

#PopScience

Пол ХЭЛПЕРН

ИГРАЮТ ЛИ КОТЫ В КОСТИ?

Эйнштейн и Шрёдингер
в поисках единой теории
мироздания



#PopScience

Пол ХЭЛПЕРН

ИГРАЮТ ЛИ КОТЫ В КОСТИ?

Эйнштейн и Шрёдингер
в поисках единой теории
мироздания



Пол ХЭЛПЕРН

ИГРАЮТ ЛИ КОТЫ В КОСТИ?

**Эйнштейн и Шрёдингер в
поисках единой теории
мироздания**

Благодарности

Я бы хотел поблагодарить за огромную поддержку мою семью, друзей и коллег, которые помогли мне довести этот проект до конца. Я благодарю преподавателей и сотрудников из Филадельфийского университета наук, в том числе Хелен Джайлс-Джи, Хайди Андерсон, Сьюзан Мерфи, Элиа Эшкенази, Кевина Мерфи, Брайана Киршнера, Джима Каммингса и своих коллег по факультету математики, физики и статистики и факультету гуманитарных наук за поддержку моих изысканий. Я благодарен сообществу историков науки за дух товарищества, в том числе APS Forum по истории физики, Филадельфийскому центру истории науки и AIP-центру истории физики. Я высоко ценю теплую поддержку Филадельфийской ассоциации ученых-писателей, в том числе Грега Лестера, Михала Майера, Фэй Флам, Дэйва Голдберга, Марка Вулвертона, Брайана Сиано и Нила Гуссмана. Благодарю историков науки Дэвида С. Кэссиди, Диану Бухвальд, Тильмана Зауэра, Дэниела Сигела, Кэтрин Вестфаль, Роберта Криза и Питера Пешича за полезные советы и Дона Говарда за предложенные полезные ссылки. Я высоко ценю помощь семьи Шрёдингера, в том числе Леонарда, Лрнульфа и Рут Брауниер, за обсуждение вопросов о его жизни и творчестве. Я благодарен музыканту Роланду Орзабалу и философу Хилари Патнэм за любезные ответы на вопросы о своей работе. Благодарю автора научно-популярных книг Майкла Гросса за дружеские советы и информацию о немецком языке и культуре. Я ценю поддержку Давида Цитарелли, Роберта Янца, Линды Дэлримпл Хендерсон, Роджера Стьюэра, Лизы Тензин-Долма, Джен Гови, Шерил Стрингалл, Тони Лоу, Майкла Лабозира, Питера Д. Смита, Энтони Райана, Дэвида Буда, Михаила Эрлиха, Фреда Шупфера, Пэм Квик, Кэролин Бродбек, Марлона Фуэнтеса, Симоны Целич, Дата Бухгольца, Линды Гольцман, Марка Сингера, Джеффа Шебена, Джуд Кучински, Криса Олсона, Мэга и Вуди Чарски-Уилсон, Кэри Нгуен, Линдси Пул, Грега Смита, Джозефа Магуайра, Дата Дикарло, Патрика Фама и Вэнса Лемкуль. Я выражаю искреннюю признательность Ронану и Джо Мехиган за фотографии домов Шрёдингера в Дублине. Благодарю Отдел рукописей библиотеки Принстонского университета за разрешение на внимательное изучение копий архива Лльберта Эйнштейна и других

научных материалов, а также библиотеку Американского философского общества за доступ в архив истории квантовой физики. Большое спасибо Барбаре Вульф и Архиву Альберта Эйнштейна в Иерусалиме за рецензию моих цитат из переписки Эйнштейна и Шрёдингера. Благодарю Королевскую ирландскую академию за сведения об их заседаниях. Я благодарю Фонд Джона Саймона Гуггенхайма за мероприятие 2002 года, во время которого я впервые ознакомился с перепиской Эйнштейна и Шрёдингера.

Отдельное спасибо моей жене Фелиции; моим сыновьям Эли и Адену; моим родителям Бернис и Стэнли Хэлперн; родным: Лрлин и Джозефу Финстон; Ричарду, Аните, Джейку, Эмили, Алану, Бету, Тессе и Кену Хэлперн; Аарону Стенброу; Лэйн и Джил Хурвитц; Шаре Эванс и другим членам семьи за их любовь, терпение, советы и поддержку.

ВВЕДЕНИЕ

Союзники и противники

Эта книга рассказывает о двух великих физиках, о «газетной» войне 1947 года, разрушившей их многолетнюю дружбу, а также о хрупкой природе сотрудничества и открытий в науке.

Когда мировая пресса объявила их соперниками, оба уже были нобелевскими лауреатами преклонного возраста, а главные работы давно остались за плечами. Однако газетчики преподносили совсем другую историю — якобы о противостоянии опытного бойца, который никогда не сдается, и выскочки, которому не терпится победить другого и получить приз. В то время Эйнштейн был невероятно популярен, каждое его слово тут же подхватывалось журналистами, и лишь очень ограниченный круг людей был знаком с работами австрийского физика Эрвина Шрёдингера.

Те, кто следил за достижениями Эйнштейна, знали, что он уже несколько десятилетий работал над единой теорией поля. Он надеялся продолжить труд, начатый Джеймсом Клерком Максвеллом, английским физиком XIX века, по объединению всех сил природы в единой системе уравнений. Максвелл объединил электричество и магнетизм, введя в науку новый объект — электромагнитное поле, что привело к открытию такого явления, как электромагнитные волны. Общая теория относительности, предложенная Эйнштейном, описывает гравитацию как искривление пространства-времени. Подтверждение этой теории принесло ему всемирную славу. Однако Эйнштейн не собирался останавливаться на достигнутом. Его мечтой было включить результаты Максвелла в расширенную теорию относительности, объединив таким образом электромагнетизм и гравитацию.

Раз в несколько лет Эйнштейн торжественно объявлял о создании очередной единой теории, которая через какое-то время оказывалась неверной и потихоньку заменялась на новую. Начиная с 1920-х годов одной из главных его целей стал поиск детерминистической

альтернативы вероятностной интерпретации квантовой теории, отстаиваемой *копенгагенской школой*: Нильсом Бором, Вернером Гейзенбергом, Максом Борном и другими учеными. Понимая, что эксперименты подтверждают верность квантовой теории, он, тем не менее, считал ее неполной. В глубине души Эйнштейн верил, что «Бог не играет в кости», как он сам однажды сказал, ставя вопрос о том, каким, на его взгляд, должно быть идеальное механистическое мироздание. Под «Богом» он подразумевал то же, что и голландский философ XVII века Бенедикт Спиноза, — проявление высшего естественного порядка. Спиноза считал, что Бог — это синоним Природы, он вечен и неизменен и не оставляет места случайности. Эйнштейн, соглашаясь со Спинозой, искал неизменные законы, управляющие механизмами природы. Он твердо намеревался доказать, что мир абсолютно детерминистичен.

Шрёдингер, эмигрировавший в 1940-х годах из оккупированной Австрии в Ирландию, как и Эйнштейн, не признавал общепринятую в то время интерпретацию квантовой механики и видел в Эйнштейне союзника. Эйнштейн также почувствовал в Шрёдингере родственную душу. После обмена идеями об объединении сил природы Шрёдингер неожиданно объявил о достигнутом им успехе, чем привлек к себе всеобщий интерес. В результате между ним и Эйнштейном произошел раскол.

Вы наверняка слышали о коте Шрёдингера — мысленном эксперименте, благодаря которому общественность так хорошо знает его автора. Но в то время, когда все случилось, об этом кошачьем парадоксе и его авторе знали только физики. Пресса представляла Шрёдингера просто амбициозным ученым, живущим в Дублине, который, возможно, превзошел самого Эйнштейна и нанес тому сокрушительный удар под дых.

Основным поставщиком информации была газета *Irish Press*, из которой общественность и узнала о головоломке Шрёдингера. Шрёдингер прислал в газету увесистый пресс-релиз с описанием своей новой «теории всего», в котором нескромно ставил свои открытия на один уровень с достижениями древнегреческого философа Демокрита (автора термина «атом»), древнеримского поэта Лукреция, французского философа Декарта, Спинозы и даже самого Эйнштейна. «Ученому не пристало рекламировать собственные достижения, —

заявил газетчикам Шрёдингер, — но раз того хочет пресса, я предоставляю ей необходимые материалы»^[1].

New York Times преподнесла эту новость как конфликт между бунтарским оригинальным методом и стагнацией во влиятельных физических кругах. «Нам неизвестно, как Шрёдингеру это удалось», — говорилось в статье^[2].

На какой-то момент показалось, что практически никому не известному венскому физику удалось превзойти великого Эйнштейна и создать теорию, объясняющую все во Вселенной. «Возможно, — думали оторопевшие читатели, — настало время познакомиться со Шрёдингером поближе».

Страшная загадка

Сегодня при упоминании имени Шрёдингера в памяти сразу всплывают кот, ящик и парадокс. Его знаменитый мысленный эксперимент, опубликованный в 1935 году в рамках работы «Текущая ситуация в квантовой механике», представляется одним из самых жестоких в истории науки. Впервые услышав о нем, люди сначала ужасаются и тут же испытывают громадное облегчение, узнавая, что эксперимент — гипотетический и никогда не проводился на живом коте.

Шрёдингер предложил этот мысленный эксперимент в 1935 году в работе, посвященной исследованию феномена *квантовой запутанности* в физике. Квантовая запутанность (термин, введенный Шрёдингером) — это ситуация, когда две или несколько частиц описываются одним квантовым состоянием, то есть если что-то происходит с одной из частиц, это одновременно затрагивает и все остальные частицы.

Частично вдохновленная диалогом с Эйнштейном, загадка кота Шрёдингера проверяет на прочность принципы квантовой физики, предлагая нам представить судьбу кота, состояние которого запутано с состоянием частицы. Кот заперт в ящике, в котором находятся атом радиоактивного вещества, счетчик Гейгера и герметичный сосуд с ядом. Ящик закрыт на такой интервал времени, по истечении которого

атом с вероятностью 50% может распасться с испусканием частицы. Аппарат сконструирован таким образом, что если счетчик Гейгера зарегистрирует порожденную в результате распада частицу, то сосуд с ядом разобьется и кот погибнет. Однако если распада не произойдет, то кот не пострадает.

Как отмечает Шрёдингер, согласно правилам измерений в квантовой механике, пока ящик закрыт, состояние кота (мертвый или живой) будет запутано с состоянием радиоактивного атома, распад которого фиксирует счетчик Гейгера. Таким образом, кот оказывается в состоянии квантовой суперпозиции подобно зомби (и живой и мертвый одновременно) до тех пор, пока не сработает таймер, исследователь не откроет коробку и не произойдет редукция запутанного квантового состояния кота и счетчика в какое-нибудь одно из возможных состояний.

С конца 1930-х до начала 1960-х годов этот мысленный эксперимент редко упоминался, разве что на лекциях по физике в качестве анекдота. К примеру, профессор Колумбийского университета и нобелевский лауреат Т. Д. Ли рассказывал о нем своим студентам, демонстрируя им странную природу редукции волновой функции^[3]. В 1963 году физик Принстонского университета Юджин Вигнер упомянул мысленный эксперимент в своей работе о квантовых измерениях, а также расширил его до более общего случая, известного теперь как *парадокс друга Вигнера*.

Знаменитый философ Гарвардского университета Хилари Патнэм, узнавший об этой загадке от своих коллег-физиков, был одним из первых мыслителей не из мира физики, кто попытался проанализировать мысленный эксперимент Шрёдингера^[4]. Свои выводы он привел в классической статье 1965 года «Взгляд философа на квантовую механику», ставшей впоследствии одной из глав его книги. Когда в том же году об этой работе написали в книжном обзоре журнала *Scientific American*, термин «кот Шрёдингера» стал широко известен в научно-популярной литературе. Спустя десятилетия он вошел в культуру как символ неоднозначности и не раз упоминался в рассказах, эссе и даже стихах.

Несмотря на широкую известность парадокса шрёдингеровского кота, о самом физике, придумавшем его, мало что известно. В то время как Эйнштейн с 1920-х годов являлся иконой, своего рода символом

блестящего ученого, мало кто был знаком с биографией Шрёдингера. Ирония в том, что прилагательное «шрёдингеровский», используемое для описания сумбурности и запутанности происходящего, в равной мере применимо и к нему самому.

Человек, полный противоречий

Неопределенность состояния кота Шрёдингера удивительно соответствует противоречивости его создателя. Педантичный профессор-очкарик находился в квантовой суперпозиции контрастирующих взглядов. Его «инь-ян»-существование началось еще в детстве, так как в семье говорили на немецком и английском языках, и он вырос билингом. Будучи связан со многими странами, но пылая особой любовью к родной Австрии, он был одинаково далек и от национализма, и от интернационализма, и от политики как таковой.

Шрёдингер любил физические упражнения на свежем воздухе, но при этом вынуждал других задыхаться от вездесущего дыма его трубки. На официальные конференции он приходил одетый как обыкновенный турист. Он называл себя атеистом и размышлял о божественном замысле. В его жизни был период, когда он жил одновременно и со своей женой, и с женщиной, бывшей матерью его первого ребенка. Его докторская диссертация соединяла в себе экспериментальную и теоретическую физику. На ранней стадии карьеры он задумывался о том, не переключиться ли ему на философию, но затем вернулся к физике. И затем он бесчисленное количество раз менял место работы в институтах Австрии, Германии и Швейцарии.

Физик Вальтер Тирринг описывал Шрёдингера следующим образом: «Он вел себя так, будто его постоянно преследуют: его гений гнал его от одной проблемы к другой, а политические силы двадцатого века — из одной страны в другую. Он был человеком, полным противоречий»^[5].

В его карьере был период, когда он яростно настаивал на том, что надо отказаться от принципа причинности в пользу чистой случайности. Несколько лет спустя, после разработки

детерминистического уравнения, у него начали возникать сомнения. Возможно, все же существуют законы причинности, — рассуждал он. А затем физик Макс Борн реинтерпретировал его уравнение в терминах вероятности. После периода споров об этом подходе Шрёдингер снова начал склоняться к вероятностной интерпретации. Позже колесо рулетки его философских убеждений опять остановилось на детерминизме.

В 1933 году, осуждая нацистский режим, Шрёдингер решительно отказался от престижной должности профессора теоретической физики в Берлинском университете. Он был самым выдающимся физиком нееврейского происхождения, добровольно отказавшимся работать на национал-социалистов. Проработав некоторое время в Оксфорде, Шрёдингер принял решение вернуться в Австрию и занять пост профессора в Грацком университете. Но после аншлюса Австрии нацистской Германией он по неизвестным причинам предпринял попытку заключить с правительством сделку, чтобы сохранить за собой должность. В опубликованном «письме примирения» с новой властью он извинился за прежнюю оппозиционность и заявил о своей лояльности. Но, несмотря на это, ему все же пришлось покинуть Австрию, и он отправился в Дублин, чтобы занять многообещающий пост в Институте перспективных исследований. На нейтральной территории он публично отказался от своего «письма примирения».

«Он проявил удивительную гражданскую смелость после прихода Гитлера к власти в Германии... и отказался от самой желанной профессорской должности в физике, — отмечает Тирринг, — но когда нацисты добрались до него, ему пришлось участвовать в этой жалкой показательной акции солидарности с террористическим режимом»^[6].

Квантовые соратники

Эйнштейн, который в Берлине был коллегой и близким другом Шрёдингера, все время поддерживал с ним активную переписку, в которой они обсуждали общие интересы в физике и философии. Они вместе боролись против общего врага — чистой случайности — как противоположности естественного порядка.

Знакомые с работами Спинозы, Шопенгауэра, для которого объединяющим принципом была *воля*, собирающая воедино все природные силы, а также трудами других философов, Эйнштейн и Шрёдингер негодовали по поводу неопределенности и субъективности в описании Вселенной на самом фундаментальном уровне. И хотя они оба сыграли важную роль в создании и развитии квантовой механики, оба были убеждены, что эта теория неполна. Несмотря на признание экспериментов, подтверждающих квантовую теорию, они верили, что дальнейшие теоретические исследования позволят раскрыть вневременную, объективную реальность.

Их союз был закреплен борновской реинтерпретацией волнового уравнения Шрёдингера. Согласно первоначальному толкованию уравнения Шрёдингера, оно описывало поведение реальных непрерывных волн материи, представляющих электроны внутри и вне атомов. Максвелл создал детерминистические уравнения, описывающие свет как электромагнитные волны, распространяющиеся в пустом пространстве, Шрёдингер хотел создать уравнение, описывающее движение волн материи. Таким образом он надеялся предложить исчерпывающее описание всех физических свойств электронов.

Борн разрушил строгость описания Шрёдингера, заменив волны материи на волны вероятности. Вместо однозначного задания физических свойств он предложил вычислять их вероятность на основе волновой функции. Борн привел уравнение Шрёдингера в соответствие с идеями Гейзенберга о неопределенности. Гейзенберг полагал, что отдельные физические свойства, такие как положение и импульс (произведение массы и скорости), не могут быть измерены одновременно с высокой точностью. Он определил такую квантовую размытость в своем знаменитом *принципе неопределенности*: чем более точно исследователь измеряет положение частицы, тем менее точно он знает ее импульс, и наоборот.

Надеясь описать реальные состояния электронов и других частиц, а не только вероятности, Шрёдингер раскритиковал нематериальные элементы подхода Гейзенберга — Борна. Также он не принимал философские идеи Бора относительно объяснения квантовой механики, называемых *принципом дополнительности*. Принцип дополнительности утверждает, что в зависимости от того, какое

оборудование исследователь выберет для эксперимента, проявятся либо волновые, либо квантовые свойства. Шрёдингер считал, что природа поддается наглядному представлению, а не представляет собой черный ящик со скрытыми параметрами.

Когда идеи Борна, Гейзенберга и Бора были повсеместно приняты в физическом сообществе и слились в то, что сейчас известно как *копенгагенская интерпретация*, или классическое квантовое представление, Эйнштейн и Шрёдингер по понятным причинам объединились. В преклонном возрасте каждый из них надеялся создать единую теорию поля, которая заполнила бы пробелы квантовой физики и объединила силы природы. Расширяющая общую теорию относительности путем включения в нее всех сил природы, такая теория заменила бы физику чистой геометрией, воплотив мечту пифагорейцев, которые верили, что «все есть число».



*Альберт Эйнштейн в старости. Спасибо университету Нью-Хэмпшира,
Коллекции Лотте Якоби и Архиву Эмилио Сегре из Американского
института физики, подаренному Джеральдом Холтоном*

У Шрёдингера были все причины чувствовать себя обязанным Эйнштейну. Речь Эйнштейна, произнесенная в 1913 году, зажгла в нем интерес к решению фундаментальных вопросов физики. Вышедшая в 1925 году статья Эйнштейна, в которой он ссылался на французского физика Луи де Бройля и его концепцию волн материи, вдохновила Шрёдингера на создание уравнения, описывающего поведение таких волн. Это уравнение принесло Шрёдингеру Нобелевскую премию, на которую, помимо других ученых, его номинировал Эйнштейн. Он также одобрил кандидатуру Шрёдингера на пост профессора Берлинского университета и рекомендовал его в члены прославленной Прусской академии наук. Эйнштейн тепло принимал Шрёдингера в своем летнем доме в Капуте и продолжал свои научные наставления в их длительной переписке. Мысленный эксперимент, разработанный Эйнштейном и его помощниками Борисом Подольским и Натаном Розеном для демонстрации парадоксальных аспектов квантовой запутанности (ЭПР-парадокс), а также предложенный Эйнштейном парадокс с бочкой пороха^[1] вдохновили Шрёдингера на создание кошачьего парадокса. Наконец, идеи, развитые Шрёдингером в поисках единой теории, являлись вариантами предположений Эйнштейна. Два теоретика часто обсуждали в переписке такие способы модификации теории относительности, которые сделали бы ее достаточно математически гибкой для включения в нее других сил помимо гравитации.

Фиаско

Дублинский институт перспективных исследований, в котором Шрёдингер был ведущим физиком на протяжении 1940-х и в начале 1950-х годов, был создан по модели Принстонского института перспективных исследований, где Эйнштейн выступал в той же роли с середины 1930-х. Ирландская пресса часто сравнивала их, называя Шрёдингера Эйнштейном Ирландии.

Шрёдингер использовал любую возможность, чтобы упомянуть о своей дружбе с Эйнштейном, даже раскрывал подробности их частной переписки, когда это было ему выгодно. К примеру, в 1943 году, после

того как Эйнштейн написал Шрёдингеру, что некая единая модель была «могилой его надежд» с 1920-х годов, Шрёдингер использовал это утверждение, чтобы все выглядело так, будто он добился успеха там, где спасовал сам Эйнштейн. Он публично зачитал письмо Ирландской королевской академии, хвастаясь, что «выкопал» надежды Эйнштейна при помощи своих расчетов.



