

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. Революция во времени	9
Глава первая. Часы Уилера	26
Глава вторая. Единственная частица во Вселенной	59
Глава третья. Все дороги не в рай	106
Глава четвертая. Тайные пути призраков	145
Глава пятая. Остров и горы: наноса на карту ландшафт из частиц	169
Глава шестая. Жизнь как амeba в пенящемся море возможностей	209
Глава седьмая. Стрела времени и таинственный мистер Икс	248
Глава восьмая. Разумы, машины и космос	283
Заключение. Путь через лабиринт	320
Эпилог. Встречи с Уилером	328
Благодарности	331
Библиография	333
Примечания	337

Посвящается моим братьям,
Рику, Алану и Кену

Откуда берется время?
Недостаточно ответить шуткой
«Время – естественный способ сделать так,
чтобы все не случилось одновременно»

ДЖОН УИЛЕР «ВРЕМЯ СЕГОДНЯ»

Я подумал о лабиринте лабиринтов, о петляющем и растущем лабиринте, который охватывал бы прошедшее и грядущее и каким-то чудом вмещал всю Вселенную*.

ХОРХЕ ЛУИС БОРХЕС «САД РАСХОДЯЩИХСЯ ТРОПОК»

* Перевод Б. Дубина. (Здесь и далее – прим. перев.)

РЕВОЛЮЦИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Тигр, о тигр, светло горящий
В глубине полночной чащи,
Кем задуман огневой
Соразмерный образ твой? *

УИЛЬЯМ БЛЕЙК, «ТИГР»

В Принстоне ночь, и мы отправляемся на охоту за призраками.

Город сверхъестественно тих, магазины закрыты, холодная полная луна освещает заросший деревьями кампус.

Более чем семьдесят пять лет назад, примерно в то же время когда началась Вторая мировая, в этих местах случилась тихая революция, связанная с нашим пониманием времени. Дискуссии между двумя блестящими физиками, Ричардом Филлипсом «Диком» Фейнманом и Джоном Арчибалдом «Джонни» Уилером положили начало цепи событий, которые привели к созданию нового описания феномена времени в понятиях квантовой физики. В конечном итоге их идеи превратили древний концепт потока, неизменно текущего в одном направлении, в теорию лабиринта из альтернатив, который распространяется не только вперед, но и назад.

Заглядывая в прошлое Принстона, мы сможем увидеть, как появились на свет новые гипотезы, и понять, насколько сильно они повлияли на то, как современные ученые объясняют физическую реальность.

* Перевод С. Маршака.

Мы начнем наш путь по коридорам истории науки в Нассаухолле, старейшем здании Принстонского университета. Бронзовые тигры, по одному на каждой стороне, охраняют его главный вход, и расположены они с удивительной, устрашающей симметричностью.

Двигаясь к северу, мы проходим Фитц-Рэндольф Гейт, вход в кампус, где два могучих орла из камня дремлют на монументальных столбах. Затем мы добираемся до Нассау-стрит, главной местной «трассы», древней границы между городом и университетом.

На другой стороне улицы мы увидим нечто отличное от элитной архитектуры Принстона, ассиметричный набор зданий. На востоке будет Лоуер Пайн, чудо тюдоровского пряничного дизайна, выглядящее так, как могли выглядеть особняки Честера, Англия, в шестнадцатом веке.

И это ошеломительное зрелище.

На западе, слева, располагается ничем не украшенное здание банка. Аскетическое, прямоугольное и холодное, оно выглядит нежеланным спутником дружелюбного, изящного строения справа.

Мы пересекаем улицу и неожиданно понимаем, что вокруг нас клубится туман, а ясная ночь сгинула, уступив место дымке. Поэтому вынырнувший из прошлого Аппер Пайн, давний компаньон Лоуер Пайн, выглядит для нас словно призрак.

Он построен в то же самое время в том же стиле, и его самая заметная часть — солнечные часы, на которых красуется латинский девиз *Vulnerant omnes: ultima nekat* («Каждый час ранит, последний убивает»). Здание уничтожили в начале 1960-х, освобождая место для банка, но для наших усталых глаз оно выглядит так, словно никуда не исчезало.

Симметрия восстановлена.

Палмер-сквер, расположенный еще дальше к западу, кажется совершенно новым. Здесьние магазины появились во время перестройки тридцатых, но смотрятся так, словно открылись буквально вчера.

