разговоре нормальные предложения?

Видимо, Бекенштейн понял, что он имел в виду. Прошли месяцы, и он появился в офисе Уилера со смелым заявлением: горизонт событий, сказал он, является не только аналогом энтропии, это есть сама энтропия. Уилер ответил: «Ваша идея настолько безумная, что вполне может оказаться истинной. Ее надо опубликовать».

Когда Хокинг читал статью Бекенштейна, он негодовал. Он чувствовал, что Бекенштейн неверно использовал его теорему о площади горизонта событий и пришел к заведомо ложному выводу. Проблема была очевидна. Энтропия – это тепло. Все, что обладает энтропией, имеет температуру, а значит – излучает. Однако черные дыры не могут излучать. Они *черные*.

Раздраженный Хокинг вместе с физиками Брэндоном Картером и Джимом Бардином написали статью, объясняющую, в чем Бекенштейн не прав. Но идея засела в его голове, и после двух лет расчетов Хокинг слелал шокирующий вывод. В своей теперь уже легендарной работе 1975 года «Рождение частиц черными дырами» он показал, что совместное действие квантовой механики и теории гравитации приводит к рождению частиц на горизонте событий. Это означает, что черные дыры действительно излучают тепло, как тела, нагретые до температуры, обратно пропорциональной их массе. Если черные дыры могут излучать, они должны обладать энтропией. Стрела времени была восстановлена, черные дыры оказались не такими уж черными, а Бекенштейн был вознагражден. Хокинг вывел уравнение, показывающее, что энтропия черной дыры пропорциональна четверти площади ее горизонта событий. Он попросил, чтобы это уравнение было выгравировано на его надгробной плите.

Вскоре начали проявляться и другие черты сходства физики черных дыр и термодинамики. Так называемый нулевой закон

термодинамики гласит, что у частей термодинамической системы, находящейся в равновесии, одна и та же температура. Аналогично сила тяжести постоянна по всей поверхности горизонта событий. Первый закон термодинамики гласит, что энергия может переходить из одной формы в другую, но всегда сохраняется. Так же и в физике черных дыр: когда объект поглощается черной дырой, его масса и энергия (которые связаны через $E = mc^2$) переносятся в саму черную дыру, и суммарная энергия всей системы остается неизменной. Для каждого закона термодинамики, по-видимому, существует эквивалентный закон физики черных дыр. Начала вырисовываться глубокая связь между термодинамикой и гравитацией. Для физиков это было интригующее сочетание, чтобы не сказать больше. В конце концов, термодинамика – наука о материи и энергии. Гравитация – о пространстве и времени. Найти связь между двумя – нащупать путь к теории квантовой гравитации.

Теперь нам уже не кажется столь удивительным, что горизонт событий обладает энтропией: в конце концов, энтропия – это мера скрытой информации, а горизонт событий тем и замечателен, что скрывает информацию. Но почему энтропия черной дыры, которая скрывает все внутри трехмерного объема, должна быть пропорциональна двумерной площади горизонта? И откуда, черт возьми, берутся эти частицы?

От: Аманда Гефтер
Кому: Уоррен Гефтер
Тема: догадка...

Я думаю, я нашла тему для своей дипломной работы – излучение Хокинга. Я не могу пока сказать точно, но здесь есть что-то очень глубокое. Известно, что энтропия черной дыры пропорциональна площади горизонта. Это как-то странно, правда? Почему она не пропорциональна объему? Такое впечатление, что мы ошиблись в размерности. И эти частицы... откуда же они? Горизонт просто рождает их из ничего? Тут что-то не так, я уверена.

От: Уоррен Гефтер
Кому: Аманда Гефтер

Тема: RE: догадка...

Твоя идея с выбором темы диплома блистательна. Частицы Хокинга – это виртуальные ли пары, которые расщепляются на горизонте? Чем бы они ни были, ты обязательно это выяснишь. Держи меня в курсе. Мама шлет тебе привет и упаковку диетических батончиков. Они должны прийти посылкой на этой неделе.

Папа был прав про излучение Хокинга. Обычное объяснение заключалось в следующем. Благодаря квантовой неопределенности в вакууме постоянно рождаются виртуальные пары частиц и античастиц. Как мимолетные виденья, они появляются на мгновение, чтобы тут же столкнуться и аннигилировать, снова исчезая в бурлящем квантовом море. Родись такая пара вблизи черной дыры, горизонт событий ее разобьет. Лишившись возможности принять участие во взаимной аннигиляции, частица по эту сторону горизонта излучается в космос, а ее партнер-античастица падает в направлении к сингулярности. В одиночку, оторванная от партнера, излученная виртуальная частица становится реальной. Наблюдателю вне черной дыры будет казаться, что горизонт излучает энергию. Между тем отрицательная энергия античастиц поглощается черной дырой, которая из-за этого теряет массу и медленно испаряется.

Однако частицы – это, в действительности, возбужденные состояния полей, а квантовые поля, даже находясь в своих низших энергетических состояниях, испытывают флуктуации и колеблются около среднего нулевого значения энергии. Флуктуация с положительной частотой соответствует виртуальной частице, а флуктуация с отрицательной частотой – античастице^[32]. Но все становится интереснее, когда происходит вблизи горизонта событий.

В бесконечном неограниченном пространстве в фурье-разложении квантовой флуктуации для каждой длины волны слагаемые, соответствующие противоположным знакам при одной и той же частоте, должны быть равными, так что сумма в среднем оказывается равной нулю, и мы получаем в итоге что-то похожее на спокойное пустое пространство. Но вблизи горизонта событий все меняется. Вакуум по разные стороны горизонта событий оказывается совершенно разным. Пространство по эту сторону от него теперь никак нельзя считать ни

бесконечным, ни ограниченным. Слагаемые фурье-разложения больше не хотят компенсировать друг друга. Появляются новый вакуум, новые поля, новые частицы.

«Горизонты событий рождают частицы путем реструктуризации вакуума», – записала я в моем блокноте. И, немного подумав, добавила: «Похоже на эффект Казимира?» В самом деле, что-то подобное я уже видела. Эффект Казимира заключается в следующем: две параллельные незаряженные металлические пластины, парящие на расстоянии одного микрона друг от друга, испытывают таинственную силу притяжения. Сила возникает просто из вакуума. Снаружи пластин вакуумные колебания распространяются по всему безграничному пространству, так что здесь присутствуют все возможные компоненты фурье-разложения. Но внутри крошечной щели между пластинами действуют определенные правила отбора на длину волны: между пластинами должно уложиться целое число волн – вы ничего не сможете сделать с половиной волны, так что выживут только те гармоники фурье-разложения флуктуации, которым соответствует длина волны, кратная пространству между пластинами. Пластины реструктурируют вакуум, оставляя вакуум снаружи пластин отличным от вакуума внутри пространства между ними. Эта разница создает усилие: более сильный вакуум снаружи давит на пластины, а более слабый вакуум внутри щели не может справиться с этим давлением. Похожий эффект известен со времен античности: ребенок может удерживать закрытой дверь, хотя бы целая армия напирала на нее, чтобы открыть. Физики давно наблюдают похожую неравную борьбу в лаборатории, и действительно – пластины притягиваются друг к другу, как магниты, только там нет магнитных сил. Там просто ничего нет.

Я всегда считала эффект Казимира удивительным, потому что он демонстрирует физический механизм работы вакуума, видимый теперь невооруженным глазом. Когда вы говорите о возбужденном состоянии вакуума, это звучит как-то эзотерически и очень теоретически, но когда на ваших глазах две медные тарелки вдруг схлопываются вместе, будто в руках музыканта он вдруг становится очень реальным.

При наличии черной дыры – теперь это становится очевидно – горизонт событий, как и металлическая пластина в опыте Казимира, реструктурирует вакуум. Достаточно ввести горизонт событий в некоторой области пространства-времени, и набор гармоник фурье-

разложения вакуумных флуктуаций окажется ограниченным. Это приводит к изменению энергии вакуума, а с ним и вакуумных флуктуаций, в результате рождаются частицы, которых иначе здесь бы не было. Это хокинговы частицы, представленные во всем своем многообразии, от фотонов до кварков. Это частицы, рожденные из ничего в результате создания новых границ в пространстве и времени.

Но размышляя об этом, я пришла к выводу, что эта аналогия нелепа. Я хочу сказать, что горизонт событий кое в чем принципиально отличен от металлической пластины: например, пластину не получится пройти насквозь, а пересечь горизонт событий и прямо упасть в черную дыру не составит большого труда. Как могло получиться так, что горизонт оказался достаточно реальным, чтобы реструктурировать вакуум, и одновременно достаточно прозрачным, чтобы частицы могли беспрепятственно проходить сквозь него?

Этот вопрос не давал мне покоя в течение недели. Как, впрочем, и снующие квантовые крысы. Днем, сидя гордо за своим столом в редакции журнала, я углублялась в свои исследования и пыталась найти ответ на этот вопрос. И я быстро поняла, что самый мощный научно-исследовательский инструмент, оказавшийся в моем полном распоряжении, – это официальный адрес электронной почты журнала *New Scientist*. Этот инструмент поистине творил чудеса. Когда я не могла самостоятельно разобраться в чем-то, я отсылала мой вопрос какому-нибудь физику. О, привет, знаменитейший физик! Я редактор журнала *New Scientist*, и я собираюсь написать статью на случайно выбранную тему о черных дырах, или о квантовой теории поля, или еще о чем-нибудь и хотела бы получше разобраться в предмете. Могла бы я вас побеспокоить, чтобы вы объяснили мне некоторые вещи? Я нажимаю кнопку «Отправить» и в течение дня или двух получаю подробные ответы на все вопросы, которые не давали мне покоя. Это было похоже на волшебство. Конечно, это тоже работало, когда я была просто «научным журналистом» на фрилансе с адресом почты на AOL, но когда я стала «редактором» в крупном научном журнале, это перешло на совершенно другой уровень. Иногда я просто не могла поверить в свою удачу.

Мало-помалу я разобралась со странными свойствами горизонтов событий. Эйнштейн показал, что в зависимости от системы отсчета наблюдатели возможны двух типов: те, которые перемещаются

равномерно, и те, которые ускоряются. Различие между ними становится принципиальным, когда речь заходит о черной дыре. Важно знать, к какому типу наблюдателей принадлежите вы сами. Наблюдателю, движущемуся с ускорением, удастся ускользнуть от черной дыры и остаться вне горизонта событий. Он ускоряется, потому что гравитация тянет его назад, и ему приходится бежать все быстрее и быстрее, только чтобы выбраться из этого ада. Про себя я дала ему имя Сэйф^[33]. Инерциальный наблюдатель не так удачлив. Он падает, погружаясь за горизонт, вниз, в темные глубины черной дыры. Если вы не ускоряетесь, вам не удрать от гравитации. У инерциального наблюдателя судьба предрешена. Я назвала его Скрудом^[34].

Для Сэйфа горизонт событий обладает набором экстремальных физических свойств. Ему присущи все странные эффекты теории относительности: вблизи горизонта световые волны растягиваются самым немыслимым образом, время замедляется настолько, что ему угрожает полная остановка. Но не только время останавливается на горизонте, пространство тоже. Горизонт означает конец реальности. И поскольку его площадь пропорциональна энтропии, горизонт горяч настолько, что готов испарить все, что к нему приближается, не оставив ничего, кроме пепла, развеиваемого излучением Хокинга.

Но Скруд ничего этого не видит. Даже горизонт для него вовсе не существует. Если черная дыра достаточно велика, он проходит горизонт насквозь, не замечая ничего. Он не видит ни растянутых световых волн, ни замедления времени, ни границ пространства. Он не чувствует тепла. Он не видит излучения Хокинга. Скруд не видит ничего, кроме обычного пустого пространства.

Эти два парня осматривают одну и ту же область Вселенной, и один видит пустое пространство, а другой видит частицы? Это было так странно, что я чуть не сломала голову, размышляя над этим. Что-то с реальностью пошло не так. И вдруг я поняла, что именно было не так.

От: Аманда Гефтер
Кому: Уоррен Гефтер
Тема: О боже мой!!!

Частицы Хокинга зависят от наблюдателя! Они не инвариантны! Ускоренные наблюдатели, находящиеся вне

черной дыры, видят их; инерциальные, падающие в дыру, – нет. Частицы рождаются горизонтом, а для наблюдателей, падающих в черную дыру, горизонт не существует. Если бы это было не так, то они бы туда не падали! Они не видят ни горизонта, ни какой-либо скрытой информации, ни энтропии, ни температуры, ни частиц Хокинга. Для них состояние вакуума совсем другое, и эти два состояния не связаны между собой преобразованиями Лоренца – они несоизмеримы. В приложении к письму ты найдешь десяток статей на эту тему для тебя: читай и получай удовольствие!

Материя, зависящая от наблюдателя! Это умопомрачительно, верно? Такого не бывает в обычной физике... как в теории относительности, так и в квантовой механике. Возможно, найдутся наблюдатели, которые не согласны по поводу некоторых свойств частиц, но все они сходятся к единому мнению об их существовании. Горизонт событий отменяет все это. Некоторые наблюдатели считают пространство пустым, а другие видят в нем частицы. Некоторые наблюдатели не видят ничего, другие что-то видят. Это безумие! И почему никто и никогда не говорил об этом? Всякий раз, когда вы слышите об излучении Хокинга, вам будто бы говорят: о! черные дыры – то на самом деле вовсе не черные! Будто бы это и есть самое главное. А как насчет того, что *материя на самом деле не реальна?*!

От: Уоррен Гефтер
Кому: Аманда Гефтер
Тема: RE: О боже мой!!!

Ну, я думаю, ты нашла, о чем написать в своей дипломной работе! Это поистине удивительно. Я никогда не понимал всей глубины открытия Хокинга. Но разве излучение черных дыр это не специфическая и крайне редкая ситуация? Правильно ли применять это к материи в целом?

Я тоже раньше не понимала глубины открытия Хокинга. В глубине души у меня всегда таились подозрения, что его слава сильно подогревалась его болезнью: в человеке, говорящем голосом робота, всегда есть что-то такое, от чего его мысли кажутся необычайно

глубокими. Но когда мне стали ясны следствия эффекта Хокинга, я поняла, что он еще совершенно недооценен. Конечно, все знают, кто он такой, но много ли людей знает, что он сделал и почему это так важно? Частицы могут зависеть от системы отсчета наблюдателя. Частицы не инвариантны. Частицы не являются в конечном счете реальными.

Излучение Хокинга дает наглядный пример зависимости вакуума от системы отсчета наблюдателя. В плоском и неограниченном пространстве все наблюдатели соглашались по поводу низшего энергетического состояния – состояния, лишенного частиц, вакуума. По сути, это означает отсутствие разногласий у наблюдателей относительно того, что представляет собой ничто. Горизонт событий подрывает их согласие. Горизонт определяет границу пространства, изменяет структуру вакуума. Но только наблюдатели, движущиеся с ускорением, видят эту границу; инерциальные наблюдатели видят лишь плоский бескрайний космос. То, что как-то выглядит для одного наблюдателя, никак не выглядит для другого.

На первый взгляд, горизонт событий черной дыры не должен зависеть от наблюдателя. Ведь черная дыра – это вполне конкретный, локализованный объект; одна из черных дыр покоится в центре нашей Галактики, прямо сейчас. Кажется, мы все согласны с утверждением о том, что ее существование не зависит от наблюдателя, но это только потому, что каждый из нас комфортно чувствует себя в шкуре Сэйфа. Если же мы подумаем о судьбе Скруда, погружающегося в бездонную черную пропасть, мы поймем, что горизонт существует не для всех наблюдателей, а лишь для некоторого их количества, хотя его и достаточно для того, чтобы обмануть нас, заставить думать, что это объективная характеристика мира. Как только мы понимаем, что это не так, что существование горизонта событий зависит от наблюдателя, – мы вдруг осознаем, что частицы Хокинга, существование которых привязано к горизонту, в конечном счете также зависят от наблюдателя.

Отец был прав: я нашла тему для своей работы. Ее философское значение было трудно переоценить. Со времен атомистов Древней Греции частицы рассматривались в качестве основных строительных блоков материального мира – твердые, объективные, бесспорные. Теория относительности учила нас, что наблюдатели могут не соглашаться по поводу положения какой-то частицы в пространстве или времени, но они все согласны с тем, что эта частица где-то существует.

Конечно, квантовая механика сделала понятие частицы более расплывчатым, но, опять же, само их существование оставалось в целости и сохранности. Мысль о том, что разные наблюдатели могут не соглашаться по поводу самого существования частиц, – гораздо более странная, чем что-либо, предложенное теорией относительности или квантовой теорией по отдельности. Частицы являются так называемыми строительными блоками реальности, так что если их существование зависит от того, кого вы спросите, что тогда происходит с реальностью?

Я приступила к работе над дипломом. Вся моя жизнь сконцентрировалась на излучении Хокинга. Я размышляла о нем все время – днем в офисе, а ночью в моей квартирке планковского масштаба. На работе я нашла способ превращать результаты своих исследований в статьи для журнала и поэтому могла продолжать читать о горизонтах, энтропии и онтологии частиц, не вызывая никаких подозрений. По ночам тихий шелест страниц, мягкие щелчки клавиатуры, а иногда и шуршание невидимой крысы служили умиротворяющим саундтреком к моей беззвучной охоте.

Бывали моменты, когда мне хотелось, чтобы отец был рядом: такое случалось, если я обнаруживала какой-нибудь удивительный факт или меня мучил какой-то вопрос, на который я не могла ответить, или у меня возникало чувство, что я действительно добралась до чего-то важного. Я как будто слышала звук хлопка одной ладонью. Но наша непрерывная переписка позволяла держать его в курсе всего, что я узнавала, и в слабом эхе, несущемся по черному небу над просторами Атлантики к тускло освещенной маленькой тупиковой улочки в Ноттинг-хилле, я слышала его аплодисменты.

В том же эхе я слышала его вопрос, не дававший мне покоя: разве излучение черных дыр – это не специфическая и крайне редкая ситуация? Правильно ли приписывать это материи в целом?

Это было справедливое замечание. Даже мама, которая волнуется больше, чем кто-либо из тех, кого я знаю, не беспокоилась по поводу черных дыр. Если черные дыры так далеки от повседневной жизни, какое значение имеет тот факт, что частицы Хокинга не реальны? Они вообще, возможно, были не более чем причудой теоретиков?

Однако мои поиски быстро привели меня к открытию, что черные дыры – не единственная причина появления горизонта событий. В самом деле, существует гораздо более прозаическая причина: ускорение. Если наблюдатель ускоряется, свет из некоторых отдаленных уголков Вселенной никогда не достигнет его, сколько бы времени ни прошло, пока он сохраняет ускорение. В это было трудно поверить, пока я не вспомнила те пространственно-временные диаграммы, которые мой папа нарисовал много лет назад в своем желтом блокноте. Мировая линия луча света в пространственно-временном континууме – прямая, мировая линия ускоренного наблюдателя – искривлена. В тот момент, когда какой-то луч света, кажется, вот-вот настигнет наблюдателя, тот сворачивает вдоль своей кривой, успешно избежав встречи со светом, у которого не остается больше никакого выбора, кроме как продолжить движение вдоль своей прямолинейной траектории. Таким образом, есть целые области Вселенной, свет от которых никогда не достигнет ускоренного наблюдателя. Целые области, находящиеся в недостижимости. Темные. Подобные черной дыре.

На самом деле, они действительно похожи на черную дыру. Граница между недоступной для такого наблюдателя областью и всей остальной Вселенной – это тоже горизонт событий, известный как горизонт Риндлера. Он обладает всеми теми же свойствами, что и горизонт событий черной дыры, и всеми теми же релятивистскими странностями: растягивающиеся световые волны, замедляющее ход время и полная его остановка на горизонте. Его энтропия так же пропорциональна его площади – соотношение, которое Хокинг открыл для черных дыр. Где энтропия, там температура. Где температура, там тепло. Где тепло, там частицы.

Эти частицы называют по-разному: частицы Риндлера, излучение Унру, излучение Унру – Дэвиса, излучение Хокинга – Унру. Во всех случаях подразумевается одно и то же: частицы, рожденные на зависящем от наблюдателя горизонте событий. В самом деле, горизонт черной дыры и горизонт Риндлера полностью идентичны на языке уравнений. Они могут показаться очень разными физическими явлениями, но с точки зрения математики они неразличимы. И если вы подумаете, то легко обнаружите очевидную причину этой неразличимости – принцип эквивалентности. Эйнштейн говорил, что

гравитация и ускорение эквивалентны. Не просто похожи или аналогичны, а эквивалентны. Два взгляда на одно и то же. Если гравитация может создать горизонт событий, то же может сделать ускорение.

Представим себе Сэйфа и Скруда в обычном плоском пространстве, свободном от черных дыр. Сэйф – мой ускоренный наблюдатель – в силу наличия ускорения в плоском пространстве формирует горизонт событий. Если он на лету достает термометр, он измерит ненулевую температуру вокруг себя, как следствие появления частиц Риндлера – Унру – Дэвиса – Хокинга. Но попросите Скруда сделать то же самое, и его термометр не зарегистрирует ничего. Это звучит как безумие: два наблюдателя находятся в одном и том же пространстве, но один видит себя окруженным частицами, а другой в то же самое время не видит ничего, кроме пустого пространства. И единственная разница между ними состоит в том, что у Скруда нет горизонта событий. Сэйф физически реструктурирует вакуум и создает реальные измеряемые частицы, благодаря всего лишь определенной точке зрения. Частицы существуют объективно, но лишь для него одного.

Многие годы я подозревала, что секретный ингредиент, позволяющий превратить ничто моего отца, то есть бесконечное безграничное однородное состояние, в нечто – это как раз граница и есть. После разговора с Фотини Маркопулу я стала думать, не может ли собственное поле зрения наблюдателя, с неизбежностью ограниченное его световым конусом, позволить ему проделать такой же фокус. Все же я была настроена скептически и не могла представить себе, чтобы световой конус был способен физически превращать ничто в нечто. В конце концов, световой конус – это всего лишь система отсчета, это не материальный объект во Вселенной. Но, возможно, мой скепсис был безосновательным. Я узнала о границах, зависимых от наблюдателя, которые создают частицы, не используя ничего более физического, чем его система отсчета. Разумеется, горизонты событий – нечто совсем иное. В отличие от световых конусов, они зависят от времени и формируются динамически. Но интригующее сходство все равно было, и я записала, а затем подчеркнула в своем блокноте: «Горизонты показывают, как система отсчета наблюдателя может физически реструктурировать Вселенную. Или, может быть, *H*-состояние».

Во всем этом было какое-то безумие. И главное – ни для Сэйфа, ни для Скруда вакуумное состояние не было чем-то реальным. Теория относительности показала, что пространство и время были разными для разных наблюдателей. Они не были инвариантными. Они не были настоящими. Теперь было ясно, что вакуумные состояния, а с ними частицы, должны были покинуть наш список. Частицы были не настоящими. Их существование зависит от наблюдателя.

А ведь это уже было заложено в самом определении частиц как неприводимых представлений группы Пуанкаре. Эту группу образуют глобальные преобразования плоского пространства-времени, но глобальные преобразования бесполезны при наличии горизонта событий. Горизонт требует от нас локальных определений, разрезания единого глобального взгляда на отдельные, зависящие от наблюдателя фрагменты. Проблема состоит в том, что не существует уникального, выделенного способа такого разбиения, в разных фрагментах будет свой вакуум, возникнет ряд несоизмеримых картин реальности, ни одна из которых не будет более истинной, чем остальные. Искривленное пространство-время – с гравитацией, с горизонтами событий – не обладает симметрией Пуанкаре. Уберем симметрию, и мы потеряем четкое определение частиц. Как только у вас геометрия пространства-времени начинает зависеть от наблюдателя – она может быть плоской, как ее видит Скруд, и в то же время изогнутой, как ее видит Сэйф, – вы переносите двусмысленность на совершенно новый уровень. Теперь нельзя задавать вопрос: «Существует ли частица?» Теперь нам необходимо каждый раз уточнять: «Существует ли частица в системе отсчета Сэйфа?» И словно этого было недостаточно, чтобы взорвать мой мозг, я обнаружила еще и третий вид горизонта событий – тот, который буквально определяет границы Вселенной.

Если у вас есть наблюдатель,двигающийся с ускорением в плоском пространстве, то вы получите горизонт Риндлера. Но вскоре я обнаружила, что ситуацию можно поменять на обратную и придать ускорение самому пространству, пока наблюдатель вроде Скруда остается неподвижным в своей инерциальной системе отсчета. При расширении пространства ускоренными темпами свет может проходить конечное расстояние даже за бесконечное время: не важно, какое расстояние пройдено светом – расширяющееся пространство постоянно

подсовывает ему новую задачу, как выползающая лента бегового тренажера. Некоторые лучи света никогда не смогут достичь Скруда. Таким образом, какая-то часть Вселенной будет для него вечно темной. Эту темную область ограничивает горизонт событий – деситтеровский горизонт.

Виллем де Ситтер был первым физиком, который усмотрел спрятанную в уравнениях Эйнштейна Вселенную, расширяющуюся с ускорением – Вселенную, совершенно лишенную материи, более пустую, чем холодное межзвездное пространство. Просто обширное, бесплодное ничто.

Только это было не совсем ничто. В ткань пространства вплеталась странная форма энергии, которая проявляла своего рода антигравитационный эффект, оборачивалась силой, расталкивающей пространство, заставляя Вселенную расширяться. Она возникала из-за, казалось бы, безобидного члена в уравнениях общей теории относительности – космологической постоянной. В ней заключалось свойство пространства самого по себе, поэтому, а также потому, что она была константой, расширение не истончало эту странную антигравитирующую энергию – чем больше пространства, тем ее становилось больше. Из-за этого возникал эффект разбегания: расширение Вселенной происходило все быстрее и быстрее по мере того как она становилась все больше и больше. Было нечто противоположное гравитационному коллапсу – образование черной дыры наоборот.

Когда в 1917 году де Ситтер предложил свою модель, Эйнштейн был убежден, что она неверна. Она явно противоречила двум главным философским установкам Эйнштейна – во-первых, что пространство-время без материи не может существовать, и, во-вторых, что Вселенная статична. Вечна. Занимаясь своими уравнениями, Эйнштейн верил, что именно космологическая постоянная закорит Вселенную на месте, исключив как ее расширения, так и сжатия.

Но Эйнштейну не повезло: философия – недостаточно сильный аргумент для Вселенной. Она не хотела оставаться на месте, и в 1929 году американский боксер, ставший потом астрономом, Эдвин Хаббл, сделал сенсационное открытие: все галактики в небе разлетаются прочь от нас со скоростью, пропорциональной их расстоянию до нас. Именно этого и следовало бы ожидать от расширяющейся Вселенной.

Я не знаю, как Эйнштейн воспринял открытие Хаббла, но готова держать пари: в тот день он пробил кулаком стену. Я уверена: ему и мгновения не понадобилось, чтобы понять, какой шанс он упустил! Еще бы чуть-чуть, – и он сделал бы то, что вошло бы в историю как одно из величайших научных предсказаний. А от разбегания галактик до Большого взрыва нужно было подумать ровно два раза. Все это лежало прямо у него под носом, содержалось в тех уравнениях, которые он сам же и вывел, но он не хотел видеть этого. Конечно, семью годами раньше он уже получил свою Нобелевскую премию, так что теперь никто не мог сказать: «Какой же идиот этот Эйнштейн!» Но все равно: он, должно быть, очень разозлился.

Есть фотография Эйнштейна у телескопа Хаббла на вершине Маунт-Вилсон: он вглядывается в космос, чтобы увидеть расширение. Каждый раз, когда я смотрю на нее, у меня по спине пробегает дрожь. Мысль о том, что человек, вооруженный не более чем философскими принципами, карандашом и бумагой, выяснил, что в действительности происходит в этом огромном мире, еще раз подчеркивает силу разума и великий потенциал науки. Эйнштейн писал: «Я считаю в известном смысле оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность»^[35]. Я не переставала думать, как антиреалист может смотреть на это фото. Мог ли такой человек честно принять все это за чистое совпадение? Космическое чудо? Вселенная расширяется только потому, что мы все согласились, что это так? Я могу только представить себе девушку из моей группы: *Расширение? Разве нет мужского органа, который известен этим?*

После открытия расширяющейся Вселенной, сделанного Хабблом, Эйнштейн был вынужден признать, что существуют нестационарные решения уравнений общей теории относительности. Решения, аналогичные решению де Ситтера. Но модель де Ситтера оставалась просто теоретическим курьезом вплоть до 1998 года, когда две команды астрономов вышли на охоту за сверхновыми и обнаружили, что скорость расширения Вселенной увеличивается. Более поздние исследования позволили уточнить, когда началось ускорение: пять миллиардов лет назад прекратилось замедление космического расширения после первоначального толчка инфляции, и вдруг снова начался его разгон. Словно какая-то странная сила задремала на время, свернувшись калачиком в тишине пространства, в ожидании

подходящего момента, чтобы наброситься и перебороть силу тяжести. Если бы не было космологической постоянной Эйнштейна, в такую переменчивость было бы трудно поверить. Физики на всякий случай назвали эту силу темной энергией.

Ускоренное расширение Вселенной сейчас не проявляет никаких признаков замедления. По мере того как пространство продолжает расширяться, плотность вещества продолжает уменьшаться, Вселенная истончается, расстояние, разделяющее любые два объекта, становится все больше, оставляя за собой унылое пустое беззвездное пространство. Расстояние между галактиками продолжает увеличиваться, а небо продолжает темнеть. В итоге пространство будет расширяться так быстро, что свет от далеких звезд никогда не сможет до нас добраться. Сметенные космической экспансией, они исчезнут, оставив только тьму, наш Млечный путь, как тусклый маяк в море чернильной пустоты, расширяющегося ничто. Одиноким остров в пустоте, окруженный горизонтом событий. Теперь мне стало ясно: во Вселенной, где правит темная энергия, мы все – Скруды.

Жизнь во Вселенной, пронизанной темной энергией, означает, что наш горизонт событий нас ждет. Это означает, что мы живем в деситтеровской вселенной. А поэтому все тревожащие нас эффекты горизонтов событий не ограничатся только окрестностями черных дыр, находящихся на безопасно далеких расстояниях от нас. Они подбираются к нам со всех сторон.

И вот я здесь – за миниатюрным рабочим столом, в миниатюрной квартирке в лондонском закоулке, в огромной расширяющейся деситтеровской вселенной, окруженная горизонтом событий. Быть окруженной деситтеровским горизонтом все равно что жить в окружении черных дыр: галактики торопливо удаляются в направлении горизонта событий, словно под действием сил тяготения, а затем исчезают за горизонтом. Поскольку пространство само по себе движется с ускорением, наш Скруд, инерционный наблюдатель, видит горизонт. С его точки зрения световые волны от далеких галактик растягиваются, а их бег кажется замедляющимся из-за ультрарелятивистских эффектов вблизи горизонта событий. К тому моменту, когда галактика погружается в темную область, откуда нет

возврата, уже неважно, как она называется – черная дыра или деситтеровский горизонт: в любом случае ее больше не будет.

По мере того как галактики исчезают за горизонтом, площадь и энтропия горизонта неуклонно возрастают. Всего через два года после его открытия излучения черных дыр Хокинг и сотрудник Кембриджского университета физик Гэри Гиббонс доказали, что как горизонт черной дыры, так и деситтеровский горизонт обладают энтропией, пропорциональной площади. С энтропией появляется температура; с температурой – частицы. Наблюдатели в деситтеровской вселенной ощущают тепло. Я задумалась о том, почему в деситтеровской вселенной Лондон всегда такой холодный. Как оказалось, температура деситтеровской вселенной практически равна абсолютному нулю – ее почти невозможно измерить. Но однажды в нашем космическом будущем, когда микроволновый фон окончательно остынет из-за его красного смещения, излучение де Ситтера останется единственным источником постоянного тепла во всем космосе.

До меня постепенно стало доходить, что как горизонты событий черных дыр и горизонты Риндлера, так и деситтеровские горизонты зависят от наблюдателя. Ускорение расширяющегося пространства порождает горизонт, скрывающий область пространства-времени от данного наблюдателя. У каждого наблюдателя свой горизонт, немного сдвинутый по отношению ко всем прочим. Строго говоря, не найдется двух наблюдателей, для которых границы Вселенной расположены в одном и том же месте. Сидя здесь, в Лондоне, я нахожусь в совершенно другой деситтеровской вселенной, чем мой отец в Филадельфии. У каждого из нас своя вселенная. Маркопулу говорила о световых конусах – и я тогда узнала, что световые конусы растут со временем. Если подождать достаточно долго, вы увидите больше Вселенной. Подождав бесконечное время, можно увидеть ее всю. Но это не так в деситтеровском пространстве-времени. Деситтеровский горизонт работает с точностью до наоборот: чем дольше вы ждете, тем меньше видите. В деситтеровской вселенной ни один наблюдатель не может увидеть ее целиком. Никогда.

Конечно, если начать двигаться с ускорением, как это делает Сэйф, то горизонт исчезает. Теперь вы находитесь в той же системе отсчета, что и расширяющееся пространство. Ничто не скрыто от вас, пока вы продолжаете ускоряться. С точки зрения Скруда вы испытаете

торможение вблизи деситтеровского горизонта и поджаритесь в его излучении. Но в своей собственной системе отсчета вы ничего этого не узнаете. Для вас не существует горизонта. Просто вы видите больше во Вселенной.

К сожалению, вы не можете ускоряться бесконечно – предельная скорость света тому гарантия. А пространство-время может. Пространство-время не имеет ограничения скорости, оно может расширяться быстрее скорости света, как это было во время инфляции. Если вы соревнуетесь в гонке с пространством-временем, оно всегда побеждает. В конце концов вам придется прекратить ускорение и увидеть горизонт, застряв в деситтеровской вселенной. Навсегда.

Теперь я поняла, что космология в деситтеровской вселенной – это совершенно другая песня! Какой смысл говорить о Вселенной, если у каждого наблюдателя она своя? В поисках ответа на этот вопрос я наткнулась на доклад бывшего студента Хокинга физика Рафаэля Буссо, сделанный в Кэмбридже на симпозиуме в честь шестидесятилетия учителя. Его имя мне было уже знакомо: он разделил с Маркопулу первое место на конкурсе молодых ученых на посвященном Уилеру симпозиуме в Принстоне. Доклад Буссо на конференции в честь Хокинга был озаглавлен так: «Приключения в деситтеровском пространстве». Буссо пояснил: Хокинг и Гиббонс обнаружили, что деситтеровский горизонт обладал теми же квантовыми свойствами, что и горизонт черных дыр, в том числе – энтропией и температурой. Отметив, что деситтеровский горизонт зависит от наблюдателя, Буссо добавил: «Хокинг и Гиббонс интерпретировали свои результаты как указание на то, что квантовая гравитация, возможно, несовместима с единым, объективным и полным описанием Вселенной. Скорее, ее законы могут быть сформулированы относительно наблюдателя – не более чем одного наблюдателя единовременно».

Никакого единого объективного описания Вселенной? Согласно предположению Маркопулу, нам нужна какая-то зависящая от наблюдателя логика, без которой нам не удастся ужиться с тем фактом, что у каждого из нас своя часть во Вселенной. Теперь Хокинг предполагал, что нам, возможно, нужна зависящая от наблюдателя теория всего?

Я вытащила скомканную салфетку из лос-анджелесской блинной и еще раз просмотрела список ингредиентов окончательной реальности:

«Частицы/поля/вакуум. Пространство-время. Размерность. Струны. Вселенная. Мультивселенная. Скорость света».

От: Аманда Гефтер

Кому: Уоррен Гефтер

Тема: Сдуем еще пару пылинок

Ну, мы можем официально вычеркнуть из нашего списка вакуум, поля и частицы. Деситтеровский горизонт делает их зависимыми от наблюдателя. Как странно... мой крохотный столик – это всего лишь вопрос точки зрения, и все из-за горизонта по краю Вселенной. Я не должна говорить: «Вселенной» – моей вселенной. Неужели сама Вселенная может в действительности оказаться зависящей от наблюдателя? Нам нужно поговорить с Рафаэлем Буссо. Он предположил, что «квантовая гравитация, возможно, несовместима с единым, объективным и полным описанием Вселенной».

Боже! Эта связь между горизонтом и вакуумом не дает мне покоя. словно один из них можно отобразить на другой, несмотря на разное количество измерений. Энтропия деситтеровского горизонта учитывает число квантовых состояний в каждой из наших вселенных, – но она конечна и пропорциональна площади горизонта. Забавно: все говорят, что самый большой вопрос в космологии – «что такое темная энергия?» А мне кажется, что вопрос можно перевернуть. Можно сказать так: темная энергия – это просто доказательство того, что мы живем в деситтеровской вселенной, поэтому гораздо интереснее было бы узнать, *почему* мы живем в деситтеровской вселенной? И как это меняет значение самой космологии?

От: Уоррен Гефтер

Кому: Аманда Гефтер

Тема: RE: Сдуем еще пару пылинок

Как такие большие мысли умещаются в такой маленькой квартирке? В то, что Вселенная зависима от наблюдателя,

верится с трудом. Не может ли существовать одна реальная, инвариантная Вселенная, несмотря на тот факт, что каждый наблюдатель имеет доступ только к ограниченной ее части? Темная энергия / деситтеровский горизонт – вопрос увлекательный. Ты думаешь, что нам необходим деситтеровский горизонт, чтобы превратить ничто в нечто? Похоже, что нам еще есть над чем поработать! Как продвигаются дела с твоим дипломом?

О, черт! Диплом... Я провела последние месяцы, полностью погрузившись в исследования. Открытие, что частицы не могут быть частью окончательной реальности, обернулось серьезным прорывом в наших поисках, и я, в итоге, ни на шаг не продвинулась в написании своего диплома. Он должен быть готов через два дня.

Я собрала в огромную кучу все мои заметки и села за диплом: «Зависимость горизонтов событий от наблюдателя и онтология материи».

Когда я только поступила в Лондонскую школу экономики, один из профессоров после занятий отвел меня в сторону, чтобы сделать странное предупреждение:

– Я знаю, что вы привыкли писать популярные статьи для журналов, – сказал он к моему удивлению. – Но когда вы пишете научную статью, она не должна выглядеть так, как будто написана для широкой аудитории.

– Я знаю это, – сказала я. – И никогда не буду писать свои статьи так, чтобы их можно было понять.

Несколько дней спустя другой профессор остановил меня в коридоре:

– Ваши статьи не должны быть похожи на статьи для популярных журналов, – предупредил он меня. Выглядел он при этом разочарованным во мне, явно преждевременно.

– Они и не будут, – пообещала я. – Они будут сухими и серьезными настолько, насколько это возможно.

Поэтому когда я, наконец, сяду писать статьи, я старалась примерить на себя образ пожилого джентльмена с британским акцентом в голосе, одетого в коричневый твидовый костюм с замшевыми нарукавниками, сидящего рядом со своим глобусом и высокомерно играющего на трубе. «В действительности, как будет

доказано мною ниже, тезис о холизме Дюгема подрывает гипотетико-дедуктивный метод обоснований. Пуфф, пуфф. Чао». Я засоряла тексты сложноподчиненными предложениями и жаргоном; зачищала их от любых заметных расцветок и юмора. Я излагала и подтверждала свои аргументы на каждом шагу. Вот резюме того, что я только что сказала. Вот что я говорю. Вот что я собираюсь сказать. Я использовала как нормативные выражения, так и упомянутые выше. Мои профессора могли быть мною довольны.

Теперь, когда пришло время писать диплом, я вызвала образ пожилого джентльмена и писала в течение сорока восьми часов. Не прерываясь.

«В мире классической Ньютоновой физики материя – это объективная сущность, не зависящая от наблюдателей, – начала я. – Ее онтология, видимо, берет свое начало в мире абсолютного пространства и времени. Как квантовая механика, так и теория относительности пошатнули ее онтологические основы, ставя острые вопросы относительно наших представлений о материи. В квантовой теории, например, электрон существует как суперпозиция всевозможных состояний, характеризующихся вероятностями, и „сваливается“ в одно из состояний, только когда наблюдатель выполняет измерения. Таким образом, наблюдатель становится соучастником в определении свойств вещества. В общей теории относительности наше восприятие материи частично определяется системой отсчета, и два наблюдателя не всегда придут к единому мнению, например, по вопросу о длине объекта. Точно так же наблюдатели становятся соучастниками в определении свойств материи. Как выясняется, больше нельзя описывать материю без указания системы отсчета. Тем не менее ни одна из этих теорий не подрывает полностью классическую онтологию материи. И в теории относительности, и в квантовой теории свойства материи могут в некоторых случаях зависеть от наблюдателя, но самое существование материи не оспаривается наблюдателями. Это имеет глубокие последствия для онтологии, и это является непосредственным продуктом современной физики, которая приступила к объединению общей теории относительности, термодинамики и квантовой теории». Та-дам!

Затем я перешла к рассказу о физике черной дыры и горизонтах Риндлера и де Ситтера. Я дала определения их температуре и энтропии, подробно разобрав связь между механикой горизонта событий и термодинамикой. Затем я остановилась на вопросе, являются ли три типа горизонтов событий эквивалентными или просто аналогичными. «С точки зрения физики, все три ситуации кажутся существенно различными, – писала я. – В одном случае у нас имеется черная дыра, останки потухшей звезды. В другом – наблюдатели перемещаются через пустое пространство. В третьем – вся вселенная выворачивается наружу. Возможно ли говорить, что речь идет об одном и том же?»

С позиции структурного реализма, тем не менее, эти описания не имеют значения. Значение имеет структура. Математика. А с математической точки зрения между тремя горизонтами нет никакой разницы.

«Физика горизонтов событий – излучение, которое они производят, например – определяется соотношением между системой отсчета наблюдателя и геометрией пространства-времени, – писала я. – Это соотношение одинаково во всех трех рассматриваемых случаях: в случае черной дыры гравитация определяет геометрию пространства-времени; в случае деситтеровского горизонта космологическая постоянная определяет геометрию пространства-времени; и в случае горизонта Риндлера ускоренное движение наблюдателя определяет геометрию пространства-времени. Но физика этих явлений зависит не от сил тяготения, не от космологической постоянной, не от ускорения, а от соотношения между геометрией и наблюдателем. Это соотношение определяет искомые „структуры“, и они оказываются эквивалентными. Принимая это положение во внимание, мы следуем за Эйнштейном, чей принцип эквивалентности гласит, что сила тяжести и ускорение не просто аналогичны – они эквивалентны».

«Хорошо, – подумала я. – Кто будет спорить с Эйнштейном? Или с оратором, использующим в речи королевское „мы“?»

Я объяснила смысл энтропии, вывод формулы для излучения Хокинга и неэквивалентность метрик, зависящих от наблюдателя вакуумных состояний, заключив под конец: «Наличие горизонта событий указывает на вырождение вакуумных состояний при невозможности определить предпочтительные колебательные моды поля. Онтологические последствия всего этого *безумно офигительны!*»

Перечитав, я подумала, что последнее предложение может показаться недостаточно «академичным». Я нажала на клавишу *delete* и попробовала написать предложение заново: «Онтологическим следствием всего этого является принципиальное изменение используемых понятий „поля“ и „частицы“, которые, как было показано, характеризуются выбором системы отсчета».

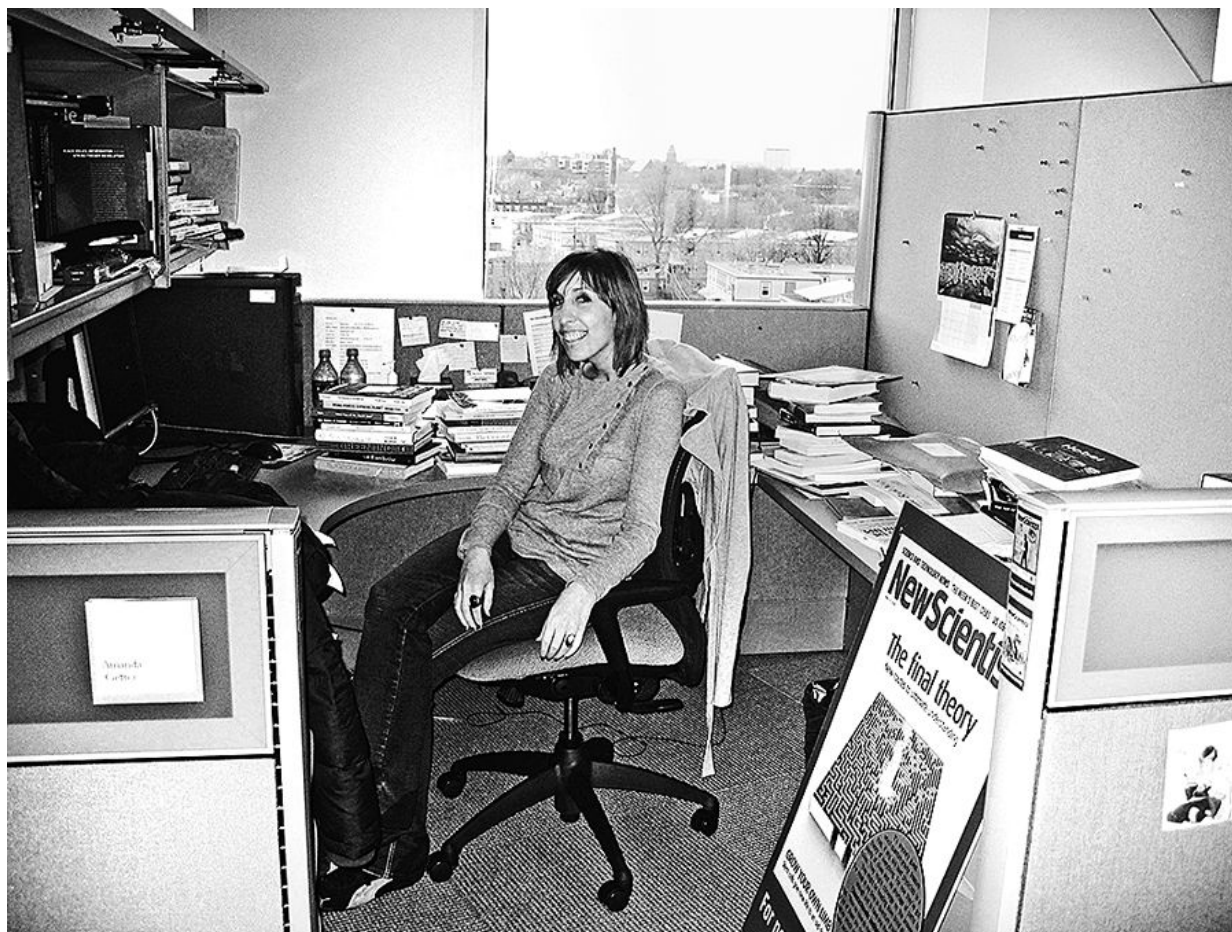
Так-то лучше.

Сохранить, распечатать, спать.

Глава 8

Как творить историю

Учеба закончилась, и мой шестимесячный контракт с редакцией журнала *New Scientist* тоже подошел к концу. Мне не терпелось вернуться в Штаты. Увидеть родных, друзей, солнце. Пожить в Ньютоновой квартире. В то же время мой опыт работы в *New Scientist* открыл для меня целый мир новых возможностей. Он обеспечил мне стабильный доступ к физикам и железное алиби для проведения поисков истоков реальности. Я не собиралась отказываться от всего этого. Поэтому я убедила мое начальство, чтобы они держали меня в качестве редактора в Соединенных Штатах, где бы я могла продолжать работать в их филиале, расположенном в Кембридже, штат Массачусетс.



Портрет редактора: работа, о которой можно только мечтать. В офисе журнала *New Scientist* в Кембридже штата Массачусетс.

Фото: У. Гефтер.

Направляясь обратно через Атлантику, я хотела разузнать подробнее о горизонтах событий. Многие вопросы по-прежнему не давали мне покоя. Как можно энтропии вакуума поставить в соответствие площадь горизонта событий, если у горизонта на одну размерность меньше? Что значит для космологии, что мы живем в деситтеровской вселенной с неотвратно надвигающимся непрозрачным горизонтом событий в отдаленном будущем? И почему существование деситтеровского горизонта заставило Хокинга и Гиббонса верить, что, как выразился Буссо, «квантовая гравитация, возможно, несовместима с единым, объективным и полным описанием Вселенной», но «ее законы могут быть сформулированы относительно наблюдателя – не более чем одного наблюдателя единовременно»? Я

была уверена, что ответы помогут нам выяснить, что является инвариантом. Что имеет отношение к окончательной реальности.

Вернувшись в Соединенные Штаты, я поселилась в Кембридже. Офис журнала *New Scientist* находился в окрестностях Кендалл-сквер, походивших на физический Диснейленд. Всего в нескольких кварталах от офиса проходила улица Галилея и располагались ресторан MC^2 , книжный магазин «Квантовая книга» и бар «Чудо науки». Я сняла квартиру на окраине кампуса MIT с видом на реку Чарльз.

Не хватало только Кэссиди. Я была благодарна моим родителям, что они взяли ее на время моего пребывания в Лондоне, но теперь, когда я вернулась в Штаты, мне не терпелось получить ее обратно. Но мама держала ее в заложниках. Та самая женщина, которая когда-то сходила с ума при одной только мысли о том, что животное поселится в ее доме, теперь отказывалась возвращать это животное ее законному владельцу. И Кэссиди, которая выросла в Нью-Йорке с его высоким темпом жизни, теперь привыкла к жизни в пригороде, со всеми его «пространством» и «травкой». Более того, эта маленькая изменница обожала моих родителей. Она все еще радостно виляла хвостом при виде меня, но уже смотрела на них, как будто именно они были ее семьей.

Чтобы как-то заполнить образовавшуюся пустоту, я подобрала бездомного котенка.

— Твоя задача — следить за вторжениями грызунов, — сказала я ему, внося его в дом. — Неважно, квантовые они или нет.

Он замурлыкал.

Дела потребовали съездить в Санта-Барбару. Еще перед отъездом из Лондона я получила сигнальный экземпляр книги Леонарда Сасскинда «Космический ландшафт». Леонард Сасскинд, физик из Стэнфорда, был одним из создателей теории струн.

В течение последних нескольких лет я познакомилась с основами теории струн. Ее послыл был прост: всякая частица — электрон, фотон, кварк и все остальные — это различные вибрации одной и той же крошечной струны. Вместо зоопарка разнообразных частиц, говорит теория струн, мир состоит всего из одного животного: струны. Имея около 10^{-33} сантиметра в длину, струны вибрируют, как струны гитары, производя на свет различные частицы, словно музыкальные ноты, в том числе и ту, которая звучит подобно гравитации.

Когда я впервые услышала об этой теории, вся идея струн показалась надуманной. Непонятно, при чем тут струны? Почему не свистки или спиральки? Но со временем я поняла, что струны были выбраны не случайно. На самом деле, их следы обнаруживались в экспериментальных данных.

До того как физики узнали, что адроны, такие как протоны и нейтроны, состоят из кварков, результаты, полученные на ускорителях элементарных частиц в 1960-х годах, были им совершенно непонятны. В то время все более популярным в физике частиц становился подход, связанный с так называемой S -матрицей. Его идея заключалась в том, чтобы, вместо описания взаимодействия двух частиц при их столкновении в данной точке пространства-времени, учитывать только их начальные и конечные состояния. S – это первая буква слова *scattering*, то есть «рассеяние», которое мыслится следующим образом. Шаг первый: две частицы направляются навстречу друг другу. Шаг второй: они сталкиваются, и энергия, выделяемая при их столкновении, идет на рождение новых частиц, которые распадаются на другие частицы, которые, взаимодействуя, формируют еще больше частиц, которые находятся в окружении полчища виртуальных частиц, которые, в свою очередь, взаимодействуют с другими виртуальными частицами, которые, в свою очередь... и так далее. Шаг третий: всего несколько частиц вылетают наружу из этой каши.

S -матрица – ее ввел Уилер в 1937 году, а через несколько лет заново переоткрыл Гейзенберг – позволяет начисто пропустить второй шаг. Это таблица вероятностей: вы задаете исходные состояния соударяющихся частиц, а S -матрица дает вероятности для конечных состояний частиц, рождающихся в столкновении.

Физики, однако, не могли решить задачу построения S -матрицы, которая учитывала бы результаты адронных столкновений, наблюдаемых в экспериментах на ускорителях высоких энергий. Так было до 1968 года, пока физик Габриэль Венециано не решил эту проблему: он открыл уравнение S -матрицы для адронов. Но почему это уравнение работало? Никто не знал. Что именно оно описывало?

После месяцев затворничества на чердаке и размышлений над уравнением Венециано на Сасскинда снизошло прозрение.

Уравнение описывало колебания струны.

Сасскинд – и, независимо от него, Еитиро Намбу и Хольгер Бех Нильсен – предположил, что адроны должны состоять не из точечных, лишенных размера частиц, а из крошечных одномерных струн. Сасскинд тогда сказал, что точки на концах струны можно мыслить как кварки, а саму струну – как множество точечных частиц, называемых глюонами.

Это была классная идея, но в течение нескольких лет успешного развития квантовой хромодинамики она оказалась практически забыта. Почти. Только несколько одиноких физиков, в их числе Джон Шварц и Майкл Грин, не отказались от теории струн и более десятилетия работали фактически в полном вакууме.

К сожалению, никак не складывалась математика. Колебания струн были слишком энергичны, из-за этого приходилось делать их размер слишком маленьким, и они не могли быть адронами; значения спина тоже не согласовывались с наблюдениями. Протоны и нейтроны – частицы материи, фермионы, они обладают полуцелым спином. А спин струн получался целым, как у частиц излучения. Бозонов. Не обращая внимания на то, как на них смотрят, Шварц и Грин продолжали возиться со струнами, выглядевшими безмассовыми частицами со спином 2, определенно не похожими ни на какие адроны. Они были похожи на что-то совершенно другое. На гравитоны.

Шварц и Грин поняли, что теория струн – это не теория адронов. Это была квантовая теория гравитации. Кого волновало, что теория струн не описывает адроны? Это был Святой Грааль!

У теории оставалась единственная проблема – отсутствие фермионов. Струны естественно воспроизводили бозоны, но теория струн смогла бы претендовать на теорию всего, если бы она учитывала также фермионы. Если бы струнные теоретики могли найти способ преобразования бозонов в фермионы – частиц с целым спином в частицы с полуцелым спином, то эта проблема была бы решена. К счастью, такой способ есть – суперсимметрия.

В суперсимметричных пространствах вы можете заменой системы отсчета превратить частицу с целым спином в частицу с полуцелым спином. Это была та зависимость от наблюдателя, которая заставила меня и моего отца вычеркнуть спин из списка на салфетке из лос-анджелесской блинной. Частицу, которую один наблюдатель называет бозоном, другой видит как фермион. Это означает, что вы можете взять

бозоны, которые получаются в теории струн с самого начала, и посмотреть на них из других систем отсчета, получая фермионы. Теперь вы получили все силы природы и все вещество из одного простого ингредиента – крошечной вибрирующей струны. Суперсимметрия превратила теорию струн в жизнеспособную теорию всего.

Особенно полезной эту теорию сделало то, что больше не надо было разбираться с опасными бесконечностями, которые возникают, когда частицы сталкиваются в одной точке. Струны одномерны – у них есть протяженность. Они не могут взаимодействовать в единственной точке. В некотором смысле это означает, что в пространственно-временном континууме отдельных точек и нет.

«Пространство-время само по себе может быть переосмыслено как приближенное, производное понятие», – писал физик Эд Виттен в статье, озаглавленной «Размышления о судьбе пространства-времени». Успех теории струн, объяснял Виттен, сводится к тому, что «не существует больше инвариантного представления о том, когда и где происходят взаимодействия».

Однажды прочитав эти строки, я долго не могла успокоиться. Что именно Виттен хотел сказать? Обычно физики объясняют отсутствие бесконечности в теории струн конечными размерами струны и, соответственно, размытием точки взаимодействия. Но Виттен, первосвященник теории струн, казалось, приписал размытие не самим струнам, а наблюдателям. Если наблюдатели не могут прийти к единому мнению о положении точки взаимодействия, как если бы расположение точки взаимодействия в пространстве-времени изменялось от одной системы отсчета к другой, – тогда сингулярности не существует. В окончательной реальности их нет. Не значит ли это, что пространство-время и само не реально? Что оно зависит от наблюдателя?

Частицы, согласно теории, состоят из струн. Но спросите физиков, из чего состоят струны, и они скажут вам, что это некорректный вопрос. Струны фундаментальны. Они – исходные строительные блоки. Они не сделаны из чего-либо кроме самих себя. Вряд ли это можно считать удовлетворительным ответом. Предлагал ли Виттен какой-то другой? Он, кажется, говорил, что струны натянуты между различными точками, которые наблюдатель может определить как места

столкновения. Как будто струны сами представляют собой наши возможности наблюдать за ними. Как если бы они представляли собой системы отсчета. Как если бы они были, в некотором смысле, изготовлены из нас.

Я не могла не вспомнить слова Уилера: «Поэтому одни подозревают, что, проникая все глубже и глубже в структуру физики, мы никогда не сможем достичь конца, обнаружив, что она завершается на каком-то N-ом уровне. Другие опасаются, что столь же неверно думать о структуре, слои которой чередуются, сменяя друг друга до бесконечности. Третьи в отчаянии спрашивают: что, если структура не заканчивается на уровне каких-то мельчайших объектов или частиц, а приводит непрекращающийся поиск основ мироздания обратно к самому наблюдателю, образовав таким образом замкнутую цепь взаимозависимостей...».

Возможно, теория струн позволяет лучше понять, каким Уилер видел мир, но за это вам придется принять некоторые радикальные изменения во Вселенной. Вам придется добавить пространству несколько дополнительных измерений.

Согласно теории струн, различные колебательные моды соответствуют различным частицам. Какие именно моды возможны, определяется формой и размерностью пространства в окрестности струны. В одномерном мире движение возможно только взад и вперед; если добавить еще одно измерение, то можно двигаться также вверх и вниз. Чем больше имеется измерений, тем больше способов, какими струна может вибрировать. Для того чтобы вибрации струн воспроизвели все известные нам частицы, в дополнение ко времени необходимо иметь девять пространственных измерений. Проблема, очевидно, заключается в том, что мы видим только три.

Дополнительные шесть измерений, говорят физики, свернуты в крошечные области пространства подобно крошечным сложным оригами, которые присутствуют в каждой точке нашего обычного трехмерного пространства. Их размеры слишком малы для того, чтобы мы могли их увидеть, но достаточно велики, чтобы вместить струны — одна триллионная триллионной размера атома, на шестнадцать порядков меньше, чем можно разглядеть с помощью лучших микроскопов.

Все было бы прекрасно, если бы существовал только один способ свернуть дополнительные шесть измерений. Не тут-то было. В 2000 году и Буссо, и Джо Полчински обнаружили, что существует 10^{500} таких способов – число не такое, конечно, большое, как бесконечность, но все же довольно большое. Нет такой причины, по которой природа предпочтет один способ любому другому, и каждое origami содержит свой вакуум, обладает своими физическими константами, своим набором частиц, своей физикой.

Такая ситуация вызвала огромное разочарование среди тех, кто занимался разработкой теории, но Сасскинд почувствовал в вопросе антропный подтекст. В своей книге он утверждал, что неспособность теории струн предложить единую теорию всего было благом, потому что в этом случае можно с помощью А-слова объяснить, среди прочего, чудовищно маленькое, но ненулевое значение космологической постоянной, для объяснения которой необходим некоторый безумно невероятный механизм, позволяющий сократить энергию вакуума с точностью до 120 десятичных знаков, а затем остановиться, оставив после сокращения величину, совпадающую с наблюдаемой силой темной энергии. Теория струн описывает огромное число вселенных. Вечная инфляция производит огромное количество вселенных. В итоге мы имеем дико разнообразную мультивселенную, в которой значение космологической постоянной изменяется от одной вселенной к другой.

Любопытно, книга Сасскинда заканчивалась главой о горизонтах событий. Сасскинд поддерживает в ней критиков многомировых теорий, которые утверждают, что если все другие вселенные отгорожены от нашей, как стеной, горизонтом событий и поэтому оказываются непознаваемыми для нас, то объяснения, основанные на антропном принципе, являются не более чем пустой метафизикой. Но при этом Сасскинд предполагает, что излучение Хокинга, исходящее от нашего космического горизонта, может содержать некоторую информацию о том, что находится по другую сторону от него. То есть обо всей мультивселенной. В таком случае антропный аргумент для мультивселенной вполне можно было бы использовать, не упоминая о каких-либо неизмеримых явлениях за пределами нашего горизонта. Все рассуждения будут законными.

Я знала, что Сасскинд и Хокинг десятки лет спорили о возможности прятать информацию в излучении Хокинга и что

Сасскинд в конце концов победил в этом споре. Но как же информация о том, что происходит по ту сторону от горизонта, может содержаться в излучении Хокинга? Ответ на этот вопрос крутился вокруг AdS/CFT гипотезы (*что-то связанное с теорией струн и объясняющее жидкие файерболы?*) и вокруг того, что Сасскинд называет принципом дополнительности для горизонта событий — идеи, которую он охарактеризовал как «новый усиленный принцип относительности». Я не очень-то понимала, что все это значит, но всем нутром чувствовала, что тут была подсказка, которой необходимо следовать. Мне надо было поговорить с Сасскиндом.

Для этого я выбрала самый простой способ — взять у него интервью для *New Scientist* в связи с предстоящим выходом его новой книги. Но мне было бы любопытно услышать аргументы обеих сторон — противников и защитников многомировых теорий. Дэвид Гросс, струнный теоретик и лауреат Нобелевской премии, с самого начала возражал против возможности мультивселенной. Может быть, я смогла бы убедить их подискутировать, подумала я. Мы никогда не организовывали ничего подобного в журнале, но я полагала, что такой ход мог бы оказаться удачным.

Удивительно, но и Сасскинд и Гросс увлеклись этой идеей, и Сасскинд согласился прилететь в Санта-Барбару, где Гросс был директором Института теоретической физики Кавли. Они решили, что такое мероприятие может стать слишком шумным, если мы сделаем дебаты публичными, поэтому мы договорились провести их в частном порядке, только вдвоем. Ага. Только вдвоем. Просто основоположник теории струн, нобелевский лауреат... и я.

Отправляясь в Санта-Барбару, я нервничала. Ведь я собиралась играть роль модератора в жарких дебатах между двумя гигантами мысли, а они, как я слышала от многих коллег-журналистов, никому спуска не давали. Наслушавшись рассказов, я живо представляла себе, как обычно проходит с ними интервью: съездившись, журналист задает невинный невежественный вопрос о теории струн. Физик смотрит на журналиста сверху вниз, десятимерное пламя бушует в его глазах. Борзописец испепелен, от него не остается ни следа, кроме облачка пыли и репортерского блокнота, вращающегося на земле. Да, я немного нервничала. Но когда я приехала в свой отель и проверила электронную

почту, я обнаружила письмо от Сасскинда. Он только что прибыл из Пало-Альто и предлагал мне поужинать в его компании.

Мы встретились в одном из центральных ресторанов Санта-Барбары, расположенном на пляже. В свои шестьдесят Сасскинд выглядел высоким и стройным, с белой бородой и дружелюбной улыбкой. Я осторожно проверила, не было ли в его глазах какого-либо десятимерного пламени, но все было чисто. Мы сидели за столиком на террасе, звезды сияли над головой, мягкий тихоокеанский прибой ласкал слух. Мы непринужденно болтали о *New Scientist* и о физике. У Сасскинда был замечательный голос со старомодным нью-йоркским акцентом, когда каждый слог четко отделяется от другого, тянется каждая гласная, а согласные забиваются, как гвозди молотком. Он начал свою профессиональную карьеру в качестве сантехника в Южном Бронксе и после многих лет, проведенных там, не утратил своего акцента и в солнечной Калифорнии. Все, что он говорил, его голос звучал весомо и мудро. Я поймала себя на мысли, что мечтала бы нанять такой в качестве своего внутреннего голоса.



Видите круглые окна? Это офис Дэвида Гросса в Институте теоретической физики Кавли.

Фото: А. Гефтер.

Я почувствовала себя спокойнее, но все-таки не могла забыть, что я всего лишь двадцатипятилетняя девушка, никогда не проходившая физику в школе, а напротив меня – один из самых ярких творцов современной науки. Я попыталась сделать все возможное, чтобы выглядеть старше и профессиональнее, но мой план разрушился в ту минуту, когда подошла официантка. Сасскинд заказал бутылку вина, и официантка захотела посмотреть мои документы. Я вспыхнула, а затем покраснела еще сильнее, поняв, что даже не подумала захватить с собой водительские права. Я была готова тихо сползти в океан, но Сасскинд просто улыбнулся.

– Я могу поручиться за нее, – заявил он. – Я физик.

Далее ужин шел как по маслу. Мы пили наше с трудом доставшееся вино и говорили о теории струн, горизонтах и излучении Хокинга.

– Мне бы очень хотелось побольше узнать об идеях, которым вы посвятили последнюю главу вашей книги, – сказала я. – О потере информации в черных дырах и о вашей версии принципа дополнительности.

– Приятно это слышать, потому что я как раз пишу об этом новую книгу, – сказал Сасскинд. – Джон Брокман, мой издатель, уговорил меня.

Так вот получается, чтобы Брокман стал издателем, подумала я, надо просто придумать теорию струн. Или вести интеллектуальную войну со Стивеном Хокингом. И выиграть.

Я улыбнулась:

– Мне не терпится прочитать ее.

На следующее утро я встретила Сасскинда в Институте Кавли, расположенном на территории Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Было рано, поэтому мы сидели и пили кофе в одном из помещений института, стены которого были покрыты досками, испещренными формулами. Сидеть в институте физики с Леонардом Сасскиндом было примерно как сидеть в кафе с Джоном Ленноном.

Проходившие мимо ученые подходили представиться ему, и делали это с трепетом и благоговением. Все были наполнены волнением по поводу дебатов и расстроены, что не смогут принять в них участие. Трудно было поверить, что я была одним из участников этого события.

Когда пришло время, мы отправились наверх. Входить в офис Дэвида Гросса – это примерно то же самое, что входить в каюту капитана роскошного круизного судна. Он был огромным, с абсурдно большими круглыми окнами. В них, как в иллюминаторы, во все стороны был виден Тихий океан.

Мне казалось, что еще чуть-чуть, и стая дельфинов может заплывать прямо в офис. Еще чуть-чуть, и им тоже дадут Нобелевскую премию. Выйдя из этого неожиданного гипноза, я вспомнила, что надо было представиться; Гросс что-то буркнул в ответ. От этого у меня по спине побежали мурашки. Я проверила его взгляд на десятимерные языки пламени. Ага. Там они были.

Гросс решил, что каждый участник дискуссии должен для начала попытаться изложить позицию противника – эта стратегия мне показалась странной и совершенно непригодной для журнальной статьи, но мне было любопытно увидеть, как это работает, и очень страшно ему перечить.

Гросс начал с обычных аргументов в пользу антропного принципа: теория струн содержит 10^{500} вакуумов, и теория инфляции гарантирует каждому из них право на физическое существование; значения таких величин, как космологическая постоянная, различаются от вселенной к вселенной; следовательно, законы природы, которые мы когда-то надеялись вывести как единственно возможные из простых принципов, оказывается, носят совершенно случайный характер. Он пытался играть честно, но в конце концов сдался:

– Все! Я не могу больше, иначе я сойду с ума.

Теперь настала очередь Сасскинда представить антиландшафтную точку зрения.

– Какие могут быть возражения против этого? Бог мой, я не понимаю! – начал он.

Он обратил наше внимание на существование эмоциональных («как железом по стеклу») и философских возражений (требование фальсифицируемости, предъявляемое «поппераци»^[36]). Он отметил

исторические возражения («существует множество странных примеров, загадочных чисел – период Луны, высота приливов, которые были предметом невежественного, суеверного толкования, прежде чем наука смогла объяснить их»). Он согласился с возражением, что антропный принцип, по сути, предполагает, что наше существование – низкоэнтропийное, поскольку необходимо наличие углерода и воды в жидком виде: это единственный возможный вид жизни.

Было только одно возражение, которое вызывало беспокойство у Сасскинда. Поскольку хаотическая теория инфляции и струнный ландшафт предполагают существование бесконечного числа вселенных, то все, что может произойти, произойдет бесконечное количество раз. В таком мире понятие вероятности теряет всякий смысл. Если бы я хотела рассчитать вероятность того, что Джон Брокман станет нашим издателем, то я бы разделила число вселенных, в которых он становится нашим издателем, на общее количество вселенных. Другими словами, я должна была бесконечность разделить на бесконечность и получить в результате удручающе неопределенное число.

Попробуем предположить, что можно обойти проблему, рассмотрев конечную часть мультивселенной на каком-то определенном отрезке времени, подсчитав число вселенных с Брокманом в качестве нашего издателя и общее количество вселенных в этой части мультивселенной, а затем взять предел этого отношения при стремлении размера выбранной части мультивселенной к бесконечности. Но, благодаря Эйнштейну, это сделать невозможно: нельзя придать сколько-нибудь глобальный смысл фразе «на каком-то определенном отрезке времени» – часов, расположенных за пределами мультивселенной и отмеряющих единое, одинаковое для всех время, не существует. Время зависит от наблюдателя. После того как вы выделили часть мультивселенной в координатах пространства и времени, вы нарушили принцип общей ковариантности и выбрали предпочтительную систему отсчета. Хуже того – результат, который вы получите для различных вероятностей, будет радикально изменяться в зависимости от выбранного отрезка времени, а никакой временной срез не может считаться более истинным, чем любой другой. Необходима какая-то вероятностная мера, позволяющая присвоить определенный вес каждой из вселенных. Без такой меры невозможно утверждать,

например, что «наблюдаемое значение темной энергии в нашей Вселенной наиболее вероятно в мультивселенной», в чем и заключается суть аргумента.

Кризис бесконечных величин был известен среди космологов как «проблема меры» – до странного безобидное название для того, что угрожало разрушить многомировую модель, а вместе с ней и стандартную модель всей космологии. Причина, по которой ученые-космологи верили в модель инфляции и, следовательно, в существование мультивселенной, в первую очередь состояла в том, что эта теория была в состоянии предсказать такие явления, как однородность реликтового излучения и плоская геометрия пространства в пределах нашего горизонта. Но под давлением проблемы меры инфляционная модель начала разрушаться. Теория была вынуждена отказываться от всех своих наиболее успешных предсказаний. Она уже не предсказывала однородность реликтового излучения или плоскую геометрию – она предсказывает сколь угодно неоднородный микроволновый фон реликтового излучения и любую геометрию – и не предлагала никакого способа предсказывать, какими они должны быть.

– Хаотическая теория инфляции полна бесконечностей и отношений бесконечностей, и вполне возможно, что однажды, когда мы научимся обходиться с этими бесконечностями, вся идея перманентной инфляции рухнет, – сказал Сасскинд. – Для меня это настоящая ахиллесова пята. Это меня беспокоит больше всего.

Наконец Сасскинд в шутливой манере предложил наиболее известное возражение Гросса:

– Существует культурная опасность и опасность для самой науки, которая не имеет ничего общего с истинностью или ложностью предположения: если мы поддадимся соблазну антропного принципа, молодые люди перестанут искать математические, рациональные причины явлений. Опасность того, что реальное объяснение будет упускаться из виду, настолько высока, а антропный принцип настолько соблазнителен, что нам лучше сразу отбить охоту думать об этом, – сказал он, и в его голосе звучал сарказм.

– И что на кону? – поинтересовалась я.

– Все, – ответил Гросс. – В своей недавней статье Стивен Вайнберг утверждает, что это одно из чудеснейших превращений «в сокровища

морские»^[37], какие только переживала фундаментальная наука со времен Эйнштейна. Это, может быть, и чересчур сильно сказано, но я расцениваю происходящее как радикальное изменение направления науки... И вообще у меня есть ощущение, что аргументы пока еще недостаточно сильны; в них дыры, куда ни глянь... Чрезвычайно мощные заявления были сделаны о неизбежности этого вывода, об отсутствии принципов, позволяющих выделить состояние Вселенной в теории струн, но все признают, что мы не знаем, что такое теория струн... У нас нет ни уравнений, ни принципов, ни самой теории, а основывать очень далеко идущие выводы на теории, которая, как все признают, еще не существует, кажется мне весьма опасным.

Теория струн еще не существует? Но Гросс – струнный теоретик.

– И что беспокоит меня больше всего, – продолжал Гросс, – это отсутствие непротиворечивой космологии. Начиная с Эйнштейна фундаментальная физика стала заниматься не только предсказаниями состояния в настоящий момент, но всем пространственно-временным многообразием. Задача физики, как мы узнали из общей теории относительности, представлять, черт возьми, все целиком! Настоящее – в любом случае иллюзия! Одним из самых разочаровывающих аспектов теории струн, которой пока еще нет, заключается в том, что мы до сих пор не знаем, как построить непротиворечивую космологию и что для этого надо... Представить себе подобное радикальное изменение всего горизонта физики, вызванное полным незнанием начальных условий в момент Большого взрыва, построение непротиворечивой космологии... хорошо, пусть у нас в поле зрения есть 10^{500} возможных метастабильных состояний, но ведь при этом у нас ноль космологий.

Я пометила в блокноте на будущее: «Почему теория струн не стыкуется с космологией?»