Эрвин Шрёдингер в зрелые годы жизни.

*Вольфганг Пфаундлер, Инсбрук, Австрия, спасибо Архиву Эмилио Сегре из
Американского института физики*

О лекции написали в *Irish Times* с вводящим в заблуждение заголовком «Эйнштейн отдает должное Шрёдингеру»^[7].

Сначала Эйнштейн отнесся к выступлению Шрёдингера снисходительно и проигнорировал его хвастовство. Однако реакция прессы на речь, которую Шрёдингер произнес в январе 1947 года, провозгласив победу в борьбе за теорию всего, была чрезмерной. Смелое заявление Шрёдингера о том, что он достиг цели, которая

десятилетиями ускользала от Эйнштейна, и разработал теорию на замену теории относительности, было брошено в лицо Эйнштейну и требовало реакции.

И реакция воспоследовала. В своем едком ответе Эйнштейн выразил глубокое неудовольствие смелыми утверждениями Шрёдингера. В пресс-релизе, переведенном на английский язык его помощником Эрнстом Штраусом, он заявил: «О последней попытке профессора Шрёдингера... можно... судить только по ее математическим качествам, но не с точки зрения “истины” и согласия с подтвержденными фактами. Даже с этой точки зрения в ней не видится особых преимуществ — скорее наоборот»^[8].

О пререканиях написали газеты вроде *Irish Press*, что породило следующее замечание Эйнштейна: «Нежелательно... в какой-либо форме сообщать общественности о таких предварительных попытках. Еще хуже, когда создается впечатление, будто они приводят к конкретным открытиям, касающимся физической реальности»^[9].

Юморист Брайан О'Нолан, публиковавшийся в *Irish Times* под псевдонимом Myles na gCopaleen, высмеял ответ Эйнштейна, назвав его высокомерным и оторванным от реальности. Он писал: «Что знает Эйнштейн об использовании и значении слов? Мне кажется, довольно мало... К примеру, что он подразумевает под “истиной” и “подтвержденными фактами”? Его попытка сразить прозорливых читателей газет на их собственной территории не впечатляет»^[10].

Два старых приятеля, союзники в битве против общепринятой интерпретации квантовой механики, никогда и представить не могли, что будут выступать друг против друга в международной прессе. Этого точно не хотели ни Эйнштейн, ни Шрёдингер, когда годами вели переписку о создании единой теории поля. Однако смелые заявления Шрёдингера Ирландской королевской академии привлекли внимание журналистов, рыскавших в поисках связанных с Эйнштейном новостей.

Одной из причин, приведших к стычке, стало желание Шрёдингера угодить ирландскому премьер-министру Имону де Валера, который лично организовал переезд Шрёдингера в Дублин и его назначение в институт. Де Валера активно интересовался достижениями Шрёдингера, надеясь, что тот принесет славу только что обретшей

независимость Ирландской республики. Де Валера, ранее работавший преподавателем математики, был поклонником ирландского математика Уильяма Роуэна Гамильтона. В 1943 году он позаботился о том, чтобы столетний юбилей одного из открытий Гамильтона — особого типа чисел, называемых *кватернионами*, — отмечался по всей стране. В большинстве своих работ Шрёдингер использовал гамильтонов формализм. Что может быть лучше, чем отметить освобождение Ирландии и выразить уважение ее светилу, Гамильтону, принеся ей славу в качестве места, где теория относительности Эйнштейна была развенчана и заменена более полной теорией? Многообещающее выступление Шрёдингера соответствовало чаяниям его покровителя. *Irish Press*, принадлежавшая де Валера и контролируемая им, должна была приложить все силы к тому, чтобы весь мир узнал, что родина Гамильтона, Йейтса, Джойса и Шоу смогла создать «теорию всего».

Подход Шрёдингера к науке (как и к жизни) был импульсивным. Окрыленный многообещающими результатами, он хотел во всеуслышание объявить о них миру, слишком поздно поняв, что пренебрег своим хорошим другом и учителем. Он считал свое открытие — якобы простой математический способ, в котором заключен закон природы, — чем-то вроде божественного откровения, и поэтому ему не терпелось провозгласить фундаментальную истину, покорившуюся лишь ему одному.

Стоит ли говорить, что, как верно заметил Эйнштейн, Шрёдингер ни на йоту не приблизился к созданию теории, объясняющей все. Он всего лишь нашел одну из математических вариаций общей теории относительности, которая технически могла бы включить в себя другие силы. Однако пока не будет найдено решение такой вариации, соответствующее физической реальности, она останется просто абстрактным примером, а не истинным описанием природы. И хотя найдено множество способов расширить общую теорию относительности, до сих пор не найден тот, который бы описывал реальное поведение элементарных частиц и их квантовые свойства.

По части создания шумихи, однако, Эйнштейн и сам был не промах. Периодически он предлагал собственные способы объединения и преувеличивал их значение перед прессой. К примеру, в 1929 году Эйнштейн, к радости общественности, заявил, что создал

теорию, объединяющую все силы природы, и превзошел теорию относительности. Учитывая то, что он не нашел (и не найдет) физически реальных решений своих уравнений, его высказывание было чересчур поспешным. Что не помешало ему раскритиковать Шрёдингера за то же самое.

Жена Шрёдингера, Энни, позже расскажет физику Питеру Фройнду, что и он, и Эйнштейн хотели подать друг на друга в суд за плагиат, физик Вольфганг Паули, хорошо знавший обоих, предупредил их о возможных последствиях обращения к средствам судебной защиты. Судебный иск, попавший в прессу, причинит неудобство для обоих и быстро превратится в фарс, уничтожив их репутацию. Меры в язвительности они не знали. Например, Шрёдингер однажды сказал физику Джону Моффату, посетившему Дублин: «Мои методы намного превосходят методы Альберта! Я объясню тебе, Моффат, почему Эйнштейн — старый глупец»^{11}.

Фройнд размышлял о том, почему два стареющих физика решили найти теорию всего, следующим образом: «На этот вопрос есть два ответа. Первый — это идея безусловного величия... [Они] были невероятно успешны в физике. Осознавая упадок сил, они делают последний рывок по направлению к великой проблеме нахождения окончательной теории, которая должна завершить физику... Второй ответ — ими руководит все то же ненасытное любопытство, которое служило им верой и правдой в молодости. Они хотят узнать решение загадки, занимавшей их на протяжении всей жизни; они хотят при жизни хоть одним глазком взглянуть на землю обетованную»^{12}.

Потрепанное единство

Многие физики всю свою жизнь посвящают конкретным проблемам отдельных аспектов физического мира. Они не видят леса за деревьями. Эйнштейн и Шрёдингер стремились к большему. Философия убедила их в том, что у природы есть великий замысел. В молодости поиски привели их к важным открытиям: Эйнштейна — к теории относительности, а Шрёдингера — к волновому уравнению, которые приоткрыли ответ. Раздразненные найденной частью решения,

они надеялись завершить дело всей жизни, создав теорию, объясняющую все.

Однако, как и в религиозных сектах, даже незначительные расхождения во взглядах могут привести к крупным конфликтам. Шрёдингер поспешил, потому что решил, будто ему чудом удалось отыскать то, что каким-то образом упустил Эйнштейн. Его якобы озарение вкупе с необходимостью доказывать свою успешность в университете побудило его выступить с заявлением до того, как было собрано достаточно доказательств, подтверждающих теорию.

Перепадка двух умов обошлась им дорого. С того момента их мечты о космическом единстве были отравлены личным конфликтом. Они упустили возможность провести оставшиеся годы в дружбе, горячо обсуждая возможное внутреннее устройство Вселенной. Миллиарды лет ждущий объяснения своего внутреннего механизма, космос может потерпеть еще, но два великих мыслителя упустили предоставленный им шанс.

Глава 1

ЗАВОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Чтобы овладеть этими случайными явлениями, этими мимолетными впечатлениями, сперва их надо сделать предметами нашего ума. Затем призвать на помощь свой разум, свое научное воображение, соединить наблюдаемое со своими мыслями и получить в итоге истинное знание.

Джеймс Клерк Максвелл

До наступления века теории относительности и квантовой механики двумя величайшими унификаторами в физике были Исаак Ньютон и Джеймс Клерк Максвелл. Ньютоновские законы механики продемонстрировали, как взаимодействие различных объектов определяет их движение. Сформулированный Ньютоном закон всемирного тяготения описал одно из этих взаимодействий: силу, заставляющую небесные тела двигаться по определенным траекториям — эллиптическим орбитам. Ньютон блестяще продемонстрировал, что любому физическому явлению на земле (к примеру, полету стрелы) можно дать объяснение исходя из универсальных принципов.

Физика Ньютона полностью детерминистична. То есть если знать координаты и скорость движения всех объектов во Вселенной в данный момент времени, а также действующие на них силы, то теоретически можно предсказать их поведение на протяжении бесконечного интервала времени. Вдохновленные мощью законов Ньютона, многие ученые XIX века верили, что лишь ограничения практического характера, например сложнейшая задача по сбору невероятного количества данных, не позволяют ученым точно описать и предсказать все на свете.

С такой строго детерминистической точки зрения случайность — это просто артефакт, возникающий из-за того, что мы не в состоянии

учесть все начальные условия и огромное число факторов, влияющих на процесс. Возьмем, к примеру, типичное случайное событие — подбрасывание монеты. Если бы ученый мог с достаточной точностью учесть движение всех воздушных потоков, влияющих на монету, знал бы точно ее начальную скорость и угол броска, то в принципе он смог бы точно рассчитать количество оборотов, которые сделает монета, и траекторию ее полета, а следовательно, и результат. Некоторые убежденные детерминисты идут еще дальше и утверждают, что, имея достаточно информации о прошлом опыте человека, подбрасывающего монету, можно также предсказать его мысли. В таком случае исследователь смог бы описать паттерны мозговой активности, нервные сигналы и мышечные сокращения, необходимые для подбрасывания монеты, сделав его результат еще более предсказуемым. Короче говоря, те, кто считает, будто Вселенная работает как идеальный часовой механизм, отрицают существование какой бы то ни было случайности.

В то же время в астрономических масштабах, например в Солнечной системе, законы Ньютона работают чрезвычайно точно. Они прекрасно воспроизводят движения планет вокруг Солнца, описываемые законами немецкого астронома Иоганна Кеплера. Наша способность предсказывать такие астрономические явления, как солнечные затмения и соединения планет, или отправлять космические аппараты к далеким небесным телам — свидетельство высокой прогностической точности механики Ньютона, в частности, в отношении гравитации.

Уравнения Максвелла привнесли унификацию еще в одну сферу физических явлений — в область электромагнетизма. До XIX века наука рассматривала электричество и магнетизм как отдельные феномены. Однако эксперименты английского физика Майкла Фарадея и других ученых вскрыли глубокую связь между ними, и Максвелл закрепил ее с помощью простых математических соотношений. Его четыре уравнения четко показывают, как ускоренное движение электрических зарядов порождает распространяющиеся в пространстве колебания электромагнитного поля — электромагнитные волны. Эти формулы — образец математической краткости: достаточно компактные для принта на футболке, однако в то же время достаточно эффективные для описания всех электромагнитных

явлений. Объединив электричество и магнетизм, Максвелл сделал первый шаг на пути к объединению всех сил природы.

Сегодня нам известны четыре фундаментальные силы природы: гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия. Считается, что все остальные силы (к примеру, сила трения) — это просто производные от этих четырех. Каждая из фундаментальных сил проявляется на своем масштабе и обладает своей константой взаимодействия. Гравитация, самая слабая сила, притягивает друг к другу массивные тела, разделенные большими расстояниями. Электромагнетизм намного сильнее и действует на заряженные объекты. Несмотря на то что действует он на таких же расстояниях, что и гравитация, его эффект не так заметен, потому что практически все тела во Вселенной электрически нейтральны. Сильное взаимодействие проявляется на расстояниях порядка размера атомного ядра, удерживая вместе определенные типы субатомных частиц (таких, как кварки, из которых состоят протоны и нейтроны). Слабое взаимодействие проявляется на том же масштабе, но действует на частицы, вызывая определенные типы радиоактивного распада. Достижения Максвелла вдохновили последующие поколения мыслителей, в частности Эйнштейна и Шрёдингера, на поиски Великого объединения всех взаимодействий.

Максвелл показал, что, в отличие от обычных волн в веществе, электромагнитные волны могут распространяться и вне материальной среды. В 1865 году он рассчитал скорость распространения электромагнитных волн в вакууме и обнаружил, что она совпадает со скоростью света. Тогда он заключил, что электромагнитные и световые волны (включая невидимые формы электромагнитного излучения, например радиоволны) имеют одинаковую природу. Физика Максвелла, как и физика Ньютона, полностью детерминистична: заставьте двигаться заряды в передающей антенне, и вы сможете точно определить, какой сигнал получит антенна принимающая. На этом принципе основана работа радиостанций.

К сожалению, уравнения Максвелла не согласовывались с законами Ньютона. Две теории предлагали противоречащие друг другу предсказания того, какой будет скорость света относительно движущегося наблюдателя. В то время как из уравнений Максвелла следовало постоянство скорости света, законы Ньютона утверждали,

что она будет зависеть от скорости наблюдателя. Обе точки зрения казались разумными и обоснованными. По странному совпадению тот, кто разрешил это противоречие, родился в год смерти Максвелла.

Компас и танец

14 марта 1879 года в немецком городе Ульм Паулина Эйнштейн (урожденная Кох), жена Германа Эйнштейна, инженера-электрика, родила своего первенца, которого назвали Альбертом. Мальчик недолго жил в этом старом швабском городе, потому что его отец, как и многие в то время, вдохновленный революцией Максвелла, перевез семью в бурлящий жизнью Мюнхен, где стал совладельцем бизнеса по торговле электрическим оборудованием. В этом городе родилась сестра Альберта, Майя.

Альберт познакомился с явлениями магнетизма в раннем детстве. В пятилетнем возрасте, во время болезни, он получил в подарок от отца компас. Вертя блестящий прибор в руках, мальчик поражался его чудесным свойствам. Каким-то непостижимым образом стрелка всегда указывала в одном и том же направлении. Его ум стремился отыскать скрытую причину такого странного поведения.

У Эйнштейна не было братьев, но однажды он назвал своим младшим братом близкого ему по духу австрийца. Эрвин Шрёдингер родился 12 августа 1887 года в Вене, в районе Эрдберг. Он был единственным ребенком в семье химика Рудольфа Шрёдингера и Георгины Эмилии Бауэр-Шрёдингер, англичанки по происхождению и дочери Александра Бауэра, искусного химика и научного руководителя Рудольфа.

Рудольф унаследовал успешный бизнес по производству линолеума и клеенки. Однако его подлинной страстью были наука и искусство, в особенности ботаника и живопись. От него Эрвин унаследовал представления о том, что образованный человек должен любить культуру и иметь множество различных увлечений.

Юный Эрвин был близок с младшей сестрой своей матери, Минни. С самого раннего возраста он доверял тете Минни и часто советовался с ней по самым разным вопросам. Ему все было интересно, и еще до

того, как он научился читать или писать, он диктовал ей свои мысли и впечатления, а она терпеливо их записывала.

По воспоминаниям Минни, Эрвин очень любил астрономию. В четыре года ему нравилась игра, в которой моделировалось движение планет. Маленький Эрвин бегал вокруг тети Минни, воображая себя Луной, а ее — Землей. Потом они вместе медленно ходили вокруг лампы, которая была Солнцем. Он бегал вокруг тети, а вдвоем они кружили по орбите вокруг светящейся неподвижной лампы. Эта игра позволила ему на собственном опыте понять всю сложность и замысловатость движения Луны.

Детский интерес Эйнштейна к компасу и «танец планет» Шрёдингера предвосхитили их дальнейшее увлечение электромагнетизмом и гравитацией, двумя известными на тот момент фундаментальными взаимодействиями. Молодые ученые разделяли господствовавшее в то время убеждение, что Вселенная напоминает часы с точным механизмом. Позже они будут стремиться найти более общую унификацию, которая включала бы в себя оба взаимодействия и также была бы механистичной.

Оба начали свою карьеру в коммерческой области, как и их отцы, пытаясь найти способы применить научные знания в реальной жизни. Но с течением времени их мечты становились все более возвышенными. Затем каждый из них стал одержим идеей разгадать тайны Вселенной, открыв ее фундаментальные принципы. Каждый из них был одарен невероятной проницательностью и математическими способностями, столь необходимыми в теоретической физике.

Каждый надеялся пойти по стопам Ньютона и Максвелла и сформулировать новые уравнения, описывающие физический мир. И они в самом деле выведут важнейшие уравнения физики XX века, которые будут названы в их честь. Давая критическую оценку научным гипотезам, особенно в поздние годы жизни, каждый из них опирался на философские соображения, в особенности на таких философов, как Спиноза, Шопенгауэр и Эрнст Мах. Вдохновленные концепцией Спинозы, согласно которой Бог суть незыблемый порядок в природе, они искали простой и инвариантный свод законов, управляющих реальностью. Заинтригованные идеей Шопенгауэра о том, что мир сформирован единым управляющим началом — *волей*, — они искали грандиозную единую систему. Мотивированные позитивистскими

идеями Маха, они отвергали существование скрытых процессов вроде ненаблюдаемых нелокальных квантовых соотношений, настаивая на использовании явно выраженных причинных механизмов.

Требуется практически религиозное рвение, для того чтобы провести дни, месяцы и годы в одержимом поиске простых математических формул, которые в полной мере описывали бы явления природы. Окончательные уравнения были их Святым Граалем, их Каббалой, их философским камнем. Суждения об элегантности и красоте уравнения часто проистекают из глубокого внутреннего ощущения космического порядка. Эйнштейн происходил из еврейской семьи, а Шрёдингер из католической, но ни один из них не был религиозным в обычном смысле этого слова. Они не исповедовали никакую веру и не посещали религиозных служб, но разделяли благоговение перед организующими принципами Вселенной и их математическим выражением. Каждый из них любил математику, но не саму по себе, а как инструмент познания основополагающих законов природы.

Как возникает интерес к математике длиною в жизнь? Иногда просто благодаря элегантным чертежам и логичным доказательствам в учебнике геометрии.

Странные параллели

В 1891 году во время обучения в Луитпольдовской гимназии в возрасте 12 лет у Эйнштейна появился учебник по геометрии. Для него это было чудо, сопоставимое с компасом, которое приносило уютный порядок в ежедневную суету. Позже он называл этот учебник «священным писанием». Доказательства, основанные на четких, неоспоримых утверждениях, показывали, что за грохотом конных трамваев, неуклюжими тележками с едой и праздничным гвалтом выпивох Мюнхена скрывалась тихая незыблемая истина. «Эта ясность и точность произвели неопишное впечатление на меня», — вспоминал он ^{13}.

Некоторые из приведенных в учебнике утверждений казались ему очевидными. Он уже знал теорему Пифагора для прямоугольных треугольников: сумма квадратов длин двух перпендикулярных сторон

(катетов) равна квадрату длины третьей стороны (гипотенузы). В учебнике говорилось, что если изменить один из острых углов (тех, что меньше 90° градусов), то длины сторон тоже должны измениться. Это казалось ему очевидным и без доказательства.

Однако другие геометрические утверждения были не столь прозрачны. Эйнштейну нравилось, как методично в учебнике доказывались теоремы, которые не были очевидными, но оказывались верными. Например, утверждение, что все высоты треугольника (отрезки, проведенные из вершин треугольника перпендикулярно его сторонам) должны пересечься одной в точке. Его не волновало, что доказательства в учебнике были основаны в конечном итоге на недоказуемых аксиомах и постулатах. Он был готов смириться с несколькими безусловными аксиомами ради награды в виде множества доказанных теорем.

Геометрия на плоскости (планиметрия), описанная в учебнике, уходит своими корнями более чем на две тысячи лет назад к работам древнегреческого математика Евклида. Его «Начала» структурировали геометрическое знание в десятках теорем и их следствий, которые последовательно выводились всего из пяти аксиом и пяти постулатов. Все аксиомы и постулаты представляют собой утверждения; принимаемые без доказательства. К примеру: «часть меньше целого» или «равные одному и тому же равны и между собой». Однако пятый постулат; касающийся углов; не был таким очевидным.

«Если прямая; пересекающая две прямые; образует внутренние односторонние углы; меньшие двух прямых углов; т.е.; продолженные неограниченно; эти две прямые встретятся с той стороны; где углы меньше двух прямых»^[14]. Другими словами; нарисуйте три прямые так; чтобы две из них пересекали третью и чтобы обращенные друг к другу углы были меньше 90° . Если продлить прямые на достаточное расстояние; то в конце концов они должны пересечься и образовать треугольник. То есть если один угол 89° и второй тоже 89° то третий угол; под которым эти прямые пересекутся; образовав очень вытянутый треугольник; составит 2° .