Новостной стенд пестрит заголовками о том, что Адольф Гитлер вторгся в Польшу — это произошло в сентябре 1939,

рекламный постер сообщает, что в кино можно посмотреть «Волшебника из страны Оз». Двадцать первый век остался где-то позади. Хотя может быть сбоку... или сверху?

ВЫПУСКНИК

После короткой прогулки мы обнаруживаем себя в Градуэйт-колледж, похожем на замок строения чуть в стороне от центра кампуса.

Это словно монастырь внутри монастыря, изолирующий тех, кому нужны покой и уединение, а именно студентов магистратуры и аспирантов. Здесь они могут жить в простых, но комфортных комнатах, обедать в главной столовой и посещать всякие развлечения вроде танцевальных вечеров и приемов.

Большая часть обитателей Градуэйт-колледжа спят, но свет горит в маленькой библиотеке, где долговязый юноша с каштановыми волосами, которому всего двадцать один год, сутулится в кресле, рот его насмешливо кривится, и взгляд скользит по страницам учебника по классической механике, что лежит у него на коленях.

Он студент магистратуры первого курса, и готовится исполнять роль ассистента преподавателя для обычных студентов. Поскольку материал ему хорошо знаком, он решил быстренько глянуть, что там дальше, за пределами курса. Он напрягается, представляя, что его неизбежно ждут горы домашних работ, которые нужно проверить, просмотреть вычисления, исправить ошибки так, чтобы они мотивировали тех, кто их сделал, развиваться и учиться лучше.

Настольная лампа в виде пирамиды освещает тот пассаж, который читает молодой магистрант, описание лобового столкновения двух тележек на лишенной трения дороге. Долговязый юноша крутит проблему в голове — если известна масса тележек и их начальная скорость, то законы физики со стопроцентной вероятностью предскажут, что произойдет дальше.

В соответствии с третьим законом Исаака Ньютона на каждое действие в подобной системе имеется противодействие равной силы, но противоположное по направлению. Это значит, что

каждая тележка воздействует на другую с той же самой силой, но вот направление этой силы будет отличаться на сто восемьдесят градусов.

Но по второму закону Ньютона сила — это изменение импульса, а импульс — скорость, умноженная на массу. Поскольку каждая тележка подвергается воздействию одинаковой силы, то импульс для них изменяется на одинаковую величину: но если в одном случае он возрастает, то в другом уменьшается.

Этот универсальный баланс именуется «законом сохранения импульса».

С идеальной симметрией тележки после столкновения будут двигаться прочь друг от друга, но что произойдет с их скоростями? Учитывая, что импульс определяется массой и скоростью, то все просто: та, что легче, будет двигаться быстрее, чем более тяжелая.

Это и есть красота классической ньютонианской физики, классической в том смысле, что она вполне очевидно соотносится с явлениями хорошо знакомой нам повседневной жизни, в то время как квантовая физика проявляет себя в основном на субатомном уровне. В обычных ситуациях мы можем предсказать, что будет дальше, с помощью сравнительно простых законов.

В учебнике есть раздел, посвященный гармоническим колебаниям: поведение струн, резиновых лент, маятников и прочих простых систем, всегда возвращающихся в равновесное состояние после того, как их растягивают, отклоняют, двигают, или другим образом из него выводят. Струны являются лучшим примером объектов подобного рода.

И точно так же как и в случае со столкновением, законы классической физики гарантируют, что колебания любой струны на сто процентов предсказуемы. Если убрать трение, то растянутая, а затем отпущенная струна вернется в первоначальное состояние.

Ко времени, когда она достигнет равновесия, она будет двигаться с максимальной скоростью, и произойдет это по той причине, что энергия струны будет переходить из одной формы в другую. Энергия, что ассоциируется с начальной позицией струны, именуемая «потенциальной», трансформируется в энергию, связанную с колебаниями и обозначаемую как «кинетическая».

Но драма на этом не заканчивается.

Струна продолжает двигаться, пока не возвращается в максимально сжатое состояние. Здесь она на мгновение замирает, и вся ее кинетическая энергия превращается в потенциальную, в этот раз связанную уже не с растяжением, а со сжатием. Потом она движется дальше, уже в другую сторону, потенциальная энергия трансформируется в кинетическую, затем наоборот, пока не будет достигнуто максимальное растяжение.