– Как правило, в науке научный принцип тем сильнее, чем больше мы знаем, – продолжал Гросс. – Но со спорами вокруг антропного принципа ситуация противоположная: чем больше мы знаем, тем меньше его сила. Его главная поддержка в невежестве. И я не думаю, что в науке так должно обстоять дело. Я думаю, все рассуждения о нем несколько преждевременны и потому немного опасны. Почему я считаю их опасными? Потому что ради них приходится отказываться от традиционного пути развития, они отвлекают людей от следования в тех направлениях, которые скорее окажутся правильными... Видя, куда

движется дело, я склонен сделать совсем другой вывод. По-моему, мы упускаем что-то очень важное. Нам нужна какая-то основа, на которой мы бы могли построить космологию, обсуждать теорию инфляции. Все нынешние споры я бы интерпретировал не как свидетельство сложностей вокруг антропного принципа, а как свидетельство отсутствия чего-то очень важного.

– Дэвид, ты напомнил мне несколько поговорок, – сказал Сасскинд. – «Старики обречены вечно переживать свое прошлое». И еще: «Чем меньше есть что сказать, тем больше времени это требует». А что касается опасности, то, я думаю, ты натягиваешь свой сапог не на ту ногу, если можно так выразиться. Правильнее было бы сказать все наоборот: Дэвида в физике очень любят, им все восхищаются и очень боятся.

Его боятся? Такого забоишься.

– Кто? – потребовал уточнения Гросс.

– Например, молодой человек, с которым мы сегодня случайно разговаривали. Но у меня было немало возможностей разговаривать с молодыми людьми – девушки в этом отношении проявляют большую стойкость, – которые, когда я обсуждал с ними возможную антропность этого мира, всячески уходили от разговора, смущались. Их очень пугало враждебное отношение к этим идеям.

– У этих людей, как и у меня, есть убеждения? Меня не это беспокоит. Меня больше беспокоит, когда эти молодые люди встают и с уверенным видом рассуждают, словно их идеи основаны на прочных знаниях.

– Эй! В чужом глазу сучок видишь, а в своем и бревна не замечаешь! Вау! Дэвид, Дэвид, Дэвид... Ты помнишь появление теории гетеротических струн?

Ого!

– И что? Ну, хорошо. Но там было немного другое. Когда эти молодые люди выступают, мне приходится напоминать аудитории, что оратор держит свою речь так, словно мы, черт возьми, знаем, о чем говорим. А теория струн – это вовсе не то, что мы знаем, верно?

– Да, я полностью согласен.

Он соглашается? Но он же сам это придумал...

Гросс продолжал:

– Поэтому, когда кто-то встает и говорит: «Теория струн гласит...» – тебя это раздражает из-за избыточности самой идеи, за ней слишком многое может скрываться. И я могу легко объяснить мое возбуждение, связанное с появлением революционной теории гетеротических струн в 1984 году; я могу понять своих коллег и сейчас, когда вижу, что происходит снова и снова с некоторыми из них в связи с идеей случайной Вселенной. Я вижу, что происходит с бедным Стивом Вайнбергом. Стив – это человек, которым движет атеизм. И он был слишком эмоционален в конце своей статьи из-за того, что католическая церковь выступила против идеи ландшафта.

– Нам всем это нравится. Мы все находим это забавным.

Я усмехнулась.

Гросс имел в виду статью Вайнберга *Living in the Multiverse*. В ней лауреат Нобелевской премии писал: «Так же как Дарвин и Уоллес объяснили, каким образом замечательные приспособления живых форм могут возникнуть даже без сверхъестественного вмешательства, так же ландшафт теории струн может объяснить, как константы природы, которые мы наблюдаем, могут принимать свои значения, необходимые для существования жизни, без вмешательства всеблагого Творца».

Далее Вайнберг процитировал опубликованную в *New York Times* полемическую статью кардинала Кристофа Шёнборна, архиепископа Вены, в которой он писал, в частности: «Католическая церковь, оказавшись в оппозиции некоторым новым научным теориям, подобным неodarвинизму или гипотезе мультивселенной в космологии и изобретенным для того, чтобы отвлечь внимание от ошеломляющих научных доказательств целевых причин и высшего замысла, будет снова и снова защищать человеческую природу, провозглашая, что имманентное созидание в природе очевидно и реально». И затем Вайнберг, с излишней, на мой взгляд, патетикой, заметил: «По словам Мартина Риса, его уверенности в существовании мультивселенной достаточно, чтобы поставить на кон жизнь своей собаки; Андрей Линде при этом заметил, что готов поставить на кон свою собственную жизнь. Что касается меня, то я так твердо убежден в существовании мультивселенной, что готов поставить на кон и жизнь Андрея Линде, и жизнь собаки Мартина Риса».

– О чем и речь, – продолжал между тем Гросс. – В его реакции было что-то, напомнившее мне о том, что я испытал в 1984 году, когда

мы считали, что решение уже фактически у нас в руках, и это кружило голову. И тебе, Лео, это тоже кружило голову. Ставки чертовски велики. Так что ты открыт для острой критики.

– Но только пусть эта критика будет научной, – настаивал Сасскинд. – А примером научной критики может быть теорема, которая гласит, что в теории струн не существует метастабильных состояний деситтеровского пространства, или доказательство, что теория хаотической инфляции внутренне противоречива. Тогда это наука, Дэвид.

– Критика – это обязанность для всех тех, кто возводит шаткие теоретические конструкции и хочет сделать их менее шаткими, – возразил Гросс. – А я не должен доказывать, что от непродуманных определений рождается бессмыслица.

– Дэвид, вы видите возможности решения проблемы ландшафта? – спросила я. – Вы видите выход?

– Вижу ли я выход? Конечно нет! Если бы я его видел, то я сейчас был бы в гораздо более выгодном положении. Линия рассуждений, исходящих из антропного принципа, может быть разорвана только упрочением науки. Очень маловероятно, что я в свои шестьдесят лет подойду сейчас к решению этой проблемы с достаточной проницательностью. Но где же может находиться этот выход? Он в ответе на вопросы «что такое теория струн?» и «как построить последовательную космологию? одну осмысленную вселенную?» Сейчас у нас нет единой вселенной, которая имела бы смысл!

Я повернулась к Сасскинду.

– Даже если вы соглашаетесь с существованием ландшафта и множественностью миров, и даже если вы соглашаетесь, что определенные локальные физические законы вытекают из факта существования разумных наблюдателей, вы все равно не считаете метатеорию необходимой? Неужели вам не нужно чего-то единого? Не занимаетесь ли вы тем, что просто уходите от ответа на вопросы?

– Да. Все это, безусловно, верно. Абсолютно. Суть в том, что нам нужно описать все целиком, всю Вселенную или мультивселенную. И это научный вопрос, а не идеологический.

Дебаты продолжались несколько часов, а потом мы втроем пошли в пляжный ресторан, заказали на обед блюда из морепродуктов и счастливо болтали о физике. Я чувствовала себя в своей тарелке, как

если бы нас что-то связывало, как солдат, вернувшихся из боя. Услышав аргументы с обеих сторон, я не была полностью убеждена в правоте какой-либо из них. Точка зрения Гросса выглядела более привлекательной: я тоже вздохнула бы с облегчением, узнав, что физика определяется единственными и необходимыми элегантными уравнениями, а не случайным их набором, оказавшимся удачным. С другой стороны, я не была уверена, что Вселенная сильно заботилась о том, чтобы мне легко дышалось. И слияние ландшафта теории струн с теорией хаотической инфляции мультивселенной, по-видимому, пока не указывало на окончательное решение. В любом случае было слишком рано утверждать что-либо наверняка. Оставалось еще слишком много вопросов, на которые не было ответов.

Например: почему теория струн была настолько бесполезна в космологии? Почему, как сказал Гросс, она была неспособна описать единую Вселенную, которая бы имела смысл? Возможно, потому, что теории пока не существует, подумала я. Что же они имели в виду? И насколько опасны были эти свирепые бесконечности? Сасскинд сказал, что они были ахиллесовой пятой теории хаотической инфляции, не позволяя физикам вычислять вероятности и, в первую очередь, подрывая всю привлекательность идеи ландшафта. Гросс сказал, что в теории струн и космологии не хватает основополагающего принципа. Но какого? Если антропный принцип основан на невежестве, то что может быть сильнее его?

Я возвращалась обратно на восточное побережье и чувствовала себя подавленной от мысли, сколько еще мне предстоит изучить, но я была уверена, что нашла правильный путь. Мне нужно было углубиться в теорию струн, даже если ее еще не существует. Мне не терпелось вернуться к вопросам горизонтов событий, инвариантности, деситтеровскому пространству и зависимости от наблюдателя. Мне не терпелось узнать побольше о новом принципе дополнительности Сасскинда.

Внезапно мне в голову пришла тревожная мысль. Если мы действительно живем в мультивселенной, то количество компьютерных вселенных возрастает в геометрической прогрессии, а с этим и шансы на то, что наша Вселенная реальна, — что бы это ни означало, — становятся ничтожно малыми. Если это так и мультивселенная существует, Бостром с его маленькими комедиями выглядел еще более

ужасающим. А потом: я все еще не была убеждена, что существовало какое-либо фундаментальное различие между симуляцией и реальностью, поскольку взгляд на реальность, раскрывающий ее симуляционную сущность, может быть только богоподобным взглядом на реальность извне, а реальность, чем бы она ни была, не имеет «вне». Кроме того, гипотеза существования мультивселенной возникла как прямое следствие законов физики – теории хаотической инфляции и ландшафта теории струн, – которые сами по себе были разработаны, чтобы объяснить Вселенную, которую мы видим вокруг себя. Если Вселенная, которую мы видим вокруг себя, – это подделка, то законы физики не говорят нам ничего о реальном мире за пределами нашей симуляции, о мире, в котором существуют детали нашего компьютера и который, вероятно, вовсе не является частью мультивселенной, снижая наши шансы оказаться внутри симуляции первого уровня.

Мысли рвали мне мозг. Приближают ли они меня к окончательной реальности, или я двигаюсь по кругу? И если мультивселенная действительно существует, не означает ли это, что в ней есть бесконечное число моих копий и в их головах одни и те же мысли продумываются снова и снова, до бесконечности?

Боже, как это печально! Я чувствовала себя подавленной: эти размышления меня угнетали. Думать, что любая тривиальность, которая вышла из моих уст, транслируется в эфир снова и снова, тупо повторяясь в бескрайней и однообразной мультивселенной, было невыносимо. Я вдруг поняла, почему Борхес испытывал страх перед зеркалами: «это ужас призрачного раздвоения и размножения реальности». В мультивселенной я ощущала себя еще менее подлинной, чем в кошмарном мире Бострома, потому что там я, по крайней мере, могла бы представить себя уникальной, единственной в своем роде симуляцией, симулирующей меня самое. В мультивселенной же я не могла поручиться ни за одно слово, сказанное или написанное мной. Я не могла бы считать себя настоящим исходным вариантом себя, а всех остальных – просто углеродными копиями. Если мультивселенная реальна, тогда и я сама – всего лишь углеродная копия, а мои мысли – всего лишь факсимиле, мои слова так же пусты, как и все их отголоски. В бесконечной мультивселенной все, что я сделала, подумала или сказала, имело бы бесконечный вес и в то же

время ничего бы не значило. «Я» было бы «мы», и «нас» было бы пруд пруди.

В офисе журнала *New Scientist* я просматривала последние электронные препринты по физике, опубликованные на специализированном сайте Корнеллского университета [arXiv.org](https://arxiv.org). Вдруг мое внимание привлекло то единственное, что может заставить любую девушку хихикать и краснеть от восторга: новая статья Стивена Хокинга. Написана она была совместно с Томасом Хертогом, молодым физиком из ЦЕРН, и в ней говорилось о новом подходе в космологии, «основная идея которого состоит в том, что история Вселенной зависит от вопросов, которые мы задаем».

Заинтригованная, я углубилась в чтение. Теория струн, начинает статью Хокинг, предлагает целый ландшафт вселенных, «но остается невыясненным, какие рамки нужны, чтобы вписать космологию в ландшафт теории струн». *Сейчас у нас нет единой вселенной, которая имела бы смысл!* Проблема состоит в том, как объяснял Хокинг дальше, что теория струн возникла из представлений об S -матрице, из необходимости придать смысл странным столкновениям адронов. Моделируя столкновения частиц, физики описывают их с точки зрения наблюдателя, расположенного вне ускорителя, в котором две частицы несутся навстречу друг другу, и регистрирующего все, что происходит в результате их столкновения, оставаясь в счастливом неведении относительно всей промежуточной хитроумной путаницы. Это так называемый подход «снизу вверх»: когда вы точно знаете начальное состояние системы (шаг первый) и, отталкиваясь от него, можете проследить эволюцию системы во времени (шаг второй) и предсказать результат (шаг третий). Это прекрасно работает для лабораторных экспериментов, говорит Хокинг, «но космология ставит вопросы совсем другого характера... Ясно, что S -матрица – не подходящая наблюдаемая для получения таких предсказаний, так как мы живем в самом центре этого особого эксперимента». Другими словами, когда мы переходим к космологии, мы как раз и оказываемся той самой промежуточной хитроумной путаницей.

Каким образом отсюда, изнутри второго шага, мы можем получить информацию о первом шаге? Как нам определить начальное состояние Вселенной? Согласно Хокингу, мы не можем этого сделать.

Практически бесконечные величины энергии и плотности всего в новорожденной Вселенной делают ее принципиально квантово-механической. Вселенная, по словам Хокинга, находилась в квантовой суперпозиции всех возможных состояний. Поэтому мы не только не знаем точного исходного состояния Вселенной, но мы *и не можем его знать*.

Эти два обстоятельства – то, что мы застряли в середине эксперимента, и то, что у Вселенной квантовое происхождение, – делают S -матрицу и связанную с ней философию «снизу вверх» бесполезными для космологии.

Настало время переосмыслить Вселенную, говорил Хокинг, – а это означало, что рассматривать явления надо «сверху вниз». То есть начинать необходимо с наблюдателя и продвигаться по времени в обратном направлении до начала времен. Подход «сверху вниз, – писал Хокинг, – приводит к совершенно другому виду космологии и к другому соотношению между причиной и следствием». При таком подходе «истории Вселенной... зависят от того, что именно наблюдается, вопреки привычному представлению о том, что у Вселенной есть только одна, не зависящая от наблюдателя история». В моих воспоминаниях всплыла конференция в Дейвисе, когда Хокинг обрушился на теорию инфляции и я нацарапала в своей записной книжке для памяти: «Нет истории, не зависящей от наблюдателя».

В этом нужно было разобраться. Я позвонила в Лондон главному редактору, который, конечно, уже был наслышан о препринте. Он согласился, что мы должны опубликовать большой материал на эту тему, и, к моему великому облегчению, попросил меня заняться им.

Я знала, что взять интервью у Хокинга будет непросто или даже невозможно, поэтому решила начать с телефонного звонка Хертогу.

– Подход «сверху вниз» разрабатывается с тем, чтобы учесть в теории наше положение во Вселенной, – сказал Хертог мне по телефону. – Он очень хорошо подходит для наблюдателя, находящегося внутри Вселенной. И он, в отличие от подхода «снизу вверх», совсем не подходит, чтобы посмотреть на Вселенную глазами Бога.

Я попросила рассказать подробнее. Он объяснил, что в их теории два главных ингредиента – квантование с помощью

интегрирования по траекториям по методу Фейнмана и безграничная модель Хартла – Хокинга.

Фейнмановский интеграл по траекториям позволяет провести квантование, напрямую учитывая всевозможные истории частиц. Фокус с двойной щелью уже всех убедил, что, когда на фотон никто не смотрит, он, как черт в келью, пробирается несколькими путями одновременно. Когда я включаю лампу, фотон должен как-то попасть оттуда мне в глаза. Здравый смысл подсказывает, что он движется по прямой, но, как часто бывает в физике, здравый смысл меня обманывает. Если бы я могла проделать опыт с лампой много раз и записать интерференционную картину, возникшую в результате на моей сетчатке, я могла бы восстановить все пути, проделанные фотоном, и, по словам Фейнмана, я бы обнаружила, что каждый раз он выбирал новый путь из бесконечного их числа, – неважно, насколько маловероятным такой путь мог бы мне показаться. В одном случае он отражается от Луны, огибает лондонский Тауэр и, сбивая шляпу с Джона Брокмана, попадает мне на сетчатку. В другом – он пролетает над пирамидой Хеопса, катается на слонах и скользит вдоль горизонта черной дыры. В третьем – облетает всю Вселенную. Один раз. Два раза. Отражается рикошетом от каждого зеркала. Танцует хоки-поки. Он поворачивается вокруг себя.

Каждой траектории соответствует комплексная величина, получившая название амплитуды вероятности. Ее абсолютное значение представляет собой вероятность того, что фотон будет двигаться, не слишком удаляясь от этого пути, но кроме того, у амплитуды есть еще и фаза, как у всякой волны. Фазы разных амплитуд могут совпадать, и тогда амплитуды складываются, а могут оказаться противоположными, и тогда амплитуды вычитаются. Самые абсурдные траектории компенсируются другими столь же абсурдными, если оказываются в противофазе. Поэтому наибольший вклад в общую интерференционную картину даст та волна, которая распространяется вдоль наиболее вероятного пути, а это одновременно и наиболее рациональный путь, а именно – прямая линия от лампы до глаз.

Чтобы такое интегрирование работало, Фейнману пришлось прибегнуть к одному неожиданному математическому трюку: все пути надо складывать в мнимом времени. Мнимое время не в том смысле, что оно воображаемое, а в том, что координата времени выражена в

мнимых единицах: это значит, что его абсолютное значение всегда умножается на число i , такое, что $i^2 = -1$. И это, действительно, работает. Использование мнимого времени вместо реального позволяет вычислять вероятности так, что результаты расчетов совпадают с результатами экспериментов.

В начале 1980-х годов Хокинг и физик Джим Хартл решили применить фейнмановское квантование по траекториям к Вселенной в целом. Уилер впервые подчеркнул необходимость рассматривать Вселенную как квантовую систему, и Хокинг был одним из первых храбрецов, кто последовал этому совету. Только вместо суммирования амплитуд траекторий различных частиц во Вселенной, Хокингу и Хартлу пришлось суммировать амплитуды самой Вселенной, различных космических историй целиком, как они закодированы в геометрии пространства-времени.

Здесь тоже потребовалось мнимое время, – но теперь у его мнимости появились некоторые довольно далеко идущие последствия. Для космического времени обычно предполагается только два варианта: либо Вселенная всегда существовала, и поэтому время уходит в бесконечное прошлое, либо Вселенная имеет начало, и время начинается в сингулярности. Хокингу оба эти варианта одинаково не нравились. Если время существовало вечно, то дело плохо: не может быть никакой надежды объяснить, откуда оно взялось, поскольку оно ниоткуда не бралось, оно просто было. Если оно начинается с сингулярности, дело все равно плохо, поскольку законы физики там нарушаются и теряют свою объяснительную силу.

Если время мнимо, эти два страшных варианта остаются – мнимое время может уходить на бесконечность в прошлое или начинаться из сингулярности. Но есть и третий вариант. Мнимое время неотлично от пространства, и вполне возможно, что, оглядываясь в прошлое, вы видите младенчество Вселенной, всего на планковскую долю секунды отдаленную от Большого взрыва; то, что было временем, превращается в пространственное измерение, оставив во Вселенной четырехмерное пространство и вообще никакого времени. Там, где предполагалось, что время возникает из сингулярности, появляется новое пространственное измерение пространства, а сингулярность исчезает. У пространственно-временного континуума нет никакой кромки, оно теперь больше похоже

на поверхность сферы: конечной, но безграничной. Отсюда и название – безграничная.

Хокинг и Хартл поняли, что безграничная космология – это наша единственная надежда объяснить происхождение Вселенной изнутри. О такой Вселенной Хокинг писал: «она была совершенно самодостаточна – ничто извне на нее не влияло бы». Нет белых пятен на карте, нет разделения физики, нет границы в пространстве-времени, через которую что-то внешнее может проникнуть внутрь. Просто односторонняя монета – все внутри, и ничего снаружи.

Конечно, если рассматривать Вселенную в обычном времени, то сингулярность все равно будет присутствовать, как белое пятно на карте, как квантовый дракон. Но достаточно перейти к мнимому времени, и сингулярность исчезает, рана затягивается, мир снова цел.

«Это дает основание предположить, что так называемое мнимое время и есть настоящее, а то, что мы называем обычным временем, – это просто игра нашего воображения», – писал Хокинг в «Краткой истории времени». «В обычном времени Вселенная имеет начало и конец в сингулярностях, которые образуют границу для пространства-времени и в которых законы науки рушатся. Но во мнимом времени нет ни сингулярностей, ни границ. Так что, возможно, то, что мы называем мнимым временем, – нечто, действительно, более настоящее, а то, что мы называем настоящим, – это просто образ, который мы придумали, чтобы помочь себе описать то, на что, как мы думаем, похожа Вселенная. Но... бессмысленно спрашивать, какое из них более настоящее, „настоящее“ или „мнимое“. Все дело лишь в том, с помощью какого из них нам удобнее описывать действительность».

«Так мы проверяем что-то на реальность. Если можно найти хотя бы одну систему отсчета, в которой оно исчезает, тогда это не инвариант, оно зависит от наблюдателя. Оно не реально». В системе отсчета с мнимым временем сингулярность исчезает. Разве это не значит, что сингулярность никогда не была реальной? Что это просто артефакт выбора позиции наблюдателя?

Хокинг и Хартл предположили, что, поскольку вне Вселенной ничего нет и, следовательно, она должна быть причинно замкнута, то в континуальный интеграл Фейнмана должны быть включены только те траектории, которые используют третью возможность, открываемую мнимым временем, – ту, в которой сингулярность исчезает. Но это их

предположение о безграничности Вселенной все еще остается в рамках подхода «снизу вверх»: оно включает в себя ее любую возможную историю, которая начинается в состоянии «без границ», чтобы, после их суммирования, найти наиболее вероятную Вселенную.

Далее Хокинг и Хертог начали всю эту конструкцию переворачивать. Исходная точка теперь для них – не шаг номер один, а шаг номер два. Исходная точка истории – сегодня. Исходная точка истории – это мы.

Для этого, объяснил Хертог, вы выбираете результаты некоторых измерений в качестве начальных условий: скажем, нам известно, что Вселенная почти плоская, она расширяется, и величина космологической постоянной мала. После этого вы движетесь вспять и просчитываете всякую возможную историю Вселенной, – но только такую, чтобы она не приводила к границе в прошлом, – которая могла бы окончиться нашими настоящими наблюдениями.

– У Вселенной нет какой-то одной истории, всякая возможная история – ее, но у каждой своя амплитуда, – сказал Хертог.

При их суммировании волны вероятности будут интерферировать до тех пор, пока не останется только одна волна, она-то и будет историей Вселенной.

По мере того как Хертог говорил, до меня постепенно доходила вся странность этой идеи. Это не было похоже на реверс-инжиниринг Вселенной с целью раскрыть фактическую историю ее эволюции. Нет. Они говорили, что у Вселенной нет истории – история создается в тот момент, когда мы делаем измерения. В настоящее время. Сейчас.

– Будучи наблюдателями, мы играем активную роль, – сказал Хертог.

Делая измерение, мы вырезаем подмножество множества всех возможных историй, а из этих историй складывается единое прошлое.

Конечно, Хокинг и Хертог не первыми утверждали, что наблюдения, сделанные сегодня, могут определять прошлое. Первым был Уилер. Я в своих мыслях возвращалась к его эксперименту с «отложенным выбором» – хитроумной версии опыта с двойной щелью: наблюдатели выбирали, пройдет ли фотон по обеим траекториям или только по одной, даже если выбор сделан через миллиарды лет после того, как фотон начинает свое путь. «Прошлое не существует иначе как записанным в настоящем, – утверждал Уилер. – Решая, какие вопросы

наша регистрирующая квантовая аппаратура поставит сейчас, мы однозначно выбираем, о чем в прошлом имеем право говорить. То, что мы называем реальностью, состоит из нескольких стальных столбов, обеспеченных нам наблюдениями, пространство между которыми заполняется рыхлыми бумажными конструкциями – воображением и теориями».

Теперь Хокинг и Хертог применяли метод отложенного выбора не к горстке фотонов, а ко всей Вселенной. Большой взрыв, расширение Вселенной, 13,7 млрд лет космической эволюции... не то чтобы этого никогда не было – это происходит прямо сейчас. Прошрое Вселенной далеко от нас, но мы можем заглянуть в него с помощью наших телескопов, – и оно начинается вместе с нами. Мы выбираем себе подходящую историю Вселенной точно так же, как строим историю по книжке из серии «Выбери себе приключение».

Будучи подростком, я однажды подумала: «А что, если я только что родилась, буквально минуту назад, только мой мозг с самого начала набит ложными воспоминаниями, так что в действительности это первый момент моей жизни, хотя я и чувствую себя так, словно прожила уже целых пятнадцать лет?» Конечно, я не могла проследить в своих воспоминаниях всю свою жизнь до момента рождения. О первых годах жизни тоже не было практически никаких воспоминаний, лишь отдельные фрагменты извлекались из памяти семейными фотографиями и видеозаписями. Ощущение было таким, словно я проснулась в середине моей жизни и попыталась разобраться в ее истории, не зная ни начала ни конца. Но мысль о том, что переживаемый мною момент содержит в себе и все прочие моменты моей жизни, означала для меня тогда, что существование прошлого никогда не будет таким же загадочным, как существование настоящего, которое само по себе было своего рода началом – ускользающим, таинственным, не поддающимся описанию.

И все же, если уж до того доходило дело, я всегда признавала, что время хотя бы приблизительно реально и линейно, что оно, подобно пуповинной нити, связывает нас с моментами наших рождений, а до того – с космической историей, простирающейся сквозь пустоту, через интерстеллар, к звездам, в недрах которых формировались атомы наших тел, через сеть галактик, по склонам и выпуклостям пространства, пока не достигнет начала. Большого взрыва. Но

предположение о безграничности предполагает совсем другую историю: в ней нет начала, к которому можно прицепить какую-то нить. При приближении к Большому взрыву время становится пространством, а нить огибает угол, следуя кривизне нового пространственного измерения и свиваясь петлей вокруг себя, а затем, продолжая свой путь, возвращается обратно, туда, где оно и началось. Согласно предположению о безграничности, время – это пуповинная нить, которая связывает нас с самими собой.

Очень похоже на *U*-диаграмму Уилера, не правда ли? На этой диаграмме гигантское глазное яблоко пристально рассматривает прошлое. Вселенная порождает наблюдателя, но наблюдатель смотрит назад во времени и порождает Вселенную. Самонастраивающийся контур, неумолимый хронологический марш: сначала после, потом до.

Не является ли вся эта схема «сверху вниз» вопиющим нарушением причинности? Нарушением незыблемых законов физики? Я умирала от желания спросить об этом Хокинга. Хертог согласился переслать ему электронное письмо от моего имени. Он может и ответить, сказал мне Хертог, но не очень на это надейтесь.

Несколько дней спустя Хокинг ответил.

– Действительно ли существует что-то вроде обратной причинности? – спросила я его.

– Наблюдение конечных состояний... определяет различные истории эволюции Вселенной, – ответил Хокинг. – Однако эта обратная причинность видна лишь ангелу, наблюдающему Вселенную извне. С точки зрения червя, обитающего внутри Вселенной, существуют лишь обычные причинно-следственные связи.

На первый взгляд, в этом был свой смысл. Из-за пределов Вселенной, откуда вы могли наблюдать запутанные суперпозиции возможных историй, можно видеть, как наблюдатель в настоящем выбирает свое единственное прошлое. А наблюдателю внутри кажется, будто прошлое существовало всегда.

Но чем больше я думала, тем более странным все это мне казалось. Почему при взгляде на мир глазами Бога или ангела законы физики должны нарушаться? Логично было бы ожидать, что все как раз наоборот: с точки зрения Бога, когда природа воспринимается как единое целое, все приобретает свой смысл, разрозненные части

головоломки встают на свое место, законы физики обретают первозданную чистоту и полноту. Нарушив эту симметрию с ограниченной точки зрения единичного наблюдателя (червя), вы, надо полагать, увидите какие-то нарушения, зазубренные края разбитых деталей разломанной головоломки. Я записала мое сомнение в записную книжку: «Законы физики в целости только в пределах одного светового конуса?»

Если законы природы сохраняются только в пределах светового конуса данного наблюдателя, то законы физики действительно определенным образом привязаны к наблюдателям, как и писал Уилер. Означает ли это, что наблюдатель в некотором роде похож на радиоактивный маяк, «который светится в темной Вселенной»? У меня к этому времени уже накопилось множество вопросов, не дававших мне покоя.

Конечно, Хокинг и Хертог на самом деле не выделяли отдельных наблюдателей. Они не предполагали, что история Вселенной была для меня не такой, как для моего отца. Но это только потому, что измерения, которые я и мой отец могли бы использовать в качестве исходной информации для шага номер два – измерения геометрии Вселенной или скорости ее расширения, – были бы совершенно одинаковыми, учитывая, как близко мы находимся друг к другу по астрономическим масштабам. Но если бы в далекой галактике существовали некие наблюдатели, чьи световые конусы едва пересекаются с нашими, результаты их измерений, возможно, сильно отличались бы от наших. Если так, то вся их космическая история может быть отлична от нашей. Дело даже не только в том, что они вычислили отличную от нашей историю; они будут буквально жить во Вселенной с объективно отличным от нашего прошлым.

Значило ли это, что они жили бы в другой вселенной? Что Вселенная сама по себе не инвариант? Не реальная?

Я не была в этом уверена. Хокинг, казалось, был склонен считать, что это действительно так. И все же их модель была всего лишь моделью. В этой модели, исходящей из допущения, что вселенная должна содержать свое объяснение внутри себя, из интеграла по историям исключались все истории, имеющие сингулярность. Эта аргументация казалась мне достаточно сильной – каков конкретно мог

быть альтернативный вариант? Но в физике просто предположений недостаточно. Вы должны вывести их от чего-то более основательного.

Между тем, Хокинг и Хертог рассмотрели историю космоса, простирающуюся сверху донизу – то есть амплитуду вероятности, которая получается суммированием амплитуд всех историй, начинающихся от безграничного состояния и приводящих к тому состоянию Вселенной, которое мы наблюдаем сегодня. Амплитуду, содержащую вероятность каждого результата любого из измерений, какое нам угодно произвести. Интересно, что наиболее вероятной историей оказалась та, в которой Вселенная переживала краткий период ранней инфляции. Эта инфляция в истории «сверху вниз» не требовала обычной тонкой настройки, она не была хаотической и не производила чего-либо за пределами нашей наблюдаемой Вселенной. «История Вселенной начинается прямо сейчас, – записала я в своем блокноте, – и заканчивается космическим горизонтом. Тем не менее она выглядит так, словно началась 13,7 млрд лет назад и пережила краткий период инфляции. Наблюдатель заглядывает в прошлое и тем самым создает историю Вселенной, он видит именно ту историю, которая необходима в первую очередь для существования этого самого наблюдателя».

Я знала, что сторонникам хаотической инфляции не понравится новая теория Хокинга. В конце концов, она отрицала хаотическую инфляцию, обусловленную инфлатонным полем и покушалась на попытки создать что-либо за пределами нашего горизонта, не говоря уже о существовании бесконечной мультивселенной. Более того, она представила инфляцию как иллюзию, создаваемую наблюдателями. Просто ради прикола я взяла телефон и позвонила Андрею Линде, евангелисту инфляции, который наорал на меня тогда в Дейвисе, когда я предположила, что таинственная квадрупольная аномалия может заставить некоторых физиков отказаться от теории инфляции. Я спросила его, что он думает о теории Хокинга и приготовилась выслушать пламенную тираду. Но на этот раз его ответ был коротким и ясным: «Я на это не куплюсь».

Хартл, по понятным соображениям, относился более благожелательно к аргументам Хокинга. Как бы странно их теория ни выглядела, сказал он по телефону, это действительно единственный путь развития, учитывая наше место внутри Вселенной: «Это смена

точки зрения, но она, похоже, неизбежна. Космологам придется обратить внимание на эту работу».

Предположение Хокинга о безграничности убивало квантового дракона, удаляя сингулярность в происхождении Вселенной и позволяя нам объяснить Вселенную изнутри. Но была и другая причина, по которой космологам следовало обратить внимание на работу Хокинга и Хертога. Космология, построенная по их принципу «сверху вниз», давала ответ на вопрос Уилера – тот самый вопрос, который в течение многих лет отдавался эхом в моем мозгу: «Если уж антропный принцип, то почему антропный принцип?»

Абсурдное значение наблюдаемой темной энергии – лишь один из множества параметров, казавшихся необъяснимо подогнанными друг к другу, как будто специально для того, чтобы обеспечить существование биологической жизни, но именно его объяснить труднее всего. Такая тонкая настройка параметров – вещь очень шаткая: достаточно малейшего изменения одной или двух физических величин, и наше существование было бы невозможным. Если бы распределение вещества в ранней Вселенной было чуть более неоднородным, то на месте звезд и галактик образовались бы черные дыры. Если бы оно было немного более однородным, то мы бы не увидели космических структур. Если бы слабое ядерное взаимодействие было чуть более сильным, единственным элементом во Вселенной был бы водород; а если немного слабее, мы бы ничего не обнаружили во Вселенной, кроме гелия. В любом случае звезды не смогли бы сформироваться. Без звезд не было бы углерода, без углерода не было бы жизни. Сила гравитации тоже пришлась нам в самый раз: немного сильнее – и наше Солнце сгорело бы через каких-нибудь десять тысяч лет, слишком быстро для биологической эволюции. Если бы разность массы между протоном и нейтроном была немного больше, то атомы сами по себе были бы нестабильными. А тут еще эта дьявольски точно подогнанная космологическая постоянная.

Многие физики, следуя Сасскинду, объясняли такие совпадения с помощью бесконечно разнообразного вакуумного ландшафта, предсказываемого теорией струн, который физически реализовался в бесконечно большом числе вселенных, образованных в ходе хаотической инфляции. Именно это объяснение вызывало сполохи негодования во взгляде Дэвида Гросса.

Хокинг и Хертог купились на идею ландшафта в теории струн, — но они не принимали хаотическую инфляцию как физический механизм образования мультивселенной. Вместо этого они видели в разнообразных мирах, описываемых теорией струн, всевозможные истории, существующие не в физическом пространстве, а в математической суперпозиции, из которой выводится история нашей Вселенной. Вы можете по-прежнему использовать антропный принцип, чтобы объяснить очевидно тонкую настройку параметров, без каких-либо отсылок к чему-либо вне нашего собственного космического горизонта. Хокинг и Хертог перевернули концепцию ландшафта с ног на голову: вместо множества вселенных с одной историей у каждого теперь есть единая Вселенная с множеством историй.

Но если вдуматься, тонкая настройка имеет свой смысл в нисходящей космологии. В самом деле, ведь история Вселенной, вместе со всеми ее физическими свойствами, должна тогда определяться нашими наблюдениями, и это будет Вселенная, идеально подходящая для нас, — иначе как бы мы здесь оказались и смогли делать свои наблюдения? Объяснение совпадений на основе антропного принципа проблематично при построении космологии снизу вверх, потому что надо начинать с некоторого начального состояния, которое никак не зависит от наблюдателей, и Вселенная эволюционирует во времени до тех пор, пока где-то случайно не возникнут сами наблюдатели как побочный продукт законов физики и счастливого стечения обстоятельств. Полагая начальные условия около четырнадцати миллиардов лет назад делом случая, мы, конечно, можем только чесать в затылке, задаваясь вопросом, каковы были шансы обеспечить Вселенной все необходимые ингредиенты для приготовления невероятного рагу биологической жизни. Подход «сверху вниз» в космологии, со своей стороны, не вызывает таких вопросов. Вместо того чтобы начинать с космической истории и проследивать ее эволюцию до появления наблюдателей, «сверху вниз» космология начинает с наблюдателей и выводит историю. А начиная с факта существования жизни, вы обречены в конце концов получить дружелюбную в отношении жизни Вселенную.

«Почему антропный принцип? — записала я в своем блокноте. — Не потому ли, что Вселенная зависит от наблюдателя?»

Такие драгоценные мысли о жизни заставляют меня нервничать: любая теория, в которой люди или сознание вообще предстают как некоторого рода «специальный» ингредиент, тут же начинает казаться мне дикой. Но Хокинг и Хертог не предполагали, что сознание наблюдателей волшебным образом приводит к коллапсу волновой функции Вселенной. В их модели нет коллапса, а только интерференция амплитуд множества путей Вселенной через историю. Дело вовсе не в том, что для создания какой-то вселенной *требовалось* существование жизни, а в том, что жизнь *существует* в этой единственной Вселенной, и поэтому истории, дающие вклад в квантовую сумму, неизбежно приводят к существованию жизни. Что, конечно, походило на логический порочный круг. Или самонастраивающийся контур.

Я открыла новый документ в своем компьютере, засучила рукава и приготовилась писать свою статью. То еще было дело! В ней был и Стивен Хокинг, который говорил нам, чтобы мы оставили все свои старые представления о космологии – те, в которых существовало не зависящее от нас начало времени, около четырнадцати миллиардов лет эволюции, которые не имели ничего общего с нашими наблюдениями, некоторая независимая реальность и прошлое, «как оно было на самом деле». Комбинируя идеи Уилера с ландшафтом теории струн, Хокинг заставил меня подумать, что, может быть, мы довольно скоро вычеркнем Вселенную из нашего списка кандидатов на окончательную реальность.

Закончив статью, я послала ее Хертогу для проверки на неточности формулировок и сказала ему, что, если он сочтет нужным, он может переслать ее Хокингу. Несколько дней спустя в мой почтовый ящик пришел ответ. В нем были самые лучшие слова, на которые мог рассчитывать псевдожурналист – охотник за реальностью: «Статья на удивление хорошо и ясно написана. Стивен».

Солнечным апрельским утром 2008 года я радостно заглянула в офис журнала *New Scientist*, собираясь начать очередной день охоты за реальностью, но мой коллега, редактор, встретил меня мрачно. Улыбка исчезла с моего лица.

– Что случилось?

– Скончался Джон Уилер.

Я была в шоке. Я лишилась дара речи. Не скажу, что это было неожиданно: ему было девяносто шесть лет. Но это сообщение я восприняла как удар.

– Вы ведь знаете его работы, да? – спросил коллега. – Может быть, напишете некролог?

Я молча кивнула. Я чувствовала себя убитой горем. Многие годы мы с отцом мечтали, как напишем когда-нибудь книгу о природе реальности, а Уилер ее прочитает. Как ни странно, мне всегда казалось, что мы напишем ее для него. В моем воображении мы лично доставляли ему только что отпечатанные экземпляры, и он сразу же жадно принимался читать. Закрыв последнюю страницу, он бы захлопнул книгу, посмотрел на нас и, вспомнив загадочные слова, которые произнес несколько лет назад в Принстоне, сверкая глазами, сказал: «Я вижу, вы все поняли. Хорошая работа».

Расположившись в своем рабочем кресле, чтобы начать сочинять некролог, я отправила отцу эсэмэс с плохой новостью: «Уилер умер».

Мой телефон сразу завибрировал в ответ: «Это печальный день для реальности».

Глава 9

Ключ к разгадке тайны Вселенной

Мне кажется несправедливым, что время Уилера истекло. Что Вселенная исчезла из его бытия, прежде чем у него появился хотя бы шанс разрешить ее загадку. Когда четыре его вопроса – Почему квант? Бытие от бита? Интерактивная Вселенная? Отчего существование? – по-прежнему висели в воздухе, как капли дождя.

Висели не только они. Что из себя представляют самонастраивающийся контур или граница границ? Как мы теперь сможем расшифровать, что все это значит?

Пока я писала некролог, я вспомнила тот день в Принстоне. То благоговение, которое мы испытывали, когда советовались с оракулом, то оцепенение, в котором стояли перед домом Эйнштейна. Тот день был началом чего-то. Того, что привело меня сюда, в Кембридж, в редакцию журнала *New Scientist*, где я день за днем ряжусь в маскарадный костюм журналиста.

А маскарад ли это? Остается ли личина журналиста всего лишь личиной по прошествии всех этих лет? Сколько времени должно пройти, прежде чем меня покинет ощущение, будто это была какая-то шалость? Наверное, каждый человек чувствует себя в своей жизни немного мошенником, думала я. Возможно, так оно и есть.

Или, может быть, проблема состояла как раз в том, что обман закончился. Я взялась за эту работу, чтобы использовать ее как прикрытия для чего-то другого. Не слишком ли я увлеклась средствами, забыв о цели? Или, что еще хуже, может быть, я забыла, с чего все началось?

Скорбя по Уилеру, я поняла, что скорбела по чему-то еще. Я медленно повернулась в кресле, оглядывая пустой офис. Где мой отец? Где он был, когда я размышляла о горизонтах событий в квантовой квартирке в Ноттинг-хилл? Где он был, когда я обсуждала проблемы мультивселенной на пляже Санта-Барбары или вопросы небулевой логики в отеле *Tribeca Grand*? В Блумсбери? В гостинице *Holiday Inn*? Где он был тогда? Где он сейчас?

Мой план заполучить для нас постоянный пресс-пасс и доступ к внутреннему миру физики сработал, но где-то по пути я сбилась с курса, начала употреблять личные местоимения в единственном числе, организовывать жизнь под себя. Конечно, это должно было случиться, но все же... Пять лет назад, весенним днем, когда я решила поехать на конференцию в Дейвисе без него, я, сама того не зная, запустила цепь событий, которые закончились здесь, в офисе, в рабочем кресле, в одиночестве. Написано ли прошлое теперь несмываемыми чернилами? Взгляни я на вещи иначе, получила бы я теперь другую волновую функцию? Выбрала бы новую историю? Запустила бы квантовый процесс идущего сверху вниз сожаления?

А как вся эта история теперь видится глазами отца? Смотрит ли он с гордостью издалека, как его дочь живет общей мечтой, чувствует ли причастность к миру физики опосредованно через ее жизнь, счастливо проводя время в тихом пригороде? Или он погряз в ежедневных заботах, продолжая свою жизнь по инерции и наблюдая, как его идеи ускользают от него, его собственное изобретение скрывается за горизонтом, как последняя электричка или угнанный автомобиль? Может быть, в какой-то другой вселенной мы бежали без оглядки с лужайки перед домом Эйнштейна. А может быть, мы по-прежнему продолжали поиск реальности вместе. Может быть, Уилер был еще жив и шел дождь. Это не имело значения, однако, потому что я живу в этой Вселенной.

— Какой стыд, что мы так и не поговорили с ним еще раз, — сказал отец.

Я кивнула в знак согласия и с сожалением глотнула холодной газировки.

Был разгар лета в Бостоне, родители приехали из Филадельфии, чтобы меня навестить. Втроем мы сидели на моем балконе, с видом на залитый солнцем Мемориал-драйв и реку Чарльз. Бостонский городской пейзаж на противоположном берегу отражался в стакане газированной воды. Счастливая мать занималась вязанием, пока мы с отцом говорили, как обычно, о физике. Это была идеальная модель идеального дня.

— А почему вы этого не сделали? — спросила мама, не отрывая глаз от вязания.

– Мы не могли, – сказала я. – Около года назад я связалась с Кеном Фордом, его бывшим сотрудником. Я хотела узнать, можем ли мы организовать интервью с ним, но Форд сказал мне, что Уилер переехал в дом престарелых. Это не значило, конечно, что мы не можем его посетить, но мне показалось тогда, что это получилось бы как-то слишком неуважительно.

– С каких это пор тебя беспокоит, что уважительно, а что нет? – рассмеялась мама.

– Мы могли бы прикинуться врачами и войти в его комнату, – сказал отец. – Мы бы начали задавать ему процедурные медицинские вопросы, но потом мы спросили бы его о природе реальности. Вы испытываете затруднение при дыхании? Вы испытываете тошноту? Что это значит, что граница границы равна нулю?

– Ты же врач! – сказала я.

Он усмехнулся:

– О, да!

– Во всяком случае, он тогда уже настолько плохо слышал, что разговор был бы невозможен, – сказала я.

– А что теперь? – спросила мама.

– Я не знаю.

Это было угнетающе. Казалось, что с уходом Уилера тайна его загадочных фраз приобрела еще более глубокий смысл. Конечно, я знала, что он еще не нашел ответы на свои вопросы о Вселенной, – иначе мы бы слышали об этом. Имя Уилера получит всемирную известность как ученого, сделавшего значительный вклад в фундаментальную физику. Нобелевский комитет, возможно, соберется и примет соответствующие решения. Но на этом физика не закончится, и я была убеждена, что вопросы Уилера были ключами к разгадке тайн реальности.

Может быть, я просто хотела поверить в это, потому что это было так романтично и так захватывало, что заставляло меня чувствовать себя важной, как будто я каким-то образом несла факел Уилера, который он намеревался вручить какому-нибудь выдающемуся физику в тот день в Принстоне, но его зрение ослабло, и он ошибочно передал его мне. Нам. Теперь, спустя годы, его пламя замерцало, угрожая

погаснуть, и все, что я могла разглядеть, – это был дымок, мелькающий в воздухе, как крысиный хвост.

– А как насчет людей, которые его знали? – спросил отец. – Его бывшие студенты? Они имеют представление о том, что Уилер думал об этом.

Я подскочила в кресле.

– Точно! Мы можем поговорить с людьми, которые знают, что он имел в виду, произнося эти слова. Мы могли бы сказать, что пишем про это статью.

– Зачем мне писать статью? – спросил отец.

Хорошо.

– Ладно, тогда мы скажем, что мы пишем книгу.

– Ты пишешь книгу, – сказала мама.

Я кивнула:

– Ты права.

Это было правдой – в некоторой степени. Мы говорили об этом на протяжении многих лет – с тех пор, как мой отец предложил написать книгу вместе, как только мы найдем ответ на загадку Вселенной, книгу, которую, как я мечтала, когда-нибудь представил бы сам Джон Брокман. Каждый раз, когда я посещала дом моих родителей, мы с отцом, уходя наверх в нашу физическую библиотеку, говорили маме в оправдание, что мы должны «работать над нашей книгой». Каждый раз, когда я отказывалась пойти с друзьями на вечеринку, предпочитая посидеть над книгами по физике, я говорила им, что занята «работой над нашей книгой». «Наша книга» стала центральным персонажем в нашей жизни, и все же она существовала не иначе как отдаленная мечта. Ни одного слова не было написано в ходе этой работы. Она состояла исключительно в исследовании Вселенной. Она была делом нашей жизни. Думая о ней, я прихожу к выводу, что никогда на самом деле не делала различия между моей жизнью, нашей книгой и Вселенной. Если бы я была по-настоящему честна с самой собой, я была бы вынуждена признать, что, хотя я и не согласна с Бостромом относительно симулированной реальности, у меня всегда было такое чувство, что я живу внутри нашей книги, которая материализуется, как только мы разгадаем тайны Вселенной. Написание книги всегда означало поиски ответа, и ответ всегда принимал форму книги, которой

суждено было когда-нибудь остаться одной в нашей опустевшей библиотеке.

Практически все оказалось взаимосвязано. Мы говорили людям, что пишем книгу, чтобы расспросить их про загадки Уилера, и, в свою очередь, решения этих загадок позволило бы нам, наконец, написать свою книгу. Это была жизнь, имитирующая магическое искусство. Самозапускающееся заблуждение.

Центр астрономии и астрофизики имени Кэхилла в Калифорнийском технологическом институте располагается в здании, выстроенном в странном современном стиле. Оно выглядит так, как будто его возводила калибровочная сила, совмещающая несколько несоответствующих друг другу систем отсчета.

Мы с отцом приехали в город Пасадену в Калифорнии, чтобы поговорить с Кипом Торном, одним из бывших студентов Уилера. Я заметила, что отец взволнован перед встречей со знаменитым физиком.

– Я всегда думаю о нем как о герое фильма «Звездный путь», – сказал он, когда мы подошли к зданию.

Чтобы найти дорогу от вестибюля на первом этаже до кабинета Торна, потребовалось немало усилий. Мы долго плутали в странной хитроумной системе коридоров.

Торн действительно немного походил на капитана Пикара – такой же высокий и лысый, но с остроконечной козлиной бородкой. Он любезно нас приветствовал и предложил присесть.

– Мы разговаривали с Джоном Уилером на конференции несколько лет назад, и он тогда сказал две довольно загадочные фразы, – начала я. – Он сказал, что Вселенная – это самонастраивающийся контур, а затем, в ответ на вопрос о Вселенной, образованной из ничего, он сказал, что граница границы равна нулю. Можете ли вы рассказать нам что-нибудь о том, что эти фразы означают?

– Рассуждая математически о границе границы, вы можете рассчитывать вывести некоторые геометрические свойства пространства-времени, например его кривизну. Я не знаю, как использовать это в объяснении рождения Вселенной. Эта идея никогда не казалась мне особенно полезной. Мы с Джонни расходились во мнениях относительно полезности этого принципа.

самонастраивающимся в том смысле, что наблюдения проводятся изнутри Вселенной, а не извне. Когда я говорю это, все звучит довольно просто, но, на мой взгляд, идея гораздо глубже, чем кажется.

Я кивнула.

– Именно биологическая жизнь необходима, чтобы проводить наблюдение?

– Я думаю, что он так считал, – сказал Торн. – Разумные существа возникают по мере естественного развития Вселенной. Есть человек, который поможет вам глубже разобраться в этом вопросе, – это Войцех Журек. Он работал с Уилером в Техасе, когда Уилер развивал эту идею. Я провел очень мало времени с Уилером в те годы, но уверен, что это очень глубокая мысль. Журек – лучший в мире эксперт в этой области.

– А вы что думаете о наблюдателях? – спросила я, надеясь, что Торн может что-то добавить.

– Я склоняюсь к мнению, что они вообще не имеют никакого значения, – сказал он.

Не имеют никакого значения? Как же можно добраться до окончательной реальности без учета различий в том, что они видят?

– Мы пришли к выводу, что инвариантность, независимость от позиции наблюдателя – это основной критерий, позволяющий судить об окончательной реальности чего-либо, – сказала я. – Но мы не думаем, что наблюдатели должны обязательно быть разумными и вообще живыми в каком-либо смысле. Просто системы отсчета.

– То есть вы не считаете реальным пространство? И время? – спросил Торн. Он выглядел потрясенным и раздосадованным.

– В конечном счете ни пространство, ни время не реальны, – сказала я, удивляясь его реакции. «Не стоит обижаться на меня, – подумала я. – Пожалуйста, все претензии к Эйнштейну!»

– Вы не согласны?

– Как физики мы были чрезвычайно успешны в построении математических моделей, которые обладают большой предсказательной силой, но мы не смогли разработать набор инструментов и критериев, чтобы ответить на вопрос, что такое окончательная реальность. Я думаю, что философы в этом вопросе ориентируются намного лучше. Но только философы, разбирающиеся в физике, смогут добиться успеха на этом пути. Я предпочитаю не спрашивать, что такое окончательная реальность.

Достаточно честно, подумала я, хотя и трудно было представить, что ученик Уилера мог испытывать отвращение к фундаментальным вопросам.

– Разве Уилер не оказал влияние на ваше мышление как физика? – спросила я.

– У Уилера была поразительная способность догадываться о причинах явлений, опираясь на физическую интуицию. Осознание ее мощи и эффективности сильно на меня повлияло. Уилер сделал много больших открытий с помощью интуиции, хотя в конечном счете их следовало проверить с помощью математики. Из физиков моего поколения наиболее эффективно пользовался подходом Уилера Стивен Хокинг. По понятной причине он не мог делать сложные математические вычисления после того, как у него парализовало руки, поэтому его главным инструментом стала сильная физическая интуиция – плюс способность к решению геометрических и топологических задач в уме.

– Вы можете рассказать какие-нибудь истории об Уилере? – спросил отец.

– Я расскажу вам одну, – предложил Торн. – Сейчас ведется много дискуссий по поводу идеи ландшафта в теории струн. Некоторые квантовые законы, имеющие определенный вид в нашей Вселенной, возможно, выглядят совсем иначе в других вселенных.

И Торн рассказал, как Уилер – по обыкновению, одним из первых – много думал об этой проблеме. Суть заключалась в том, что законы физики не существуют в каком-то мире идей, платоновской области за пределами Вселенной, а рождаются вместе с рождением вселенной и умирают вместе с ее смертью. Он даже придумал подходящее слово – «мутабельность».

– В 1971 году Уилер получил приглашение провести семестр в Калтехе. Как-то мы с ним и Фейнманом пошли пообедать в ресторан «Бургер Континенталь». Уилер рассказывал нам об этой мутабельности и спросил: «От чего же могут зависеть законы в нашей Вселенной?» Фейнман повернулся ко мне и сказал: «То, что говорит этот парень, кажется дичью. Но *все*, что он говорит, кажется дичью!»

Мы все засмеялись.

– А над чем вы работаете сейчас? – спросила я.

– У меня творческий поиск в других сферах, – ответил Торн. – Я снимаюсь в двух научно-фантастических фильмах в Голливуде и пишу статьи для *Playboy*.

Отец громко рассмеялся, но быстро понял, что смех неуместен, закашлялся и, нахмутив лоб, постарался быть серьезным:

– Что же побудило вас так поменять сферу деятельности?

– У меня хорошие гены, и я, наверное, проживу до ста лет, – сказал Торн. – Но я не могу продолжать делать действительно большую теоретическую физику в течение длительного времени. Я решил, что сейчас как раз подходящее время изменить направление деятельности и заняться тем, что я смогу делать в течение нескольких десятилетий. Кроме того, мне стало скучно.

– Облом вышел, – сказала я, когда мы вернулись в отель.

Мы надеялись получить ответы на некоторые вопросы, а получили только вербальный эквивалент пожиманию плечами. Торн не видел никакого глубокого смысла во фразе о границе границ, он очень много говорил о том, что эта идея бесполезна.

Может быть, она и была бесполезной. Неважно, что она звучала интригующе, – никто не гарантировал, что эта фраза несет в себе сияющую истину. Может быть, в ней не было ничего, кроме бессловесного страдания стареющего физика, который знал, что подходит к концу отпущенное ему время, или даже просто стареющего человека, который не знал, что подходит к концу отпущенный ему ум. Опять же, как сказал Фейнман, все, что Уилер говорил, казалось дичью. Но часто он бывал прав.

– По крайней мере, теперь мы знаем о Журеке, – сказал отец. – Это полезно.

И то правда. Торн сказал, что Войцех Журеке, физик из Лос-Аламоса, был лучшим в мире экспертом по Уилеровскому самонастраивающемуся контуру.

Я кивнула:

– Что ж, едем в Нью-Мексико.

Мы поселились в скромной гостинице в стиле пуэбло, расположенной в окружении белых стен из адобы, увитых зеленью, среди которой тут и там виднелись огненно-красные гроздья перца.

День мы провели, прогуливаясь по картинным галереям на Каньон-роуд и обсуждая природу реальности.

На следующее утро мы отправились в Лос-Аламос, до которого было сорок пять минут езды. Наш путь пролегал вверх, к плато Пахарито, расположенному на высоте в семь тысяч футов над уровнем моря, в «город, которого никогда не было». Семь десятилетий назад правительство решило построить Лос-Аламосскую национальную лабораторию в качестве секретного штаба проекта «Манхэттен». Физики со всей страны оставили свои родные университеты и переехали сюда, чтобы создать атомную бомбу и положить конец Второй мировой войне. Уилер, изложивший свою теорию атомной бомбы в совместной с Бором статье по делению ядер, работал тогда в городе Хэнфорд штата Вашингтон на ядерном реакторе, нарабатывавшем для Лос-Аламоса плутоний. Время от времени он приезжал в Нью-Мексико обсудить служебные дела, а заодно и электродинамику с Фейнманом.

В 1944 году, в начале своей работы в Хэнфорде, Уилер получил открытку от своего младшего брата Джо, который сражался на передовой в Италии. Она содержала всего одно слово: «Поторопись». Но Манхэттенский проект привел к созданию бомбы только к следующему июлю, почти через год после того, как Джо был убит. В двухстах милях к югу от Лос-Аламоса, в пустыне Хорнада-дель-Муэрто, они провели испытания своего плутониевого «гаджета», взорвав первую в истории атомную бомбу. Физики наблюдали за взрывом «Троицы» из безопасного укрытия в базовом лагере, расположенном в десяти милях. Они увидели ослепительную вспышку, потом повеяло нестерпимым жаром, в завершение прошла мощная ударная волна, и над местом взрыва появилось грибовидное облако, поднявшееся на высоту более чем в семь миль, отчего песок в пустыне превратился в стекло на тысячи футов вокруг. Роберт Оппенгеймер, директор лаборатории, торжественно процитировал строки из «Бхагавад-Гиты»: «Я стал смертью, разрушителем миров».

Коллеги-физики еще не оправились от ужаса, а Уилер, испытывая чувство вины за смерть брата, сожалел, что они не смогли закончить свою работу быстрее. «В истории от заднего ума не много проку, — писал он в 1998 г. — Но я не могу удержаться от размышлений о своей собственной роли в этом проекте. Я мог бы раньше осознать всю

тяжесть германской угрозы, чем я это сделал. Я бы мог, вероятно, повлиять на людей, принимающих решения, если бы я попытался. Более пятидесяти лет я живу с мыслью о смерти моего брата. Мне нелегко вычленить влияние именно этого события на мою жизнь, но одно ясно: будучи приглашен на государственную службу, я был обязан согласиться». Так, в 1950 году, когда ему было предложено работать над созданием водородной бомбы, Уилер согласился. Он переехал сюда, в Лос-Аламос, и целый год жил в бывшем доме Оппенгеймера.

Пересекая на автомобиле Столовую гору, я подумала, что это странно, что все вокруг было пропитано этой трагической историей. Странно думать, что такие неясные и абстрактные идеи, как теория относительности и квантовая механика, идеи, которые мой отец и я обсуждали более десяти лет, в которых, казалось, материального было не больше, чем в интеллектуальных головоломках, – привели к таким невообразимо реальным последствиям. Реальным не в смысле инвариантности и независимости от наблюдателей. Реальным в смысле крови, огня и горя.

Мы довольно легко нашли дорогу в жилой пригород, где жил Журек. Журек был крупной фигурой в области квантовой теории информации. Вместе с Биллом Вуттерсом, тоже студентом Уилера, он доказал теорему, известную как теорема о запрете клонирования, которая гласит: невозможно создать идеальную копию произвольного, не измеренного заранее квантового состояния. Он также сделал решающий вклад в понимание процесса, известного как квантовая декогеренция, который объясняет, почему повседневный, макроскопический мир не похож на квантовый.

Даже если вы попытаетесь, вслед за Бором и членами его Копенгагенской школы, провести границу между наблюдателем и наблюдаемым, разделив мир на «макроскопическую», или «классическую», и «микроскопическую», или «квантовую», части, вы всегда сможете подвинуть эту границу в сторону более крупных масштабов, превратив в наблюдаемое и часть наблюдателя, переместив внутрь бывшее снаружи, сузив классическое ради расширяющегося квантового. Почему тогда мы не замечаем признаков суперпозиций – тех интерференционных полос, которые проявляются в опыте с двойной щелью, – когда мы измеряем длину дивана, или рост ребенка, или положение Луны? Почему в большом мире классические

вероятности, которые предполагают, что все всегда имеет только одно, то или иное, положение, работают настолько хорошо, хотя, как мы знаем, явления должны описываться на языке квантовых вероятностей, которые предполагают, что до того, как мы провели измерение, все находилось в нескольких состояниях одновременно?

Все дело в декогеренции – таков ответ, полученный во многом благодаря Журеку. Идея проста. Интерференционные узоры образуются, когда складываются вместе волновые функции, описывающие два возможных состояния системы: скажем, одна волновая функция описывает прохождение электрона через щель А, а другая – прохождение электрона через щель В. Когда фотопластинка регистрирует электроны, каждый из них попадает в случайную точку на пластинке, но их распределение определяется вероятностями, закодированными в суперпозиции волновых функций. Положение полос интерференционного узора определяется разностью фаз двух волн: там, где вероятности складываются в противофазе и компенсируют друг друга, возникают темные полосы, а там, где фазы волновых функций одинаковы, они усиливают друг друга, и появляются светлые полосы. Поскольку разница фаз между волнами остается постоянной для всех электронов, то суперпозиция когерентна. Если, однако, электроны распространяются в среде, например в воздухе, в конечном итоге они будут на своем пути взаимодействовать с миллиардами молекул. Каждый раз, когда электрон будет проходить через щель, разность фаз волновых функций будет изменяться случайным образом от одного измерения к другому. В этом случае уже не будет единой для всех электронов когерентной суперпозиции, определяющей распределение вероятности расположения светлых и темных полос. Вместо этого результат измерений будет определяться волновыми функциями для каждого электрона отдельно: как если бы электрон всегда проходил через одну щель и никогда – через две щели одновременно. Распределение электронов на фотопластинке окажется именно таким, какого следовало бы ожидать, имея дело с неквантовыми частицами.



Мы с Войцехом Журеком в Лос-Аламосе.
Фото: У. Гефтер.

Размазывая когерентность суперпозиций и придавая квантовым распределениям вероятностей классический вид, декогеренция в среде, на первый взгляд, приводит к обрезанию квантовых волновых функций, превращая множество возможностей в единственную актуальную действительность. В реальности никакого коллапса волновых функций не происходит. В реальности электрон запутывается с каждой молекулой воздуха, с которой он взаимодействует, его волновая функция накладывается на волновую функцию каждой молекулы. В реальности все становится еще более квантовым. Мы просто этого не замечаем, потому что мы не наблюдаем за молекулами воздуха. Если бы мы измеряли не только электроны и регистрирующий их прибор, но также окружающую их среду, мы бы увидели такую интерференционную картину, какую до сих пор никто никогда не наблюдал.

Журе́к встретил нас в дверях своего дома. Он тепло нас приветствовал, но выглядел немного диковато — с взлохмаченными рыжими волосами, такого же цвета бородой и тяжелым польским акцентом. Мы проследовали за ним в большую гостиную, которая была выполнена в юго-западном стиле: облицованный камнем камин в одном конце комнаты и панорамные окна от пола до потолка, с видом на горы и каньоны внизу, — в другом.

— Как вы познакомились с Уилером? — спросила я, едва мы расселись на диванах.

— В 1975 году я начал работать над дипломом в Техасском университете, а через год туда приехал Джон Уилер, — начал Журе́к. — Я ходил на его лекции по электродинамике. Особенно мне нравилось, когда Джон пытался вывести что-нибудь на доске. Иногда у него это не получалось, и вместо того чтобы испытывать досаду, он перечеркивал написанное и выводил большими буквами «неверно». Такая свобода в признании права на ошибку стала для меня одним из самых важных уроков. Еще через год или два я записался на его семинар по квантовым измерениям. Там мы знакомились с новыми безумными идеями — и тоже, случалось, не оставляли от них камня на камне. Как будто опять писали на доске «неверно». Вы можете увлекаться безумными идеями, но в какой-то момент им надо дать честную оценку. После этого я стал приверженцем подхода Уилера к изучению физики и квантовой механики. Не просто квантовой механики — чего-то значительно большего. Проблема квантовых измерений, если заняться ею серьезно, приводит к завораживающему открытию, уводящему далеко за пределы собственно квантовой физики: вы начинаете понимать, как мы, наблюдатели, живые существа, существуем во Вселенной. Как наше существование согласуется с физическими законами.

— И с тех пор значительную часть своего внимания вы сосредоточили на проблеме, как классический мир возникает из квантового, — сказала я.

— Суперпозиция означает, что если у вас есть два квантовых состояния, то вы можете их комбинировать в произвольной пропорции, получая новое квантовое состояние, — пояснил Журе́к. — Пока нет декогеренции, любое такое состояние, любая суперпозиция любых суперпозиций законна. И все же Луна находится где-то в одном месте, а

кошки – либо живы, либо мертвы. Эйнштейн указывал, что квантовая механика замкнутых систем не дает объяснения такой однозначности. Его дает декогеренция.

– Недавно вы предложили теорию, которую назвали квантовым дарвинизмом, – выпалила я. – Я встречала где-то упоминание о ней, но не могла понять, в чем заключается теория.

– Квантовый дарвинизм идет значительно дальше одной только декогеренции. Он начинается с признания, что мы ничего не измеряем напрямую, – сказал Журека. – Мы просто выделяем объекты из окружающей среды. Вот вы сейчас смотрите на меня. Мы находимся всего в паре метров друг от друга. Среди всех регистрируемых вами фотонов вы выделяете крошечную долю тех, что были рассеяны на мне – и это единственная причина, по которой вы знаете, где я нахожусь и как я выгляжу. Очевидно, что эта информация рассеяна вокруг меня во множестве копий. Для декогеренции достаточно одного вопроса. Но в реальной жизни окружающая среда занудно задает один и тот же проклятый вопрос множество раз и распространяет один и тот же скучный ответ во все стороны. Мы выхватываем лишь крошечную его часть.

Что ж, это было интересно. Главное отличие квантовой информации от классической заключается в том, что, получая бит квантовой информации, вы тут же ее изменяете. У вас возникает запутанное квантовое состояние. Вы не можете взглянуть на квантовое состояние, получить какую-то информацию о нем и пойти себе – пусть теперь другие на него смотрят. В этом суть теоремы о запрете клонирования, которую многие физики считают одним из проявлений важного физического закона, полагая, что в будущем на его основе они разработают средства, обеспечивающие тайну переписки и кодирования конфиденциальной информации. Квантовое сообщение невозможно перехватить, не изменив его при этом. Даже если ко мне случайно попадет одно-единственное квантовое состояние, единственный бит квантовой информации, – больше никакой другой наблюдатель никогда не сможет увидеть его в прежнем виде. Оно не может быть инвариантом. Что такое? Сбитая с толку, я записала себе в блокнот: «Может ли быть реальным единичное, уникальное квантовое состояние? Или реальность раздается в порядке живой очереди?»

– Таким образом, объективная реальность возникает тогда, когда в нашем распоряжении существует достаточное количество копий, чтобы все мы пришли к согласию о том, что мы наблюдаем? – спросила я.

– Да, именно так, – ответил Журек, кивая. – В том-то все и дело. Надо понять объективность. В квантовой Вселенной мы ничего не измеряем напрямую. Если бы я проводил прямое измерение системы, я бы нарушил ее состояние. Но я никогда не делаю этого, потому что, как правило, среда сама делает измерения за меня. Она принимает решение, какой набор состояний измерить и размножить, а я никогда не взаимодействую с системой непосредственно. Я просто использую окружающую среду в качестве свидетеля. Наблюдатель получает информацию, которая уже широко распространена в окружающем пространстве.

– Много лет назад у нас был разговор с Уилером, и тогда он произнес две загадочных фразы. Мы надеемся, что вы можете рассказать нам, что он имел в виду. Первый тезис состоял в том, что Вселенная представляет собой самонастраивающийся контур.

– Я думаю, что это была такая формула, вроде даосской. Ее предназначение в том, чтобы вдохновить вас. Не похоже, что под этим крылось что-то конкретное. Он нарисовал свою картинку, где большое U с глазом рассматривает себя, – мне нравится этот рисунок. Но я не знаю, как передать смысл этой формулы на языке математики. Поговорите с космологами: антропный принцип сегодня набирает все больше и больше сторонников и восходит отчасти к работам Джонни Уилера. Я не сторонник этой идеи, она мне кажется чем-то не совсем законным, как будто от нас скрывают что-то важное. Но в ней есть признание связи между тем фактом, что мы наблюдаем Вселенную, и тем, что она пригодна для существования наблюдателей. И если существует огромное множество возможных вселенных с разными физическими законами, то условие возможности существования наблюдателей может рассматриваться как фильтр, который позволит выбрать из этого множества небольшое подмножество вселенных, удовлетворяющих этому условию. Но я не думаю, что эта точка зрения в полной мере отражает точку зрения Уилера. Я думаю, что он предполагал уникальность Вселенной.

Вдруг мне пришло в голову, что декогеренция должна подрывать роль наблюдателя, представлявшемуся Уилеру столь существенной для

определения реальности.

– Он говорил об интерактивной Вселенной, поскольку квантовая механика предполагает, что наблюдатели проводят измерения, которые и служат причиной существования вещей, – сказала я. – Процесс декогеренции не делает ли это излишним?

– Как правило, вместо вас измерение выполняет окружающая среда. Но бывают ситуации, когда вы имеете дело с квантовой системой непосредственно. В этом случае выбор остается за вами: как вы хотите настроить свой измерительный прибор и что именно вы собираетесь измерять. Мысленный эксперимент Уилера с отложенным выбором – это фантастический пример, когда вы действительно имеете дело непосредственно с квантовой системой. В большинстве случаев из-за декогеренции беспокоиться о выборе не приходится. Но наша Вселенная позволяет нам многое, в том числе и вещи, которые носят характер прямого вмешательства.

– Если говорить об окончательной реальности, то различия между наблюдателем и окружающей средой быть не может, – подтвердил отец. – С определенной точки зрения, наблюдатель – это система или часть фотонов и молекул окружающей среды. Поэтому, когда вы выстраиваете формализм...

– Что вы имеете в виду под окончательной реальностью? – Журек прервал отца. – Систему отсчета, которая находится за пределами Вселенной и из которой можно наблюдать, как ведет себя волновая функция в целом? Хорошо. Но это позиция Бога, а не наша. Мы находимся внутри. «Окончательная реальность» – это большой ковер, под который вы можете замести много чего важного. Тем не менее, я думаю, отталкиваясь от нее, можно задать важные вопросы. Один из них, на который стоит обратить внимание: почему система? Это, вероятно, ваше направление мысли, верно? Почему бы не наблюдатель, не окружающая среда и не измерительный прибор – три в одном? Мой предварительный ответ состоит в том, что если вы не подразделяете Вселенную на системы, то у вас нет проблемы измерения. Поэтому вам не следует испытывать угрызения совести из-за того, что у вас имеются системы, когда вы пытаетесь найти решение.

В этом был определенный смысл. Со своей точки зрения, с точки зрения тех, кто внутри Вселенной, мы всегда стараемся подразделить ее на системы, следуя принципу Бора: наблюдатель и наблюдаемое или

наблюдатель, наблюдаемое и окружающая среда. Как отмечал мой отец, сами категории не могут быть онтологически выделены – они всегда, в некотором смысле, зависимы от системы отсчета. Но, как говорит Журек, может быть, правильнее ставить вопрос о необходимости такого разделения вообще? Я подумала: а не дала ли Фотини Маркопулу уже ответ на него – световые конусы? Благодаря конечной скорости света мы все живем с ограниченной перспективой, наши горизонты вырезают области в едином мире, образуя системы. Существование темной энергии – и, как следствие, деситтеровского горизонта – делает эти горизонты еще более устойчивыми, а квантовую Вселенную – разделенной навсегда.

– Вторая фраза Уилера звучала так: «граница границы равна нулю», – сказала я.

– Ну, это действительно так, – подтвердил Журек. – Если у вас что-то окружено границей, нет нужды возводить еще одну. Оно уже замкнуто. Это наблюдение, закономерность, и оно поразительно просто. Всегда нужно стремиться давать всему простые объяснения.

«Если у вас что-то окружено границей, – записала я в своем блокноте, – нет нужды возводить еще одну. Это так просто?»

Я ждала, что Журек скажет еще что-то, но он молчал.

– И это все? – спросила я. – Мне казалось, что Уилер имел в виду что-то более глубокое.

– Я думаю, что ему нравилось в малом видеть великое. Чарли Мизнер, Кип Торн и я написали статью об Уилере, и мы включили в нее фотографии его записей на доске. Среди них была цитата на латыни. Мы долго не могли перевести ее, потому что наши познания в латыни оставляли желать лучшего, но это оказалась фраза Лейбница, которую он произнес после того, как понял, что если у вас есть всего два элемента, ноль и единица, то с их помощью вы можете построить полную математику. Добавление единицы к нулю дает вам все. Я думаю, что это в духе Уилера.

Это напомнило мне о теории множеств, о построении множества целых чисел из пустого множества путем простого заключения его в скобки.

– Разве тот факт, что граница границы равна нулю, на самом деле дает вам рецепт, как это сделать? Как получить все из ничего? –

спросила я, отчаявшись услышать что-то более существенное. — У Уилера это звучало как ключ к разгадке.

Воображение нарисовало мне такую картину: Журек глубоко вздохнул, словно говоря: «Я знал, что однажды ко мне придут с подобной просьбой. Но я не подозревал, что это день настанет сегодня». Затем он подошел к очагу и надавил на кирпич в стене. Открылась секретная дверца, и за ней, в тайнике, стоял сундучок, обитый черным бархатом. Журек взял сундучок и направился обратно к дивану, где сидели мы с отцом, замерев и широко раскрыв глаза. Он нес сундучок двумя руками, словно боялся, что тот выпадет из его рук и наступит конец света. Я заметила *U*-диаграмму Уилера, вытесненную золотом на крышке. Журек остановился перед нами и приоткрыл крышку. Изнутри засиял ослепительный белый свет. Когда наши глаза привыкли к нему, мы увидели в самом центре, — который казался чем-то бесконечно далеким, но совершенно отчетливым, — разгадку тайны Вселенной.

На деле же Журек всего лишь пожал плечами:

— Я не знаю, что еще сказать.

Я вздохнула и решила пустить все на самотек.

— Мы пытаемся выяснить, что такое окончательная реальность, — сказала я. — Мы определили реальность чего бы то ни было как его инвариантность, независимость от наблюдателя. А что вы думаете о реальности?