Математики предполагают; что пятый постулат был добавлен последним; так как Евклид пытался вывести его с помощью других аксиом и постулатов; но не смог. И действительно, первые 28 теорем в «Началах» доказываются с использованием лишь четырех первых

постулатов, и только в доказательстве последующих теорем Евклид начинает использовать пятый постулат. Как будто опытный клавишник-виртуоз; отыграв 28 песен на концерте; понял, что для идеального звучания 29-й песни не хватает гитары. Иногда имеющихся инструментов недостаточно для того, чтобы завершить произведение; и необходимо импровизировать и привносить что-то новое.

Пятый постулат Евклида стал известен как «аксиома параллельных прямых» во многом благодаря работам шотландского математика Джона Плейфэра. Он предложил иную формулировку пятого постулата; которая хоть и не является полностью логически эквивалентной исходной; играет ту же роль в доказательствах теорем. По версии Плейфэра; на плоскости через точку, не лежащую на данной прямой, можно провести одну, и только одну прямую, параллельную данной.

На протяжении многих веков ученые пытались вывести пятый постулат (в формулировке и Евклида, и Плейфэра) из первых четырех.

Даже известный персидский поэт и философ Омар Хайям не избежал попыток превратить этот постулат в доказанную теорему. В конечном итоге математическое сообщество пришло к выводу, что пятый постулат полностью независим, и отказалось от попыток его доказать.

Когда Эйнштейн изучал учебник геометрии, он и не подозревал о противоречиях и научных спорах вокруг пятого постулата. Более того, он разделял многовековое убеждение, что евклидова геометрия является сакрально-неприкосновенной. Ее аксиомы и теоремы казались такими же незыблемыми, вечными и изящными, как баварские Альпы.

Однако далеко к северу от Мюнхена, в маленьком университетском городке Гёттингене математики решились на смелый эксперимент по изменению геометрии. Каменное святилище мыслительной деятельности стало территорией радикального реформирования математики. Результат этого эксперимента был назван *неевклидовой геометрией*. Новый подход к геометрии имел еще меньше общего с традиционным, чем психоделические постеры Питера Макса с полотнами Рембрандта. Пока Эйнштейн изучал старые правила для точек, прямых и фигур на плоскости, гениальные математики, в числе

которых был Феликс Клейн, приехавший в Гёттинген из Лейпцига, разрабатывали намного более гибкий подход, описывающий геометрические соотношения на искривленных и перекрученных поверхностях. Самое шокирующее его творение, бутылка Клейна, — это нечто напоминающее вазу, в которой внутренняя и внешняя двумерные поверхности соединены изгибом в более высоком измерении. Таких ужасающих фигур-монстров еще не было в учебниках, где нерушимые законы евклидовой геометрии исключали подобные кошмары. Но Клейн показал, что и евклидова и неевклидова геометрии математически равноправны. К 1890-м годам его революционное видение открыло когда-то элитный клуб геометрических фигур не только для треугольников и квадратов, но и для настоящих «монстров».

Несмотря на это, неевклидова геометрия не такая уж и либеральная. Как и у предшественницы, у нее есть свои ограничения. Суть неевклидовой геометрии заключается в том, чтобы заменить аксиому параллельных прямых новым утверждением, но оставить при этом остальные постулаты неизменными. Раз аксиома параллельных независима, то она в некотором смысле заменяема, что делает возможным новые варианты геометрии.

Первым, кто предложил идею неевклидовой геометрии, был Карл Фридрих Гаусс, хотя он и не рискнул опубликовать свои ранние соображения^[2]. В версии Гаусса, которую позже Клейн назвал «гиперболической геометрией», аксиома параллельности заменена утверждением о том, что через точку, не лежащую на данной прямой, можно провести неограниченное число прямых, параллельных данной прямой. Представьте, что вы крепко сжали в руке бумажный веер прямо над длинным узким столом. Если стол — это прямая, а ваша рука — точка, не лежащая на прямой, то складки веера показывают множество прямых, которые не пересекают исходную прямую. Термин «гиперболическая» происходит оттого, что расхождение параллельных прямых напоминает то, как расходятся ветви гиперболы.

Гаусс заметил любопытное свойство треугольников в гиперболической геометрии: сумма их углов была меньше 180° . Это отличает гиперболическую геометрию от евклидовой, где сумма углов треугольника всегда равна 180° . Например, в равнобедренном прямоугольном треугольнике два угла равны 45° , а третий — 90° .

Талантливый художник М. К. Эшер вдохновился этим различием для создания любопытных узоров из искаженных не-180-градусных треугольников, существующих в гиперболической реальности.

Можно попробовать проиллюстрировать гиперболическую геометрию следующим образом: представьте себе точки, прямые и геометрические фигуры, расположенные не на плоскости, а на поверхности в форме седла или, если эпикурейские удовольствия вам ближе, в форме изогнутых картофельных чипсов. Из-за формы седла находящиеся рядом прямые будут расходиться друг от друга. Как бы им ни «хотелось» идти прямо, они будут отклоняться друг от друга и никогда не встретятся. Это приводит к тому, что через данную точку вы можете провести неограниченное число прямых, не пересекающих прямую, лежащую в стороне от данной точки. Кроме того, седловая форма поверхности «сжимает» треугольники; делая сумму их углов меньше 180° .

Другая версия неевклидовой геометрии впервые была предложена студентом Гаусса Бернхардом Риманом в 1854 году и опубликована в 1867 году. Она стала известна под названием «эллиптическая геометрия»; которое предложил Клейн. В этой геометрии аксиома параллельных заменена утверждением; полностью исключающим возможность существования непересекающихся прямых. Она говорит о том; что через данную точку, не лежащую на данной прямой; невозможно провести ни одной прямой; не пересекающейся с данной. Другими словами; все прямые; проходящие через точку, не лежащую на данной прямой; должны пересекать эту прямую где-то в пространстве. Риман показал; что таким свойством обладают прямые на поверхности сферы.

Если отсутствие параллельных прямых кажется вам странным; представьте себе Землю. Каждый меридиан пересекается со всеми остальными на Северном и Южном полюсах. То есть если какой-нибудь амбициозный путешественник начнет свой путь из центра Торонто строго на север; прямо по Янг-стрит; главной улице города; потом наймет собачью упряжку и ледокол и продолжит свой путь на Северный полюс; в то время как его сестра в это же самое время пойдет по аналогичному маршруту, только из Москвы, то вначале их пути будут казаться параллельными, но, несмотря на это, родственники неизбежно встретятся.

Любопытно, что такой запрет существования параллельных прямых повлиял на свойства треугольников иным образом. В эллиптической геометрии сумма углов треугольника превышает 180° . Возможен, например, треугольник, все углы которого прямые, а сумма углов равна 270° . Примером может служить треугольник, составленный из нулевого и 90° -градусного меридианов, а также из соединяющей их части экватора. У такого треугольника все три стороны будут пересекаться под прямыми углами.

Риман разработал очень сложный математический аппарат для анализа кривых поверхностей произвольной размерности. Такие поверхности получили название *многообразия*. Риман показал, как строго математически обнаружить разницу между кривой и плоской поверхностями. Для этого он ввел *тензор кривизны*. Тензор — это математический объект, который преобразуется определенным образом при переходе в другую систему координат. Риман показал, что существует три типа пространств: пространства положительной кривизны, пространства отрицательной кривизны и пространства нулевой кривизны. Они соответствуют эллиптической, гиперболической и евклидовой (плоской) геометриям.

Людам, далеким от математики, неевклидова геометрия кажется абстрактной и противоестественной. В конце концов, здравый смысл подсказывает, что параллельность — это что-то про две прямые, которые никогда не пересекутся. Если при параллельной парковке вы врежетесь в другую машину, то вряд ли полиция сделает скидку на неевклидовость. Детям в школе объясняют, что сумма углов треугольника равна 180° . Зачем же усложнять геометрию, изменяя ее основополагающие принципы?

По мере развития своих идей, но еще до создания общей теории относительности Эйнштейн и сам задавался этим вопросом, однако традиции евклидовой геометрии, усвоенные еще на школьной скамье, прочно владели его мыслями. Эйнштейн обсуждал свои идеи с другом семьи и студентом медицинского университета Максом Талми (Талмудом), который часто заходил к нему в гости, и Талми был поражен глубиной суждений столь молодого юноши о математике, природе и других материях.

Эйнштейн узнал о неевклидовой геометрии уже в университете. Будучи все еще привязанным к своему детскому учебнику, он не

уделил ей особого внимания, посчитав не важной для науки. Намного позже, находясь под влиянием университетского друга Марселя Гроссмана, он осознал важность неевклидовой геометрии. Введя неевклидову геометрию в область теоретической физики, Эйнштейн невероятным образом изменил эту науку^[3]. Двенадцатилетний мальчик, прижимающий к груди учебник геометрии, еще не знал, что своими руками перепишет законы физики в такой формулировке, которая сделает этот учебник неактуальным.

Атомы в движении

Вена конца 1890-х годов была местом ожесточенных споров в фундаментальной науке. Пока Шрёдингер получал образование, сначала на дому, а с 1898 года в престижной Академической гимназии, два человека, которые впоследствии помогли оформить его научным интересам, Людвиг Больцман и Эрнст Мах, горячо спорили о реальности атомов.

Когда Больцмана назначили на должность профессора теоретической физики Венского университета в 1894 году, он уже был известен как один из основателей статистической механики (тогда ее называли кинетической теорией). Статистическая механика — это раздел физики, изучающий взаимосвязь поведения микроскопических частиц и изменения таких макроскопических термодинамических величин, как температура, объем, давление. Чтобы применить такой подход, пришлось допустить, что все газы состоят из огромного количества чрезвычайно малых частиц — атомов и молекул.

Достижения Больцмана сделали термодинамику актуальной темой для исследований, и множество молодых ученых устремились в Вену, чтобы поработать с ним. Физики Лиза Мейтнер, Филипп Франк, Пауль Эренфест писали свои диссертации под его руководством и впоследствии сделали успешную карьеру. Шрёдингер восхищался Больцманом и надеялся поработать с этим великим ученым.

Несмотря на успехи Больцмана, спокойствие его было нарушено появлением Маха, который в 1895 году стал профессором философии Венского университета. Указывая на необходимость проведения большего числа экспериментов, он категорически выступал против

атомизма и теории Больцмана. Мах настаивал, что в основе термодинамики должно быть то, что можно воспринять и непосредственно измерить, к примеру тепловой поток. Это была позиция позитивизма — философского направления, отрицающего абстрактное знание и призывающего подтверждать любое утверждение экспериментальными доказательствами. Сравнивая веру в атомы с религиозной верой. Мах полагал, что его подход отличается большей научностью и опирается на эмпирические данные, полученные от органов чувств.

«Если вера в существование атомов имеет столь большое значение, — писал он, — то я отрекаюсь от физического образа мышления, я не желаю быть настоящим физиком, я отрекаюсь от признания научным сообществом. Словом, я с благодарностью отказываюсь от причисления меня к верующим. Я предпочитаю свободу мышления» ^[15].

Мах направлял свои язвительные комментарии не только в адрес Больцмана. Даже самые почитаемые физики подвергались его нападкам, если их точка зрения противоречила принципу прямого чувственного восприятия. Мах дерзко раскритиковал одно из основных понятий ньютоновской механики, понятие инерциальной системы отсчета — такой системы, которая покоится или движется прямолинейно и с постоянной скоростью, поскольку ее движение необходимо соотносить с «универсальным вместилищем», называемым «абсолютным пространством». К этому времени Ньютон, особенно в Великобритании, практически приобрел статус святого. Однако само понятие инерции основывалось на чем-то абстрактном — а такую науку Мах не признавал.

Претензия Маха к ньютоновскому определению инерции основывалась на мысленном эксперименте с вращающимся ведром, который Ньютон придумал, чтобы продемонстрировать необходимость абсолютного пространства. Эксперимент заключался в следующем. Представьте себе ведро, наполненное водой не до самых краев и подвешенное к дереву на веревке. Далее вращайте ведро вокруг его оси, пока веревка совсем не закрутится. Одерживайте ведро в таком положении, пока вода не придет в состояние покоя, а затем отпустите его. Оно начнет раскручиваться. Загляните внутрь ведра: вода внутри ведра тоже движется, формируя воронку, а ее поверхность становится

сильно вогнутой. Это происходит из-за того, что инерция вынуждает воду вырываться наружу. А так как боковая стенка ведра не позволяет ей вытечь, то внешняя граница воды поднимается. Если смотреть только внутрь самого ведра, игнорируя все, что его окружает, то возникает вопрос, почему вода приняла вогнутую форму. Относительно ведра вода находится в состоянии покоя. Лишь относительно внешнего мира, который Ньютон и назвал абсолютным пространством, вращение воды имеет смысл. Ньютон заключил, что именно вращение воды относительно абсолютного пространства изменяет ее поверхность.

Мах не соглашался с этим, утверждая, что экспериментально доказать существование абсолютного пространства невозможно. Более вероятно, полагал он, что такое поведение воды объясняется каким-либо неучтенным фактором, например совокупным влиянием далеких небесных тел. Так же как вращение Луны вызывает на Земле приливы, совместное притяжение звезд может каким-то образом порождать инерцию. Позже Эйнштейн назвал эту идею «принципом Маха». Этот принцип вдохновил Эйнштейна на создание теории относительности.

Критика Махом Ньютона вдохновила Эйнштейна и других физиков на переосмысление классической механики и подтолкнула к поиску альтернатив. Убеждение Маха в том, что наука должна предоставлять осязаемые доказательства и избавляться от скрытых механизмов, повлияло на Шрёдингера, который с большим интересом читал его работы. Однако его неприятие больцмановских идей атомизма приняло личный оборот. Подверженный резким сменам настроения и стремительно терявший здоровье, в сентябре 1906 года Больцман покончил с собой, находясь на отдыхе с семьей в Триесте.

Студенческие годы

Волею судеб самоубийство Больцмана произошло всего за несколько месяцев до того, как Шрёдингер поступил в Венский университет зимой 1906–1907 годов. Шрёдингер окончил Академическую гимназию с отличными отметками по математике и физике — своим любимым предметам. Первый ученик класса, он мог выбрать любую специальность, но его страстью были уравнения,

описывающие окружающий мир. Он хотел изучать теоретическую физику в университете, и Больцман мог бы стать для него прекрасным наставником. Увы, учебу Шрёдингер начал в мрачное время, когда над физической программой сгустились тучи.

Шрёдингер вспоминал: «Старый Венский институт, только оплакавший трагическую смерть Людвига Больцмана... дал мне возможность проникнуть в суть идей этого великого ума. Мир его идей можно назвать моей первой научной любовью. Ни до, ни после него не было человека, настолько меня вдохновлявшего»^{16}.

Шрёдингера воодушевляла смелость, с которой Больцман брался за решение фундаментальных вопросов. Он не побоялся применить атомистические идеи к формулировке принципов, регулирующих тепловое поведение Вселенной в целом. Вдохновленный его примером, амбициозный Шрёдингер попытается создать общую теорию, объединяющую все силы природы.

После Больцмана место заведующего кафедрой теоретической физики занял один из его бывших студентов, прекрасный теоретик Фридрих (Фриц) Хазенёрль. Он получил известность, занимаясь изучением электромагнитного излучения движущихся объектов и обнаружив взаимосвязь энергии и массы (хотя и с ошибкой в расчетах) еще до появления знаменитого уравнения Эйнштейна^{17}. К студентам он относился дружелюбно и приветливо. Хотя Шрёдингеру и не довелось изучать термодинамику и статистическую механику под началом Больцмана, ему посчастливилось исследовать эти и другие области физики, например оптику, под руководством его высококвалифицированного преемника. Все свидетельства указывают на то, что Хазенёрль был прекрасным учителем. Окрыленный преподаванием Хазенёрля и достижениями Больцмана, Шрёдингер надеялся сделать себе имя на открытиях в области теоретической физики.

Шрёдингер быстро зарекомендовал себя как выдающийся студент. Ганс Тирринг, изучавший физику вместе с ним и ставший его другом на всю жизнь, вспоминал, как, сидя на семинаре по математике, он увидел светловолосого юношу, входящего в аудиторию, и услышал, как другой студент, старый школьный друг последнего, воскликнул в восхищении: «О, это же Шрёдингер!»^{18}

Несмотря на теоретический интерес, главный упор в исследовательской университетской работе Шрёдингер делал на экспериментальную часть под руководством Франца Экснера. Докторскую диссертацию Шрёдингер также писал под его началом. Экснер интересовался многочисленными электрическими эффектами, включая феномен атмосферного электричества и электрохимические реакции. Он также исследовал свет, цвет и явление радиоактивности. Докторская диссертация Шрёдингера называлась «Влияние влажности воздуха на электрические свойства изоляционных материалов». Она носила практический характер, в ней исследовалась электрическая проводимость поверхности изоляторов в сыром воздухе. Будущий теоретик начал свою карьеру с экспериментальной работы в маленькой лаборатории. Он прикреплял электроды к образцам янтаря, парафина и других изоляционных материалов и измерял проходящий по ним ток. Он защитил диссертацию в 1910 году и в 1914 году прошел так называемую процедуру *хабилитации* (получение высшей академической степени в австрийской системе образования, которая дает право на преподавание), основанную на теоретическом исследовании, касающемся поведения атомов и магнитных полей.

Только спустя много лет Эйнштейн и Шрёдингер займутся исследованием проблемы объединения гравитации и электромагнетизма. И все же написанное Махом, который уже был слаб здоровьем, в 1910 году письмо, попавшее в конечном счете в руки Шрёдингера, предвосхитило эти исследования. Несмотря на то что Мах вышел на пенсию, он все еще активно трудился над разрешением вопросов устройства природы. Он стал задумываться о сходстве законов обратных квадратов в гравитации и электростатике, рассуждал о возможности объединения этих законов и спрашивал в письме, кто в университете мог бы дать ему ответы на эти вопросы. В частности, Маху был нужен знающий человек, который смог бы оценить спорные работы немецкого физика Пауля Гербера. Запрос Маха был передан Шрёдингеру, которому работа Гербера показалась довольно сложной и непоследовательной. Тем не менее косвенное знакомство Шрёдингера с одним из его кумиров стало предвестником его собственной теоретической работы. Более того, тот факт, что Шрёдингера попросили ответить Маху, показывал, как высоко его ценили в

университете. Шрёдингеру еще не было и тридцати, а он уже заслужил себе хорошую репутацию.

В погоне за светом

Несмотря на то что Шрёдингеру так и не удалось посотрудничать с Больцманом, он изучал его работы и осознавал их важность и масштабность. Шрёдингер, несомненно, был блестящим студентом. Студенческая жизнь Эйнштейна, напротив, принесла ему разочарование: он был лишен возможности изучать действительно интересные ему глубокие теоретические вопросы. Поэтому Эйнштейн не относился ко многим учебным предметам, в особенности к математике, с должной серьезностью, так как не считал их значимыми для своих научных устремлений. Но личные связи, которые он завел в университете, оказались кардинально важными для его интеллектуального развития.

В отличие от Шрёдингера путь Эйнштейна от школы к университету и от университета к академической карьере был более извилистым. В 1893 году его отец не смог продлить контракт на электрификацию Мюнхена, а в следующем году он ликвидировал компанию и в поисках работы переехал со всей семьей в Милан. Эйнштейн, еще не завершивший свое обучение в Луитпольдовской гимназии, вынужден был остаться в Мюнхене один. Спустя несколько месяцев Эйнштейн решил, что настало время и ему покинуть Германию. Его заявка на выпуск экстерном была одобрена, и ему разрешили подать документы и сдать экзамены в университет досрочно. Поступать он решил в Швейцарскую высшую техническую школу в Цюрихе (ETH).

Примерно в это же время, в возрасте 16 лет, Эйнштейну приснился необычный сон — он видел, как бежит за световой волной и пытается ее догнать. Он задумался: а если бы он мог двигаться со скоростью света, то выглядела бы волна для него просто колеблющейся на месте? В конце концов, ведь если бежать рядом с велосипедом, то он будет казаться неподвижным. Как отмечал еще Ньютон, и покоящийся, и равномерно и прямолинейно движущийся наблюдатель находится в инерциальных системах отсчета, все законы движения в которых должны быть одинаковыми. То есть если два объекта движутся в одном направлении с одинаковой скоростью, то относительно одного из них второй будет покоиться, и наоборот. Однако в уравнениях

Максвелла для электромагнитного поля ничего не говорится о том, движется наблюдатель или нет. Согласно этим уравнениям, свет в пространстве всегда движется с одной и той же скоростью. Эйнштейн понял, что предположения Ньютона и Максвелла явно противоречат друг другу. Прав мог быть только один из них — но кто?