Цикл перехода энергии из потенциальной в кинетическую и обратно, и снова, и снова именуется «сохранением энергии».

Простой маятник действует по тому же принципу: он качается туда-сюда, туда-сюда, превращая потенциальную энергию в кинетическую и обратно в потенциальную. Если бы только не было трения, он мог бы так раскачиваться вечно, и механические часы в этой идеальной ситуации имели бы шансы тикать сколь угодно долго.

Это идеальный, вечный ритм, определенный метрономом закона сохранения.

Долговязый юноша начинает отбивать простую мелодию на крышке стола: тук-тук... тук-тук-тук... тук.

Это ритм.

Идея циклического времени, состоящая в том, что все повторяется, одни и те же последовательности событий происходят снова и снова, возникает при виде того, как в природе действуют законы сохранения энергии. Закрытые системы, не связанные с внешним миром, имеют тенденцию повторять один и тот же набор состояний, переходя из одного в другое и начиная снова. В случае очень сложных систем завершение цикла может требовать астрономически долгих периодов, но все же в конечном итоге такая система приходит к той точке, откуда она начинала, ведь если играть в крестики-нолики, не переставая, то рано или поздно придется повторить ход.

Природа любит циклы и круговороты.

Но есть такие типы энергии, которые невозможно полностью использовать снова, например, тепло, вырабатываемое в механизмах благодаря трению или сопротивлению воздуха. Копящиеся объемы теряемой энергии порождают «стрелу необратимости», которая указывает в будущее.

Вследствие этого, хотя некие идеальные системы продолжают жить в циклическом времени, многие физические процессы в естественном мире повинуются линейной временной схеме. И проблема «циклическое время против линейного времени» являлась предметом дискуссий для ученых более тысячелетия.

Долговязый юноша зеваает, его пальцы перестают барабанить по столу, книга падает на пол. Словно получив внутреннюю команду, он поднимается, шаркает к двери своей комнаты, и падает на кровать.

Ему нужен сон, на утро у него назначена встреча в Файн-холле с тем человеком, помощником к которому он назначен, а рассвет отметит начало его хлопот на посту ассистента...

КВАНТОВЫЕ ПРОФИЛИ

Файн-холл (ныне он именуется Джонс-холл) расположен в миле к востоку, если идти через кампус Принстона от Градуэйт-колледжа, и это короткая прогулка для энергичного молодого человека. Построенный специально для математического факультета, дом щеголяет окнами в тяжелых, древних рамах, украшенных математическими символами.

Осенью 1939 года в Файн-холле находились кабинеты нескольких физиков-теоретиков, среди них были Юджин Вигнер и Джон Уилер. До весны того года он служил домом для института перспективных исследований (ИПИ), независимого «резервуара» для мыслителей, в котором числились Альберт Эйнштейн, венгерский математик Джон фон Нейман, австрийский математик Курт Гёдель и многие другие научные знаменитости.

Для Эйнштейна, самого известного исследователя, ИПИ был чем-то вроде монастыря, где он мог без помех заниматься своими работами в области общей теории гравитации и электромагнетизма, и в то же время критиковать теории коллег в области квантовой механики: той физики, что касается поведения атомов и субатомных частиц. Постоянные возражения против квантовых «бросков кости», когда все определяется случайностью, и вера в чистый детерминизм отделяли Эйнштейна от большей части научного сообщества, он шел против основного потока.

Детерминизм в данном контексте означает, что если известны начальные параметры некоей физической системы, такой как маятник или струна, то возможно с абсолютной точностью предсказать, что случится с ней в любой момент в будущем. Эйнштейн стремился «укомплектовать» квантовую механику, исключив из вычислений любые элементы случайности.

Фон Нейман, наоборот, придерживался более продвинутого взгляда на квантовую механику, в котором детерминизм и случайность играли важную роль на разных стадиях. В своей классической работе 1932 года «Математические основы квантовой механики» он представил двухэтапную схему анализа квантовых процессов.

Перед тем, как исследователь приступит к измерениям в некоей квантовой системе, такой как электрон или атом, ее динамика выглядит текучей и предсказуемой. Но едва он щелкнет выключателем на приборе — запустит мощный магнит, например — и начнет снимать показания, в дело вступает случайность, и результат может быть одним из многих, столь же случайным, как исход броска монетки.