— Мы убеждены, что наш язык достаточно хорошо развит, чтобы описать мир, в котором мы живем, но это не получается, — сказал Журек. — Он развивался с очень специфическими целями, далекими от фундаментальной физики. Философы пытаются заставить вас принять некий набор слов, но все эти слова становятся ненужными, когда вы начинаете всерьез размышлять о физике. Мой взгляд на реальность основан на том, что философы называют интерсубъективностью. Это то, о чем говорит квантовый дарвинизм. Реальность — это то, по поводу чего мы соглашаемся. В этом смысле реальность — это инвариант. Но эта инвариантность — а следовательно, и квантовая реальность — не фундаментальна, она становящаяся и приближительная. Громкие слова соблазнительны, но посмотрите на них внимательно: вы же не знаете, что они значат.

Я кивнула, хотя была уверена: я знаю, что такое реальность.

– Если не ошибаюсь, вы с Уилером много работали над выяснением роли информации в физике, – сказала я.

– Мне бы очень хотелось понять причину, по которой информация начинает что-то значить, – сказал Журека. – Джон был гораздо смелее и пытался использовать ее как основу всего. Связь между информацией и реальностью – если использовать слово, которое я только что отмел как ненужное – крайне интересна. В классической физике информация абсолютно нереальна. Есть объекты, и информация просто описывает их; вы пользуетесь информацией о них. Совершенно субъективно. В квантовой механике информация приобретает фундаментальное значение. Уилер представлял себе картину, в которой наблюдатель пробивает границу. Информация за пределами ньютоновской физики, но внутри квантовой; это – физическое явление. Это абсолютно принципиальная вещь. Моя цель – понять, откуда она берется в квантовой механике. Но их связь часто похожа на улицу с двусторонним движением. Допустим, вы поняли, как информация появляется в квантовой механике, а затем вы переворачиваете вопрос и пытаетесь понять, как квантовая механика вытекает из более глубокого понимания информации. Джонни Уилер научил нас, как относиться к этой идее всерьез.

– Почему информация становится реальной в квантовой физике? – спросила я. – Из-за ее бинарности: в ней все можно описать с помощью битов?

– Дело не только в этом. В классической физике вы можете определить состояние какой-то системы, а потом придет кто-то другой и тоже определит состояние той же самой системы и получит тот же самый результат, что и вы. В квантовой механике такое, как правило, невозможно. Полученная информация ничего не говорит о том, какой была реальность до этого момента. Получение информации само как-то *определяет* реальность. Это близко идее Уилера об интерактивной Вселенной. Конечно, в повседневной жизни такого не происходит – обычно мы имеем дело с декогеренцией, и информация распространяется благодаря квантовому дарвинизму, но все-таки законы физики допускают и такое. Здесь есть что-то, чем мы не должны пренебрегать. Это ключ к разгадке, как устроена Вселенная.

Отъезжая от обочины, мы увидели койота, перебегающего нам дорогу. Он остановился на мгновение перед машиной и посмотрел на нас. Его шкура и кости – не более чем иллюзия, подумала я, воплощение информации, частичная объективность, продукт квантового дарвинизма, бесконечное повторение битов, избыточно рассеянных по пустыне.

– Похож на флейтиста из *Jethro Tull*, – сказал отец.

– Койот?

– Журек.

– Это было действительно интересно, – сказала я. – Но я так и не поняла, что хотел сказать Уилер.

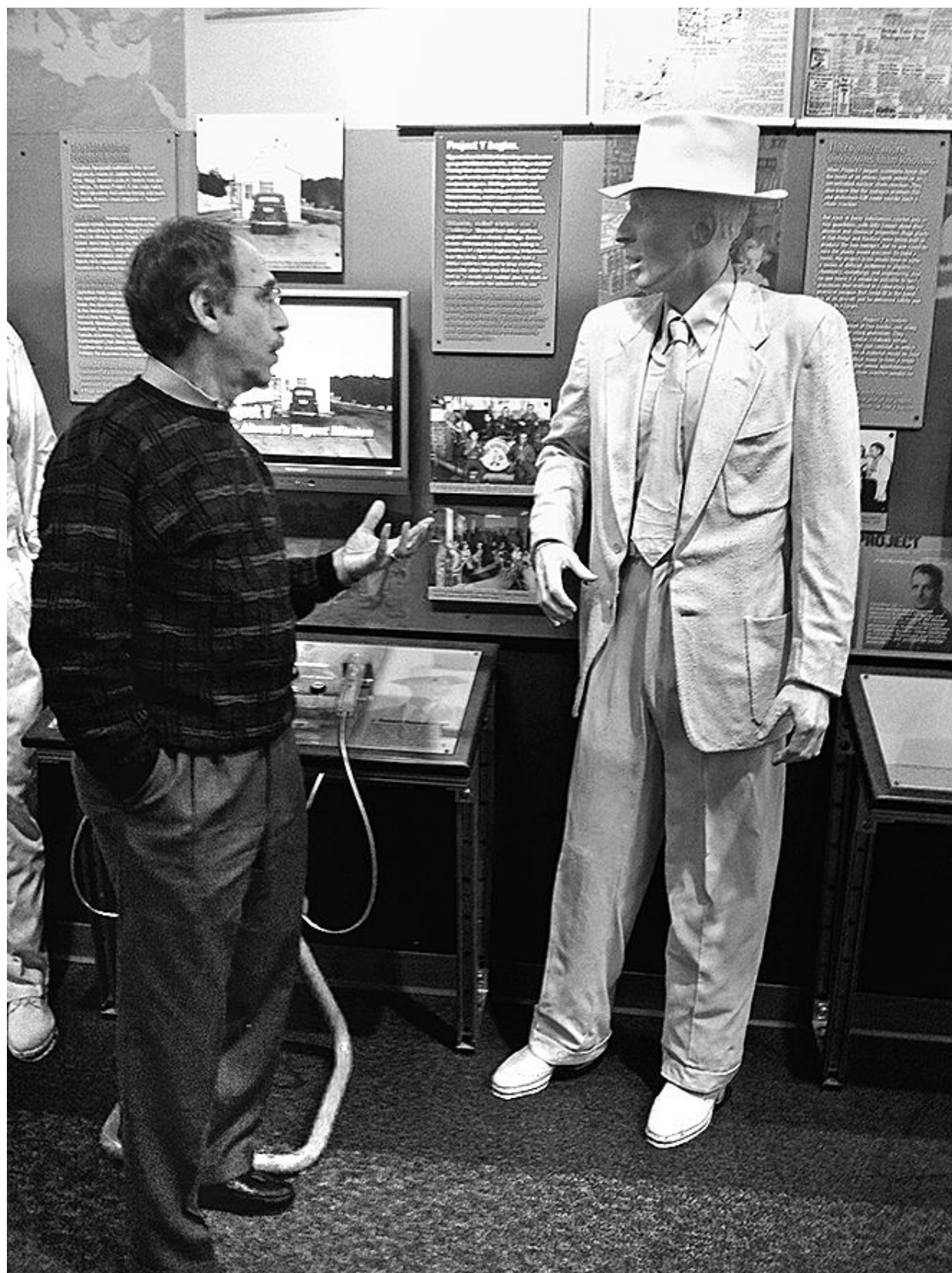
– Может быть, ничего особенного? – предположил отец. – Может быть, так и было, как он сказал – некий дзэнский коан или что-то еще, что могло бы нас заставить думать по-новому?

Я пожала плечами:

– Это было бы очень скучно. Чем мы займемся теперь?

Мы решили посетить научный музей Брэдбери, в котором были представлены экспонаты, рассказывающие об истории Лос-Аламосской национальной лаборатории, Манхэттенского проекта и ядерного оружия.

– Когда я был ребенком, может быть лет одиннадцати, у меня была коллекция горных пород и минералов, – сказал отец, когда мы въехали в город. – И кто-то дал мне образцы тринитита. Я не помню кто. Они были похожи на остекленевшие камни, которые образовались в результате испытания бомбы. В пакете с образцами лежала картинка с изображением взрыва. Я был совершенно очарован. Тогда я принял этот образец за криптонит.



Отец «разговаривает» с восковым Робертом Оппенгеймером в Музее науки Брэдли в Лос-Аламосе.

Фото: А. Гефтер

Когда мы бродили по музею, я думала о том, что говорил Журеку. Даже если декогеренция делает за нас большую часть созидательной работы, существует еще некая неопределенность, которая требует, чтобы наблюдатель сделал выбор – выбор, который привнесет информацию в мир, создавая Вселенную бит за битом, как и предполагал Уилер. Это ключ к тому, как эта Вселенная устроена. Декогеренция, как сказал Журеку, эффективно отвечает на вопрос, почему мы не видим интерференционных эффектов – проявление квантовой суперпозиции – в повседневной, макроскопической жизни. Но еще более глубокий вопрос: почему любая интерференция должна исчезать?

– То, что сказал Журеку о различии между классической и квантовой информацией, было любопытно, – сказал папа, делая вид, что говорит со статуей Оппенгеймера. На разрушителе миров была шляпа, как у Брокмана. – Стало быть, классическая информация описывает нечто, а квантовая информация и есть это самое нечто.

– Эй, смотри! – сказала я, указывая на небольшую коробку сбоку от статуи Оппенгеймера.

Коробка была заполнена мелкими сероватыми камнями. «Новый искусственный минерал, названный тринититом», – объясняла надпись на коробке.

– Это те самые камни, о которых ты говорил!

– О да!

Отец заглянул в коробку, улыбаясь, как будто он только что заново обрел давно потерянную игрушку из далекого детства. Но как только он прочитал описание, улыбка исчезла, сменившись выражением растерянности и беспокойства.

– Серьезно, а кто же дал мне эти камни? Они ведь радиоактивные! А мои родители позволяли мне сидеть и держать их в руках...

Я была рада, что мы приехали сюда. Я чувствовала, что мы стали чуть ближе к пониманию того, о чем говорил Уилер. Согласно Журеку, слова о самонастраивающемся контуре означали, что наблюдатели могут создавать информацию – следствие, по-видимому, того факта, что

мир разделен на части, а это, в свою очередь, следствие того, что мы находимся внутри Вселенной и не можем посмотреть на нее извне, как Бог. Граница границы – простой геометрический факт, что «если у вас что-то окружено границей, нет нужды возводить еще одну», как-то говорит о способе создания информации из ничего, но я все еще не понимала как. Она построена из битов, а биты – из ничего. Фундаментальные вопросы остались без ответа. Декогеренция помогает скрыть квантовую природу реальности, но почему реальность вообще квантовая? Вопрос Уилера остался висеть в воздухе, как ядерный гриб над Нью-Мексико в пустыне. *Почему квант?*

Вернувшись домой, я начала искать в интернете дополнительную информацию о бывших студентах Уилера, пытаюсь найти еще кого-нибудь, кто бы мог помочь нам расшифровать его загадочные фразы. Мне на глаза попала статья об Уилере в журнале *Alcade* за 1978 год. Это был номер, посвященный выпускникам Техасского университета в Остине. Статья была написана через год после приезда Уилера в Техас. Один абзац особенно привлек мое внимание:

«Когда ему в голову приходит новая идея, он с ней делает что? – вопрошал автор. И тут же давал ответ: – Он записывает ее на бумаге, делает запись в своем блокноте. Доктор Уилер сохранил почти сорок таких блокнотов, с того самого момента, как начал делать записи во время войны. ...Когда он разговаривает с коллегой, он записывает все, что человек говорит ему, а потом он записывает, что думает об этом разговоре. Когда его просят прочитать лекцию, он планирует, что он будет говорить, делая записи в тетради черными чернилами, красивым разборчивым почерком. Если соседский ребенок поздравил его с днем рождения, если он купил открытку в чужой стране, если он просмотрел развеселивший его мультфильм, – обо всех этих событиях он делает записи в своем блокноте, сохраняя их для себя и на радость будущим историкам науки».

Вот это номер!

Уилер хранил свои дневники? Сорок штук? Записи всех его мыслей и разговоров? Это было в 1978 году. Сколько еще он успел записать за последующие три десятилетия? Что случилось с ними? Как нам получить их?

Я знала, что мы должны делать – найти эти дневники!

Глава 10

Очередная тоска про Алису в стране чудес

В университете штата Аризона в Темпе физик Лоуренс Краусс выступил с инициативным проектом, целью которого было исследовать «происхождение Вселенной, звезд, планет, жизни, сознания, культуры и социальных институтов». Я задумалась: что же это могло быть? Для затравки они создали крупный симпозиум, и редакция журнала *New Scientist* командировала меня, чтобы осветить это событие. В течение трех дней непрерывно выступали крупнейшие ученые, чьи имена были хорошо известны. Но, собираясь утром на первое заседание, я думала только об одном: Брокман.

В первый день проходили заседания физиков, обсуждавших познаваемость происхождения Вселенной. Андрей Линде превозносил преимущества гипотезы существования мультивселенной, в то время как Дэвид Гросс качал головой и, казалось, был готов убить кого-нибудь. Гут и Виленкин весьма оптимистично описали трудности, возникающие при попытках делать предсказания в рамках модели мультивселенной. Затем Гросс взял топор и пошел против всех. Мы не знаем, что представляет собой теория струн: она не предлагает последовательной космологии, технические и концептуальные основы теории хаотической инфляции слишком шатки в лучшем случае, и мы просто не знаем правил игры, – сказал он. Прибегать к идее мультивселенной – это лишь отговорка. Мы должны искать реальные ответы. Собравшиеся одобрительно гудели.

Как ни странно, никто не упомянул о тех проблемах космологии, которые я бы сочла самыми важными. Например: что значит говорить о «нашей Вселенной», когда каждый зависящий от наблюдателя деситтеровский горизонт событий ограничивает свою собственную вселенную? Как мы можем выйти за рамки квазиклассического представления об инфляции и понять квантовое происхождение Вселенной? Может ли быть, что момент рождения Вселенной надо искать не в прошлом, а в настоящем, исходя из идеи «сверху вниз»

моделирования и уподобляя рождение Вселенной отложенному выбору с пуповиной, петлей обвитой вокруг шеи наблюдателя?

Во время вечернего коктейля в университетском музее искусства я бродила по открытой площадке, заговаривая то с тем, то с этим. И тут я увидела его. Вернее, его панаму. Мне не нужно было видеть голову, которую она накрывала. Во рту пересохло, и сердце отчаянно забилося. Я вытащила телефон и написала отцу: «Брокман здесь! Что делать?» Через минуту мой телефон завибрировал в ответ: «Паникуешь?»

«Все дело в стратегии, – сказала я себе. – Мне просто нужна стратегия».

Я придумала хороший план: оставаясь на вечеринке, соблюдать безопасную дистанцию и репетировать, что бы я могла сказать, если мне хватит смелости.

Но не вышло.

Милан Кундера говорит, что каждое действие – это автопортрет того, кто действует. В этот вечер картина была такова: девушка, прижавшись к стене, явно стараясь быть незаметной, пристально наблюдала из-за угла за мужчиной в панаме. Название картины – «Возьми себя в руки».



Шелдон Глэшоу, Дэвид Гросс, Андрей Линде, Пол Дэвис, Алекс Виленкин и Алан Гут (слева направо) на симпозиуме в университете

штата Аризона.

Фото: Д. Фальк.

На следующий день лекции проходили в «Боулдерсе» – шикарном курорте в Скоттсдейле, где среди холмов пустыни Сонора возвышаются огромные гранитные останцы, возраст которых насчитывает двенадцать миллионов лет, и гордые гигантские кактусы-карнегии. Во время перерыва между заседаниями все вышли в холл, где подавали кофе и закуски. Я стояла, болтая с Дэном Фальком, внештатным журналистом, с которым я познакомилась на конференции в Дейвисе, а потом мы еще несколько раз встречались на конференциях по физике. Мы делились впечатлениями о только что прослушанных лекциях и обсуждали, у кого можно было бы взять интервью.

– Честно, – призналась я, – мне бы очень хотелось поговорить с Джоном Брокманом. Но я боюсь.

– Вот твой шанс, – сказал Фальк, указывая подбородком в дальний конец зала, позади меня.

Я обернулась. Там стоял Брокман в своем белом льняном костюме и панаме, недоступный, круче Тома Вульфа, и разговаривал в компании нобелевских лауреатов. Такие разговоры не прерывают. Но в конце концов нобелиаты потянулись к аудитории, а Брокман на несколько минут остался один. Я должна была представиться. Я не могла упустить такую возможность, даже если все у меня внутри кричало от животного ужаса: «Бежать, бежать!»

Фальк рассмеялся, когда я, сделав глубокий вдох, выпрямила спину и двинулась к Брокману. И тут меня охватила паника: в последнюю секунду я отклонилась в сторону и начала махать рукой воображаемому коллеге, которого якобы только что заметила. Как побитая я вернулась в аудиторию. Это было поражение.

Следующее заседание завершилось перерывом на обед, который нам подавали в обеденной зоне курорта, в нескольких минутах ходьбы от отеля. Я шла по улице и заметила, что Брокман стоит у дверей. Я набралась мужества и...

– Вас зовут Джон? Я бы хотела представиться. Мое имя Аманда Гефтер. Я работаю в редакции журнала *New Scientist*.

Я протянула было руку, но Брокман оставался неподвижен.

С суровым выражением лица он посмотрел на меня сверху вниз, а затем хриплым голосом сказал:

– Я вас знаю.

Я не ожидала такого ответа. Я не знала, как реагировать, и поэтому переспросила с недоумением:

– Знаете?

– Роджер говорил о вас, – сказал он.

Роджер – это, очевидно, был Роджер Хайфилд, британский научный журналист, который недавно стал редактором журнала *New Scientist*. Я знала, что он написал несколько научных книг, но я не знала, что он был одним из клиентов Брокмана. Мысль о том, что Роджер Хайфилд и Джон Брокман говорили обо мне, показалась мне забавной, хотя и сюрреалистической. Однако у меня было сильное подозрение, что проходил разговор как-то так:

Брокман: Как жизнь? Много теперь забот с *New Scientist*?

Роджер: Да все бы ничего, если бы не эта Аманда Гефтер, из-за которой, вероятно, на нас подадут в суд и обанкротят журнал.

(Я недавно опубликовала заметку, в которой высказала мнение, вызвавшее угрозы судебного преследования.)

Я виновато потупилась:

– Из-за меня у Роджера неприятности.

Брокман уставился на меня сверху вниз и произнес с одобрением:

– Это очень хорошо.

Я улыбнулась. То, что Брокман одобрил небольшой скандалчик, не стало для меня неожиданностью. Я открыла рот, чтобы ответить, но он, видимо, решил, что этих трех фраз с меня достаточно, и двинулся прочь – поговорить с кем-то более важным.

Вернувшись в Кембридж, я собиралась углубиться в идеи Сасскинда о дополнительности на горизонтах событий. Брокман убедил его написать об этом книгу, так что тема была важна, и я об этом знала. Я также знала, что если бы я могла написать об этом статью для журнала, то это дало бы мне прекрасный повод побольше общаться с Сасскиндо, чтобы закончить разговор, который мы начали на берегу океана в Санта-Барбаре.

– Он говорит, что это новая и более фундаментальная форма принципа относительности, – сказала я одному из выпускающих

редакторов, прекрасно зная, что никакой редактор не сможет устоять перед соблазном получить большую статью, в которой речь идет об Эйнштейне. У таких тем есть неотразимый шарм. Мне дали зеленый свет, и я немедленно связалась с Сасскиндом.

По телефону он мне сообщил, что все началось с парадокса, непосредственно связанного с монументальным открытием Хокинга. Когда черные дыры излучают, они испаряются, их радиус уменьшается, и в конечном счете они должны будут исчезнуть из Вселенной, забрав с собой все, что в них упало. Хокинг считал, что если слон падает в черную дыру, а потом черная дыра испаряется, то она забирает слона вместе с собой, не оставляя никаких следов, ни одного бита информации о его странном исчезновении.

Для Сасскинда такой сценарий был не что иное, как кризис.

— В физике мы исходим из того, что информация никогда не теряется, — сказал он мне. — В квантовой механике это означает, что начальное состояние может быть восстановлено по конечному состоянию. Это очень, очень принципиальное положение. Квантовые состояния должны что-то значить. В физике, как мы знаем, все основывается на том, что информация сохраняется, даже если она сильно перемешивается.

Если какой-то физический закон, вроде закона сохранения информации, может нарушаться на границе черной дыры, он может нарушиться и в любом другом месте. Либо мир описывается квантовой механикой, либо нет — достаточно построить один сценарий, в котором она не работает, и вся она становится совершенно бесполезной. По словам Сасскинда, если в черных дырах может теряться информация, все здание квантовой механики рухнет. Уравнение Шрёдингера, которое описывает эволюцию квантовой системы во времени, потеряло бы смысл. Волновые функции сдулись бы и опали. Распался бы любой намек на связь будущего с прошлым. Предсказания, сделанные на основе квантовой механики, выглядели бы абсурдно, так как сумма вероятностей оказалась бы когда-то меньше, а когда-то и больше единицы.

С другой стороны, если черные дыры не теряют информацию, то с общей теорией относительности надо попрощаться. Потому что существует только одна реальная возможность сохранения информации от испарения в небытие. Она не может выбраться из внутренностей

черной дыры, потому что пересечение горизонта в обратном направлении потребует сверхсветовой скорости. Единственная надежда была на то, что информация никогда не падает в черную дыру, и, в первую очередь, на то, что горизонт как-то препятствует ее прохождению в царство теней.

Этот сценарий, однако, нарушает принцип эквивалентности, краеугольный камень общей теории относительности. Самой счастливой находкой Эйнштейна была мысль о том, что свободно падающий наблюдатель всегда ощущает себя находящимся в инерциальной системе отсчета, свободной от сил тяготения, что неизбежно подтвердит любой физический эксперимент. Как человек, падающий с крыши, так и слон, падающий в черную дыру, не чувствуют сил тяготения. Любой физический эксперимент убедит слона, что он находится в состоянии покоя. «Гравитация» – это фиктивная сила, которую мы вводим, когда, наблюдая за слоном из какой-то другой системы отсчета, обнаруживаем у него необъяснимое ускорение. Это способ обеспечить переход из одной системы отсчета в другую с сохранением хотя бы подобия единства реальности.

Если слон покоится в своей собственной системе отсчета, то никакая непроницаемая стена не материализуется внезапно перед ним. Стенки, блокирующие поток информации, не появляются из ниоткуда – по крайней мере так, чтобы при этом не нарушались законы физики.

– Из принципа эквивалентности следует, что если вы находитесь в окрестности, где кривизна пространства-времени невелика, то с вами не должно происходить ничего странного или неожиданного, – объяснил Сасскинд. – Кривизна вблизи горизонта небольшая, поэтому, проваливаясь сквозь горизонт, никто не должен испытывать ничего странного. Информация, чтобы не быть потерянной, никогда не должна пересекать горизонт. С другой стороны, принцип эквивалентности говорит, что горизонт – это не какое-то особое место, поэтому информации ничто не мешает пройти прямо через него.

На первый взгляд, в этих рассуждениях была какая-то ошибка: почему это кривизна вблизи горизонта черной дыры должна быть маленькой? Логично предположить, что она там весьма велика, учитывая, что черная дыра все притягивает к себе сильнее любого другого объекта во Вселенной. Но если размер черной дыры достаточно велик, пояснил Сасскинд, то гравитационные приливные силы на

горизонте будут ничтожно малы. А при произвольном размере черной дыры у вас всегда есть возможность выбрать настолько малый участок поверхности горизонта, что пространство вблизи него окажется в достаточной мере плоским, чтобы не мешать потоку информации и не изменять предписаниям Эйнштейна.

Это был идеальный парадокс: информация не могла быть потеряна, не нарушая квантовой механики, и она не могла сохраниться, не нарушая общей теории относительности. Хокинг принял сторону Эйнштейна и предпочел спасти теорию относительности, жертвуя слонем и квантовой механикой. Но Сасскинд был убежден, что нельзя отказаться от квантовой механики, не отказавшись при этом и от всего окружающего нас мира. Интуиция говорила ему, что информация никогда не пересекает горизонт, но он должен был найти способ сохранить при этом принцип эквивалентности.

На самом деле, несложно показать, что информация никогда не пересекает горизонт с точки зрения ускоренного наблюдателя, находящегося вне черной дыры. Читая об излучении Хокинга, я уже убедилась, что Сэйф, то есть тот наблюдатель, который движется с ускорением, увидит световые волны до крайности растягивающимися, а время замедляющимся вплоть до полной остановки при достижении горизонта. Сэйф не видит ничего, что падает за горизонт, поскольку для него ничего по ту сторону не существует. Для него горизонт означает границу реальности, конец света. Сэйф не может потерять никакой информации, поскольку ей некуда деться.

Все становится иначе, когда речь заходит о другом наблюдателе, которого мы называли Скрудом. Он устремляется прямо сквозь горизонт, потому что из-за принципа эквивалентности горизонта для него не должно существовать. С его точки зрения, огромный массив информации, содержащейся в его собственном теле, может легко перейти в черную дыру, даже если и не сможет выбраться оттуда обратно. Сэйф говорит, что информация остается за пределами горизонта; Скруд говорит, что она внутри черной дыры. Сасскинд был убежден в том, что если бы каким-то образом обе этих версии были истинны, то ни квантовая механика, ни общая теория относительности не были бы нарушены, и порядок в мироздании был бы сохранен.

Для того чтобы обе версии происходящего были истинны, информация, казалось бы, должна была существовать в двух местах

одновременно, – так, словно каждый ее бит клонирован в две идентичные версии. К сожалению, такой сценарий исключался теоремой Журека о запрете клонирования, откуда и возникала проблема. В самом деле, если бы квантовую частицу можно было клонировать, то можно было бы перехитрить принцип неопределенности. Вы бы могли измерить положение в пространстве одного клона и импульс другого, и тогда вы бы точно знали значения сопряженной пары, – и принцип неопределенности оказался бы нарушен. Но принцип неопределенности нельзя перехитрить. Информация не может быть клонирована. Снова Сасскинд остался один на один с парадоксом: обе версии происходящего должны быть истинны, и одновременно одна из них должна быть ложной.

Когда решение пришло к нему в голову, даже Сасскинд удивился, насколько безумно оно выглядело.

– Любой другой вариант решения проблемы был исключен, оставалась только одна возможность, – сказал он. – Она казалась совершенно абсурдной, но я понимал, что это должно быть так.

Впервые он объявил о своей находке на конференции в 1993 году.

– Меня не волнует, согласны ли вы с тем, что я говорю, или нет, – сказал он аудитории. – Я хочу только, чтобы вы помнили, что я это говорил.

– Я чувствую, что мы должны сделать первый шаг, пока Брокман помнит, кто я такая, – сказала я отцу по телефону. – Я думаю, мы должны направить ему заявку на написание нашей книги.

– Но суть в том, что мы собирались писать книгу, только когда разгадаем тайну Вселенной, – возразил отец.

– Да, – сказала я. – Но «построй его, и он придет!»

– Что?

– «Поле его мечты». Помнишь, как призраки играют в бейсбол?^[38] Если мы возьмемся за книгу, разгадка придет сама.

– Я не уверен, что это так работает, – сказал мой отец.

– Я думаю, что если Брокман станет нашим издателем, то это так и будет.

Отец был прав: книга всегда жила где-то в смутном будущем, как горизонт событий, который отступает так же быстро, как мы приближаемся к нему, и, наверное, мы оба хотели, чтобы так все и

продолжалось, подозревая, что реальная книга никогда не будет даже близко похожей на ту, которая жила в наших мечтах, и что день, когда книга выйдет, станет последним днем нашего путешествия.

Но со смертью Уилера часы стали тикать громче. Мне не хотелось проснуться через десять, или двадцать, или тридцать лет, все так же будучи редактором журнала, беседовавшим когда-то давно с отцом о том, что такое ничто. Я хотела иметь что-то более осязаемое, что удерживало бы нас на нашем пути. Удерживало бы нас вместе. Что-то вроде издательского контракта.

– Ладно, – сказал отец; в его голосе звучали одновременно тревога и радостное возбуждение. – Если ты думаешь, что настало время идти к Брокману, так и сделаем.

«Быть? Существовать? Что это значит?» – таким вопросом задавался Нильс Бор в связи с проблемой существования частицы до того, как она стала наблюдаемой.

Сасскинд, предлагая свое радикальное решение парадокса потери информации в черной дыре, следовал по стопам не только Бора, но и Эйнштейна: месторасположение бита информации должно зависеть от наблюдателя. Если вы хотите спросить, где расположена информация, то сначала вам надо ответить на вопрос: «А с чьей точки зрения?»

В соответствии с квантовой механикой, информация сохраняется, поэтому Сэйф должен видеть, что она остается над горизонтом черной дыры. В соответствии с принципом эквивалентности общей теории относительности, Скруд должен видеть *ту же самую информацию* внутри черной дыры. Теорема Журека запрещает дублирование информации. Но, по утверждению Сасскинда, это и не важно. В конце концов, кто может обнаружить информацию одновременно в двух местах? Никто не может быть и над горизонтом событий, и под ним одновременно.

Обнаруженный Сасскиндом ключ к разрешению парадокса заключался в том, что нет такой системы отсчета, в которой бы информация клонировалась. Если вы интересуетесь, что может увидеть тот или иной наблюдатель, у вас есть возможность выбрать Сэйфа или Скруда, и у каждого из них своя история, – но вам никогда не удастся выбрать сразу обе. Это был своего рода вынос мозга: обе истории были одинаково истинны, но нельзя рассказывать их вместе. Вы должны

выбрать систему отсчета и в ней оставаться. В любой данной системе отсчета ни один наблюдатель никогда не сможет стать свидетелем нарушения законов физики. Нарушения можно увидеть, только посмотрев божественным глазом, но этого, к счастью, ни одному наблюдателю не суждено. Два описания – над горизонтом событий и под горизонтом событий – комплементарны, дополнительные, как утверждает Сасскинд, ровно так же, как несовместимы, но дополнительные волновое и корпускулярное описания, скажем, электрона. Этот принцип Сасскинда назвал принципом дополнительности у черных дыр, или принципом дополнительности для горизонта событий.

Физиков заинтересовала гипотеза Сасскинда. Но Хокинг упрямо утверждал, что информация действительно исчезает под горизонтом, испаряясь в небытие, и многие приняли его сторону, оставив открытым вопрос о судьбе квантовой механики. Сасскинду, однако, проблема была очевидна. Парадокс потери информации в черной дыре надвигался на физику черной тучей. Кучевым хаосом. В 1997 году на поле произошла смена составов. Аргентинский физик Хуан Малдасена работал над теорией струн в антидеситтеровском пространстве, или, сокращенно, AdS-пространстве. В отличие от нашего деситтеровского пространства, dS-пространства, которое определяется положительным значением космологической постоянной, космологическая постоянная в AdS-пространстве отрицательна. Наша положительная космологическая константа расталкивает пространство наружу, вызывая ускоренное расширение Вселенной. Поменяйте плюс на минус, и она будет не расширять, а сворачивать пространство внутрь себя, изгибая его седлом в каждой точке, изминая пространство и время так, что только Эшеру под силу вообразить и изобразить неизобразимое, и тогда, например, будет возможно прохождение светового луча вдаль на бесконечное расстояние и обратно за конечное время. Но и это еще не все. В модели Малдасены пространство-время было десятимерным. При этом пять измерений были свернуты, как origami, в каждой точке. Чтобы облегчить мне жизнь, Сасскинд посоветовал представить его себе в виде пятимерной (плюс время) сферы с четырехмерной границей.

Благодаря своей гениальной интуиции и сложной математике Малдасена обнаружил, что теория струн в десятимерной AdS-сфере

математически эквивалентна обычной квантовой теории частиц на четырехмерной границе. Квантовая теория частиц, как оказалось, была удивительно похожа на КХД, квантовую хромодинамику, теорию, которая описывает взаимодействия кварков и глюонов в нашей Вселенной. Разница была только в том, что квантовая теория Малдасены относилась к классу конформных теорий поля (сокращенно – CFT): то есть, в отличие от КХД, в которой сильное взаимодействие становится слабее на меньших расстояниях, в его теории взаимодействия оставались одними и теми же на всех масштабах. Эта эквивалентность теории струн в AdS-пространстве и CFT на его границе стала известна, как AdS/CFT-дуальность.

Все это звучало довольно заумно, но чем больше я думала, тем больше понимала, и тем более удивительным мне представлялся результат. Во-первых, он означал, что теория струн, то есть теория, *включающая в себя гравитацию*, была полностью эквивалентна обычной теории квантовых частиц *без гравитации*. До этого все боролись за то, чтобы объединить квантовую механику и общую теорию относительности в единую «теорию всего», но AdS/CFT предполагает, что, может быть, гравитация – это то, как квантовая механика выглядит в другой геометрии. Неудивительно, что ведущие физики всего мира, узнав о находке, пустились в пляс: «Э-э, Малдасена!» Во-вторых, здесь странным образом снова вставал вопрос о размерности. Теория с пятью измерениями может быть прекрасно отображена на другую теорию – в четырехмерном пространстве.

Сасскинд постоянно думал о проблеме размерности с тех пор, как Бекенштейн обнаружил, что энтропия черной дыры пропорциональна площади ее горизонта, а не ее объему. Если энтропия определяется объемом информации, упрятанной в трехмерную внутренность черной дыры, то почему ее значение определяется двумерной площадью ее поверхности? Получалось так, словно трехмерная черная дыра одновременно каким-то образом была двумерной. Вопрос возник у меня сразу, едва я услышала об этой странности, и мне приятно было узнать, что он не давал покоя Сасскинду тоже.

Сасскинд понимал, что любопытная связь между энтропией и площадью не ограничивалась случаем черных дыр: то же можно было сказать и о любой области пространства. Ведь любая область пространства может стать черной дырой, если вы поместите в нее

достаточное количество массы. Черные дыры – объекты с самой высокой энтропией, поэтому если *их* энтропия уместается на поверхности, то так же может вести себя энтропия любого другого объекта.

Это было безумно, нелогично, но неопровержимо: общая сумма информации в любой области трехмерного пространства пропорциональна площади ее двухмерной границы. Сасскинд назвал эту гипотезу голографическим принципом, поскольку именно так бывает с голограммами, когда на двухмерной пленке содержится вся информация, необходимая для воссоздания трехмерного изображения.

В один прекрасный день, когда он объяснил мне это по телефону, я огляделась вокруг. Я сидела у себя в редакции *New Scientist*, и до меня вдруг дошла вся немыслимость того, что он говорил. Каждый стул, каждый журналист, каждая молекула воздуха между полом и потолком могут быть точно спроецированы, *без потери разрешения*, на поверхность стены. Трехмерный объем пространства намного больше, чем площадь ограничивающей его поверхности, а информационное содержание их одинаково? Можно подумать, что одно из трех пространственных измерений просто совершенно бесполезно. Как будто все, что мы знаем о пространственной размерности, – ошибочно.

Сасскинд предположил, что сам мир был своего рода голограммой, проекцией какой-то теории с выключенной гравитацией в пространстве меньшей размерности, записанной на стенках Вселенной. Мне даже стало интересно: какое предположение выглядит более странно – что я всего лишь компьютерная симуляция или что я голографическая проекция откуда-то с конца света? Наверное, что я голограмма. В любом случае, AdS/CFT-дуальность Малдасены была идеальным воплощением голографического принципа Сасскинда. Она убедила сомневающихся физиков, в том числе Хокинга, что информация не может пропасть в черной дыре.

В AdS/CFT математическая проекция устанавливает взаимно однозначное соответствие между пятимерным внутренним объемом и ограничивающей его четырехмерной поверхностью, поэтому за любым объектом или физическим процессом в пространстве можно с равным успехом следить по его образу на границе меньшей размерности. Отсюда возникает интересный вопрос: что будет образом меньшей размерности для черной дыры? Черная дыра вся состоит из гравитации,

но в модели Малдасены гравитации нет на границе. Как может выглядеть черная дыра без гравитации? Малдасена нашел ответ. Она будет выглядеть как горячий газ обыкновенных частиц. Точнее, она будет выглядеть как кварк-глюонная плазма.

Кварк-глюонная плазма? Я вдруг вспомнила запись у себя в дневнике, которую я сделала во время работы над статьей о кварк-глюонной плазме, обнаруженной на коллайдере RHIC. Тогда выяснилось, к всеобщему удивлению, что плазма, благодаря своей высокой текучести, гораздо лучше соответствует определению идеальной жидкости, чем какая-либо другая из известных. Она почти в двадцать раз более «жидкая», чем вода. И физики тогда не могли этого объяснить. Вот эта запись: «Разобраться с AdS/CFT-соответствием... что-то из области теории струн... объясняет жидкий фэйрбол?»

– Кварк-глюонная плазма дуальна черной дыре? – пораженная этой мыслью, спросила я Сасскинда. – Я где-то читала, что AdS/CFT-дуальность помогает объяснить результаты измерений на коллайдере RHIC.

– Вот именно, – сказал Сасскинд. – Кварк-глюонная плазма дуальна черной дыре, и вязкость горизонта событий черной дыры можно вычислить. Полученное таким образом значение вязкости для десятимерной черной дыры практически точно совпадало со значением вязкости кварк-глюонной плазмы, измеренным на RHIC.

– Так, подождите, – сказала я. – Получается, что мы можем использовать математику, развитую для десятимерной черной дыры, в расчетах вязкости четырехмерной кварк-глюонной плазмы? Или когда мы измеряем кварк-глюонную плазму, мы в буквальном смысле наблюдаем десятимерную черную дыру через четырехмерные очки?

Будучи онтическим структурным реалистом, я знала, какой ответ окажется правильным.

– Все зависит от того, кого вы спрашиваете, – сказал Сасскинд. – Может быть, кварк-глюонная плазма является аналогом десятимерной черной дыры. Но связь может быть глубже. Многие из нас думают, что эта связь, вероятно, гораздо глубже.

– Так много говорили о невозможности проверить теорию струн... – сказала я.

– А разве это не возможность проверить теорию струн? – спросил Сасскинд. – Я думаю, что да.

Это должно было его ободрить, подумала я. В самом деле, круг замыкался. Начиналось все с того, что Сасскинд строил теорию струн для описания адронов – частиц, состоящих из кварков и глюонов. Но потом все поняли, что его теория работает только для каких-то других объектов, отличающихся очень высокими энергиями. А теперь оказывалось, что Сасскинд все-таки добился своего: его теория струн описывала адроны – только в десятимерном пространстве и какой-то принципиально другой геометрией.

– Значит, дуальность черных дыр и кварк-глюонной плазмы убедила физиков, что информация не может быть потеряна? – спросила я.

– Да, – сказал Сасскинд. – Все знали, что информация не может быть потеряна просто в разогретом газе элементарных частиц – это же основы квантовой статистики. Если кварк-глюонная плазма дуальна черной дыре, то есть если они лишь по-разному описывают одно и то же, тогда информация и в черной дыре также не может пропасть.

Хокинг признался, что был неправ. Сасскинд вышел победителем из тридцатилетней битвы.

– Но мы живем не в антидеситтеровской вселенной, – сказала я Сасскинду. – Наша Вселенная деситтеровская. А AdS/CFT-дуальности оказалось достаточно, чтобы убедить Хокинга?

– Да, – сказал Сасскинд. – Оппозиция, включая Хокинга, вынуждена была сдаться. Все было настолько математически точно, что из многих практических соображений все физики-теоретики пришли к выводу, что голографический принцип, принцип дополнительности для горизонта событий и принцип сохранения информации должны быть соблюдены. Это был последний гвоздь, вколоченный в гроб, в котором похоронили идею о потере информации в черной дыре.

Это был и гвоздь в гроб инвариантности размерности. Я могла, наконец, подойти ближе к тому, что давно волновало меня – к понижению пространственной размерности энтропии черной дыры: оно означало, что размерность пространства не может быть частью окончательной реальности. Голографический принцип, и в особенности AdS/CFT, показывали, что эквивалентные описания одних и тех же физических явлений могут быть в пространствах различной размерности. В них использовалась одна и та же математика. Как онтический структурный реалист, я знала, что ни одно из них нельзя

считать «настоящим», по-настоящему существующими можно считать только содержащиеся в них математические отношения. Размерность – не инвариант. Она не ингредиент окончательной реальности.

Струны также не были инвариантом. AdS/CFT-дуальность показала, что струны были самыми обычными квантовыми частицами, только в сильно искривленном пространстве более высокой размерности. Если такие частицы на ограничивающей поверхности и струны внутри ограниченного ею объема идеально соответствуют друг другу, то нет никакой подлинной разницы между ними. Частицы, струны... это всего лишь два способа посмотреть на одно и то же.

После того как AdS/CFT-дуальность убедила физиков, что информация не может исчезнуть в черной дыре, они все поторопились запрыгнуть на подножку объяснительного поезда Сасскинда. Несмотря на всю радикальность его варианта принципа дополнительности, это был единственный способ сохранить информацию в соответствии с квантовой теорией, не нарушая при этом принципы теории относительности. Но неявные предположения, которые он подразумевал, были глубокие. *По-настоящему* глубокие. Я поняла, насколько дьявольски глубоки они были, размышляя о Сэйфе, наблюдающем, как слон падает в черную дыру.

Это ужасная сцена. По мере приближения к горизонту слон растягивается от хобота до хвоста, скручивается и деформируется, замедляя во времени свое падение в надвигающуюся бездну. Медленно он приближается к точке невозврата. Пространство вокруг него становится все жарче. Но перед тем как слон пересечет горизонт, он обугливается в излучении Хокинга и превращается в печальную горстку раскаленного пепла.

Наблюдатель Скруд, как ему и положено, сидит на слоне верхом. С его точки зрения, они со слоном плавно падают в черную дыру, не замечая ничего достойного внимания там, где Сэйф видит горизонт событий. Никто не деформируется, ничто не горит. Просто пустое пространство. Если черная дыра достаточно велика, то Скруд и его слон счастливо проживут остаток своих дней, прежде чем попадут в сингулярность.

Итак, слон мертв вне черной дыры, но жив и здоров, оказавшись внутри. В этом было довольно серьезное противоречие. Это было, как

если бы кот Шрёдингера, закрытый в камере, был одновременно и жив и мертв, а сама камера одновременно плавно скользила в пустом пространстве и оказывалась поглощенной адским пламенем на расстоянии миллиарда световых лет от нас. Казалось, что существуют две копии одного и того же слона, но в квантовой механике запрещено клонирование и один слон не может быть одновременно в двух местах. Ответ Сасскинда на парадокс таков: *ни один наблюдатель не может увидеть сразу двух слонов.*

– Так сложилось, что люди полагают, будто объект под горизонтом событий и объект над горизонтом – это два разных объекта, и им соответствуют разные биты информации, – сказал Сасскинд. – Их не перепутаешь. Но, как мы выяснили, невозможно одновременно говорить и о том, что находится за горизонтом, и о том, что находится перед ним.

Он пояснил, что путаница возникает из-за неправильного использования союза «и».

– Более правильно в данном случае говорить «или», а не «и», – продолжал Сасскинд. – Дополнительность в квантовой механике всегда связана с заменой «и» на «или». Свет – это волна, *или* свет – это частица: все зависит от эксперимента, который вы проводите. Электрон характеризуется положением в пространстве, *или* он характеризуется скоростью: все зависит от того, что вы измеряете. В каждом случае возможны дополнительные описания, которые несовместимы, если использовать их одновременно. То же самое происходит с черными дырами. Либо мы описываем объекты, находящиеся за горизонтом, либо мы описываем их в терминах излучения Хокинга снаружи. Удивительно, что в данном случае вызываемая избыточностью описания путаница достигает здесь таких огромных масштабов. Допустим, у нас есть черная дыра с диаметром в миллиард световых лет, тогда имеется расхождение в описании глубиной в миллиард лет. Люди всегда думали, что квантовая неопределенность – это мелкомасштабное явление. Мы узнали, что чем важнее становится влияние квантовой гравитации, тем более крупные, астрономические масштабы вступают в игру.

Самое интересное, что любой эксперимент, какой только можно себе представить, будет обречен на неудачу, если в нем предполагается увидеть обоих слонов. Например, на первый взгляд, есть краткое

мгновение, когда обе версии слона находятся над горизонтом и доступны взору одного наблюдателя. Это происходит тогда, когда слон обугливается под действием излучения Хокинга, еще не достигнув горизонта, – скажем, на расстоянии планковской длины от него. Именно в этот момент Сэйф видит, как слон превращается в пепел, а Скруд видит его счастливым, здоровым и невредимым. Причем обе версии слона пока находятся вне черной дыры. Вы наивно думаете, что некий третий наблюдатель – Саккер^[39] – может попробовать разглядеть сразу обоих слонов. Но что значит увидеть что-либо? Это значит, что часть фотонов отражается от рассматриваемого предмета и попадает на сетчатку в глазу наблюдателя, причем длина волны этих фотонов должна быть меньше, чем сам этот объект. Чем меньше длина волны, тем выше энергия фотонов. Чтобы разглядеть слона на планковском расстоянии от горизонта, Саккеру придется регистрировать фотоны с энергией большей, чем планковская энергия, – а это либо совершенно невозможно, либо в результате этого образуется другая черная дыра, которая утащит слона под свой горизонт. И все равно план Саккера увидеть сразу двух слонов потерпит фиаско.

А что если Сэйф сначала убедится в том, что слон полностью сгорел, а затем прыгнет в черную дыру, чтобы увидеть его вполне здорового двойника? Снова физика воспротивится этому. Для того чтобы получить хотя бы один бит информации о поджаривающемся в излучении Хокинга слоне, Сэйфу приходится подождать, пока испарится половина массы черной дыры. К этому времени, как следует из некоторых простых геометрических соображений, и слон, и Скруд будут гарантированно уничтожены сингулярностью. Нет никакой возможности обхитрить природу. Ни один наблюдатель не может увидеть обоих слонов.

Когда я раздумывала над этим, мне пришло в голову, что упоминание «обоих слонов» вводит в заблуждение. Есть только один слон. «Или», а не «и». Существует только слон Сэйфа или слон Скруда. Точка. Любые разговоры о двух слонах автоматически нарушают квантовый запрет клонирования. То есть нарушают законы физики.

Все это взрывало мне мозг. Подход к космологии «сверху вниз» предполагал, что вы нарушаете закон причинности при попытке посмотреть на Вселенную глазами Бога, и мне остается только гадать, не нарушаются ли при этом заодно и другие законы тоже. «Законы

физики не нарушаются только внутри светового конуса?» Теперь принцип дополнительности Сасскинда решительно отвечает «да». Все законы физики, как релятивистские, так и квантовые, остаются справедливыми только в пределах одного светового конуса, всегда конечного и ограниченного.

В течение многих лет мы с отцом говорили о невозможности взирать на мир глазами Бога. В конце концов, урок, данный нам всем Эйнштейном, к тому и сводится, что нельзя говорить о Вселенной, не поинтересовавшись, о чьей точке зрения речь. Для разных систем отсчета и ответ будет разный. *«Нет ничего за пределами Вселенной»*. Из-за того, что скорость света не бесконечна, наблюдатель может видеть только часть Вселенной. До сих пор для нас были важны философские последствия: если никто и никогда не может посмотреть на Вселенную глазами Бога, то из чисто прагматических соображений следует избегать в описании Вселенной каких-либо отсылок к тому, что только этими глазами ее и можно увидеть. Однако принцип дополнительности Сасскинда означал нечто значительно большее: вопрос переносился из области философии в область физики. Попытка описать Вселенную из системы отсчета, в которой можно смотреть сквозь горизонты, *неизбежно приведет к ошибочным ответам*. Вы насчитаете двух слонов вместо одного. Вы увидите нарушения законов квантовой физики.

Принцип дополнительности Сасскинда четко и недвусмысленно говорит нам: физические законы имеют смысл только в системе отсчета одного наблюдателя.

Эта мысль настолько радикальна, что с большим трудом умещается в моей голове. История со слоном кажется такой странной именно потому, что интуиция подсказывает нам: даже если нельзя находиться одновременно и над горизонтом и под ним, должно все-таки существовать абсолютно истинное знание о том, что происходит со слоном на самом деле. Но «абсолютно истинное» предполагает, что реальность может быть описана с позиции всевидящего Бога. Не существует единого «абсолютно истинного». Существует истина Сэйфа и истина Скруда. Ничего более.

— Это не только новая форма дополнительности, это также новая форма относительности, — сказал мне Сасскинд. — Теория относительности учит нас, что некоторые явления выглядят по-разному

в зависимости от движения наблюдателя – например, два движущихся по отношению друг к другу наблюдателя не согласятся относительно одновременности двух событий. Но есть явления, остающиеся инвариантными при переходе от одного наблюдателя к другому. У меня дома сработала фотовспышка. Это инвариантное утверждение. Но сейчас мы говорим о том, что это не так в случае черных дыр. Где находится информация, за горизонтом событий или перед ним, определяется движением наблюдателя. Место, где происходит событие, зависит от наблюдателя – в рамках стандартной теории относительности это было бы неверно. Месторасположение информации становится неоднозначным и зависящим от наблюдателя, если гравитация становится значимым фактором.

Эйнштейн обнаружил, что трехмерное пространство и одно измерение времени зависят от наблюдателя, но зато четырехмерное пространство-время остается инвариантным. Теперь, с горизонтами событий, четырехмерное пространство-время также стало зависимым от наблюдателя. Пространство-время больше не инвариант. Оно не реально.

– Если принцип дополнительности на горизонте событий говорит нам, что пространство-время не реально, то что осталось инвариантным? – спросила я Сасскинда.

– Что осталось инвариантным? – он сделал паузу. – Это хороший вопрос.

– Я начинаю думать, что мы в нашей книге должны сосредоточиться на поиске инвариантов: как они рассыпаются при каждом новом подходе, – сказала я отцу.

Я приехала домой к моим родителям в Филадельфию на выходные. Мы с отцом работали в нашей библиотеке над предложением по книге. Благодаря AdS/CFT-соответствию, голографическому принципу и принципу дополнительности Сасскинда мы уже вычеркнули из нашего списка струны и пространство-время.

– Каждый раз, когда физики думают, что что-то является инвариантным, оно оказывается зависимым от наблюдателя. Иллюзией. Это как в произведении Льюиса Кэрролла. Как же оно называлось?

– «Алиса в стране чудес»?

– Нет, стихотворение, – сказала я. – «Охота на Снарка»?

– Я не помню.

– Там персонажи охотились на Снарка, но никто и никогда не видел его. Каждый раз, когда они думали, что они его поймали, это оказывался Буджум, который тут же исчезал.

Я порылась в книгах в моей старой спальне, пока не нашла ее там. «Охота на Снарка». Я прочитала вслух историю о том, как Благозвон, Булочник, Бобер и их команда отправились на поимку Снарка:

«Пусть малюет Меркатор
Полюса и Экватор,
Что нам толку от Тропиков всяких?» —
Благозвон прокричал.
Экипаж отвечал:
«Это только условные знаки!»^[40]

– Они зависят от наблюдателя! – вторил отец.

«На обыденных картах – слова, острова,
Все сплелось, перепуталось – жуть!
А на нашей, как в море, одна синева,
Вот так карта – приятно взглянуть!»

Я посмотрела на отца. Он улыбался.

Я дочитала до конца, до того момента, когда Булочник считает, что он нашел неуловимое существо:

«Это Снарк!» – слабый голос в их души проник.
(Слишком тих, чтоб звучать наяву.)
Загремело «ура», поздравления, крик;
И зловещее: «Нет, это Бу-у-у...»

– Здорово, – сказал отец.

– Боже мой, ты только послушай! – сказала я, читая предисловие к книге Мартина Гарднера. – «Снарк – это поэма о бытии и небытии... Буджум – это больше, чем смерть. Это конец всех поисков. Это – финал,

абсолютное исчезновение, по выражению Одена, „страшный Буджум небытия“. В буквальном смысле Буджум Кэрролла значит ничего вообще. Это пустота, великая голая пустота, из которой мы чудом возникли и в которую мы в конечном счете уйдем; в которой бесконечно вращаются и дрейфуют абстрактные галактики, совершая свой вояж из ниоткуда в никуда».

– Забавно, – сказал отец.

– Но как точно! Снарк – это инвариант, окончательная реальность. Но каждый раз, когда мы думаем, что мы обнаружили Снарка, он оказывается Буджумом. И исчезает.

Мы приступили к работе над предложением по изданию книги под названием «Охота на Снарка: Физики в поисках окончательной реальности».

Как персонажи Кэрролла в его сюрреалистической поэме, физики охотятся за своим собственным Снарком, – писали мы. – Для них призрачное существо – окончательная реальность, объективно существующий мир, независимый от наблюдателей. Этот мир существует сам по себе, каким бы мы его ни воспринимали. Но все не так просто, как может показаться на первый взгляд. В начале XX века Альберт Эйнштейн обнаружил, что пространство и время зависят от наблюдателя и поэтому в основе своей не реальны. В то же время была создана квантовая механика, в ее основе также лежало осознание важной роли наблюдателей, которой до этого никто не предполагал. Но мало кому известно, что в последние годы картина мира стала еще более запутанной. Сегодня ведущие мировые физики заставляют полностью переосмыслить природу реальности и наше место в космосе. При изучении черных дыр физики обнаружили, что само существование частиц зависит от наблюдателя; из голографического принципа следует, что даже четырехмерное пространство-время, которое оставалось неприкосновенным в теории Эйнштейна, тоже зависит от наблюдателя, заставляя говорить, по словам Леонарда Сасскинда, о «новом типе принципа относительности».

В каждой главе книги, объясняли мы, физики ведут охоту на разных Снарков – пространство, время, гравитацию, частицы, пространство-время, размерность, калибровочные силы, струны, которые неизбежно на фундаментальном уровне оказываются

зависимым от наблюдателя Буджумом, заставляя заново переосмыслить всю космологию.

Эти выводы не укладываются в голову. То, что мы уже давно считали фундаментальными чертами реальности, оборачивается миражом. Мы видим, как все элементы Вселенной, которые мы считали надежными, один за другим, обнаруживают свою связь с системой отсчета наблюдателя, а сама Вселенная оказывается призрачным миром. Охота на Снарка – это задача не для слабых духом. Кажется, что чем глубже мы исследуем природу реальности, тем отчетливее находим лишь отражения нас самих. В конце концов, вероятнее всего, Снарк может оказаться ничем. Ничем вообще.

– По-моему, отлично получилось, – сказал отец. – Но, честно говоря, у меня нет ощущения, что это наша книга. Это просто книга.

Я знала, что он имел в виду. Как и большинство воображаемых книг, наша книга была исчерпывающей, содержащей в себе каждую последнюю каплю жизни, Вселенной и всего остального. Она была неподражаема. Она была бесконечной. Это была разгадка тайны Вселенной.

– В какой-то момент наша книга должна стать просто книгой, – сказала я.

Он кивнул:

– Я думаю, ты права.

В конце концов отец пошел спать, а я продолжала работать, намереваясь закончить наш труд. Согласно книге, которую я купила, чтобы понять, как писать предложения по изданию книг, теперь следовало совершить следующий шаг: дать некоторые биографические сведения об авторах.

В «Охоте на Снарка» писательский дуэт Уоррена и Аманды отправляется к рубежам современной физики и космологии в поисках окончательной реальности. Уоррен Гефтер...

Черт! Как я объясню роль моего отца? Я тайком протащила его на юбилейный симпозиум Уилера под туманным предлогом «плюс один», но я понятия не имела, как я представлю его Брокману. Его заслуги – неважно, насколько они впечатляющи в медицинском мире, – покажутся здесь подозрительно странными, и включение его в проект, я была уверена, вызовет больше вопросов, чем ответов. Например, почему мне, якобы опытному научному журналисту, нужен соавтор?

Почему мой соавтор оказался моим отцом? И почему, черт возьми, врач-рентгенолог участвует в написании книги об окончательной реальности?

Не было никакого простого способа объяснить все это. Единственное, что я могла сделать, – это писать предложение так, как будто включение в соавторы моего отца не требовало специальных объяснений, и надеяться, что книга получится слишком хорошей, чтобы задавать вопросы.

Ибо Снарк был Буджум, понимаешь.

Когда письмо от Джона Брокмана пришло в мой почтовый ящик, я почувствовала легкий приступ тошноты. «Так, – подумала я. – Это оно».

Затаив дыхание, я нажала «открыть».

Это было не оно. В письме не было и упоминания о нашем предложении. Это было приглашение на конференцию по психологии нравственности.

Тема морали никогда не вызывала моего особого интереса, но я чрезвычайно обрадовалась возможности побывать на мероприятии Брокмана и направилась из Бостона в город Вашингтон в штате Коннектикут – небольшой богатый городок в южном предгорье Баркшир, достаточно шикарный, чтобы здесь располагались загородные поместья богатых жителей Манхэттена, и достаточно провинциальный – в нем даже нет сотовой связи.

Конференция проходила в роскошном отеле, построенном в стиле загородной усадьбы. В традиции Брокмана, небольшая группа, состоящая только из девяти ведущих ученых, была приглашена для проведения круглого стола, наряду с ними присутствовали представители прессы от таких изданий, как *The New York Times*, *Newsweek* и *Scientific American*.

Конференция длилась три дня. На второй вечер Брокман пригласил всех на ужин в свой загородный дом, легендарный дом, который размещался на семидесяти пяти акрах земли в соседнем городке. Пригубив вино, я попыталась завести светскую беседу с учеными, но от нереальности всего окружающего у меня отнялся язык. Было такое чувство, как будто только вчера я читала о загородном имении Брокмана и мечтала когда-нибудь получить приглашение, чтобы

пообщаться с членами его знаменитого «Реалити-Клаба». Теперь, по необъяснимой причине, я была здесь.

Все сами наполнили себе тарелки едой и расселись за большим обеденным столом. Катинка Мэтсон, супруга Брокмана, села рядом со мной. Мэтсон была известна как художник, агент и президент корпорации Брокмана. При этом она оставалась поразительно привлекательной женщиной, с яркими белыми волосами, обрезанными вокруг ее лица резкими модными углами. Пока мы разговаривали, она посмотрела на мою руку.

– Это не настоящее? – спросила она.

Она рассматривала татуировку на моем предплечье, и я рассмеялась:

– Да нет, самая настоящая!

– То есть она навсегда? А что тут написано?

Я протянула руку, чтобы она могла прочесть. Это было стихотворение Шеймаса Хини, из «Острова покаяния».

В книге рассказывается, как Хини едет в Ирландию, в Донегал, на Остров покаяния. Это легендарное место, чистилище святого Патрика, место паломничества католиков. Хини не ищет Бога, он находится в поисках самого себя как писателя. В конце паломничества, от недостатка сна и ослабев от голода, Хини видит призрак Джеймса Джойса, который говорит ему:

Твоим долгам
привычный не поможет ритуал.
Ты должен то, что должен, сделать сам,

впрягайся. Надо, чтобы ты писал
в охоту только. Страсть к работе пестуй,
стремясь к ней, как превыше всех начал

рука в ночи к горячим солнцам персей.
Ты чист постом и неостановим —
Пускайся в путь. Педантство тут не к месту,

оставь золу и вретище другим.
Забудь, пусти, лети.

Довольно слушать. Свой ве́ди мотив^[41].

Хини так и поступает. Об этом следующее стихотворение, «Первая глосса», оно наколото черными чернилами на той руке, которой я пишу. Мэтсон прочитала его вслух:

Сжав черенок карандаша,
подписывай свой первый шаг
с обрыва ровной строчки
на поля^[42].

Когда я несколько лет назад делала эту татуировку, татуировщик предложил мне сфотографировать мою руку и послать фотографию Хини. «Он бы очень обрадовался!» – настаивал татуировщик. «Конечно, – отвечала я. – Наверняка он бы повесил ее рядом с его Нобелевской медалью».

– Джон это видел? – спросила Мэтсон. – Джон! Подойди, посмотри на это!

Брокман подошел к столу, и Мэтсон показала ему мою руку.

Он прочитал стихотворение вслух, затем посмотрел на меня:

– Почему вы сделали это?

– Это о честности, – сказала я. – О рисках, который берет на себя писатель.

Он только одобрительно кивнул.

На следующий день, после завершения работы конференции, я подошла к Брокману, чтобы попрощаться, прежде чем отправиться обратно в Бостон.

– Вам надо приехать в Нью-Йорк, – сказал Брокман. – Я познакомлю вас с издателями. Посмотрим, может быть, для вас найдется что-то подходящее.

Я начала кивать головой, не зная, что сказать. *Как насчет «Охоты на Снарка»?*

– Джон, у нее уже есть книга, которую она хочет написать, – сказала Мэтсон, которая только что подошла к нам. Мне захотелось обнять ее.

– Ну что ж, – сказал он. – Расскажите тогда. Но я не хочу читать очередную тоску про Алису в стране чудес.

Я объяснила, что это было о том, что последние, самые передовые физические исследования рассказывают нам о природе окончательной реальности.

– Какое название? – спросил Брокман. – Оно должно быть хлестким.

В голове проносились мысли. Но в каждой из них была тоска про Алису в стране чудес. Это было похоже на попытку не думать о розовом слоне. Или розовом Чеширском коте. Наконец я выдавила:

– «Конец реальности».

– Неплохо, – сказал он. – Пришлите синопсис. Две страницы.

– Ладно, – сказала я с восторгом. – Я обязательно пришлю.

Я поблагодарила их обоих, и мы расстались.

– Удачи с вашей татуировкой! – прокричала мне вслед Мэтсон.

Завершив статью об обобщенном принципе дополнительности Сасскинда, я не могла не вернуться мысленно к дискуссии в Санта-Барбаре о ландшафте теории струн. Внезапно меня охватило глубокое сомнение по поводу концепции мультивселенной. Когда мы говорим о мультивселенной, мы говорим о бесконечном количестве причинно не связанных вселенных, разделенных горизонтами. Если законы физики нарушаются при попытке описать события по обе стороны одного-единственного горизонта событий, то, я уверена, имея дело с бесконечным числом горизонтов, о них можно и вовсе забыть. Если законы физики имеют смысл только в системе отсчета одного наблюдателя, что, черт возьми, может тогда означать мультивселенная?

Я уже собиралась позвонить Сасскинду, чтобы спросить его об этом, когда от него пришло письмо. Он посылал мне предварительный вариант своей книги о принципе дополнительности на горизонтах событий и о своем тридцатилетнем сражении со Стивеном Хокингом, книгу, которую Брокман убедил его написать. Я была взволнована. Получить такую книгу задолго до публикации! Я углубилась в чтение.

Ближе к концу книги Сасскинд описывал происходящее сейчас ускорение расширения Вселенной и задавался вопросом, применим ли обобщенный принцип дополнительности к нашему деситтеровскому

горизонту событий так же, как он применим к горизонту событий черной дыры.

«В настоящее время мы очень мало знаем про космические горизонты, — писал он. — Природа объектов, находящихся за горизонтом, — реальные ли они, и какую роль они играют в нашем описании Вселенной — этот вопрос, может быть, является глубочайшим вопросом космологии».

— Мы прочитали ваш синопсис и пришли к мнению, что хотели бы работать с вами, но не в связи с вашей книгой.

Катинка Мэтсон позвонила, чтобы вынести вердикт нашему предложению книги «Конец реальности».

— Структура соавторства слишком непрозрачна, — сказала она. — Непонятно, при чем здесь ваш отец.

— Я понимаю, — сказала я. — Но это всегда было нашим общим делом.

— Мы не сможем продать такое соавторство, — сказала Мэтсон. — Здесь нет голоса автора. Вас не слышно. Ваши татуировки, где они?

Я съезжилась. Мне была понятна ее ирония по поводу вытатуированных на моей руке слов. В течение уже многих лет мой голос не был слышен, я писала шепотом. Я сама себя едва могла расслышать в своих статьях, потому что с самого начала притворялась кем-то другим, кем-то, кто говорил иным голосом, голосом журналиста. Я, конечно, не могла услышать себя в работах, которые писала в школе под присмотром чопорного британца. И задумавшись об этом сейчас, я поняла, что Мэтсон была права. Я не слышала свой голос. Мертворожденные книги, что *тоска про Алису*, что «Конец реальности», — книги, представлявшие собой имитацию других книг.

— Подумайте об этом, — ласково сказала Мэтсон.

Я пообещала ей подумать и повесила трубку.

Слова Мэтсон звучали эхом в моем мозгу: нет голоса. За это долгое десятилетие я освоила лишь один-единственный способ докопаться до истины — имитация. А что, если за этой маской не скрывается ничего, и самозванец остается таким же самозванцем? Что, если я, как Кларк Кент, скидывавший свой деловой костюм, только чтобы показать другой деловой костюм, надетый под ним? Что, если я была не более чем обычный журналист, который каким-то образом убедил себя, что он

приобщился к некой секретной миссии, чтобы раскрыть природу реальности, потому что тогда жизнь становится интересной и содержательной, и мой отец, будучи отцом, играл в эту игру ради меня, или, возможно, сам был подобным образом обманут? У нас было столько общих мыслей, что вряд ли было натяжкой говорить об общности наших заблуждений.

Мэтсон почувствовала, что в соавторстве мой голос был приглушен. Возможно, она была права. Может быть, это было похоже на ситуацию с Сэйфом и Скрудом. Вы нарушаете законы физики, когда пытаетесь говорить, учитывая точки зрения каждого из наблюдателей одновременно. Может быть, вы таким же образом нарушаете законы публикации. Возможно, наша книга была невозможной с самого начала. Может быть, не имело смысла пробовать написать книгу в два голоса, поскольку, складываясь, они глушат друг друга.

Внезапно я поняла, почему использование королевского «мы» так развеселило меня, когда я писала свою диссертацию. Местоимение, которое предназначалось для обозначения чистой объективности, реальности – самой сути независимой от наблюдателя науки, – было, по сути, описанием чего-то несуществующего, запрещенного физическими законами, уныло безголосого и принципиально не реального.

Единственным местоимением, которое оставляло хоть какую-то надежду на реальность, было местоимение «я», но я не была уверена, что знаю, кто это. После стольких лет использования фальшивого голоса я больше не была уверена, что у меня еще осталось что-то настоящее, что я могла бы предложить.

Где-то в мире – на полке? под стеклом? в коробке под кроватью? – лежала стопка пыльных тетрадей в твердой обложке, и где-то на рукописных страницах этих тетрадей были спрятаны решения загадок Уилера.

Встречи с его бывшими учениками не принесли ничего нового. Никто, казалось, действительно не знал, о чем думал Уилер. Единственной надеждой было узнать это прямо из первоисточника. Наше предложение издать книгу могло потерпеть неудачу, но я была полна решимости заполучить эти тетради.

В очередной раз прочесывая интернет в поисках хоть какой-то подсказки об их местонахождении, я наткнулась на стенограмму лекции, которую Чарльз Мизнер, ученик Уилера из Принстона, недавно прочел в университете Мэриленда. В середине лекции Мизнер сказал: «У Джона была привычка, я полагаю, в течение всей его жизни, все записывать в тетради... Они всегда были с ним. Когда он занимался с группой студентов в офисе, он сидел и делал заметки в ходе обсуждения. Он также делал для себя заметки о расчетах, которые он проводил, или о работах, которые он намеревался проделать. Какие были важные вопросы в физике? И так далее... Эти записные книжки, кстати, были переданы в фонд Американского философского общества в Филадельфии».

В Филадельфии?

Они были в моем родном городе?

Я сразу же открыла каталог рукописей библиотеки Американского философского общества, но тетрадей Уилера там не оказалось. Я попыталась снова... опять ничего. Я попыталась искать их через WorldCat – поиск по более чем десяти тысячам библиотек. Наконец на экране появился ответ: Коллекция Уилера, двадцать восемь томов записных книжек. А под ним сообщение об ошибке: извините, библиотеки по вашему запросу не найдены.

В конце концов я нашла ссылку на коллекцию рукописей Уилера в международном каталоге источников Американского института физики, которая подтверждала слова Мизнера о том, что журналы на самом деле хранились в фондах Американского философского общества. В нем не были указаны ни их название, ни их статус. Я решила поговорить непосредственно с сотрудниками хранилища.

Так я и сделала. Я сказала им, что мой отец и я работаем над совместной книгой об Уилере и что, даже если журналы были в ограниченном доступе, мы очень нуждаемся в них для нашего исследования. Структура нашего соавторства, может быть, и нарушала квантовый закон, запрещающий клонирование, а также и законы публикации, но я подумала, что библиотекари, вероятно, этого не заметят, и я была права. Они разрешили посмотреть записи.

Я позвонила отцу в офис, чтобы рассказать ему новость:

– Я нашла дневники Уилера.

Глава 11

Надежда рождает пространство и время

В Американском философском обществе есть что-то такое, что должно быть в месте, где можно надеяться отыскать ключ к тайнам Вселенной.

Оно было образовано сначала как *Хунто*, тайное общество Бена Франклина. Франклин был изобретателем, писателем, политиком, франкмасоном. Он постановил, что Хунто должно было состоять всего лишь из двенадцати членов, а их труды должны храниться в тайне. Члены общества встречались каждую пятницу, при этом каждый из них «ставил один или более вопросов на какую-либо тему морали, политики или философии природы», и потом двенадцать человек обсуждали его «в искреннем духе познания истины». Шестнадцать лет спустя Франклин превратил Хунто в философское общество. «Это общество, образованное виртуозами своего дела, гениями, проживающими в нескольких колониях, будет называться Американским философским обществом», – Франклин предусмотрительно постановил, что целью общества будет изучение «философских опытов, которые проливают свет на природу вещей». Франклин был избран его первым президентом. А среди первых его членов – Томас Пейн, Джордж Вашингтон и Томас Джефферсон. Позже в общество входили Роберт Фрост, Альберт Эйнштейн и Джон Уилер.

Здание общества расположено на Пятой улице, в самом сердце старой части города. Это классическое произведение георгианского зодчества находится по соседству со зданием Индепенденс-холла, где Джефферсон зачитывал Декларацию независимости, и неподалеку от уже потрескавшегося железного Колокола Свободы. Вскоре Философское общество построило для себя библиотеку, выбрав для этого уютную тихую улочку рядом со зданием Второго банка Соединенных Штатов, где теперь расположилась Галерея портретов эпохи Войны за независимость. Сегодня в библиотеке хранится одиннадцать миллионов редких рукописей и бесчисленное количество редких книг, в том числе первые издания «Начал» Ньютона и «Происхождения видов» Дарвина.

– Не могу поверить, что мы прочитаем его дневники, – сказал отец, в состоянии близком к полуобморочному открывая большую деревянную дверь библиотеки. Было жаркое августовское утро. Казалось, XVIII век все еще стоял на дворе и по улице тарахтели полные туристов конные экипажи.

Я и сама была близка к обмороку. По словам библиотекаря, только двое других людей читали тетради Уилера. Согласно правилу, установленному Франклином, мы подготовили наш собственный вопрос: что означали фразы Уилера, которые он произнес в тот день в Принстоне? Я понятия не имела, что можно было ожидать найти. Я надеялась, что мы не упремся в очередной тупик.

Мы вошли внутрь, в небольшое, но впечатляющее фойе с высоким потолком и ярким черно-белым клетчатым мраморным полом. На стенах, обрамленные в богатое литье, под стеклом висели рукописная копия одной из последних версий Декларации независимости и карта экспедиции Льюиса и Кларка, вычерченная Кларком собственноручно.



Фойе библиотеки Американского философского общества в Филадельфии.

Фото: А. Гефтер.

Мы зарегистрировались на входе и получили пропуска, которые открывали нам доступ в читальный зал. Пройдя через арочный дверной проем, мы оказались в помещении со шкафчиками для хранения тех предметов, которые не разрешено было проносить с собой в читальный зал рукописей, в их числе были карандаши и бумага. Сложив в шкафчики все, кроме переносных компьютеров и шнуров питания, мы вошли в огромные стеклянные двери читального зала.

Все вокруг выглядело до отвращения ухоженным. Старые книги стояли вдоль стен; лестница вела на балкон, откуда можно было добраться до верхних ярусов стеллажей. Латунные люстры висели над широкими столами из красного дерева. Бюсты Франклина и Джефферсона наблюдали за горсткой ученых, тихо перелистывавших хрупкие страницы. Это было красиво. На какое-то мгновение мне показалось, что все эти книги – просто бутафорский антураж, а ученых изображают специально нанятые статисты.

– Они как ненастоящие, – прошептала я отцу.

Он кивнул:

– Как в кино.

Тайные общества? Редкие рукописи? Ограниченный доступ? Масоны? Охота за сокровищами с разгадыванием загадочных символов и таинственных фраз на протяжении десятилетий? На кону не меньше чем тайна бытия?

– Я чувствую себя героиней какого-то уродского сочинения Дэна Брауна, – прошептала я.

Мы подошли к библиотекарю, сидящему за столом, и объяснили, что приехали посмотреть дневники Уилера.

– Какие? – спросил он, протягивая нам толстую канцелярскую папку, содержащую каталог материалов Уилера.

Я из вежливости полистала страницы, а затем ответила:

– Все, пожалуйста.

Он посмотрел на меня с недоверием:

– Здесь много тетрадей.

Я улыбнулась:

– Мы знаем.

– Ну хорошо, – согласился он, но недоверие в голосе оставалось. – Я принесу несколько для начала.

Мы сели за центральный стол в ожидании библиотекаря. Он вернулся, катя перед собой тележку, полную толстых, изрядно потрепанных тетрадей в переплетах темно-бордового и коричневого цветов.

– Будьте с ними осторожны, – предупредил он. Глядя на нас, он почему-то продолжал нервничать. Видимо, в этот момент мы походили на детей рождественским утром, готовых наброситься на свои подарки.

– Мы постараемся, – сказала я, но скрыть нетерпение мне, возможно, не удалось. Тем не менее он оставил нас наедине со словами Уилера.

– Помни, – прошептала я отцу, – прежде всего мы ищем фразы про самонастраивающийся контур и границу границы.