Когда Эйнштейна занимал этот вопрос, сама мысль о том, что свет имеет постоянную скорость в вакууме — или что свет вообще может распространяться в пустоте — еще не получила широкого признания. Множество физиков того времени считало, что свет движется сквозь невидимую субстанцию, названную «светоносным эфиром» или просто *эфиром*. Если это действительно так, то должна существовать возможность обнаружить движение Земли относительно эфира. Однако известный эксперимент 1887 года, проведенный двумя американскими физиками — Альбертом Майкельсоном и Эдвардом Морли, такого движения не обнаружил. Ирландский физик Эдвард Фитцджеральд и голландский физик Хендрик Лоренц в попытке объяснить поведение света с помощью законов механики Ньютона независимо друг от друга предположили, что объекты, движущиеся с большой скоростью, сжимаются в направлении движения. Этот эффект, названный сокращением Лоренца — Фитцджеральда, позволил интерпретировать результаты эксперимента как сжатие инструмента в направлении его движения, приводящее к тому, что измеряемая скорость света остается постоянной. Эйнштейн, тогда еще не знакомый с экспериментом Майкельсона — Морли, пытался разрешить этот парадокс, не прибегая к идее эфира. Еще до того, как он прочитал труды Маха, он каким-то образом догадался, что физика Ньютона устарела и нуждается в серьезном пересмотре.

Удивительно, но Эйнштейн, который в наше время считается настоящим гением, с первой попытки провалил экзамены в ЕТН.

Возможно, это и послужило поводом для известного мифа о том, что у Эйнштейна в школе была двойка по математике. В действительности самым слабым его местом оказалось сочинение на французском языке. Чтобы подготовиться получше, он год отучился в выпускном классе школы города Арау в Швейцарии. Он отважно отказался от немецкого гражданства, возможно, пытаясь оборвать все связи с прошлым. Живя без родителей и какое-то время без гражданства, он был очень необычным подростком. К счастью, со

второй попытки он все же сдал экзамены и поступил в ЕТН в беспрецедентно юном семнадцатилетнем возрасте.

Во время учебы Эйнштейн понял, что физика в ЕТН преподается старомодно, с упором на традиционные разделы вроде механики, теплопередачи и оптики. О маховской критике Ньютона в этих почтенных аудиториях никто даже не слышал, и мало кто понимал теорию электромагнетизма Максвелла. Эйнштейн все еще размышлял о своей проблеме скорости света, но не мог найти ее решение на лекциях этого университета.

Университетские годы Эйнштейна совпали со временем поразительных открытий в физике. Пока в Вене Мах и Больцман вели горячие дебаты об атомизме, кембриджский физик Джозеф Джон Томсон в 1897 году представил экспериментальное доказательство существования частицы, значительно меньшей атома. Коллеги вначале с подозрением отнеслись к возможности существования чего-либо меньшего, чем якобы неделимое. Томсон назвал отрицательно заряженную частицу «корпускулой», но Фитцджеральд, следуя совету своего дяди, ирландского ученого Джорджа Стони, предложил назвать эту частицу «электроном». Именно этот термин и стал общепринятым. В Париже Анри Беккерель открыл явление радиоактивности, изучая свойства радиоактивного урана вместе со своими аспирантами Марией Кюри и ее мужем Пьером Кюри. В 1898 году супруги Кюри открыли радий, еще один радиоактивный элемент. Все эти находки указывали на сложное устройство атомов — предмет исследований, которым позже займутся Эйнштейн, Шрёдингер и множество других физиков того времени. Но в ЕТН студентам предлагали придерживаться проверенной временем экспериментальной физики. Это явно шло вразрез со стремлением Эйнштейна найти новые объяснения явлениям окружающего мира.

Эйнштейну посчастливилось обрести друзей, которые поддерживали друг друга в исследованиях и обменивались идеями. Одним из главных его наперсников, с которым он познакомился не в университете, а на почве общей любви к музыке, был блестящий инженер шведско-итальянского происхождения Мишель Бессо. Бессо существенно повлиял на убеждения Эйнштейна, познакомив его с работами Маха. Эйнштейн и Бессо оставались друзьями всю жизнь.

Другим близким его другом был талантливый математик Марсель Гроссман. Эйнштейн пользовался его прекрасными конспектами по математике, когда решал прогулять лекцию, а это бывало довольно часто. Позже Гроссман стал профессором математики в ЕТН и помог Эйнштейну разработать математический аппарат общей теории относительности.

Учитывая престиж преподавателей в ЕТН, Эйнштейну следовало уделять математике больше внимания. Одним из его профессоров был Герман Минковский, который несколько лет спустя помог переформулировать специальную теорию относительности Эйнштейна более изящным и удобным образом. Минковский родился в Литве и получил образование в престижном Кёнигсбергском университете. Он был одним из немногих профессоров ЕТН, умевших включить в теоретическую физику жизненно важный аппарат высшей математики. Учитывая их дальнейшее сотрудничество, довольно забавно, что в то время Минковский не был высокого мнения о своем нерадивом студенте. Замечая, как часто Эйнштейн пропускает его лекции, Минковский называл его лентяем.

Эйнштейн, оправдывая позже свое пренебрежение математикой, говорил: «Мне, молодому студенту, было неясно, что более глубокое понимание физики зависит от знания сложнейших математических методов. Постепенное понимание этого пришло ко мне много позже, после долгих лет самостоятельной научной работы»^[19]. Конечно, Эйнштейну следовало бы больше внимания уделить приобретению навыков, необходимых для работы в области теоретической физики. Но у него была веская причина манкировать учебой. На втором курсе он влюбился в единственную в группе девушку Мнлеву Марич родом из Сербии. Их пламенная страсть нашла отражение в любовных письмах и стихах, опубликованных много лет спустя, после смерти Эйнштейна. Их отношения были чужды условностям, так как Эйнштейн искал взаимоотношений, основанных на равенстве, свободной любви и абсолютной поддержке идей и целей друг друга. Мать Эйнштейна не одобряла эту связь, надеясь, что сын выберет женщину из семьи такого же социального класса, придерживающейся таких же ценностей и имеющей такое же происхождение. Тем не менее их связь становилась крепче, а трения с семьей превращали их чувства друг к другу в пламенную революционную борьбу.

На третьем курсе ЕТН Эйнштейн прослушал несколько курсов физики, но произвести хорошее впечатление он не смог. Профессор Жан Перне, преподаватель курса «Физические задачи для начинающих», постоянно ругал Эйнштейна за частые прогулы и поставил ему самую низкую оценку. Преподаватель термодинамики профессор Генрих Фридрих Вебер не уделял достаточно внимания открытиям, сделанным Больцманом и другими физиками, и поэтому Эйнштейн решил изучать подход Больцмана самостоятельно. Самым важным в этом году для него стала возможность поработать в электротехнической лаборатории Вебера, оборудованной по последнему слову техники. Несмотря на все старания Эйнштейна, произвести впечатление на Вебера ему не удалось. Профессор-практик не терпел его неухоженного вида и юношеского идеализма.

Эйнштейн безуспешно пытался заинтересовать Вебера возможностью разрешения проблемы скорости света. Он попросил предоставить ему лабораторию, чтобы зарегистрировать движение Земли сквозь эфир, не зная, что несколькими годами ранее Микельсон и Морли уже провели подобный эксперимент. Учитывая отсутствие у Вебера интереса к электромагнитной теории Максвелла и другим недавним открытиям, неудивительно, что тот скептически отнесся к просьбе студента и не поддержал идею эксперимента. Репутацию Эйнштейна ухудшило и то, что, проигнорировав инструкции, он повредил руку, устроив взрыв в лаборатории Перне. Учеба в ЕТН подходила к концу, и преподавательский состав не возлагал особых надежд на Эйнштейна. Сдав выпускные экзамены и получив диплом преподавателя математики и физики, он безуспешно попытался получить в ЕТН должность научного сотрудника. К его большому удивлению и смятению, ни один профессор — ни физик, ни математик — не хотел брать его в ассистенты. Эйнштейн с грустью вспоминал: «Внезапно все меня бросили. Я пребывал в растерянности на пороге жизни»^[20].

Усугубило ситуацию и то, что практически все его друзья, включая Гроссмана, поступили в аспирантуру в ЕТН. Милева тоже была исключением: плохо сдав выпускные экзамены, она не получила степень. Без поддержки профессорского состава податься Эйнштейну было некуда. Только чудо могло спасти его карьеру.

На пути к чудесам

Когда бой часов возвестил о начале нового века, в сообществе физиков царили различные мнения по поводу состояния их профессиональной сферы. Старое поколение ученых, последовательных приверженцев ньютоновской механики, считало, что картина мира уже близка к завершению, за исключением пары незначительных штрихов. А вот молодые физики, пытаясь в своих лабораториях понять электромагнитные и радиоактивные явления, не относились свысока к странным и требующим объяснения феноменам (таким, как невидимые рентгеновские лучи или сияющий радий).

27 апреля 1900 года английский ученый лорд Кельвин (Уильям Томсон) выступил с речью под названием «Облака XIX века, нависшие над динамической теорией теплоты и света», в которой он обозначил две проблемы, препятствующие дальнейшему развитию физики. И как только эти «облака» рассеются, физику ждет светлое будущее. Но Кельвин не знал, что именно эти проблемы положат начало революционным изменениям в физике.

Первым «облаком» Кельвина была проблема распространения света в пространстве и поиск причин, по которым эксперимент Майкельсона — Морли не обнаружил существования эфира. Хотя Лоренц и другие исследователи предлагали различные объяснения, проблема так и не была решена. Кельвин надеялся на более полное и обоснованное объяснение.

Вторым «облаком» было излучение абсолютно черного тела. Теоретические модели просто не соответствовали экспериментальным данным. Похоже, что-то было неладно с исходными предположениями.

Абсолютно черное тело — это идеальный поглотитель света. Представьте себе выкрашенный черной краской ящик, который поглощает каждый попадающий в него луч света. Абсолютно черное тело может также испускать электромагнитное излучение с различными длинами волн. Некоторые волны соответствуют видимому свету, от коротковолнового фиолетового до длинноволнового красного. Некоторые длины волн соответствуют невидимым человеческому глазу типам электромагнитного излучения: ультрафиолетовому, имеющему более короткую длину волны, чем у фиолетового, и инфракрасному,

имеющему большую длины волны, чем у красного. Сейчас мы знаем, что спектр электромагнитных волн простирается от невероятно сверхкоротковолновых гамма-лучей до довольно длинноволнового радиоизлучения.

Как обнаружили ученые XIX столетия, распределение мощности излучения по различным длинам волн зависит от температуры тела, испускающего этого излучение. Чем горячее объект, тем дальше смещается максимум на графике мощности излучения в сторону более коротких длин волн. Мы можем наблюдать это в процессах горения: более горячее пламя светится голубым, а менее горячее — красным или оранжевым. Люди и большинство животных имеют настолько низкую температуру, что излучают в основном в невидимом глазу инфракрасном диапазоне.

Лорд Рэлей (Джон Уильям Стретт), достойный преемник Максвелла в Кембридже, применил волновую теорию и статистическую механику для исследования равновесного излучения абсолютно черного тела. Вычисляя, как много стоячих волн поместится в заданном объеме, он получил формулу, описывающую распределение мощности излучения, которая показывала, что мощность излучения должна возрастать с уменьшением длины волны. Его логика была понятна — в ящик поместится больше коротких предметов, чем длинных. Он опубликовал результаты своих расчетов в 1900 году.

Проблема с моделью Рэля как раз и состояла в том, что она предсказывала увеличение мощности излучения при переходе в более коротковолновую и более высокочастотную область спектра. (Частота — это отношение скорости света к его длине волны; поэтому чем короче длина волны, тем больше частота.) Таким образом, огонь, вместо того чтобы светиться оранжевым, красным или синим пламенем, должен быть невидимым. Налейте в кружку горячий черный кофе, оставьте ее на столе, и тогда, следуя модели Рэля, она сожжет вашу кожу ультрафиолетом или даже опасными рентгеновскими лучами, а не согреет приятным инфракрасным излучением. Пауль Эренфест назвал эту проблему *ультрафиолетовой катастрофой*.

Довольно редко у трудноразрешимой проблемы быстро находится решение, но в том же году немецкий физик Макс Планк нашел выход.

Он предположил, что энергия передается маленькими порциями, или *квантами*. Эта порция высчитывается как произведение целого числа на частоту излучения и на еще одну чрезвычайно малую величину, называемую сегодня *постоянной Планка*. Он не пытался подправить расчеты Рэлея, его скорее интересовал более общий вопрос: как происходит излучение абсолютно черного тела? Планк обнаружил важную вещь. Если предположить, что излучение передается конечными порциями и его энергия пропорциональна частоте, то распределение мощности излучения смещается в область более умеренных частот и длин волн, поскольку в таком случае излучение на более высоких частотах (коротких длинах волн) будет «стоять» значительно «дороже», чем более низкочастотное (с большими длинами волн).

Это похоже на наполнение копилки монетами разного достоинства: рублями и копейками. Так как рублевые монеты по размеру больше, чем копеечные, то их поместится меньше. Поэтому можно ожидать, что в копилке будет больше копеечных монет. Однако если бы эти монеты были из некоторой ценной коллекции, в которой копейки встречались реже и стоили дороже рублей, то более вероятно, что копеек в копилке было бы меньше. То есть высокая стоимость копеек сбалансировала бы их маленький размер, создав в копилке более справедливое распределение. Так же и в модели Планка: более высокая энергетическая «стоимость» высокочастотных квантов компенсируется их небольшой длиной волны, обеспечивая тем самым более сбалансированное распределение, соответствующее физической реальности.

Планк рассматривал идею квантов скорее как математический трюк, а не как отражение физической реальности. Однако с течением времени стало ясно, что идея квантов станет ключевой в пересмотре всей физики. И Эйнштейн сыграет в этом важную роль благодаря своей работе по объяснению фотоэффекта, опубликованной в 1905 году, или, как еще называют этот год, — *Annus Mirabilis* — «год чудес».

Чудесному году Эйнштейна предшествовал год напряженной интеллектуальной работы. Находясь в тяжелом финансовом положении, он сумел сделать три революционных открытия. Макс Талми вспоминает: «Было видно, что он живет бедно. У него была

маленькая комната почти безмебели. Он... буквально боролся за выживание»^[21].

Не имея академической должности, Альберт обеспечивал себя и Милеву сначала репетиторством, а затем устроился на работу «техническим экспертом третьего класса» в Федеральное бюро патентования изобретений в Берне. В этом ему помог отец Гроссмана, который был знаком с директором бюро. Изучая проекты изобретений и решая, являются ли они оригинальными и осуществимыми, он находил время для размышлений над фундаментальными физическими проблемами. Благодаря своей расторопности он выполнял рабочие обязанности за несколько часов, а остальное время посвящал собственным исследованиям.

Необходимость устроиться на работу в бюро объяснялась еще и тем, что Милева ждала ребенка. Несмотря на уверения Эйнштейна в том, что все будет хорошо, этот период жизни не был счастливым для Милевы. Ее собственная научная карьера не состоялась, так как она повторно провалила выпускные экзамены. Альберт обещал поддерживать ее, но был полностью поглощен собственной работой.

В конце 1901 года Милева в одиночестве вернулась в свой родной город Нови-Сад. Там, в доме ее родителей, в январе 1902 года на свет появилась девочка Лизерль. Дальнейшая судьба Лизерль неизвестна: некоторые историки полагают, что она была отдана на удочерение сербской семье и умерла в раннем детстве. Скорее всего, Эйнштейн никогда не видел свою дочь, чье рождение скрыл от родителей, родственников и друзей. Только после его смерти были найдены письма, из которых стало известно о ее существовании.

Милева вернулась в Берн, и они поженились в январе 1903 года. Позже в том же году они переехали в квартиру на главной улице Берна, Крамгассе, недалеко от знаменитой часовой башни. У них родились еще двое детей — Ганс Альберт в 1904 году и Эдуард в 1910 году. Вместо научной карьеры Милева занималась воспитанием детей и домашним хозяйством. Ее мечтам не суждено было сбыться, и отношения в семье становились натянутыми. Она погрузилась в семейный быт и страдала от депрессий. На качелях жизни она летела вниз, а Альберт стремился вверх.

Свободный от домашних обязанностей и не обремененный тяжелой работой, Эйнштейн находил время для обсуждения философских

вопросов в компании друзей, которых завел вскоре после переезда в Берн. По примеру древних греков они называли себя «Академия Олимпия». Основателем кружка был Морис Соловин, румынский студент, интересовавшийся самыми разнообразными областями знаний. Морис откликнулся на репетиторское объявление Эйнштейна, и их отношения быстро переросли в дружбу. Другим постоянным участником кружка был математик Конрад Хабихт. Они регулярно встречались и обсуждали работы Маха, Пуанкаре, Спинозы и многих других. Эти оживленные дебаты помогли Эйнштейну отточить свои идеи, которые впоследствии легли в основу важнейших для всего человечества работ.

В надежде вернуться к академической жизни в начале 1905 года Эйнштейн защитил докторскую диссертацию в университете Цюриха. В ней он вывел формулу, позволяющую узнать размер молекулы путем измерения вязкости жидкости (сопротивления течению). Ничто в этой практической работе не предвещало целого взрыва идей, который вот-вот должен был произойти.

Весной того же года Эйнштейн «взвел курок». Смотря физикам прямо в глаза, он поджег фитили и бросил свои гранаты. Эйнштейн отправил четыре работы в престижный журнал *Annalen der Physik*. Первая работа была связана с его диссертацией. Остальные три касались фотоэлектрического эффекта, броуновского движения и специальной теории относительности — и они пошатнули основание здания теоретической физики.

Статья Эйнштейна по фотоэффекту упрочила идею Планка, сделав ее более понятной и вполне поддающейся измерению. В этой статье описывалось, что произойдет, если направить на металлическую поверхность луч света достаточной энергии, чтобы он мог выбить из нее электрон. Если бы свет был просто волной, то количество переносимой ею энергии зависело бы только от интенсивности излучения (яркости, плотности светового потока). Яркая вспышка красного света переносит значительно больше энергии, чем тусклый ультрафиолетовый луч. Интенсивность изменяется непрерывно, поэтому может иметь любое значение. Передавая свою энергию электрону, световая волна должна быть способна разогнать его до скорости, при которой электрон может покинуть поверхность металла, и величина этой скорости должна зависеть от интенсивности

излучения: чем больше интенсивность света, тем быстрее должен двигаться вырванный электрон.

В экспериментах же наблюдалось совершенно иная картина: свет с длиной волны меньше какого-то значения не мог выбить электрон с поверхности металла, каким бы интенсивным он ни был.

Эйнштейн взял на себя смелость утверждать, что в некоторых случаях свет ведет себя как частица, позднее названная *фотоном*. Каждый фотон несет дискретную порцию энергии, величина которой пропорциональна частоте света. Следовательно, источники света высокой частоты испускают фотоны, обладающие большей энергией, чем источники низкочастотного излучения. Например, фотоны синего света переносят больше энергии, чем фотоны красного света. Следовательно, облучение поверхности металла светом высокой частоты дает больше шансов вырвать электрон и разогнать его до большей скорости, чем облучение этого же металла светом более низкой частоты. Скорость фотоэлектронов прекрасно коррелирует с частотой падающего на поверхность металла света. И этот результат был воспроизведен бесчисленное количество раз в физических лабораториях по всему миру.

Своим описанием фотоэффекта (основанном на предположении, что электроны поглощают и испускают свет дискретными порциями) Эйнштейн дал важную подсказку, что то же самое происходит и с атомами. Менее чем через десятилетие эти идеи окажут существенное влияние на датского физика Нильса Бора. Бор разработает модель атома, в которой электроны вращаются вокруг ядра, и, поглощая фотон, электрон поднимается на более высокую орбиту (состояние с более высокой энергией), а испуская фотон, переходит на более низкую орбиту с меньшей энергией.

Даже если бы работа по фотоэффекту стала его единственным вкладом в науку в том году, Эйнштейн уже бы прославился. Именно за это открытие он получил в 1921 году Нобелевскую премию по физике. Но объяснение фотоэффекта было лишь увертюрой к великой симфонии научных открытий.

В следующей ключевой работе, которую Эйнштейн опубликовал в 1905 году, объяснялось явление, называемое *броуновским движением*. В 1827 году шотландский ботаник Роберт Броун обнаружил странное движение частиц пыльцы в воде. Однако он не смог найти

убедительного объяснения их беспорядочному поведению. Основываясь на своей докторской диссертации, Эйнштейн решил смоделировать движение частиц, которые подвергаются постоянным ударам со стороны молекул воды, и получил точно такое же хаотическое движение, что и Броун. Объяснив зигзагообразное броуновское движение результатом миллиардов столкновений с мельчайшими частицами, Эйнштейн предоставил важное доказательство существования атомов.

Но наиболее важным достижением Эйнштейна в «год чудес» стало создание специальной теории относительности. Он наконец-то обратился к вопросу погони за лучом света, который занимал его с юных лет. Эйнштейн пришел к выводу, что, независимо от того, как быстро вы движетесь и как сильно стараетесь, вы никогда не сможете догнать световую волну.