Почему исследователь играет такую важную роль? Почему он влияет на систему? Может некто быть только наблюдателем? Может ли наблюдатель быть частью системы?

Эти вопросы входили в сферу того, что именовали «проблемой измерений в квантовой механике».

И проблема эта выглядела на редкость коварной.

В отличие от классической механики, в квантовой невозможно получить прямой доступ ко всей информации о частице — о ее местоположении, скорости и так далее. Поэтому нужно рассматривать сущность, именуемую «волновой функцией», содержащую всю информацию о квантовом состоянии частицы.

Но волновая функция предлагает не точные значения, а некие вероятностные распределения, показывающие шансы на то, что частица проявит те или иные характеристики в процессе измерений (технически говоря, квадрат волновой функции дает распределение вероятностей). Пики демонстрируют наиболее вероятные значения, а между ними лежат те значения, шансов получить которые не так много.

В целом диаграмма распределения вероятностей имеет вид перевернутого колокола и показывает, что если вы подбросите четыре монетки, наиболее вероятной комбинацией будут две решки и два орла, в любом порядке, а наименее вероятной — четыре решки или четыре орла.

Как указывал фон Нейман, волновая функция испытывает влияние двух типологически разных квантовых процессов: непрерывное изменение, описанное волновым уравнением Шредингера, и дискретный «коллапс», происходящий, когда наблюдатель начинает делать измерения. Например, предположим, что наблюдатель проводит эксперимент, нацеленный на фиксацию точного местонахождения электрона. До начала эксперимента волновая функция электрона будет целиком и полностью повиноваться уравнению Эрвина Шредингера, и на долю вероятности не останется ничего. Но немедленно после момента измерения волновая функция неким случайным образом коллапсирует из распределения вероятности в острый пик, представляющий единственное значение, определяющее местоположение электрона.

Таким образом, первая разновидность процессов полностью детерминирована и обратима, вторая случайна и необратима. Они воплощают различные концепции времени: первый механизм соответствует циклическому времени классического маятника или струны, а второй — линейному, необратимому времени изнашивающейся машины, которая неизбежно когда-то остановится.

В конце тридцатых дуальная картина фон Неймана, включающая непрерывное и обратимое изменение, за которым следует мгновенный, необратимый коллапс, стала частью ортодоксального взгляда на квантовые измерения, ну а тот получил название «Копенгагенской интерпретации».

Увы, модель эта содержала чудную комбинацию из циклического и линейного времени, хотя они в принципе никак не сцепляются — представьте идеальные во всех отношениях часы, которые останавливаются навсегда, стоит только на них посмотреть. Наблюдение разрушает механизм, что неприемлемо, например, для «Ролекса», но почему-то годится для квантовой механики.

Но экспериментальные данные почти всегда соответствовали теории, и поэтому ученые большей частью просто принимали странную идею, что факт наблюдения изменяет динамику квантовой системы от предсказуемой непрерывности к случайному фазовому переходу. Лишь несколько выдающихся критиков, таких как Эйнштейн, Шредингер и Луи де Бройль (развивший собственную оригинальную идею волн материи, правдоподобно объяснившую волновое уравнение Шредингера) призывали к пересмотру схемы.

УДИВИТЕЛЬНАЯ ВЫХОДКА СУДЬБЫ

Весной 1939 года институт перспективных исследований переместили в новый кампус. Эйнштейн, фон Нейман и другие сотрудники ИПИ переехали в комфортабельные кабинеты выстроенного в колониальном стиле Фулд-холла. Таким образом, Файн-холл лишился нескольких выдающихся мыслителей, но зато в его стенах, покрытых плющом, началась революция, в результате которой появился третий взгляд на время, лежащий за пределами циклического и линейного.

Новый подход, получивший название «интеграл по траекториям», представил время как лабиринт альтернатив.

Что — случай или детерминизм — привело молодого Ричарда Фейнмана в Принстон, где он жил в Градуэйт-колледже и работал с Джоном Уилером в кабинете последнего в Файн-холле, а также в прилегающей лаборатории Палмера? Так или иначе, они стали блестящей командой великолепных и оригинальных ученых, у которых хватило ума перестроить все здание квантовой физики начиная с фундамента, базируясь на новых принципах.

Едва попав в Принстон, Фейнман получил назначение ассистентом к Вигнеру. Вигнер был физиком родом из Венгрии, питавшим страстный интерес к теории квантовых измерений и смотревший на нее сходным с фон Нейманом образом.