Я наугад вытащила первый попавшийся дневник. На обложке было написано: «Тетрадь по теории относительности № XIX». Аккуратно перевернув обложку, я обнаружила под ней записку, одну из тех, которые кладут на счастье в печенье и которую Уилер приклеил на первой странице: «Упорство будет вознаграждено». Я восприняла это как знак поощрения и начала читать.

В тетради, которую я взяла первой, Уилер размышлял над тем, что он называл «сокращением числа законов»: тот невероятный факт, что вся сложность явлений, происходящих во Вселенной, описывается несколькими простыми законами природы, указывает, скорее всего, на возможность объединить их все, в свою очередь, во что-то еще более простое. «Чем ближе мы подбираемся к центру, тем меньше законов мы находим и тем они проще», – написал он.

Еще через несколько страниц я прочитала: «Силы взаимодействия должны подчиняться таким законам, чтобы они автоматически гарантировали сохранение источника, ибо граница границы равна нулю».

– Ага! – закричала я шепотом. – Вот, уже!

Уилер продолжал: «Тогда, похоже, законы Максвелла и Эйнштейна делаются почти тривиальными проявлениями чего-то более простого, происходящего „внутри“ – за исключением того, что „внутри“

предполагает идею пространства, а пространство должно быть вторичным понятием». Несколькими страницами позже, в записи под названием «Долой пространства», он вывел: «Пространство предполагает размерность, в то время как не должно существовать никакой размерности».



Рядом с дневниками Джона Уилера в библиотеке Американского философского общества.

Фото: У. Гефтер

«Фейнман сказал бы, что мы здесь мечтатели, – писал Уилер, – что нужно вместо этого делать расчеты. Я боюсь: если кто-то думает только о том, что можно рассчитать, он не в состоянии думать о многих более важных вещах. Другими словами: может быть, важнее задавать правильные вопросы, чем искать правильные ответы. [„Истина не прилетает сама. Ее приходится вытягивать, хватая за пятку“]»^[43].

Больше я не нашла в этой тетради никаких упоминаний про границу границ, но вскоре отец толкнул меня, с волнением указывая на какую-то фразу. Я заглянула через его плечо: «Мы не применяем логику к чему-то, логика сама целое что-то... Не существует ни структуры, ни уравнений. Мы накладываем структуру. Мы формируем то, что формирует нас. [Взгляд на относительность как на границу границы находится с этим в согласии. Было бы замечательно показать, как она „возникает из ничего“]».

Мы формируем то, что формирует нас. Звучит похоже на «самовозбуждающийся контур». Но к чему именно относилась граница границ? И как Уилер себе представлял возникновение из ничего?

Еще через несколько страниц отец снова нашел кое-что: «Вчера во время неожиданной остановки в лондонском аэропорту из-за забастовки Alitalia я позвонил Пенроузу и рассказал ему, что нет никакой базовой структуры, кроме предгеометрии, ни размерности, ни общего принципа относительности... В очередной раз все дело в „простой упругости“. Я отметил границу границ и то, как близка эта идея к тому, чтобы быть безразмерной, как этого и можно ожидать от любой идеи. Он считал, что в структуре, с которой он работал, слишком много красоты, чтобы она оказалась всего лишь иллюзией, видимостью четырехмерности. Я, с другой стороны, думаю о структуре без структуры, законе без закона, физике без физики. Сама природа законов, которые мы знаем, предполагает приписывать свойства структуры тому, что не имеет структуры».

Общий принцип относительности – это «простая упругость»? Я начала подозревать, что в этих записях больше вопросов, чем ответов. Уилер сказал бы, что это неплохо, но я думаю, что парочка ответов никому бы не навредила.

Я продолжала читать. Тщательность, с которой были организованы тетради – и не только сотрудниками библиотеки, но и самим Уилером, – поражала. Каждая из них начиналась с подробного оглавления, со ссылками на заголовки тем и номера страниц каждой записи. На полях каждой записи Уилер отмечал дату, время и место, когда и где она была сделана. Если ему случалось вклеить в тетрадь что-то дополнительное – записку на оборотной стороне конверта или расписание работы конференции, он проставлял не только дату и время самой записи, но

также дату и время вклеивания ее в дневник. Если это была фотография, Уилер закрывал ее прозрачной пленкой, на которой указывал цветными маркерами имя каждого запечатленного на ней человека. Когда ему случалось разговаривать по телефону с коллегой-физиком, он записывал точную продолжительность звонка и номер телефона собеседника. После обеда с коллегами он зарисовывал, кто где сидел за столом. Пролив кофе на страницу, он подписывал пятно – «кофе».

Он был в постоянном поиске слов. Я понимала теперь, что не случайно именно Уилер стал автором столь многих терминов и устойчивых речевых оборотов – таких, как «черная дыра», «червоточина», «квантовая пена», «самонастраивающийся контур» и «граница границы». Его желание найти для всего, с чем он сталкивался, наиболее подходящие слова граничило с манией. Журналы были полны страниц, на которых были лишь списки слов, сотни и сотни слов, казалось бы, скопировали из словаря: *«Secret seek sought senses shadow shade shape shapeless shares shatter sharp sheen shelter shield shine shock shore shot show shuffle siege sink siren song skeleton skin sky slate slide slumber sight smoke smuggle snow sober soil sojourn soldier solid solitude solution solve...»*.

Отец, как всегда, словно читал мои мысли. Он наклонился ко мне и прошептал:

– Этот парень явно страдал от обсессивно-компульсивного расстройства!

Я кивнула:

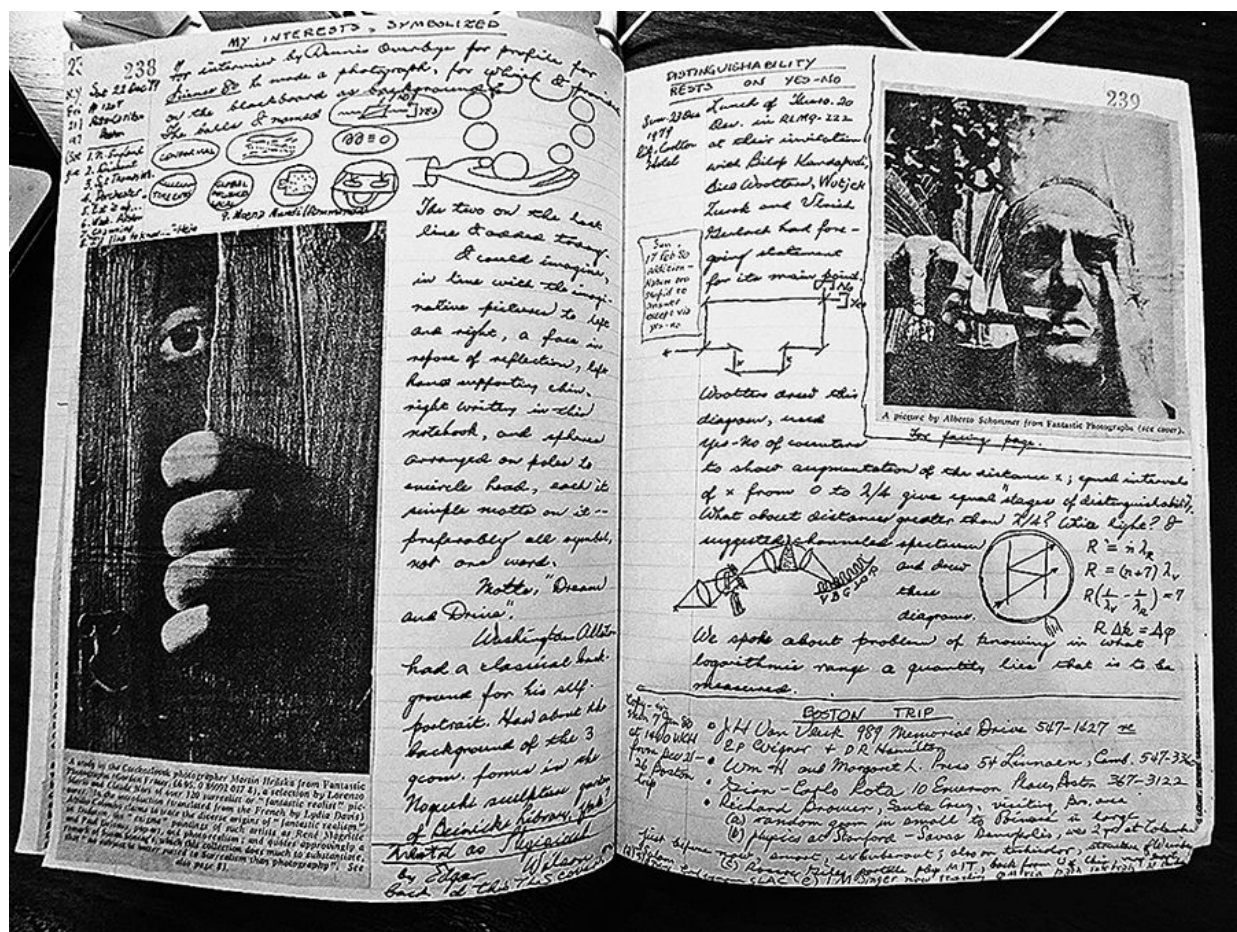
– Думаешь?

Он даже в поездки брал с собой словарь синонимов: этот факт я почерпнула из списка вещей, который когда-то украшал его чемодан вместе с соответствующим каждой вещи весом. Изрядное количество веса было выделено на книги. Обычно в поездки он брал с собой две книги по физике, несколько книг по философии, несколько томов поэзии и этот самый словарь. Родители Уилера оба были библиотекари. Очевидно, он унаследовал их преданность письменному слову и каталогизации.

«Spurn spyglass squeeze stable staccato stage stamp stand standing star start state stay steel steep steer steersman...»

Мы читали в тишине, уложив массивные тетради на пенопластовые подставки, осторожно переворачивая хрупкие страницы, которые еле-еле держались в переплете, обветшавшие с течением времени под тяжестью фотографий, открыток и документов, которые Уилер приклеивал к ним. Я подумала, что, наверное, Уилер стал вклеивать в свои дневники абсолютно все, после того как Эйзенхауэр лично отругал его за потерю в поезде секретных документов по водородной бомбе.

Вскоре я стала узнавать математическое выражение, означавшее то же, что и фраза Уилера «граница границы равна нулю»: $\partial\partial \equiv 0$. Оно появлялось всюду: «Из всех закономерностей больше всего меня наводит на размышления $\partial\partial \equiv 0$ »; «Все из ничего $\partial\partial \equiv 0$ ». Он описывал его как «связь пространства-времени с массой» и как «мрачные проблески пространства». Он добавлял: «Принцип алгебраической геометрии, состоящий в том, что „граница границы равна нулю“, не зависит от размерности. Трудно найти принцип проще, из которого выводились бы все законы физики, если, по сути, они основаны на „законе без закона“ во Вселенной, где все шиворот-навыворот. Поэтому интересно видеть, что значительная часть электромагнетизма, гравитации и полевой теории Янга – Миллса, описывающей взаимодействие кварков, построены именно на этом принципе. Однако в каждом из этих случаев есть существенная часть теории, которая не обладает столь же простой структурой».



Библиотека Американского философского общества. Страницы из дневника Джона Уилера.

Фото: А. Гейфтер.

Как могли электромагнетизм, гравитация и квантовая хромодинамика быть построены на принципе границы границы? Было ясно, что Уилер видел в нем объединяющий физический принцип и возможный способ получить нечто из ничего. Но что, черт подери, это значит? И что обозначал тройной знак равенства? Я наклонилась, чтобы спросить отца.

– Тождественное равенство, – прошептал он.

– Разве это не то же самое, что и нормальный знак равенства? – спросила я.

– Знак равенства говорит, что левая и правая части иногда равны друг другу. Три параллельные черты означают, что они равны друг другу всегда, по определению.

Объяснение исчерпывающее. Я продолжила чтение.

«Ездить везде, разговаривать со всеми, обо всем всех расспрашивать», – писал Уилер и всегда так и поступал. Многие записи были сделаны в дороге, он много путешествовал по земному шару, встречался с физиками, философами, математиками, практически со всеми, кто мог как-то помочь ему разгадать тайны Вселенной. Временами, правда, его постигало разочарование: «В течение всего путешествия мы пробовали разные идеи, но все равно так и не понятно, как построить структуру из небытия».

Вскоре я обнаружила: Уилер знал, что на его возвышенные философские искания коллеги смотрели свысока, и это определенно беспокоило его. Оказалось, это беспокоило и его жену Жанетт, причем даже в большей степени. 31 января 1976 года он написал: «Мы с Жанетт приехали в Принстон... Здесь прекрасные люди. Но в целом они скептически отнеслись к тому, что я собирался рассказать. Жанетт очень расстроилась и на следующее утро, когда мы проснулись, рассказала, что во время моего доклада даже чуть не расплакалась. Она сказала, что я говорил о вещах, которые обычно обсуждают студенты колледжа, невероятно наивно, с туманными комментариями о природе реальности, с множеством цитат, но зацепиться не за что. Легкая, непринужденная манера изложения не могла восполнить недостаток содержания. Ей кажется, что она видела, как Джанкарло Вик делал по ходу ядовитые замечания сидящему рядом с ним И. А. Раби. И я не уложился в отведенное для моего выступления время... Раби потом говорил мне: „Я слышал, что вы забросили физику ради такого рода занятий“. Возмущенный, я обсудил с ним мою работу по теории рассеяния для юбилейного сборника Боргманна. Льюис Томас тоже был настроен несколько антифилософски. Оге Петерсен (Ешива) назвал мой доклад красивым и поэтическим, но добавил, что в нем был один термин, „квантовый принцип“, который может привести к путанице».

На следующий день ему нанес визит Стивен Хокинг, который пригласил его выступить на конференции в Кембридже. В ответ Уилер уныло сказал: «Может да, а может нет», пояснив: «Я рассказал ему о неважной реакции публики на мое желание обсуждать общие идеи простым доступным языком. Он посочувствовал мне и сказал, что он обсуждает новые, еще не оформившиеся идеи только в компании одного или двух коллег».

Уилер также беспокоился по поводу влияния, которое его поиски могли оказать на последователей, разделяющих его взгляды. 25 мая 1979 года в своем гостиничном номере в отеле *Hyatt Regency* в Новом Орлеане он сделал такую запись: «Уилер ведет людей за собой. Он не может просто так бросить их у подножья скалы. Он должен показать им путь наверх. Будущее многих из них зависит от успеха на пути, по которому он их ведет. Он не может их подвести. Он отвечает за исполнение взятых на себя обязательств».

Вечером, после закрытия библиотеки, мы брели по мощенной булыжником улице. Потребовалось время, прежде чем мои глаза привыкли к сумеркам, а мой разум выбрался на поверхность из мыслей Уилера. У меня было ощущение, похожее на то, какое бывает, когда выходишь из кинотеатра, но мыслями все еще в мире только что просмотренного фильма, и мозгу требуется определенное время, чтобы вернуться в реальность. Только просмотренный мною фильм длился восемь часов и изобиловал заумными идеями мучающегося гения.

Я посмотрела на моего отца с улыбкой:

– Ну и ну.

– Не то слово, – сказал он. Вид у него был немного ошарашенный. – Я представлял себе все это совсем иначе. Он мне всегда казался таким веселым, беззаботным парнем. Представить себе не мог, что ему было так...

– Тяжело?

– Да. Он был неумолим. Полон решимости. Но это не совсем верные определения.

Отец кивнул.

– Это называется одержимостью.

Несколько дней спустя я обнаружила, что у Уилера была еще одна страсть – Курт Гёдель. «Я убежден, что дело Гёделя приведет его в физику, а физика приведет к пониманию его дела. К нему важно возвращаться снова и снова», – написал Уилер в своем дневнике 22 июля 1973 года. «Моя беда, боюсь, заключается в том, что, закончив писать, я не вижу следующего дела, но вижу бесконечное количество следующих дел, среди которых ничто не позволяет сделать явный выбор».

Слова о «деле Гёделя», несомненно, относились к теореме Гёделя о неполноте, согласно которой всякая внутренне непротиворечивая система математических аксиом не может быть полной. Гёдель доказал эту теорему, сформулировав на языке арифметики предложение, имеющее примерно такой смысл: «Это предложение невозможно доказать, исходя из данной системы аксиом». Если предложение можно доказать, основываясь на данной системе аксиом, то, значит, оно ложно, и система аксиом внутренне противоречива, поскольку обосновывает ложное предложение. Но если его доказать невозможно, то оно должно быть верным, однако его истинность не следует из имеющихся аксиом, и, следовательно, система не полна, хотя и не противоречива. Одним словом, как в классическом парадоксе: «Это высказывание ложно». Если оно ложно, то оно истинно, а если истинно, то ложно.

Но вот в чем дело: очевидно, что предложение у Гёделя на самом деле истинно. Но его невозможно доказать на основе непротиворечивой системы аксиом, потому что если бы система была на это способна, она сама бы себя уничтожила. Нет сомнений, что предложение утверждает истину. Оно истинно, но недоказуемо. *Мы знаем*, что предложение истинно, хотя математическая система, в рамках которой оно построено, *не знает*. Как такое может быть? У нас есть преимущество, которого система лишена: мы находимся вне ее. Посмотрев на нее глазами Бога, находящегося над ней, мы можем определить истинность или ложность предложения. Внутри системы – оно не что иное, как парадокс.

Весь сыр-бор возникает из-за единственного слова – «это». Предложение говорит само о себе. Ссылка на самого себя – это корень дилеммы внутри/снаружи. Вы не можете оценивать достоверность утверждений о системе изнутри самой системы – для определения их истинности или ложности вы должны посмотреть на них с более высокого уровня реальности. Теорема Гёделя о неполноте гласит, что при малейшей ссылке на себя существует предел того, что мы можем знать о системе, непреодолимый до тех пор, пока мы не выйдем за ее пределы. И если я что-то узнала о Вселенной, так это то, что *за пределы этой системы* мы выйти никогда не сможем.

За несколько месяцев перед тем, как сделать эту запись, Уилер подошел к Гёделю на вечернем приеме, устроенном в честь принстонского экономиста Оскара Моргенштерна. Уилер и Гёдель были

близкими друзьями Альберта Эйнштейна. Уилер объяснил Гёделю, что его интуиция подсказывает ему: существует глубокая связь между теоремой Гёделя о неполноте и принципом неопределенности Гейзенберга. Оба были сформулированы примерно в одно и то же время и неожиданно наложили строгие ограничения на познаваемость Вселенной. Гёдель не захотел говорить на эту тему. Когда Уилер спросил почему, выяснилось, что Гёдель не испытывал энтузиазма по поводу квантовой механики. Как выразился Уилер, «он съел достаточно соли с Эйнштейном, чтобы его мозги промылись до утраты всякого интереса к квантовой теории, и для меня это большая трагедия, потому что проницательность Гёделя могла бы сыграть ключевую роль».

Уилер, казалось, был убежден, что внутри гёделевской неполноты спрятан смысл квантовой механики. Но почему? «Идея изоморфизма между логикой высказываний и предгеометрией интересна как никогда», – писал он.

Я знала, что предложения в логике подобны атомам – это простые утверждения, которые могут быть либо истинны, либо ложны: например, «снег белый» или «мои брюки горят». Исчисление предложений сводится к набору простых правил, устанавливающих отношения предложений друг с другом. И я знала, что предгеометрия, как назвал ее Уилер, была какой-то таинственной сущностью, лежащей в основе пространства-времени и образующей строительный материал реальности. Предположительно, для нее основанием служил принцип $\partial\partial \equiv 0$. Но почему должно существовать изоморфное соответствие между логикой высказываний и какой-то предгеометрией, было за пределами моего понимания.

Я заметила подсказку, когда Уилер цитировал математика Ханса Фрейденталя, который говорил о логике высказываний: «Наш вокабуляр не в каком-то определенном подлежащем. Предикаты, так сказать, висят в воздухе; они не относятся ни к чему». Напротив этого Уилер написал: «Восхитительно! Практически открытое приглашение стать основой для квантовой механики, как и для предгеометрии».

И снова Уилер сбился с пути: «Не понимая, куда двигаться дальше, – писал он, – пришел к заключению, что нужно пробираться через подлесок. „Путешественник, здесь нет троп. Тропы прокладывает сам идущий“».

Правила, по которым исчисляются предложения, определяют отношения между бинарными предложениями, которые принимают одно из двух значений – либо истина, либо ложь, без всякой связи с их смыслом. Собственный их смысл не важен; главное – установить отношения, сохраняющие истинность, независимо от истинности или ложности исходных предложений. Если из p следует q и q ложно, то p является ложным – истинность этого правила не зависит от того, горят мои штаны или нет. Именно в этом Уилер увидел проблеск структуры без структуры, формы без содержания, что-то из ничего, к чему, как он надеялся, $\partial\partial \equiv 0$.

«Определенная уникальность, естественность и красота должны быть свойственны реальным уравнениям, – писал он, – но прежде всего это простота. Какая самая простейшая математика, которая нам известна?... Нет ничего проще, чем $+$ —, истинно – ложно, да – нет, вверх – вниз. Последующие размышления и анализ показали, что существует множество структур, которые могут быть построены на основе этих бинарных элементов, но в каждой из них при ближайшем рассмотрении имеется некоторый произвольный элемент, число или структура с единственным исключением – исчислением предложений. Кажется, оно обладает желаемым свойством уникальности и простоты. Логика слишком важна, чтобы оставить ее исключительно для логиков».

Уилер, однако, не собирался так легко отступить от Гёделя. Потерпев первую неудачу, Уилер привлек некоторых из своих студентов, чтобы они встретились с Гёделем в Принстоне и снова задали ему вопрос о связи между неразрешимостью и квантовой механикой. Гёдель выгнал их из своего кабинета. Тогда Уилер попробовал применить другую тактику. В дневнике я нашла вклеенное письмо, которое он написал Гёделю в декабре 1973 года. Видимо, Уилер думал, что Гёделю будет легче ответить на вопрос, если ему будут предложены варианты ответов. Вот текст этого письма:

Несколько месяцев назад на вечернем приеме у Оскара Моргенштерна я был весьма поражен, когда узнал, что Вы верите в существование того, что иногда называют «объективной Вселенной». Согласно современным представлениям, ее существование нарушает принципы

квантовой механики. Конечно, я, возможно, неправильно Вас понял. Но если я понял правильно, это могло бы объяснить отсутствие мотивации разобраться в принципах квантовой механики в терминах исчисления предложений или в любых иных терминах. К чему пытаться объяснить то, что Вы не считаете верным! Вы очень занятой человек, я знаю, что не вправе просить Вас написать письмо. Но не могли бы Вы уделить немного времени, чтобы отметить в приложенной анкете правильные ответы и переслать ее обратно мне во вложенном конверте с обратным адресом? Вместе с Оскаром Моргенштерном и многими другими я разделяю восхищение Вами и Вашей работой, и Вы окажете мне большую честь и помощь, указав с помощью этой анкеты, в каком направлении движется сейчас Ваша мысль. С наилучшими пожеланиями в 1974.

С уважением,

Джон Арчибальд Уилер

Ниже был приведен вопрос с несколькими вариантами ответа, которые Уилер написал для несговорчивого Гёделя.

Приходилось ли Вам когда-нибудь формулировать в своих публикациях причины Вашего несогласия с квантовым принципом?

- _ Вопрос поставлен некорректно
- _ Никогда ни в малейшей степени не упоминал этого в своих публикациях
- _ Публиковал; см... _____
- _ Каков Ваш главный аргумент? _____
- _ Слишком долго, чтобы писать здесь и сейчас.

Я рассмеялась в восхищении от настойчивости Уилера. «Упорство будет вознаграждено».

Через несколько недель он послал второе письмо, на этот раз Полу Коэну, математику из Стэнфорда, который был награжден медалью Филдса за работу по логике. Как и Гёдель, Коэн доказал, что

определенные математические утверждения в теории множеств таким же образом были неразрешимыми.

«Вот уже двадцать лет я занимаюсь физикой гравитации и теорией относительности, — писал Уилер Коэну. — В результате я пришел к выводу, что тайна мироздания кроется глубже, в квантовом принципе; что квантовый принцип связан на каком-то фундаментальном уровне с логикой и исчислением предложений, что в каком-то глубоком лейбницианском смысле строение Вселенной связано с нашим собственным существованием; и только когда мы осознаем странность Вселенной, только тогда мы сможем понять, насколько просто она устроена. Я не знаю, за что зацепиться. Мне требуется более глубокое понимание. Я не могу отделаться от ощущения, что Ваши удивительные достижения гораздо глубже связаны с проблемами, которые волнуют меня, чем осознает большинство физиков сегодня. Было время, когда аксиома Евклида о параллельных прямых казалась всего лишь вопросом логики. Но появились Бойяи и Лобачевский. Затем появился Риман и показал самую непосредственную связь проблемы с физикой, открыв дверь Эйнштейну и общей теории относительности. То же происходит и сегодня: многие думают, что проблема неразрешимости лежит исключительно в рамках логики. Но Господь Бог, боюсь, не мог воспользоваться преимуществами методов, которыми владеет учебная часть любого университета, без труда определяя, что относится к физике, что к математике, а что к философии. Я боюсь, что у Него все это было вместе».

Уилер явно выполнял какую-то миссию — но почему? Что он пытался найти? Через несколько страниц его планы стали понятнее. На листочке из блокнота с эмблемой авиакомпания TWA, вклеенном в дневник, была запись, озаглавленная «Добавить „актер“ к „неразрешимым предложениям“, чтобы прийти к физике».

«Рассмотрим квантовый принцип, — говорилось дальше. — Из всех хорошо изученных физических понятий нет другого столь же важного и в то же время столь же загадочного. Его ключевой идеей здесь, в этой заметке, полагается интерактивность, а его исходной точкой — „неразрешимые предложения“ математической логики. С этой точки зрения физика — это не механизм. Логика — не машинное масло, которым время от времени смазывают механизм. Вместо этого все, с чем физика имеет дело, происходит из двух источников и, подобно

развертке изображения в электронно-лучевой трубке, зависит от их совместного действия. С одной стороны – актер. С другой – комплекс неразрешимых предложений математической логики. „Актер“, пользуясь своей свободой воли, присваивает этим предложениям значения „истина“ или „ложь“. По мере того, как он это делает, соответствующий мир разворачивается на экране. Если нет актера – нет мира!.. Эти утверждения не говорят ни о чем конкретно. Они являются строительными блоками, или „предгеометрией“, из которой возникает воспринимаемая нами „реальность“».

Я была настолько погружена в чтение дневника, что чуть не свалилась со стула, когда тишину неожиданно нарушила барабанная дробь, заполнив библиотеку звуками песни «Янки дудль». Я выглянула в окно и увидела оркестр, маршировавший мимо библиотеки в полном обмундировании времен Войны за независимость. Теперь, когда я перенеслась из мозга Уилера куда-то в 1776 год, я решила, что настало время сделать перерыв на обед.

– Я просто не понимаю всей этой истории с Гёделем, – говорила я отцу, накладывая ложкой жареный рис с омаром себе на тарелку. – Он думает, что неразрешимые предложения в логике Гёделя предоставляют возможности интерактивного участия квантовых наблюдателей. Допустим, у нас есть некое логическое предложение, «спин электрона направлен вверх». Это истина или ложь? Чтобы дать ответ на этот вопрос, нам необходим наблюдатель вне математической логики. Таким образом, мысль Уилера заключается в том, что каждый раз, когда наблюдатель определяет истинность или ложность предложения, он регистрирует бит информации, или, скорее, он вносит бит информации в окружающий мир, и так по крупицам мы выстраиваем реальность. Он писал: «Логика – строительный материал».

– То есть приписывание истинности или ложности предложению – это что-то вроде редукции волновой функции? – спросил отец.

– Наверное. Неразрешимость требует внешнего наблюдателя, так же как и в квантовой механике.

– Но когда дело касается Вселенной, невозможно быть внешним наблюдателем. Разве не в этом заключается основная проблема объединения квантовой механики с общей теорией относительности?

Я кивнула:

– Угу. Я не понимаю, как неразрешимость помогает.

– Ты думаешь, Уилер знал, как она помогает?

– Пока нет. Пока я думаю, что он просто подозревал, что это две формулировки для одного и того же. Но дважды сформулировав проблему, мы не приблизимся к ее решению. Кроме того, я не уверена, что теорема Гёделя применима к таким понятиям, как спин электрона. Возможно, она применима только к предложениям, которые наблюдатели формулируют относительно себя?

Вернувшись в библиотеку, я снова погрузилась в мир Уилера. Страница за страницей он бился над одними и теми же вопросами, ходил по кругу одних и тех же идей, отчаянно пытаясь выпутаться из слов. Он был убежден, что здесь было нечто большее, чем «дело Гёделя», тут воплощалось что-то вроде квантовой логики. Эта логика требовала внешних наблюдателей, чтобы разрешить неразрешимое изнутри, чтобы извлечь уравнение из безжизненной кучи, дать ему возможность «расправить свои крылья и полететь», для чего требуется «вмешательство... предполагаемое квантовым принципом в его наиболее примитивном виде». Снова и снова он возвращался к границе границ, ключу – он был уверен в этом – к пониманию того, как мы можем выстраивать физические структуры из чего-то бесструктурного, используя самоинициализирующуюся петлю, самонастраивающийся контур, проступающий из призрачного небытия. «Физика, – писал он, – это машинерия, позволяющая создать что-то из ничего». Бит за битом, измерение за измерением, предложение за предложением – он видел, как призрачное небытие начинает затвердевать, и он мечтал, что вместе мы могли бы выстроить мир из примордиальной дымки, из которой возникли и мы сами.

Я была в замешательстве. Самонастраивающийся контур предполагает внутренних наблюдателей; это мир, глядящий на самого себя, сущность без окон, внутри без снаружи, односторонняя монета. Как сказал Торн: «Контур оказывается самонастраивающимся в том смысле, что наблюдения проводятся изнутри Вселенной, а не извне». Но гёделевская картина мира, по Уилеру, требовала внешних наблюдателей, которые бы приписывали явлениям смысл откуда-то с более высокого уровня. Откуда? Изнутри или снаружи?

Не только я находилась в замешательстве. В дневнике Уилер записал вопрос, который ему задал один студент во время лекции: «Рыжеватый вдумчивый студент с математическим складом ума спросил меня: а разве сам актер – это не физическое тело? Не возникает ли тут гёделевская ситуация, когда метаматематическое утверждение о системе делается изнутри самой системы?... Я ответил, что я бы думал об актере как абстрактном элементе вне системы. Это – я сказал ему (и сказал бы кому угодно) – гипотетический подход. Здесь не математическая логика. Здесь математическая логика плюс актер. Наиболее важная проверка: дает ли это что-нибудь вроде квантовой механики. Если дает, то у нас зеленый свет, позволяющий идти дальше; если нет, то нам придется пересмотреть весь ход нашей мысли».

Он, казалось, следуя по стопам своего наставника Бора, проводил четкую границу между наблюдателем и наблюдаемым. Но впоследствии Уилер понял, что однозначно провести такую границу нельзя. «Элементарные явления невозможны без различения между наблюдательным оборудованием и наблюдаемой системой, – писал он. – Но эта граница может быть похожа на лабиринт и оказаться настолько запутанной, что лежащее, с одной точки зрения, по ту сторону и играющее роль наблюдательного оборудования, может рассматриваться с другой точки зрения как лежащее по сию сторону, и рассматриваться в качестве наблюдаемой системы». *Мы формируем то, что формирует нас.* «Разве не ошибались мы, проводя похожее разделение между „Вселенной“ и „жизнью и разумом“? – писал он. – Разве не должны мы искать способ представлять их себе как одно?»

Я посмотрела на отца, который продолжал внимательно читать, и улыбнулась. Все было так, как оно должно было быть и как было с самого начала. Обратно к Уилеру. Так мы вдвоем и сидели тихо бок о бок, читали и искали ответа на загадку Вселенной.

Через несколько страниц я наткнулась на газетную заметку из лондонской *Daily Telegraph*, которую Уилер вклеил в свой дневник: «Дни становятся все короче».

На следующее утро мы расположились на нашем обычном месте в библиотеке и снова углубились в мысли Уилера. В очередной раз я увидела, как он исследует роль наблюдателей в создании реальности. Ему надо было знать, каким критериям должен удовлетворять

«наблюдатель» и что представляет собой «наблюдение», способное выдавать биты из призрачного небытия за реальность.

«То, что мы привыкли называть „физической реальностью“, оказывается, в основном, конструкцией из папье-маше, которую возводит наше воображение, заполняя пространство между надежными железными столбами наших наблюдений, — писал Уилер в одном из дневников. — А сами наблюдения представляют собой настоящую реальность». Но были и вопросы, на которые, казалось, он не мог ответить: кто играет роль наблюдателя? И, самое главное, существует всего один наблюдатель, или их много?

«Всего несколько раз за всю жизнь у меня бывало больше сомнений, чем есть сейчас по вопросу об относительном вкладе индивидуального и коллективного в сам смысл существования, — писал Уилер. — Вчера вечером, прежде чем уснуть, я не мог еще представить, как кто-то может сомневаться в том, что существование индивидуально: где еще, кроме как в моей голове, существует мир, которому я ищу объяснение?» Но вскоре после этого, в поезде из Род-Айленда в Бостон, Уилер напишет: «Как нелепо было думать, будто каждый создает заново свою вселенную. Более того, смысл возникает при взаимодействии с другими, а не из „сознания одинокого индивидуума“, что бы это ни означало».

Я недоумевала: зачем притягивать сюда сознание вообще? Уилеру было известно, что была сплошная мистическая топь и что этот пробел в нашем понимании не мог быть восполнен ничем другим. Наблюдатели — да, конечно, но почему не остановиться на эйнштейновском понимании наблюдателя, включающем просто тело отсчета и систему координат, состоящую из жестких стержней и часов? Ведь первое, к чему приводит самонастраивающийся контур, — во Вселенной возникает наблюдатель. Это значит, что наблюдатель, наделен он сознанием или нет, должен быть обычным физическим телом, а не золотой пыльцой.

Но по мере того как я читала дальше, причины обращения Уилера к сознанию становились все яснее. По-другому ему не удавалось решить проблему второго наблюдателя.

«Что происходит, когда несколько наблюдателей создают одну и ту же Вселенную?» — спрашивает Уилер в своем дневнике. Это был немаловажный вопрос. Здесь было фундаментальное препятствие к

пониманию значения кванта, а потому — и существования вообще. Уилер был уверен, что самонастраивающийся контур был единственной жизнеспособной структурой, объясняющей существование — этого не давали ни башня из черепашек, ни исходная субстанция, но он не мог понять, как втиснуть в этот контур более одного наблюдателя. Этот вопрос мучил его.

Уилер был не первым, кто указал, что квантовая механика скатывается к парадоксу в момент, когда вы вводите второго наблюдателя. Лауреат Нобелевской премии физик Эйген (Юджин) Вигнер однажды уже продемонстрировал это в мысленном эксперименте типа шрёдингеровского кота, ставшем известным как парадокс друга Вигнера. Он заключается в следующем: в лаборатории друг Вигнера ставит эксперимент, в котором атом случайно испускает фотон, производя вспышку света, оставляющую след на фотографической пластинке. Квантовая механика утверждает, что атом находится в состоянии, представляющем собой суперпозицию двух состояний: с излученным фотоном и без. После того как друг Вигнера проверит фотопластинку, он зафиксирует один результат — излучил атом фотон или нет. Таким образом, проверка состояния фотопластинки редуцирует волновую функцию атома, преобразуя две возможности в единственную реальность.

Вигнер тем временем находится вне лаборатории. С его точки зрения, квантовая механика утверждает, что до тех пор, пока его друг не сообщит ему результат эксперимента, атом остается в суперпозиции двух состояний: с излученным фотоном и без. Более того, его друг сейчас находится в суперпозиции двух состояний: когда он зафиксировал след фотона на фотопластинке и когда следа фотона на фотопластинке не оказалось. Только Вигнер, как утверждает квантовая теория, может редуцировать волновую функцию, спросив своего друга, что произошло в лаборатории.

Две эти истории противоречат друг другу. По мнению друга Вигнера, волновая функция атома перешла в одно из двух состояний в тот момент, когда он посмотрел на фотопластинку. А по мнению Вигнера, его друг представлял собой суперпозицию состояний, которая коррелировала с суперпозицией состояний атома; редукция этих состояний произошла только тогда, когда Вигнер поговорил со своим

другом. Какой из двух рассказов истинный? Кто является истинным творцом реальности – Вигнер или его друг?

«Теория измерений, – писал Вигнер, – логически самосогласованна до тех пор, пока я сохраняю свое выделенное положение в качестве привилегированного наблюдателя». С точки зрения Вигнера, квантовая механика «выглядит абсурдной, так как подразумевает, что мой друг находился в состоянии анабиоза, прежде чем ответил на мой вопрос». Выход есть – признать, что он сам был единственным наблюдателем во Вселенной. Но такое решение Вигнера не устраивало: «Отрицать существование сознания у друга, безусловно, не приемлемо и граничит с солипсизмом, только очень немногие примут такую точку зрения», – писал он. Вместо этого Вигнер использовал описанный парадокс, чтобы продемонстрировать особую роль сознания в физике: если атомы, фотопластинки и с болезненным педантизмом ведущиеся дневники могут находиться в состоянии суперпозиции, то сознание не может.

Хью Эверетт, студент Уилера из Принстона, также принимал проблему второго наблюдателя за основную загадку квантовой механики. В 1955 году в своей диссертационной работе, выполненной под научным руководством Уилера, Эверетт писал: «Интерпретация квантовой механики... неосуществима, если мы рассматриваем Вселенную, в которой более одного наблюдателя». В качестве возможного выхода из создавшегося положения Эверетт предложил «постулировать существование только одного наблюдателя во Вселенной. Это позиция последовательного солипсизма, исходя из которой каждый из нас должен принять, что только он является единственным наблюдателем, при этом волновая функция остальной Вселенной и ее обитателей эволюционирует линейно, за исключением тех случаев, когда они попадают в поле его наблюдения. Это представление вполне самосогласованно, но вы должны чувствовать себя неловко, когда, например, пишете учебник по квантовой механике, в котором описывается редукция волновой функции посредством наблюдения. При этом учебник предназначен для лиц, к которым все сказанное не относится».

Но Эверетт предложил решение, которое было полной противоположностью решению Вигнера: вместо предпочтения сознательных наблюдателей, Эверетт отказался от понятия редукции

волновой функции полностью. Вместо этого, сказал он, нам следует предположить, что Вселенная вместе со всеми содержащимися в ней наблюдателями описывается одной волновой функцией, которая никогда не редуцируется. В этом случае целесообразно рассматривать друга Вигнера, находящегося в состоянии суперпозиции. А также и самого Вигнера. А также и всех нас. С каждым незначительным выбором, который мы делаем, выключая будильник или просыпаясь, разбалтывая на завтрак яйца или доставая вафли, выезжая на 76-й хайвей или предпочитая ему Ореховую улицу, мы эволюционируем во все более сложные суперпозиции, соединяющие в себе состояния сделанности и несделанности всего того, что мы когда-либо сделали или не сделали. Если бы мы могли оказаться за пределами Вселенной и за пределами себя самих, мы бы увидели этот запутанный клубок, все эти бесчисленные повторения каждой возможной вариации, но так как мы не можем этого сделать, то мы неизбежно видим только ограниченную перспективу, в которой *нам кажется*, будто квантовые волновые функции претерпевают редукцию, и в которой *нам кажется*, будто мы живем в единой реальности.

В 1957 году журнал *Review of Modern Physics* опубликовал сокращенный вариант диссертации Эверетта вместе со статьей Уилера, описывающей ее положительные стороны. «В интерпретации квантовой механики Эвереттом, – писал Уилер, – не вводится концепция супернаблюдателя; в ней эта концепция отвергается с самого начала». Это хорошо, объяснял Уилер, потому что кроме интерпретации Эверетта «у нас нет под руками никакой другой состоятельной системы идей, допускающей квантование замкнутой системы, такой как Вселенная общей теории относительности». Опять же, для квантовой гравитации остается центральный вопрос: если нет ничего за пределами Вселенной, как придать смысл ее квантованию, оставаясь внутри? Теперь я понимала, что то же самое можно спросить иначе: а что происходит, когда имеется более одного наблюдателя?

Несмотря на одобрительное в целом отношение к деятельности Эверетта, сам Уилер все-таки больше склонялся к мнению Бора о фундаментальном значении разграничения наблюдателя и наблюдаемого, даже если «эта граница может быть похожа на лабиринт». Читая его дневники, было нетрудно понять почему. В квантовой теории Уилер подсмотрел механизм создания реальности из

ничего, бит за битом, отвечая «да» или «нет» на череду вопросов. Но если наблюдатели не представляют из себя ничего особенного, если они – такая же часть системы, как и остальные физические объекты, то не остается никакой возможности ожидать от них специальных качеств, позволяющих творить реальность. Если наблюдатели навсегда застряли внутри, то им присуща все та же гёделевская неопределенность, как и всей системе в целом, бессильной судить об истинности неразрешимых предложений. В эвереттовской картине мира наблюдатели не играют активной роли. У них нет необходимости в редукции волновой функции, возникающей в результате множества различных состояний – они просто все накрыты одной большой волной Шрёдингера. Бытие в условиях наблюдательного короткого замыкания. Мы все барахтаемся в одной общей, огромной, универсальной волновой функции, лишенные – черт возьми! – всякой возможности как-нибудь узнать, откуда же она взялась.

А подход Бора, как показал Вигнер, имел смысл только во Вселенной с одним наблюдателем. Таким образом, для Уилера оставалось только три варианта. Во-первых: он мог стать последовательным солипсистом и, следуя своим склонностям, двигаться куда угодно и говорить о чем угодно, словно его окружают малые дети. Во-вторых: он мог согласиться на эвереттовские ветвящиеся параллельные реальности и отказаться от надежды объяснить сущее через наблюдения. В-третьих: он мог утверждать, что сознание каким-то волшебным образом не подчиняется законам физики и еще более загадочным образом обладает способностью влиять на физический мир, вызывая редукцию волновых функций. «У меня нет никаких оснований чувствовать себя менее комфортно с „бытие из бита“, чем спрашивая, *чей* бит», – написал он.

Порой Уилер начинал склоняться к солипсизму, к идее, что каждый наблюдатель был единственным, кто способен управлять состоянием волновых функций в его или ее собственной независимой вселенной. Это тоже была многомировая концепция, но совсем не похожая на ту, о которой писал Эверетт. С точки зрения Эверетта, каждый наблюдатель занимает свою собственную ветвь единой, общей вселенской волновой функции. В солипсической картине мира для каждого наблюдателя существовала одна Вселенная – одна волновая функция. Вместо того

чтобы всем вместе разделять одну реальность, каждому наблюдателю дается свой собственный мир.

«Я чувствую свою ошибку, когда ищу *единого смысла*, суммирующего опыт всех *актеров-наблюдателей* и строящегося на нем, поиском которого я так долго был занят, – писал Уилер в одном из дневников. – И тогда я цитирую [Уолтера Липпмана] (заставившего меня признать мыслимым отказ от каких-либо физических представлений, построенных на идее о „единстве мира“): „Человек – это не аристотелевский бог, озирающий все сущее единым взглядом“^[44]».

«Является ли *этот мир* приводящим к заблуждению упрощением *всех наших миров*? – вопрошал он. – Что означают эти отдельные миры, и как они согласуются друг с другом – не это ли главный вопрос? ... Много познавательных контуров и ни одного универсального? Это честность. И возникает захватывающий вопрос об их взаимосвязях – как связать их друг с другом. Воистину „большая жужжащая масса“^[45]!» Через несколько дней он писал: «Идея, конечно, не новая, будто существует не *один мир*, а столько миров, сколько наблюдателей, и *смысл* возникает при их согласовании, но сколько должно быть согласования?»

– Он подбирается к вопросу, является ли Вселенная сама по себе инвариантом, – прошептала я отцу. Тот поднял глаза и наклонился, чтобы увидеть отрывок, на который я указывала: «Я готов задаться вопросом о самом термине „Вселенная“».

Но, читая дальше, я поняла, что солипсизм вызывал у Уилера чувство дискомфорта и он неизбежно отклонялся в сторону привычной точки зрения: «Я не могу сделать что-то из ничего, – писал он, – и вы не можете, но вместе мы можем».

Я вспомнила книгу Уилера «Дома во Вселенной», где он утверждал прямо, что необходимо несколько наблюдателей, чтобы построить реальность. Ни один наблюдатель, по его мнению, не способен сделать достаточно измерений, чтобы дать жизнь всем битам, которые понадобятся для построения целой Вселенной. «Мыши, люди и все на земле, кто когда-нибудь поднимется до уровня способности коммуникации, – прямо участвующие наблюдатели никогда не произведут такой объем информации, который будет достаточен, чтобы нести столь великое бремя», – писал он.

Уилер стоял перед дилеммой. Единственная возможность сохранить множественных наблюдателей, живущих в одной и той же Вселенной, не отказываясь от наделения их способностью создавать реальность, – это допустить, что сознание играет какую-то особую роль, однако он делал это с большой неохотой. В результате сразу возникало множество странных, но неизбежных вопросов, вроде: «Какой требуется уровень сознания?», «А червяк подойдет?», «А как насчет бытовой техники?»

«Про компьютер – есть ли у него мозг? Про запрограммированного инстинктом червяка – отличается ли он чем-нибудь от любого гаджета, хотя бы от посудомоечной машины, со встроенными реакциями на несколько стандартных раздражителей? Про более высокоорганизованный мозг – возможность обучения: усилить благоприятную реакцию, ослабить неблагоприятные. Про еще более высокоорганизованный – учится у других, особенно языку, придумывает такие слова, как *смысл*, а потом задумывается, что они означают!» В одном месте он даже вложил статью Е. О. Уилсона о коммуникации у животных.

«Где же роль сознания в образовании смысла? – писал Уилер. – И как понимать необходимость квантового принципа для создания мира? Я иду и иду по кругу вдоль одного и того же контура вопросов, пытаюсь найти путь к центру загадки».

И мы вместе с ним шли и шли по кругу. Мне стало интересно, придем ли мы куда-нибудь или останемся в этом кругу навсегда.

– Я не могу перестать думать о проблеме второго наблюдателя, – сказала я за обедом отцу. Мы ходили каждый день в один и тот же ресторан, и персонал нас уже знал.

– Вы где-то рядом работаете? – спросил нас официант, заметив, что каждый раз во время обеда мы просматриваем свои заметки.

– Мы проводим исследования в библиотеке Американского философского общества, тут за углом, – сказал ему отец.

– О, здорово! – откликнулся официант. – Что за исследования?

– По физике, – ответила я.

– Ну надо же, – сказал он. – Я изучал философию физики.

Отец улыбнулся мне. Казалось, он хотел этим сказать: «Поздравляю! Вот твое будущее».

– Ну и ну, – сказала я, покачав головой.

Официант улыбнулся:

– Я сейчас принесу ваш заказ.

– Второй наблюдатель? – спросил отец.

– Да, идея заключается в том, что измерение первого наблюдателя может привести к редукции волновой функции, в то время как второй наблюдатель видит суперпозицию различных состояний системы, объединяющей первого наблюдателя с тем, что он измеряет. Предполагается, что редукция волновой функции в чем-то сродни созданию реальности, но, похоже, для разных наблюдателей она происходит в разное время.

– Выходит, что реальность зависит от наблюдателя? – спросил отец.

– Я полагаю, да. Это просто другой способ представления дилеммы внутри/снаружи, – сказала я. – Потому что первый наблюдатель считает, что находится вне системы, которую он измеряет. Но тут является второй наблюдатель и измеряет первого наблюдателя, а это означает, что первый наблюдатель в этом случае находится внутри системы, а второй наблюдатель находится снаружи. И вы можете сюда еще добавить третьего наблюдателя.

– Такая ситуация складывается всегда, когда наблюдатель становится наблюдаемым.

– Правильно. Это подразумевает, что нет ничего онтологически особенного в наблюдателях, и каждый из них – просто часть Вселенной, существующая внутри нее. Но тогда невозможно объяснить Вселенную как самонастраивающийся контур, потому что с какой стати эти наблюдатели будут обладать каким-то особым могуществом, чтобы создавать Вселенную? А также: кого можно рассматривать в качестве наблюдателя? Уилер считает, что сознание может быть критерием для того, чтобы быть наблюдателем, но это очевидная чушь. Ведь сознание – это всего лишь физический процесс в мозгу. Это никакая не магия.

Отец кивнул:

– Аргументы в пользу сознания звучат по меньшей мере странно.

– Верно, – согласилась я. – Но можно сказать, что он был вынужден предположить это. Он был загнан в угол. Он не мог принять точку зрения Эверетта, не отказавшись от возможности объяснить

сущее, и он не мог встать на позицию последовательного солипсиста и сказать, что в мире есть только один наблюдатель.

– Почему нет?

– Потому что он убежден: одного наблюдателя недостаточно, чтобы создать все биты, необходимые для строительства Вселенной. Он говорил, что общее количество битов во Вселенной должно быть конечно, но вам придется учесть вклады всех наблюдателей, которые когда-либо существовали и когда-либо будут существовать.

Официант принес тарелки с едой.

– Знаешь, о первой части этого суждения позаботился голографический принцип, – сказала я. – Он говорит, что количество информации в любой области пространства-времени должно быть конечно. Но я думаю, что это создает трудности для второй части.

– Ты имеешь в виду учет измерений, сделанных многими наблюдателями?

– Да, потому что обобщенный принцип дополнительности Сасскинда показывает, что в итоге мы существенно обсчитаемся в сторону увеличения объема информации. Нам придется клонировать информацию, нарушая квантовую механику.

Мы не можем учитывать совместно наблюдения, сделанные Сэйфом и Скрудом, иначе мы получим неверное число битов, не говоря уже о слонах.

– Как начинаешь об этом думать, солипсизм кажется наиболее вероятным сценарием.

– Так что ты сейчас разговариваешь только сама с собой? – рассмеялся отец.

– Да! – сказала я. – И, похоже, мне не нужно ни с кем делиться этой лапшой!

Вернувшись в библиотеку, я снова задумалась о голографическом принципе. Жаль, что Уилер не имел возможности по достоинству его оценить. Малдасена сделал доклад о соответствии AdS/CFT во время проведения Принстонского симпозиума, но Уилеру тогда было уже девяносто, и, скорее всего, он плохо слышал. Было также странно, что в дневниках Уилера не было ни одного упоминания ни об излучении Хокинга, ни о горизонтах событий, а ведь они оказали радикальное влияние на нашу концепцию реальности. Уилер не только был

свидетелем этих открытий, – он был в самом их центре. В конце концов, благодаря Уилеру Бекенштейн обнаружил, что горизонты обладают энтропией. На самом деле, это только сейчас пришло мне в голову, что логотип симпозиума «Наука и окончательная реальность» на наших бейджах – сфера, покрытая нулями и единицами, – представлял собой изображение энтропии горизонта черной дыры. Уилер, очевидно, думал, что это было важно. Он показал, что Вселенная построена из битов информации. Но почему же он не уделил достаточно внимания рождению частиц вблизи горизонта событий и тому, что вакуум зависит от наблюдателя? Учитывая, как сильно он хотел показать, что наблюдатели создают реальность, я склонна думать, он был бы поражен этими открытиями.

В 1974 году в дневнике появилась запись, в которой Уилер комментировал новую статью Хокинга «Взрывы черных дыр?», незадолго до этого опубликованную в журнале *Nature*. «Удивительный результат, – вывел Уилер дрожащей рукой. – Точки зрения. Консервативный».

Два года спустя Уилер писал: «Хокинг и Унру говорят, что наблюдатель определяет количество частиц вокруг черной дыры». На этом запись заканчивалась. Спустя несколько месяцев он пишет: «Все ясно. Излучение Хокинга – математический артефакт».

В следующем дневнике, относящемся к 1990 году, я наткнулась на такую запись: «Надо подумать еще раз о горизонтах событий. Мне кажется, что я уже звонил Биллу Унру по этому поводу не больше трех месяцев назад. Если я правильно помню его ответ, он чувствует себя намного увереннее в отношении ускорения, чем горизонта. Я помню – и здесь, пожалуй, это важно, – как Билл Унру в Санта Фе выступал на тему: „не существует такого понятия, как частица“... Звоню ему сейчас же!»

Уилер по-прежнему не слишком распространялся о горизонтах событий. Возможную причину я видела в том, что горизонты разбивали мир на множество несопоставимых систем, тогда как Уилер всю жизнь старался найти способ объединить их вместе. «Ни слова или мысли о том, что то, что мы считаем *нашим*, создано кем-то другим или от чьего-то толчка», – писал он. Вселенная – *одна* Вселенная – это «огромное сооружение, в котором у каждого из нас своя часть».

Он также никогда не увлекался теорией струн. Во время конференции в Санта-Фе в июне 1989 года Уилер писал: «Мюррей Гелл-Манн... сказал: „Тебе надо изучить теорию струн. В ней есть все, что ты ищешь“. Я ответил, что это снова те же самые черепахи: в теории нет места для непосредственного участия наблюдателей. В самом деле, наблюдатели – это бред? Как раз наоборот... К разговорам о внешнем мире – это вот чего теория!»

Вечером, лежа в постели у себя дома, в той самой спальне, где прошло мое детство, я снова думала о соотношении внутри/снаружи, о проблеме второго наблюдателя. Из первого принципа космологии следует, что не существует ничего вне Вселенной, но та вселенная, которая содержит внутри себя своих собственных наблюдателей, обречена на патологическую самореференцию, поскольку любой наблюдатель, описывающий эту вселенную, должен включать себя в описание, и это тот самый род самореференции, который, как показал Гёдель, приводит к неизбежной неопределенности, оставляя висящим в воздухе вопрос об истинности предложений.

И дело не только в Гёделе. В 1936 году, через пять лет после того, как Гёдель доказал свою теорему о неполноте, и через девять лет после того, как Гейзенберг обнаружил принцип неопределенности, Альфред Тарский, польский логик, показал, что в любом формализованном языке, в котором возможна рекурсия, можно построить предложения, истинность которых неопределенна в рамках языка. В том же году Алан Тьюринг, основоположник информатики, показал, что компьютерная программа не в состоянии сама определить, будет ли она работать конечное или бесконечное время – то есть и компьютерные программы, и, предположительно, человеческий разум не могут оценивать сами себя. На фоне этих открытий ученые, философы, логики и математики сталкивались снова и снова с одной и той же проблемой: самореференция приводит к ограничениям, которые можно преодолеть, только выйдя за рамки системы.

«Разместим наблюдателя или данные, которые могут быть получены из предложения, на одной стороне; а наблюдаемое – на другой, – писал Уилер в своем дневнике. – Добавим больше аксиом или расширим исходную систему, разрешив все, что было вначале, но в результате появится новая область неразрешимости,

внекоординатности, за пределами ее. Снова та же неопределенность. Всегда одно и то же: нельзя разрешить истинность или ложность изнутри».

В этой «неопределенности» Уилер видел суть квантовой механики, и это убедило его: требование Бора, что наблюдатели должны находиться вне системы, должно выполняться любой ценой. Проблема заключалась в том, что картина Бора рассыпалась, как только появлялся второй наблюдатель, который наблюдал за первым. С приближением Вигнера внешний наблюдатель Бора вдруг становится внутренним для той самой системы, которую он, как он думал, наблюдает снаружи. Наблюдатель становится наблюдаемым. Как можно быть одновременно и внешним по отношению к системе, вызывая редукцию волновых функций, и находиться внутри нее, подвешенной в суперпозиции? Эти две истории не могли быть истинны одновременно, но вот они – мы, запертые внутри Вселенной, где всегда найдется второй наблюдатель, для которого мы внутри системы. Нашими глазами, как на *U*-схеме Уилера, Вселенная смотрит на самое себя. И поэтому кажется невозможным применить квантовую механику к Вселенной в целом, не используя странные петли самореференции и рекурсии.

Я вспомнила свои подростковые годы, ночи, проведенные в этой комнате за чтением экзистенциалистов в поисках какого-то оправдания моего страха. Я вспоминала, как читала «Бытие и ничто» Сартра – книгу, которую я взяла на время в букинистическом магазине, где работала после школы. Сартр описывал чувство, которое человек испытывает в тот момент, когда понимает, что за ним кто-то следит. Что это за чувство? Стыд? Головокружение? Тошнота? Это внезапное смещение реальности, когда он превращается из субъекта в объект. Сартра бы действительно стошнило, если бы он подумал о квантовой механике. Тут человек не только превращается из субъекта в объект, он также переходит от создания реальности из папье-маше к падению в бездну.

Основная проблема квантовой гравитации – где находится наблюдатель – также сводится к дилемме внутри/снаружи. Квантовая механика запрещает нам быть одновременно и субъектом, и объектом, но существование внутри Вселенной, у которой нет ничего снаружи, требует от нас именно этого. И действительно, разве не так? Мой отец –

персонаж в моей истории, а я – персонаж в его. Субъект в одной системе отсчета может стать объектом в другой.

Опять же Сасскинд учил меня, что физика имеет смысл только тогда, когда вы рассматриваете одну систему отсчета в один момент времени – по крайней мере, имея дело с горизонтами событий. Сэйф или Скруд. Ускоренная или инерциальная. Не применимо ли что-то подобное и здесь? Может быть, квантовая механика не позволяет мне говорить об истории моего отца и о моей истории одновременно. Может быть, никто из нас не мог быть субъектом и объектом одновременно. Не в этом ли состоит решение проблемы второго наблюдателя – рассматривать только одного наблюдателя в один момент времени? Но как же тогда мы соберем вместе осколки наших историй в некую единую историю на арене, которую мы называем Вселенной? Переход от системы отсчета одного наблюдателя к глобальной, божественной точке зрения, казалось, приведет неизбежно к переоценке числа слонов и к волновым функциям, редукция которых произошла и не произошла одновременно. «Правильно совместить местный и общий масштабы было одной из главнейших задач Эйнштейна, – писал Уилер. – Как нам совместить локальное да – нет и глобальное „все, что здесь есть“?»

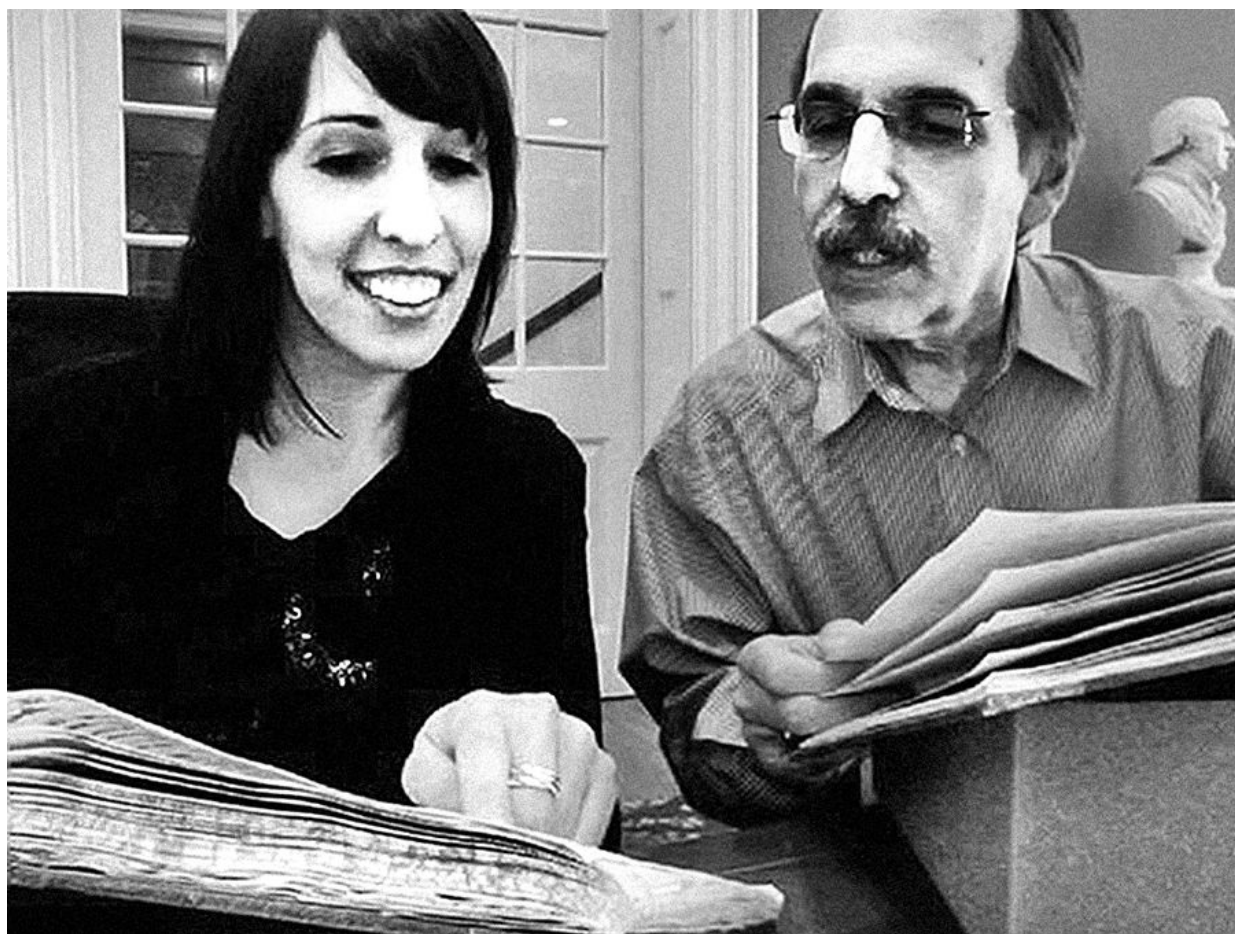
А если не существует никакого глобального «все, что здесь есть»? Если нет Вселенной? «Вопрос номер один: является ли все небытием?» – писал Уилер. Он говорил, что был готов задаться вопросом о смысле самого термина «Вселенная», и я чувствовала, что тоже должна быть готова к этому.

«В основе физики, пространства-времени, самого существования лежит нечто информационно-теоретического характера, – написал Уилер 19 апреля 1986 года. – Этой короткой фразой я бы ответил на просьбу о последнем слове, прежде чем я оставлю эту Землю». Он писал по дороге в больницу, где его ожидала операция на сердце.

Я задумалась, какой короткий ответ могу дать я в случае, если это понадобится. Реально то, что инвариантно. Нет, это было бы слишком просто. Небытие – это состояние бесконечной, неограниченной однородности. Я не могла бы этого сказать, так как это была фраза, сказанная моим отцом. Первым принципом космологии должен быть...

Боже! Я не могу придумать ни одной оригинальной фразы, чтобы сказать ее перед тем, как покинуть эту грешную землю?

Уилер пережил операцию и продолжил свой «величественный, одинокий поиск», но теперь он более остро, чем когда-либо, осознавал, что времени ему отпущено немного. Он разрывался между желанием разгадать тайну существования, пока не стало слишком поздно, и страхом, что при этом он губит свою репутацию. «Ни Дарвин, ни Бор, ни Ньютон не высказывали свои еще сырые идеи так широко, как это делаю я, – написал он 6 марта 1987 года. – Но я все равно делаю это. Я не вижу другого пути, кроме *диалога*, чтобы найти ответы на поставленные вопросы. И я не вечен, но я не вижу никого, кто бы продолжил мое дело, когда я уйду».



Читая дневники Джона Уилера в библиотеке Американского философского общества.

Фото: А. Гефтер.

16 августа 1988 года: «Меня следует подвергнуть пытке за исповедание действительно великой и простой мысли. Ха! Не просто мысли. Этой мысли. И перестаньте говорить о том, как кто-то где-то когда-то собирается ее обнаружить. Не паниковать, спокойно говорить только с теми, кто может помочь. Продолжать делать свое дело».

«Мне осталось еще от 3 до 5 лет, – отметил он позже, через месяц. – Я считаю важнейшим делом своей жизни именно это – величайшую из всех загадок, которую мы видим вокруг себя каждый день: бытие – откуда оно?... Я буду не я, если я не продолжу грызть этот твердый орешек. Остановившись, я превращусь просто в сморщенного старика. Продолжу – и в глазах моих сохранится блеск».

Еще несколько дней чтения, и четырнадцать лет позади: Уилер по-прежнему в деле, его глаза еще блестят. 8 марта 2002 года он писал: «По-прежнему мучаюсь над тем, что сказать на следующей неделе на Темплтоновской конференции».

– Боже мой, посмотри! – Я толкнула отца, показывая ему страницу. – Это он о той конференции, на которой мы были!

«Я все еще пытаюсь развивать тему „бытие от бита“, – продолжал Уилер. – Ничто! Как *нам* просочиться в небытие? Философский вопрос? Но, может быть, философия слишком важна, чтобы оставлять ее философам».

Я с нетерпением перешла к следующим записям, в надежде среди впечатлений о конференции встретить и упоминание о том, как очаровательная маленькая девочка и ее отец задавали ему проницательные вопросы. Но нет. Как ни странно, он вообще ничего не написал о той конференции.

– По-моему, я наконец нашел! Вот оно! – воскликнул отец, когда я вошла в кухню. – Граница границы!

Мама пошла спать, так что мы устроились на кухне, сварили себе кофе и приготовили немного еды.

– Что-то связанное с сохранением энергии и импульса? – спросила я. Какие-то намеки на это я уже видела в дневниках Уилера, но пока не могла понять, как это было связано.

– Точно. Уилер показал, что уравнения общей теории относительности вытекают из требования равенства границы границы

нулю. Локальное искривление пространства-времени компенсирует энергию и импульс находящейся в этом месте массы. Вот почему масса искривляет пространство-время.

– Так что все это при сложении дает ноль?

– В любой ограниченной области. Но это работает, только если у границы области нет края. Как только граница замыкается, все полностью компенсируется.

Он вынул желтый блокнот и набросал схему, показывая мне, как четырехмерная область ограничивается трехмерными кубами, границы которых состоят из двухмерных плоских граней; у каждой грани есть общие ребра со смежными гранями соседних кубов. В результате возникает замкнутое многообразие. При суммировании потоков энергии-импульса через плоские грани каждое ребро учитывается дважды, по одному разу для каждой прилегающей к нему грани. При этом вклад в сумму один раз положительный, а второй раз – отрицательный, в итоге получается ноль. Кривизна проявляется искажением граней – их противоположные края расползаются в стороны подальше друг от друга и перестают быть параллельными друг другу под действием смежных граней, вытягивающих их. Так что вся граница в присутствии массы сворачивается и сминается. Это все довольно технические детали, но смысл достаточно прост: наиболее сложные структуры четырехмерного пространства-времени в конечном счете в основе своей имеют ничто.

– В своем дневнике он пишет, что не только общая теория относительности, но все квантовые теории поля основаны на принципе границы границы, – сказала я. – И все калибровочные теории.

– Верно. Это универсальный принцип. Он лежит в основе любой реакции поля на присутствие масс или зарядов.

То, что граница границы равна нулю, означает, что все то, что вам нужно знать о происходящем внутри области пространства-времени, может быть считано непосредственно с ее границы, а заглядывать внутрь вовсе не обязательно. «То, что снаружи, раскрывает то, что внутри», – писал Уилер. Сохранение импульса и энергии можно считать по граням, а количество массы, находящейся внутри, выводить по деформации ребер.

– Это то, что он имел в виду в сравнении с эластичностью, – сказал отец. – Для расчета упругих сил деформированного тела вам

необходимо знать только то, что происходит на его поверхности. Все, что внутри, сокращается.

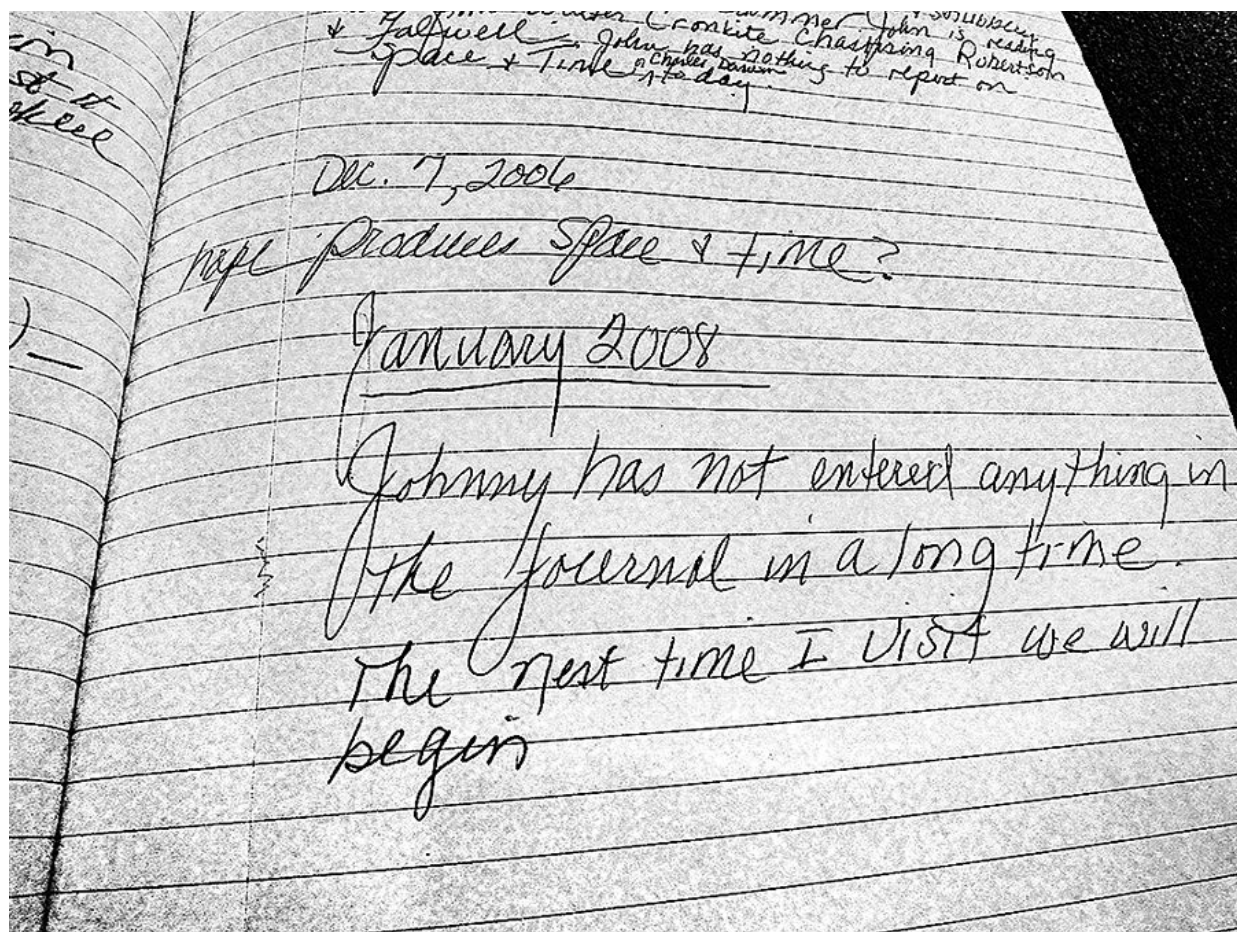
– Подожди, он что-то еще написал об этом, – сказала я, просматривая свои записи. – Вот здесь. В 1973 году он писал: «Теория упругости – это низшая форма физики, какая только может существовать, если исключить ту, когда вообще никакой физики нет. Она имеет дело только с „поверхностью вещей“. Готов спорить, что электромагнетизм и гравитация – кошки одного помета, за исключением того, что никакая размерность им может вообще не требоваться».

Не требоваться размерности? Поверхность вещей? То, что снаружи, раскрывает то, что внутри? А не был ли принцип граница-границы ранней рабочей версией голографического принципа?

Мой отец догадался, о чем я думаю:

– Звучит как-то очень по-голографически, не правда ли?

В одном из дневников Уилер писал: «Можно рассматривать *размерность* пространства (может быть, лучше „среднюю эффективную размерность“?) как возникающую в фундаментальной теории из более простых исходных элементов, предгеометрии, которая сама по себе не обладает таким свойством, как размерность». И далее: «Спроси: не может ли любой закон природы быть сведен к виду $\partial\partial \equiv 0$. Как происходит, что многие размерности можно свести к столь немногим?»



Библиотека Американского философского общества. Последняя запись в дневнике Джона Уилера.

Фото: А. Гефтер.

20 октября 1985 года: «Все больше и больше убеждаюсь, что все должно быть построено из „ничего“. Какая разумная альтернатива!»

22 февраля 2005 года: «Ничего! Ничего! Вы начинаете с ничего и получаете все».

Последний день в библиотеке я провела с дневниками Уилера наедине. Мы просмотрели почти все тетради, а отец больше не мог пропускать свою работу, так что я приехала закончить чтение последних записей без него.

Уилеру было уже за девяносто, записей в дневнике становилось все меньше, перерывы между ними – все длиннее, и почерк – все менее разборчивым. Он продолжал рисовать U-диаграмму, но все более

неровными линиями. Он часто цитировал стихотворение Пита Хейна, друга Бора:

Ищу ответа
к чему все это
веселое кино
пока идет оно^[46].