В сегодняшней науке существование максимально возможной скорости — это широко известный факт, но в те времена это было практически невымыслимо. Классическая физика со времен Ньютона и на протяжении всех последующих веков в качестве непреложных законов учила тому, что относительная скорость — это аддитивная величина. То есть если вы катитесь по палубе корабля на скейтборде на запад с некоторой скоростью относительно палубы, а корабль при этом тоже движется на запад с какой-то скоростью относительно поверхности океана, то эти две скорости складываются. Ваша скорость относительно поверхности океана будет равна сумме скорости скейтборда и скорости корабля. Если судно каким-то образом разогнать до скорости, равной двум третям скорости света, и при этом вы тоже смогли бы на своем скейтборде похвастать такой же поразительной скоростью, то в этом случае с точки зрения ньютоновской механики вы могли бы легко обогнать луч света.

Во времена Эдисона считалось, что возможности человека ограничены лишь его воображением. Раз уж с помощью электроэнергии можно освещать города, она заставляет работать двигатели поездов и трамваев и производственные мощности заводов, то, безусловно, в мире найдется достаточно энергии, чтобы разогнать что угодно до какой угодно скорости. Если один аккумулятор может разогнать некоторое тело до определенной скорости, то никакие физические законы не исключают возможности заставить это тело

двигаться в миллиард раз быстрее, используя миллиард аккумуляторов.

Принимая уравнения Максвелла для электромагнитного поля как несомненный факт, но при этом игнорируя идею эфира, Эйнштейн предположил, что скорость света в вакууме является абсолютной константой независимо от того, кто ее измеряет. «Вояджеры»^[4], летящие с невероятной скоростью вдоль луча света, будут фиксировать, что этот луч удаляется от них с той же скоростью, как если бы они просто стояли на месте. Поэтому, как мираж в пустыне, независимо от того, как быстро вы движетесь, попытка догнать свет останется для вас несбыточной мечтой.

Эйнштейн понял, что для того, чтобы согласовать постулат о постоянстве скорости света с правилом сложения скоростей, ему придется пересмотреть часть ключевых понятий ньютоновской механики. Он решил отказаться от понятий абсолютного времени и абсолютного пространства (последнее критиковал Мах) и заменить их более подходящими концепциями. Он рассуждал, что если бы у движущихся наблюдателей часы шли медленнее, а измерительная линейка укорачивалась в направлении движения, то скорость света для них могла бы сохранить свое прежнее значение. Эти две идеи — замедление времени и сокращение линейных размеров — согласовывали теорию Максвелла с модифицированной механикой Ньютона, развеивая одно из облаков Кельвина и приближая светлое будущее науки.

Замедление времени предполагает расхождение между *собственным временем* наблюдателя, движущегося вместе с исследуемым объектом, и *собственным временем* второго наблюдателя, движущегося с некоторой постоянной скоростью относительно первого. К примеру, предположим, что первый наблюдатель — это пассажир космического корабля, движущегося со скоростью, близкой к скорости света. Для этого пассажира время, которое показывают часы на корабле, будет его *собственным временем*. Однако если второй наблюдатель, сестра этого пассажира, оставшаяся на Земле, каким-то образом посмотрит на его часы (с помощью супермощного телескопа, направленного на большие иллюминаторы космического корабля), то она обнаружит, что часы брата идут медленнее.

Чтобы понять причину этого расхождения, представьте себе, что наш пассажир проводит время, играя в своего рода пинг-понг с лучом света. В этой игре он направляет луч света прямо на зеркало, установленное на потолке. Отражаясь в нем, свет движется вертикально вниз и попадает на нижнее зеркало, установленное на полу. Сам пассажир при этом измеряет, сколько времени занимает такое движение вверх-вниз. Наблюдая в телескоп за этой игрой, его сестра увидит, что луч света описывает зигзагообразную траекторию, поскольку для нее космический корабль еще и перемещается в пространстве, пока свет летит вверх и вниз. Горизонтальное движение космического корабля в сочетании с вертикальными колебаниями луча света приводит к тому, что свет движется по V-образной траектории. Поскольку для сестры нашего пассажира свет прошел большее расстояние, чем для ее брата, а скорость света постоянна, то по часам сестры этот процесс занял больше времени по сравнению с тем, что измерил ее брат. Таким образом, она увидит, что время на корабле течет медленнее.

Релятивистское^[5] сокращение длины — это частный случай лоренцева сокращения, при котором происходит сжатие самого пространства в направлении движения, а не просто сплющивание материи. Наблюдатель, движущийся вместе с некоторым объектом, измеряет *собственную длину* объекта, а вот измерения того же объекта другими исследователями, движущимися с различными постоянными скоростями относительно объекта, дадут длину, которая будет меньше в направлении их движения.

Чтобы было легче понять эту идею, снова представьте, что пассажир космического корабля играет в «световой пинг-понг», но не вверх-вниз, а вперед-назад (в направлении движения корабля). То есть он размещает зеркало на передней стенке и направляет к нему луч света, который отражается и летит обратно к задней стенке, где установлено еще одно зеркало. Умножая время полета луча от стенки к стенке на скорость света, он определяет общую длину его пути. На Земле его сестра наблюдает за кораблем в свой супермощный телескоп и измеряет длину пути этого же луча. Поскольку корабль мчится в том же направлении, что и луч света (до того, как он отразится от передней стенки), то она обнаружит, что время, которое затрачивает луч на прохождение всего пути вперед и назад, будет меньше, чем с точки

зрения ее брата. Следовательно, по ее наблюдениям, длина пути луча света будет меньше.

В последующих работах по специальной теории относительности Эйнштейн показал, что происходит с массой при движении с большими скоростями. Он предположил, что релятивистская масса эквивалентна энергии и они связаны знаменитым уравнением $E = mc^2$. Пока объект не движется, он обладает только массой покоя — его врожденной характеристикой, так сказать. По мере того как он разгоняется, его масса, связанная с его энергией движения, увеличивается. И чем ближе его скорость к скорости света, тем больше его масса. Но чтобы разогнать объект до скорости света, потребуется преобразовать в массу бесконечное количество энергии, а это невозможно. Таким образом, для материальных тел скорость света недостижима (если только объект уже не движется с такой скоростью).

Союз пространства и времени

После того как Эйнштейн опубликовал свои потрясающие результаты, немецкое научное сообщество наконец-то обратило на него внимание. Но до всемирной славы было еще далеко. Одним из первых его сторонников стал физик Макс фон Лауэ, бывший тогда ассистентом Планка в Берлине. Летом 1906 года он нашел время, чтобы навестить Эйнштейна в патентном бюро. Он сидел в приемной, нетерпеливо ожидая встречи с удивительным наследником трона Ньютона.

Фон Лауэ вспоминал: «Молодой человек, вышедший встретить меня, выглядел настолько неожиданно для меня, что я не мог поверить в то, что это и есть создатель теории относительности. Так что я позволил ему пройти мимо, и лишь когда он вернулся из приемной, нас познакомили»^[22].

Фон Лауэ много сделал для продвижения теории относительности Эйнштейна и изучения множества ее следствий. Он написал первый учебник по теории относительности, изданный в 1911 году. Эйнштейн высоко ценил его поддержку и дружбу, которая продлилась всю их жизнь.

Другим его сторонником оказался Минковский, кардинально изменивший мнение о бывшем студенте. Пораженный тем, что «лентяй» смог дать верную трактовку уравнениям Максвелла, Минковский решил переформулировать теорию более точным математическим языком. В то время он уже занимал пост профессора в «математической Мекке» — Гёттингене, где влиятельный логик и геометр Давид Гильберт занял место главного новатора в науке Клейна. В этом центре изучения всего, лежащего за пределами евклидовой геометрии, Минковский чувствовал себя на своем месте и использовал новейшие достижения математиков по максимуму.

Минковский гениально подметил, что теория Эйнштейна будет выглядеть значительно более изящно, если ее переформулировать в терминах четырехмерной геометрии. Он предложил альтернативу евклидову пространству, имеющую два ключевых отличия от последнего. Первое отличие заключалось в том, что в новое пространство помимо известных трех измерений: длины, ширины и высоты, было добавлено время (умноженное на скорость света, чтобы временную координату можно было выражать в тех же единицах измерения, что и пространственные координаты) в качестве четвертого измерения. Он назвал этот союз *пространство-время*.

Второе изменение связано с добавлением отрицательного слагаемого в теорему Пифагора, которая применяется для определения расстояний. Ее стандартная формулировка, используемая на протяжении тысячелетий для нахождения гипотенузы прямоугольного треугольника, гласит: сумма квадратов катетов прямоугольного треугольника равна квадрату его гипотенузы. Например, в прямоугольном треугольнике со сторонами, равными 3, 4 и 5, выполняется равенство: $3^2 + 4^2 = 5^2$. Минковский модифицировал эту теорему, чтобы включить в нее четвертое измерение — время. Он постулировал, что квадрат *пространственно-временного интервала* равен сумме квадратов пространственных координат *минус* квадрат четвертой координаты (времени, умноженного на скорость света). Пространственно-временной интервал — это кратчайший путь в четырехмерном пространстве, аналог расстояния между двумя точками в трехмерном пространстве, который учитывает наличие как пространственных, так и временных координат. Он характеризует, насколько близко расположены две точки четырехмерного

пространства (то есть события, которые происходят в разных местах и в разное время), и равен длине наиболее короткого пути, связывающего эти две точки.

Численное значение пространственно-временного интервала между двумя событиями говорит о том, являются ли они причинно связанными, то есть может ли одно событие как-то повлиять на другое. Если пространственно-временной интервал равен нулю (такие интервалы называются *светоподобными*) или отрицателен (такие интервалы называются *времениподобными*), то более раннее событие может повлиять на более позднее. С другой стороны, если пространственно-временной интервал положителен (*пространственноподобный*), то между такими событиями причинно-следственные связи невозможны, так как для этого потребовался бы сигнал, распространяющийся быстрее света. Так что если некоторая актриса оденется в определенном стиле на церемонию вручения Оскара 2016 года, а ее коллега с Проксимы Центавра, расположенной в четырех световых годах от Земли, выберет такое же платье в 2017 году, то ее невозможно будет обвинить в подражательстве, поскольку интервал между этими событиями будет пространственноподобным, то есть не допускающим причинно-следственной связи. Любому сигналу потребовалось бы не менее четырех лет, чтобы преодолеть расстояние от Земли до Проксимы Центавра. Поэтому такой инцидент будет лишь космической случайностью.

С помощью новой формулировки специальной теории относительности как теории четырехмерного пространства-времени Минковский показал, что сокращение линейных размеров и замедление времени можно интерпретировать как поворот в четырехмерном пространстве, который преобразует время в пространство и обратно. Чтобы представить, как происходят такие повороты, подумайте о пространственно-временном интервале как о флюгере, у которого направление на север представляет собой время, а на восток — пространство. Поворот флюгера, например, с восточно-северо-востока на северо-северо-восток немного уменьшает его восточно-западную проекцию и увеличивает северно-южную. Аналогично, вращение интервала в четырехмерном пространстве-времени может уменьшить пространственное расстояние между

некоторыми двумя событиями, но при этом увеличить временной разрыв между ними.

Минковский триумфально представил свои изыскания на 80-й ассамблее ученых-естествоиспытателей и физиков в Кёльне, особо отметив их революционность: «Взгляды на пространство и время, которые я хочу вам изложить, проистекают из экспериментальной физики, и в этом их сила. Они радикальны. С этого момента пространство и время как таковые вынуждены уйти в тень, и лишь их союз будет обладать подлинностью»^[23].

Сначала Эйнштейну не понравилось то, как Минковский переформулировал теорию относительности, поскольку теперь она требовала слишком больших интеллектуальных усилий. Но через несколько лет он поймет все ее великолепие. Это понимание глубоко повлияет на его образ мышления, именно тогда он осознает критическую важность высшей математики для фундаментальной физики.

В 1908 году, тогда же, когда Минковский объявил о своих результатах, Эйнштейн прошел процедуру хабилизации и начал преподавать в Университете Берна. В следующем году он получил должность экстраординарного профессора в университете Цюриха. Там он начал строить планы по обобщению специальной теории относительности с целью создать исчерпывающую теорию гравитации, которая получит название общей теории относительности. Но чтобы ее создать, ему придется пересмотреть свое отношение к высшей математике.

Настало время расставаться с детством. Старенький учебник евклидовой геометрии верой и правдой служил Эйнштейну, но, чтобы усовершенствовать свою теорию, ему необходимо было использовать неевклидову геометрию и четвертое измерение. Успех Эйнштейна вдохновит Шрёдингера, чье детское увлечение астрономией, воплощением которого был «танец планет» с тетей, перерастет в интерес к релятивистскому подходу к гравитации. Они вдвоем будут пытаться разрешить теоретические вопросы в самый разгар бурных событий в Европе — войны, экономического кризиса, политического хаоса и новой войны.

Глава 2

ГОРНИЛО ГРАВИТАЦИИ

Патриот, композитор из Лутона
Сочинил тихий реквием Ньютону —
Ведь открывший фотон
Иудей и тевтон
Поломал всю механику Ньютона.

Лимерик, опубликованный в газете «Панч» в 1919 году^[24]

Несмотря на изящество и простоту ньютоновской теории всемирного тяготения, Эйнштейн считал ее фундаментально малопривлекательной. Ньютон рассматривал гравитацию как мгновенную невидимую силу, действующую между двумя удаленными массами. Незримые нити тяготения, протянувшиеся сквозь пространство, каким-то образом управляли небесными телами. Соглашаясь с Махом в том, что природа должна быть измеримой и наблюдаемой, Эйнштейн искал более глубокого объяснения.

Более того, специальная теория относительности установила верхний предел для скорости распространения взаимодействий — скорость света. Теория Ньютона не удовлетворяла этому ограничению. Теория предсказывала, что если Солнце исчезнет, Земля тут же начнет двигаться по прямой, еще до того, как ее достигнут последние лучи Солнца. Но как Земля узнает об этом, прежде чем свет преодолит разделяющее Землю и Солнце расстояние? Эйнштейн пришел к выводу, что феномен гравитации нуждается в переформулировке на языке теории относительности.

Будучи ярким приверженцем максвелловского подхода к электродинамике, основанного на концепции поля, Эйнштейн хотел сформулировать полевую теорию гравитации. Поле — это отображение потенциального действия силы с заданными значениями в каждой точке пространства. Напряженность поля в определенной точке задает величину силы, которая будет действовать на помещенную туда пробную частицу. Электрическое поле, например, определяет величину силы, которая будет действовать на электрон,

протон или другое заряженное тело в любом заданном месте. Магнитное поле определяет то же самое для магнитной силы.

Рассмотрим, например, поле, которое определяет высоту и направление океанских волн. Несчастный моряк, оказавшийся в месте, где это поле исключительно велико, мог бы увидеть, как судно раскачивают огромные волны, сбивающие его с курса. Даже если бы он не знал, каков источник этих мощных волн (к примеру, подводное землетрясение), он все равно ощущал бы на себе их удары. То есть хотя причина возмущения может находиться очень далеко, поле действует как проводник этого возмущения, и воздействие получается локальным.

Обратив внимание на заметные сходства между электромагнетизмом и гравитацией, такие как закон ослабления силы обратно пропорционально квадрату расстояния между телами, Эйнштейн в 1910 году вознамерился вывести полевые уравнения гравитации. Результатом этой работы стала его совершенная общая теория относительности. Проводя аналогию между силами, он заложил основы для своих последующих попыток их объединения.

В разгар своей битвы Эйнштейн приехал в Вену и представил отчет о проделанной работе. Его потрясающий доклад на конференции вдохновил юного Шрёдингера, в его двадцать с половиной лет, перейти от прикладных вопросов, таких как измерение свойств света и излучения, к более фундаментальным вопросам: загадкам гравитации и свойствам Вселенной в целом. Параллели между электромагнетизмом и гравитацией, которые провел Эйнштейн, позднее возбудили у Шрёдингера интерес к поиску единой теории всех сил природы. Венская конференция 1913 года стала поворотной точкой в его карьере. Казалось, ничто в мире не способно ускользнуть от его пытливого ума.

Сумерки империи

Блестящая столица Австро-Венгерской империи теряла свое величие. Ее центральный огонь скоро погаснет, а сателлиты разлетятся, как головешки на ветру. Угасание будет таким же быстрым и полным, как солнечное затмение. Хотя не все было так мрачно. В

моменты сгущающейся темноты звезды, которые не заметны днем, имеют все шансы засверкать. Город Габсбургов закатил вечеринку — праздничный съезд ученых, который окажется последним для золотого века Вены. Были приглашены тысячи лучших в Европе немецкоговорящих ученых. От Праги до Будапешта и от Берлина до Цюриха, ученые всех возрастов собрались, чтобы обсудить новые удивительные теории частиц, атомов, света, электричества, статистическую физику и другие вопросы. Однако некоторые известные личности все же отсутствовали: Планк и Арнольд Зоммерфельд, уважаемый директор Мюнхенского физического института, не прибыли. Тем не менее энтузиазм по поводу новых открытий сделал последний вальс австро-венгерской физики запоминающимся.

Никаких средств не пожалели в тот год для съезда немецких естествоиспытателей и физиков (той же группы ученых, перед которой выступал Минковский пять лет назад в Кёльне). Встреча проходила с 21 по 28 сентября 1913 года в новом здании Физического института Венского университета, неподалеку от Больцмангассе. В свое время Франц Экснер согласился остаться на посту директора института только при условии строительства нового здания. После заседаний в большом лекционном зале более семи тысяч участников конференции посетили роскошный прием в императорском дворце, банкет, организованный городской администрацией Вены, и вечеринку, устроенную самими венскими физиками.

Среди обсуждаемых вопросов в тренде были излучение и атомная физика. В числе докладчиков присутствовали германский физик Ханс Гейгер, изобретатель счетчика Гейгера (первый вариант его конструкции был предложен в 1908 году) и бывший коллега знаменитого физика новозеландского происхождения Эрнеста Резерфорда. В 1909 году в Университете Манчестера Гейгер и Эрнест Марсден под руководством Резерфорда провели хитрый эксперимент по исследованию структуры атома. Облучая золотую фольгу пучком альфа-частиц (альфа-частица — это ядро атома гелия), они обнаружили, что почти все частицы беспрепятственно проходят сквозь фольгу. Однако небольшая часть отражалась обратно под острым углом, как бейсбольные мячи отскакивают от бетонной стены. Из этих неожиданных результатов Резерфорд сделал вывод, что атомы

представляют собой в основном пустое пространство, но при этом содержат крошечные положительно заряженные центральные части, которые Резерфорд назвал ядрами. Его модель атома, предложенная в 1911 году, представляла собой подобие Солнечной системы, где отрицательно заряженные электроны вращались вокруг положительно заряженного ядра, и она коренным образом изменила концепцию атома. Атомы больше не могли рассматриваться как неделимые и твердые крошечные шарики, скорее они представляли собой сложные (составные) тела, главным образом содержащие идеальную пустоту. Доклад Гейгера на конференции был посвящен по большей части практическим способам детектирования альфа- и бета-частиц (последние позднее были отождествлены с электронами).

Как молодой исследователь Физического института Экснера и Института исследований радия, Шрёдингер тоже заинтересовался проблемой регистрации радиации. Месяцем ранее Шрёдингер посетил деревню Зеехам на озере Обертрумер, что под Зальцбургом, чтобы измерить содержание радия А — продукта распада радия^[6] — в атмосфере. Проведя почти две сотни измерений с использованием набора трубок и электрометра, он вычислил, как меняется содержание радия А в атмосфере со временем. Любопытно, что, как показал Шрёдингер, даже пиковые значения радия А отвечали только за часть атмосферной радиации. Основываясь на результатах Шрёдингера и других работах, многие ученые пришли к выводу, что должны существовать другие источники атмосферной радиации, например гамма-излучение. Исследователи продолжили поиски возможных источников дополнительной радиации.

Сентябрьская конференция идеально подходила Шрёдингеру, поскольку была связана с его работой и проводилась в его родном городе. Он мог послушать доклады о последних открытиях в области радиоактивности, атомного ядра и связанных с этим тем. В одном таком докладе, сделанном германским астрофизиком Вернером Кольхёрстером из Галле, описывались полеты на воздушном шаре на высоте нескольких миль над Землей с оборудованием для регистрации радиации. Подтверждая результаты более ранних работ австрийского физика Виктора Гесса, он сообщил, что «проникающая радиация», по-видимому, имеет внеземное происхождение, потому что ее интенсивность усиливается с увеличением высоты. Сегодня мы

называем эту радиацию, приходящую из-за пределов Земли, «космическими лучами». Историки науки Ягдиш Мехра и Гельмут Решенберг считают, что эта конференция стала «днем рождения космических лучей» благодаря докладу Кольхёрстера^{25}.