Но в последний момент решение изменили, и Фейнман попал к Уилеру.

В ретроспективе каждый рассматривал эту замену как один из наиболее благоприятных моментов в карьере: «некоей

удивительной выходкой судьбы можно объяснить то, что его в конечном итоге приписали ко мне¹» — вспоминал позже Уилер. «Мне ужасно повезло, когда я угодил в Принстон... и стал ассистентом преподавателя при Уилере, — говорил Фейнман. — Можно сказать, что мой успех был результатом того, что я узнал именно от него²».

Сотрудничество Фейнмана и Уилера привело к пересмотру фундаментальных концепций квантовой физики через призму интеграла по траекториям, предложенного Фейнманом и получившего имя от Уилера. Этот революционный подход рассматривает нечто актуальное как композицию всех возможностей, словно мелодию из множества смешанных треков.

Как именно электрон переходит дорогу?

Фейнман и Уилер показали: корректный квантовый ответ заключается в том, что электрон переходит дорогу по любому из возможных физически путей одновременно — на самом деле, он комбинирует их все.

Двое ученых составляли идеальную команду: Фейнман проявлял себя осторожным и дотошным в вычислениях, Уилер высказывал смелые идеи и позволял воображению заглядывать за грань возможного. Так они оттачивали и шлифовали странные гипотезы, превращая их в работающие решения.

Путешествие длиной в жизнь, посвященную смелым исследованиям, началось в кабинете Уилера в Принстоне.

ЧУЖАК

Ричард Фейнман был во всех отношениях чужаком для Принстона, он словно прибыл с другой планеты.

Он родился 11 мая 1918 года в еврейской семье в Нью-Йорке и вырос в районе Куинс. Поэтому говорил Фейнман с жестким акцентом, характерным для рабочего класса и похожим на бруклинский, а вел себя грубовато, и все это сильно выделяло его среди белых мужчин-протестантов из богатых семей, поставлявших тогда кадры для магистратуры и преподавательского состава Принстона.

Иной человек в такой обстановке предпочел бы слиться с окружающей средой, подстроиться под нее, но не Фейнман,

с ранних лет уяснивший, что жизнь слишком коротка, а время слишком ценно, чтобы беспокоиться по поводу того, что думают о тебе другие. Он понимал, что выделяется, но сделал из этого повод для шуток и источник силы, а вовсе не слабости.

«В Принстоне царила определенная элегантность, — вспоминал Фейнман. — Однако я вовсе не был элегантным человеком. В любой официальной ситуации я вел себя вполне как олух... я был грубый, простой парень, насколько это вообще позволено в обществе. Только я не беспокоился по этому поводу, я этим даже как бы немного гордился³».

В первый же день в кампусе он отметил, что класс джентльменов вокруг отличают пафосная речь и претенциозность. Он вздрогнул при виде академических мантий, которые требовалось носить студентам во время серьезных мероприятий.

Не прошло и часа после того, как отец, Мелвилл Фейнман, высадил сына и уехал, как Ричарда в его спальне поприветствовал торжественный «смотритель резиденции», говоривший с подчеркнутым английским акцентом высшего света, и пригласил на вечерний чай с деканом Градуэйт-колледжа, Лютером Айзенхартом. Новичок почувствовал бы себя куда лучше у киоска с сосисками на Кони-айленд, но он никогда не был на официальном чаепитии и его терзало любопытство.

Жена декана закутывалась в одеяние благовоспитанности, словно Маргарет Дюмон в фильмах братьев Маркс. Она должным образом приветствовала каждого входящего студента и предлагала им чай либо с молоком, либо с лимоном. Добравшись до Фейнмана, который как раз обдумывал, куда бы ему сесть, хозяйка спросила, что именно он хочет.

Он рассеянно ответил «Я бы взял и то, и то. Спасибо⁴».

Ее озадаченное восклицание «Конечно, вы шутите, мистер Фейнман!», сопровождаемое нервным хихиканьем, стало ключевой репликой много раз пересказанного анекдота, а в дальнейшем — и заглавием для самой популярной книги Фейнмана. Несомненно, акцент и поведение Фейнмана позже вдохновили писателя Чарльза Сноу саркастически заметить, что это было «как будто Граучо Маркс неожиданно очутился внутри великого ученого⁵».