В конце концов записи под его диктовку стала вести его секретарша Джекки Фускини. Теперь они странным образом многократно повторялись, словно мысли Уилера вращались по кругу: «Откуда взялись пространство и время?» – спрашивал он вновь и вновь, нередко добавляя: «Это все иллюзия». Появляется, как ни странно, большое количество упоминаний Чарльза Дарвина. «Мы думаем, что законы геометрии возникли в самом начале времени, но так ли это? – спрашивал Уилер. – Этот вопрос напоминает нам о другом великом „Откуда?“, о видах растений и животных, которые мы видим сегодня, словно они „всегда были здесь“. Что на этот вопрос не так-то просто ответить, догадался молодой исследователь на борту брига его величества „Бигль“».

Он также возвращался к своему центральному вопросу: один наблюдатель или много?

8 ноября 2005 года: «Как спрашивать „откуда?“ о чем бы то ни было, когда мы принимаем как данность то, что мы живем в мире пространства и времени... И если это мы сами и „построили“ пространство-время, то почему же у нас нет столько пространств-времен, сколько людей? Откуда оно только одно? Надо об этом еще подумать!»

Уилер жил с Жанетт в доме престарелых в городе Хайтстаун штата Нью-Джерси, недалеко от Принстона. Фускини навещала его и записывала его мысли в дневнике.

11 октября 2006 года: «72 градуса^[47], тепло и солнечно. Сажу на залитом солнцем крыльце, глядя на красивые цветы и кустарники на патио. Это бабье лето... У Джона нет ничего сегодня о пространстве, времени или Чарльзе Дарвине».

Следующая запись датирована 7 декабря 2006 года и состоит из сюрреалистической фразы: «Надежда рождает пространство и время?»

Прошел год, прежде чем была сделана еще одна запись. За это время Жанетт умерла. Ей было девяносто девять лет. Они были женаты семьдесят два года.

Январь 2008: «Джонни ничего не писал в течение долгого времени. В следующий мой визит мы начнем».

Я перевернула страницу. Она была пустой.

Глава 12

Этот гипотетический таинственный объект

С ума можно сойти, как далеко все это зашло. Обманчиво простой вопрос «Ты не могла бы определить ничто?» вел меня из плохо охраняемого конференц-центра в городе Принстоне в лондонскую квартиру, населенную квантовыми грызунами, от загородного дома Брокмана, в Коннектикуте в Нью-Мексико, в «город, которого никогда не было», от библиотеки, где я рыдала над пустой страницей в дневнике Уилера, к офису проката автомобилей компании «Херц» в международном аэропорту Сан-Франциско, где я сейчас стояла вместе с моими родителями и выслушивала правила заправки автомобиля бензином.

Мы с отцом приехали сюда, чтобы разобраться во многих вопросах, которые все еще ждали ответа. Например, почему ничто, или *H*-состояние, в один прекрасный момент начало изменяться, если оно когда-либо вообще изменялось? Какую роль играют наблюдатели в существовании Вселенной? Если, как сказал Гут, «нечто – это ничто», то почему ничто выглядит как нечто? Каков смысл объектов за космическим горизонтом? Наконец, перестанет ли менеджер по продажам болтать, чтобы мы смогли сами нащупать путь в поисках окончательной реальности?

Мы поняли, что критерием окончательной реальности должна быть инвариантность: если какое-нибудь свойство Вселенной выглядит по-разному для разных наблюдателей, его нельзя считать ингредиентом реальности, раскрывающей себя в данном явлении. «Реальный» означает «не зависящий от наблюдателя». И, как ни удивительно, мы не нашли почти ничего, что удовлетворяло бы этому критерию. Теория относительности заставляет вычеркнуть из этого списка пространство, время и гравитацию. Так же следует поступить с массой, энергией, импульсом и зарядом. Калибровочная теория расправляется с электромагнетизмом и ядерными взаимодействиями, не оставляя надежды ни на какие фундаментальные силы.

Излучение Хокинга положило конец частицам, полям и вакууму, в то время как AdS/CFT-дуальность и голографический принцип истребили пространственную размерность, струны и пространство-время вообще. Все, что оставалось у меня на потрепанной салфетке из калифорнийской блинной, – это Вселенная, мультивселенная и скорость света. Но из-за обобщенной дополнителности первые две оказываются под большим подозрением. Я все больше убеждаюсь в том, что отец, похоже, был прав: ничто не реально. Это, конечно, сразу хочется перефразировать: реально Ничто.

Из дневников Уилера я поняла главное: каким бы ни был ответ на вопрос об окончательной реальности, он в чем-то сродни преодолению дихотомий – внешнего и внутреннего на листе Мёбиуса, субъекта и объекта, что подразумевает постоянную ориентацию на единого наблюдателя, никогда не выступающего в паре, чтобы любой ценой избежать сложностей в структуре соавторства.

Соавторство, казалось, было источником всех проблем: из-за него возникал парадокс потери информации в черных дырах. Брокман и Мэтсон ненавидели его. Оно превратило друга Вигнера в отпетого лжеца, оно заставило Уилера изучать сознание червя, и оно подорвало сам смысл слова «Вселенная». В конце концов, что такое Вселенная, если не сумма всех возможных точек зрения? Однако, как говорит Сасскинд, суммирование точек зрения нарушает квантовой принцип клонирования и ведет нас к переоценке количества информации из-за ошибочного восприятия одного и того же бита информации как различных битов. *У меня нет никаких оснований чувствовать себя менее комфортно с «бытием от бита», чем спрашивая, чей бит.*

Сколько бы раз Уилер ни проходил по тому же контуру, места для второго наблюдателя в его *самонастраивающемся контуре* так и не находилось. Значит ли это, что не существует второго наблюдателя? «Теория измерений логически самосогласованна до тех пор, пока я сохраняю свое выделенное положение в качестве привилегированного наблюдателя», – говорил Вигнер. Эверетт соглашается с этим: реальность имеет смысл, если мы готовы «постулировать существование только одного наблюдателя во Вселенной».

На меня эта ситуация производила удручающее впечатление. Как отбросить существование второго наблюдателя, когда второй наблюдатель – твой отец?

Физика ратовала за единоличное авторство, но для меня это по-прежнему походило на предательство. Кроме того, у нас уже кое-что было сделано в соавторстве: наша жизнь, моя карьера, тайная миссия познания Вселенной. Было ли это все на самом деле лишь иллюзией? Я пыталась перестать думать о словах, сказанных Мэтсон, но они снова и снова выскакивали, как крот в известной игре «Убей крота»: просто подумайте об этом.

Я нетерпеливо вздохнула, затем уселась на свободное кресло, оставив своих родителей ждать у стойки аренды автомобиля. В животе ворочалось что-то нехорошее. Несвежая пицца? Чувство вины?

Стандартная космологическая модель была основана на соавторстве. Весь смысл инфляции, расширения Вселенной со скоростью больше скорости света, был в распространении теории Большого взрыва за границы единственного светового конуса. Это теория о пространстве, которое находится по другую сторону нашего космического горизонта. Между тем расширенный принцип дополнительности запрещает нам рассматривать то, что существует по одну сторону горизонта, и то, что существует по другую его сторону, как составляющие единого пространства-времени. И если так, то вы не сможете избежать образования глобальной мультивселенной – единого объекта, который включает в себя бесконечное множество пространственно-временных областей, разделенных горизонтами событий. Космология имеет бесконечное количество соавторов. У нас их всего двое. И повсюду люди все еще говорят о золотом веке космологии, как будто ничего и не случилось вовсе.

Космология принципиально изменится, но как? Может быть, физики обуздают вечную инфляцию, поместив все внутри единого светового конуса, или придумают совершенно новую теорию? Мы с отцом приехали сюда, в Калифорнию, чтобы найти ответ на этот вопрос, а мама с радостью увязалась за нами. «Я знаю, что вы будете заняты своей реальностью, – говорила она. – Но мы просто должны будем найти время, чтобы сходить на пляж».

Я перевела взгляд на стойку и увидела, что отец, подписав последний контракт, забирает ключи от «Тойоты», которая может привезти нас к искомым ответам на наши вопросы. Мама перехватила мой взгляд и улыбнулась. Она улыбнулась так, как если бы все было хорошо, как если бы мы все находились в одной счастливой Вселенной.

«Я не могу сделать что-то из ничего, и вы не можете, – писал Уилер. – Но вместе мы можем». Это была космология «Кум-ба-я»^[48]. Это была детская мечта. Может быть, проблема второго наблюдателя это не более чем проблема взросления?

На следующее утро мы с отцом сели в поезд, направлявшийся из центра Сан-Франциско в Беркли, чтобы встретиться с Рафаэлем Буссо.

Перед входом в здание физического факультета я с недоумением уставилась на дорожный знак «Постоянно зарезервировано для нобелевского лауреата».

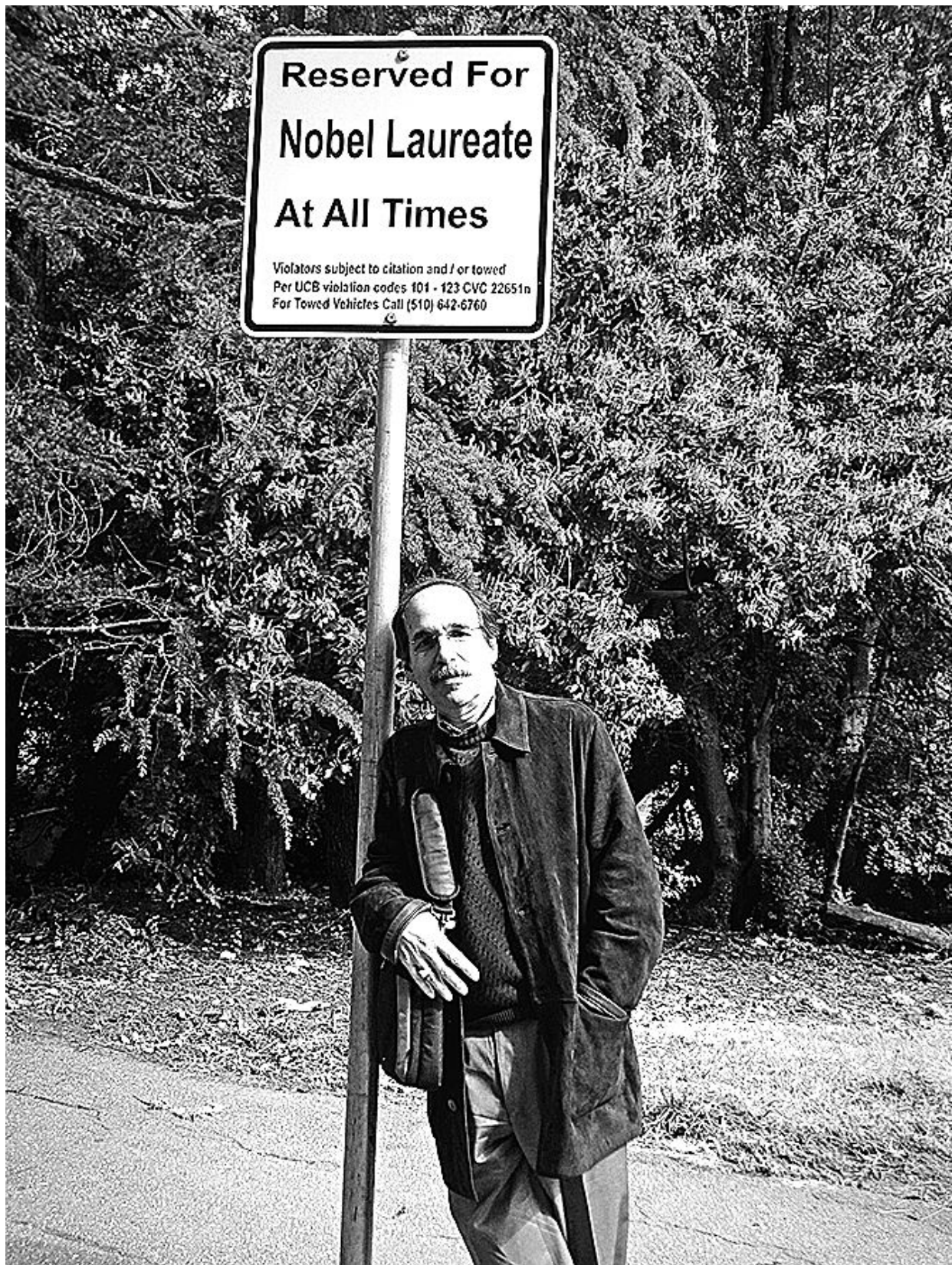
– Наконец-то хоть одна веская причина получить Нобелевскую премию! – сказал папа.

Я кивнула. Это, конечно, не офис Дэвида Гросса с дельфинами, но парковка была чертовски хороша!

Буссо поприветствовал нас у себя в кабинете. В свои тридцать с небольшим он был молод и красив, обладал спокойным характером и сладкой улыбкой. Он вырос в Германии и, прежде чем оказаться в Беркли, учился у Хокинга в Кембридже. В его акценте слышался мелодичный микс трех наций.

**Reserved For
Nobel Laureate
At All Times**

Violators subject to citation and / or towed
Per UCB violation codes 101 - 123 CVC 22651n
For Towed Vehicles Call (510) 642-6760



«Только для лауреата Нобелевской премии». Автомобильная парковка у здания физической лаборатории Калифорнийского университета в Беркли.

Фото: А. Гефтер.

Мы хотели узнать, как модель мультивселенной согласуется с голографическим принципом, и Буссо был именно тем, кто мог ответить на этот вопрос. Вместе с Джо Полчински Буссо обнаружил ландшафт теории струн, коллекцию из 10^{500} вселенных, каждая со своими собственными физическими законами и собственной космологической константой, и, таким образом, отворил для антропного принципа дверь в физику мультивселенной. Но он также обнаружил наиболее общую форму голографического принципа. Известный как ковариантный предел энтропии вещества, этот принцип гласит, что для любой области пространства-времени – неважно, расширяющейся или коллапсирующей – количество информации, находящейся в этой области, не может превышать одной четвертой площади ее границы, что означало неизбежное применение голографического принципа в космологии. Действительно, пространство-время зависит от наблюдателя, и физика имеет смысл только с точки зрения одного наблюдателя. Как мог Буссо примирить глобальную мультивселенную, разрезанную горизонтами на 10^{500} , фактически бесконечное количество частей, с требованием локальной системы отсчета, налагаемым голографическим принципом?

– Глобальный подход должен быть неверен на каком-то уровне, – сказал он нам, как только мы уселись в наших креслах.

Это было слишком очевидно даже без обобщенной дополненности – достаточно просто обратиться к проблеме меры. В глобальной мультивселенной вероятности тонут в бесконечности и физики лишаются возможности делать предсказания – что было испокон веков делом науки. Буссо предположил, что эти бесконечности связаны с дублированием информации, которую вы получаете, когда пытаетесь смотреть на мир под горизонтом и над ним.

– Парадокс исчезновения информации в черной дыре нас научил всегда ограничиваться точкой зрения лишь одного наблюдателя, – сказал он. – Представляется естественным распространить такое ограничение и на всю мультивселенную.

Так он и сделал. Он задался вопросом, может ли такое ограничение решить проблему меры.

– Я подумал, почему бы не сделать что-то такое, если нас к этому и так принуждает парадокс исчезновения информации в черной дыре, и таким образом убить одним выстрелом сразу двух зайцев? – сказал Буссо.

Обычно вероятностную меру в мультивселенной пытаются ввести, действуя следующим образом. Выбираем произвольно одно измерение в мультивселенной и называем его «временем», а все другие измерения – «пространством», не обращая внимания на их зависимость от наблюдателя. Рассмотрим теперь ограниченную область мультивселенной в данный момент времени и сосчитаем относительное число вселенных в ней, для которых, скажем, плотность темной энергии имеет определенное значение. Возьмем предел этого отношения, устремив размер области пространства-времени к бесконечности. Затем сравним наш ответ с тем, что мы имеем в нашей Вселенной, в которой мы живем. Если получившаяся мера указывает, что вероятность вселенной с таким низким значением плотности темной энергии, какое в нашей, практически равна нулю, отправляем эту меру в корзину и начинаем все с начала.

Буссо, однако, подошел к проблеме иначе: учитывать только то, что находится внутри светового конуса одного наблюдателя, или, иными словами, причинно-связанную область. Таким образом вы избавляетесь от проблемы, связанной с бесконечностями, потому что с самого начала все, с чем вы имеете дело, конечно. Более того, вам больше не придется беспокоиться о двойном счете, который возникает, когда вы режете горизонты.

Но я была в замешательстве.

– Если вы смотрите на причинно-связанную область, почему вы имеете дело с вероятностями? – спросила я. – Если вы ограничиваете себя областью пространства-времени, в которой все, что вы когда-либо захотите наблюдать, находится в вашем распоряжении, то для чего нужно измерение? Вам не нужно рассчитывать вероятность увидеть что-либо – просто откройте глаза и посмотрите вокруг.

К сожалению, пояснил Буссо, это не так просто. В мире, где правит бал хаотическая инфляция, законы физики внутри причинно-связанной области изменяются со временем, поскольку каждый вакуум с

положительным значением темной энергии является нестабильным и подлежит распаду. Согласно общепринятой точке зрения, наша Вселенная образовалась в состоянии с ложным вакуумом – состоянии, устойчивом лишь на время, поскольку значение энергии не минимально. После этого Вселенная полетела вниз, раздуваясь быстрее света, устремляясь к состоянию истинного вакуума. В этом состоянии мы живем последние 13,7 млрд лет. Но, как мы теперь знаем, наш вакуум также не является истинным, даже если он и не такой ложный. Наш вакуум пропитан темной энергией, плотность которой хоть и невелика, но все же заметна, в то время как истинный вакуум не должен иметь совсем никакой темной энергии. В нашей Вселенной мы находимся на устойчивом возвышении, на плато, но точный квантовый толчок всегда может послать нас через край, куда-то вниз. По дороге мы можем где-то на время задерживаться, чтобы осмотреться. Каждая остановка – это новый Большой взрыв, каждое промежуточное плато – вселенная. Этот конечный, но невообразимо разнообразный путь космической истории – тоже своего рода мультивселенная, несмотря на то что она не имеет ничего общего с какой-либо реальностью за пределами светового конуса.

Как и распад радиоактивного атома, вакуумный распад любой вселенной – случаен, им не управляет ничто более определенное, чем вероятность. Как наблюдатель вы не знаете, в какой вселенной находитесь, так что если вы захотите сделать проверяемые предсказания, вам необходима вероятностная мера, чтобы рассчитать, с чем вам, скорее всего, придется столкнуться.

– Итак, вы начинаете с какого-то вакуума, считаете все вероятности каналов его распада, а потом суммируете их, – сказал Буссо. – Вместо глобальной мультивселенной у вас имеется вакуумный ансамбль внутри одной причинно зависимой области.

Если вы хотите что-то предсказать – например, значение плотности темной энергии, то вам не надо учитывать другие пузыри в мировой мультивселенной. Достаточно учесть возможные истории внутри вашего собственного космического горизонта. Результатом было то, что Буссо назвал причинно-связанной мерой.

Казалось бы, хорошая идея: взять бритву Оккама, отрезать все, что находится за вашим горизонтом, сделать пространство-время конечным и определить вероятностную меру, основанную на истории вакуумных

распадов, раскрутить на полную катушку антропный принцип для мультивселенной, уклонившись от необходимости иметь дело с «попперации» и избавившись от метафизического бремени недоступных вселенных.

Но дальше – больше.

– Я думал, что нашел радикально новое направление, избежав необходимости держать в поле зрения всю мультивселенную целиком, – сказал Буссо. – Потом я понял, что локальная причинно-связанная мера воспроизводит те же самые вероятности, какие дает мера глобального светового конуса. Для меня это было сильным шоком.

Во фразе «мера глобального светового конуса» определение «глобального» более уместно, чем «светового конуса». Это одна из большого количества глобальных мер на выбор, из тех, которые видят все сквозь горизонты, из тех, которые, по словам Буссо, на каком-то уровне неверны. Но эта глобальная мера, однако, обладала тем, чем не обладали другие: она давала точно те же вероятности, что и причинно-связанная мера.

– Я и подумать не мог, что две настолько разные меры могли привести к одному и тому же результату, – сказал Буссо. – Мне это было удивительно.



Мы с Рафаэлем Буссо. Калифорнийский университет в Беркли.
Фото: У. Гефтер.

Два вида, один — открывающийся глазам Бога, охватывающего взором всю мультивселенную, и внутренний взгляд одного наблюдателя — были полностью эквивалентны. Дуальны. Так что, хотя глобальный подход в корне неверен, локальный подход предполагал, что мы по-прежнему можем говорить о глобальной мере, как будто она действительно что-то значит. Говорить о мультивселенной, не имея при этом дела ни с чем за пределами нашего собственного горизонта. Я пометила в своем блокноте: «Лучший из обоих миров».

— Мы думали, что в космологии наметился определенный сдвиг, — сказала я, — от Вселенной в божественной перспективе к точке зрения единичного наблюдателя.

— Не все смотрят на вещи подобным образом, — сказал Буссо. — Но я бы сказал, что это неизбежно. В контексте рассуждений о черных дырах Сасскинд обнаружил, что вы получите неверный результат, если

попытайтесь мысленным взором окинуть то, что происходит над горизонтом событий, и то, что происходит под ним, словно бы с высоты птичьего полета. Получается, что вы ксерографируете информацию, нарушая законы квантовой механики. С моей точки зрения, ограничивать это рассуждение только случаем черных дыр было слишком радикально. Оно сообщает нам нечто очень существенное о том, как обстоят дела в мире в целом.

– Но вы показали, что существует дуальность между глобальной и локальной картинами мира, – сказала я. – Не делает ли это глобальный взгляд снова возможным?

– Все же локальный подход – более фундаментальный, – сказал Буссо. – Должен таким быть. Все дело в том, как построить глобальную мультивселенную из этих локальных причинно-связанных областей.

Я кивнула. Может быть, у меня, в конце концов, и есть надежда. Может быть, пойдет такой вариант: взять несколько независимых авторов и причинно связать их вместе, хотя я понятия не имела, на что будет похожа получившаяся книга. Разным авторам разные главы?

– Могли бы вы приписать реальность явлениям за пределами нашего космического горизонта? – спросила я, вторя глубочайшему вопросу космологии, сформулированному Сасскиндом.

– Я бы сказал, что явления там, возможно, чуть-чуть отличны от явлений здесь, но я бы не стал говорить о тех и других одновременно. Но все зависит от того, насколько для вас важна их «реальность», – сказал он, смеясь. – Я верю, что наиболее фундаментальный способ описания космологии достигим лишь через ограничение его одной причинно-связанной областью пространства-времени.

– Мы пытаемся выяснить, каковы ингредиенты окончательной реальности, – сказала я. – Очевидно, нам нужна теория квантовой гравитации, чтобы определить их. Что это может быть? Струны?

Я была практически уверена, что я знала ответ, так как из-за AdS/CFT-соответствия они были вычеркнуты из нашего списка. Струны представляли собой голографическую проекцию обычных частиц, и ни одно из этих двух описаний не превосходило другое в «реальности». Но все-таки Буссо был струнным теоретиком, поэтому я решила спросить его об этом.

– Это один из основных вопросов, – сказал Буссо. – Теория струн возникла совсем не так, как обычно открывают другие физические

теории, когда у вас изначально есть некоторые представления об исходных принципах и основных компонентах, поэтому вы знаете, с чего начать. А на теорию струн мы просто наткнулись, и теперь, опираясь на математические закономерности, продолжаем открывать все новые ее свойства. Поэтому мы так и не знаем, какие ингредиенты теории фундаментальны. В одном подходе вы можете принять, что фундаментальными являются струны, в другом – D -браны. Не ясно даже, существует ли ответ на этот вопрос.

Я быстро нацарапала в блокноте: « D -браны?»

Если струны и частицы были просто двумя взглядами на одно и то же, подумала я, то чем это «одно и то же» может быть? Как онтический структурный реалист, я предполагала, что «одним и тем же» должен был быть сам голографический принцип. Но что нам это давало? Если голографический принцип, то *почему* голографический принцип?

– Голографический принцип – это ключ к теории квантовой гравитации? – спросила я.

– Он показывает, что между геометрией и информацией существует связь общего свойства, но ее происхождения мы пока не понимаем, – ответил Буссо. – Мы можем сказать, в чем состоит эта связь. Мы можем находить ее в природе и сколько угодно проверять справедливость выведенных из нее соотношений. Но в целом это выглядит как заговор. Должна существовать более глубокая причина. И мы думаем, что эта причина в квантовой гравитации, или, точнее, ее объяснит единая теория материи и квантовой гравитации. С одной стороны равенства у вас геометрия, площади поверхностей в пространстве-времени, а пространство-время – это, конечно, гравитация. А с другой стороны равенства у вас информация, содержащаяся в пространственно-временных областях, а информация – это, в действительности, просто число квантовых состояний. Поэтому в вашем уравнении гравитация с одной стороны увязана с квантовой теорией – с другой. Это взаимоотношение настолько универсально, что должна существовать простая причина. Вроде той, по которой тела падают с одной и той же скоростью. Есть надежда, что голографический принцип может играть ту же роль, какую принцип эквивалентности играл для Эйнштейна при построении общей теории относительности.

– Что нам говорит о реальности тот факт, что вы получаете неправильные ответы, когда используете глобальный подход, божественную перспективу? – спросила я.

Буссо задумался.

– В каком-то смысле он говорит нам, что то, что мы называем реальностью, независимо от того, чем оно в конце концов окажется, определимо, по всей вероятности, только приблизительно. Если типичному наблюдателю доступно не более чем конечное число квантовых состояний, потому что площадь светового конуса прошлого диктует, сколько информации будет заключено внутри него, то это означает, что существует предел точности, с которой вы можете что-либо измерить или с которой вы можете описать мир. Очевидно, нет бесконечно точного смысла, в котором мир представляет собой что-то определенное.

В поезде, по дороге обратно в Сан-Франциско, я думала о том, что говорил нам Буссо. Привязка по месту – взгляд на Вселенную единичного наблюдателя, в пределах его светового конуса – это должно быть фундаментальным. Если вам нужна мультивселенная, вы можете попробовать получить ее, сшив привязки по месту для различных наблюдателей. Но главный вывод на сегодня – все это иллюзия. Мы можем с чистой совестью вычеркнуть мультивселенную из нашего списка ингредиентов окончательной реальности.

Я попыталась представить себе, как могла бы выглядеть мультивселенная, сшитая из привязок по месту, но мой мозг не мог вообразить это. Я понимала, что она не может быть похожа на множество вселенных-пузырьков, к которому космологи всегда апеллировали для иллюстрации этой идеи. Такая картина предполагает, что эти пузырьки обладают каким-то определенным, не зависящим от наблюдателя существованием. Но границы каждого пузырька совсем не похожи на физические стенки, плавающие в некоем инвариантном пространстве – это внутренние маркеры границы, какими их видит данный наблюдатель из определенной точки. Взгляд на мультивселенную снаружи означал бы одновременный взгляд со всех возможных точек зрения. Что бы это ни значило.

Я не могла не вспомнить рассказ Борхеса «Алеф». Главный герой узнает, что человек по имени Карлос Архентино Данери нашел в

подвале дома под лестницей Алеф – точку пространства, в которой собраны все другие точки Вселенной, и их можно рассматривать сразу со всех сторон. Глазами Бога. Так Борхес описывает это:

«В диаметре Алеф имел два-три сантиметра, но было в нем все пространство вселенной, причем ничуть не уменьшенное. Каждый предмет (например, стеклянное зеркало) был бесконечным множеством предметов, потому что я его ясно видел со всех точек вселенной. Я видел густо населенное море, видел рассвет и закат, видел толпы жителей Америки, видел серебристую паутину внутри черной пирамиды, видел разрушенный лабиринт (это был Лондон), видел бесконечное число глаз рядом с собою, которые вглядывались в меня, как в зеркало, видел все зеркала нашей планеты... видел циркуляцию моей темной крови, видел слияния в любви и изменения, причиненные смертью, видел Алеф, видел со всех точек в Алефе земной шар, видел свое лицо и свои внутренности, видел твое лицо; потом у меня закружилась голова, и я заплакал, потому что мои глаза увидели это таинственное, предполагаемое нечто, чьим именем завладели люди, хотя ни один человек его не видел: непостижимую вселенную»^[49].

Сасскинд предложил встретиться с ним в маленьком кафе в Пало-Альто. Мы с отцом пришли заранее и заняли угловой столик на открытой веранде. Вскоре появился и Сасскинд.

Он тепло поприветствовал меня, а я, в свою очередь, познакомила его с отцом. Когда они пожимали друг другу руки, я заметила то, что редко видела: отец нервничал.

Мы с Сасскиндом пошли внутрь кафе, чтобы сделать заказ, а отец остался за столиком. Когда мы вернулись с кофе и чаем в руках, я посмотрела на отца и сразу поняла, что он думает: «Боже праведный! Ленни Сасскинд несет мне кофе!»



С Леонардом Сасскиндом в Пало-Альто.
Фото: У. Гефтер.

Мы поставили чашки на столик, и тот закачался.

– Каждый раз, когда мы с каким-нибудь физиком садимся за шатающийся столик, дело кончается тем, что мы пытаемся выяснить законы механики стола, – сказал Сасскинд. – Но пока хороших идей на этот счет не было.

– Может быть, вам нужно одиннадцать измерений? – предположила я, сама съезжившись от собственной плоской шутки.

– Ну, в одномерном мире тут не было бы никакой проблемы, так ведь? – сказал Сасскинд. – С увеличением размерности пространства все становится только хуже.

Он рассмеялся:

– На такое гениальное озарение я еще способен.

– Кажется, наметились крупные перемены в космологии, – сказала я, когда разговор стал серьезным. – Может быть, даже изменение парадигмы, переход от божественного взгляда к перспективе единичного наблюдателя. Так ли это?

– Да, так, – сказал Сасскинд. – Я думаю, что эта идея начинает обретать силу. Но в то же время бывают случаи, когда полезно подумать и о глобальной перспективе. Мы приписываем определенную степень реальности всему находящемуся где-то там, за горизонтом событий, всякий раз, когда начинаем говорить о вещах вроде антропного принципа. Это так. Но с другой стороны, мы должны быть в состоянии сформулировать полную теорию наблюдений и эксперимента, не привлекая ничего из-за горизонта. В этом есть определенное напряжение. Это напряжение нам еще предстоит осознать. И я надеюсь, что, когда мы его осознаем, у нас появится более ясная картина связи между локальным и глобальным – это то, о чем я думаю уже в течение многих лет.

Напряжение, как я знала, нарастало уже в его собственной работе. С одной стороны, Сасскинд в Санта-Барбаре приводил доводы, почему он твердо верил в предсказательную силу антропного принципа. Эта вера была основана на интригующей аналогии между ландшафтом теории струн и бесконечным числом пузырьков-вселенных, рождаемых в процессе хаотической инфляции. С другой стороны, его собственное открытие обобщенного принципа дополнительности ставило космологию перед необходимостью отбросить как нефизический взгляд на мир глазами Бога и описывать вселенную только в терминах того, что может увидеть единичный наблюдатель.

– Мы давно и много размышляем о природе реальности, – сказала я, – определяя реальное как инвариантное. Но изучая список того, из чего может, как мы думаем, состоять реальность, мы не находим среди них ни одного инварианта. Так что же в конечном счете реально?

Сасскинд покачал головой:

– Могу предположить лишь, что здесь нас ожидает большой сюрприз и все встанет с ног на голову.

– Вы думаете, что теория струн поможет найти ответ? – спросил отец.

– Нет, я так не думаю, – сказал Сасскинд. – Теория струн – это невероятная конструкция, которая обладает поразительной степенью

внутренней согласованности, она содержит квантовую механику и, в какой-то степени, теорию гравитации, но она не описывает Вселенную. Она не описывает ничего из того, что известно космологии, кроме пустого пространства.

«Пустое» для Сасскинда означало пространство без темной энергии, таящейся в ее глубинах, пространство без горизонтов событий. Взаимодействия струн описываются S -матрицей, с помощью которой вычисляется вероятность перехода любого начального состояния в любое конечное, но она не содержит в себе никакой информации о том, что происходит в промежутке, собственно во время взаимодействия. В таком пространстве струны на самом деле означают что-то. Но, как сказал Хокинг, «мы живем в середине этого конкретного эксперимента». Мы не знаем и не можем измерить то, что было в начале, или то, что будет в конце; все, о чем мы когда-нибудь что-нибудь узнаем, – только об этой самой середине. Но тут, в середине, S -матрица бесполезна, а вместе с ней бесполезны и струны.

Я вдруг сообразила почему: потому что S -матрица теряет инвариантность. Взаимодействие струн в середине Вселенной можно рассматривать с бесчисленных точек зрения, с разных сторон в пространстве и времени, по отношению к системам отсчета, находящимся в разных состояниях движения. То, что для одного наблюдателя выглядит как струна, вибрирующая на одной конкретной частоте и производящая соответствующую этой частоте частицу, для другого наблюдателя будет выглядеть по-другому: как струна, вибрирующая на другой частоте и производящая другую частицу. Наблюдатели расходятся во мнениях по поводу увиденного, и, как подчеркивал Эйнштейн, не существует выделенного наблюдателя, доводы которого значили бы больше, чем доводы других.

Это мне напомнило историю со спиральностью частиц. Для того чтобы все наблюдатели пришли к единому мнению по поводу знака спиральности, частица должна двигаться со скоростью света. Тогда ни один наблюдатель не сможет ее обогнать и не увидит, как знак спиральности меняется на противоположный. Так же и здесь: определяя состояние струн в бесконечно отдаленном будущем, S -матрица гарантирует, что каждый наблюдатель будет видеть их одинаково. Во вселенной, свободной от темной энергии, световой конус любого наблюдателя, располагающего неограниченным временем,

достигнет достаточно больших размеров, чтобы охватить всю вселенную, и полностью перекроется со световыми конусами всех остальных наблюдателей, так что все получают в итоге единую перспективу. Струны перестанут зависеть от точки зрения наблюдателя. Они станут реальными.

Но во вселенной, где есть темная энергия, – такова, например, наша Вселенная, – никто не может заглянуть в бесконечно далекое будущее, будучи запертым, как все мы, в ловушке за горизонтами событий, разными для разных наблюдателей. В нашей деситтеровской Вселенной мы все Скруды, дрейфующие по воле расширяющегося с нарастающим ускорением и все более пустеющего пространства, окруженные каждый своим собственным горизонтом, навсегда обреченные на провинциальность и ограниченность. Наши световые конусы никогда не будут перекрываться полностью, сколько бы мы ни ждали. Не существует двух наблюдателей, которые когда-нибудь увидят одну и ту же Вселенную. В деситтеровском пространстве все надежды на инвариантность теряются. S -матрица ничего не значит, а вместе с ней ничего не значит и теория струн.

– Есть ли надежда построить космологию в деситтеровском пространстве? – спросила я.

– Есть три идеи, – сказал Сасскинд.

Первая заключается в том, чтобы рассмотреть границу нашей Вселенной в бесконечно далеком будущем и построить теорию поля, которая закодирует наше высокоразмерное деситтеровское пространство в виде голограммы. Если бы это сработало, то у нас было бы dS/CFT -соответствие.

Сасскинд, однако, не был уверен, что эта идея как-то особенно хороша.

– Она может вести в никуда, потому что предполагает глобальный подход, – сказал он. – Световые конусы всех наблюдателей – Сэйфа, Скруда и любого другого – должны быть закодированы вместе.

Наличие голограммы в бесконечно далеком будущем вряд ли будет кому-нибудь особенно полезно, потому что чей бы мир ей тогда описывать? Ни один наблюдатель не имеет доступа ко всему пространству; только в глобальной божественной перспективе можно придать смысл голограмме, которая бы одновременно описывала внутренние и внешние области, разделенные горизонтами событий. В

соответствии с обобщенным принципом дополнительности голограмма не имеет смысла – это привело бы к ошибке при подсчете числа слонов и нарушало законы квантовой механики.

– Из обобщенного принципа дополнительности мы знаем, что квантовая механика применима только в пределах одной причинно-связанной области, – сказал Сасскинд.

Это что касается dS/CFT-соответствия.

– Вторая идея, – сказал Сасскинд, – состоит в том, чтобы сформулировать физику в рамках одной причинно-связанной области в деситтеровском пространстве.

В этой идее больше смысла. Просто поместите голограммы на горизонт событий одного наблюдателя. Если каждый из нас обречен на существование со своим собственным горизонтом, почему бы не использовать это и не построить дуальную физику, применимую внутри него? Конечно, горизонт событий зависит от наблюдателя. Что, в свою очередь, делает космическую голограмму тоже зависимой от наблюдателя. Что, в свою очередь, делает Вселенную зависимой от наблюдателя.

– А это вряд ли может быть правильным, – сказал Сасскинд, – потому что деситтеровское пространство может из-за этого распасться.

Как объяснил Буссо, во Вселенной, где правит бал хаотическая инфляция, любой вакуум с положительной космологической постоянной неустойчив и обречен на распад. Наш вакуум, с небольшим количеством темной энергии, – это ложный вакуум, он временно стабилен, даже если «временно» означает миллиарды лет, но в конце концов его ждет переход в более низкое энергетическое состояние. Такое случалось и раньше и называлось «Большой взрыв».

– Согласно нашему пониманию хаотической инфляции, – сказал Сасскинд, – конечная точка эволюции вдоль любой траектории – это открытая фридмановская вселенная.

Когда наше пространство распадается, оно переходит в состояние с меньшей космологической постоянной; в свою очередь, этот вакуум, скорее всего, тоже распадется и перейдет в еще более низкое энергетическое состояние, и так далее, и так далее, нисходя вниз по холмам ландшафта теории струн, пока он не окажется в самой низкой долине с нулевой космологической постоянной, с обычным расширяющимся плоским пространством, также известным как

пространство с метрикой Фридмана – Робертсона – Уокера, сокращенно FRW-метрикой, или просто фридмановское пространство.

– Непонятно, насколько это помогает, – сказал Сасскинд, – но это возможно.

«Ну, конечно, – подумала я. – Обычное расширяющееся плоское пространство – это то, что нам нужно, чтобы сделать S -матрицу инвариантной и придать смысл теории струн. В таком пространстве существует реальность, потому что все наблюдатели могут увидеть то же самое».

– Это помогает, так как наблюдатели не будут ограничены горизонтом? – отважилась спросить я.

Он кивнул:

– В открытой фридмановской вселенной имеется бесконечное количество частиц, и наблюдатель может оглянуться назад и с течением времени видеть их все больше и больше. В конце концов он может увидеть сколь угодно большое их количество. Хотя вы никогда не увидите Вселенную в целом, но вы можете выбрать любую ее часть, и когда-нибудь вы всю эту часть увидите. В этой ситуации нет тех проблем, с которыми мы сталкиваемся в случае деситтеровского пространства.

Это подвело Сасскинда к третьей идее по решению проблемы космологии.

– Идея заключается в том, чтобы встать на точку зрения наблюдателя, живущего на позднем этапе эволюции, – сказал он, – того, кто живет уже во фридмановском пространстве. Я называю такого наблюдателя Писцом^[50].

План заключается в том, объяснил Сасскинд далее, чтобы построить голографическую дуальность между причинно-связанной областью Писца в плоском пространстве и квантовой конформной теорией поля на двухмерной ее границе: FRW/CFT-соответствие.

Я поняла идею. Благодаря тому что в ней было место для инвариантности, FRW/CFT-соответствие позволит ученым-космологам сохранить не только теорию струн, но также и реальность. В то же время, ограничивая теорию причинно-связанной областью одного наблюдателя, мы удовлетворяем требованиям обобщенного принципа дополнительности и избегаем нарушения любых законов физики. При этом даже можно сохранить теорию хаотической инфляции и ландшафт

теории струн, позволяя с помощью антропного принципа объяснять значение плотности темной энергии или чего-нибудь еще, если потребуется.

Удовлетворить требованиям обобщенного принципа дополнителности в плоском пространстве дело нехитрое. В плоском пространстве причинно-связанные области не играют принципиальной роли, потому что со временем – что означает: по прошествии бесконечного его количества – все наблюдатели окажутся в одной и той же причинно-связанной области. И тогда вы, возможно, с полным правом назовете эту область Вселенной. И конечно, FRW/CFT–соответствие удовлетворяет требованиям голографического принципа, но насколько это сложно? Площадь границы области наблюдателя стремится к бесконечности. От голографического принципа в плоском пространстве ограничений не больше, чем от дорожного знака, предписывающего водителю не превышать бесконечной скорости.

Кроме того, у меня были сомнения, каким образом космология Писца может помочь нам здесь и сейчас. Мы не хотим иметь дело с нашей Вселенной? А что, если наше деситтеровское пространство перейдет в плоское через миллиарды лет? Так ли уж оно комфортно? Справедливо ли будет рассматривать фридмановскую вселенную как непрерывное продолжение нашей собственной? Если наша Вселенная распадется, она будет уничтожена в этом процессе, так же, как вселенная, существовавшая до нашей, была разрушена Большим взрывом. *Такая вселенная пока не реальна, но когда-нибудь это случится.* Просто я не была уверена, что этого достаточно.

– Может быть, какая-то из этих идей окажется правильной; может быть, все они; но может быть, и ни одна из них, – сказал Сасскинд. – Но мне кажется важным обрисовать с максимальной ясностью, какие вопросы правильные. Понять, какая физика объединяет привязку по месту с глобальной перспективой, – это по-настоящему большой вопрос. По этому вопросу будет опубликовано много мусора. Это очевидно. Но это настоящий вопрос. Он весь связан с вопросами о горизонтах событий, о голографическом принципе... все эти понятия взаимосвязаны, но пока они не складываются вместе в единое, всеобъемлющее представление. Я надеюсь, что это произойдет. Это вопрос о космологии, я с ума схожу от него. Но мне семьдесят один год. Мои шансы найти ответ очень малы. Мне остается заняться

прозелитизмом, не работать над поиском путей решения проблемы, а ставить правильные вопросы. Я говорю людям: я думаю, такие-то и такие-то вопросы являются важными, может быть самыми важными.

Его рассуждения напомнили мне Уилера. На первый взгляд, они были слишком разными людьми. Где Уилер говорил сладким и мягким голосом, Сасскинд был дерзким и жестким; где Уилер был открыт для явных спекуляций, Сасскинд был осторожен и скептичен. Но оба физика любили смелые идеи, обладали интуицией, и оба опережали свое время.

– Могу я попросить вас оказать мне одну услугу? – спросил папа, потянувшись за своим портфелем.

«О боже, – подумала я. – Что он задумал?»

Он вытащил книгу Сасскинда «Голографическая Вселенная».

– Подпишите, пожалуйста!

Я покраснела. Я пыталась вести себя нейтрально и профессионально, а он повел себя как фанат кинозвезды. Но когда Сасскинд сделал надпись на книге, я улыбнулась. Много лет назад мой отец поверил в меня и доверил тогда, в китайском ресторане, свои мысли о том, что такое ничто, о *H*-состоянии, о Вселенной. Теперь, спустя шестнадцать лет, мне стало казаться, что мы поменялись ролями, я начала возвращать ему долг.

Сасскинд вышел на улицу, я повернулась к отцу.

– Что с тобой происходило, когда мы с Ленни вернулись к нашему столику? – спросила я его.

Он засмеялся:

– Я подумал: «Боже праведный! Ленни Сасскинд несет мне кофе!»

Все, что я знала о путешествиях на автомобиле, я прочитала у Джека Керуака. *Дорога уходит в бесконечность. Люди погружаются в свои мечты.* Эта поездка была именно такой, за исключением того, что вместо мудрых автостопщиков в ней были физики, а вместо дешевых мотелей нас ждали «Мариотт» и подобные ему, вместо столовых и буфетов – заведения типа «Джамба-джусис» и суси-бары, и вместо того чтобы мчаться по шоссе с Дином Мориарти в «Кадиллаке», я катила со своими родителями в арендованной «Тойоте». Зато цель была та же. Просветление. Или реальность. Или – вы можете назвать это как-то по-другому.

Мы ехали из Сан-Франциско в Санта-Барбару, останавливаясь по дороге в маленьких прибрежных городках. Мама сидела впереди с папой. Я удобно устроилась на заднем сиденье, наблюдая мир, проносящийся мимо за окном. Я смотрела на пышные зеленые холмы и горы, возвышающиеся вдаль, пальмы, бескрайнее небо, океан, уходящий до горизонта. Я хотела испытывать благоговение перед красотой природы и величием земли. Разве это не то, что вы должны чувствовать при виде всего этого? Трепет? Только я почему-то ничего такого не испытывала. Мне не казалось это чудесным или величественным, – по крайней мере, в сравнении с мыслями, которые роились в моей голове. В течение многих лет мы пытались разгадать тайну природы реальности за окном, в то время как на самом деле все, что я действительно хотела разгадать, – это мир у меня в голове. Но есть ли разница? *Чтобы вы ни говорили, никакого «снаружи» не существует.*

Может быть, все дело было в том, что я знала: мир за окном – деревья, небо, горы, океан – были всего лишь вершиной космического айсберга, чем-то незначительным в природе вещей. Что ничто из них не принадлежало окончательной реальности. Набоков однажды написал о «реальности», что это «странное слово, которое ничего не значит без кавычек», и я начинала понимать, что именно он имел в виду. Я проводила пальцем по стеклу, рисуя кавычки вокруг гор: «горы». Но когда я смотрела на стекло, все, что я видела, были мои собственные карие глаза, глядящие на меня: «я».

Золотой век космологии прошел ужасно быстро, и было еще не ясно, что должно было прийти ему на смену. Я понимала мысль Сасскинда о FRW/CFT-соответствии, но распад деситтеровского пространства, необходимый для этого, направляется хаотической инфляцией. Вы не можете говорить об инфляции без описания Вселенной за пределами нашего космического горизонта как неотъемлемой части все той же единой реальности. Хаотическая инфляция невозможна без всеохватного взгляда на мир глазами Бога, и поэтому с самого начала казалась мне нефизической и нелогичной моделью, к чему вообще о ней упоминать?

Конечно, упоминания ее связаны с возвратом инвариантности S -матрицы и жизнеспособности теории струн. Но так ли это? Быстрый поиск в интернете на моем сотовом телефоне привел меня к статье

Буссо «Космология и S -матрица». Читая ее на заднем сиденье автомобиля, я все больше убеждалась в том, что иметь такого наблюдателя, как Писец, на бесконечно удаленной границе плоской Вселенной было недостаточно, чтобы придать смысл (плоть, реальность) S -матрице. Проблема с S -матрицей состоит не в том, что вы должны занять место в самом дальнем углу Вселенной, оглядываясь назад. А в том, что вы должны занять место *вне* системы.

Как говорил Хокинг, S -матрица служит безотказной волшебной палочкой при описании лабораторных экспериментов, потому что мы, как наблюдатели, можем занять место вне системы, за которой наблюдаем. Из-за застекленного окна Уилера мы можем увидеть, что поступает в систему и что выходит из нее, наше собственное существование здесь не имеет значения. Но когда дело доходит до космологии, то никакого окна уже больше не существует. Когда система – это Вселенная, то там нет никакого «снаружи». «Разница между космологией и S -матрицей, – утверждал Буссо, – состоит в том, что с S -матрицей вы заглядываете снаружи, а в космологии мы выглядываем изнутри». В этом месте парадокс Рассела о бородобрее встречается с принципом горизонтной дополненности: когда вы смотрите из-за скобок и пытаетесь засунуть увиденное внутрь, все идет наперекосяк. Вы не можете находиться внутри и снаружи одновременно. Либо вы внутри Вселенной, либо у вас есть S -матрица. Действительно, выбор у вас невелик.

Что касается Писца, думала я, то вы можете загнать его на сколь угодно большое расстояние, но он всегда будет находиться внутри Вселенной. И даже если он сможет получить доступ к почти бесконечному объему информации внутри своей причинно-связанной области пространства, он не может получить доступ ко всей информации из-за простого, но непреодолимого обстоятельства – он не может измерить себя сам.

В своей статье Буссо указывал, что невозможность измерения себя самого – мучительная проблема не только для деситтеровского пространства, это настоящий бич в конечном счете и для любого другого пространства, в том числе и фридмановского.

«Это просто крайняя форма более общей проблемы, которая возникает, когда одна часть замкнутой системы измеряет другую ее часть, – писал он. – Сюда включаются любые измерения глобального

состояния Вселенной, независимо от причинно-следственных ограничений. Очевидно, что измерительный прибор должен иметь по крайней мере столько же степеней свободы, сколько есть у системы, квантовое состояние которой оно должно установить (на практике же их должно быть на несколько порядков больше)». Отсюда следует, что «никакая реальная космология не позволяет проводить глобальные наблюдения, связанные с S -матрицей».

Даже у Писца есть непреодолимый предел. Его световой конус может стать достаточно большим, чтобы заключить в себя всю Вселенную, но он никогда не заключит в себя его самого. Писцу не удастся стать одновременно и субъектом и объектом в одной системе отсчета. При попытке описать физику вселенной, содержащей его самого, патологическая самореференция будет размывать его описание примерно так, как это делает гёделевская неопределенность, в которой Уилер увидел ключ к пониманию окончательной реальности. *«Снова та же неопределенность. Всегда одно и то же: нельзя разрешить истинность или ложность изнутри».*

Если самореференция подрывает инвариантность даже во фридмановской вселенной, думала я, то, кажется, у нас тем более не может быть надежд на реальность где бы то ни было вообще. Обескураживающая структура соавторства будет такой же обескураживающей в любой вселенной. Даже если бы мы с отцом ждали миллиарды лет, выжили в апокалипсическом распаде нашего вакуума и переходе в более низкое энергетическое состояние, а затем ждали бы еще несколько миллиардов лет и снова переживали Большой взрыв за Большим взрывом, пока, наконец, не ступили бы на твердую землю, где наши световые конусы подошли бы совсем близко друг к другу, суля всем взаимное согласие, даже тогда Брокман и Мэтсон имели бы полное право отвергнуть наше предложение. Соавторство было такой же иллюзией, как и все остальное.

По крайней мере, это было хорошей иллюзией, думала я, пока мы мчались по шоссе, болтали захлеб о физике и встречных машинах. Когда мы не обсуждали природу реальности, мой отец включал на полную громкость «Радиоэхд», «Бек», Боба Дилана и «Рутс», а мама пританцовывала сидя, щелкала пальцами, покачивала плечами и подпевала на свой неповторимый лад. Кто-нибудь, глядя на нас снаружи, мог бы сказать, что мы – семейка сумасшедших: трое едут

вдоль калифорнийского побережья, обсуждая состояние теории струн или смысл голографического принципа и встречаясь с различными физиками. Но для меня, внутри, это была просто семья.

Офис Джозефа Полчински в Институте Кавли в Санта-Барбаре был хотя и небольшим по сравнению с каютой капитана Дэвида Гросса, но очень уютным.

– Неплохой вид, – заметил отец, указывая на Тихий океан за окном.

Полчински рассмеялся:

– Иногда, когда я работаю, я вижу плавающих дельфинов.

– Я так и знала! – пробормотала я.

Он повернулся ко мне:

– Вы бывали здесь раньше?

Я покачала головой:

– Несколько лет назад я организовывала дебаты между Дэвидом Гроссом и Ленни Сасскиндом.

Лицо Полчински посветлело:

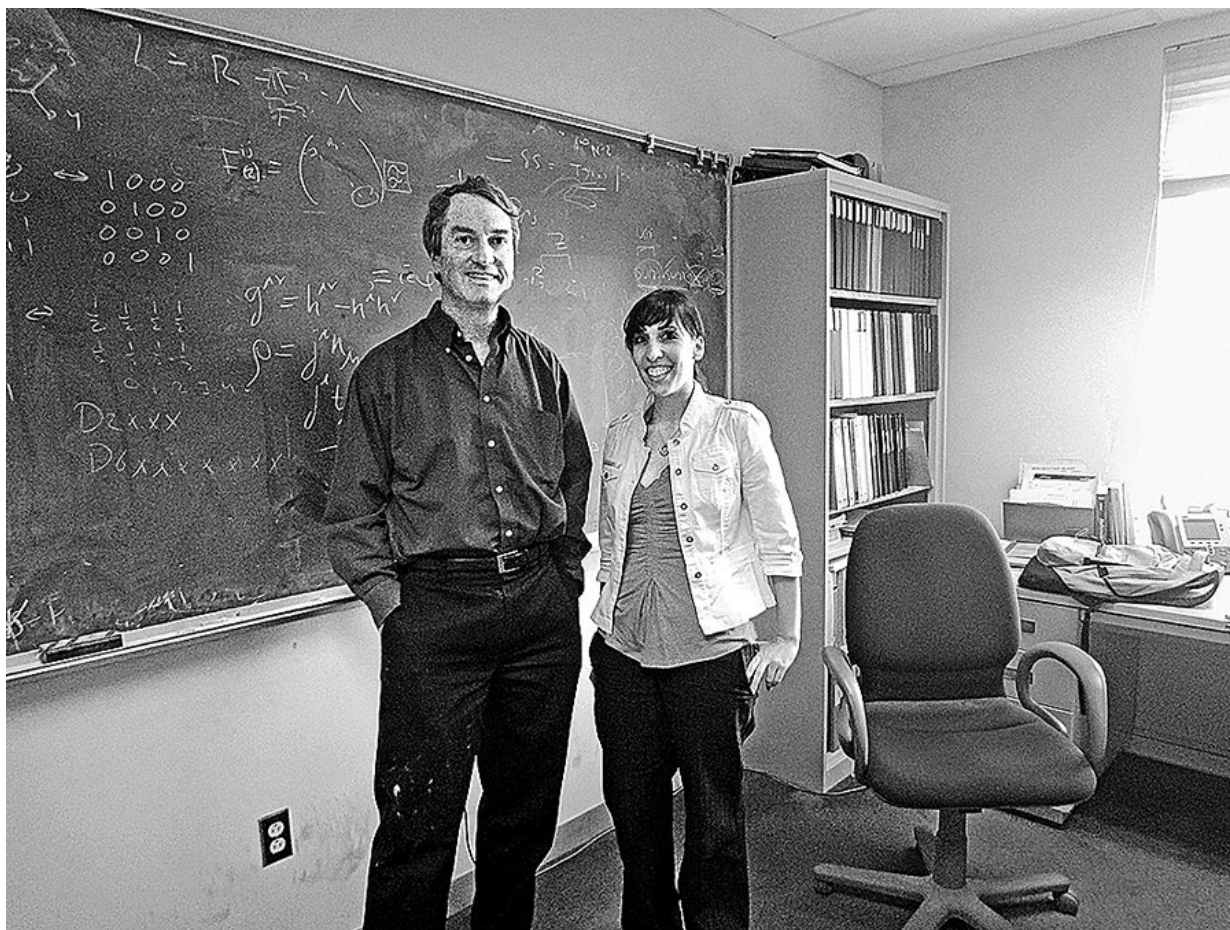
– Это были вы? Я слышал об этом!

Он занял место в кресле, а мы с отцом расположились на кушетке напротив доски, исписанной уравнениями. Полчински держался формально, но на вопросы отвечал охотно и содержательно.

Буссо говорил, что в определенных ситуациях мы могли бы рассматривать D -браны в качестве основных ингредиентов окончательной реальности, а обнаружил D -браны именно Полчински. Если мы хотели знать о них больше, то мы попали в правильное место на берегу океана.

– Можете ли вы рассказать нам, что такое D -брана? – спросила я.

Чтобы понять, что представляет собой D -брана, сказал Полчински, начинать надо со струн. В 1990-е годы физики обнаружили не одну, а пять непротиворечивых теорий струн в десяти измерениях, причудливо названных Тип I, Тип IIA, Тип IIB, $SO(32)$ и $E_8 \times E_8$. Когда дело касается теории всего, то никто не хочет иметь пять теорий. Ведь если есть только один правильный ответ и вы нашли его, вы сделали дело. Если есть пять возможных ответов, то вам предстоит еще много работы для того, чтобы найти единственную истинную теорию.



С Джо Полчински в Институте теоретической физики Кавли.
Фото: У. Гефтер.

Полчински напомнил нам, что струны могут быть со свободными концами, как развязанные шнурки, или они могут быть замкнутыми, как аптечные резинки. В некоторых из тех пяти струнных теорий есть только замкнутые петли, а в других – как струны со свободными концами, так и замкнутые. В самом деле, если в теории есть струны со свободными концами, то в ней должны быть также и замкнутые, поскольку две струны со свободными концами могут всегда соединиться в замкнутую петлю, хотя обратное неверно^[51]. Это полезное правило, если учесть, что гравитоны – это замкнутые струны. Если бы у вас появилась теория, содержащая только струны со свободными концами, то у вас не было бы гравитации, ради которой, собственно, и гордился весь огород.

– В первое время главное внимание уделялось замкнутым струнам, – сказал Полчински, – потому что, как тогда казалось, они

предлагают полное описание того, что вам необходимо для построения единой теории.

И одна из самых замечательных находок в теории струн – это T -дуальность.

Идея T -дуальности заключается в следующем. Энергия замкнутой струны распределяется между колебаниями струны и ее индексом намотки. Индекс намотки связан с тем обстоятельством, что струны могут свиваться вдоль крошечных, свернувшихся, компактифицированных пространственных измерений, и энергия струны возрастает по мере того, как струна растягивается с каждой новой петлей. Индекс обмотки – это вид потенциальной энергии, как у туго скрученной пружины в мышеловке. Колебательная энергия – вид кинетической.

По мере того как изменяется размер компактного измерения, изменяются конкурирующие друг с другом кинетическая и потенциальная энергии струны. Чем больше радиус компактного измерения, тем больше натянута струна, тем больше ее потенциальная энергия. Чем меньше размер, тем точнее струна локализована в пространстве, тем больше ее импульс из-за квантовой неопределенности и, следовательно, тем больше ее колебательная энергия. Однако разница между двумя формами энергии никак не влияет на физику явления, поскольку наблюдается только полная энергия струны. В принципе невозможен эксперимент, в ходе которого удалось бы различить струну с высокой энергией колебаний и низкой энергией намотки и струну с низкой колебательной энергией и высокой энергией намотки, если полная энергия этих струн имеет одно и то же значение. Это означает, что ни один эксперимент, даже в принципе, не мог бы найти различие между пространством с радиусом R и пространством с радиусом $1/R$. Если задуматься, это кажется чистым безумием.

«Размер не инвариантен! – записала я в своем блокноте. – То, что видится большим одному, покажется маленьким другому».

Это была сногсшибательная идея. Учитывая радикальные отличия между физикой больших тел, таких как планеты, и маленьких объектов, таких как субатомные частицы, можно было бы подумать, – принося извинения девушке из моей группы по философии, – что размер имеет значение. Оказывается, это не так.

«Стоит подумать о том, что это значит для Большого взрыва, – нацарапала я. – Если сжать Вселенную так, чтобы радиус был достаточно мал, она снова будет выглядеть большой. Отскок, а не взрыв».

– Струны обладают естественным размером, и вы можете представить ситуацию, в которой пространство струны становится все меньше и меньше, – сказал Полчински. – Вопрос в том, что происходит, когда пространство станет меньше, чем размер струны? *T*-дуальность показывает, что если вы поместите струну в ящик и сделаете размер ящика меньше размера струны, то вы, к своему удивлению, обнаружите, что существует еще один способ рассмотреть систему, при котором ящик снова становится большим. Возникает новое пространство-время. В таком случае мы говорим: возникающее пространство-время. Пространство-время не фундаментально. Пространство-время, получившееся в итоге, – это не то пространство-время, с которого вы начали, оно как-то возникает из пространственной струнности. Но оно неотлично от оригинала, так что ни одно из них не является более фундаментальным, чем другое. Они оба возникающие.

– Вместо того чтобы думать, что существуют два разных пространства-времени, о них можно думать как об одном пространстве-времени, которое мы рассматриваем двумя разными способами? – спросила я.

– Вот именно, – кивнул он. – Два способа смотреть на одно и то же. Это и есть дуальность.

Существует также принципиальное различие между миром, состоящим из точечных частиц, и миром, построенным из струн. Частицы не обладают индексом намотки, так как безразмерные точки ни на что наматываться не могут. В мире частиц большое – всегда большое, а маленькое – всегда маленькое. Струны, однако, видят геометрию пространства по-другому. Из-за того что точечные частицы, в действительности, оказываются одномерными струнами, меняется не только природа материи, меняется также природа пространства-времени.

Физики, продолжал Полчински, рассматривали *T*-дуальность в теории с замкнутыми струнами, но никто не потрудился рассмотреть теорию с открытыми струнами.

— У меня были дипломники и аспиранты, — сказал он, — а им надо ставить задачи. Однажды я сказал им: почему бы нам не попробовать сделать то же самое с открытыми струнами и посмотреть, что произойдет? Как бывает с любой хорошей задачей, студенты и аспиранты не могли справиться с ней самостоятельно, и мы начали работать над ее решением вместе. Мы обнаружили, что в случае открытых струн происходит то же самое: ящик сначала становится все меньше и меньше, и затем, с определенного момента, он начинает расти, все больше и больше увеличиваясь в размерах. Однако самое забавное, что когда ящик становится большим, он больше не пуст. В нем есть что-то. Подмногообразие. Брана.

В отличие от замкнутых струн, у открытых струн нет индекса намотки. Даже если они свиваются вдоль компактного измерения, их концы могут по-прежнему свободно перемещаться, и поэтому они не растягиваются. В самом деле, их концы *обязаны* свободно перемещаться. Для сохранения Пуанкаре-инвариантности пространства-времени, — то есть для того, чтобы обеспечить равноправие всех систем отсчета и не нарушить общий принцип относительности, — концы струны должны иметь возможность находиться в любой точке пространства-времени, демократический принцип, известный как граничное условие Неймана.

Поскольку открытые струны не обладают индексом намотки, их энергия существует только в форме колебаний: это означает, что если вы уменьшите размер одного компактного измерения до нуля, оно никогда не станет снова большим. Оно просто перестанет существовать, оставив открытые струны жить в пространстве-времени с размерностью на единицу меньше, чем было сначала.

В этом, кажется, нет большой беды, — но только до тех пор, пока вы не вспомните, что любая теория с открытыми струнами неизбежно также содержит замкнутые струны. И тогда вся картина становится немного странной.

При уменьшении размера компактного измерения до нуля замкнутые струны вынуждают его расти снова, и для них полная размерность исходного пространства-времени сохраняется. Между тем в перспективе открытых струн пространство-время теряет измерение.

Каким может быть единое пространство-время, если оно кажется имеющим девять пространственных измерений для замкнутых струн и,

в то же время, только восемь для открытых? На самом деле, проблема даже более сложная, потому что большинство открытых струн физически идентичны замкнутым. Только концы у них разные. Так что вопрос в действительности формулируется следующим образом: каким может быть единое пространство-время, если оно кажется имеющим девять пространственных измерений для замкнутых и открытых струн, *за исключением* концов открытых струн, которые видят только восемь измерений.

Достоинно восхищения, что Полчински и его студенты решили головоломку: когда сокращающееся компактное измерение начинает снова расти, свободно движущиеся концы открытых струн вдруг оказываются приклеенными к восьмимерному подмногообразию девятимерного пространства. Таким образом, концы начинают жить в восьми измерениях, в то время как остальные открытые и замкнутые струны – во всех девяти. Другими словами, когда новое пространство-время возникает из сокращения размерности, граничные условия для открытых струн изменяются. Вместо граничного условия Неймана возникает граничное условие Дирихле; вместо того чтобы заканчиваться в произвольных точках пространства-времени, струны оказываются пригвождены к неподвижным точкам.

Только это еще не конец истории, потому что граничные условия Неймана возникли из требования Пуанкаре-инвариантности пространства-времени. Граничные условия Дирихле совершают преступление против общего принципа относительности: для них некоторые системы отсчета лучше других, поскольку привязаны к неким предпочтительным поверхностям в пространстве. Казалось, что все это упражнение было проделано напрасно. Нет смысла стараться сохранить целостность пространства-времени, если ради этого приходится жертвовать принципом относительности.

Но Полчински опять нашел решение: рассматривать пространственное подмногообразие, к которому прикреплены конечные точки струны, как динамический объект. Как объект, который может двигаться.

Если пространственная поверхность может свободно передвигаться по всему полноценному девятимерному пространству, а вместе с ним и концы открытых струн, то демократический принцип выбора системы отсчета сохраняется, восстанавливается Пуанкаре-

инвариантность, T -дуальность выполняется для открытых струн, и открытые и замкнутые струны могут счастливо сосуществовать в одной вселенной.

Это был поразительный творческий прорыв. Выглядевшее пустым пространством при смене оптики оказалось объектом. Это было похоже на то самое изображение, на котором вы сначала видите два лица в профиль, но, присмотревшись, вдруг начинаете понимать, что выглядевшее сначала пустым пространством – на самом деле *объект*, ваза. Полчински увидел, что казавшееся фоновым пространством между струнами может быть также и вазой. Учитывая, что основная цель квантовой гравитации – в объединении пространства-времени с объектами, которые оно содержит, это было довольно большое достижение. И потому что это было нечто вроде мембраны, образованной при граничных условиях Дирихле, он назвал это D -браной.

– D -брана – это вполне самостоятельный объект, – сказал нам Полчински. – Она может двигаться, колебаться, разрушаться. Такого никто не ждал.

И D -брана не обязана быть восьмимерной. Она может иметь любое число измерений. Кроме того, можно складывать несколько D -бран вместе.

– Если складывать много D -бран вместе, одну на другую, – говорил Полчински, – они начнут деформировать пространство и в итоге образуют черную брану – черную дыру, которая существует в большем количестве измерений.

В действительности, сравнение фонового пространства с видом вазы на черной бране натолкнула Малдасену на открытие AdS/CFT-соответствия: идея, которая лишила инвариантности струны, частицы и измерения, идея, которая в точности показала, как работает голографический принцип.

– Открытая Малдасеной дуальность показала, что калибровочная теория, которую, как мы думаем, мы понимаем очень хорошо, и теория струн, про которую никто не думает, что понимает ее хорошо, – на самом деле одна и та же теория, – сказал Полчински. – И это потрясающе. Это самая глубокая вещь из всего, что мы знаем о гравитации.

«Самая глубокая вещь, которую мы знаем о гравитации, — нацарапала я, — что она возникает как голографическая проекция. Что это иллюзия. Что она не реальна».

— Значит ли это, что квантовая физика и пространство-время — два способа посмотреть на одно и то же? — спросила я.

— Ну, между этими двумя существует определенная конкуренция, и голография означает, что квантовая механика побеждает, — сказал он. — Квантовая теория остается неизменной. А взгляд на природу пространства-времени меняется.

— Потому что оно больше не инвариант?

— Вот именно, — сказал Полчински. — Пространство-время больше не считают фундаментальным.

Открытие D -бран привело не только к AdS/CFT-соответствию, оно также предвосхитило так называемую вторую суперструнную революцию. Первая революция произошла тогда, когда Шварц и Грин поняли, что теория струн была теорией квантовой гравитации. Это был крупный шаг вперед — до тех пор, пока не были открыты пять теорий квантовой гравитации, и прогресс в этой области застыл в ожидании очередной революции.

Вторая революция началась в 1995 году, когда Эд Виттен предположил, что все пять струнных теорий могут быть разными аспектами одной и той же теории, которую он назвал M -теорией. Но только после того, как Полчински открыл D -браны, он смог это доказать.

Воспользовавшись D -бранами, Виттен сумел вывести все пять теорий струн из единой M -теории. На самом деле, чтобы сделать это, он должен был включить в M -теорию еще одну теорию. Только это была не теория струн. Это была теория, известная как супергравитация.

Супергравитация появляется в теории, когда вы вводите в нее суперсимметрию локально, а не глобально. Я уже понимала, как локальная симметрия работает в калибровочной теории: на волновую функцию можно смотреть под разными углами, при этом у нее должна меняться фаза. Однако из-за того что скорость света конечна, изменение фазы волновой функции не может произойти во всем пространстве сразу, и она меняется локально. В результате фаза в разных точках оказывается рассогласованной, что мы интерпретируем как присутствие взаимодействия или силы.

Суперсимметрия – это симметрия, которая позволяет вам заменять в теории фермионы бозонами, и наоборот, но и тут конечность скорости света запрещает вам проделывать это во всем пространстве одновременно. Это означает, что если фермионы и бозоны поменялись местами в вашей системе координат, то из этого еще вовсе не следует, что то же случилось с ними и в любой другой. Снова возникает рассогласование, и вам требуется какая-то сила, чтобы залатать брешь. Какая сила нужна для починки суперсимметрии? Как ни удивительно, это гравитация. Только теперь гравитону требуется суперсимметричный партнер, гравитино. Вместе гравитон и гравитино образуют новое взаимодействие – супергравитацию.

Точно так же, как обычная гравитация компенсирует разницу в том, что видят ускоренный и инерциальный наблюдатели – *чтобы совместить кривую и прямую линии, надо свернуть лист бумаги*, супергравитация компенсирует тот факт, что частица, которая выглядит как фермион для одного наблюдателя, может выглядеть как бозон для другого.

С помощью D -бран Виттен смог, наконец, показать, что все пять десятимерных теорий струн плюс одиннадцатимерная супергравитация представляли собой различные аспекты единой M -теории, соотносящиеся одна с другой с помощью дуальностей, таких как T -дуальность и S -дуальность, которые устанавливают соответствие между состояниями с высокими энергиями в рамках одной теории струн и состояниями с низкими энергиями в рамках другой. Это означало, что вы могли начать с любой из шести теорий и, используя дуальности, перейти к любой другой. Если вы начинаете с одиннадцатимерной супергравитации и компактифицируете одну из размерностей в окружность, вы получите теорию струн типа IIA; а если компактифицируете одну из размерностей в отрезок, то вы получите $SO(32)$. Достаточно повысить энергию в $SO(32)$ – и вы окажетесь в низкоэнергетическом режиме теории струн типа I; применить T -дуальность к $SO(32)$ – и вы в $E_8 \times E_8$. Повысите энергию в $E_8 \times E_8$, и возникнет дополнительное измерение пространства-времени, что приведет вас обратно к одиннадцатимерной супергравитации.

Было ясно, что D -браны дают в руки мощный инструмент. Но насколько реальные объекты им соответствуют? У меня были свои

подозрения. *D*-браны *состояли* из пространства-времени, а, по словам Полчински, пространство-время не фундаментально.

– *D*-браны фундаментальны? – попросила уточнить я.

– *D*-браны – это еще не окончательный ответ, – сказал он. – Но в некоторых отношениях они ближе к окончательному ответу, чем сами струны. Струны были неверной отправной точкой. Намного ближе к ней голографический принцип. Теория струн... – он запнулся. – Я не хочу сказать, что она уже не актуальна, но...

Я рассмеялась:

– Но она уже не актуальна?

– Возьмем, к примеру, черные дыры и возьмем кварк-глюонную плазму: достаточно чего-то одного, чтобы понять другое, – сказал Полчински. – И вам не нужна для этого теория струн. Струн нет ни на одной из сторон этой дуальности, но они обеспечивают логическую связь, которая превращает одно в другое. Теория – это больше не теория струн. Струны появляются в одном классическом пределе. А нам нужна единая теория.

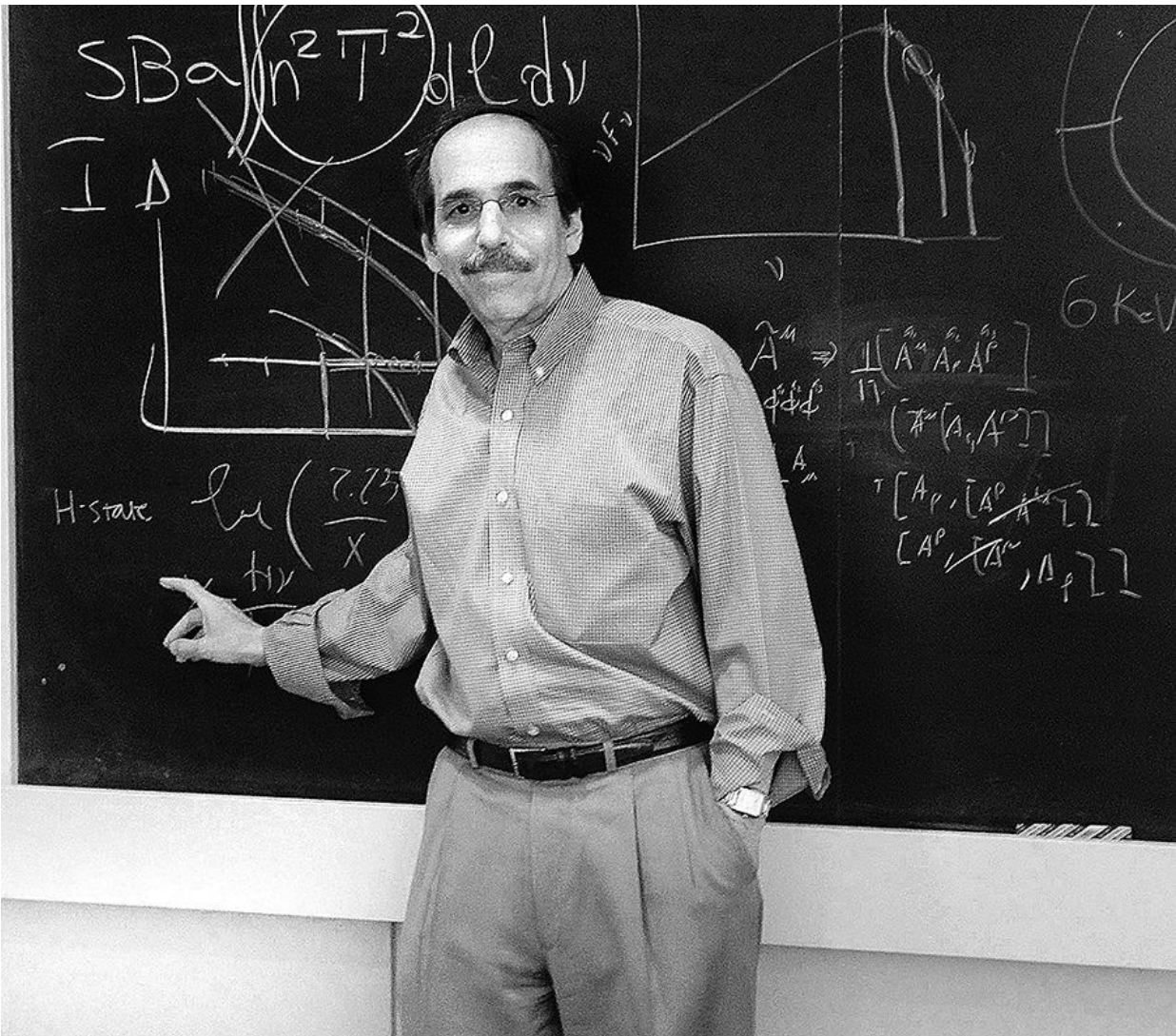
– *M*-теория? – спросила я.