В этом же году многие участники конференции, включая Эйнштейна, впервые узнали о замечательной теории Бора, предложенной им для объяснения атомной структуры. Эйнштейн полагал, что теория Бора была «одним из величайших открытий»^{26}. Хотя ни в одном из докладов модель Бора не упоминалась, весть о триумфальном открытии пришла неформально, благодаря личному участию венгерского физика Дьёрдя де Хевеши, который был свидетелем ее разработки. Де Хевеши находился в Манчестере в 1912 году, когда Бор, будучи постдоком, работал там с Резерфордом. Он увидел, как совместные попытки Бора и Резерфорда в разработке атомной теории увенчались успехом. Затем де Хевеши посетил Институт исследований радия в Вене и сообщил потрясающие новости о работе Бора всем заинтересованным участникам конференции.

Бор взял за основу планетарную модель атома Резерфорда и использовал понятие кванта, чтобы объяснить стабильность атома и структуру спектральных линий. Вообще электроны не должны были иметь устойчивых орбит вокруг атомного ядра. Из-за потери энергии на электромагнитное излучение они должны были в конце концов упасть на ядро. Согласно классической физике, частота этого излучения должна быть синхронизирована с частотой обращения электронов по орбите.

Но этого не происходит. Атомы довольно устойчивы. Что-то должно объяснять, почему электроны остаются на устойчивых орбитах. Бор блистательно показал, что момент импульса электрона должен принимать только дискретные значения — кратные величине $\hbar$, равной деленной на 2π постоянной Планка. Другими словами, Бор показал, что момент импульса, как и энергия, должен квантоваться.

Момент импульса — это физическая величина, равная произведению импульса тела (который, в свою очередь, является произведением скорости тела на его массу) на радиус орбиты. В классической физике это непрерывный параметр, то есть он может принимать любое значение. Если постановщик просит танцора закрутить партнершу чуть быстрее, танцор может потянуть чуть

сильнее за ее руку, чтобы придать ей дополнительный момент силы^[7] (технически называемый крутящим моментом) и тем самым увеличить ее момент импульса.

Бор же обнаружил удивительный факт: нельзя придать электронам произвольную скорость вращения или выбрать произвольный радиус орбиты. Электроны могут изменять свои состояния, только поглощая или испуская конечные порции энергии и приобретая или теряя фиксированные порции момента импульса. Поэтому вместо непрерывного изменения положения или скорости электроны внезапно перескакивают с одной орбиты на другую подобно тому, как танцоры кажутся движущимися дискретно в свете стробоскопа.

Изменение энергии электрона происходит каждый раз, когда он поглощает или испускает фотон. Энергия фотона равна его частоте, умноженной на постоянную Планка. Этот квант энергии передается электрону или отнимается у него всякий раз, когда происходит поглощение или излучение фотона. Бор показал, что частота испущенного фотона совершенно не зависит от орбитальной частоты электрона. Она зависит только от разности энергии первоначального и конечного состояния электрона.

Гипотеза Бора о квантовании момента импульса и энергии впервые позволила точно предсказать радиусы орбит и уровни энергии электронов в атоме водорода. Бор предложил своего рода «законы Кеплера» (правила движения планет) для атомной «солнечной системы». Хотя гипотеза была определенно неполной — она описывала только устройство атома водорода, не объясняя, почему квантуются энергия и момент, — она прекрасно соответствовала имевшимся экспериментальным данным. Соответствие результата Бора формуле Ридберга для длин волн спектральных линий атома водорода стало лакмусовой бумажкой, подтвердившей гипотезу.

Формула, предложенная в 1888 году шведским физиком Иоганном Ридбергом, давала простой алгоритм вычислений длин волн в атомных спектрах. Она предсказывала несколько различных последовательностей линий в спектре атома водорода, известных как серия Лаймана, серия Бальмера, серия Пашена и т. д. Бор показал, что эти серии и формула Ридберга в целом выводятся из его предположений об электронах и фотонах в атомах водорода. Каждая спектральная линия соответствует предсказанной длине волны фотона,

испускаемого при переходе электрона между двумя различными энергетическими уровнями.

Модель Бора теперь называется «старой квантовой теорией». Его *ad hoc* предположения улучшили наше понимание устройства атомов, но не могли быть объяснены с помощью каких-либо известных физических принципов. Потребовались труды Шрёдингера, Луи де Бройля, Вернера Гейзенберга и других ученых 1920-х годов, чтобы у квантовой теории появился более надежный фундамент.

Наброски революции

Самый долгожданный доклад на Венской конференции 1913 года во вторник утром (23 сентября) представил Эйнштейн. Он назывался «Сегодняшний статус проблемы гравитации». Большой лекционный зал был битком набит желающими узнать о новых теориях человека, опубликовавшего так много замечательных работ за один год. Эйнштейн не разочаровал публику. Он сделал один из наиболее важных научных докладов: конспект своих идей касательно нового объяснения гравитации, которое должно было выйти за пределы законов Ньютона. Предложив привлекательные кусочки маховской философии, высшую математику дозированными порциями и заманчивые предсказания о поведении света звезд во время солнечных затмений, он дал голодной публике почувствовать восхитительный вкус своей общей теории относительности.

Эйнштейн начал доклад с краткой истории электромагнетизма, обсудив кулоновский закон обратных квадратов. Он показал, как в XIX веке исследования Фарадея и других ученых вскрыли глубокую взаимосвязь между электричеством и магнетизмом. Кульминацией этих работ стали уравнения Максвелла. Эйнштейн подчеркнул, что в результате была сформулирована единая теория электромагнитного поля, объединявшая два феномена природы, которые первоначально считались независимыми. Он указал, что уравнения Максвелла задают максимальную скорость передачи сигналов — скорость света в вакууме. Чтобы совместить классические идеи об относительной скорости с инвариантностью скорости света, была разработана специальная теория относительности.

Теперь, продолжил Эйнштейн, настало время рассмотреть другую фундаментальную силу природы — гравитацию. До сих пор теория гравитации находилась на том же уровне, что и электростатика во времена открытия закона Кулона. Ньютоновский закон обратных квадратов для гравитации с его концепцией дальнего действия схож с идеей Кулона и точно также неполон. Настало время, подчеркнул Эйнштейн, разработать полную полевую теорию всех сил природы, включая гравитацию, без использования архаичной идеи мгновенной передачи взаимодействий на любые расстояния.

Специальная теория относительности не позволяла гравитации мгновенно распространяться между двумя удаленными массивными телами. Взаимодействие определенно не могло передаваться быстрее, чем со скоростью света. Поэтому необходимо было переформулировать гравитацию в терминах локальной теории поля, в которой существовал бы верхний предел для скорости передачи взаимодействия.

Проводя аналогию между электромагнетизмом и гравитацией, Эйнштейн, очевидно, готовил почву для единого объяснения обоих явлений. Он хотел продолжить работу Максвелла по объединению различных сил путем добавления в этот набор гравитации. Объяснение гравитации самой по себе стало бы только первым шагом.

Шрёдингер внимательно слушал выступление человека, который позже станет его наставником. Кристально четкое объяснение глубокой взаимосвязи между силами, данное Эйнштейном, открыло ему глаза на потрясающие перспективы фундаментальной теоретической физики. Впоследствии Шрёдингер не будет ставить перед собой никаких ограничений, выбирая проблемы для исследования, включая вселенские вопросы, более широкие, чем измерения атмосферной радиации, на которых он был сосредоточен в тот момент. В то время Шрёдингер был одним из немногих ученых, кто разделял амбиции Эйнштейна по объединению сил природы во всей их полноте «Концепция, которую выдвигает Эйнштейн, — писал он позднее, — включила с самого начала (и не только в многочисленных последующих попытках обобщения) все виды динамических взаимодействий, а не только гравитацию»^[27].

С выросшими амбициями в области физики, Шрёдингер вскоре начнет посвящать много времени чтению философской литературы и

сфокусируется на признаках единства в природе. Последующие поиски объединяющих принципов приведут его к работам немецкого философа XIX века Артура Шопенгауэра, к восточным мистикам и другим философам, стремившимся объяснить механизмы, лежащие в основе мироздания.

Определенно Шрёдингер мог симпатизировать заинтересованности Эйнштейна в философии Маха, который был болен и находился в отставке, но все еще активно интересовался наукой. Эйнштейн облек в новую форму маховскую критику ньютоновской концепции инерциальной системы отсчета (движущейся с постоянной скоростью по отношению к абсолютному пространству) и его расплывчатую альтернативную идею о том, что притяжение далеких звезд может быть причиной инерции и ее специфической связи с массой. В эйнштейновской интерпретации идей Маха коллективная масса всех тел во Вселенной оказывала влияние на объекты таким образом, что их естественным движением становилось движение по прямой линии с постоянной скоростью. Следовательно, инерция — это некоторый совокупный эффект распределенной массы Вселенной, подобно ночной засветке пасмурного неба, которая порождается всеми уличными фонарями в городе. Во время перерывов между заседаниями Эйнштейн посещал Маха в его венской квартире и обсуждал с пожилым седобородым философом научные вопросы, занимавшие их обоих.

В наиболее технической части доклада Эйнштейн обрисовал свои идеи, облечь которые в математическую форму ему помог Гроссман. Они устанавливали связь распределения массы в пространстве с его четырехмерной геометрией, а также с такими локальными движениями объектов, которые мы называем падением в гравитационном поле. Он указал, что его теория опирается на идею точного равенства инертной (отвечающей за то, как объект ускоряется под действием силы) и гравитационной (отвечающей за то, как объект притягивается другими телами посредством сил гравитации) масс. В результате в уравнениях движения собственная масса объекта сокращается, то есть в некоторой точке пространства любой массивный объект будет демонстрировать одинаковое поведение. Таким образом, положение объекта, а значит и геометрия пространства

в этой точке, заданная распределением массы во Вселенной, определяет его поведение.

Кульминацией доклада Эйнштейна стало точное, проверяемое предсказание об отклонении света звезд Солнцем. Он показал, как масса Солнца изменяет геометрию пространства-времени вокруг него, заставляя все тела двигаться по искривленным (с нашей точки зрения) траекториям, а не по прямым. Даже свет удаленных звезд должен отклоняться от прямого пути вблизи Солнца. Продолжив лучи света, попадающие в телескоп, в обратную сторону, мы обнаружим, что видимые положения звезд на небесной сфере изменились. Поскольку обычно мы не можем наблюдать звезды днем, мы не замечаем этот эффект искривления лучей. Однако, как указал Эйнштейн, во время полного солнечного затмения сдвиг положения звезд был бы наблюдаемым. Он предположил, что этот сдвиг можно измерить во время предстоящего затмения, которое можно будет наблюдать на территории Восточной Европы в августе 1914 года, и сравнить с результатами предсказаний его теории.

Венская конференция серьезно повлияла на карьеру Шрёдингера. Оставив экспериментальные измерения радиации, он обратил свой взор на теоретические исследования и изучение фундаментальных физических проблем. Однако прежде чем он смог углубиться в исследования атомной физики, гравитации и других областей науки, заинтересовавших его на конференции, произошло судьбоносное событие, которое все изменило.

28 июня 1914 года эрцгерцог Франц Фердинанд, наследник австро-венгерской короны, и его жена были застрелены сербским националистом Гаврилой Принципом в Сараево. Месяц спустя началась Первая мировая война, и Шрёдингера мобилизовали. Он воевал на итальянском фронте, выполняя различные обязанности, вплоть до командования батареями. Когда Германия присоединилась к войне на стороне Австро-Венгрии, Эйнштейн был категорически против этого и отказался принимать в ней участие.

Вернувшись в Вену весной 1917 года, Шрёдингер продолжил военную службу, ведя метеорологические наблюдения вместе со своим другом Гансом Тирингом. К сожалению, война на три года приостановила академическую карьеру Шрёдингера — удручающе долгий срок для молодого исследователя. В Вене он стремился

наверстать упущенное время, возобновил учебу и свои теоретические исследования.

Война также отсрочила проверку предсказания Эйнштейна об искривлении лучей света. Германский астрофизик Эрвин Финли-Фрейндлих, студент Клейна и убежденный последователь Эйнштейна, с энтузиазмом готовил экспедицию в Крым, где ожидалось полное солнечное затмение, с надеждой зарегистрировать новое физическое явление. Однако до того, как он смог провести свои измерения, он был арестован русскими военными и интернирован как военнопленный. Потребовалось еще пять лет, чтобы закончилась война и стало возможным провести требуемые измерения и подтвердить гипотезу Эйнштейна. Тем временем Эйнштейн продолжил разработку теории гравитации.

Самая удачная мысль

Идеи общей теории относительности Эйнштейн начал вынашивать задолго до конференции 1913 года. В 1907 году, спустя всего лишь два года после публикации работ по специальной теории относительности, Эйнштейна посетила, как он скажет позднее, «самая удачная мысль в его жизни». Он вспоминал: «Я сидел в кресле в своем патентном бюро в Берне. Внезапно меня озарила мысль: если человек находится в свободном падении, он не чувствует свой вес. Я опешил. Этот простой мысленный эксперимент произвел на меня глубочайшее впечатление. Именно это привело меня к теории гравитации»^[28].

Эйнштейн натолкнулся на принцип эквивалентности — простую, но глубокую идею, которая легла в основу общей теории относительности. Принцип эквивалентности следует из обычного наблюдения: поскольку инертная масса равна гравитационной, то под действием гравитации все объекты ускоряются одинаково. Легенда гласит, что Галилей бросал пушечное ядро и мушкетную пулю с Пизанской башни, чтобы проверить, так ли это. Отсюда, в частности, следует, что свободно падающие объекты, движущиеся вниз в точности с ускорением свободного падения, находятся в состоянии невесомости. Ведь если объект, лежащий на весах, свободно падает, а весы падают вместе с ним с таким же ускорением, то они не будут

чувствовать никакого веса. Похожие ощущения испытывают на крутых спусках любители американских горок.

Тогда Эйнштейн сделал еще один шаг, постулировав, что ни один физический эксперимент не должен позволять определить, находится лаборатория в состоянии свободного падения или покоится вдали от тяготеющих тел. Так должно происходить из-за того, что все предметы и приборы в свободно падающей лаборатории движутся с одинаковым ускорением.

Эйнштейн понял, что существует возможность «собрать» общую теорию гравитации из отдельных свободно падающих систем отсчета, рассматривая каждую из них так, как если бы она покоилась. Если внешние силы отсутствуют, в каждой системе отсчета все тела будут двигаться по прямолинейным траекториям. Однако наблюдатель из другой системы отсчета может видеть эти траектории искривленными. Вот почему мы наблюдаем искривление траекторий тел под действием гравитации — потому что мы рассматриваем эти движения из нашей системы отсчета.

Чтобы понять, как это работает, давайте вернемся к нашему «световому пинг-понгу», рассмотренному в главе 1. Представим себе, что космонавт направляет луч света в сторону зеркала, расположенного на одной из стен его прозрачного корабля, в то время как его сестра наблюдает за ним с Земли в сверхмощный телескоп. Предположим, что космический корабль свободно падает в направлении планеты. С точки зрения космонавта, световой луч распространяется по кораблю вдоль идеально прямой линии. Если он направит луч горизонтально на высоте одного метра от пола, луч отразится от зеркала на той же высоте. Однако с точки зрения его сестры, космический корабль падает, и поэтому луч света будет выглядеть изогнутым вниз. В то время как луч достигнет зеркала, корабль и зеркало опустятся ниже. Поэтому свет будет двигаться по искривленному пути — от более высокой начальной точки до точки отражения, находящейся чуть ниже.

Это явление позволило Эйнштейну предсказать искривление света звезд вблизи Солнца во время солнечного затмения еще до того, как он достаточно освоил математику, чтобы подкрепить свою теорию надежной геометрической базой. Сначала он пытался слегка изменить специальную теорию относительности, включив идею изменения

скорости света от точки к точке. Однако он не мог заставить математику работать так, как нужно. Он начал задумываться о более строгих математических методах, таких как изменение метрики — способа расчета расстояний, — но ему не хватало математических знаний.

Примерно в конце 1912 года Эйнштейн узнал о результатах эксперимента венгерского физика барона Лоранда фон Этвёша по проверке эквивалентности инертной и гравитационной масс. Эйнштейн предлагал такой эксперимент и сам, до того как узнал о масштабных исследованиях Этвёша. В течение многих десятилетий Этвёш совершенствовал конструкцию крутильных весов, для того чтобы регистрировать даже малейшие различия между значениями инертной и гравитационной масс. В разных модификациях эксперимента он достигал все большей и большей точности, но так и не обнаружил расхождений. Для Эйнштейна эксперимент Этвёша означал, что принцип, обнаруженный в его «самой удачной мысли», был не просто абстракцией, но глубокой эмпирической истиной. «Древнейший» — как часто персонифицировал Эйнштейн бога — создателя уравнений — оставил важную подсказку, и поиск решения проблемы гравитации, подобной загадке Сфинкса, стал для Эйнштейна целью дальнейшей работы.

Вытащенный из трясины

В июле 1912 года, поработав около года в Университете Цюриха и чуть более года в Университете Праги, Эйнштейн вернулся в Цюрих, чтобы занять должность в своей альма-матер. Швейцарской высшей технической школе Цюриха (ETH). Одним из главных достоинств этого места, помимо работы в любимой Швейцарии, была возможность посотрудничать с другом Гроссманом, профессором математики. Новая должность оказалась удобной для разработки общей теории относительности. Эйнштейн быстро погружался в зыбучие пески высшей математики и нуждался в сильной руке, которая вытащила бы его на безопасное место. Бывший однокурсник, помогавший Эйнштейну с математикой в университете, стал

незаменимым помощником в поисках геометрического описания гравитации.

Гроссман мало интересовался физикой, но с энтузиазмом подключился к проекту Эйнштейна. Он прочитал Эйнштейну ускоренный курс геометрии Римана, в том числе научил его работать с тензорами, описывающими свойства неевклидовых, многомерных многообразий. (Напомним, что тензоры — это математические объекты, которые преобразуются определенным образом, а многообразия — это поверхности с произвольным числом измерений.) Он также познакомил Эйнштейна с работами немецкого математика Элвина Кристоффеля, итальянского математика Грегорио Риччи-Курбастро и его студента Туллио Леви-Чивита, внесших большой вклад в дифференциальную геометрию.

Неоценимая помощь Гроссмана вернула Эйнштейну надежду выразить свои идеи в математической форме. Эйнштейн лихорадочно работал над теорией, временно отказавшись от всех других научных занятий. Когда Зоммерфельд пригласил его в Мюнхен выступить с докладом о квантовой теории, он отказался, написав в ответ: «Я сейчас занят исключительно проблемой гравитации и полагаю, что я могу преодолеть все трудности с помощью моего друга-математика. Но одно можно сказать наверняка, никогда прежде я не беспокоился так сильно о чем-либо, я стал с большим уважением относиться к математике, более тонкие детали которой до сих пор, в своем невежестве, я считал излишней роскошью! По сравнению с этой проблемой первоначальная теория относительности выглядит просто по-детски»^[29].

Одно время Эйнштейн так часто приходил домой к Гроссману по вечерам, что пожилая горничная устала спускаться по лестнице, чтобы открывать ему дверь. И Эйнштейн предложил Гроссману «оставить входную дверь открытой, чтобы не беспокоить старушку»^[30]. В течение года Эйнштейн и Гроссман работали над предварительным вариантом своей теории, который Эйнштейн представил на Венской конференции 1913 года. Историки называют эту раннюю форму *Entwurf*, или «Проект», по названию статьи Эйнштейна и Гроссмана «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения», опубликованной в то же время. Статья содержала многие, хотя и не все, элементы общей теории относительности.

В специальной теории относительности наблюдатели, путешествующие с постоянными по отношению друг к другу скоростями, обнаруживают одинаковые законы физики. Например, уравнения Максвелла выглядят одинаково для обоих наблюдателей. Одна из ключевых целей Эйнштейна при создании общей теории относительности заключалась в том, чтобы расширить принцип относительности и на наблюдателей, движущихся по отношению друг к другу с ускорением. В отличие от механики Ньютона, где предпочтительными были инерциальные (или неускоренные) системы отсчета, Эйнштейн хотел, чтобы его теория годилась для всех случаев жизни. Исследователь в лаборатории, находящейся в вагоне тормозящего перед станцией поезда, или на карусели, вращающейся по кругу, должен иметь возможность описывать свои эксперименты с помощью той же физики, что и исследователь, работающий в обычном здании. Математически это означает, что уравнения движения должны иметь одинаковую форму как для ускоренных (включая ускорение, замедление и вращение), так и для инерциальных систем отсчета. Эйнштейн назвал такое условие «общей ковариантностью».

К сожалению, Эйнштейн пришел к выводу, что «Проект» не отвечает поставленной цели: обеспечить независимость от выбора системы отсчета. Он недотягивал до идеала Маха — требования исключить предпочтительность инерциальных систем отсчета и установить своего рода демократию для всех видов движения, включая ускоренные. Вместо этого все еще существовала «элита», в которую входили только некоторые виды систем отсчета. Эйнштейн обратился к другому своему бывшему сокурснику, Мишелю Бессо, за советом относительно научной корректности «Проекта». Если теория верна физически, возможно, он мог бы смириться с определенными математическими ограничениями, такими как отсутствие общей ковариантности. Эйнштейн настойчиво защищал свои идеи, но отказывался от них в мгновение ока, если видел более эффективный путь. Некоторое время он пытался убедить себя, что общая ковариантность не является необходимой для полной теории, если уравнения получаются простыми и дают физически достоверные результаты.

Бессо и Эйнштейн решили посмотреть, как «Проект» пройдет астрономическую проверку: описание скорости прецессии (сдвига в

направлении вращения) перигелия (ближайшей к Солнцу точки орбиты) Меркурия. Будучи самой близкой к Солнцу планетой, Меркурий сильнее всего подвержен влиянию притяжения Солнца и, следовательно, наиболее пригоден для проверки гравитационных теорий. Хотя теория тяготения Ньютона очень хорошо описывала движения других планет Солнечной системы, ей не удавалось объяснить медленный поворот эллиптической орбиты Меркурия с периодом 3 миллиона лет. Эйнштейн выразил надежду, что «Проект» позволит точнее описать орбиту Меркурия. К его огорчению, расчеты, выполненные Бессо, показали, что теория по-прежнему неправильно предсказывает скорость прецессии.

Другое предсказание об отклонении видимого положения звезд из-за сильного влияния Солнца, которое Эйнштейн и Гроссман сделали в «Проекте», могло бы быть проверено Финлей-Фройндлихом во время солнечного затмения 1914 года, не будь он взят в плен. Но даже если бы ему удалось получить результаты в 1914 году, он, вероятнее всего, обнаружил бы, что «Проект» и здесь предсказывает ошибочные значения. Теория нуждалась в обстоятельном пересмотре, что вынудило Эйнштейна сражаться с уравнениями гораздо дольше, чем он предполагал.

Борьбу пришлось продолжить без Гроссмана, а также без Милевы. Потому что, сосредоточившись на работе, Альберт практически забыл о семье. В результате Милева погрузилась в глубокую депрессию, а их брак трещал по швам. Переезд Эйнштейна в Германию стал последней каплей. Он получил предложение от Макса Планка и физика Вальтера Нернста занять три важные должности в Берлине: члена престижной Прусской академии наук, профессора Берлинского университета и директора недавно основанного института физики. Одно из преимуществ заключалось в том, что Эйнштейн освобождался от лекционной нагрузки и мог посвятить все свое время исследованиям. Неохотно последовав за Альбертом в Берлин в апреле 1914 года, Милева оставалась там в течение нескольких месяцев, прежде чем вернуться с детьми в Цюрих. Через некоторое время они начнут вести переговоры о разводе, на которые уйдет несколько лет.

Альберт тем временем воспылал новой страстью — к кузине Эльзе Левенталь, которая затем стала его женой. Она была намного более домашней и заботливой, чем Милева. Эльза часто обращалась с ним

как с ребенком, которого необходимо кормить, холить и лелеять, например заботилась об укрощении его непослушных волос. Она также с гордостью принимала участие в социальных мероприятиях, используя любую возможность, чтобы показаться с ним на публике. В свою очередь, Эйнштейн получил возможность полностью освободить себя от повседневных забот и сосредоточиться на расчетах. Он неустанно трудился над теорией гравитации, отвлекаясь лишь на игру на скрипке во время музыкальных пауз.

Гонка к вершине

Перед тем как Эйнштейн, задыхаясь, достиг пика своих устремлений, он почувствовал, что ту же высоту стремится взять Давид Гильберт. В июне 1915 года Эйнштейн выступил перед взволнованной аудиторией в Гёттингене; среди слушателей был и Гильберт. Эйнштейн рассказал о своих успехах в построении общей теории относительности и препятствиях, которые еще остались неразрешенными, в том числе о вопросе общей ковариантности.

Заинтригованный проблемой описания неевклидова пространства-времени, искривленного присутствием распределенной в нем материи и энергии, Гильберт решил продолжить поиск полевых уравнений общей теории относительности самостоятельно. Внезапно у Эйнштейна появился соперник. Он был подавлен тем, что один из самых талантливых математиков в мире претендует на трофей, о котором он мечтал годами. Гонка шла практически на равных, но Эйнштейн пересек финишную черту первым. Поздней осенью он отпраздновал победу, добившись корректной формулировки.

Впрочем, в качестве утешительного приза за Гильбертом признается авторство альтернативного подхода к общей теории относительности, который называется *лагранжевым*. Математически лагранжиан — это разность между кинетической (энергией движения) и потенциальной (энергией положения) энергией механической системы, записанная в виде функции от координат. Можно наглядно представить различие между потенциальной и кинетической энергией на примере пружинного ружья. Сожмите пружину, и потенциальная энергия увеличится, то есть увеличится потенциал выстрела. Спустите

пружину, и ее потенциальная энергия перейдет в кинетическую, при этом ружье выстрелит. Потенциальная энергия положения преобразуется в кинетическую энергию движения. Теперь вычтем потенциальную энергию системы, выраженную через координаты, из ее кинетической энергии, выраженной через скорость, и получим *лагранжиан*.

Как показал блестящий ирландский математик и астроном XIX века Уильям Роуэн Гамильтон, если проинтегрировать лагранжиан по заданному интервалу времени, то мы получим величину, называемую *действием*. Гамильтон доказал, что любая механическая система эволюционирует (движется на этом временном интервале) таким образом, чтобы свести к минимуму величину действия (или, в некоторых случаях, чтобы его максимизировать). Этот принцип, называемый *принципом наименьшего действия*, естественным образом приводит к уравнениям движения, называемым *уравнениями Эйлера — Лагранжа*. Таким образом, зная лагранжиан системы, можно определить, как она будет эволюционировать.

В качестве простого примера из классической механики рассмотрим некоторый объект, скажем коробку из-под чая, выброшенную астронавтом несколько десятилетий назад и медленно движущуюся в вакууме в отсутствие каких-либо сил, действующих на нее. Ее кинетическая энергия равна половине массы, умноженной на квадрат скорости. Потенциальная энергия коробки равна нулю из-за отсутствия сил и однородности пустого пространства. Таким образом, лагранжиан коробки состоит только из ее кинетической энергии. Принцип наименьшего действия утверждает, что траекторией такого объекта, обеспечивающей минимальное действие, будет прямая линия. Подставьте лагранжиан в уравнения Эйлера — Лагранжа, и в результате вы получите уравнения, описывающие движение с постоянной скоростью. Таким образом, довольно простой лагранжиан обрекает нашу коробку на бесконечное путешествие по прямой линии с постоянной скоростью.

Вклад Гильберта в общую теорию относительности — лагранжиан Эйнштейна — Гильберта (приводящий к действию Эйнштейна — Гильберта) — тоже является довольно простым. Тем не менее он достаточно богат на математические следствия и порождает уравнения поля в общей теории относительности. Кроме того, если у вас есть

потребность модифицировать общую теорию относительности физически значимым способом, лагранжиан обеспечивает необходимые для этого средства. Мы увидим, что Шрёдингер в своих попытках расширения общей теории относительности для учета других сил в конечном итоге сделает именно это (модифицирует лагранжиан).

Гамильтон разработал другой способ описания механических систем: так называемый гамильтонов подход. Вместо вычитания потенциальной энергии из кинетической обе величины складываются. Эта сумма называется гамильтонианом и может быть использована для получения системы уравнений, описывающей взаимосвязь координат и импульса системы. Как и метод Лагранжа, гамильтонов подход также сыграл важную роль в современной физике, в том числе, как мы увидим, в формулировке квантовой механики Шрёдингера. Гамильтонов набор математических инструментов также может быть применен к общей теории относительности, как показал Эйнштейн, когда наконец сформулировал ее окончательную версию.

Великолепное творение

Эйнштейн предал гласности свой шедевр в практически окончательной форме на собрании Прусской академии наук 4 ноября 1915 года. Он был горд представить уравнения поля для полной теории гравитации, основанной на геометрии пространства-времени. 18 ноября он выступил перед той же аудиторией с другим докладом, в котором предложил свое решение вековой проблемы прецессии орбиты Меркурия. Два месяца спустя, когда расчеты были окончательно проверены, он писал своему другу Паулю Эренфесту: «Можете ли Вы представить себе мою радость от подтверждения идеи общей ковариантности, которая дала в результате правильные уравнения для движения перигелия Меркурия? От волнения я на несколько дней потерял дар речи»^[31].

К тому времени, как Эйнштейн опубликовал окончательный вариант своей теории в престижном журнале *Annalen der Physik* (20 марта 1916 года), немецкий физик Карл Шварцшильд, проходя военную службу на русском фронте, уже нашел первое точное решение. Оказывается, он прочитал доклад Эйнштейна от 18 ноября и сделал вычисления для случая гравитирующего массивного сферического объекта, подобного звезде. Среди тьмы войны блестящее творение Эйнштейна осветило небо ярче, чем взрывы снарядов, подарив надежду и вдохновение по крайней мере одному солдату. К сожалению, Шварцшильд умер 11 мая 1916 года от неизлечимого аутоиммунного заболевания в возрасте сорока двух лет. Много десятилетий спустя решение Шварцшильда будет использовано для описания черных дыр. С тех пор было найдено множество других точных решений уравнений общей теории относительности.

Золотой храм Эйнштейна построен на твердом фундаменте: содержащейся во Вселенной материи и энергии. Начните с любого распределения материи и энергии, описываемого тензором энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ и полевые уравнения общей теории относительности позволят вам определить компоненты другого математического объекта — тензора Эйнштейна $G_{\mu\nu}$, описывающего геометрию пространства-времени. Уравнение $G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$ (которое может быть

записано в различных формах) считается одним из наиболее важных вкладов Эйнштейна наряду с его формулой $E = mc^2$ и уравнением фотоэффекта. Все три гениальных уравнения высечены на мемориале Эйнштейна в Вашингтоне.

Случай, как-то рассказанный известным физиком Ричардом Фейнманом, иллюстрирует вездесущность уравнений Эйнштейна в современных дискуссиях о теории гравитации. В 1957 году Фейнмана пригласили на первую Американскую конференцию по общей теории относительности в Чапел-Хилл в штате Северная Каролина. Когда он прибыл в аэропорт и собирался взять такси, оказалось, что он не знает, проводится конференция в Университете Северной Каролины или в Университете штата Северная Каролина. Поэтому он спросил таксиста, не заметил ли он каких-нибудь людей, выглядящих отрешенными и повторяющих: «Джи-мю-ню, джи-мю-ню» ^[32].

Суть уравнений Эйнштейна заключается в том, что геометрия в некоторой области пространства, выраженная тензором Эйнштейна, определяется находящейся там материей и энергией посредством тензора энергии-импульса. Другими словами, масса и энергия деформируют пространство-время, указывая ему, где и как искривляться. Геометрия пространства-времени, в свою очередь, определяет то, как движутся в нем тела. То есть уравнения Эйнштейна изящно объединили содержимое Вселенной с ее формой.

Любой тензор можно записать в терминах его компонент в виде матрицы, или таблицы. Тензор Эйнштейна и тензор энергии-импульса могут быть записаны как матрицы 4x4. У этих матриц по шестнадцать компонент, но не все они являются независимыми. Существует правило симметрии, требующее, чтобы элемент из определенной строки и столбца (например, из третьей строки и четвертого столбца) совпадал с элементом, у которого номера строки и столбца переставлены местами (в нашем примере — из четвертой строки и третьего столбца). Это похоже на зеркальную расстановку шахматных фигур относительно диагонали шахматной доски. Мы называем такие тензоры симметричными.

С учетом условия симметричности тензор Эйнштейна содержит десять независимых компонент. Так же, как и тензор энергии-импульса. Таким образом, уравнения Эйнштейна, которые связывают два тензора, дают десять независимых соотношений между

компонентами. Они показывают, как материя и энергия влияют на различные характеристики пространства и времени. Некоторые из этих соотношений приводят к растяжению или сжатию. Другие — описывают скручивание или поворот. Все, что может случиться с пространством и временем из-за гравитационного воздействия вещества и энергии, содержится в этих уравнениях.

Но если уравнения Эйнштейна так просты и изящны, то почему потребовалось столько времени, чтобы их вывести? Как говорится, дьявол кроется в деталях. Вы не можете просто взять тензор Эйнштейна и непосредственно определить движения астрономических объектов, таких как планеты или звезды. То, как объекты движутся, определяется еще одним математическим объектом, который называется метрическим тензором. Переход от тензора Эйнштейна к метрическому тензору вовсе не очевиден и требует нескольких шагов.

Предположим, вам известно распределение массы и энергии в некоторой области пространства, и вы хотите определить, как в ней будут двигаться тела. Вот алгоритм расчета. Сначала используйте уравнения Эйнштейна, чтобы получить тензор Эйнштейна из тензора энергии-импульса. И тензор Эйнштейна, и связанный с ним тензор кривизны Римана (первый является своего рода сокращенной записью последнего) кодируют информацию о кривизне пространства-времени от точки к точке. Затем используйте компоненты либо тензора Эйнштейна, либо тензора Римана, чтобы построить геометрический объект, называемый аффинной связностью (или связностью Кристоффеля). Связность определяет то, как компоненты векторов (объектов, обладающих длиной и направлением) преобразуются, если вы перемещаете их параллельно самим себе от точки к точке. Далее, используйте аффинные связности, чтобы вычислить компоненты метрического тензора. Метрический тензор сшивает ткань пространства-времени, указывая, каким образом измерять расстояния между точками. Он предлагает модификацию теоремы Пифагора для искривленного пространства-времени. Наконец, используйте метрику для определения наиболее коротких путей, по которым в пространстве могут двигаться объекты. Из-за деформации пространства-времени они, как правило, будут изогнутыми, как, например, эллиптические орбиты планет вокруг Солнца.

Хотя математика общей теории относительности может напугать даже аспирантов, давайте воспользуемся аналогией, чтобы проиллюстрировать ее различные уровни. Начнем с плоской безграничной пустыни, представляющей собой пустое пространство-время. Раскидаем камни различных размеров и масс, — пусть символизируют разнообразные массивные объекты во Вселенной (например, звезды и планеты). Мы обнаружим, что более тяжелые камни будут давить на песок гораздо сильнее, чем легкие, оставляя гораздо более глубокие вмятины. А области вдали от камней останутся плоскими. Следовательно, чем большая масса находится в конкретном регионе, закодированная в тензоре энергии-импульса, тем больше эта область прогибается, демонстрируя большую кривизну, измеряемую тензором Эйнштейна.

Теперь представьте, что в нашей аналогии вы не можете ходить по песку или по камням — они слишком горячие. Поэтому нам нужно построить крепкий навес, поддерживаемый структурой, которая соответствует топографии. Мы собираем множество шестов (локальных координатных осей) и перекладин (аффинных связностей), чтобы построить каркас. Перекладины должны соединять шесты не как попало, а так, чтобы избежать пересечения отдельных перекладин. Точно так же аффинные связности определяют, как оси координат изменяются при сдвиге в пространстве в зависимости от расположения горок или ям.

Наконец, сошьем плотный навес, скроенный точно по каркасу. В некоторых местах мы должны сшить соседние лоскуты крепче, чтобы обеспечить изгиб ткани. В других местах нужно, наоборот, ослабить соединение между соседними лоскутами. Выкройка, которая определяет, как правильно прострочить навес, чтобы он точно соответствовал каркасу (и следовательно, горкам и ямам в песке), символизирует метрический тензор. Таким образом, мы видим, как метрический тензор стягивает ткань пространства-времени под управлением аффинной связности, которая в свою очередь зависит от тензора Эйнштейна, формируемого тензором энергии-импульса. Теперь понятно?

Давайте прогуляемся по нашему навесу в пространстве-времени. Нам нужен самый быстрый маршрут, поэтому мы стремимся к прямой линии. Тем не менее навес прогибается там, где под ним есть

массивная группа камней, искривляя линии, которые на плоской ткани были бы прямыми. В итоге получается, что мы следуем по изогнутой линии, огибающей данную область по эллипсу. Удивительно, но мы попали на орбиту — в точности как молодой Шрёдингер, бегавший вокруг своей тети, когда они играли в планеты.

Вечная Вселенная

После того как работа над общей теорией относительности была завершена, Эйнштейн решил применить ее ко всей Вселенной в целом. Он хотел показать, что Вселенная является относительно стабильным скоплением звезд и других небесных тел. Конечно, звезды движутся, но медленно. Предложенная Эйнштейном космология придала бы ньютоновскому «абсолютному пространству» неизменность и устойчивость, без обращения к тому, что он, следуя Маху, рассматривал как фикцию.

Эйнштейн решил начать свои космологические расчеты с основного предположения о том, что пространство изотропно, то есть одинаково во всех направлениях. Чтобы задать форму пространства, он выбрал простое четырехмерное геометрическое тело, которое называется *гиперсферой*. Гиперсфера является многомерным обобщением сферы. Если вы живете на гиперсфере и отправляетесь в путешествие в любом направлении, вы в конечном итоге вернетесь к отправной точке, как если бы совершили кругосветное путешествие на Земле. Преимущество Вселенной, имеющей форму гиперсферы, в том, что она конечна, но не имеет границ. Только наблюдатель за пределами Вселенной заметил бы ее «поверхность». В пространстве гиперсферы нет никаких границ, только бесконечное повторение. Аргентинский писатель Хорхе Луис Борхес замечательно отобразил эту концепцию в своем рассказе «Вавилонская библиотека», в котором он представил космос в виде огромной, но конечной и повторяющейся коллекции книг.

Эйнштейн пытался найти статическое решение для своих полевых уравнений, но вскоре обнаружил одну проблему. Единственное решение, которое он нашел, оказалось неустойчивым. Если слегка подтолкнуть такую Вселенную, лишь чуть-чуть изменив

распределение материи, она либо схлопнется, либо раздуется, как сдувающийся или надуваемый воздушный шар. Для описания вечной, стабильной Вселенной такое решение, разумеется, не годилось, а до открытия Эдвином Хабблом космологического расширения — последствий того, что мы сегодня называем «Большим взрывом», — оставалось более десяти лет. Поэтому Эйнштейн резонно полагал, что пространство должно быть статичным, и считал модели, описывающие расширяющуюся Вселенную, нефизическими.

Для исправления ситуации он пошел на довольно решительную меру и добавил дополнительное слагаемое к геометрической части своих уравнений, чтобы получить решения, заслуживающие, по его мнению, доверия. Это слагаемое называется *космологической постоянной* и обозначается греческой буквой лямбда (λ) — отсюда второе название этого слагаемого: *лямбда-член*. Оно уравнивает гравитационную неустойчивость растягиванием геометрии пространства в противоположном (гравитационному притяжению) направлении. Эйнштейн не придавал космологической постоянной никакого физического смысла, но в то время считал ее важной для целостности своей теории.

Представьте, что в нашей аналогии с навесом в пустыне каркас, который мы построили, медленно погружается в песок. Вместо перестройки каркаса с нуля мы могли бы использовать какие-нибудь домкраты, размещенные по краям, и вытащить навес вверх. Мы бы не получили никаких архитектурных призов за наш проект, но он выполнил бы свою задачу. Точно так же лямбда-член хотя и не прибавляет изящества уравнениям, но выполняет требование сохранения космической стабильности.

В 1917 году Эйнштейн опубликовал свою модель статической Вселенной, в которой включил космологическую постоянную в полевые уравнения. Тем не менее он не мог утверждать, что его решение уникально. Голландский математик Биллем де Ситтер изящно продемонстрировал, что в отсутствие материи полевые уравнения Эйнштейна приводят к решениям, которые экспоненциально расходятся из-за наличия космологической постоянной. Модель де Ситтера показала, что до тех пор, пока существует космологическая постоянная, пустота будет неустойчивой. Так как Эйнштейн добавил космологическую постоянную в качестве временной заплатки, не

основываясь на научных фактах, он не принял модель де Ситтера всерьез. Он признал, однако, что прогресс в понимании динамики Вселенной потребует гораздо более серьезных астрономических исследований. К счастью, Хаббл как раз ими занялся на большом телескопе на горе Маунт-Вилсон в Южной Калифорнии. В конечном итоге он обнаружил, что космос расширяется и не является статичным.

Предвосхищение темной энергии

Можно смело утверждать, что Эрнст Мах, умерший в 1916 году, отверг бы идею включения в уравнения общей теории относительности слагаемого, которое не имело ничего общего с чувственным опытом. Так же как Ньютон ввел абсолютное пространство, просто чтобы определить инерцию, введение Эйнштейном космологической постоянной несомненно было не маховским шагом. Другой последователь Маха — Шрёдингер — предложил свою альтернативу.