– Совершенно верно.

– Поэтому было бы неправильно думать, что «мир состоит из струн».

– Совсем неправильно.

На самом деле, мне стало ясно: вообще было бы неправильно утверждать, что мир состоит из *чего-либо*. Наборы частиц, образуемые из элементарных струн, которым надлежит быть фундаментальными составляющими реальности, в каждой из пяти теорий струн – свои. Вы можете подумать, что этого уже достаточно для вердикта о принципиальном различии пяти теорий между собой, но тогда вы упустите половину истории. Если для каждой теории струн вы перечислите все элементарные частицы и все композитные частицы – частицы, состоящие из нескольких струн, списки частиц вдруг окажутся идентичными. Элементарная частица в одной теории оборачивается композитной в другой; и все же, благодаря дуальностям, все пять теорий в равной степени верны.



Мой папа у доски в Институте теоретической физики Кавли.
Фото: А. Гефтер.

Это был мощнейший удар по всей редукционистской затее – той самой, которая на протяжении веков заставляла ученых думать, что если они найдут те мельчайшие объекты, из которых сделано все остальное, то они поймут, как работает мир. Это был также мощный удар по каждому, кому случалось путешествовать с отцом на автомобиле вдоль калифорнийского побережья в поисках окончательной реальности. Теория струн с полной ясностью показала: не существует базовых ингредиентов. Некоторые только кажутся базовыми, в зависимости от точки зрения.

– В дуальности Малдасены струны возникают как связанные состояния глюонов, – сказал Полчински. – К *M*-теории можно подойти и через теорию матриц, реконструируя одиннадцатимерное пространство-время в виде огромных матриц, и тогда никаких струн вообще нет. Но теория струн привела к открытию голографического принципа. А это уже действительно фундаментальное открытие.

– Но *M*-теория должна обладать некоторой онтологией, верно? – спросила я. – Можете ли вы угадать, что это может быть? Струны, браны, частицы? Какие-то абсолютно новые объекты? Может быть, пространство? Время?

– Не могу даже предположить, – сказал Полчински. – Любопытно, что нам известно так много о различных приближениях, но у нас нет ни малейшего представления о том, приближениями чего они являются! Голография – это, очевидно, часть ответа. Фундаментальные переменные, вероятно, очень нелокальные, при этом локальные объекты возникают динамично.

Возможно ли, чтобы онтологии не существовало вообще? – недоумевала я. Это теория, построенная из ничего? Опять же, если это действительно теория всего, разве она не должна существовать?

– Теория струн привела нас к голографическому принципу, к AdS/CFT-соответствию, – сказала я. – Как мы можем теперь применить его к нашей деситтеровской Вселенной?

– Антидеситтеровское пространство – это совершенно особое пространство, – сказал он. – Засуньте гравитацию в ящик, и получите нечто похожее. Но дело в том, что среди нас все больше таких, кто снова не хочет думать ни о каком ящике. В нашей Вселенной нет никаких стенок. Так что у нас здесь вопрос, который еще ожидает своего ответа.

Да, мы живем не в ящике, подумала я, но мы живем внутри конуса. Я никак не пойму, почему бы нам не признать несостоятельность хаотической инфляции и не поместить космическую голограмму просто на поверхность светового конуса каждого наблюдателя в деситтеровском пространстве, которому больше не угрожает распад. Конечно, при этом мы теряем последнюю надежду на инвариантность, но к чему лицемерить? Разве у нас есть выбор?

– А как насчет деситтеровского горизонта, зависящего от наблюдателя? – рискнула спросить я.

Полчински задумался:

– Вы уже разговаривали с Томом Бэнксом? У него довольно оригинальный подход, который, я думаю, созвучен с вашим вопросом. Его смысл в том, что, каким-то образом, у каждого отдельного наблюдателя должна быть собственная голография.

По стечению обстоятельств, Том Бэнкс в этот момент уже приближался к Санта-Барбаре.

Глава 13

Как разбивать стекло

Меня разбудил телефонный звонок.

– У папы колика, – это из соседнего номера звонила мама.

– Черт! – выругалась я, пытаюсь проснуться. – Как он?

– Не могу сказать. Видимо, придется ехать в больницу. Машина нам может понадобиться здесь. Возьми такси до кампуса.

Я надела шлепанцы и побежала в их комнату. Отец лежал на кровати, согнувшись от боли пополам, и стонал. Такое с ним было не впервые, и я знала, что в конце концов все будет хорошо. Он все-таки был врачом. Заболев, мы сами бежали к нему за помощью. Видеть больным *его* было для нас все равно что видеть мир перевернувшимся.

– Я никуда не поеду, – сказала я. – Я отменю встречу и останусь здесь.

Он скорчился, схватившись за живот:

– Ты... должна... поехать, – проговорил он, запинаясь и еле выговаривая слова из-за сильной боли. – Задать... физике... перцу.

– Поезжай, – успокоила меня мама. – Здесь ты ничем не поможешь. Если что-то изменится, я тебе позвоню.

Я не знала, сколько добираться до кампуса на такси, и поэтому вызвала его сразу же. Машину подали быстро, и я, оказавшись в Институте Кавли на сорок пять минут раньше назначенной встречи с Бэнксом, решила подождать его в комнате отдыха сотрудников.

Там никого не было, за исключением одного человека, наливавшего себе кофе. Может быть, это и был Бэнкс? Я рассматривала его фотографию в интернете несколько недель назад, но память на лица у меня никогда не была особенно хорошей. Я широко улыбнулась и сказала ему:

– Привет!

Если это он, думала я, он должен среагировать соответствующим образом. Но человек посмотрел на меня, ответил легким кивком и вернулся к своему кофе. Конечно, это не та реакция, которую ждешь от того, с кем договорился об интервью. Я села на диван.

А человек взял свой кофе, вышел на улицу и сел за столиком во дворе прямо за моей спиной, возможно, всего в десяти шагах. Я расположилась на диванчике и стала ждать.

Я немного волновалась перед встречей с Бэнксом. Детали его работы мне были неизвестны, но я знала, что они с его коллегой Вилли Фишером предложили модель голографического пространства-времени, в которой, по словам Полчински, зависимость от наблюдателя была больше, чем во всех других встречавшихся нам до сих пор моделях. В ней рассматривались текущая деситтеровская ситуация и не делалась ставка на грядущий через миллиарды лет переход в плоское фридмановское пространство. А ведь как сказал Сасскинд, физические построения в рамках причинно-связанной области одного наблюдателя в деситтеровском пространстве, «вероятно, не могут быть верными, потому что деситтеровское пространство может распасться». Мне было любопытно узнать, что Бэнкс скажет по этому поводу.

Время шло, и мои подозрения, что человек с кофе и в самом деле Бэнкс, все больше росли. Теперь было слишком поздно начинать разговор, не сделав ситуацию еще более неловкой.

Так что я просто сидела в ожидании. И он просто сидел. *Тридцать минут.*

В конце концов я решилась написать по электронной почте, что я пришла раньше и жду в комнате отдыха, когда он будет готов к интервью. Он прислал ответ. Я даже слышала, как он стучит клавишами: «Привет, Аманда. Я во дворе».

С неловкой улыбкой я вышла во двор, чувствуя себя полной идиоткой. Я села за его стол, пожала ему руку, извиняясь и объясняя, почему отец не смог присоединиться к нам. Бэнкс кивнул. Он был тихим и сдержанным, но как только мы приступили к обсуждению физики, его поведение резко изменилось: он превратился в доброжелательного и открытого человека.

Недолго думая, головой в омут, я решила прямо задать ему вопрос, который был теперь для меня важнее всего:

— Как мы можем применить голографический принцип в нашей деситтеровской Вселенной?

— Дело в том, что в деситтеровском пространстве, — начал Бэнкс, — независимо от того, как долго вы живете, вы можете получить доступ только к ограниченной области. Площадь вашего горизонта всегда

будет ограничена. Представления о пространстве-времени, принятые в общей теории относительности, таковы, что всегда можно говорить о Вселенной за пределами той ее части, которую мы видим, за пределами нашего горизонта. Но голографический принцип говорит нам иное: прямо здесь, в чем-то, причинно-связанном с нами, есть полное описание всего, что происходит за горизонтом. Вселенная любого наблюдателя – это его причинный бриллиант, она конечна, но полна.

Сасскинд колебался относительно применимости его принципа дополнительности к деситтеровскому горизонту, а Бэнкс не колебался ни секунды.

– Эта идея просто доводит принцип дополнительности для черных дыр до его логического завершения, – сказал он. – Информация никогда не покидает светового конуса наблюдателя; она просто накапливается на горизонте, поджариваясь там, как яичница-болтуня на сковородке в излучении Хокинга.

Причинный бриллиант – это ограненный алмаз, образованный комбинацией прошлых и будущих световых конусов наблюдателя, то есть вся та область пространства-времени, с которой наблюдатель на протяжении своей истории мог когда-либо взаимодействовать. Его полная, но конечная вселенная.

Я уже знала, чем плоха конечная вселенная: в ней нет места инвариантности. Инвариантные определения S -матрицы, частиц и струн требуют бесконечной границы на бесконечном удалении. А с конечными границами на конечном расстоянии ничего не выйдет. Прошло немало времени с тех пор, как я узнала: частицы – а стало быть, и струны – это неприводимые представления группы Пуанкаре. Но горизонты событий нарушают симметрию Пуанкаре. Именно это обстоятельство и привело к открытию излучения Хокинга, голографического принципа и обобщенного принципа дополнительности. В мире с горизонтами событий наблюдатели не могут прийти к согласию относительно того, где есть частицы, а где – просто пустое пространство. Причем ни один из них не более прав, чем любой другой. В деситтеровской вселенной, как наша, даже наиболее стабильные строительные блоки реальности оказываются зависимыми от наблюдателя.

– А что происходит с S -матрицей? – спросила я. – Неужели вам не нужна хоть какая-то бесконечная область, чтобы сохранить хоть какую-

нибудь инвариантность?

– Вы правы, – сказал Бэнкс. – Если причинный бриллиант может когда-нибудь стать бесконечным, тогда все наблюдатели придут к согласию, и там будут калибровочно-инвариантные наблюдаемые вроде S -матрицы в асимптотически плоском пространстве. Но в деситтеровском пространстве такого никогда не случится... Сасскинд с соавторами хотят определить какие-нибудь наблюдаемые в пространстве с нулевой космологической постоянной и асимптотически суперсимметричной FRW-метрикой. Они хотят от де Ситтера неустойчивости и распада до фридмановского состояния.

– Но вы не думаете, что такое возможно?

– Нет, – ответил Бэнкс. – Эта идея основана на хаотической инфляции и ландшафте теории струн, а эти теории, я думаю, просто неверны.

Одна из причин, почему они неверны, пояснил он дальше, заключается в том, что у них в основе предположение о квантовых флуктуациях пространства-времени.

– А разве они невозможны? – спросила я потрясенно.

– Не в голографической картине пространства-времени, – сказал он.

Бэнкс пояснил, что, благодаря голографическому принципу, теперь стало возможно записать все свойства пространства-времени на языке квантовой механики. Что, конечно, был Святой Грааль. Квантовая гравитация.

Свойства пространства-времени разделяются на две категории: причинно-следственная структура и масштаб. Причинно-следственная структура говорит нам, для каких точек возможен обмен информацией, то есть это – взаимное расположение световых конусов. Масштаб говорит нам, насколько велики объекты.

Мне было удивительно слышать, что причинно-следственная структура может быть закодирована в квантовом языке. Учитывая концептуальную пропасть между теорией относительности и квантовая механикой, можно было бы подумать, что световые конусы не будут иметь ничего общего с чем-либо, даже отдаленно напоминающим квантовый мир.

Но ключом к разгадке, объяснил Бэнкс, была коммутативность.

Я уже знала кое-что о коммутативности. Я знала, к примеру, что определенные пары измерений – каждому из них соответствует какой-то оператор – не могут быть одновременно проведены с произвольной точностью. Одна из таких пар – координата пространственного положения и соответствующий ей импульс, другая – время и энергия; в обоих случаях мы имеем пары операторов, связанные с принципом неопределенности. Принцип неопределенности говорит нам, что порядок, в котором производятся измерения, влияет на результат. Измеряя первой координату, мы размываем информацию об импульсе; измеряя первым импульс, мы размываем информацию о положении в пространстве. Если результат измерений зависит от их порядка, то говорят, что соответствующие операторы не коммутируют.

– Если коммуникация двух пространственно-временных областей невозможна, то есть все точки одной из них так расположены по отношению к точкам другой, что мировая линия света не может соединить никакие две из них, тогда квантовые операторы любых измерений в этих областях коммутируют друг с другом, – сказал Бэнкс.

Это звучало резонно. В конце концов, нельзя сказать, что оператор координаты никогда не коммутирует с оператором импульса. Они не коммутируют только тогда, когда речь идет о причинно-связанных мировых точках. В пределах одного светового конуса. Если вам встретились операторы координаты и импульса, которые коммутируют, – значит, вы имеете дело с причинно не связанными событиями, то есть каждое из событий лежит за пределами светового конуса другого.

– Коммутация выражает отсутствие причинно-следственной связи между измерениями, – сказал Бэнкс. – Когда операторы не коммутируют, то одно измерение мешает другому. Если бы не это, если бы не возникала квантовая интерференция^[52], то вы бы могли посылать сигналы со скоростью больше скорости света. Поэтому причинная структура пространства-времени говорит вам, когда квантовые операторы коммутируют, а когда нет. Но вы можете рассуждать и в обратном направлении. Вы можете начать с алгебры квантовых операторов, которая говорит о том, что коммутирует, а что нет, и вывести отсюда причинно-следственную структуру пространства-времени.

Вуаля! – вот вам квантовое пространство-время. Ну, почти. Кроме причинно-следственной структуры, нам еще нужен масштаб. Квантовые коммутационные соотношения могут сказать нам, что две точки находятся слишком далеко друг от друга, чтобы сообщение из одной не могло попасть в другую, но они ничего не скажут о том, как далеки эти точки друг от друга.

А голографический принцип может.

– Голографический принцип говорит нам, что мерой числа квантовых состояний, энтропии, служит площадь, – сказал Бэнкс. – Площадь поверхности, ограничивающей систему. И если голографический принцип верен, у нас теперь есть способ, с помощью которого можно полностью описать все свойства пространства-времени на языке квантовой алгебры.

– И поэтому пространство-время не может флуктуировать? – спросила я.

– Вот именно. Флуктуации пространства-времени – это старая идея, но она оказалась ложной.

Голографический принцип говорит: свойства пространства-времени определяются тем, какие квантовые операторы коммутируют друг с другом, и тем, насколько велико пространство состояний, гильбертово пространство, энтропия. Здесь нет места для флуктуаций. Только значения переменных могут флуктуировать в квантовой механике, а не размер гильбертова пространства или коммутационные соотношения. Когда вы говорите о принципе неопределенности координаты и импульса, флуктуировать может только то, как много вы знаете о координате или об импульсе. Но коммутационные соотношения между соответствующими операторами просто существуют. Они точны и не флуктуируют. Так, голографическое пространство-время говорит нам, что геометрия не подвержена флуктуациям. И этот вывод оказывает очень и очень глубокое влияние на то, как мы должны думать о теории струн.

И это еще мягко сказано. Если геометрия, то есть пространство-время, не флуктурует, то нет ни хаотической инфляции, ни ландшафта теории струн. Нет распада до FRW-метрики. Нет бесконечного плоского пространства. Нет инвариантности. Нет никакой реальности. Есть только мы, сидим здесь, в деситтеровском пространстве. Финита. Занавес.

– Ладно, – сказала я. – Вот ваш наблюдатель. Он сидит в своем причинном бриллианте, в деситтеровском пространстве, замкнутый конечным горизонтом. Но ведь горизонт зависит от наблюдателя. Это совсем не так, как в случае AdS/CFT-соответствия, когда у вас есть единая граница для всей вселенной. Здесь у нас у каждого наблюдателя своя космическая голограмма?

– AdS/CFT-соответствие – это особый случай, – сказал Бэнкс. – Площади причинных бриллиантов устремляются к бесконечности особым образом. Наблюдатели связаны отношениями эквивалентности, порождаемыми группой симметрии пространства, и в этом смысле все они эквивалентны друг другу. Это не так в случае деситтеровского пространства. В результате в нем гораздо большая зависимость от наблюдателя. Люди, пытающиеся втиснуть все на свете в парадигму AdS/CFT-соответствия, напоминают мне продюсеров, которые пытаются снять пятый сиквел «Пилы»^[53].

– А что происходит, когда у вас более одного наблюдателя?

– Есть прекрасная галактика, называется она Сомбреро, которая гравитационно не связана с нашей Местной группой галактик. Если мы действительно находимся в деситтеровском пространстве, то рано или поздно мы увидим, как нарастает красное смещение в спектре идущего от нее излучения. Галактика Сомбреро будет казаться приближающейся к нашему горизонту событий, излучение от нее будет краснеть, пока она не исчезнет из виду. Единственным следом, который она оставит после себя, будет однородное фоновое излучение, приходящее к нам от горизонта. Но если бы вы сидели в галактике Сомбреро, вы увидели бы, что это мы приближаемся к горизонту и это нас поглощает идущая от него температурная волна, пока вы там сидите с чашечкой кофе и думаете, что у вас все просто отлично. Эти два совершенно эквивалентных описания одной и той же физической системы, но они используют степени свободы, которые не могут быть измерены одним наблюдателем.

Я кивнула:

– Они противоречат друг другу, только если вы попытаетесь взглянуть на них глазами Бога.

– Правильно, – сказал Бэнкс. – Вы не можете сказать, наша ли история, или история жителя галактики Сомбреро ближе к истине. Ни одну из них нельзя считать более реальной, чем другую. В квантовой

механике можно говорить о пространственной координате или о ее импульсе, но я не могу говорить и о том, и о другом одновременно, хотя оба описания в равной степени приемлемы. Подобное происходит и здесь: я не могу быть одновременно и наблюдателем, движущимся с ускорением, и инерциальным наблюдателем.

Нельзя быть одновременно и над горизонтом, и под ним. Нельзя быть и Сэйфом и Скрудом сразу.

– Голографическое пространство-время строится для каждого наблюдателя индивидуально, – продолжил Бэнкс. – Если я думаю о двух наблюдателях, таких как вы и я, то существует большая область пространства-времени, которую мы можем вместе исследовать в течение длительного периода времени. Так что у вас появится какое-то описание этой области пространства-времени, и у меня появится некоторое описание этой области пространства-времени. Эти описания индивидуально полные.

– И тогда второй наблюдатель... это что? Копия?

– Теория относительности говорит нам, что не существует выделенных наблюдателей. Должна существовать калибровочная эквивалентность между причинными бриллиантами, и тогда все, что находится за моим горизонтом, является физической копией того, что я могу наблюдать прямо здесь. Так что если вы рассматриваете все возможные причинные бриллианты, то у вас имеется бесконечно избыточное описание одной и той же квантовой системы с точки зрения различных наблюдателей.

Бэнкс довел голографический принцип до логического завершения, но это завершение несколько ошарашивало. Сасскинд научил меня, что ни один наблюдатель не может увидеть двух слонов сразу, или, если выразаться точнее, что существует только один слон. Нам только кажется, что слонов было два, когда случается перепутать копию с оригиналом. Но и «оригинала» тоже не было. Были лишь копии копий, каждая так же иллюзорна, как и следующая. Но если до избыточных слонов нам мало дела, то что же нам делать с избыточными вселенными?

– Итак, у нас есть бесконечно избыточные описания одной и той же квантовой системы, и пространство-время возникает, когда мы складываем вместе все эти описания, – продолжал Бэнкс.

– Если пространство-время возникает, то его можно назвать эмергентным? – учитывая все, что Полчински рассказал нам об *М*-теории, это могло походить на правду.

– Ну, время – не эмергентно, хотя и зависит от наблюдателя. Пространство возникает в результате квантово-механических связей между различными наблюдателями. Секрет состоит в том, что где области двух наблюдателей перекрываются, там должна существовать согласованность между тем, что они оба видят. И вот, на самом деле, это очень, очень сильное ограничение.

– А в чем заключается это ограничение? – спросила я.

Что может оставаться инвариантным при переходе от одного причинного бриллианта к другому причинному бриллианту? Если все наблюдатели по-разному видят одну и ту же исходную реальность, то в чем же тогда ее реальность?

– У этой задачи не может быть много решений, – сказал Бэнкс. – Одно из них мы нашли вместе с Вилли Фишером и назвали жидкостью черной дыры. Это квантовое состояние, не похожее ни на что из того, к чему мы уже привыкли. В нем нет частиц. В нем нет даже пространства-времени. Это просто квантовая система, в которой все степени свободы непрерывно взаимодействуют друг с другом. Это однородное изотропное состояние с максимальной энтропией.

Нет частиц, нет пространства-времени? Совершенно однородно? Это звучало ужасно похоже на то, как мой отец характеризовал ничто.

– Мы считаем, что такая жидкость существовала в самом начале Большого взрыва, – сказал Бэнкс. – Инфляционная космология призвана объяснить, почему Вселенная вначале была такой однородной и изотропной, в маловероятном состоянии с низкой энтропией. Однако и эта жидкость тоже однородна и изотропна, но при этом – с максимальной энтропией. Тогда возникает вопрос, почему мир не выглядит как жидкость черной дыры теперь? Ответ: ни жизнь, ни биология, ни какая-либо другая сложность невозможны в этом состоянии. Но если жидкость черной дыры обладает конечным числом состояний, то можно было представить, что она в конечном счете окажется в маловероятном состоянии с низкой энтропией. Эта идея восходит еще к Больцману. Он сказал, что если энтропия системы конечна и система находится в равновесии, то есть проходит через все возможные состояния, и если вы подождете достаточно долго, то

система окажется в состоянии с низкой энтропией, в котором может сформироваться сложность. Вилли и я работаем над этой идеей: как, начиная с состояния жидкости черной дыры, получить в конце состояние с низкой энтропией, в котором могло возникнуть что-то сложное и интересное, как жизнь? Это цель нашей работы, но мы ее пока не достигли.

– Я читала блоги Лубоша Мотля, и он сказал, что вы выстраиваете здание физики с нуля, – сказала я. – Вы тоже так думаете?

– Лубош отчасти прав. Однако ни одна из идей, которые вошли в общую картину голографического пространства-времени, не могла бы существовать без труда всех тех, кто внес вклад в наше понимание теории струн. Так, в маловероятном случае, если получится, что я прав, то «только потому, что стоял на плечах гигантов». Я предполагаю, вы знаете, что Ньютон сказал так, намекая на Гука, который был карликом.

Я слышала это, но все-таки заставила себя рассмеяться. Каждый думает, что Ньютон был скромнягой, когда на самом деле он просто был приколист.

– Кажется, в космологии наметилась некая смена парадигмы – от глобальной точки зрения, точки зрения всевидящего Бога, к утверждению, что нужно рассматривать мир с точки зрения одного наблюдателя, – сказала я.

– Да, но я не думаю, что эта идея уже получила достаточное распространение. В Стэнфорде так думают многие, но и они видят проблему не совсем так, как ее вижу я. Они пытаются поместить все, что было сделано ранее, используя глобальный подход, – в том числе инфляцию и ландшафт теории струн, – в эти новые рамки, а я думаю, что эти теории были просто заблуждением. Они хотят взять мир одного наблюдателя и попытаться запихнуть в него все, что видно глазами Бога. Я думаю, что они неправы, но, по крайней мере, это идея ради идеи, – заявил Бэнкс, цитируя Уилера.

– Я пыталась выяснить, что может быть наиболее фундаментальными ингредиентами Вселенной, – сказала я. – Становится понятным, что струны таковыми не являются.

– Верно. В нашем распоряжении имеются эти модели, и при некоторых экстремальных значениях их параметров, когда все становится вычисляемым, они выглядят так, как будто описывают струны. Но в реальной теории никаких струн нет ни в каком

фундаментальном смысле. Я думаю, многие согласятся: мы действительно не понимаем, что в нашем мире фундаментально. На мой взгляд, фундаментален голографический принцип, то есть соотношение между геометрией и квантовой механикой.

Когда разговор закончился, я позвонила и заказала такси, чтобы вернуться в отель. Пятнадцать минут спустя тот же водитель, который привозил меня сюда, притормозил перед институтом.

– Вы ученый? – спросил он меня, когда мы повернули в сторону побережья.

– Нет, – сказала я. – Писатель. Но я провожу некоторые исследования.

– Какие исследования? – спросил он.

– Физические, – ответила я. – Я исследую природу реальности.

– Я недавно смотрел шоу по телевизору, и они разговаривали о мельчайших частицах, какие только существуют. Мельчайших частицах! Каких-то мельчайших атомах. Вы что-то знаете об этом?

– О кварках? – рискнула предположить я. Мне не хотелось утруждать себя объяснением, что слово «мельчайшие» ничего не значит. Что выглядевшее мельчайшим в одной системе отсчета может выглядеть наибольшим в другой. И мне казалось неразумным выносить человеку мозг, пока он управляет машиной.

– Точно, именно они, кварки! – сказал он удовлетворенно. – Интересные штучки.

– Они могут быть голографическим кодом гравитации в десяти измерениях, – пробормотала я.

– Что-что? – не понял он.

– Я сказала, что это очень интересно, – прокричала я в сторону водительского кресла. – Они такие маленькие!

Вернувшись в отель, я была рада увидеть отца сидящим в кресле. Во время особенно острого приступа боли и рвоты камень продвинулся дальше по своему пути, где он теперь устроился поудобнее, и боль временно отпустила. Мама, обессиленная, но вздохнувшая с облегчением, сидела на кровати и вязала.

– Как Бэнкс? – спросил отец.

– Просто завораживающе.

Я рассказала о том, что Бэнкс рассказал мне о голографической космологии. Я объяснила, что это совсем не похоже на Вселенную в описании Маркопулу, в которой мы все смотрим на конечные части одной и той же Вселенной. По Бэнксу, каждая такая часть и есть вселенная. Целиком. Самосогласованная и полная.

– Есть только твоя вселенная, и все, – сказала я отцу.

Он выглядел задумчивым:

– Значит ли это, что ты просто копия меня?

– Ну, это мы и так уже давно знаем, – произнесла мама.

– Я уверена, что это моя вселенная, а вы все – копии меня, – сказала я.

– Вот тебе и на! – сказала мама, закатывая глаза. – Мы родились задолго до тебя.

Я рассмеялась, но вопрос о том, чья же все-таки эта вселенная, был вполне законным. Бэнкс дал лозунгу Смолина совершенно новый смысл. Первый принцип голографической космологии теперь должен быть таким: нет ничего вне *моей* вселенной.

Вечером, пока отец отдыхал в постели, мы с мамой вышли прогуляться. Мы бродили бесцельно по улочкам Санта-Барбары и в конце концов добрались до порта. Воздух был теплым, небо – нежно-розовым; лодки мягко покачивались у причалов.

– Я не могу равнодушно смотреть, как папа мучается, – сказала я, глядя на океан.

– И не говори, – сказала она. – Ты бы видела его ночью! Это было ужасно...

– Но теперь все хорошо?

Она посмотрела на меня с ободряющей улыбкой:

– Конечно, теперь хорошо.

– Я продолжаю думать о книге, – сказала я. – И о Брокмане с Мэтсон. Они думают, что соавторство – это тупиковый путь. И в физике получается так же. Бэнкс говорит, что у каждого из нас своя вселенная, и никто из нас не может говорить больше, чем об одной вселенной сразу. Я чувствую, что одна моя половина хочет писать книгу от себя лично, а другая половина не может смириться с этой мыслью. Ты думаешь, он расстроится? Ты думаешь, он будет меня ненавидеть?

Не знаю, что вызвало мою внезапную исповедь. Возможно, увидев отца больным в постели, я почувствовала себя виноватой. Словно его мочекаменная болезнь была прямым следствием моего предательства. Словно моя потаенная мысль о единоличном авторстве превратилась в камень, застрявший в его мочевыводящих путях. Так, словно если бы я немедленно не избавилась от этой мысли, то она бы затаилась камнем где-то внутри меня. Словно неизбежен был бы его рост, пока он не превратится в черную дыру и не засосет меня внутрь. Словно я была Скрудом.

Мама рассмеялась:

– Он никогда не смог бы ненавидеть тебя! Работать с тобой в физике и быть тебе соучастником – это целый мир для него. Я думаю, что он будет ужасно разочарован, если этого больше не будет. Но я не думаю, что это касается авторства. Писательская доля всегда была твоей. Он мыслитель. Ты писатель.

– Но в этом-то все и дело. Я не писатель. Я только делаю вид, что я писатель.

– Может быть, пора перестать притворяться, – сказала она.

Я вздохнула:

– Наверное, мне просто страшно, потому что я не знаю, как это сделать. Мэтсон сказала, что я должна писать в собственном стиле. А я даже не знаю, с чего начать. Я даже не знаю, хочу ли начинать. Без папы.

Как ни посмотри, выходит плохо. Как я могу написать книгу по физике без него? Если бы не он, я бы никогда не занялась физикой вообще. Я бы никогда не сделала ни одного шага – не только потому, что он зацепил меня своим вопросом «ни о чем», но и потому, что без него, делившего на каждом новом шагу мои тревоги, все это не имело бы большого значения. Я думаю, так получилось с инвариантностью. Я думаю, так получилось в разговорах с другими. Пусть об их мыслях и чувствах мы даже догадаться не можем, не говоря о том, чтобы знать, пусть они сидят на противоположной стороне непреодолимой пропасти, пусть сам факт их принадлежности к «другим» заставляет нас чувствовать себя так чертовски одиноко, – это все же то единственное, что заставляет нас чувствовать свою реальность. Реальность жизни. Даже разгадка тайны Вселенной, кажется, не стоит ничего без моего отца, повторяла я про себя.

Я посмотрела на нее умоляюще:

– Скажи мне, что делать.

– Я не могу, – сказала она.

Я надула губы:

– С каких это пор?

– Он будет тобой гордиться несмотря ни на что, – сказала она. – И я тоже. Я уверена, ты примешь правильное решение.

Я поглядела в сторону гавани. Мой взгляд скользил по спокойной воде, пока он не встретил горы, которые на расстоянии казались маленькими. Я знала, что соавторство подобно смертному прегрешению против голографии, что, пересекая горизонт, мы невольно рождаем что-то безголосое и неправдоподобное. И все же – еще раз: я не была уверена, что нас с отцом следует рассматривать как двух различных наблюдателей, как Сэйфа и Скруда. Каждый из нас всегда знал, что думает другой. Мы понимали друг друга с полуслова, и даже случалось, что я звонила ему, чтобы поделиться какими-то новыми откровениями, и попадала на автоответчик, потому что в тот же самый момент он звонил мне, чтобы поделиться точно тем же откровением. Если бы я не была сама телепатическим партнером в таких ситуациях, я никогда бы не поверила этому. Такие сверхъестественные события происходили с достаточной частотой, чтобы наши близкие, например мама, были убеждены в том, что мы – две половинки одного мозга.

С другой стороны, у нас было много различий. Там, где он был спокоен и терпелив, я была слишком поспешной. Там, где он был благодушен, я была угрюмой и циничной. Он обладал интуицией, я – логикой. Он отказывался переходить улицу на красный свет светофора, даже если на дороге никого не было на много миль вокруг, а мне было комфортнее, когда я нарушала правила, чем когда следовала им. И когда ему приходила в голову блестящая идея, например про *H*-состояние, он предпочитал посидеть на ней некоторое время, как на яйце, которое надо было высидеть, а я предпочитала ухватиться за нее, привязать к себе, как динамитную шашку, и броситься с ней на танки.

Мне хотелось послушаться Мэтсон. Я хотела обрести свой голос, выйти за рамки разлинованной тетради и писать на ее полях. Мне нужно было найти способ писать в своей собственной системе отсчета, но здесь, в этой системе отсчета, я не знала, что это значило говорить о физике, не говоря о моем отце. Для меня, с самого начала, взрослеть и

открывать для себя природу Вселенной означало одно и то же, хотя я полагаю, что это справедливо для всех. Мой мир всегда был странным гибридом жизни и физики, и если бы реальность была моим Снарком, думала я, то, возможно, моя книга будет также странным гибридом.

– Боже мой! – пробормотала я.

– Что такое? – спросила мама.

– Мне кажется, что я знаю, что делать.

Меня вдруг осенило. Обобщенный принцип дополнительности требовал большего, чем единоличное авторство. Он потребовал повествования от первого лица.

– Я собираюсь написать целую историю, – сказала я. – Об отце и его *H*-состоянии, о Принстоне и Уилере... обо всем этом.

Мы с отцом, возможно, и не живем в одной и той же Вселенной, подумала я, но он появился в моей так же убедительно, как я в его. Его имя не обязательно должно быть на обложке – он мог быть в книге. Он будет моим коллегой, или, может быть, я – его. Мы будем как Дон Кихот и... столь же безумный отец Дон Кихота. Я напишу книгу от первого лица, в соответствии с требованием Брокмана и Мэтсон и в согласии с законами физики, но – и это самое важное – мы будем в ней вместе, не соавторы, но соучастники. Наша книга начиналась как идея, как символ разгадки тайны Вселенной. Но теперь до меня дошло: взрослеть – это значит признать книгу тем, чем она должна в реальности быть, то есть историей. Нет, не так – *моей* историей. *«Разбить стекло и выбраться наружу».*

– Так это будет похоже на мемуары? – спросила мама.

Я улыбнулась:

– Вот именно.

Это была единственная логическая возможность: книга с автором внутри горизонта, настолько хитроумно устроенного, что казавшийся, с одной точки зрения, ее автором, с другой – персонаж. Построенная по принципу «сверху вниз», самосогласованная, рассказанная от первого лица, по-гёделевски сумасшедшая космология. Прикольные мемуары.

Моя мама посмотрела на меня с опаской:

– И я там тоже буду?

– Если повезет, – сказала я.

Она бросила на меня еще один суровый взгляд:

– Только неставляй меня в дурном свете.

Когда мы вернулись в отель, я с волнением рассказала отцу о родившейся идее написать книгу по физике с элементами мемуаров. Я видела по его лицу, что он начинает признавать логическую необходимость происходящего.

— Ну, что же! — одобрительно воскликнул он и улыбнулся. — Это будет настоящая книга!

Он сказал это так, как будто все это время мы говорили именно о такой книге, но только не знали об этом. Или даже так, будто он-то знал, но просто ждал, пока свет дойдет и до меня. Меня охватила паранойя. Неужели он все это спланировал? Хотел преподать мне какой-то урок? Может быть, камни в почках были тому причиной, но казалось, что он испытывал определенное облегчение, словно роль персонажа была ему удобнее, чем роль автора. Я успокоилась, видя, что он счастлив, что мы по-прежнему вместе и что я нашла способ стать писателем. Передо мной открывался путь, показавшийся ему однажды закрытым, и тогда его это очень беспокоило.

На высоте в тридцать тысяч футов над землей, возвращаясь на восточное побережье, я начала ощущать величие всего того, что встретилося нам во время путешествия. Несомненно, космология вплотную приблизилась к радикальной смене парадигмы. Хотя эта мысль еще не в полной мере проникла в сообщество физиков, не говоря уже о широкой общественности. Перемены стояли уже на пороге, и их приход уже ничто не могло остановить. Как сказал Буссо, это было неизбежно.

Революции в космологии случались и ранее, но крайне редко, с большими временными интервалами между ними. Было сочинение Николая Коперника «О вращении небесных сфер», опубликованное в 1543 году и зажегшее так называемую Великую научную революцию. В ходе нее было низвергнуто аристотелевское мировоззрение, царившее более тысячелетия. Аристотель утверждал, что мир — это конечное множество вложенных одна в другую хрустальных сфер, увлекавших Луну, Солнце, планеты и звезды в совершенное круговое движение, неподвижным центром которому служила Земля. Тела вблизи Земли, как говорил Аристотель, перемещаются вверх или вниз в соответствии с соотношением в их составе четырех элементов — воздуха, огня, земли

и воды; достигнув своего естественного места, элементарные тела переходят в состояние абсолютного покоя. Но Коперник решил, что систему можно упростить: Солнце находится в центре мира, а Земля и все планеты движутся вокруг него. Его соображения подтолкнули то, что мы сейчас называем наукой, выйти за пределы очевидности в направлении чего-то похожего на окончательную реальность. Они также размыли границу между небесными телами и земными, элементарными, что противоречило аристотелевскому разделению мира на подлунный и надлунный, а также давало место определенному представлению об относительности движения. Объяснив кажущееся движение звезд движением Земли, Коперник сделал ненужной их твердую сферу и позволил им разойтись на произвольные расстояния по всему пространству, открывая путь к возможности бесконечной Вселенной. Тихо Браге, наблюдая траектории комет вскоре после этого, вообще лишил сферы права на существование, позволив планетам и звездам бродить самостоятельно в обширных пределах успокаивающе пустого пространства.

Эти новшества повлекли за собой сложные вопросы. Например, если Земля движется, то как мы можем сказать, что какой-то объект находится в состоянии покоя? Что определяет движение планет? Если в пространстве, там, где раньше располагались хрустальные сферы, больше ничего нет, то что за таинственная сила удерживает планеты на их орбитах? Галилей ответил на первый вопрос: аристотелевское несуществующее различие между инвариантным движением и покоем было заменено принципом относительности Галилея, который гласил, что человеку не дано обнаружить разницу между состоянием покоя и инерциальным движением. Ньютон ответил на следующие два вопроса: та же сила, которая заставляет яблоко упасть на землю, заставляет и Землю падать на Солнце. Тяготение. Но механика Ньютона поставила другой вопрос: откуда, черт возьми, берется это самое тяготение? Этот вопрос почти триста лет невесомо висел в воздухе.

Общая теория относительности Эйнштейна раскрыла истинную природу тяготения и дала возможность пространству-времени стать динамическим, а космосу меняться, расширяясь и сжимаясь, и начинаться с Большого взрыва. Но теорию Большого взрыва не удавалось построить до 1980 года, пока инфляция не обеспечила нас недостающими частями головоломки. Правда, инфляция, неожиданно,

принесла с собой и новую парадигму. Она обернулась перманентной и хаотической, то и дело вызывая к жизни бесчисленное количество вселенных, пришедших на смену нашей единственной Вселенной и объединившихся в одной бесконечной мультивселенной. В то же время она привела к новому кризису, к проблеме меры, которая подрывала такое фундаментальное свойство науки, как способность делать предсказания.

С другой стороны, эйнштейновская теория гравитации оказалась в серьезном противоречии с квантовой механикой, теорией вещества. Пытаясь соединить одну теорию с другой, Хокинг пришел к парадоксу потери информации в черных дырах, который выглядел совершенно безнадежно, пока Сасскинд не догадался ограничить рассмотрение проблемы точкой зрения одного наблюдателя и тем самым создал лазейку для побега. Но тут пришлось поменять парадигму снова, на ту, которая в дальнейшем грозит разрушить все наши представления об инвариантности и окончательной реальности. Эта революция в науке еще слишком молода, чтобы иметь свое имя, но, скорее всего, ее назовут «голографической», и она вернет нас из мультивселенной обратно в мир, где вселенная только одна.

Я смотрела из иллюминатора на облака и думала, как непредсказуемо чудесно повернулась наша собственная история. Вот уже пятнадцать лет мы с отцом кружим вокруг, вынюхивая ответы на свои же вопросы о мироздании и оставаясь жить при этом в собственном небольшом сюрреалистическом мирке, который выстроили для себя сами, словно мы играли в маленькую частную ролевою игру. Мы приехали в Калифорнию поболтать с Буссо, Сасскингом и Бэнксом на темы, которые нас как-то заинтересовали во время беседы в одном китайском ресторане, и вдруг мы оказались вырванными из нашей игры, нашего маленького мира, мы вдруг оказались втянутыми во что-то гораздо большее. Словно мы натолкнулись на Галилео Галилея, когда он направляет свой телескоп на небо, или принесли Эдвину Хабблу чашечку кофе в тот момент, когда он рассчитывает расстояния и красные смещения галактик. Мы тупо проходили собственную миссию, и вдруг, как Форрест Гамп, очутились в окопах истории.

Если еще в 50-е годы Макс Борн считал, что понятие реальности стало проблематичным, то, я думаю, сейчас он вовсе сошел бы с ума.

Дуальность *M*-теории лишила реальности понятия размера, размерности, геометрии, топологии, частиц и струн. То, что выглядит пространством-временем в одном представлении, оборачивается материальным объектом в другом. Высокая энергия становится низкой. Элементарное становится сложным. Большое становится малым.

Для меня, онтического структурного реалиста, это было облегчением. Обычный реалист давно бы уже наложил в штаны. Почти каждый оставшийся осколок онтологии исчезал прямо на наших глазах. Но дуальности не нарушали структуру. Все эти кардинально различные физические картины мира описывались с помощью одной и той же математики. Структура чувствует себя в безопасности перед лицом онтологической неопределенности, хотя Вселенная, кажется, никогда еще не находилась в таком неопределенном состоянии, как сейчас. Боже мой! Если спросить ведущих мировых физиков, то онтологии не существует и вовсе. Иными словами, мир сделан вообще из ничего.

Теперь я понимала, что Сасскинд и Гросс имели в виду, когда говорили, будто не знают, что такое теория струн. Это не потому, что там есть какие-то математические трудности, и не потому, что нет достоверных экспериментов, и даже не потому, что недостает какого-то принципа или двух. Это потому, что они в буквальном смысле слова не знают, что описывает эта теория. Физика элементарных частиц занимается элементарными частицами. Квантовая теория поля описывает квантованные поля^[54]. Объектами общей теории относительности служат пространство-время и гравитация. А где объекты теории струн? Это не струны, не частицы и даже не браны. Многие физики так усердно выстраивали математическое здание теории, не имея понятия, что она должна описывать. «Я не могу даже предположить», – сказал Полчински. Если струны выглядели бранами при низкой энергии, а браны оказывались струнами в пространстве с дополнительными измерениями, а частицы превращаются в струны в другой геометрии, тогда ни одна из них не может быть инвариантной. Ничто из них не могло быть реальным.

В добавление к беспокойству Борна, Бэнкс упаковал все остававшиеся надежды на инвариантность и отправил их за горизонт. Извлекая уроки из голографического принципа и доводя принцип горизонтной дополненности до логического конца, Бэнкс утверждал, что информация не может теряться при пересечении деситтеровского

горизонта. Вселенная для каждого наблюдателя, хотя конечна и ограничена, но представляет собой целое шоу. Если ни один наблюдатель не может потерять информацию, если весь мир содержится полностью внутри светового конуса наблюдателя, то ничто, находящееся за горизонтом событий, не могло добавить наблюдателю новой информации. Она просто была бы копией информации, которая у него уже есть. Другое описание того же самого слона. Новое, но состоящее из тех же битов. Изоморфный фрагмент той же структуры. Калибровочная копия. Не реальная.

На «глубочайший вопрос космологии», сформулированный Сасскиндом, Бэнкс решительно дал отрицательный ответ. Объекты по другую сторону космического горизонта не являются реальными. Что в конечном счете означало: *ничто* не реально. В конце концов, горизонты зависят от наблюдателя. Мой деситтеровский горизонт отличается от деситтеровского горизонта моего отца, откуда следует, что объект за пределами моей вселенной может находиться внутри его вселенной. Если объекты, находящиеся за пределами горизонта, не являются реальными, то нечто не реальное по моему мнению, может оказаться реальным по мнению моего отца, и наоборот. Реальность перестала быть независимой от наблюдателя.

Благодаря Бэнксу мы могли вычеркнуть Вселенную из списка ингредиентов окончательной реальности. Остались только индивидуальные, зависящие от наблюдателя вселенные, хотя каждый из нас мог говорить только об одной из них. Это был своего рода солипсизм, которого так старался избежать Уилер. Но еще должно существовать какое-то условие согласованности, чтобы связать то, что видят разные наблюдатели. Если вселенная каждого наблюдателя – одно из дополнительных, избыточных описаний, что именно описывает это описание? Бэнкс сказал, что это однородная жидкость черной дыры. Отец сказал: это – ничто.

Мой отец, конечно, был в восторге от такого развития событий. Все, казалось, подтверждало его интуицию: все – это ничто, *Н*-состояние, откуда следовало, что только ничто – и ничто, кроме него – может быть инвариантным или реальным. Я и сама чувствовала озноб, потому что я знала: невозможно объяснить Вселенную, не имея никакой онтологии. Вселенная, сотворенная из ничего, однако, по идее может объяснить сама себя. Как самонастраивающийся контур.

Но до этого пункта в нашем списке нам еще предстояло дойти. Последним ингредиентом, остававшимся на салфетке из блинной, была скорость света. Было бы логично, если бы этот пункт нашего списка выжил. Все предыдущие зависели от наблюдателя, но сами наблюдатели были определены своими световыми конусами. Если граница – это все, что необходимо, чтобы ничто превратить в нечто, то все, что вам нужно для существования границы, – это конечная и инвариантная скорость света. Я не могла себе представить, что могло бы нас заставить вычеркнуть и ее. Вопрос был не нов. Но до меня самой только сейчас дошла ужасная мысль: это тот самый вопрос, который мы в самом начале задали Уилеру в Принстоне. Если наблюдатели создают реальность, откуда тогда берутся сами наблюдатели?

Глава 14

Неполнота

Я открыла ноутбук и начала печатать.

«Ложь родилась, когда я работала в редакции журнала. Это так только называлось – „работа“ и „редакция“. В действительности я разбирала почту в небольшой и захламленной квартире одного парня по имени Рик. Я и правда собиралась работать в журнале *Manhattan*. Но в действительности журнал назывался *Manhattan Bride*».

Я написала о том, как прикинулась научным журналистом, чтобы попасть с отцом на симпозиум «Наука и окончательная реальность». Я написала о нашем таинственном разговоре с Уилером и о том, как мы потоптались на лужайке перед домом Эйнштейна. Я написала о своем тайном плане стать журналистом и о статьях для журнала *Scientific American*. Я написала о том, как я попала на конференционное фото в Дейвисе и как удрала с ужина, спасаясь от позора, на автомобиле Тимоти Ферриса. Я писала об идее отца: *ничто* – это бесконечное, неограниченное, однородное состояние, и о своих идеях: *нечто* можно определить с помощью инвариантности, но это нечто ускользает от нас всякий раз, когда мы почти достигаем его. Я писала это не как журналист, не как ученый и не как писатель. Я писала это просто как я сама. Двадцать страниц излились на одном дыхании. Я вписала заголовок: «В окончательную реальность без билета», прицепила все к сообщению электронной почты, адресованное Мэтсон и Брокману, и нажала «отправить».

Я приехала в Гарвардский научный центр и поднялась на пятый этаж. Поток студентов и преподавателей там заполнял весь коридор.

– Виттен здесь читает? – спросила я студента, выходявшего из аудитории, в которой планировалась лекция.

– Слишком много людей, – сказал он. – Мы переходим в другую аудиторию.

В Калифорнии мы с отцом так много узнали об *M*-теории – о реализации голографического принципа в AdS/CFT, о радикальном пересмотре природы пространства-времени и подозрительном

отсутствии всякой онтологии, обо всем том, что, казалось, выворачивало Вселенную наизнанку. Но все-таки оставалось в *М*-теории кое-что, чего мы пока совсем не знали: что, черт подери, означала буква *М*?

Везде, где я что-нибудь читала про нее, говорилось: «Никто не знает, что означает буква *М* в *М*-теории». Может быть, это «магия» или «мать». Стивен Вайнберг предполагал, что *М* означало матрицу. Шелдон Глэшоу спрашивал, уж не перевернутая ли это вверх ногами буква *W* – первая буква в имени Виттена. Даже Стивен Хокинг написал: «Похоже, никто не знает, что означает *М*, но это может быть „магистр“, „мастер“ или „мистерия“».

«Как такое может быть, что никто ничего об этом не знает?» – думала я. Эд Виттен придумал ее, и он еще жив. Почему бы просто его не спросить?

Когда я услышала, что он будет читать лекцию в Гарварде, я решила попробовать.

Я последовала за толпой в новую аудиторию и попыталась найти свободное место, но быстро поняла, что и эта аудитория недостаточно велика. Тот, кто организовал эту лекцию, забыл, что Виттен был суперзвездой. Вскоре мы снова сменили аудиторию, и на этот раз направились в другое здание на территории кампуса, в одну из самых больших аудиторий университета. Я устремила к голове постоянно растущей толпы, расталкивая всех на своем пути, чтобы занять хорошее место. Я никогда не видела физиков, ведущих себя так грубо. В группе они обычно не бывают настолько агрессивны, но, торопясь на лекцию Виттена, эти ребята были готовы снести всех, кто попадался им на пути. Двигаясь с толпой, я заметила в самом центре давки слепого парня, который, размахивая своей тростью, пытался сохранить равновесие. Я на мгновение замедлилась и подумала помочь ему маневрировать в толпе. Но он, наверное, предпочел бы справиться с этим сам, сказала я себе, и затем, работая локтями, продолжила прокладывать себе путь в сторону дверей аудитории. *М* – это «мучения».

Наконец я добралась до кресла, и лекция началась. У него был странный вид: спокойный, высокий, широкоплечий, с крупной прямоугольной головой, что вдохновило моего отца дать ему прозвище Голова Эд. Но, несмотря на размеры и интеллект, Виттен говорил

мягким, высоким голосом и немного пришепetyвал. Из-за этого несоответствия он казался пришельцем из других миров. (*М* – это «межпланетный перелет»?) Многие считают его самым умным человеком на земле.

Я видела Эда Виттена уже во второй раз. В первый раз мы встречались много лет назад, примерно через месяц после конференции в Дейвисе в 2003 году, когда Американское физическое общество проводило конференцию в Филадельфии. У меня был пресс-пасс, а со мной пробрался и отец: мы хотели вместе присутствовать при награждении Уилера Эйнштейновской премией. Потом мы спускались вниз на эскалаторе, и я заметила, что Виттен стоял в нескольких шагах впереди. Потом мы наблюдали, как он проходил во вращающуюся дверь. Он попытался толкнуть дверь по часовой стрелке, но она не поддавалась, и все-таки он непонятным образом продолжал толкать ее несколько секунд, прежде чем решил развернуться и попробовать толкнуть ее в другую сторону. Отец и я посмотрели друг на друга, стараясь не рассмеяться. Мы подумали одно и то же: «Вот он каков, самый умный человек на земле!»

Теперь, в Гарварде, я наблюдала, как он писал на доске непонятные уравнения. Его штаны были обсыпаны мелом. Я понятия не имела, о чем он говорит. И это не потому, что от меня ускользали тонкости его аргументации или математика была слишком сложной для меня – я не могла даже выяснить, какой была тема лекции. Однако все остальные слушали внимательно. Даже слепой парень, кажется, все понимал. Я уже привыкла к ощущению, что сквозь уравнения могу увидеть идею, которая кроется за ними, но сегодня они были непрозрачным напоминанием о том, что для этой вселенной, что бы ни говорил Смолин, я оставалась посторонней, кружась вокруг нее, как человек без ключа у запертого дома, не в силах найти лазейку. *М* – это для малообразованных.

Когда лекция окончилась, я подошла к Виттену, представилась и спросила, не найдет ли он время для разговора со мной, пока он в городе. Он сделал паузу. Казалось, что прошло несколько минут. Пауза так затянулась, что я начала сомневаться, не пора ли уже уходить, но как только я собралась это, наконец, сделать, он произнес:

– Мы можем встретиться у меня в отеле *Inn at Harvard* завтра утром после окончания завтрака, в восемь тридцать.

В восемь тридцать утра? Было не так много людей на планете, с кем мне хотелось бы встретиться где-нибудь в этот час. Джонни Депп, наверное, Фиона Эппл. Воскресший Альберт Эйнштейн. И, по-видимому, Эд Виттен.

Я кивнула, и прежде чем я успела сказать хоть слово, он повернулся и заговорил с кем-то еще.

На следующее утро, на рассвете, я входила в гостиничный ресторан, расположившийся под стеклянным куполом атриума, утопавшего в лучах восходящего солнца. Я заметила Виттена и скромно присела к нему за столик, надеясь, что он, ради бога, вспомнит наш десятисекундный разговор накануне и не примет меня за какую-нибудь попрошайку с улицы, собирающуюся оставить его без йогурта.

Мне было не на шутку страшно начать разговор с Головой Эдом с глазу на глаз. Было очевидно, что он не заинтересован в беседе и боится, что я нападу на него с расспросами. Поэтому вопрос «о чем, черт возьми, вы говорили вчера?» казался мне плохим началом разговора. Но какое начало было хорошим? Что именно надо сказать самому умному человеку на земле? *М* – это значит «молчание».

– Над чем вы сейчас работаете? – это было лучшее, что я смогла придумать.

– Я работаю над приложениями физических идей в математике. В частности, чтобы лучше понимать узлы, – сказал он ирреальным шепотом.

Узлы? Это про них вчера была лекция?

Мы немного поговорили о теории узлов, а потом я перешла к дуальностям и к тому, как они разъедают окончательную реальность. Я жаждала узнать его точку зрения на неуловимую онтологию *М*-теории (*М* – в смысле «мимо»).

– Поначалу, когда речь заходила о теории струн, люди говорили так: «Ладно, точечные частицы на самом деле оказались струнами», – сказала я. – Но со второй революцией, с *М*-теорией, мы обнаружили, что правильнее говорить не о струнах, а о бранах. И теперь, с развитием представлений о дуальности, мы видим, что в определенных ситуациях струны эквивалентны частицам. Может быть, есть какая-то фундаментальная сущность, из которой все это построено?

– Дуальность противоречила бы такой идее, потому что в каждом описании фундаментален свой аспект теории, а все остальные из него выводятся, – сказал Виттен. – Существуют фундаментальные идеи, а не фундаментальные физические объекты.

Фундаментальные идеи, а не фундаментальные физические объекты. Похоже, структурный реализм открывает двери для *esse est percipi* Беркли. (*М* – значит «мысль»?)

– Вы возвестили о второй струнной революции, – сказала я. – Вы предвидите также третью?

– Мой хрустальный шар стал туманнее, чем во времена моей молодости. По определению, революцию трудно предвидеть. Но в середине 80-х и середине 90-х, перед тем как произошла вторая революция, появлялись вроде намеки на то, что что-то должно случиться. Конечно, я не знал, что именно. У меня нет такого же чувства сейчас, но, возможно, у других оно и есть... Если бы у меня был выбор, я хотел бы углубиться в то, что стоит за дуальностью, но это действительно сложно. Может быть, в этом и будет заключаться третья революция теории струн. А может быть, это что-то такое, что будет нам не понять еще долгое время.

Я вспомнила историю с вращающейся дверью:

– Когда вы делаете какие-то повседневные дела – скажем, идете в магазин или химчистку, вы мыслите в одиннадцатимерном пространстве? – спросила я. Такое объяснение казалось мне правдоподобным.

– Иногда у меня получается продолжать думать таким образом и в моей повседневной жизни, даже придумывать в дороге что-то важное. Две мои основные идеи пришли мне в голову, пока я летел на самолете.

Я улыбнулась и задала следующий вопрос:

– Что значит *М* в *М*-теории?

– Я не хотел этим никого запутать, – сказал он. – *М* значило «магия», «мистерия» или «мембрана», по вкусу. Я подумал, что мои коллеги поймут, что подразумевалась мембрана. К сожалению, вокруг этого возникла большая путаница.

Вот так просто. *М* означало мембрану. Магическая тайна была открыта. Все это заблуждение возникло просто потому, что никто так и не понял шутки. Чтобы быть справедливой: это был, вероятно, первый

и единственный раз, когда Эд Виттен отмочил что-то подобное. И с тех пор – ни разу.

От: Катинка Мэтсон
К: Аманда Гефтер
Тема: RE: предложение

Привет, Аманда!
Это ужасно свежо и весело. Давайте обсудим следующие шаги.

С наилучшими пожеланиями, КМ

Следующие шаги были связаны с полировкой текста, общением с потенциальными редакторами, с заключением выгодного контракта на более прекрасных условиях, чем я когда-нибудь могла вообразить, с увольнением с моей работы в качестве редактора в журнале *New Scientist* и с попыткой выяснить, что произойдет, когда я перестану прикидываться писателем, а, действительно, сяду и начну писать.

В мой последний рабочий день по дороге домой из офиса *New Scientist* я вспоминала наши семейные автомобильные поездки, которые мы совершали, когда я была ребенком. Несколько раз в году мы выезжали из Филадельфии в Стэмфорд, штат Коннектикут, чтобы посетить родителей отца. Мой отец заводил Боба Дилана, мама подсказывала ему дорогу, брат спал, надев наушники, и, пока мир проплывал мимо моего окна, я читала книгу, свернувшись калачиком.

В доме бабушки и дедушки царила своего рода автократия. Наш дом в сравнении с их домом выглядел хиппи-коммуной. Мой дед, врач на пенсии, был угрожающе строг и серьезен, с тонким интеллектом и неутолимой жадой знаний. Ребенком я с интересом рассматривала их огромную библиотеку, сотни и сотни книг по каждому мыслимому предмету – архитектуре, политике, искусству, этике, религии, философии, науке. Когда дедушка находил меня стоящей у книжных полок, он предлагал мне сыграть с ним в шахматы. Мы садились за карточный стол посреди книг, и, пока играли, он после каждого хода спрашивал меня: «Ты уверена, что хочешь так пойти?» Я думала некоторое время и ходила иначе, а он спрашивал снова, пока, наконец, я

не делала правильный ход, который бы его удовлетворил. Пока я изучала доску и искала победную комбинацию, он обсуждал со мной вопросы моральной философии, обнаруживая грандиозный словарный запас. Каждый раз, когда какое-то слово вызывало мой вопросительный взгляд, он посылал меня поискать его в толстом словаре.

В свое свободное время мой дед сочинял трактат по биомедицинской этике и составлял кроссворды на латыни. А я в свое свободное поджидала, когда он покинет комнату, чтобы переместить какую-нибудь из его бесчисленных безделушек хоть на полтора сантиметра со своего места, а потом с удовлетворением наблюдала, как он, вернувшись в комнату, в течение нескольких секунд находил беспорядок и возвращал безделушку в исходное положение.

Во время таких визитов мне запрещалось трогать некоторые из его вещей. Одной из них был бюст Эйнштейна. Когда я позже писала статью о Фотини Маркопулу, я показала ее деду. Так как в статье рассказывалось о петлевой квантовой гравитации и попытке с ее помощью примирить общую теорию относительности с квантовой механикой, научный редактор журнала дал ей заголовок «Жертвуя Эйнштейном ради петель». Дед, взглянув на заголовок, объявил его оскорблением Эйнштейна и бросил статью на кофейный столик, так и не прочитав.

Эйнштейн стоял у окна на солидном пьедестале и озирался бронзовым взглядом гостиную. Это был не единственный бюст. У противоположной стены, над телевизором, висел барельеф Гомера. Будучи ребенком, я часто сидела на диване между ними, глядя то на одного, то на другого, мои глаза метались туда и обратно, будто я смотрела теннисный матч между двумя мировыми колоссами: слова и идеи, поэзия и наука.

Как только все встало на свои места, земля разверзлась подо мной.

Это началось тогда, когда я просматривала физические статьи на [arXiv.org](https://arxiv.org) и заметила новый заголовок: «Черные дыры: дополнительность или фajerволы?»

Фajerволы? Я была заинтригована. Авторами статьи значились Джо Полчински с Ахмедом Альмхеири, Дональдом Маролфом и Джеймсом Салли. Я взяла чашку кофе и села читать.

В статье Скруда снова отправили погружаться в черную дыру, а затем сравнивали его взгляд на реальность со взглядом Сэйфа. Но на этот раз, вместо проявления беспокойства по поводу незаконного клонирования квантовых битов, они выражали озабоченность феноменом квантового запутывания.

Прежде чем начать свой мысленный эксперимент, Полчински и его соавторы ждали до тех пор, пока черная дыра не испарится более чем на половину от ее первоначального размера. Я помнила, что это было важно, потому что до этого момента Сэйф не сможет извлечь ни одного бита информации из излучения Хокинга. Затем они отправили Скруда в сторону горизонта, позволив Сэйфу наблюдать за происходящим издали.

Теперь рассмотрим, писали они, бит информации – назовем его B – вблизи внешней границы горизонта событий черной дыры. В системе отсчета Скруда B – часть вакуума. Скруд, в конце концов, находится в инерциальной системе отсчета, лишенной границ, что допускает присутствие всех положительных и отрицательных частотных мод вакуума – то есть все пары виртуальных частиц и античастиц, родившиеся в результате нулевых колебаний вакуума, полностью компенсируют друг друга.

Гарантией их компенсации является запутывание, форма квантовой суперпозиции, в которой две частицы – такие, как виртуальные частица и античастица, – описываются одной волновой функцией. При этом волновая функция всей системы говорит нам намного больше, чем могла бы просто сумма ее частей. Дело в том, что две частицы образуют одно квантовое состояние, поэтому их свойства коррелируют – неважно, как далеко друг от друга они находятся. Если во время измерения у одной из них были установлены положительные частоты, другая гарантированно будет иметь отрицательные. Эта корреляция обеспечивает полную их компенсацию, и вакуум остается вакуумом. Бит B , в соответствии с тем, что видит Скруд, запутан с его противоположностью, битом A , находящимся в глубинах черной дыры.

Сэйф, однако, не может с этим согласиться. По его мнению, B – это не виртуальное возмущение вакуума, а реальная частица, проявляющая себя как излучение Хокинга. Еще будучи в Лондоне, я знала, что горизонт реструктурирует вакуум, отделяет виртуальные частицы от их партнеров-античастиц, разрывает их запутанность, предотвращает их

взаимное уничтожение, способствует переходу B от виртуального состояния к реальному, превращая то, что некогда было пустым вакуумом, в бурлящий рой частиц.

Сэйф настаивает, что B запутан не с его партнером за горизонтом, а с другой частицей в излучении Хокинга, назовем ее R , появившейся ранее в процессе испарения. Это требуется, чтобы предотвратить потерю информации. Как утверждал Сасскинд, – и Хокинг в конце концов с ним согласился, – Сэйф никогда не будет видеть, что информация исчезает. Вместо этого он видит, как информация поджаривается на горизонте событий, так и не погрузившись в черную дыру, запекается до неузнаваемости и затем излучается обратно. Поскольку здесь готовится болтуня, то информация больше не связана с какой-то одной частицей излучения Хокинга, а запутывается в корреляциях всего излучения.

Таким образом, авторы статьи пришли к парадоксу. Скруд говорит, что B запутан с A , а Сэйф утверждает, что B запутан с R . А квантовая механика говорит, что один из них должен ошибаться. Бит не может находиться в запутанном состоянии с более чем одним другим битом. Запутанность является моногамной.

Отпивая кофе, я не видела причин для беспокойства. Именно для разрешения подобных противоречий Сасскинд и разработал свой принцип дополнительности. В конце концов, дополнительность позволяет описывать только то, что находится по одну сторону горизонта событий, но не перед ним и за ним одновременно. Просто следует ограничить описание B одной системой отсчета, Сэйфа или Скруда, и запутанность всегда будет моногамной, думала я. Вот и все.

Но по мере того, как я читала, проблема начинала проступать. В отличие от парадокса клонирования, в этом случае противоречие не исчезало, даже если ограничиться системой отсчета одного наблюдателя, потому что измерения B производятся над горизонтом событий для обоих наблюдателей. Они по-прежнему находятся в причинно-следственной связи; они могут общаться. Скруд может провести измерение B , обнаружить его запутанность с A , затем повернуться и сообщить это Сэйфу, который настаивает на том, что B запутано с R . Противоречие возникает в области, где световые конусы обоих наблюдателей пересекаются. Принцип дополнительности предотвращает квантовое клонирование тем, что в момент времени,

когда возникает дублирование информации, Сэйф и Скруд больше не могут сверять результаты своих измерений. В данном же случае они могут это делать. Так что, делали вывод авторы, одной дополнительности недостаточно.

Один из двоих наблюдателей, казалось, должен ошибаться. Если ошибается Сэйф и B запутан с A , а не с R , то корреляции, распределенные по всему облаку радиации Хокинга, были разрушены и информация теряется. Но кто бы хотел допустить, чтобы информация потерялась после того, как физики потратили десятилетия, чтобы найти ее? Хокинг снова изменил бы свое мнение. Слоны начали бы исчезать из Вселенной. Блестящая находка AdS/CFT-соответствия – что черные дыры дуальны кварк-глюонной плазме – была бы признана ошибочной, а уравнение Шрёдингера – неверным. Квантовая механика утратила бы смысл. Почти весь прогресс в фундаментальной физике за последние тридцать лет отправился бы коту под хвост.

Нет, потеря информации не вариант, – что означало, что неправ был Скруд. B был запутан с R , а не с A .

К сожалению, это решение было не намного лучше. Нарушение запутанности B и A эквивалентно добавлению горизонта – в конце концов, именно этим горизонт и характерен. Вакуумные возмущения больше не компенсируют сами себя. Вместо пустоты появляются частицы. *Горячие* частицы планковской температуры. Файервол.

«Пожалуй, наиболее консервативного решения можно было достичь, предположив, что падающий в черную дыру наблюдатель сгорает на горизонте событий», – так заканчивалась статья. Скруд оказывался еще более достойным своего имени, чем мы думали.

Теперь я уже начала потеть. Если Полчински и его соавторы были правы, и если B запутан с R , то пришлось бы выкинуть не только расширенный принцип дополнительности, но и всю общую теорию относительности. Сам факт, что Скруд находится в вакууме и не ощущает ничего необычного, указывающего на наличие горизонта, следует из принципа эквивалентности. Конечно, теория относительности всегда говорила, что Сэйф увидит, как Скруд сгорает дотла на горизонте. Но это было только с точки зрения Сэйфа. В системе отсчета Скруда ничего плохого происходить не должно. Он не должен чувствовать, как он горит, так же как и парень, падающий с крыши, не чувствует никакого тяготения. Теперь эта статья допускала,

что точка зрения Сэйфа истинна. Что инерциальные и ускоренные системы отсчета не эквивалентны, что бы Эйнштейн об этом ни думал. И в таком случае все ставки снимаются.

Я не знала, что и сказать. Решение с файерволом никак не могло быть верным, хотя мне не удавалось увидеть причины, по которой оно могло быть ложным. Ну и ладно, сказала я себе, Сасскинд знает ответ. Конечно, он читал эту статью, обнаружил ошибку, и тогда все вернется на круги своя в кратчайшие сроки. Не нужно паниковать.

Как и ожидалось, Сасскинд разместил статью на [arXiv.org](https://arxiv.org) с заголовком «Дополнительность и файерволы». Я вздохнула с облегчением. Безумие, кажется, миновало.

Или мне так показалось. Через несколько недель Сасскинд удалил свою статью. Вместо нее на [arXiv.org](https://arxiv.org) осталась запись «препринт удален, потому что автор больше не считает его верным». Вот и все. Мы вернулись к файерволам.

В течение следующих нескольких недель я следила за [arXiv.org](https://arxiv.org), ожидая, что появится решение проблемы. Буссо выложил статью «Дополнительность наблюдателей сохраняет принцип эквивалентности». Но вскоре удалил ее. Даниил Харлоу написал статью «Дополнительность, а не файерволы». Потом и он удалил ее.

Черт возьми, что происходит? Я недоумевала. Казалось, что [arXiv.org](https://arxiv.org) превратился в полный бардак! Научные статьи, появившись сегодня, исчезают уже завтра? Все горели желанием покончить с парадоксом AMPS, названным так по инициалам его авторов, потому что их сценарий всем казался очевидно ошибочным. Но с каждой новой попыткой становилось все более ясно, что эти чертовы файерволы было не так-то просто погасить. Физическое сообщество было близко к панике. Я чувствовала это.

— Просто спроси у них, что происходит, — сказал отец по телефону. — Я уверен, что они на самом деле не думают, что файерволы существуют. Они не могут так думать. Спроси Сасскинда. Спроси Полчински.

Сначала я отправила письмо по электронной почте Сасскинду: «Принцип дополнительности под угрозой?»

«Я не думаю, что идея дополнительности в опасности, — ответил Сасскинд, — хотя для ответа AMPS потребуется гораздо более глубокое

ее понимание. Я думаю, что вопрос не в том, „дополнительность или файерволы?“, а, скорее, в том, „когда дополнительность, а когда файерволы?“».

Дополнительность, сказал он дальше, работает до тех пор, пока черная дыра не испарится наполовину. Это необходимо, чтобы предотвратить клонирование. После этого преобладает файервол.

Я была бы рада почувствовать себя наполовину лучше, но я всегда предпочитала думать, что «стакан наполовину пуст». Поэтому я написала Буссо, надеясь получить от него новости получше.

«Сначала я думал, что если правильно применить принцип дополнительности, то можно избавиться от файерволов, – ответил мне Буссо. – Но теперь я склонен думать, что одной дополнительности недостаточно. Конечно, файерволы, может быть, и дают решение проблемы, но я надеюсь, что, задаваясь вопросом, как избежать появления файерволов, мы узнаем что-то очень глубокое, что-то, надеюсь, о фундаментальном описании падающего наблюдателя и, таким образом, о космологии».

Вам нужно описание Скруда? – подумала я. – Просто посмотрите вокруг.

В подавленном настроении я написала одному из авторов статьи AMPS, из-за которой и произошел весь этот бардак, а именно Р.

«Вы действительно думаете, что обобщенный принципдополнительности неверен?» – спросила я.

«Я очень озадачен, – ответил Полчински. – Я не вижу никакого удовлетворительного решения. Я ожидал, что принцип дополнительности выживет в некой видоизмененной форме, но, глядя на поток последующих статей, я не вижу никого, кто бы предложил решение лучше, чем предложенное нами».

Я написала отцу: «Самое время тронуться умом».

Я сидела на балконе, потягивая вино и пытаюсь осознать происходящее. Большая луна висела над городом. Воздух был густой и теплый, высоко над горизонтом виден Юпитер, по темной, стеклянной поверхности реки пролегла лунная дорожка, весь город замер в тишине. Все вокруг затаило дыхание.

Я испытывала чувство, что мир, в котором мы прожили все эти годы, вот-вот разрушится или, точнее, сгорит. Я, наконец, получила заказ на книгу. Я, наконец, была готова написать книгу, которую мой отец придумал для нас, ту, в которой мы должны были разгадать тайну Вселенной, и теперь все, что мы узнали о Вселенной, испарялось прямо на глазах.

Мог ли файервол обеспечить верное решение? Могла ли идея обобщенной дополнительности оказаться ошибочной? Это перечеркнуло бы все. Это означало бы, что пространство-время снова инвариантно, что мы должны вернуть его обратно на нашу салфетку из калифорнийской блинной, вместе с частицами/полями/вакуумом. Это означало бы, что мультивселенная может и на самом деле существовать, что понятие реальности не такая уж и аппроксимация, что второй наблюдатель не был просто копией, что, в конце концов, Алеф не был уж таким гипотетическим или таинственным. Это означало бы, что соавторство вполне законно, а мое решение стать единственным автором неоправданно, а моя дипломная работа ошибочна, если смотреть на нее с позиций сегодняшних научных представлений. Это означало бы, что самая счастливая мысль Эйнштейна не прошла испытание временем, что более тяжелые тела падают быстрее, чем легкие, что законы физики различны для разных наблюдателей и что существует выделенная система отсчета, а именно та, в которой вас не испепелит в прах этот чертов файервол. Что существует настоящий, независимый от наблюдателя мир, тот, который был не из ничего, а из чего-то реального, чего-то принципиально и убийственно необъяснимого. Это будет означать, что спустя семнадцать лет я осталась такой же невежественной, как и в тот день, когда вся эта кутерьма началась.

От: Леонард Сасскинд
К: Аманда Гефтер
Тема: Файерволы

Дорогая Аманда,
У нас планируется совещание по файерволам в Стэнфорде. Эта встреча не планировалась заранее, но все главные «игроки» будут на ней присутствовать. Количество участников ограничено, и допускаются только приглашенные,

но я был бы счастлив, если бы вы присутствовали на ней в качестве наблюдателя.

От: Аманда Гефтер
К: Леонард Сасскинд
Тема: RE: Файерволы

Дорогой Ленни,
Прекрасная новость! Я бы очень хотела присутствовать на встрече в качестве наблюдателя. Хотя, если есть выбор, я предпочла бы быть ускоренным наблюдателем.

Несколько недель спустя я упаковала сумку и снова направилась на запад, в Пало-Альто.

На конференции я увидела множество знакомых лиц. Там были Сасскинд и, конечно, Буссо. Бэнкса не было, но приехал его коллега, Вилли Фишер. Я заметила Хуана Малдасену, Дона Пейджа, Джона Прескилла... Столько блестящих мыслителей, которые за последние несколько десятилетий сделали решающий вклад в возведение невероятного теоретического сооружения, которое было сейчас на грани краха. Они явно нервничали. Полчински, один из возмутителей спокойствия, тоже был там, как и A , и M , и S . Бюст Эйнштейна наблюдал за всеми в гостиную. Он тоже нервничал.

Когда пришло время отправиться в конференц-зал, я постаралась занять место в дальнем ряду.

— Зал разделен на три части, — объяснил мне Сасскинд. — Удобные кресла спереди — для физиков, участвующих в дискуссии. Чуть менее удобные кресла позади них для физиков, которые не собирались выступать. И неудобные стулья в последних рядах — для наблюдателей.

Я села и приготовилась слушать первое выступление, но я не могла сдержать улыбку. Все, что я знала, могло оказаться ошибочным, и меня сослали на самые неудобные места, — но все же я была приглашена. Как говорят, все, что случается, когда-то случается в первый раз. Я осмотрелась вокруг. Я больше не нарушаю правил поведения.

Полчински открыл дискуссию и еще раз привел все аргументы из статьи AMPS.

– Мы думали, что Ленни нас быстро поправит, – сказал он. – Но я рад видеть, что вы все, как и мы, находитесь в замешательстве.

Ленни взял слово следующим.

– Я изрядно глуховат и могу вас не услышать, когда вы будете задавать вопросы, так что не беспокойтесь, – начал он.

Все засмеялись.

– Что? – спросил он. – Кто-то что-то сказал?

Но по ходу выступления он становился все более серьезным. Он размышлял вслух о смысле фajerволов, состоящем, возможно, в том, что реальность еще более зависит от наблюдателя, чем нам кажется.

– Когда я был молодым, – сказал он, – я, наверное, подумал бы, что A эквивалентно R . Я думал, что описывать и то и другое ни к чему – достаточно одного. Но после того как вы указали, насколько это безумно, я испугался. И до сих пор боюсь.

« A эквивалентно R » означает, что возмущение вакуума внутри черной дыры и ранее родившаяся частица излучения Хокинга за пределами черной дыры представляют собой два радикально разных описания одного и того же бита информации. Это рассуждение было мне вполне понятно и не противоречило интуиции, развившейся у меня за время нашего путешествия в мир физики. По моим представлениям, в этом заключался глубокий смысл принципа горизонтной дополненности Сасскинда. Но одна из сложностей такого подхода, на которую указали AMPS, состояла в том, что в течение определенного времени Скруд мог видеть и описывать и A , и R одновременно, нарушая моногамию запутанности и выстраивая смертоносный фajerвол.

Ладно, давайте предположим на мгновение, что фajerволы действительно существуют, сказал Дуглас Стэнфорд, молодой физик, когда пришла его очередь говорить. Что это будет значить? Возможно, дело в том, что сингулярность перемещается от центра черной дыры до самого горизонта. «У черной дыры нет внутренности, – сказал он. – Сингулярность – это край пространства».

Ну конечно, это было верно для Сэйфа, подумала я. Независимо ни от чего не существует никакой другой стороны. Проблема состоит в том, что для Скруда это должно быть не так. По Эйнштейну выходит, что Скруд находится в инерциальной системе отсчета, где никакого края нет. Я начала ерзать на своем неудобном сиденье. Почему все так спокойно сидят? Если для Скруда у черной дыры нет внутренности, то

все фундаментальные достижения теоретической физики в новейшей истории не стоят и гроша. Почему все молчат?

– По крайней мере, в этом случае вся неизвестная физика происходит в сингулярности, а мы не знаем, какие уравнения там работают, – Стэнфорд пожал плечами.

Именно в этот момент Эндрю Строминджер, струнный теоретик из Гарварда, потерял терпение:

– У вас плоское пространство, и сингулярность появляется из ниоткуда? – крикнул он с места.

– Именно в этом и состоит проблема с файерволом! – крикнул в ответ Буссо.

– Ну, тогда я рад, что вы выразили ее таким прозрачно абсурдным способом! – кричал Строминджер, его голос был полон сарказма. – Я думаю, это замечательно, что кто-то, не моргнув глазом, вытащил сингулярность из плоского пространства.

Я чувствовала себя отмищенной. Сейчас не тот случай, когда надо быть вежливым.

Но настроение в аудитории поменялось, когда с вдохновенной речью выступил молодой физик по имени Патрик Хейден из университета Мак-Гилл. AMPS-парадокс, сказал он, основывается на предположении, что Скруд может проводить измерения B , убеждаясь в его запутанности с R , до того, как он упадет в черную дыру, где обнаружит, что B также запутано с A , – если, конечно, на его пути нет файервола. Но мы должны задаться вопросом, говорил Хейден, – что в действительности необходимо для выполнения этого измерения? Что необходимо предпринять, чтобы декодировать «болтунью» излучения Хокинга и извлечь информацию о корреляции между B и R ? На практике обнаружить корреляции в излучении Хокинга еще сложнее, чем, например, найти слово в словаре после того, как его сожгли на костре. Излучение Хокинга *взбито* не на шутку. Для декодирования информации потребуется самый мощный компьютер, который только можно себе представить. А именно: квантовый компьютер.

Квантовые компьютеры используют преимущество суперпозиции квантовых состояний для быстрого выполнения вычислений, которые обычный компьютер не смог бы выполнить даже за миллиарды лет. В то время как обычный бит информации, который используется в обычных компьютерах, – это либо 0, либо 1, квантовый бит, или кубит,

может быть 0, 1 или суперпозиция 0 и 1 одновременно. По мере того как растет число кубитов, стремительно увеличивается количество квантовых состояний, в которых квантовый компьютер находится одновременно. Десять кубитов могут быть одновременно в 1024 состояниях. Двадцать кубитов – более миллиона состояний. Три сотни кубитов могут быть одновременно в большем числе состояний, чем число частиц во Вселенной. Способность квантового компьютера одновременно выполнять так много вычислений одновременно означает, что он может, в принципе, раскладывать большие числа на простые, проводить поиск в больших базах данных за одно мгновение и, вполне возможно, декодировать облако излучения Хокинга. Кого заботит, что крупнейший квантовый компьютер из построенных до сих пор располагал лишь горсткой кубитов? Вопрос состоит в том, сказал Хейден, что измеримо в принципе. Квантовые вычисления – это предел вычислительных возможностей вообще. Если квантовый компьютер не может вычислить что-то, то это невозможно вычислить вообще. Точка.

– Утверждение, сделанное AMPS в их статье, состоит в том, что гипотетически мы можем декодировать излучение и затем нырнуть в черную дыру, – сказал Хейден. – Но в духе принципа дополнительности мы должны исходить из предельных операциональных возможностей... Можно ли провести такую декодировку на квантовом компьютере? И если да, то за какой период времени?

Стоя у доски, Хейден провел ряд вычислений, показывающих, что значит обсчитать излучение Хокинга с помощью последовательных универсальных двухкубитных логических вентилей за данный период времени. И вот его вывод: время декодировки излучения растет экспоненциально.

Это означает, что время, за которое Скруд может декодировать излучение, растет с каждым новым битом информации в геометрической прогрессии. Для черной дыры любого размера к тому моменту, когда он и его квантовый компьютер завершат декодирование, – то есть к тому моменту, когда он сможет выяснить, запутано ли B с R , черная дыра уже успеет испариться и опасность встречи с файерволом исчезнет сама собой.

На следующее утро, до начала совещания, я увидела Хейдена и Харлоу, сидящих на диване перед уравнениями, выписанными на доске. Мне не терпелось спросить Хейдена о его вчерашнем выступлении, которое всю ночь не выходило у меня из головы.

– Просто из того, что вы не можете декодировать информацию, можно ли заключить, что ее не существует? – спросила я. – Я хочу сказать: просто из того, что мы не можем измерить запутанность B с R , выводится ли автоматически, что B не запутано с R ?

– Сравните с принципом дополнительности в квантовой механике, – сказал Хейден. – Вы бы могли сказать: просто из того, что невозможно измерить координату и импульс одновременно, еще не следует, что у частицы на самом деле нет координаты и импульса одновременно. А между тем из принципа дополнительности именно это и следует. Может быть, и здесь то же самое.

Это хороший аргумент, подумала я, возвращаясь в конференц-зал. Однако почему, черт возьми, вычислительные возможности должны иметь какую-то связь с тем, что существует на онтологическом уровне. Но это так, и квантовая механика совершенно ясно это доказывает. И все же – почему? Если принять точку зрения Эйнштейна – реальность существует независимо от наблюдения, – то эта логика была бы необъяснима. Был только один способ объяснить, почему то, что мы можем знать, определяет то, что может существовать: реальность принципиально зависит от наблюдателя. И если реальность принципиально зависит от наблюдателя, думала я, то файерволы рассыпаются сами собой.

Во время заседания Харлоу взял слово и выразил свое согласие с Хейденом.

– Кажется, существует довольно надежный барьер, предотвращающий возможность измерения R ... Даже если наблюдатели находятся внутри одного светового конуса, они оказываются недоступны друг для друга вычислительно.

Вторя предположению Сасскинда, что A равно R , Харлоу задался вопросом, не должны ли мы придерживаться «сильной дополнительности».

– Принцип сильной дополнительности гласил бы, что у одного наблюдателя [Сэйфа] имеется некая квантовая теория и у другого [Скруда] имеется некая квантовая теория, и существуют какие-то

критерии того, насколько они согласуются друг с другом. Но они должны быть согласованы только в отношении величин, которые они могут оба измерить.

Я улыбалась, сидя на неудобном стуле.

Обычная дополнительность говорит, что если имеется горизонт событий, то вместо нефизического глобального взора на мир глазами Бога вам придется ограничиться системой отсчета одного наблюдателя. Это было смелое утверждение, из которого вытекало, что пространство-время зависит от наблюдателя. Сильная дополнительность переносит все на совершенно новый уровень. Она говорит, что вы должны ограничиться системой отсчета одного наблюдателя независимо от того, имеется горизонт событий или нет. Ведь в AMPS-случае расхождения в описании события между Сэйфом и Скрудом происходят в области, где двое наблюдателей еще не разделены горизонтом. Сильная дополнительность делает зависимым от наблюдателя не только пространство-время, зависимым от наблюдателя становится все.

– С другой стороны, – сказал Харлоу, и лицо его помрачнело, – здесь, по-видимому, не будет AdS/CFT-соответствия, потому что предполагается существование единого квантово-механического описания, которое можно поместить в одно гильбертово пространство.

«Но мы живем не в AdS!» – молча возмутилась я. Бэнкс был прав: они пытались снять пятый сиквел «Пилы». Мы живем в деситтеровском пространстве, в котором, в отличие от антидеситтеровского пространства, горизонты зависят от наблюдателя. Если мы хотим понять космологию, мы должны оставить в покое AdS и иметь дело с нашей Вселенной.

– Каким-то образом эти R и A должны быть одним и тем же оператором, – сказал Харлоу. – Но мне и нравится/ненавистна эта мысль.

Я видела кивающего Сасскинда:

– Нам тоже.

От: Леонард Сасскинд
К: Аманда Гефтер
Тема: следите за arXiv

Аманда,
следите за обновлением arXiv в начале следующей недели. Обратите внимание на работы Харлоу – Хейдена и мою. Кое-что происходит.

Ленни.

Кое-что происходит?

Что именно делает человек, когда получает письмо от одного из величайших среди ныне живущих физиков, в котором написано только: «кое-что происходит»? Очевидно, бежит несколько раз гостиную, затем делает несколько прыжков перед возмущенной кошкой, крича: «Кое-что происходит! Кое-что происходит!»

– Что, по-твоему, происходит? – спросил папа по телефону. Со времени совещания в Стэнфорде не прошло еще и шести недель.

– По-моему? По-моему, он разрешил парадокс, и, наверное, мир стал еще более зависимым от наблюдателя. По-моему, он согласился и с тем, что A эквивалентно R , и с сильным принципом дополнительности, и он знает, что может это сделать, приняв во внимание соображения Хейдена и Харлоу о возможностях квантовых вычислений.

Наступил понедельник. Я сидела перед компьютером и жала кнопку «обновить» на моей страничке в arXiv в ожидании чего-нибудь нового от Сасскинда. В 9:30 вечера оно появилось – «Принцип дополнительности для черных дыр и гипотеза Харлоу – Хейдена».

Я прочитала статью так быстро, как только смогла.

«Буссо и Харлоу предположили сильную форму принципа дополнительности, которую можно описать, сказав, что у всякой причинно-связанной области свое собственное квантовое описание, – излагал свою мысль Сасскинд. – В квантовой механике [Скруда] B запутано с A , а не с исходящим излучением. В описании [Сэйфа] B запутано с R ... Пока преждевременно объявить парадокс решенным, но если X – X гипотеза верна, то сильный принцип дополнительности Буссо и Харлоу позволит избежать необходимости введения фантомов. По этой причине я считаю, что принцип дополнительности для черных дыр в том виде, в каком он был изначально сформулирован Прескиллом, 'т Хоофтом и Сасскингом – Торлациусом – Угломом, все еще жив».

Сасскинд сказал, что праздновать победу пока преждевременно, но, насколько я понимала, Сасскинд, Буссо, Харлоу и Хейден раздули пламя. И с исчезновением файберолов наша с отцом миссия вернулась в свое русло.

В то же время из всей этой драматической истории я извлекла один важный урок. Парадокс файберола не пытался нам рассказать что-либо о черных дырах. Он пытался рассказать нам что-то о квантовой механике.

Если каждый наблюдатель имеет свое собственное квантовое описание, как гласит сильный принцип дополнительности и как все время требовал Бэнкс, мы нуждаемся в новом понимании квантовой физики. В обычной квантовой теории существует одно гильбертово пространство, и запутанность является абсолютной. В голографическом мире без файберолов на каждого наблюдателя приходится по гильбертову пространству, и запутанность становится относительной в зависимости от системы отсчета.

К счастью, я была почти уверена, что это именно то, что нам было необходимо, чтобы, наконец, докопаться до окончательной реальности и происхождения бытия. В наших исследованиях мы обнаруживали, как уходили инвариант за инвариантом, уступая место зависимости от наблюдателя. Но каждый раз, когда прояснялось что-нибудь новое, ясность возникала из предположения, что реальность подчиняется законам квантовой механики. Излучение Хокинга, голографический принцип, подход «сверху вниз» в космологии, *M*-теория, голографическое пространство-время, сильный принцип дополнительности – каждый из них с самого начала предполагал квантовую механику. Если они отрицают онтологию Вселенной, то это только потому, что квантовая механика отрицает онтологию Вселенной. Теперь я отчетливо понимала, что если бы мы хотели разгадать тайну Вселенной, то надо было сначала ответить на один-единственный вопрос, тот самый, который Уилер задал нам когда-то в Принстоне, тот самый, на котором он решил сосредоточиться, когда понял, что дни его сочтены: *почему квант?*

Глава 15

«...На поля»

«Если разные наблюдатели по-разному видят одну и ту же последовательность событий, то их квантово-механическое описание должно иметь значение только относительно конкретного наблюдателя. Таким образом, квантово-механическое описание определенной системы (состояния и/или значений физических величин) не может быть принято в качестве абсолютного (независимого от наблюдателя) описания реальности, но, скорее, как формализация, или кодификация, свойства системы относительно данного наблюдателя... В квантовой механике „состояние“, а также „значение величины“ – или „исход измерения“ – относительные понятия».

Когда я читала статью Карло Ровелли, в моей голове ангельский хор отчетливо пел «Аллилуйя».

Почему я не слышала об этом раньше? Это было так просто. Это было так блестяще. Это было именно то, чего нам не хватало.

Как подчеркивал Уилер в своих дневниках, центральной проблемой квантовой механики было соавторство – проблема второго наблюдателя. Или, как это формулировал Уилер, «что происходит, когда несколько наблюдателей „разрабатывают“ одну и ту же Вселенную». Именно эту проблему намеревался решить Ровелли в своей статье 1997 года «Реляционная квантовая механика», на которую я наткнулась во время отчаянных поисков физической литературы, посвященной новому пониманию квантовых тайн.

Ровелли начал со сравнения проблемы второго наблюдателя с проблемой преобразования Лоренца в специальной теории относительности. Для того чтобы объяснить факт, впервые наблюдавшийся в 1887 году в опыте Майкельсона – Морли и состоявший в том, что для всех наблюдателей свет распространяется с одинаковой скоростью, независимо от скорости их собственного движения, Хендрик Лоренц предположил, что физические объекты сжимаются или растягиваются в нужной пропорции, чтобы компенсировать эффект движения наблюдателя и сохранить измеряемую скорость света постоянной. Это было в 1892 году, более

чем за десять лет до того, как Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности. Преобразования Лоренца успешно объясняли постоянство скорости света при любых попытках ее измерить, но вам достаточно будет задуматься об этом хотя бы на секунду, чтобы осознать, что его идея была безумна. Если я измеряю, сколько времени требуется лучу света, чтобы преодолеть некое расстояние вдоль длинной дороги, и во время измерения я передвигаюсь по этой дороге, откуда, черт побери, дороге знать, что надо сократить себя именно в такой пропорции, какая компенсирует мою скорость относительно скорости света, и мне покажется, что свет всегда распространяется со скоростью в 186 000 миль в секунду (300 000 км/с)? Не говоря уже о том, что нет такого физического процесса, благодаря которому дорога могла бы сама сокращаться в зависимости от движения наблюдателя. Преобразования Лоренца дают правильный ответ, но, как и квантовая механика, кажутся абсурдными.

Если уравнения специальной теории относительности уже были записаны Лоренцем в 1892 году, то что же тогда нового сделал Эйнштейн? – вопрошал Ровелли и тут же отвечал: «Он смог понять физический смысл преобразований Лоренца». Лоренц предложил правильную структуру, но неправильное толкование. Как сказал Ровелли, это была «не очень привлекательная интерпретация, удивительно похожая на современные интерпретации коллапса волновой функции. В своей статье 1905 года Эйнштейн прояснил ситуацию, указав причину беспокойства, возникающего, если подходить к преобразованиям Лоренца серьезно, – молчаливое использование концепции (не зависящего от наблюдателя времени), не пригодной для описания реальности».

Другими словами, это не длина объектов менялась волшебным образом, чтобы обдурить наблюдателей, а понятия пространства и времени зависели от состояния наблюдателя. Стоит только отказаться от их инвариантности, как все начинает приобретать смысл.

Может ли подобная реинтерпретация квантовых явлений придать смысл всем странным *ad hoc* объяснениям коллапса волновой функции и парадокса второго наблюдателя? Для Ровелли предыдущие решения проблемы, такие как онтологическая граница раздела между наблюдателем и наблюдаемым, предложенная Бором, или восприятие сознания как некоторой метафизической силы Вигнера, были «очень

похожи на попытки Лоренца постулировать таинственное взаимодействие, сжимающее и растягивающее физические тела».

«Моя задача состоит не в том, чтобы изменить квантовую механику в соответствии с моим взглядом на мир, – писал Ровелли, – а в том, чтобы изменить мой взгляд на мир и привести его в соответствие с квантовой механикой».

Так что же необходимо было изменить?

«Понятие, которое отвергается здесь, это понятие абсолютного, или не зависящего от наблюдателя, состояния системы, равно как и понятие не зависящих от наблюдателя значений физических величин».

Или, выражаясь иначе: «Универсального, не зависящего от наблюдателя описания состояния мира не существует».

Тогда, в калифорнийской блинной, когда мы с отцом сделали наш список возможных ингредиентов окончательной реальности, мы не потрудились внести в этот список саму реальность. «Это было бы как вписать торт в список ингредиентов торта», – сказал отец. Но сейчас казалось, что если бы мы тогда внесли реальность в наш список, то теперь мы получили бы неизъяснимое удовольствие вычеркнуть и ее из этого списка. Согласно Ровелли, реальность сама зависела от наблюдателя. Что кажется безумием. Сама реальность не была реальной.

После того как вы отказываетесь от понятия независимых от наблюдателя квантовых состояний, парадокс второго наблюдателя исчезает. В конце концов, парадокс возникает из-за противоречивых описаний, которые Вигнер и его друг дают одним и тем же событиям. Но эти описания противоречивы, только если мы предположим, что существует единственная реальность, которую они оба пытаются описать. Друг Вигнера говорит, что волновая функция атома претерпела редукцию; Вигнер говорит: нет, атом и друг Вигнера сейчас находятся в состоянии суперпозиции. Что же происходит на самом деле? Согласно Ровелли, не существует никакого «на самом деле». Редукция волновой функции произошла для друга Вигнера. Но она не произошла для самого Вигнера. Вот и все.

«Основная мысль Бора и Гейзенберга, состоявшая в том, что „никакое явление не становится явлением, пока оно не становится наблюдаемым явлением“, должна применяться, следовательно, к каждому наблюдателю по-отдельности, – писал Ровелли. – Такое

описание физической реальности, хотя и принципиально фрагментированно... но полно».

С одной стороны, это меня не удивило. Или, по крайней мере, не должно было. Я была подготовлена к этому всем тем, что узнала за это время. Мертв ли слон, обуглившись при приближении к горизонту, или жив, хотя и дрожит от ужаса, пересекши его? Ответ зависит от того, кому задан вопрос. Не существует глобального, божественного знания «истины». Истина зависит от наблюдателя. С другой стороны, Ровелли, казалось, возводит принцип зависимости от наблюдателя на другой качественный уровень. Он делает все зависящим от наблюдателя и в ходе этого заново переосмысливает квантовую механику.

Фундаментальная физика развивается благодаря парадоксам. Так было всегда. Парадокс, который привел Эйнштейна к теории относительности: законы физики должны быть одни и те же для всех, и в то же время, учитывая относительность распространения света, законы физики не могут быть одинаковыми для всех. Парадокс привел Полчински к открытию *D*-бран: открытые струны должны были подчиняться *T*-дуальности, и в то же время, учитывая их граничные условия, они не могли не нарушить *T*-дуальность. Еще один парадокс привел Сасскинда к открытию его принципа дополнительности: информация не должна бесследно исчезать в черной дыре, и в то же время, согласно общей теории относительности, информация не могла вырваться из черной дыры. И еще один парадокс заставил все физическое сообщество задаться вопросом, имеет ли каждый наблюдатель свое собственное квантовое описание мира: запутанность должна быть моногамной, и в то же время, учитывая принцип эквивалентности, запутанность не может быть моногамной.

Есть только один способ разрешить парадокс – вы должны отказаться от некоторых основополагающих предположений, и в первую очередь от тех ложных предположений, из-за которых парадокс возник. Для Эйнштейна это были абсолютность пространства и времени. Для Полчински это была неподвижность подмногообразия, к которому были прикреплены открытые струны. Для Сасскинда это была инвариантность пространственно-временной локальности. Для всех, кто участвует в этом бардаке с файерволами, это был постулат о том, что квантовая запутанность не зависит от наблюдателя.

Квантовая механика устраивает нам вынос мозга, предлагая еще один парадокс: кот должен быть жив и мертв одновременно, и в то же время, учитывая наш опыт, кот не может быть и жив и мертв в одно и то же время. Ровелли разрешил этот парадокс, указав на изначально противоречивое предположение: что существует единая реальность, общая для всех наблюдателей. Что вы можете говорить о мире, подразумевая более одной точки зрения одновременно. Что существует какой-то инвариантный способ сказать о Вселенной, какова она «на самом деле».

Я позвонила отцу, и мы несколько часов обсуждали статью Ровелли, говоря о ее последствиях для окончательной реальности, пока не взошло солнце. Или пока солнце не взошло *для меня*.

Реляционная квантовая механика Ровелли, в которой редукция волновой функции становится зависимой от наблюдателя, позволила ему объяснить мысленный эксперимент, который предложил сам Эйнштейн, надеясь, что он разорвет квантовую теорию по швам: ЭПР.

Убежденного реалиста Эйнштейна возмущало, что в квантовой теории каким-то образом частицы не имеют свойств до тех пор, пока эти свойства не измеряются. Если квантовая механика имеет вероятностный характер, говорил он, вероятности отражают наше субъективное незнание, а не какую-либо объективную неопределенность самой реальности.

Эйнштейн (Э), вместе с Борисом Подольским (П) и Натаном Розеном (Р), предложил мысленный эксперимент, чтобы доказать это. Суть ЭПР-эксперимента была проста: у вас есть две квантово-запутанные частицы, скажем, электрон и позитрон. Так как они запутаны, то две частицы описываются одной волновой функцией, которая может иметь нулевой суммарный спин. Следовательно, если у электрона спин направлен вверх, то у позитрона он должен быть направлен вниз, и наоборот. Их спины должны быть антикоррелированы так, чтобы их суммарный спин всегда был равен нулю.

Запутанная электрон-позитронная пара родилась где-то в центре штата Коннектикут. Частицы разлетелись. Одна прибыла к порогу моего дома здесь, в Бостоне, другая проделала свой путь в сторону Филадельфии. Я решила определить спин электрона. Спин может быть

измерен вдоль любой оси пространственной системы координат – x , y или z . Я выбираю x : проекция спина электрона на ось x оказалась направлена вверх. Между тем в Филадельфии мой отец собирается измерить проекцию спина позитрона тоже на ось x . Но результат его измерения уже известен: он должен быть направлен вниз. Отец проводит измерения буквально на долю секунды позже меня. Конечно, проекция спина позитрона направлена вниз.

Эйнштейн видел здесь серьезную трудность. Как так получилось, что частица моего отца «знала» про мои измерения, сделанные за тысячи километров от нее? Сигнал, который моя частица могла отправить частице отца, должен был бы распространяться быстрее света, чтобы достичь Филадельфии до времени его измерения. Как никто другой, Эйнштейн не допускал переноса взаимодействия со сверхсветовой скоростью, он называл его «мистическим дальнодействием». Единственным разумным объяснением, согласно ЭПР, было то, что каждая частица с момента ее рождения обладала вполне определенной проекцией спина: спин электрона был направлен вверх еще до того, как я его измерила, а спин позитрона с самого начала был направлен вниз. Каким-то образом все было как-то устроено с самого начала *на самом деле*, и наши измерения тут совершенно ни при чем. В конце концов, мы могли бы выбрать ось y или z , и в любом случае частицы с самого начала «знали» бы значения проекций спина на любую из осей. Предопределенность результатов измерений, или «скрытые параметры», никак не отражались на формализме квантовой механики. Следовательно, говорил ЭПР, квантовая механика неполна. Вероятности – следствие неопределенности наших знаний, а не свойство самой реальности.

К сожалению для Эйнштейна, Джон Стюарт Белл подорвал основания для любой такой ЭПР-реальности. Он доказал, что теория с любыми скрытыми параметрами давала бы неверные вероятности для результатов любых многократных измерений, если только скрытые параметры не определяются каким-то мистическим дальнодействием. Единственным способом спасти реальность, независимую от наблюдателя, было нарушать локальность – сердце теории относительности.

Теорема Белла была перепроверена разными способами в лабораториях всего мира, и каждый раз экспериментаторы приходили к

одному и тому же выводу: Эйнштейн был неправ. После особенно показательных лабораторных испытаний в 2007 году *Physics World* опубликовал статью «Квантовая физика прощается с реальностью».

И хотя квантовая революция многим обязана Эйнштейну, он так и не смог принять то, что квантовая теория рассказывала ему о реальности. Можно было бы ожидать, что он откажется от своих философских предрассудков после их фиаско в истории с расширяющейся Вселенной. Но нет. Он хотел спрятаться от реальности за толстым стеклом, из-за которого мог бы пассивно наблюдать за реальностью, менее всего беспокоясь о том, что кто-то наблюдает за ней. Но было слишком поздно. Квантовая механика уже разбила стекло, и Белл лишь растоптал его осколки.

Белл показал, что мой электрон не имеет определенной проекции спина: он находится в суперпозиции состояний со спином вверх и спином вниз — до тех пор, пока он случайным образом не выбирает значение после измерения. Случайно выбирая значение, он также устанавливает значение для позитрона, которое измеряет мой отец. Мгновенно. Быстрее, чем распространяется свет. Поскольку никто не может использовать этот сверхсветовой эффект для передачи информации, тут нет вопиющего нарушения принципа относительности. Но какая-то угроза в нем все-таки чувствовалась.

Со времен Белла физикам пришлось смириться с «мистическим дальнодействием». Просто так странно все устроено, говорили они. Но в этом всегда чувствовался какой-то подвох. И теперь, читая еще одну статью Ровелли, я поняла почему.

«Рассуждения Эйнштейна требуют существования гипотетического супернаблюдателя, который в состоянии мгновенно измерить состояния [Аманды] и [ее отца], — утверждалось в статье. — Именно гипотетическое существование такого нелокального существа, а не квантовая механика, нарушает локальность».

Смысл был такой: парадокс ЭПР возникает потому, что создается впечатление, будто, редуцируя волновую функцию своего электрона, я таинственным образом, на расстоянии несколько тысяч километров, редуцирую и волновую функцию позитрона. Но реляционная квантовая механика рассказывает совсем другую историю. Когда я измеряю свой электрон, его волновая функция редуцируется относительно меня. Но с точки зрения моего папы, волновая функция электрона не была

редуцирована вообще, а вместо этого я нахожусь в суперпозиции двух состояний – «измерившая спин, направленный вверх» и «измерившая спин, направленный вниз». Ничего сверхсветового не происходит. Он может отправиться в Бостон – суперпозиция будет разрушена, и он убедится, что спин электрона антикоррелирует со спином позитрона, но это совершенно законное локальное квантовое взаимодействие. С моей точки зрения, ничто не распространяется со скоростью больше скорости света. С папиной точки зрения, ничто не распространяется со скоростью больше скорости света. Чтобы увидеть нечто, распространяющееся со скоростью больше скорости света, необходимо быть третьим наблюдателем, который может видеть то, что происходит в Бостоне и Филадельфии одновременно, а это невозможно. Как только вы ограничиваете себя тем, что могут видеть отдельные наблюдатели, никакие законы физики не нарушаются.

Конечно, это было мне уже знакомо. Как разрешается парадокс, связанный с потерей информации в черной дыре? Признанием того, что никакой наблюдатель не может видеть происходящего над горизонтом и под ним одновременно. Как разрешается кажущееся нарушение причинности при подходе «сверху вниз» в космологии? Признанием того, что ни один наблюдатель не может оказаться за пределами Вселенной и зафиксировать нарушение причинности. Как разрешается парадокс фajerволов? Признанием того, что ни один наблюдатель не может быть свидетелем полигамной запутанности. Как теперь разрешается ЭПР-парадокс? Признанием того, что ни один наблюдатель не может видеть оба измерения одновременно. Я не могла быть уверена, но в этом чувствовался какой-то параллелизм.

Я позвонила Ровелли. Он был у себя дома в Марселе, на юге Франции.

– Будет ли справедливо подвести общий итог, сказав, что интерпретационные трудности в квантовой механике происходят из-за попыток описать мир с невозможной точки зрения, из ниоткуда? – спросила я.

Ровелли охотно согласился:

– Если мы можем отказаться от взгляда из ниоткуда, от взгляда извне, и принять идею обязательной отсылки к наблюдателям, то все трудности уходят. Вот что я думаю.

– Допустим, что вы всегда должны ограничиваться единственной системой отсчета в каждом конкретном случае и что странности квантового мира возникают только тогда, когда вы сравниваете свои измерения с измерениями кого-то другого. Но как быть с интерференцией, как, например, в опыте с двойной щелью? Как получается, что в рамках одной системы отсчета вы можете увидеть интерференционную картину?

– Это хороший вопрос, – сказал Ровелли. – Он заставляет задуматься! Что мы имеем в виду, когда говорим об интерференции? Для интерференции надо иметь нечто в количестве двух штук. В опыте с двойной щелью интерферируют компоненты электрона, одна из которых проходит через одну щель, а другая – через другую. Но не существует в природе электронов, проходящих через всякую щель. Это просто на нашем языке означает: «если бы я был у щели и проводил измерение, то я бы видел электрон либо здесь, либо там». Термином «интерференция» обозначают не то, что фактически происходит. Он обозначает сравнение того, что наблюдает один наблюдатель, с тем, что наблюдал бы другой наблюдатель. На вашем языке это термин, обозначающий сравнение между двумя различными системами отсчета.

В этом был смысл. Интерференция – это интерференция фаз, а фаза – это просто система отсчета. Точка зрения. Странность суперпозиции – это не странность многих миров. Это была странность многих систем отсчета.

– Разбираясь с некоторыми новыми подходами в современной физике, я прихожу к выводу, что вам всегда приходится наткнуться на неприятности при попытке посмотреть на мир глазами Бога, – сказала я. – А чтобы физическое описание звучало осмысленно, надо выразить его в терминах, привязанных к системе отсчета единственного наблюдателя. Начинает казаться, у нас по вселенной на каждого наблюдателя. Что невозможно говорить о единой Вселенной.

– Я понимаю, что вы имеете в виду, – сказал Ровелли. – Этот аспект современной физики вызывает много дискуссий. Нам приходится жертвовать сложившимся образом с четким, объективным, хорошо определенным, прекрасно поддающимся описанию состоянием дел в мире. Квантовая механика потребовала от нас отказаться от этого. Вместе с новой картиной мира мы получаем тяжелое метафизическое

бремя. Готовы ли мы переосмыслить Вселенную на новых условиях? Я думаю, что мы должны серьезно отнестись к своей физике.

– Интересно, что значительный прогресс, достигнутый физиками в понимании физической реальности, шел через признание ими относительности все большего и большего числа явлений, – задумчиво сказала я, вспоминая все те инварианты, которые мы вычеркнули из списка на нашей салфетке.

– Точно! – радостно воскликнул Ровелли. – Точно. Когда люди слышали, что Земля круглая, им было очень сложно принять эту концепцию. В самом деле, как могут люди в Сиднее ходить вверх ногами? Со временем люди поняли, что в реальности нет никаких «вверх» и «вниз», это все относительно. И они привыкли. Так же трудно было понять, что относительно движение. Так же трудно было понять, что относительна одновременность. И я думаю, что квантовая механика – это шаг в том же направлении. Она говорит нам, что мир еще более относителен, чем ожидалось. Если один наблюдатель видит спин, направленный вверх, это не обязательно означает, что так будет всегда и для всех.

Не всегда и не для всех. Я вспомнила Уилера. *«Как нелепо было думать, будто каждый создает заново свою вселенную».*

– Джону Уилеру никогда не попадалась ваша работа по реляционной квантовой механике? – спросила я. – Я провела много времени, читая его дневники: он, по-видимому, в течение многих лет пытался решить проблему нескольких наблюдателей в квантовой механике. Он задавался такими вопросами, как «почему мое измерение спина электрона фиксирует результат для любого другого наблюдателя?»

– Да, конечно, – сказал Ровелли. – У нас с Джоном Уилером были очень теплые отношения. Он сначала заинтересовался моей работой по квантовой гравитации. Он прислал мне восторженное письмо в типичном для него стиле, и теперь оно висит на стене в моем офисе. Он пригласил меня в Принстон сделать один из первых докладов по петлевой квантовой гравитации, которая, что и говорить, вызывала неприятие со стороны Эда Виттена и Дэвида Гросса. И во время доклада они явно испытывали дискомфорт.

Неприятие? Со стороны Дэвида Гросса? Я не могла себе этого представить.

– Позже, когда я написал работу по реляционной квантовой механике, он снова отреагировал с энтузиазмом: прислал мне прекрасное письмо и пакет со всеми работами, которые он написал по этой теме. Все было в папке ручной работы с оранжевой обложкой, а на обложке – его любимое изображение «бытие из бита». Мои статьи по реляционной квантовой механике во многом обязаны интуиции Уилера, это очевидно. Уилер был первым, кто понял, что информация должна быть правильной концепцией. Но он всегда думал о наблюдателе, который взирает на мир и тем самым создает его, являясь его частью. Его внимание было сосредоточено на круговом контуре, порождаемом этой структурой, но он так и не смог определить отношения между наблюдателями. Я думаю, он оценил мое открытие «того самого наблюдателя» среди множества наблюдателей, единственного для любой физической системы, и особенно анализ когерентности, которую квантовая теория сообщает информации от разных наблюдателей. Но он был уже в возрасте, когда вышла моя статья, и я не думаю, что он писал еще что-нибудь на эту тему.

– Я встречался с ним снова после этого, – продолжал Ровелли. – Он принял меня необычайно тепло и по-дружески, мне никогда не забыть его глаза. Мы совершили долгую прогулку. Он говорил много, но очень тихим голосом, я едва мог его слышать. Он постоянно останавливался и глядел на меня. Я чувствовал его очень доброе к себе отношение. В первый день после моего приезда в Принстон он пришел рано утром ко мне в гостиницу, чтобы проводить меня в институт. Я еще спал, когда он позвонил мне снизу и пригласил вместе позавтракать. Затем мы отправились пешком в институт. Сначала мы шли молча, а затем он сказал: «Карло, со мной так уже было». Я спросил: «Как?» Он ответил: «Мне уже доводилось однажды вот так встречать утром одного человека, чтобы вместе с ним позавтракать, а потом показать ему дорогу до нашего института». Я посмотрел на него, а он сказал: «Это был Альберт Эйнштейн, когда он бежал от нацистов и приехал сюда. Я встречал его так же, как встречаю вас сегодня». Он всегда был таким: излишне эмоциональным, но способным тронуть тебя до глубины души. Он показал мне комнаты, где они впервые обсуждали проект атомной бомбы и где он говорил с Эйнштейном о письме Рузвельту... Извините, что ударился в эти воспоминания. Джон всегда был моим героем, и вы можете себе представить, как я

чувствовал себя, когда, будучи еще совсем молодым человеком, получил от своего героя письмо, полное комплиментов. Я храню все его поздравительные открытки. Последняя из них датирована девяносто пятым годом, когда я написал первую статью по реляционной квантовой механике. Он написал: «Дорогой Карло, счастлив знать, что Вы живете в этом нашем полном загадок мире. С теплыми добрыми пожеланиями, Джон».

На мои глаза наворачивались слезы, когда Ровелли вспоминал время, проведенное вместе с Уилером. Я забеспокоилась, что если наш разговор будет продолжаться в том же духе, то я начну рыдать в трубку как извращенка, поэтому я сменила тему.

– Похоже, что в реляционной квантовой механике наблюдатели сами не могут проводить измерения над собой, – предположила я.

– Это очень увлекательная тема, – ответил Ровелли. – Она вызывает у меня колоссальное любопытство, и я много разговаривал с философами, интересующимися ею. Но полной ясности так и не добился. Действительно, вся реляционная концепция как-то связана с невозможностью полного самоизмерения. Вся структура квантовой механики говорит нам, что информация о себе всегда ограничена. Пробабилизм внутренне присущ квантово-механическому миру: у нас есть только частичная информация о нем. Формально, если наблюдатель может измерить себя полностью, он может полностью нарушить принципы квантовой механики. Но точных формулировок у меня нет. Можно сказать только одно – что это нечто очень увлекательное.

– Кажется, здесь есть намек на связь с гёделевской неполнотой, – предположила я.

– Несомненно, – сказал он. – Только я был не в состоянии в полной мере ее разработать.

Уилер также был не в состоянии разработать эту тему, гёделевскую тему вообще. Он ощущал глубокую связь между логикой высказываний, самореференцией и квантовой механикой. В его сознании определение истинности утверждений, таких как «снег белый» или «мои штаны горят», было сродни редукции волновой функции в квантовой механике. В его представлении, если все наблюдатели – когда-либо жившие, живущие, еще не родившиеся –

коллективно присвоят значения истинности /ложности достаточному количеству булевских предложений, то вместе мы могли бы построить вселенную. Но ошибка такого подхода становилась все очевиднее: не существует коллективной вселенной. Мои штаны не горят с моей точки зрения, но для кого-то другого они вполне могут полыхать синим пламенем. Как элегантно доказал Ровелли, редукция волновой функции, а также истинность предложения зависят от наблюдателя. Уилер желал соавторства, но в реальности его нет. Рисуя свою *U*-диаграмму, Уилер полагал, что гигантский глаз на ней, осматривающий ее начало, обозначал множество глаз бесчисленных наблюдателей, осматривающих одну и ту же Вселенную. Гигантский глаз, как божий глаз, смотрит из всех возможных систем отсчета одновременно. Но если я что-то и знала о физике черных дыр, принципе горизонтной дополненности, подходе «сверху вниз» в космологии, о парадоксе файерволов, а теперь и о реляционной квантовой механике, то это вот что: глаз есть только один. По одному глазу на вселенную. И говорить, – что принципиально, – вы тоже можете лишь об одном глазе за раз. Либо вы в системе отсчета Сэйфа, либо вы в системе Скруда. Либо в моей, либо – моего отца. Наблюдателю никогда не увидеть мир из более чем одной системы отсчета одновременно. Если бы это было возможно, разрушилась бы физика. Уилер знал, что Вселенная зависит от участника наблюдений, но он подумал, что участников может быть сразу много. Для человека, который везде бывал, со всеми разговаривал и обо всем их расспрашивал, ничего не было хуже, чем призрак солипсизма: один человек (один червь, один камень), одна Вселенная.

«Среди прочих достоинств эксперимента Эйнштейна – Розена – Подольского важно отметить то, что он показывает *двух* наблюдателей, соучаствующих в создании реальности, – написал Уилер в одном из дневников. – Мы не заинтересованы, как некоторые, в отказе от принципов квантовой механики, мы заинтересованы в ее развитии на случай двух или более наблюдателей, двух или более „систем“, двух или более наблюдений, чтобы увидеть, как в итоге железные сваи с папье-маше между ними вместе образуют реальность. Что же показывает эксперимент ЭПР?»

Ровелли дал ответ: ЭПР-эксперимент показал, что не существует единой реальности, общей для всех наблюдателей. Каждый приговорен мастерить из папье-маше мир для себя.

Уилер знал, что в теореме Гёделя о неполноте таится нечто, некий ключ к пониманию квантовой механики и Вселенной, но он искал его в неправильном месте: вовне. И сам Гёдель совершил ту же ошибку. Он не особо переживал из-за неполноты, поскольку был совершенно уверен, что мы можем разрешить неразрешимое отсюда, извне математики. Предложение «это предложение невозможно доказать, исходя из данной системы аксиом» было неразрешимо внутри данной системы аксиом, но, посмотрев на него сверху, извне, мы по-прежнему могли объявить его истинным. Только тогда это объявление не было бы математическим утверждением: нельзя заниматься математикой за пределами математики. Там мы имеем дело с чем-то иным. С чем-то более деликатным. С чем-то вроде «интуиции». Интуиция, как говорил Гёдель, достаточно законна в качестве «разрешителя», проводящего границу между истиной и ложью. Как и Уилер, он надеялся, что мы всегда можем приписать истинность чему-либо извне; он верил в силу человеческого разума, достаточную, чтобы компенсировать недостатки наших математических систем. И все же он уморил себя голодом до смерти, будучи убежден, что пища его отравлена, так что он не совсем был воплощением оптимизма.

Все, что я узнала о физике, оказало влияние на мою собственную интуицию: никакого «извне» не существует. Вы не можете выйти за пределы математики, Вселенной или реальности. Все они – монеты с одной стороной.

Уилер знал, что Вселенная была односторонней монетой, но все равно каждый раз хотел снова перевернуть ее. Напряжение, которое он видел между индивидуумом и обществом, между «внутри» и «снаружи», между самонастраивающимся контуром и Гёделевским наблюдателем, стучащимся в дверь, было *тем самым* напряжением, *окончательным* напряжением, которое сидело глубоко в ядре реальности, в потаенном сердце физики, тесном бездонном колодце, откуда родилась Вселенная во всей своей невозможности. В квантовой механике для редукции волновой функции необходим внешний наблюдатель, но общая теория относительности исключает внешних наблюдателей. Это противоречие должно быть разрешено в квантовой гравитации при условии, сформулированном Смолиным: космология должна принять первым принципом такой – «нет ничего за пределами Вселенной».

Как еще мог осуществиться невозможный объект, как не из своей собственной архитектуры? Где еще, как не внутри себя, может лежать порождающее семя объекта, у которого нет никакого «снаружи»? Вселенная должна быть самонастраивающимся контуром, с возжигающей искрой творения в своем чреве, существованием, вытягивающим себя к бытию за свои собственные помочи. Если наблюдаемость – предпосылка к существованию, то Вселенной ничего не оставалось, как наблюдать себя.

Я вспомнила слова отца, сказанные еще до того, как все это началось: *«Есть кое-что относительно реальности, о чем тебе нужно знать. Тебе, наверное, кажется, будто ты – это ты, и есть еще весь остальной мир вне тебя, но это все одно целое»*. Нам нравится думать о себе отдельно от мира, от природы, как будто в один день мы таинственным образом проснулись и очутились во Вселенной, которая отличается от нас. Но мы части Вселенной, разлетающиеся в разные стороны структуры, которые на мгновение во Вселенной складываются, а затем рассеиваются. Через нас, как представлялось Уилеру, Вселенная смотрит на себя. Как нам посмотреться в зеркало, если мы сами и есть зеркало?

Мы приговорены жить внутри Вселенной. Это означает, что мы не можем предложить последовательного описания Вселенной без описания самих себя. Но теорема Гёделя показала, что самореферентные утверждения не могут быть доказаны внутри статифицирующей их системы. Что же тогда говорить о самореферентных утверждениях в космологии? «Внутри» – это все, что у нас есть. Они просто не могут быть доказаны. В физике «доказано» означает «измерено», а измерения имеют дело со сбором информации. Гёделевская неполнота Вселенной, казалось, накладывает фундаментальные ограничения на объем информации, которую мы можем получить. Если самореферентные утверждения не могут быть доказаны с помощью физических измерений, то наблюдатели не могут измерить самих себя.

Как Ровелли подтвердил мне, «вся реляционная концепция как-то связана с невозможностью полного самоизмерения. Вся структура квантовой механики говорит нам, что информация о себе всегда ограничена». Об этом говорил не только он. Так и Буссо говорил по

поводу неудачной попытки описать космологию с помощью S -матрицы: «Это просто крайняя форма более общей проблемы, которая возникает, когда одна часть замкнутой системы измеряет другую ее часть... Очевидно, что измерительный прибор должен иметь по крайней мере столько же степеней свободы, сколько есть у системы, квантовое состояние которой он должен установить». Действительно, философ науки Томас Брейер использовал аргументы Гёделя, чтобы доказать, что «ни один наблюдатель не может получить или сохранить достаточно информации, чтобы описать все состояния системы, в которой он сам находится».

Если бы слон мог измерить сам себя, редуцируя свою собственную волновую функцию, ему вовсе не обязательно было бы существовать по отношению к кому-либо вне себя, или, другими словами, он мог бы просто существовать сам по себе. Он не зависел бы от наблюдателя. Он бы просто был. В процессе самопознания или, вполне возможно, самоубийства, кот Шрёдингера редуцирует собственную волновую функцию, прежде чем кто-либо откроет ящик. Но квантовая механика — принципом неопределенности, принципом дополнительности, ЭПР-экспериментом — уже доказала, что если мы предположим существование слонов самих по себе, в каком-либо объективном, не зависящем от наблюдателя смысле, *мы будем получать неправильные ответы*.

Делая относительным абсолютно все, Ровелли отверг любые онтологические различия между наблюдателем и наблюдаемым, доходя до квантового монизма, где любая перспектива представляет собой возможную систему отсчета, ничуть не лучшую, чем какая-либо другая. Это устраняет кажущийся парадокс, заключающийся в том, что наблюдатель не может быть и субъектом и объектом одновременно, и в то же время наблюдатель — это и субъект и объект одновременно. Я являюсь субъектом для самой себя. Я являюсь объектом для моего отца. Не существует способа взглянуть на ситуацию глазами Бога, при котором и то и другое было бы истинно одновременно. Но, опять же, все рассуждение держится на невозможности самоизмерения. Если бы я могла измерить себя, я была бы одновременно и субъект и объект, а это разрушило бы квантовую физику. Запрет самоизмерения созвучен интуиции Витгенштейна, что «субъект не принадлежит к миру: он, скорее, граница мира».

Ровелли показал, что квантовая механика кажется парадоксальной, поскольку мы предполагаем существование единой реальности, общей для нескольких наблюдателей. Откажитесь от этого представления, и все квантовые призраки растворятся, парадоксы получат объяснения. Мы можем устранить проблему второго наблюдателя, приняв космический солипсизм, которого требует от нас физика. Это не тот солипсизм, который рассматривали Эверетт или Вигнер и в котором существует только один абсолютный наблюдатель. Солипсизм, который подразумевает радикальная зависимость от наблюдателя, сам по себе зависит от наблюдателя. Как подчеркивал Ровелли, наблюдатель в одной системе отсчета наблюдается в другой.

Но это верно лишь в случае, если наблюдатели не могут измерять себя сами. Если же они могут, то квантовые состояния станут абсолютными, глобальная логика станет булевой, интерференционные картины исчезнут, квантовой монизм расщепится на опасный дуализм, реализм Ледимана уступит дорогу реализму Эйнштейна, луна останется неизменной в инвариантном небе, а мы с отцом впадем в уныние от поражения, потому что мы бы на самом деле работали над одной и той же Вселенной, которая есть нечто, а не ничто, нечто, чья природа навсегда остается непознанной. Слава богу, что есть Гёдель!

Все всегда рассматривают теорему Гёделя как глубоко пессимистическое заявление о пределах познания. Но во вселенной, представляющей ничто, пределы – это именно то, что необходимо.

Мне уже приходилось видеть, к чему ведут ограничения, когда речь шла о горизонтах событий: горизонты играют роль края в системе отсчета наблюдателя, и площадь его горизонта – это мера того, сколько информации наблюдатель сможет когда-либо получить. Теперь я поняла, что самореферентность, присущая Вселенной, которая содержит своих наблюдателей внутри себя, также ограничивает доступ наблюдателя к информации – это своего рода логический горизонт. Не является ли наша положительная космологическая постоянная – наш деситтеровский горизонт – физическим проявлением гёделевской неполноты?

Как интересно, думала я, что переход от инвариантности к зависимости от наблюдателя всегда, по-видимому, начинается с одного и того же: казавшееся бесконечным или, возможно, нулевым, в действительности оказывалось конечным. В теории относительности

из-за конечности скорости света, долгое время считавшейся бесконечной, возникла зависимость пространства и времени от наблюдателя. В квантовой теории конечность постоянной Планка, долгое время считавшейся равной нулю, привела к зависимости от наблюдателя всех физических величин, связанных соотношениями неопределенности. Совсем недавно сделано открытие, что энтропия пространственно-временной области, всегда считавшаяся неограниченной, оказалась, в действительности, конечной, а из-за этого возникла зависимость от наблюдателя пространственно-временного континуума в целом. Скорость света, постоянная Планка, энтропия – все они представляют наиболее важные в природе пределы. Пределы – это ключи. Если сможем обнаружить пределы, то мы сможем обнаружить реальность. Или ее отсутствие.

Уилер верил, что информация, двоичные биты, подчиненные логическим правилам исчисления предложений, были теми атомами, из которых строится реальность. «Логика – строительный материал», – писал он. Но логика, как оказалось, зависела от наблюдателя: «да» в одной системе отсчета может быть «нет» – в другой. Тогда, в холле отеля *Tribeca Grand*, Фотини Маркопулу сказала мне, что нам необходимо использовать небулеву логику – логику, зависящую от наблюдателя, для того чтобы учесть тот факт, что всякий наблюдатель может иметь только часть информации. Булева логика – это просто обычная логика, справедливость которой мы по умолчанию признаем, с ее основными правилами: если p истинно, то не- p ложно, или если из p следует q и p истинно, то и q истинно. В этой логике существует также правило исключенного третьего: выражение p может быть либо истинным, либо ложным, третьего варианта не дано. Небулева логика – квантовая логика – по-другому формулирует закон исключенного третьего. Выражение p может быть истинным и ложным, в зависимости от того, кого вы спрашиваете.

Но теперь я поняла, что логика становится небулевой только тогда, когда вы сравниваете точки зрения двух или более наблюдателей. Для любого наблюдателя, пока он один, p является либо истинным, либо ложным. Мы только тогда нарушаем закон исключенного третьего, когда пытаемся рассматривать p в более чем одной системе отсчета одновременно. Классическая логика говорит нам, что частица проходит или через одну щель, или через другую. Небулева логика предлагает

третий вариант: частица проходит через обе щели. Но дело в том, что там нет наблюдателя, который может видеть, через какую из двух щелей прошла частица. Это потребовало бы глобального нефизического взгляда на эксперимент с двойной щелью глазами Бога, что сродни возможности наблюдать происходящее над горизонтом черной дыры и под ним. *Нет наблюдателя, который видит обоих слонов одновременно.* Посмотрите на щели, и вы увидите, что частица прошла только через одну из них. *Упоминание «обоих слонов» вводит в заблуждение.* Такие утверждения, как «фотон проходит через две щели одновременно», ошибочны. Они предполагают, что есть какая-то особая реальность, какое-то «на самом деле». Нет. Природа показала, что она устроена иначе. Вот что мы знаем: когда мы сравниваем две возможные точки зрения на траекторию фотона, мы ошибочно предполагаем существование единой реальности, которая объединит эти точки зрения. Поэтому это выглядит, как будто фотон проходит два пути одновременно. Это выглядит как небулева логика.

Мы никогда не видим одновременно живых и мертвых котов, потому что суперпозиции представляют собой множественность точек зрения, а по определению данный наблюдатель имеет только одну. Суперпозиции дурно пахнут божественным всевидением. Мы видим проявления суперпозиций в интерференционных картинах, но интерференционные картины, как сказал Ровелли, это результат сравнения нескольких систем отсчета. И вот самое главное, что я теперь поняла: если реальность не зависит от наблюдателя, то мы не увидим интерференционной картины. Каждая перспектива была бы эквивалентна всем остальным. Можно было бы наложить одну систему отсчета на другую и убедиться, что истинное и ложное в них идеально совпадают, как сливаются, согласно Сасскинду, во фридмановской вселенной световые конусы, — прямая линия ложится на прямую линию, что подразумевает инвариантность и окончательную реальность. Если же, однако, реальность принципиально зависит от наблюдателя, то есть Вселенная — это ничто, тогда интерференция нам необходима для того, чтобы буквально компенсировать разногласия между нашими точками зрения. Интерференция — физическое проявление небулевой логики — существует потому, что ничто (не) реально. Или потому, что реальность — это ничто. Такая

«мультиреферентная» интерпретация квантовой механики позволяет наконец объяснить этот чертов эксперимент с двойной щелью.

Логика должна быть небулева по той же причине, по которой существует тяготение. Это похоже на логическую калибровочную силу. В общей теории относительности локальная область пространства-времени для каждого наблюдателя плоская, но при попытке совместить различные локальные области они не накладываются так просто, и вам приходится гнуть пространство-время, что порождает гравитацию. Аналогичным образом, в случае квантовых измерений, для каждого отдельного наблюдателя локальная логика всегда булева. Она становится небулевой только тогда, когда вы пытаетесь совместить часть одной системы отсчета с другими точками зрения, чтобы сформировать единую реальность. Истинность предложений не совпадает. Так же как гравитация существует для того, чтобы объяснить, почему инерциальный наблюдатель кажется движущимся с ускорением в другой системе отсчета, квантовая интерференция существует для того, чтобы объяснить, почему истинное предложение становится ложным с другой точки зрения. Сшитые вместе, локальные логики порождают искажения логического пространства. Небулева логика – это фиктивная логика.

Предложение: «снег – белый». Истинностью для меня является: «да». Истинность для кого-то другого: «нет». В старой школе булевой логики такое несоответствие считается катастрофой. Но физика теперь утверждает, что мы не можем говорить о приписывании этому предложению обоих значений истинности одновременно. Они являются не коммутирующими калибровочными копиями, двумя нарушающими законы квантовой механики клонами одного и того же слона, одними и теми же битами, но дважды прочитанными. Как говорил Сасскинд, все свелось к неверному употреблению союза «и». Не да и нет, а да или нет. «Квантовая гравитация, возможно, несовместима с единым, объективным и полным описанием Вселенной, – писал Буссо. – Скорее, ее законы могут быть сформулированы относительно наблюдателя – не более чем одного наблюдателя единовременно». Выберите систему отсчета. Выберите булеву алгебру. Выберите глаз.

И действительно, не это ли квантовая механика пыталась сказать нам все время? Как в случае с принципом неопределенности. Мы не можем определить точные значения положения и импульса или

времени и энергии одновременно. И что же означает «одновременно»? *В единой системе отсчета.*

Бор и Гейзенберг знали все это. Они знали, что значения взаимно дополнительных величин были относительны в плане измерительной аппаратуры. Они ошиблись только в мысли, что после того как некое свойство было измерено и волновая функция оказалась редуцированной, значение этого свойства установлено для всех наблюдателей сразу. Такое может случиться, только если рассматривать наблюдателя особым образом, как существо, не подвластное законам физики. Это именно то, что сделал Бор, и Уилер старался следовать за ним. Но в глубине своего сознания Уилер знал, что так не выйдет: *«Элементарные явления невозможны без различения между наблюдательным оборудованием и наблюдаемой системой. Но эта граница может быть похожа на лабиринт и оказаться настолько запутанной, что лежащее, с одной точки зрения, по ту сторону и играющее роль наблюдательного оборудования может рассматриваться, с другой точки зрения, как лежащее по сю сторону и играющее роль наблюдаемой системы».*

И только Ровелли, наконец, нашел путь через лабиринт. Действительно, все наблюдатели, с точки зрения какой-то другой системы отсчета, наблюдаемы. Реальность радикальным образом зависит от наблюдателя.

Мистическое дальноедействие Эйнштейна было мистическим именно потому, что возникало, если смотреть из ниоткуда. И Эйнштейн лучше всех должен был понимать это. Он думал, что запутанность нарушала локальность, противоречила конечности скорости света. Но что действительно нарушало локальность, так это система отсчета, которую он использовал и которая одновременно включала в себя два световых конуса. Ведь ему, вероятно, не приходило в голову беспокоиться об описании физики при переходе из одного конуса в другой: хотя именно он сам и обнаружил, что пространство и время изменяются от одной системы отсчета к другой, он по-прежнему верил, что некоторые основные особенности реальности инвариантны. Если бы он был прав и если бы спин электрона, направленный вверх для одного, был бы направлен вверх и для всех прочих наблюдателей, тогда предполагаемая им божественная перспектива не вызвала бы никаких проблем. Но проблему она вызвала. *Мистическую* проблему. И

проблема эта была не с локальностью. Она была с реальностью. Вопреки нетипичной приверженности Эйнштейна к старомодному реализму, основные черты реальности *не были* инвариантны. Они зависели от наблюдателя. Если бы вы попытались взглянуть на них глазами Бога, вы бы получили неправильный ответ.

Я знала, что Эйнштейн вступил в игру на стороне реализма, но всерьез ли он играл? Ему, Эйнштейну, не приходило в голову, что некоторые якобы инварианты могут на деле оказаться относительными? *Относительность?* В самом деле? Звоночек не зазвонил?

Мне нужно было собраться с мыслями, собрать воедино эти разрозненные нити, так что я села на поезд, направлявшийся в Филадельфию.

Когда я позвонила в дверь, ответом мне была тишина. Никто не лаял, не скулил, не бил хвостом. К одиннадцати годам у стареющей Кэссиди выросла опухоль на ноге, которая уже была размером с грейпфрут. Она провела почти год, поджимая ногу, словно бывший фронтовик, до тех пор, пока боль не стала слишком сильной. Ветеринар сообщил нам, что ампутация будет сложной и не слишком продлит ей жизнь. Мама была единственным наблюдателем, когда вселенная Кэссиди подошла к концу. Мой отец положил ее миску и цепь на рабочий стол. Я рыдала в трубку, когда они рассказали. Знание, что Кэссиди была всего лишь иллюзией, едва ли было утешающим. Это была самая милая иллюзия, которую я когда-либо знала.

Войдя в дом, я торопилась вернуться назад, к началу, к *Н*-состоянию, попробовать осмыслить нашу историю.

– Ты не сохранил наши первые записи, когда мы только-только начали работать надо всем этим? – спросила я отца.

– Я думаю, что они в одном из шкафов в библиотеке, – ответил он. – Предлагаю тебе попытаться разыскать их там.

В библиотеке бесчисленные стопки книг почти забаррикадировали дверцы шкафа. Я закатала рукава рубашки и начала раскладывать книги на кушетке и на редких свободных местах на полках. Стопки книг, как кольца на спиле дерева, отражали хронологию интеллектуальных интересов моего отца. В ближайших стопках книг были самые недавние приобретения: книги по космологии и квантовой гравитации. За ними шли книги по теории относительности и квантовой механике,

затем по астрофизике и астрономии. Когда я, наконец, добралась до последней стопки, там были разнообразные книги: биография Эйнштейна, книга Шрёдингера «Что такое жизнь?», сборник стихов Боба Дилана. Было несколько книг философа Алана Уоттса, в том числе «Путь дзэна».

Я перелистала пожелтевшие страницы. Мой отец рассказывал мне, как еще подростком он читал «Путь дзэна» во время летних каникул, лежа в гамаке, натянутом на заднем дворе их дома, который отделяло от того дома, где я выросла, менее двух миль.

– В книге говорится об иллюзии эго, – рассказывал мне отец, – и о тождестве субъекта и объекта. Эта мысль полностью захватила меня, настолько она была простой и в то же время глубокой. Она так на меня повлияла, что я стал гипервнимателен ко всему вокруг. Я был в таком состоянии в тот момент, когда на страницу села пчела, пукнула там и улетела прочь. Я обвел пятно карандашом и написал на полях: «Пчела здесь наследила».

Когда он рассказал мне эту историю, я задумалась о том, что сделала бы я, если бы пчела нагадила на мое подростковое чтиво, которое было прямой противоположностью дзэну. Скорее всего, я бы обвела пятно карандашом в моем Сартре и написала: «Фигуры». Забавно, что при этом, к ужасу отца, улизнув из дома в возрасте четырнадцати лет, чтобы сделать первые татуировки, я, при всем своем экзистенциализме и страхе, выбрала татуировку в виде китайского иероглифа, обозначающего «дзэн», который выглядел как маленький гаваец с бамбуковым факелом на бедрах, потому что, хотя я и была бунтарем, в действительности мне больше всего хотелось быть просто похожей на него, обладать такой же мудростью, которую я видела в его взгляде, в его больших карих глазах, всегда немного прикрытых, так что он всегда казался немного сонным. Эти глаза я унаследовала от него и считала их не просто генетическим факсимиле, а скорее чем-то вроде тайного рукопожатия. Именно идеи дзэна привели моего отца к просветлению, к *H*-состоянию, методике думать ни о чем, что было онтологически равно познанию всего. И именно его *H*-состояние привело меня к небольшой лжи, придуманной жизни, к книге, Вселенной.

Я осторожно положила книгу, стараясь не потревожить ни одного сентиментального экскремента в ней. Я переложила какие-то

буддийские тексты, философию пространства и времени, сборник стихов Уильяма Карлоса Уильямса. Уильямс, я вспомнила, был любимым поэтом отца, может быть, из-за сюрреалистических стихов в дзэноподобном стиле, – *как много зависит от простого пчелиного дерьма!* – а может быть, и потому, что он тоже был врачом в университете Пенсильвании, или потому, что он тоже ушел из дома ночью, чтобы жить другой жизнью. Один человек пишет стихи, другой разгадывает тайны Вселенной, что, я думаю, было в действительности одно и то же.

Когда мне, наконец, удалось открыть дверцы шкафа, я нашла стопку тетрадей в твердой обложке. Я отнесла их в мою старую спальню и устроилась на кровати читать.

Мой отец использовал для записей, возможно, четверть каждой из тетрадей, оставляя остальные страницы пустыми, а затем по необъяснимой причине начинал новую тетрадь. Каждая запись объясняла смысл *H*-состояния и содержала один и тот же, мучительный, доводящий до бешенства вопрос: с чего ему меняться?

«Все и ничто – просто двойники, которые в пределе становятся одним и тем же... И все, и ничто вложены в *H*-состояние. Поэтому идею, что все появляется из ничего, нельзя считать большим концептуальным прорывом. Но как произошло изменение от безликой пустоты к неоднородной и полной удивительных структур Вселенной?»

«Все, в том числе время, пространство, энергия и материя – все это, по-видимому, изменчивые лица *H*-состояния, которое само в конечном счете никогда не меняется, – писал он в другом месте. – Как это может быть? Оно, по определению, идеально однородно и, следовательно, не подлежит изменениям».

В конце концов отец нашел ответ: «Для объяснения мы можем обратиться к трем разным, хорошо известным законам природы. В самом деле, изменение получается как следствие каждого из этих законов. Если бы *H*-состояние не обрело формы, то это было бы нарушением наших основных научных принципов».

Первым было второе начало термодинамики. *H*-состояние, писал он, находясь только в одной уникальной конфигурации, имеет нулевое значение энтропии, которая, согласно этому закону, должна расти. В то же время, будучи максимально однородным, *H*-состояние обладает бесконечной энтропией. «*H*-состояние являет собой и абсолютный

порядок, и абсолютный беспорядок, и ни одно и ни другое! Это слияние и того и другого. Таким образом, абсолютный порядок и абсолютный беспорядок эквивалентны друг другу! Вселенная должна рождаться из *H*-состояния и в конечном счете возвращаться к нему».

Вторая причина изменения – нарушение симметрии. «*H*-состояние, в своей совершенной однородности, по определению обладает идеальной симметрией. Абсолютно симметричные состояния совершенно нестабильны... Физики пришли к пониманию, что нашему миру свойственно нарушение симметрий. На самом деле, все наши законы сохранения – сохранения энергии, момента импульса и др., сами являются отражениями фундаментальных симметрий. Но если каждая вещь по отдельности выводится из нарушенной симметрии, то все они вместе должны происходить от совершенной симметрии – *H*-состояния».

Третьей частью головоломки была квантовая механика, писал мой отец. Согласно законам квантовой механики, «ничто во Вселенной не может находиться на точно определенном энергетическом уровне. *H*-состояние – не исключение. Принцип неопределенности требует, чтобы *H*-состояние перестало быть однородным». «Квантовые флуктуации, – писал он, – сопровождаются естественными колебаниями, которые образуют основу для вещности, подобно тому как колесо вращается вокруг неподвижной ступицы».

«Поскольку все совершенно одинаково, – продолжал он, – то нельзя указать ни место, ни время в *H*-состоянии. Не существует положения в пространстве, поскольку все положения одинаковые. Не существует времени, поскольку все моменты времени одинаковы. Ничего не изменяется ни в пространственном, ни во временном, ни в любом другом измерении. Но все наши фундаментальные законы природы диктуют, что такое состояние не может сохраняться долго. Оно неустойчиво. Законы термодинамики, нарушение симметрии и квантовая механика предписывают *H*-состоянию трансформацию от ничего к чему-то. Поскольку в *H*-состоянии нет ни пространства, ни времени, изменения будут происходить во всех местах и во все моменты времени. Можно сказать, что Вселенная родилась из точки, но эта точка имела бесконечную протяженность... Однородность – это окончательная реальность. Структуры принадлежат обычной реальности... Ничто не может существовать. Оно нестабильно».

Рассуждения отца впечатляли сходством с рассуждениями, с которыми я знакомилась благодаря физикам на протяжении многих лет. Вильчек, к примеру, писал: «Самая симметричная фаза Вселенной в целом оказывается нестабильной. Можно предположить, что Вселенная начиналась с наиболее симметричного состояния и что в таком состоянии материя не существовала... В конце концов появляется область в менее симметричной фазе, возникающая если не по какой другой причине, то как следствие квантовых пульсаций... Это событие может быть определено как Большой взрыв... Наш ответ на главный вопрос Лейбница „почему существует нечто, а не ничто?“ – „ничто неустойчиво“».

Конечно, с тех пор мы осознали, что рассуждение «ничто нестабильно, и квантовые флуктуации будут менять его на что-то» приводит к серьезным трудностям. Это была глобальная история, рассказанная всеведущим рассказчиком, который умел смотреть на мир глазами Бога из системы отсчета, расположенной за пределами H -состояния. По отношению к этой системе отсчета H -состояние, у которого, по определению, нет никакого «снаружи», должно было бы измениться. Более того, это рассуждение предполагает квантовую механику, оставляя повисшим, неотвеченным вопрос Уилера: почему квант?

Но теперь, благодаря Ровелли, у меня появился намек на ответ. «Почему квант?» – вопрос того же рода, что и вопрос «Почему небулева логика?» Но небулева логика, как я теперь знала, была фиктивной логикой, логикой, которая всплывает, когда вы пересекаете горизонты событий, когда вы пытаетесь описать реальность с нескольких точек зрения одновременно. Квантовая логика небулева, потому что реальность коренным образом зависит от наблюдателя. Потому что ни о какой вещи сообщение, начинающееся со слов «на самом деле», не может быть продолжено единым образом. Есть мое «на самом деле», и есть «на самом деле» моего отца, но они никогда не бывают оба сразу.

H -состояние не могло измениться, потому что у него нет никакого «снаружи». Но отсюда, изнутри, *могло показаться*, что оно изменилось, словно что-то – это то же ничто, если посмотреть на него изнутри. Здесь, внутри, при конечной скорости света, наблюдатели не могут увидеть мир целиком. Их собственная точка зрения ограничена.

Но когда вы ограничиваете *H*-состояние, оно перестает быть *H*-состоянием. Перестает быть ничем. Становится чем-то.

Конечно, у этой идеи была своя сложность: она требовала конечной скорости света для того, чтобы определить световые конусы, которые, в свою очередь, ограничивали перспективу наблюдателя. Упрямая скорость света по-прежнему оставалась нетронутой на нашей салфетке, последним ингредиентом, не разлагаемым ни на что другое и необъяснимым. *Если наблюдатели создают реальность, то откуда появляются сами наблюдатели?*

Озадаченная, я перелистывала страницы тетради моего отца. Со звездочкой, нарисованной рядом, мой отец выписал цитату из Лао-Цзы: «Обретение самой драгоценной жемчужины нельзя сравнить с обнаружением источника всего сущего».

Несколько дней спустя, рано утром, я обнаружила статью, лежащую на полу под дверью в мою спальню. Мои родители ушли на работу. Сонная, я подняла ее. К ней была прикреплена записка: «Ключ? L, D».

Я снова села на кровать читать. Это была расшифровка доклада французского астрофизика по имени Лоран Нотталь. Странно, конференция, на которой он сделал этот доклад, была не о физике, а о буддизме. Я рассмеялась. Физика и буддизм? Добавить к этому Боба Дилана и немного овсяного печенья с изюмом, и получится рай для моего отца.

Теория относительности, пояснял Нотталь, говорит о пустоте, пустоте движения, пространства и времени. Самая счастливая находка Эйнштейна заключалась в том, что человек в свободном падении не может почувствовать свой собственный вес. «Благодаря этому, – писал Нотталь, – он понял, что гравитация, которую мы все хорошо знаем и которая настолько универсальна, не существует сама по себе». Она зависит от наблюдателя. Она в конечном счете не реальна.

«Форма – это пустота, пустота – это форма, – говорил Нотталь, цитируя „Сутру сердца“. – Вот в чем содержание теории относительности». Когда я добралась до десятой страницы, я обнаружила, что отец выделил фрагмент текста: «Форма – это пустота, потому что всегда можно найти систему отсчета, в которой вещь исчезает. На этом этапе мы действительно можем понять, в какой

системе координат объект исчезает. Ответ заключается в том, что он исчезает в собственной системе отсчета... в себе... Это верно для любого свойства, какое только мы можем рассмотреть. Свойство может исчезнуть в собственной системе отсчета. Возьмите все что угодно: цвет, форму, объект, массу, частицы – и поместите себя туда, внутрь, и оно исчезнет. Внутрь цвета – и нет цвета... То, что создает цвет, – это длина волны. Если вы меньше, чем длина волны, то понятия цвета для вас даже не существует. Он исчезает полностью. Если вы находитесь в свете, участвуете в его движении, то свет и время исчезают (это то, что Эйнштейн понимал в пятнадцатилетнем возрасте, и то, что привело его к созданию первой теории относительности десять лет спустя). Таким образом, внутри движения нет движения, внутри положения нет положения, внутри частицы нет частицы».

Если вы находитесь в свете, свет исчезает.

Я уронила статью на колени. Господи!

Это то, что нужно.

Это был ответ.

Будучи подростком, Эйнштейн задавался вопросом, как будет выглядеть свет, если бежать вдоль луча с той же скоростью. Но что произойдет, если вы перевернете вопрос и спросите: как Вселенная выглядит с точки зрения света^[55]? Что видит фотон?

Свет, по определению, полностью использует все пространство-время как пространство, ничего не оставляя для времени. Другими словами, все, что он видит, он видит сразу, пространством без времени. С моей точки зрения, свет звезды, находящейся на расстоянии пять миллионов световых лет, проходит свой путь за пять миллионов лет, прежде чем добраться до моих глаз. Но с точки зрения света, его путешествие происходит мгновенно. С точки зрения света, скорость света – это не скорость света. Он не имеет скорости. Он появляется везде сразу в одно мгновение. Фотон не видит Вселенной. Фотон видит сингулярность.

Он видит H -состояние.

До меня все это дошло только сейчас. Многое зависит от скорости света: существование горизонтов событий, световые конусы, границы информации, системы отсчета, наблюдатели. Пока она была инвариантной, таковы были и они.

Инвариантность света не оставила равнодушным и Уилера. 27 августа 1985 года он написал в своем дневнике: «Мой рисунок (*U*-диаграмма) показывает рефлексивную систему с одним, по крайней мере, первичным элементом, этой пунктирной линией». Этой пунктирной линией была конечная и инвариантная скорость света. Самонастраивающийся контур Уилера мог объяснить все, кроме этого.

Но теперь я поняла, что скорость света – не инвариант. Она не реальна. *«Так мы проверяем что-то на реальность. Если можно найти хотя бы одну систему отсчета, в которой оно исчезает, тогда это не инвариант, оно зависит от наблюдателя»*. Нотталь указал систему отсчета, в которой скорость света исчезает, – система отсчета самого света.

Горизонты – последние оставшиеся ингредиенты реальности, последние остатки песчаного замка, растворяющегося в безграничной однородности песчаного пляжа, пунктирная линия, идущая сквозь космическую историю, последний оплот, стоявший между чем-то и ничем, – были построены из света, застывшего на месте под действием ускорения и гравитации.

Но горизонты не имеют горизонтов.

Границы не имеют границ.

«Граница границы равна нулю».

В тот вечер я пригласила отца поужинать вместе в нашем китайском ресторане, где он впервые спросил меня, что такое ничто.

Я понимаю, что насилие над собственной жизнью ради такого рода искусственной кинематографической симметрии уже набило оскомину. Но у меня было чувство, что так надо. Я должна помнить, как далеко мы продвинулись и, в то же время, как мало все изменилось. Кроме того, я знала, как отец любит курицу с кешью.

Мы вошли в ресторан и сели за тот же самый столик, в чем оба готовы поклясться, хотя, подозреваю, это могла быть какая-то общая ложная память. После того как у нас приняли заказ, я достала ноутбук.

– Посмотри, – сказала я. – Вот список ключевых идей.

Я зачитала их по пунктам, одну за другой.

Первое: ничто определяется как бесконечное, неограниченное, однородное состояние. Это означает, что «нечто» – это конечное,

ограниченное состояние. Для того чтобы ничто превратить в нечто, нужна граница.

Второе: не существует ненулевых сохраняющихся величин. Все – в каком-то смысле ничто.

Третье: все в физике, по-видимому, определяется граничными значениями. На горизонтах.

Четвертое: законы физики имеют смысл только в системе отсчета единичного наблюдателя, единичного светового конуса.

Пятое: в рамках одной системы отсчета вся зависящая от наблюдателя космическая история будет разворачиваться в соответствии с подходом «сверху вниз» в космологии и принципом отложенного выбора Уилера.

Шестое: принцип дополнительности Сасскинда и голографическое пространство-время предполагают, что за пределами моего горизонта нет ничего реального. Как будто область, вырезанная моим световым конусом, – это вся реальность.

Седьмое: положительное значение нашей космологической постоянной гарантирует, что для любой заданной системы отсчета существует непреодолимая, зависящая от наблюдателя граница. Вселенная принципиально фрагментирована. Можно ждать вечно, но ты никогда не увидишь ее целиком.

Восьмое: аномально низкая мощность квадрупольной компоненты реликтового излучения, по-видимому, указывает, что размер всей Вселенной – это размер ее видимой части.

Девятое: реляционный характер квантовой механики и неизбежные ограничения, связанные с гёделевской самореференцией, доказывают, что субъект никогда не может быть объектом в своей собственной системе отсчета и что, в свою очередь, мир всегда разбит на части.

Десятое: *M*-теория, наше самое лучшее описание физического мира на сегодня, похоже, не содержит онтологии.

Одиннадцатое: реальность принципиально зависит от наблюдателя. Каждый ингредиент гипотетической окончательной реальности, каждый пункт, выписанный нами на салфетку в калифорнийской блинной, был вычеркнут. Ничто не инвариантно. Ничто в конечном счете не реально.

– Впечатляющая картина, – сказал отец.

Мягко сказано! Жуть брала, насколько это все укладывалось вместе. Но во что именно? В Ничто?

– Как ты думаешь, что все это значит? – спросила я.

– Я думаю то же, что и ты думаешь, – сказал он. – Это все – ничто, *H*-состояние, оно только выглядит чем-то, когда у тебя есть ограниченная внутренняя перспектива. Но у тебя и должна быть ограниченная внутренняя перспектива, потому что никакой внешней перспективы нет. Нет никакого «снаружи». Но есть возможность преобразования, которое можно выполнить, чтобы перейти в систему отсчета, связанную со светом, горизонтом, и возвратиться обратно в ничто, которое всегда рядом.

Да, я именно так и думала. Определить ничто как бесконечное, неограниченное и однородное состояние – у этого было два следствия: ничего нет вовне, и ничто никогда не изменится. На первый взгляд, идея представлялась обреченной: если ничего не может измениться, то как могла родиться Вселенная? Но ответ таился в первом принципе космологии Смолина: ничто дает рождение *внутри себя*. Вселенная рождается только внутри некоторой ограниченной системы отсчета, где и разворачивается ее история – из настоящего в прошлое. Вселенная осуществляется сверху вниз, но только относительно этой системы отсчета. За пределами этой системы отсчета нет ничего.

Невозможность божественной перспективы указывает на отсутствие какой-либо реальности за пределами точки зрения единичного наблюдателя. В конце концов, почему все законы физики должны быть определены в рамках единой системы отсчета, если в рамках той же системы отсчета не определена вся Вселенная?

– Знаешь, если ты начал с предположения, что внутренние системы отсчета создают Вселенную путем преобразования безграничного ничто в ограниченное что-то, то тебе и следовало ожидать, что осмысленная физика возможна только в пределах одной системы в один момент времени, с вылезающим бессмысленным избытком информации всякий раз, когда по ошибке из внимания ускользает наличие горизонта, – сказала я. – И если единственная система отсчета обозначает границу реальности, ты бы решил, что располагаешь свидетельствами отсутствия чего-либо за пределами космического горизонта.

– Свидетельства вроде аномально низкой мощности квадрупольной компоненты реликтового излучения? – спросил отец, улыбаясь.

Я улыбнулась в ответ. Заманчивая перспектива!

Одно было ясно: ключом к существованию была граница. С самого начала я подозревала, что одних световых конусов было бы недостаточно. Если времени бесконечно много, любой световой конус охватит все H -состояние, превращая нечто обратно в ничто. Казалось, что требовалось что-то более надежное, что-то вроде постоянной границы, обеспечиваемой темной энергией. Опять же, предположим, было бы достаточно сказать, что ни один наблюдатель не может измерить себя сам. Предположим, гёделевская неполнота и невозможность проводить измерения над собой удерживают ничто в его гавани, и тогда мир навсегда останется разделенным пополам – на наблюдателя и наблюдаемое.

Чтобы ничто превратить в нечто, требуется ограничить информацию конечным количеством, которое можно получить из бита. «Что-то информационно-теоретического характера лежит в основе физики, пространства-времени, самого существования, – написал Уилер по дороге в больницу в 1986 году. – Этой короткой фразой я бы ответил на просьбу о последнем слове, прежде чем я оставлю эту землю».

Я задавалась вопросом, почему из всех глубочайших мыслей, бродивших в его голове, Уилер выбрал именно эту в качестве своего последнего слова о природе реальности. Почему не самонастраивающийся контур природы? Или границу границы? Почему информация?

Теперь я начала понимать, чем информация в действительности была – асимметрией. Чтобы зарегистрировать бит информации, вам необходимо два различных состояния: черный или белый, спин вверх или спин вниз, 0 или 1. Вам нужна двоякость. Ведь энтропия была мерой недостающей информации, а вместе с энтропией появляется симметрия. Равномерно распределенный по объему газ – воплощение высокой энтропии; он всюду почти одинаков, предельно симметричен. А что такое симметрия? Это избыточность описания, избыточность информации^[56]. Если вам надо описать шестиконечную снежинку, то информация, которая для этого требуется, описывает лишь один из ее

углов и их число. Вам не нужна индивидуальная информация по каждому углу снежинки отдельно, потому что она будет в точности повторяться снова и снова. Шестиконечная снежинка симметрична, и потому одна и та же информация повторяется шесть раз. Чем больше в чем-то симметрии, тем меньше в нем информации.

В H -состоянии, придуманном отцом, все одинаково. Это состояние совершенной симметрии. А значит, информация, содержащаяся в нем, нулевая, что вполне резонно, если учесть, что мы имеем дело с ничем. И как же получить информацию из H -состояния, превращая ничто в нечто? Обозначить границы. Граница нарушает симметрию, создавая информацию. Но граница зависит от наблюдателя, как и информация, которую она создает.

«В классической физике вы можете определить состояние какой-то системы, а потом придет кто-то другой и тоже определит состояние той же самой системы и получит тот же самый результат, что и вы, — говорил нам Журек. — В квантовой механике такое, как правило, невозможно».

Теперь я поняла, почему это было невозможно. Проведение квантовых измерений сводится к выбору системы отсчета. В небулевой суперпозиции любых возможных точек зрения не существует никакой дифференциации, никакой информации. Квантовая интерференция уже позаботилась об этом. Когда вы делаете измерения, выбрав одну точку зрения в рамках булевой логики, ограничивающей возможные ответы двумя — «да» или «нет», вы нарушаете симметрию суперпозиции и создаете наугад бит информации. «Все дело в интерактивности, — сказал Журек, — это ключ к разгадке, как устроена Вселенная».

— Если бы мир не был квантово-механическим, — сказала я отцу, — тогда он, наверное, не мог бы возникнуть из ничего. Я говорю сейчас не том, что обычно имеется в виду, когда люди рассуждают о квантовой механике: что, начав с некоего состояния, которое можно назвать «ничто», мы приходим к другому состоянию, назовем его «нечто», благодаря принципу неопределенности. Это тривиально. Здесь предполагается существование квантовой механики с самого начала. Я имею в виду другое: если бы мир не описывался квантовой механикой, то его логика была бы булевой и реальность была бы инвариантной. Все наблюдатели пришли бы к согласию относительно истинности предложений. Они бы пришли к единому мнению о том, что реально, а

что нет. Не было бы никакой интерференции между их точками зрения; физика была бы классической. Но когда у нас есть инвариантность, у нас есть *нечто*, от которого нам не отделаться словами. Это была бы реальность, онтологически отличающаяся от ничего, и тогда мы бы столкнулись с пропастью, которую невозможно преодолеть, перекинув логический мостик. Нет смысла говорить, что Вселенная родилась из ничего, но сейчас она представляет собой нечто – нет способа получить одно из другого. Так можно сказать только в том случае, если Вселенная – ничто. Но если Вселенная – ничто, то только ничто окончательно реально. Ничто (не) инвариантно. И отсутствие инвариантности проявляется для нас в виде квантовой механики.

– То есть всякая вселенная, в каком-то смысле реально существующая, вселенная, представляющая из себя *нечто*, не описывалась бы квантовой механикой?

– Что-то мне это подсказывает, – сказала я. – Уилер всегда знал, что квант – это ключик к отгадке. Я думаю, что это был ключик к зависимости реальности от наблюдателя. Намек, что все, в глубине своей сути, – это ничто.

– Ты слышала о пещере Платона? – спросил отец. – Мы все сидим внутри пещеры и не видим, что происходит снаружи, мы видим только тени на стене. Предполагается, что из-за этого нам никогда не познать реальный мир. Но истина состоит в том, что нам необходимо иметь ограниченную систему отсчета для того, чтобы существовала хоть какая-то реальность! Если ты не прикована к своему световому конусу, ты ничего и не увидишь. Разве только *H*-состояние.

Я кивнула:

– Не будет никакой информации. Нам нужно нарушение симметрии, тень, для того чтобы получить информацию и из информации родился мир. Бытие из бита.

Меня охватило возбуждение. Я улыбалась. Становилось ясно: ограниченная система отсчета создает иллюзию мира, но даже система отсчета сама по себе остается иллюзией. Наблюдатели создают реальность, но наблюдатели не реальны. Невозможно онтологически отчетливо определить наблюдателя, потому что вы всегда можете найти систему отсчета, в которой наблюдатель исчезает: система отсчета самой системы отсчета, граница границы.

– Если физикам удастся когда-нибудь обнаружить инвариант, то игра будет окончена, – размышлял отец. – Гипотеза, что Вселенная, в действительности, ничто, будет опровергнута.

Что верно, то верно. Но, по крайней мере, до сих пор, все претенденты на инвариантность разделили судьбу пространства и времени, оказавшись относительными и зависящими от наблюдателя. Пространство-время, гравитация, электромагнетизм, ядерные силы, массы, энергии, импульс, момент импульса, заряд, размерности, частицы, поля, вакуум, струны, Вселенная, мультивселенная, скорость света – все они, один за другим, сошли со сцены, оказавшись иллюзией. Пелена реальности спала, и осталось только одно. Ничто.

В моем воображении этот вывод сопровождался громкими звуками фанфар. Вспыхнул яркий свет, и воздушные шары и конфетти взмыли к потолку, словно нас сочли сотыми по счету посетителями в супермаркете. Толпы ликующих людей заполнили ресторан и столпились вокруг нас, аплодируя. Глядя в толпу, я заметила некоторые знакомые лица. Там была Фотини Маркопулу в длинном платье, а рядом с ней я видела Карло Ровелли и Ли Смолина. Алан Гут пришел со своим гигантским желтым рюкзаком, Джеймс Ледиман с дредами, свисающими на спину. Тимоти Феррис поигрывал ключами от автомобиля, а Энди Альбрехт смеялся и размахивал руками, словно хотел сказать: «Все идет как надо!» В стороне я заметила шляпу-панаму: Брокман и Мэтсон тоже были здесь. Позади них я увидела Фила из *Scientific American*, и, готова поклясться, в толпе мелькнул и Рик с Манхэттена. Сквозь шум толпы я слышала характерный бронксовский акцент Сасскинда, и я оглянулась, чтобы увидеть его. Он стоял с Рафаэлем Буссо и Томом Бэнксом. Джо Полчински был тоже здесь, как и Голова Эд. А рядом с ними, в своей коляске, сидел Стивен Хокинг. Я заметила Кипа Торна в одежде героя фильма «Звездный путь». Я увидела копну рыжих волос и догадалась, что это был Журек. Под ногами с криками «ага!» сновали семь счастливых крыс – одна из них с большой х-образной повязкой там, откуда обычно растет хвост. Вдруг толпа замолкла и расступилась, давая проход пожилому человеку, с трудом пробирающемуся к нашему столу. Когда он подошел, я увидела, что это Уилер. Он пожал руку сначала отцу, а потом мне. Он улыбался, и я видела блеск в его глазах.

– Я же говорил вам, настойчивость будет вознаграждена.

Но в реальной жизни в ресторане по-прежнему было тихо, мир по-прежнему засорен вопросами, остающимися без ответа. В реальной жизни мы сдвинули наши бокалы, улыбнулись и отправились домой.

Вернувшись в свою старую спальню, я свернулась в постели с ноутбуком и еще раз просмотрела список ключевых идей.

То определение ничто, которое дал мой отец, позволило перебраться через онтологическую пропасть от ничто к нечто, а радикальная зависимость от наблюдателя любого ингредиента реальности, включая реальность самое, позволила перебраться обратно. Мы разгадали тайну Вселенной: физика описывает не то, как устроен мир – физика описывает, как устроена иллюзия, что мир существует.

Все еще оставалось много вопросов. Было непонятно, что принесет новая парадигма космологии – подход «сверху вниз» Хокинга и Хертога, голографическое пространство-время Бэнкса или что-то совсем другое. Непонятно было, какие новые ингредиенты могут быть похоронены среди дуальностей *М*-теории. Положительная космологическая постоянная, казалось, требовалась для того, чтобы ничто выглядело как что-то, но будет ли возможно точно определить ее значение в окончательной теории, или ее точное значение окажется несущественным, так же как несущественны точные значения скорости света или постоянной Планка? Будет ли раскрыта тайна темной материи? Проявится ли неожиданный поворот сюжета в данных, полученных на Большом адронном коллайдере или со спутника Планка, чтобы полностью поменять наше мировоззрение?

Лично я была рада всем этим вопросам, остающимся без ответа: они означали, что у нас есть чем еще заняться и что мы все еще вместе. Для меня охота за тайнами Вселенной и взросление всегда были одним и тем же, и я не была готова остановить свой рост.

«Каждый из нас автор своей собственной Вселенной, – написала я в своем блокноте, – но утешает то, что есть и другая система отсчета, в которой мы с отцом стоим рядом, участники общего дела». Если понадобится, пусть это будет моими последними словами на земле.

Я вспомнила тот день в Принстоне, когда мы впервые попали на конференцию по физике. Я думала о четырех вопросах Уилера и о том, как мы могли бы ответить на них после всего, что узнали. Бытие из бита? Да, но у каждого наблюдателя свое бытие из одного и того же

бита. Биты сами зависят от наблюдателя и возникают благодаря асимметрии ограниченной системы отсчета. Интерактивная Вселенная? Интерактивная – да; Вселенная – нет. Существует по одной вселенной на каждого актора, и вы можете говорить только об одной из них в данный момент времени. Почему квант? Потому что реальность радикально зависит от наблюдателя. Потому что наблюдатели создают биты информации из ничего. Потому что нет никакого объекта «на самом деле», и никто не может использовать описания происходящего по обе стороны горизонта. Отчего существование? Существование – это то, как ничто выглядит изнутри.

Пора было приниматься за книгу. *С обрыва ровной строчки на поля.* Я сделала глубокий вдох.

«Трудно решить, с чего начать. И даже – что именно считать началом? Я могла бы сказать, что моя история началась в китайском ресторане, году так в 1995-м, когда мой отец спросил меня ни о чем, или, точнее, про ничто. Но, наверное, правильнее было бы говорить, что она началась примерно четырнадцать миллиардов лет назад, когда так называемая Вселенная якобы родилась, вдруг раскалившись и пропитавшись бытием. Затем я пришла к мысли, что *моя* история только-только начинается, прямо сейчас. Я понимаю, как странно это должно звучать. Поверьте мне, это зазвучит еще более странно».

Благодарности

Я не могу выразить всей глубины моей признательности многим физикам, которые терпеливо и великодушно на протяжении многих лет жертвовали ради меня своим временем, делились своими мыслями и которые даже не подозревают, насколько важную роль они сыграли в моей жизни. Я особенно хочу поблагодарить Ленни Сасскинда, Рафаэля Буссо, Фотини Маркопулу, Джо Полчински, Алана Гута, Тома Бэнкса, Карло Ровелли, Войцеха Журека, Кипа Торна, Ли Смолина и Джеймса Ледимана.

Этой книги никогда бы не было без помощи моих крутых издателей, Катинки Мэтсон, Джона Брокмана и Макса Брокмана, которые только теперь (смущенно) узнали, как долго я мечтала работать с ними. Я хочу поблагодарить их за то, что они дали мне шанс и помогли мне обрести голос.

Я испытала и радость и честь работать с редакционной командой издательского дома *Random House* и, особенно, с моим редактором Марком Тавани, который взялся за этот проект, в то время как другие разбежались в страхе, и всегда стоял за меня горой. Эта книга была бы полным кошмаром, если бы не гениальный литературный редактор Сью Варга и всегда предупредительный выпускающий редактор Лорен Новак. Отдельное спасибо тебе, Люк Демпси, где бы ты ни был сейчас, за веру в эту книгу с самого начала!

Я выражаю мою бесконечную благодарность сотрудникам библиотеки Американского философского общества и, в частности, Чарльзу Грейфенштейну, предоставившему нам доступ к дневникам Джона Уилера и сохранившему эту бесценную часть интеллектуальной истории человечества.

Я выражаю особую благодарность великолепной, доброй и веселой Мэгги Макки, которая любезно прочитала всю рукопись и сделала бесценные комментарии, а также Хестер Каплан, которая вдохновляла меня рассказывать истории.

Спасибо Дэну Фальку за прочтение основной части книги и за дружбу в течение десяти лет.

Огромное спасибо Филиппу Яму из *Scientific American*, оказавшему мне помощь как начинающему научному журналисту, и

всем талантливым редакторам и журналистам, пишущим о науке, с которыми мне выпало счастье работать вместе. Я навсегда в долгу перед всем коллективом журнала *New Scientist* и особенно перед Майклом Бруксом, Майклом Бондом и Валери Джемисон за то, что они боролись за меня и поддерживали меня на протяжении многих лет.

Спасибо вам, Саманта Мэрфи и Ребекка Родригес, мои лучшие подруги. Тебе, Уинстон Лоуч, за веру в меня и тебе, Джо Китч, за моральную поддержку. Спасибо, Кристина Шок Вайс, Стефани Дреснер, Кевин Керриган, Наташа Верли, Кэтрин Томкинсон. Спасибо всем моим друзьям, терпевшим и поощрявшим мое безумие на протяжении многих лет.

Моя семья, а особенно моя бабушка Уинни Гефтер, – для меня целый мир. Я хотела бы выразить мое непреходящее восхищение Уильямом Гефтером, всегда ценившему силу мысли, и мою непередаваемую любовь к Гарри и Мэрион Бергельсонам, которых больше нет со мной, но которые воспитали меня.

Это путешествие никогда бы не сдвинулось с мертвой точки без неизменной поддержки моей мамы Марлен Гефтер. Она и мой брат, Брайан Гефтер, были моим вдохновением и моими лучшими друзьями – за то, что они вынесли многочасовые разговоры о физике за обеденным столом, они определенно заслуживают награды.

Наконец, посылаю лучи благодарности в Хунаньский ресторан в городе Ардморе штата Пенсильвания, откуда началось мое космическое приключение. Я никогда не забуду курицу с кешью.

Глоссарий

[57]

Аномально низкая мощность квадрупольной составляющей реликтового излучения – отсутствие температурных флуктуаций на масштабе больше, чем 60 градусов в космическом микроволновом фоне.

Антидеситтеровское пространство (AdS) – пространство, в котором космологическая постоянная общей теории относительности отрицательна. Из-за этого кривизна в каждой точке отрицательна, и поэтому свет может уходить на бесконечное расстояние от наблюдателя и возвращаться к нему за конечное время. В результате в AdS-пространстве световые конусы всех наблюдателей перекрываются, так что каждый из них видит одну и ту же вселенную.

Античастицы – частицы с одинаковой массой, но с противоположными зарядами, или, что то же самое, одинаковые частицы, движущиеся в противоположных направлениях во времени.

Антропный принцип – казалось бы, тавтологическое заявление о том, что особенности нашей Вселенной должны быть совместимы с нашим биологическим существованием. Почему? Возможно, мы живем в мультивселенной, в которой свойства изменяются от одной вселенной к другой, и неудивительно, что мы живем именно в той из них, в которой мы можем жить. Или, возможно, как предполагал Джон Уилер, наблюдатели играют ключевую роль в создании Вселенной, которая создает их самих.

Барион – элементарная частица, состоящая из трех кварков, в том числе нейтрон и протон атомного ядра.

Бозон – переносящая взаимодействие частица с целым спином. Примерами бозонов служат фотон, который переносит электромагнитное взаимодействие и имеет спин 1, и гравитон, который переносит гравитационное взаимодействие и имеет спин 2.

Большой взрыв – предполагаемое рождение Вселенной из очень плотного и горячего состояния, после чего она стала остывать и расширяться. И в самом деле, все на это указывает.

Бритва Оккама – философский критерий, согласно которому из множества эмпирически эквивалентных альтернатив ближе других к истине оказывается обычно простейшая из теорий.

Бытие из бита – выражение Уилера, в котором кратко формулируется его концепция, что существование всякого физического объекта, его бытие, определяется в конечном счете информацией, его описывающей, – «битами».

Виртуальная частица – частица, которая рождается из вакуума в паре с античастицей. Время и энергия связаны соотношением квантовой неопределенности, поэтому чем меньше неопределенность во времени, тем больше неопределенность в энергии. Это означает, что на очень короткий промежуток времени может спонтанно образоваться довольно большое количество энергии, которая в соответствии с формулой $E = mc^2$ обладает также определенной массой. Масса – это значит какая-то частица. Возникнуть такая частица может только в паре, вместе с античастицей, и, так как энергия им одолжена лишь на короткое время, жить им недолго, откуда и название «виртуальные»: они быстро аннигилируют друг с другом и исчезают, если частицу и античастицу не разделит за время их существования горизонт событий. В таком случае виртуальная частица становится реальной – это явление известно как излучение Хокинга.

Волновая функция: в ней закодировано все, что можно знать о квантовом состоянии системы – в частности, распределение вероятностей исходов любых квантовых экспериментов.

Вселенная: «мы должны быть готовы к вопросу о самом значении термина „Вселенная“» (Джон Арчибальд Уилер).

Гильбертово пространство – хорошо математически определенное векторное пространство квантовых состояний.

Глобальное описание – отчет о реальности, учитывающий столько причинных световых конусов, сколько никакой одиночный наблюдатель не мог бы когда-либо увидеть.

Голографический принцип. Вся информация, необходимая для физического описания данной области пространства-времени, может быть закодирована на границе этой области меньшей размерности. Или, что эквивалентно, общая сумма информации, которая может уместиться в заданной области пространства-времени, не превосходит четверти площади ее границы, выраженной в планковских единицах.

Горизонт Риндлера – горизонт событий, возникающий для ускоренного наблюдателя. Пока наблюдатель движется с ускорением, свет из некоторых областей Вселенной никогда не сможет достичь его. В итоге часть Вселенной останется для него темной и причинно недоступной, как черная дыра.

Горизонт событий – поверхность в пространстве-времени, которую не может пересечь световой конус. Горизонты событий делят пространство-время на области, причинно не связанные друг с другом.

Декогеренция – процесс, в результате которого из-за взаимодействия с окружающей средой разрушается суперпозиция квантовых состояний (и связанная с ней интерференционная картина). Он объясняет, почему мы вряд ли когда-нибудь увидим одновременно и мертвого и живого кота.

Деситтеровский горизонт. Деситтеровская вселенная расширяется с ускорением. Свет может проходить не более чем конечное расстояние даже за бесконечное время, потому что в то время как свет проходит любое расстояние, это расстояние само по себе вырастает. Для любого инерциального наблюдателя существуют области Вселенной, свет от которых никогда не сможет его достичь. Горизонт событий, отделяющий доступную часть Вселенной от ее

темной части, это и есть деситтеровский горизонт. Он зависит от положения наблюдателя и потому не может быть инвариантным при переходе от одного наблюдателя к другому.

Деситтеровское пространство – пространство-время, описываемое уравнениями общей теории относительности Эйнштейна с положительной космологической константой. Отрицательное внутреннее давление вакуума вызывает ускоренное расширение Вселенной и сокращение плотности вещества в ней. В таком пространстве каждый наблюдатель окружен собственным горизонтом событий, поэтому в нем не может быть двух наблюдателей, которые видели бы одну и ту же вселенную.

Диффеоморфное преобразование – метод, благодаря которому можно совместить две, казалось бы, несовместимые точки зрения путем введения дополнительной силы – например, гравитации. Так, совместить кривую линию с прямой можно, искривив лист бумаги. Это ключевой момент общей теории относительности и пример калибровочного преобразования.

Друг Вигнера – появляется в мысленном эксперименте Эйгена (Юджина) Вигнера, в котором он измеряет состояние атома в лаборатории, редуцируя его квантовую волновую функцию из множества вероятностей к одной реальности. Сам Вигнер в это время находится вне лаборатории, так что с его точки зрения никакой редукции волновой функции не было. Напротив: возникло запутанное состояние суперпозиции волновых функций атома и друга Вигнера. Возникает парадокс: кто прав? был ли коллапс волновой функции?

Дуальность – математически определяемое взаимно однозначное соответствие между двумя радикально различными физическими описаниями.

Зависимый от наблюдателя – так говорят о том, что изменяется при рассмотрении из разных систем отсчета.

Запутанность – разновидность суперпозиции квантовых состояний, при которой две системы описаны с помощью одной волновой функции, так что информация о системе не содержится ни в одной из систем в отдельности, а закодирована в их корреляции, которая сохраняется, несмотря на расстояние, разделяющее системы.

Излучение Унру – облако высокоэнергетических «горячих» частиц, известных также как частицы Риндлера. Они существуют только для ускоренного наблюдателя. Частицы образуются вблизи горизонта Риндлера примерно так же, как хокинговское излучение – вблизи горизонта черной дыры.

Излучение Хокинга – в ситуации, когда имеется горизонт событий, наблюдатели больше не смогут прийти к единому мнению, является ли пространство пустым или заполнено частицами. Эти зависящие от наблюдателя частицы называются излучением Хокинга.

Изоморфизм – взаимно однозначное соответствие. Например, информация, размазанная по поверхности двумерной голограммы, изоморфна трехмерному изображению объекта, закодированному в ней.

Инвариантность – одинаковость. Свойство является инвариантным, если оно не изменяется от одной системы отсчета к другой.

Инерциальный наблюдатель – наблюдатель, движущийся равномерно и прямолинейно. В книге фигурирует под именем Скруд. Оказавшись вблизи черной дыры, проваливается в нее.

Интерференционная картина – статический узор, возникающий при наложении волн. В тех точках, где их фазы совпадают, амплитуды волн складываются и интенсивность максимальна, а в тех точках, где фазы волн противоположны, амплитуды вычитаются и интенсивности минимальны.

Инфлатонное поле – гипотетическое скалярное поле, которое существовало в первые доли секунды после Большого взрыва.

Считается, что инфлатонное поле рождается из ложного вакуума, распад которого вызывает расширение Вселенной со сверхсветовой скоростью.

Инфляция – расширение Вселенной со скоростью, превышающей скорость света. Возможно, имела место в течение первой одной триллионной доли секунды после Большого взрыва.

Калибровка – фаза или система отсчета.

Калибровочная симметрия – все калибровки или системы отсчета равноправны. Ни одна из них не предлагает более правдивую версию реальности, чем любая другая.

Калибровочное взаимодействие – взаимодействие, возникающее как компенсация несоответствия в описаниях одного и того же состояния в двух разных системах отсчета. Так, наличие электромагнитного взаимодействия, например, позволяет нам не перепутать два описания одного и того же электрона в разных системах отсчета, различающиеся фазой, и два разных электрона.

Калибровочный бозон – частица с целым спином, переносящая калибровочное взаимодействие.

Квантовая гравитация – спасительная окончательная теория, которая объединит все другие теории фундаментальных взаимодействий: и эйнштейновскую теорию гравитации, и общую теорию относительности, и квантовую теорию поля.

Квантовая космология – теория происхождения и эволюции Вселенной, которая учитывает ее принципиально квантовую природу. Проблема измерения приобретает для квантовой космологии особо острую форму, так как для Вселенной не может быть никакого «снаружи» по определению и, стало быть, негде устанавливать измерительный прибор.

Квантовая хромодинамика (КХД) – теория, которая описывает, как глюоны «склеивают» кварки друг с другом силами сильного ядерного взаимодействия.

Кварк-глюонная плазма – раскаленная плазма, состоящая из свободных кварков и глюонов. Она заполняла Вселенную на ранних этапах ее эволюции.

Коммутативность: если $A \times B = B \times A$, то A и B коммутируют. Если $A \times B$ не равно $B \times A$, то они не коммутируют. Коммутационные соотношения говорят вам, насколько важен порядок действий. Квантовая неопределенность, например, говорит вам, что в рамках одной системы отсчета важно, измеряете ли вы сначала положение частицы в пространстве, а затем ее импульс, или сначала импульс, а затем положение в пространстве, потому что наиболее точно можно измерить то свойство частицы, которое измеряется первым. Точность измерения второго свойства будет зависеть от точности измерения первого.

Корпускулярно-волновой дуализм: всякая частица – одновременно с этим волна. Когда вы проводите измерение, она – всегда частица. Но она выглядит как волна в квантовой интерференции, обнаруживающей разницу фаз. Фаза может быть только у волны, так что частица должна быть волной. Но опять: фаза не является внутренним свойством частицы – она зависит от системы отсчета, в которой рассматривается частица.

Космический микроволновый фон – реликтовое излучение, оставшееся от Большого взрыва, состоящее из фотонов, чьи длины волн в процессе расширения Вселенной были растянуты до микроволновой области. Спектр реликтового излучения соответствует температуре 2,7 кельвина.

Космологическая константа – первоначально была введена Эйнштейном как постоянный член в уравнении общей теории относительности для того, чтобы в теории были стационарные решения. Со временем выяснился ее физический смысл: она дает

значение плотности внутренней энергии вакуума. Если ее значение положительно, в вакууме действует расталкивающая сила, заставляющая пространство расширяться с ускорением. Если ее значение отрицательно, вакуум стягивает пространство в каждой его точке.

Красное смещение – растяжение длины волны фотона и соответствующее снижение его частоты и энергии. Красное смещение может возникать из-за эффекта Доплера, когда источник фотонов удаляется от наблюдателя. Так, например, галактики удаляются от нас благодаря расширению Вселенной^[58]. Красное смещение также может возникать из-за расширения пространства или в гравитационном поле, через которое распространяется свет от источника к наблюдателю.

Ландшафт (теории струн) – набор из 10^{500} вакуумных состояний, описываемых в теории струн, полученных различными способами, с помощью которых можно компактифицировать дополнительные пространственные измерения. Каждому вакууму соответствует своя вселенная со своими локальными законами физики и собственным значением космологической константы.

Ложный вакуум – состояние, сохраняющее стабильность в течение некоторого времени, но не соответствующее самому низкому значению энергии. По прошествии некоторого времени оно обязательно распадается в более низкое энергетическое состояние.

Локальный – в пределах одного светового конуса, доступного для одного наблюдателя.

Лоренц-преобразование – переход от одной инерциальной системы координат к другой, при котором обеспечивается инвариантность пространственно-временного интервала. При этом часть пространства в одной системе преобразуется во время в другой. Это ключевой инструмент специальной теории относительности, необходимый, чтобы гарантировать неизменность скорости света во всех системах отсчета.

Лоренц-инвариантность – симметрия, обеспечивающая эквивалентность всех инерциальных систем отсчета, каждая из которых движется по отношению к любой другой прямолинейно и равномерно.

М-теория – кандидат на роль волшебной палочки в теории квантовой гравитации; общая теория, для которой пять версий теории струн и одиннадцатимерная супергравитация – всего лишь тени. Она описывает такие объекты, как частицы, струны и браны, но никто из них не является ее фундаментальным ингредиентом. На самом деле, неясно, имеет ли *М-теория* какие-либо фундаментальные ингредиенты вообще.

Математическая структура – множество изоморфных элементов или эквивалентных представлений числа.

Мировая линия – след наблюдателя в пространстве-времени.

Многообразие – расширение понятия пространства: в окрестности любой своей точки многообразие почти не отличается от плоского евклидова пространства, но в целом оно может быть изогнуто и замкнуто на себя. Основное правило общей теории относительности: чтобы заставить кривую линию совпасть с прямой, согните лист бумаги. Бумага – это, в данном случае, и есть многообразие.

Мультивселенная – глобальная коллекция причинно не связанных друг с другом вселенных.

Наблюдатель – система отсчета, или, скорее, тело отсчета, с пространственными ограничениями, возникающими вследствие конечности скорости света.

Небулева логика – логическая система, отрицающая логическую двузначность (истинно и ложно), как правило, отменяющая закон исключенного среднего и допускающая значения, которые и истинны и ложны одновременно.

Недоопределенность (недодетерминация) – возникает, когда имеется несколько в равной степени состоятельных теоретических объяснений, и у нас нет способа решить, какова же истинная реальность, лежащая в основе явления. Структурный реализм позволяет решить эту проблему, так как теоретические альтернативы обычно используют одну и ту же математическую структуру, оставив только одну познаваемую истинную реальность.

Неевклидова геометрия – геометрия, описываемая системой аксиом, из которой исключена пятая аксиома Евклида о параллельных. Эта аксиома гласит, что параллельные линии никогда не пересекаются. Геометрия искривленного пространства-времени общей теории относительности неевклидова.

Общая теория относительности – главное творение Эйнштейна, в котором полностью уравниваются инерциальные и ускоренные наблюдатели. Согласно этой теории, гравитация – это эффект искривления пространства-времени, компенсирующего различие систем отсчета, чтобы мы по ошибке не приняли разные описания реальности за разные реальности.

Онтология – то, что существует; основа реальности.

Перманентная (хаотическая) инфляция. Согласно теории инфляции, эволюция Вселенной началась с состояния ложного вакуума, который затем распадается, но в силу принципа неопределенности он распадается не везде одновременно. Когда вакуум распался в одной области пространства, эта область расширяется со скоростью, превосходящей скорость света, образуя во Вселенной пузырь, причинно изолированный от исходного вакуума. Оставшиеся части вакуума также распадаются, образуя другие пузыри. Однако ложный вакуум растет быстрее, чем распадается, поэтому всегда остаются области ложного вакуума и новые пузыри не прекращают образовываться. Любая мыслимая теория инфляции описывает развитие и образование бесконечной мультивселенной по этому сценарию.

Писец – гипотетический наблюдатель, придуманный Леонардом Сасскиндом, который живет во фридмановом пространстве, образовавшемся в процессе инфляции после серии распадов вакуума. Световой конус Писца будет продолжать расти вечно, позволяя ему измерить и описать, в принципе, любую область Вселенной – за исключением самого себя.

Планковский масштаб – масштаб невероятно малых длин (порядка 10^{-33} см) или, что то же самое, невероятно высоких энергий (порядка 10^{19} ГэВ). На этом масштабе квантовые эффекты становятся существенны для пространства-времени. Попытка добиться большего разрешения требует таких высоких энергий, при которых пространство-время разрушается и происходит его коллапс в черную дыру, поэтому планковский масштаб – это граница, за которой пространство-время теряет смысл.

Подход «сверху вниз» в космологии. Стивен Хокинг и Томас Хертог предложили теоретическую концепцию, согласно которой космологические наблюдения, проводимые сегодня, формируют прошлое Вселенной, выбирая его из суперпозиции всех ее возможных квантовых состояний. Фактически, это эксперимент с отложенным выбором Уилера на самом грандиозном масштабе: наблюдатели в настоящее время создают космическую историю длиной в 13,7 млрд лет.

Предложение – осмысленная фраза, содержащая некое утверждение или декларацию, которые могут быть либо истинными, либо ложными. Например: «Земля круглая» или « $2 + 3 = 7$ ».

Принцип дополнительности для черных дыр (обобщенный принцип дополнительности Сасскинда): Вселенную можно описать либо с точки зрения наблюдателя, находящегося над горизонтом событий, либо под ним, но никогда – с обеих точек зрения сразу.

Принцип неопределенности. Чем большей точности вы достигаете при измерении одного из пары сопряженных параметров, такого как импульс или энергия, тем меньшая точность доступна вам в измерении

другого, такого как координата или время. Принцип неопределенности отражает некоммутативность соответствующих квантовых операторов: порядок, в котором производится измерение, имеет значение. Это говорит о том, что квантовые свойства радикальным образом зависят от наблюдателя.

Принцип общей ковариантности – ключевой принцип теории Эйнштейна, заключающийся в том, что не существует выделенного способа разделить пространство-время на пространство и время: фундаментальные законы физики остаются неизменными, независимо от способа разделения. В мире, в котором существуют ускоренные и инерциальные системы отсчета, сохранение принципа общей ковариантности требует диффеоморфных преобразований.

Принцип эквивалентности – одна из самых удачных идей Эйнштейна: не существует никакого различия между ускоренной системой отсчета без силы тяжести и инерциальной системой отсчета с гравитацией. Другими словами, гравитация в конечном счете не реальна – это калибровочная сила, которая устраняет несоответствие между реальностью, данной нам в ощущении в инерциальной системе, и реальностью ускоренной системы.

Причинный бриллиант – ограниченная область Вселенной, содержащая внутри все мировые точки, с которыми у данного наблюдателя возможны причинно-следственные связи. По форме она напоминает бриллиант и образуется пересечением двух световых конусов: один ограничивает все доступное наблюдателю будущее для начальной точки его мировой линии, а другой ограничивает все возможное наблюдателю прошлое для конечной точки его мировой линии.

Проблема измерения (в квантовой механике) – до измерения квантовая система находится во многих состояниях одновременно, что подтверждается явлением интерференции. Однако при измерении она обнаруживается только в одном из своих состояний. Что значит сделать измерения? Почему наши измерения влияют на реальность?

Проблема меры (в теории перманентной инфляции) – в бесконечной мультивселенной, возникающей в процессе перманентной инфляции, все, что может когда-либо произойти, происходит бесконечное число раз. Вычисление вероятности какого-либо события становится невозможным, так как все вероятности равны бесконечности, поделенной на бесконечность.

Пуанкаре-инвариантность – симметрия, которая обеспечивает эквивалентность всех инерциальных систем отсчета: движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга, повернутых относительно друг друга или имеющих разные мировые точки своим началом. Это группа симметрии пространства-времени Минковского – плоского, свободного от гравитации пространства-времени специальной теории относительности Эйнштейна. Элементарные частицы инвариантны только в Пуанкаре-инвариантном пространстве-времени.

Реляционная квантовая механика – интерпретация квантовой механики, предложенная Карло Ровелли, которая подчеркивает зависимость квантовых измерений от наблюдателя.

Сверхновая – взорвавшаяся звезда.

Световой конус – область пространства-времени, охватывающая все, с чем данный наблюдатель может иметь причинно-следственную связь. Если что-то находится в области светового конуса прошлого, вы можете это увидеть. Если это за пределами вашего светового конуса прошлого, вы не можете этого увидеть – не прошло еще достаточно времени с момента происхождения Вселенной, чтобы свет от далекого источника достиг вас. Если что-то лежит внутри светового конуса вашего будущего, то ваши действия могут повлиять на это. Если это за пределами светового конуса вашего будущего, то это навсегда останется вне досягаемости.

Сильный принцип дополнительности утверждает, что физика имеет смысл только в рамках системы отсчета одного наблюдателя. С точки

зрения квантовой механики это означает, что каждый наблюдатель живет в его (или ее) собственном гильбертовом пространстве.

Симметрия – одинаковость. Симметрии системы гарантируют, что определенные свойства системы остаются инвариантными при преобразовании симметрии.

Сингулярность – место, в окрестности которого неограниченно растет кривизна пространства-времени и поэтому перестают работать законы общей теории относительности, а вместе с этим теряют смысл понятия пространства и времени вообще.

Солипсизм – философия, построенная на убеждении, что никаких других сознательных существ, кроме меня, во Вселенной нет, и я единственный наблюдатель, который когда-либо будет читать это предложение.

Сохраняемые величины – величины, инвариантность которых гарантируется законами физики. Все эксперименты показывают, что во Вселенной не существует ненулевых сохраняющихся величин.

Специальная теория относительности – теория Эйнштейна, которая ставит все инерциальные системы отсчета в равное положение, сохраняя скорость света инвариантной во всех системах отсчета, но позволяя пространственным длинам и временным интервалам изменяться при переходе из одной системы отсчета к другой, так что то, что один наблюдатель воспринимает как время, другой может воспринимать как пространство. При этом четырехмерные пространственно-временные интервалы остаются инвариантными.

Стрела времени – представление о предпочтительном направлении во времени, а именно – вперед.

Структурный реализм (онтический) – философская предпосылка, смысл которой в том, что исходной сущностью, из которой строится мир, надо считать не вещь, а математическое отношение или структуру.

Супергравитация – теория, которая объединяет общую теорию относительности с суперсимметрией. Поскольку суперсимметричные преобразования локальны и то, что выглядит как бозон в одной системе отсчета, может выглядеть как фермион в другой, требуется калибровочная сила для компенсации рассогласования между системами отсчета. Таким калибровочным взаимодействием является гравитация.

Суперпозиция – явление, связанное со способностью квантовой системы находиться одновременно в нескольких взаимоисключающих квантовых состояниях, вроде шрёдингеровского кота, который и жив и мертв в одно и то же время. Мы не можем измерить квантовую систему, пока она находится в суперпозиции – при измерении суперпозиция сразу исчезает. Тем не менее у нас есть проявление суперпозиции в виде интерференционной картины. Суперпозиции отражают небулеву логику квантовой теории.

Суперсимметрия – теория, согласно которой бозоны и фермионы – это разные представления одного и того же универсального объекта. Отсюда следует, что всякий известный бозон – это какой-то известный фермион, только замаскированный, и наоборот; в результате число элементарных частиц должно уменьшиться вдвое. Но на деле это не так. Вместо этого у всех известных бозонов появляется в качестве партнера какой-то неизвестный фермион, и наоборот, то есть количество элементарных частиц удваивается, причем половина из них никогда еще не наблюдалась. С другой стороны, суперсимметрия элегантно сокращает число семейств частиц до одного и при локальной симметрии объединяет гравитацию с другими известными взаимодействиями. Иногда бритва Оккама режет в обоих направлениях.

Темная материя – гипотетическая форма материи, не участвующая ни в электромагнитных, ни в сильных ядерных взаимодействиях, но ее гравитационное поле, по мнению ученых, не дает разлетаться звездам в галактике.

Темная энергия – непознанная причина ускоренного расширения Вселенной. Наиболее вероятный подозреваемый – эйнштейновская

космологическая константа.

Теорема Гёделя о неполноте утверждает, что если математическая система аксиом – достаточно сложная, чтобы, по крайней мере, формулировать утверждения о себе самой – непротиворечива, то она не может быть полной. То есть она будет содержать утверждения, которые в рамках данной системы принципиально недоказуемы.

Теорема о запрете клонирования – неизвестное квантовое состояние не может быть скопировано.

Теория петлевой квантовой гравитации – теория квантовой гравитации, в которой пространство-время состоит из дискретных единиц площади и объема.

Теория струн – одна из версий теории квантовой гравитации, полагающая, что все разные типы элементарных частиц представляют собой колебания одной сущности: струны. Суперсимметричные струны вибрируют в девяти пространственных измерениях.

Ускорение – скорость, с которой вектор скорости меняется во времени.

Ускоренный наблюдатель – наблюдатель, чьи скорость или направление движения претерпевают изменение. Встречается в книге под условным именем Сэйф. Ему не грозит падение в черную дыру.

Фаза – параметр, указывающий мгновенное состояние данного волнового процесса относительно данного наблюдателя. Фаза – это вовсе не какое-то внутреннее свойство волны, она зависит и от системы отсчета, от точки, в которой рассматривается волна.

Фермион – элементарная частица с полуцелым спином. Самый известный пример фермиона – электрон, спин которого $1/2$.

Фиктивная сила – сила, возникающая вследствие определенного выбора состояния наблюдателя. Все четыре фундаментальные

взаимодействия, существующие в природе, – гравитация, электромагнетизм, сильные и слабые ядерные силы – переносятся калибровочными полями, поэтому возникающие в результате силы являются фиктивными.

Фридманово пространство (пространство с метрикой Фридмана – Робертсона – Уокера, или, сокращенно, FRW-метрикой) – простая модель однородной расширяющейся или сужающейся вселенной.

Хиггсовский бозон – элементарное возбуждение хиггсовского поля.

Хиггсовское поле – всепроникающее поле, благодаря которому левоспиральные частицы симметричны правоспиральным. В результате и те, и другие могут иметь массу без нарушения калибровочной инвариантности.

Черная дыра – область пространства-времени, где настолько сильна гравитация, что даже свет не может выбраться из нее.

Черные дыры: парадокс потери информации. Что происходит с информацией внутри черной дыры, испаряющейся вследствие хокинговского излучения? Если информации удастся оттуда выскользнуть, то теория относительности Эйнштейна неверна. Если информация не может избежать разрушения, то неверна квантовая механика. Но ни теория относительности, ни квантовая механика не должны оказаться ошибочными.

Эксперимент с двойной щелью – классический эксперимент, иллюстрирующий особенности квантового поведения частиц. В эксперименте частицы направляются на экран с двумя узкими параллельными щелями. За экраном расположена фотографическая пластинка для регистрации частиц. Когда обе щели открыты, на фотопластинке возникает интерференционная картина из чередующихся темных и светлых полос, характерная для налагающихся друг на друга волн. Даже в случае одиночных фотонов, проходящих через экран один за другим со значительной задержкой, возникает такая же интерференционная картина – факт удивительный, указывающий на

то, что отдельные фотоны проходят через обе щели одновременно. Но если для регистрации фотонов в одной из щелей устанавливается детектор, то фотон будет проходить только через одну щель, и интерференционная картина исчезает.

Эксперимент с отложенным выбором – предложенная Уилером версия эксперимента с двойной щелью, в котором наблюдатель принимает решение либо измерить интерференционную картину, возникающую при прохождении частицы через обе щели, либо измерить траекторию, по которой проходит частица, и тем самым нарушить интерференцию уже после того, как частица, предположительно, прошла либо через обе щели, либо через одну. Другими словами, выбор наблюдателя определяет историю Вселенной после того, как она уже произошла.

Элементарная частица – неприводимое представление группы симметрии Пуанкаре. Это определение имеет значение лишь в таком пространстве-времени, которое инвариантно относительно движений этой группы, то есть в плоском пространстве-времени без гравитации. В присутствии гравитации не существует независимого от наблюдателя определения элементарной частицы. И в любом случае она, однозначно, совсем не похожа на крошечный шарик.

Энтропия – мера информации, требуемой, чтобы в деталях описать физическую систему.

Эпистемология – наука о познании: о том, что познаваемо и как, и о том, что непознаваемо и почему.

ЭПР – мысленный эксперимент, придуманный Эйнштейном, Борисом Подольским и Натаном Розеном в попытке доказать, что квантовая теория как описание реальности неполна. Если какие-то параметры двух физических систем – скажем, спины двух частиц – коррелированы, то при измерении параметров одной системы должны быть немедленно определены параметры другой, как бы далеко они ни находились друг от друга. Авторы эксперимента считали, что поскольку теория относительности запрещает мгновенные действия на

расстоянии, то должны существовать так называемые скрытые параметры квантовых состояний, которые определяют свойства в любой момент времени, даже до измерения. Теорема Белла впоследствии доказала ошибочность такой интерпретации, а реляционная интерпретация квантовой механики Карло Ровелли устранила ЭПР-парадокс, показав зависимость результатов квантовых измерений от наблюдателя.

AdS/CFT-соответствие. В 1997 г. Хуан Малдасена обнаружил, что теория струн (с гравитацией) в антидеситтеровском пространстве с пятью протяженными и пятью компактифицированными измерениями на своей четырехмерной границе точно эквивалентна конформной теории поля (без гравитации). То, что представлено струнами с одной стороны эквивалентности, с другой выглядит частицами; то, что представляется пятью протяженными измерениями с одной стороны, с другой выглядит как четыре. Поэтому ни одно из этих описаний не более реально, чем другое. Открытие этого соответствия привнесло неясности в природу реальности и было первым убедительным примером голографического принципа в действии.

D-брана – мембрана, которая с одной точки зрения выглядит как область пространства, где могут находиться концы открытых струн, а с другой точки зрения она выглядит как объект, который может перемещать или образовывать черные дыры.

dS/CFT-соответствие – гипотетический аналог AdS/CFT-соответствия для деситтеровского пространства, предполагающий, что физика нашей деситтеровской Вселенной дуальна к конформной квантовой теории поля на двухмерной границе Вселенной. Такая формулировка, однако, описывает глобальную Вселенную, к которой ни один наблюдатель никогда не может получить доступ, так как любой наблюдатель в деситтеровском пространстве живет в области, ограниченной горизонтом событий.

H-состояние – бесконечное, неограниченное, однородное состояние. Известно также как ничто.

S-дуальность – соответствие двух разных теорий струн, демонстрирующее, что режим сильной связи для одной в точности совпадает с режимом слабой связи для другой. Таким образом, то, что выглядело поначалу двумя очень разными теориями струн, оборачивается в действительности двумя вариантами одной и той же теории: *M*-теории.

S-матрица – метод расчета вероятностей различных исходов взаимодействия частиц, который требует от наблюдателя находиться за пределами пространственно-временной области рассматриваемого взаимодействия.

T-дуальность – дуальность в теории струн, которая приравнивает пространство радиусом R пространству радиусом $1/R$, большое маленькому. Это вытекает из странной роли геометрии в теории струн.

WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) – космический телескоп, позволяющий получить карту колебания температуры космического микроволнового радиационного фона.

Литература, использованная автором (в порядке цитирования)

Глава 1. За окончательной реальностью без приглашения

Overbye D. Peering Through the Gates of Time // *New York Times*. 2002. March 12.

Heidegger M. The Quest for Being // *Existentialism from Dostoevsky to Sartre* / ed. W. Kauffman. N. Y.: Meridian, 1956. P. 245.

Genz H. *Nothingness: The Science of Empty Space*. Cambridge, MA: Perseus, 1999. P. 5.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, N. Y.: AIP Press, 1996. P. 24–26.

Wheeler J. A. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam*. N. Y.: W. W. Norton, 1998. P. 340–341.

Davies P. John Archibald Wheeler and the Clash of Ideas // *Science and Ultimate Reality* / eds. J. D. Barrow, P. Davies, C. Harper, Jr. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. P. 10.

Глава 2. Идеальное алиби

Smolin L. *Four Roads to Quantum Gravity*. N. Y.: Basic Books, 2001. P. 17.

Bohr N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Physical Review*. 1935, October 15. Vol. 48. P. 697.

Feynman R. *The Feynman Lectures on Physics*. N. Y.: Basic Books, 1965. Vol. 3. P. 18–19.

Глава 3. Улыбнитесь!

Overbye D. Cosmos Sits for Early Portrait, Gives Up Secrets // *New York Times*. 2003, February 12. P. A34.

WMAP Results // NASA press release 03–064. 2003, February 11.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 38.

Brooks M. Life's a Sim and Then You're Deleted // *New Scientist*. 2002, July 27. P. 48.

Глава 4. Отложенный выбор

Barrow J. «Glitch!» // *New Scientist*. 2003, June 7. P. 44.

Einstein A. Autobiographical Notes // *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* / ed. P. A. Schilpp. Evanston, IL: Library of Living Philosophers, 1949 (ser.: Library of Living Philosophers, 7).

Wilczek F., Devine B. *Longing for the Harmonies*. N. Y.: W. W. Norton, 1987. P. 275.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 24–26, 27, 45, 306, 282–83.

Wheeler J. A. Time Today // *Physical Origins of Time Asymmetry* / eds. J. J. Halliwell, J. Pérez-Mercader, W. H. Zurek. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994. P. 19.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 42, 309–310.

Глава 5. Крысы Шрёдингера

Worrall J. Structural Realism: The Best of Both Worlds? // *Dialectica*. 1989. Vol. 43, no. 1–2. P. 99–124.

Poincaré H. *Science and Hypothesis*. N. Y.: Dover, 1952. P. 162.

Глава 6. Фиктивные силы

Born M. Physical Reality // *Philosophical Quarterly*. 1953. Vol. 11, no. 3. P. 139–149.

Einstein A. Fundamental Ideas and Methods of the Theory of Relativity, Presented in Their Development (1920) // *Collected Papers of Albert*

Einstein. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002. Vol. 7. Doc. 31.

Einstein A. Autobiographical Notes // *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* / ed. P. A. Schilpp. Evanston, IL: Library of Living Philosophers, 1949 (ser.: Library of Living Philosophers, 7).

Albert Einstein letter to Raymond Benenson, January 31, 1946. Albert Einstein Archives, Hebrew University of Jerusalem.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 24–26.

Глава 7. Как разрезать мир на части

Wheeler J. A. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam*. N. Y.: W. W. Norton, 1998. P. 314.

Einstein A. On the Method of Theoretical Physics (the Herbert Spencer lecture delivered at Oxford University, June 10, 1933; trans. Don A. Howard) // *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* / ed. E. N. Zalta. plato.stanford.edu/archives/sum2010/entries/einstein-philsience.

Bousso R. Adventures in de Sitter Space // *The Future of Theoretical Physics and Cosmology: Celebrating Stephen Hawking's 60th Birthday* / eds. G. W. Gibbons, E. P. S. Shellard, S. J. Rankin. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. P. 545.

Глава 8. Как творить историю

Witten E. Reflections on the Fate of Spacetime // *Physics Today*. 1996 (April). P. 24–30.

Susskind L. *The Cosmic Landscape*. N. Y.: Little Brown, 2005. P. 336.

Weinberg S. Living in the Multiverse // *Universe or Multiverse?* / ed. B. Carr. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. P. 39.

Schönborn C. Finding Design in Nature // *New York Times*. 2005, July 7. P. A23.

Weinberg S. *Living in the Multiverse...* P. 40.

Borges J. L. Covered Mirrors // *Collected Fictions*. N. Y.: Viking, 1998. P. 297.

Hawking S., Hertog T. Populating the Landscape: A Top-Down Approach // *Physical Review*. 2006. Vol. D73. DOI: 10.1103/PhysRevD.73.123527

Hawking S. *A Brief History of Time*. N. Y.: Bantam Books, 1988. P. 141, 144.

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 126.

Глава 9. Ключ к разгадке тайны Вселенной

Wheeler J. A. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam*. N. Y.: W. W. Norton, 1998. P. 20.

Byrd D. At Home in the Universe // *Alcade*. 1978, Jan./Feb. P. 30.

Глава 10. Очередная тоска про Алису в стране чудес

Susskind L. *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics*. N. Y.: Back Bay Books, 2008. P. 254.

Wheeler J. A. Quantum Theory Poses Reality's Deepest Mystery // *Science News*. 2008, May 12 [<http://plato.stanford.edu/archives/sum2010/entries/einstein-philsience>].

Carroll L. *The Annotated Hunting of the Snark* / ed. M. Gardner. N. Y.: W. W. Norton, 2006.

Heaney S. *Station Island*. N. Y.: Farrar, Straus, and Giroux, 1985. P. 92–97.

Susskind L. *The Black Hole War*... P. 440.

Глава 11. Надежда рождает пространство и время

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, NY: AIP Press, 1996. P. 292.

Wigner E. *Symmetries and Reflections*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press, 1967. P. 179.

Everett H. The Theory of the Universal Wavefunction (1955) // *The Many Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* / eds. B. DeWitt, R. N. Graham. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1973.

Wheeler J. A. Assessment of Everett's «Relative State» Formulation of Quantum Theory // *Reviews of Modern Physics*. 1957, July. Vol. 29, no. 3. P. 464.

Wheeler. *At Home in the Universe...* P. 306.

Глава 12. Этот гипотетический таинственный объект

Wigner E. *Symmetries and Reflections*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press, 1967. P. 179.

Borges J. L. *Collected Fictions*. N. Y.: Viking, 1998. P. 283–84.

Minkel J. R. Strung Out on the Universe: Interview with Raphael Bousso // *Scientific American*. 2003, April 7.

Bousso R. Cosmology and the S-Matrix // *Physical Review*. 2005. Vol. D71. 064024 [arXiv: hep-th/0412197].

Глава 13. Как разбивать стекло

Motl L. Why I Don't Quite Agree with Tom Banks on Eternal Inflation // *The Reference Frame*. 2011, October 24 [<http://motls.blogspot.com/2011/10/why-i-dont-quite-agree-with-tom-banks.html>].

Глава 14. Неполнота

Almheiri A., Marolf D., Polchinski J. et al. Black Holes: Complementarity or Firewalls? // arXiv: hep-th/1207.31323. 2012, July 13.

Susskind L. Complementarity and Firewalls // arXiv: hep-th/1208.3445. 2012, August 16.

Susskind L. Black Hole Complementarity and the Harlow-Hayden Conjecture // arXiv: hep-th/1301.4505v1. 2013, January 18.

Глава 15. «...На поля»

Rovelli C. Relational Quantum Mechanics // *International Journal of Theoretical Physics*. 1996. Vol. 35. P. 1637 [arXiv: quant-ph/ 9609002v2].

Cartwright J. Quantum Physics Says Goodbye to Reality // *Physics World*. 2007, April 20.

Rovelli C., Smerlak M. Relational EPR // arXiv: quant-ph/ 0604064. 2006, April.

Bousso R. Cosmology and the S-Matrix // *Physical Review*. 2005. Vol. D71. 064024 [arXiv: hep-th/0412197].

Breuer T. The Impossibility of Accurate State Self-Measurements // *Philosophy of Science*. 1995, June. Vol. 62, no. 2. P. 197–214.

Bousso R. Adventures in de Sitter Space // *The Future of Theoretical Physics and Cosmology: Celebrating Stephen Hawking's 60th Birthday* / eds. G. W. Gibbons, E. P. S. Shellard, S. J. Rankin. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. P. 545.

Wilczek F., Devine B. *Longing for the Harmonies*. N. Y.: W. W. Norton, 1987. P. 275.

Nottale L. The Principle of Relativity-Emptiness (lecture given at Bodhicharyas Ringu Tulku Rinpoche Teachings at La Petite Pierre, France, 2009) [http://bodhicharya.org/wp-content/uploads/2010/09/Relativity_Emptiness_2009.pdf].

Дополнительная литература, рекомендованная автором книги

Глава 1. За окончательной реальностью без приглашения

Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology and Complexity / eds. J. Barrow, P. Davies, C. Harper. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004.

Глава 2. Идеальное алиби

Smolin L. *Three Roads to Quantum Gravity*. N. Y.: Basic Books, 2001.
Kosso P. *Appearance and Reality: An Introduction to the Philosophy of Physics*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

Глава 3. Улыбнитесь!

Ferris T. *Coming of Age in the Milky Way*. N. Y.: Harper Perennial, 1988.

Глава 4. Отложенный выбор

Wheeler J. A. *At Home in the Universe*. Woodbury, N. Y.: AIP Press, 1996.

Глава 5. Крысы Шрёдингера

Ladyman J. *Understanding Philosophy of Science*. Oxford: Routledge, 2002.

Глава 6. Фиктивные силы

Icke V. *The Force of Symmetry*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

Stenger V. *The Comprehensible Cosmos*. Buffalo: Prometheus Books, 2006.

Debs T., Redhead M. *Objectivity, Invariance, and Convention: Symmetry in Physical Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007.

Weinert F. *The Scientist as Philosopher: Philosophical Consequences of Great Scientific Discoveries*. Berlin: Springer, 2005.

Symmetries in Physics / eds. K. Brading, E. Castellani. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Schumm B. *Deep Down Things: The Breathtaking Beauty of Particle Physics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004.

Глава 7. Как разрезать мир на части

Susskind L., Lindesay J. *An Introduction to Black Holes, Information and the String Theory Revolution: The Holographic Universe*. Singapore: World Scientific, 2005.

The Future of Theoretical Physics and Cosmology / eds. G. Gibbons, P. Shellard, S. Rankin. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Hawking S. *A Brief History of Time*. N. Y.: Bantam Books, 1988.

Глава 8. Как творить историю

Greene B. *The Elegant Universe*. N. Y.: Vintage Books, 1999.

Susskind L. *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. N. Y.: Little, Brown and Co., 2005.

Davies P. *Cosmic Jackpot: Why Our Universe Is Just Right for Life*. Boston: Houghton Mifflin, 2007.

Hawking S., Mlodinow L. *The Grand Design*. N. Y.: Bantam Books, 2010.

Глава 9. Ключ к разгадке тайны Вселенной

Schlosshauer M. *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*. Berlin: Springer, 2010.

Глава 10. Очередная тоска про Алису в стране чудес

Susskind L. *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics*. N. Y.: Back Bay Books, 2008.

Глава 11. Надежда рождает пространство и время

Wheeler J. A., Ford K. *Geons, Black Holes and Quantum Foam: A Life in Physics*. N. Y.: W. W. Norton, 1998.

Nagel E., Newman J. R. *Gödel's Proof*. N. Y.: New York University Press, 2001.

Hofstadter D. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. N. Y.: Basic Books, 1979.

Wigner E. *Symmetries and Reflections: Scientific Essays*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press, 1967.

Глава 12. Этот гипотетический таинственный объект

Greene B. *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*. L.: Allen Lane, 2011.

Webb S. *Out of This World: Colliding Universes, Branes, Strings, and Other Wild Ideas of Modern Physics*. Göttingen: Copernicus Books, 2004.

Gubser S. *The Little Book of String Theory*. Princeton: Princeton University Press, 2010.

Глава 15. «...На поля»

Kolenda N., Elitzur A., Dolev S. *Quo Vadis Quantum Mechanics?*
Berlin: Springer, 2005.

notes

Примечания

Слова «вселенная», «солнце», «бог» и некоторые другие употребляются в этой книге в различных значениях. Правила русского языка требуют написания с прописной буквы только при употреблении этих слов в строго определенных значениях: например, Вселенная – космологический объект, содержащий, в частности, все то, что мы видим вокруг себя. Во всех иных значениях эти слова будут писаться со строчной. *(Здесь и далее, если не указано иное, – прим. перев.)*

За прошедшее время появился *Manhattan Magazine*, но Рик уже не имеет к нему никакого отношения. (Прим. автора.)

В связи с этим симпозиумом была издана книга, русский перевод которой увидел свет в 2013 году (см.: *Наука и предельная реальность* / пер. с англ. В. И. Мацарских, О. И. Мацарских; под ред. Л. Б. Окунь. Ижевск: РХД, 2013). В некоторых случаях переводы сложных физических и философских понятий, предложенные там, использовались и при переводе данной книги, в некоторых случаях в этой книге те же понятия переведены иначе. Так, вместо перевода «предельная реальность» здесь и дальше будет использоваться более точный – «окончательная реальность».

Алан Уотс (Alan Watts, 1915–1973) – английский мистик и писатель, популяризатор дзэн-буддизма. Книга *This Is It and Other Essays on Zen and Spiritual Experience* вышла в свет в 1960 году и целиком на русский язык не переводилась. Однако эссе, давшее книге название, переводилось и издавалось отдельно под заглавием «Это оно».

Пер. с англ. Д. Ю. Манина.

Интерактивная Вселенная – в оригинале *participatory universe*. Такой вариант перевода, предложенный переводчиками сборника «Наука и предельная реальность», представляется наиболее удачным. Уилер считал, что во Вселенной наблюдатели участвуют в ее создании. Поэтому он их назвал *participators*, в данном контексте наиболее удачным русским эквивалентом можно считать слово «акторы», которое будет использоваться далее в этом смысле.

Имеется в виду теорема общей топологии: если имеется ограниченное множество, то множество, служащее границей его границе, обязательно пусто. Однако пустое множество довольно часто называют нулевым.

Намек на цитату из знаменитой статьи Эйнштейна 1907 года «О принципе относительности и его следствиях», которая потом часто приводилась в популярной литературе: «...Для свободно падающего с крыши дома наблюдателя ... отсутствует гравитационное поле».

Рус. пер. В. А. Фока; цит. по: Бор Н. *Избранные труды*. Т. 2. М., 1970. С. 182.

Там же. С. 191.

Намек на песню американской певицы Кеши *Crazy kids*.

Рус. пер. Б. Дубина. Стихотворение «Кембридж» из цикла «Хвала
тьме» (1967).

Намек на книгу Джозефа Хеллера «Уловка-22» (1961).

Постдок – временная исследовательская позиция в американских университетах и лабораториях, наиболее доступная для ученых, недавно защитивших диссертацию.

Намек на знаменитую шутку Нильса Бора: «Эта идея, безусловно, безумна, но вопрос в том, достаточно ли она безумна, чтобы быть истинной».

Подразумевается фильм братьев (с некоторых пор – сестер) Вачовски 1999 года.

Пер. с лат. Г. Г. Майорова.

Алгокинский круглый стол – группа нью-йоркских интеллектуалов, собиравшихся с 1919 по 1929 год ежедневно во время ланча в ресторане отеля «Алгокин».

Пер. с фр. Л. С. Понтрягина.

Джулиан Барбур (*Julian Barbour*, род. 1937) – британский физик, автор многочисленных работ по теоретической физике, истории и философии науки. Один из наиболее активных современных защитников античной идеи об иллюзорности времени.

В настоящее время термин «инстанциация» чаще, чем в философии, используется в программировании, где у него есть синоним «расшаблонивание».

Рус. пер. В. Г. Суворова. Цит. по: УФН. 1957. Т. 62. № 6. С. 133–134.

Из неопубликованной рукописи Эйнштейна 1920 года.

Выражение «калибровочная сила», строго говоря, не совсем точно. Правильно было бы сказать: «сила, возникающая вследствие взаимодействия, которое передается калибровочно-инвариантным полем».

Напомним, что направление вектора вращения определяется по правилу буравчика: вектор перпендикулярен плоскости, в которой совершается вращение, и направлен в сторону наблюдателя, который видит его совершающимся против часовой стрелки.

Обычно понятием спиральности пользуются для ультрарелятивистских частиц, скорость которых либо равна (например, фотоны), либо почти равна скорости света (например, нейтрино). Левая или правая спиральность в таком случае оказывается инвариантной относительно преобразования Лоренца.

В 2012 году на Большом адронном коллайдере была зарегистрирована частица, полностью отвечающая свойствам хиггсовского бозона. (*Прим. автора.*)

Ричард Фейнман указывал на это еще до Уилера.

Автомобиль, который герои фильма «Назад в будущее» переделали в машину времени.

Строго говоря, автор здесь немного упрощает и банализирует действительность, поскольку амплитуда обычно может быть только положительной. Но даже в квантовой механике амплитуда не действительное число, а комплексное, для которого понятия «положительное» и «отрицательное» не имеют смысла. В квантовой теории поля амплитуды становятся операторами (матрицами). Суперсимметрия подразумевает инвариантность при отображении, которое ставит в соответствие матрице одного ранга матрицу другого.

Официальный пуск Большого адронного коллайдера состоялся 10 сентября 2008 года. В 2010 году начались первые эксперименты на встречных пучках протонов, тогда же были сделаны и первые попытки регистрации суперсимметричных частиц, оставшиеся безрезультатными.

Вообще говоря, отрицательные частоты не имеют физического смысла. Однако всякое периодическое возмущение может быть формально разложено в ряд Фурье, в котором будут слагаемые и с положительными, и с отрицательными частотами. Благодаря Дираку слагаемые с отрицательными частотами стало возможно интерпретировать в квантовой теории как античастицы.

От английского *Safe* – «остающийся в безопасности».

От английского *Screwed* – здесь «обреченный на гибель».

Пер. с нем. С. Г. Суворова. Цит. по: Эйнштейн А. *Собрание научных трудов*. Т. 4. М., 1967. С. 184.

Игра слов, объединяющая итальянское слово «paparazzi» для обозначения недобросовестных журналистов с именем одного из крупнейших философов двадцатого века Карла Поппера. В 1930-х годах Поппер сформулировал новый критерий научности теории в индуктивных науках: она должна допускать возможность проведения эксперимента, который ее опровергнет. Эта идея получила название «фальсификационизма».

Намек на песню Ариэля из «Бури» Шекспира:

Отец твой спит на дне морском.
Кораллом стали кости в нем.
Два перла там, где взор сиял.
Он не исчез и не пропал,
Но пышно, чудно превращен
В сокровища морские он...

(Рус. пер. А. А. Смирнова).

Имеется в виду фильм Фила Робинсона с Кевином Кестнером в главной роли. Герой фильма, фермер по имени Рэй, услышав однажды голос из кукурузы «построй его, и он придет!», строит у себя на ферме бейсбольное поле, на котором собираются на матчи призраки давно умерших бейсболистов.

От английского *sucker* – «дурачок, простофиля».

Пер. с англ. М. Г. Пухова.

Пер. с англ. Д. Ю. Манина.

Пер. с англ. Д. Ю. Манина.

Цитаты из дневников воспроизводят необычную пунктуацию Уилера.

Пер. с англ. Т. В. Барчуновой. Цит. по: Липпман У. *Общественное мнение*. М., 2004. С. 49.

Еще одна цитата, на этот раз искаженная, из «Общественного мнения» Липпмана. Полностью цитата звучит так: «Незнакомая сцена подобна миру ребенка: это „какая-то единая, цветная, жужжащая разношерстная масса“» (во внутренних кавычках цитата из «Принципов психологии» Уильяма Джемса).

Пер. с англ. Д. Ю. Манина.

В Америке температура измеряется по шкале Фаренгейта. 72° по шкале Фаренгейта соответствует примерно 22° по Цельсию.

Популярная в Америке песня, которую принято было петь хором у костра в лагерях скаутов.

Пер. с исп. Е. Лысенко. Цит. по: Борхес Х. Л. *Сочинения*. М., 1994.
Т. 1. С. 489–490.

В оригинале его зовут *Census Taker*, с отсылкой к американскому фильму 1984 года *The Census Taker*.

То есть из двух замкнутых петель невозможно сделать струну со свободными концами.

У автора тут непередаваемая по-русски игра слов: в английском языке одно и то же слово *interference* обозначает и интерференцию как физическое явление, и просто помеху.

Фильм «Пила» (2004) был внесен в книгу рекордов Гиннеса как самый кассовый фильм ужасов. Пятый, а затем и шестой сиквелы действительно были сняты, но уже после выхода в свет английского издания этой книги.

В этом рассуждении есть элемент игры, поскольку квантовая теория поля – это теория элементарных частиц и есть, а когда говорят о физике частиц, то обычно понимают экспериментальное исследование на ускорителях или других подобных установках.

Такая постановка вопроса некорректна, поскольку фотон не обладает сознанием.

Под избыточностью информации в данном контексте подразумевается тот факт, что информация, содержащаяся в части системы, может быть использована для описания другой части или системы в целом. Поэтому «избыток» и «недостаток» в данном конкретном случае не противоположности, а, скорее, разные формы одного и того же.

Трактовка большинства физических и философских понятий, собранных в данном глоссарии, заметно отличается от общепринятой. У многих современных ученых такая трактовка, возможно, вызовет удивление. Тем не менее при переводе было решено оставить формулировки, максимально приближенные к авторскому замыслу.

Правильнее сказать, что большинство галактик удаляется от нас, так как незначительная часть галактик приближается к нам.