Шрёдингер впервые познакомился с полными уравнениями общей теории относительности Эйнштейна в конце 1916 года, когда командовал батареей в Прозеко во время войны^[33]. Вернувшись в Вену весной 1917 года, он обнаружил, что многие из его университетских коллег, в том числе Тирринг, заняты поисками интерпретации и применений теории Эйнштейна. Например, совместно с австрийским физиком Йозефом Лензе, Тирринг показал, как вращающиеся объекты влияют на пространство-время вокруг них, и получил результат, известный как «увлечение инерциальных систем отсчета», или эффект Лензе — Тирринга.

В ноябре 1917 года Шрёдингер отослал в немецкий журнал *Physikalische Zeitschrift* две статьи, посвященные различным аспектам общей теории относительности. В первой статье рассматривался вопрос определения гравитационной энергии и импульса независимым от выбора системы координат способом. Шрёдингер исследовал решение Шварцшильда и показал, что один из способов определения гравитационной энергии приводит к удивительному результату, когда объект не обладает энергией вообще. Примечательно, что данная

работа Шрёдингера предвосхитила десятилетия дискуссий о проблеме корректного определения энергии в общей теории относительности.

Во второй работе «О системе решений общековариантных уравнений гравитации» Шрёдингер обратился к вопросу о физическом смысле космологической постоянной. Он ставил под вопрос введение дополнительного слагаемого на геометрической стороне уравнений (тензор Эйнштейна), утверждая, что такого же результата можно достичь модификацией материальной стороны (тензора энергии-импульса). Как заметил Шрёдингер, «полностью аналогичная система решений существует в своей первоначальной форме без слагаемых, добавленных господином Эйнштейном. Разница поверхностная и незначительная: потенциалы остаются неизменными, только тензор энергии-импульса для материи принимает иную форму»^[34].

Дополнительное слагаемое Шрёдингера должно было противодействовать гравитационному притяжению материи за счет добавления некоей отрицательной энергии, что приводило к нулевой *эффективной плотности* массы. С нулевой плотностью массы во всем пространстве Вселенная больше не будет стремиться к гравитационному коллапсу и сохранит стабильность. Шрёдингер обосновал нулевую массу, используя аргумент Маха, что наблюдать можно только избыток массы. Аргумент сродни тому, что мы замечаем черные и белые тона только тогда, когда они контрастируют с другими цветами. Мы могли бы считать совершенно черное или белое небо не имеющим никакого цвета вообще.

Вскоре Эйнштейн опубликовал ответ на космологические статьи Шрёдингера, что положило начало многолетнему научному диалогу, с многочисленными разветвлениями и неожиданными поворотами. Он отметил, что гипотеза Шрёдингера допускает два варианта: новую константу или новый тип энергии с отрицательной плотностью, которая варьируется от точки к точке. Первый случай, утверждал Эйнштейн, эквивалентен космологической постоянной, только добавленной на другой стороне уравнения. Вторая возможность, с другой стороны, была бы нефизической (потому что допускает существование отрицательной плотности энергии) и затрудняла бы анализ. Как писал Эйнштейн, «не только не следует исходить из гипотезы о существовании ненаблюдаемой отрицательной плотности в межзвездных пространствах, но также не следует постулировать

гипотетический закон пространственно-временного распределения этой плотности массы. Курс, взятый господином Шрёдингером, не представляется возможным для меня, поскольку уводит слишком глубоко в гипотетические дебри»^{35}.

Интересно, что понятие субстанции с отрицательной плотностью энергии, или, в другой интерпретации, с отрицательным давлением, возникло в последние годы в качестве возможного решения одной космологической головоломки. В 1998 году две команды астрономов своими исследованиями уточнили хаббловский закон расширения Вселенной. Они обнаружили, что Вселенная не просто расширяется, а расширяется с ускорением. Неведомая сила ускоряет разбегание галактик. Космолог из университета Чикаго Майкл Тернер назвал эту силу *темной энергией*.

Любопытно, что предположение о существовании субстанции, противодействующей гравитации, сделанное Шрёдингером и критиковавшееся Эйнштейном, идеально подходит для описания этой силы. По этой причине историк науки Алекс Харви недавно высказал мысль, что именно Эйнштейн открыл концепцию темной энергии^{36}. «Открыл» — может быть, слишком громкое слово, учитывая, что в то время не было никакой реальной физической мотивации. Точнее, в 1917 году он предполагал, что такое вещество с отрицательной энергией могло бы быть в пространстве возможностей — но никогда не думал, что Вселенная на самом деле расширяется с ускорением из-за какой-то неизвестной субстанции. Тем не менее интересно, что основа для концепции темной энергии была заложена так давно.

Мировая известность

Первая мировая война закончилась 11 ноября 1918 года, оставив после себя до неузнаваемости изменившуюся Европу. Империи пали, границы сместились, появились новые лидеры и начали возникать предпосылки возникновения новой мировой войны. Австро-Венгерская монархия распалась на несколько государств, в том числе на Австрию (первоначально под названием «Немецкая Австрия»), Венгрию и Чехословакию. Демократическая, но сильно ослабленная Веймарская республика контролировала большую часть того, что

когда-то было Германской империей. Победившие державы потребовали от Германии заплатить большую цену за столь кровавую войну. Она была вынуждена уступить часть территории, снизить численность армии и платить обширные репарации, приведшие к народным волнениям и экономической депрессии. Это способствовало приходу к власти нацистов.

Во время войны у Эйнштейна не было шансов проверить свою гипотезу об искривлении света звезд гравитацией Солнца. Неудачная экспедиция Финлей-Фройндлиха стала для него большим разочарованием. Эйнштейн начал неспешную переписку с британским астрономом Артуром Эддингтоном, который был очень заинтересован в проверке теории Эйнштейна. Согласно множеству дошедших до нас свидетельств, Эддингтон был одним из немногих людей, которые действительно понимали общую теорию относительности в то время ^{37}.

Квакер и пацифист, Эддингтон (как и Эйнштейн) был противником войны и выступал за международное научное сотрудничество. Естественно, во время кровавого конфликта открытое сотрудничество между британскими и немецкими учеными было невозможно. Перемирие предоставило Эддингтону грандиозную возможность оказать помощь в проверке теории Эйнштейна и восстановить доверие между учеными обоих государств.

Эддингтон и Фрэнк Уотсон Дайсон, королевский астроном Великобритании, определили, что идеальная возможность для измерения гравитационного отклонения света возникнет 9 мая 1919 года. В этот день солнечное затмение будет происходить над частью Южного полушария в тот момент, когда Солнце будет находиться рядом со звездным скоплением Гиады. Дайсон назначил Эддингтона организатором проекта по наблюдению затмения, что, в свою очередь, помогло спасти последнего от интернирования как отказавшегося нести военную службу ^{38}.

В январе 1919 года, чтобы создать репер для последующих наблюдений, Эддингтон тщательно измерил несмещенные положения звезд Гиад. Затем он организовал две экспедиции, чтобы зарегистрировать их положения на небе во время затмения. Первая команда во главе с самим Эддингтоном отправилась на Принсипи, остров в Гвинейском заливе у западного побережья Африки. Вторая

группа была отправлена в Собрал, в Бразилию, как резервная команда на случай непогоды. Обе команды сфотографировали расположение звезд вокруг закрытого Луной солнечного диска и отправили свои данные в Великобританию для детального сравнения с предыдущими фотографиями. Завершив обработку данных 6 ноября, Эддингтон был рад сообщить, что угловые отклонения (примерно на 1,61 угловой секунды для Принсипи и на 1,98 угловой секунды для Собрала) были близки к величине в 1,75 угловой секунды, предсказанной общей теорией относительности Эйнштейна. При этом они были намного больше величины, вычисленной на основе ньютоновской теории, дающей всего половину этого значения.

На заседании Королевского общества под председательством Дайсона ученые в битком набитом зале приветствовали результаты, признавая их, наряду с выводами смещения перигелия Меркурия, важными доказательствами в пользу общей теории относительности. В эпоху политических революций результаты наблюдения затмения показали, что в науке также происходят колоссальные изменения. Англичанам было очень непросто признать всего через год после окончания войны, что немецкий физик превзошел Ньютона. Как провозгласил Томсон, «это не отдельные частные результаты... Это открытие не просто отдаленных островов, но целого континента новых научных идей наибольшей важности для некоторых из самых фундаментальных вопросов, связанных с физикой. Это величайшее открытие, связанное с гравитацией, с тех пор как Ньютон сформулировал этот принцип»^{39}.

В статье *New York Times* автор открытия был представлен как «доктор Эйнштейн, профессор физики в университете Праги»^{40}, что показывает, насколько мало он был известен. Не только его имя не было упомянуто, еще и неправильно было указано место работы, поскольку прошло уже более семи лет, с тех пор как он оставил свою должность в Праге.

И вот в мгновение ока Эйнштейн становится известен на весь мир. Свергнув Ньютона, он по праву становится знаменитостью. А слава в XX веке значила намного больше, чем во времена Ньютона. Новости распространяются гораздо быстрее в эпоху радио, чем в эпоху ручного печатного станка. Газеты по всему миру растребили сообщение

лондонской *Times* с заголовком из трех строк: «Революция в науке... Новая теория Вселенной... Идеи Ньютона повергнуты»^{41}.

Возвышенные облака чистой геометрии

Краска едва успела высохнуть на шедевре Эйнштейна, а он уже начал замечать его недостатки. Две стороны его полевых уравнений выглядели несбалансированно. Слева находилось тонкое представление геометрического рисунка гравитации. Справа все виды материи и энергии, включая энергетические эффекты электромагнитного поля, были перемешаны в тензоре энергии-импульса. Эйнштейн придавал большое значение уравнениям Максвелла для электромагнитного поля, и ему не нравилось видеть их на вторых ролях. Он пришел к мысли, что электромагнитные поля должны быть описаны на языке геометрии точно также, как и гравитация, а не включены в тензор энергии-импульса. Воспоминания о его первых шагах в геометрии в юности и любовь к геометрии, возникшая во время сотрудничества с Гроссманом и другими учеными, побудили его попытаться описать все законы природы на основании геометрических принципов.

Эйнштейн считал, что следом за специальной и общей теорий относительности необходим третий прорыв, позволивший бы завершить трансформацию законов природы и объединить электромагнетизм с гравитацией. Тогда уравнения Максвелла и теория гравитации стали бы частными случаями некоторой единой теории поля, построенной полностью на геометрических соотношениях.

Шрёдингер был согласен с Эйнштейном в том, что общая теория относительности неполна, поскольку электромагнетизм не представлен на геометрической стороне. «Мы находимся в исключительной необходимости полевых уравнений для электромагнитного поля, — писал Шрёдингер, — уравнений, которые можно было бы рассматривать как чисто геометрические ограничения структуры пространства-времени. Теория 1915 года этого не дает, за исключением случая чисто гравитационного взаимодействия»^{42}.

Поскольку Эйнштейн сконцентрировался на чистой геометрии вместо геометрии, задаваемой материальными эффектами, его интерес

к экспериментальным данным уменьшился. В его статьях и докладах по общей теории относительности подчеркивалась необходимость экспериментальных проверок — через смещение перигелия Меркурия, искривление лучей света, гравитационное красное смещение, — однако из-за движения в направлении единой теории поля в его риторике стали преобладать более абстрактные аргументы. Есть некая ирония в том, что студент, который обожал лабораторию и прогуливал лекции по высшей математике, поскольку они казались ему не важными, стал сторонником математической строгости и красоты при построении теорий. Как он сказал в своей лекции «О методе в теоретической физике», «опыт остается, конечно, единственным критерием физической полезности для математических конструкций. Но творческие принципы принадлежат математике. В определенном смысле именно поэтому я убежден в том, что чистая мысль может познать реальность, о чем мечтали философы еще в античности»^[43].

Исследователи, связанные с гёттингенской научной школой, в которой преобладал геометрический подход, помогли направить растущий интерес Эйнштейна в русло абстрактных математических конструкций. Эренфест, друг и соратник, который был Эйнштейну почти братом, оказал на него сильное влияние. Эренфест учился в Гёттингене и посещал лекции Клейна. Он и его жена Татьяна (тоже математик), с которой он познакомился на лекциях Клейна, очень интересовались связью геометрии с физикой. Они предложили свой дом в голландском городке Лейдене в качестве убежища, куда Эйнштейн мог бы приехать из Берлина, чтобы отдохнуть от теоретических изысканий и помузицировать в тесном кругу (Эйнштейн играл на скрипке, а Эренфест — на фортепиано). Ценитель острых вопросов, которые вскрывают суть проблем, Эренфест стал для Эйнштейна, пытавшегося встроить электромагнетизм в общую теорию относительности, внимательным и критически настроенным слушателем.

Сам Клейн, хотя и был уже в отставке, проявлял интерес к концепции гравитационной энергии и импульса в общей теории относительности. Как и Шрёдингер в своей первой статье 1917 года, Клейн считал, что эти величины следует определять таким способом, который не зависит от выбора координат. Все наблюдатели, утверждал он, должны измерять одинаковые значения гравитационной энергии и

импульса. Клейн переписывался с Эйнштейном по этому вопросу в 1918 году. Хотя Эйнштейн не изменил свое определение, комментарии Клейна, вероятно, сподвигли его попытаться унифицировать описание гравитации и электромагнетизма. Разные определения энергии и импульса для двух взаимодействий могли рассматриваться как временная заплатка, но не как удовлетворительное фундаментальное решение.

Гильберт, лауреат премии Клейна и, без сомнения, величайший систематизатор геометрии со времен Евклида, определенно оказал значительное влияние на Эйнштейна^[44]. Эйнштейн отмечал, что формулировка общей теории относительности, предложенная Гильбертом, направлена на объединение электромагнетизма и гравитации в соответствии с идеями германского физика Густава Ми, представлявшего электрон как устойчивый пузырь в электромагнитном поле. Вслед за Ми Гильберт утверждал, что материя не существует независимо, а скорее представляет собой результат сгущения энергетических полей. Эти поля, в свою очередь, могут быть описаны геометрически. Эйнштейн поначалу отвергал аргументы Гильберта, но постепенно пришел к мнению, что геометрия более фундаментальна, чем материя.

Рассмотрение электрона и других материальных частиц как следствия геометрии похоже на объяснение веревочных узлов через изучение того, как их вязать. Представьте себе девочку, нашедшую хитро завязанный узел на клубке пряжи и считающую узел чем-то отдельным от нити. Она просит у мамы коробочку с узлами, чтобы поиграть. Мама, которая работает профессором в Гёттингене, терпеливо объясняет ей, что узлы — это не отдельные предметы, и показывает, как завязать узел, используя нить. Нить является фундаментальной, а узлы — нет. Схожим образом Гильберт и Ми предполагали, что на первом плане должна стоять геометрия полей, а их скручивания проявляют себя как частицы.

Одним из наиболее одаренных студентов Гильберта был Герман Вейль (известный друзьям как «Питер»), защитивший докторскую диссертацию в Гёттингене в 1908 году. После хабилизации в 1913 году Вейль занял пост в ЕТН в Цюрихе и на короткое время стал коллегой Эйнштейна, что дало им возможность познакомиться. В 1918 году Вейль опубликовал свой грандиозный обзор общей теории

относительности и ее перспектив, названный «Пространство, время, материя», который он впоследствии несколько раз редактировал в соответствии с развитием своих идей. Он отправил одну из первых копий Эйнштейну, который назвал этот обзор «симфоническим шедевром»^[45].

Ободренный похвалой Эйнштейна, Вейль надеялся, что новая статья под названием «Гравитация и электричество», которую он уже написал, также будет воспринята с энтузиазмом. В статье предлагался способ тонкой подстройки общей теории относительности, позволяющий включить уравнения Максвелла в качестве следствий. Он послал Эйнштейну рукопись, надеясь, что тот порекомендует ее к публикации.

Хотя поначалу Эйнштейн обрадовался тому, что Вейль, казалось, нашел способ провести тайком электромагнетизм в театр гравитации, он изменил свое мнение, когда увидел, что это вторжение испортит все представление. Идея Вейля основывалась на модификации способа параллельного переноса (процесса, при котором вектор перемещается от точки к точке, сохраняя свое направление). В стандартной общей теории относительности аффинная связность, которая определяет правила преобразования компонент векторов, и метрический тензор, который определяет интервалы в пространстве-времени (четырёхмерные расстояния), связаны друг с другом определенным математическим соотношением. В нашей аналогии с навесом в пустыне роль этого соотношения играет связь между каркасом и навесом. Вейль изменил эту связь, добавив дополнительный фактор, который назвал калибровкой. Так же, как железные дороги в разных странах (к примеру, в России и Польше) могут иметь различный размер колеи, Вейль предложил изменять единицу измерения четырёхмерного расстояния от точки к точке. В качестве бонуса дополнительный калибровочный фактор приводил к эффекту, эквивалентному электромагнитному полю. Однако Эйнштейн считал изменение единицы измерения нефизическим, поэтому он и не мог дать добро на такую радикальную перестройку своей теории. Вейль был очень огорчен тем, что Эйнштейн отверг его идею.

Будучи так и не использованной в общей теории относительности, идея калибровки Вейля позже нашла очень успешное применение в другой области — физике элементарных частиц. В своей современной

форме калибровка, вместо реального пространства, производится в некотором абстрактном пространстве. Интерес к бозону Хиггса, необходимому для объяснения значений масс некоторых частиц, во многом связан с вейлевской концепцией калибровки.

Приключения в пятом измерении

Другой выпускник Гёттингена, финский физик Гуннар Нордстрём, предложил свой вариант единой теории в 1914 году. Она примечательна тем, что в ней впервые рассматривалось пятое измерение, дополняющее три пространственных и одно временное. Нордстрём обнаружил, что введение пятого измерения дает больше возможностей для теоретического маневра, необходимого для объединения уравнений Максвелла с гравитацией. Эта теория, однако, не основывалась на общей теории относительности, и два года спустя Нордстрём отказался от своих идей в пользу подхода Эйнштейна. Хотя нет никаких свидетельств, что Эйнштейн прислушался к Нордстрёму, но на него сильно повлияла другая пятимерная теория.

В апреле 1919 года Эйнштейн получил письмо от Теодора Калуцы, малоизвестного приват-доцента из университета Кенигсберга. (В германской академической системе приват-доцент — это лектор, который зарабатывает, продавая билеты на свои лекции, не получая жалованья от университета.) Калуца двадцать лет занимал этот пост, и ему едва хватало средств, чтобы содержать семью. Возможно, помня скромное начало своей собственной карьеры, Эйнштейн уделил его письму особое внимание, несмотря на невысокий академический статус отправителя. Хотя в то время Калуца находился очень далеко от мейнстрима, однажды он прочувствовал на себе головокружительную атмосферу Геттингена. Будучи студентом, Калуца провел там один год (в 1908-м) и познакомился с геометрическими идеями Клейна, Гильберта и Минковского. Он также встретил там Вейля^[46]. Так у Калуцы зародились идеи уникального подхода к объединению, которые дадут всходы одиннадцать лет спустя.

В письме Эйнштейну Калуца изложил мысль, которая пришла к нему как своего рода откровение. Однажды он работал в своем кабинете и вдруг понял, что при добавлении дополнительного

измерения и дополнительных компонент к тензорам общей теории относительности получившаяся теория будет приводить не только к уравнениям гравитационного поля, но и к уравнениям Максвелла. Тензор Эйнштейна вместо матрицы 4×4 станет матрицей 5×5 . Вместо 16 компонент, из которых 10 независимы по соображениям симметрии, тензор будет иметь 25 компонент, и 15 из них будут независимыми. Это означает, что добавятся пять независимых компонент, четыре из которых могут описывать электромагнетизм, а пятую можно просто игнорировать. Простое изменение числа измерений, казалось, давало достаточно простора для объединения. По воспоминаниям сына Калуцы, находившегося в тот момент с ним в комнате, он был так взволнован, что застыл на месте в течение нескольких секунд, а затем вскочил и начал напевать мелодию из «Женитьбы Фигаро»^[47].

Обе схемы, Нордстрёма и Калуцы, разработанные независимо друг от друга, базировались на идее увеличения размерности пространства-времени. Для математиков или матфизиков, привыкших к пьянящему воздуху Геттингена, введение дополнительного измерения было таким же простым делом, как сложение чисел. Одно измерение для линий, два измерения для квадрата и три для куба. Добавим еще одно измерение и получим гиперкуб. Так же как куб является трехмерным объектом, ограниченным шестью квадратами, гиперкуб является четырехмерным объектом, ограниченным восемью кубами. Прибавьте к этим четырем измерениям время, и вы получите пятимерное пространство-время, в котором временному измерению обычно присваивается четвертый номер, а дополнительному пространственному измерению — пятый.

Однако экспериментаторам из мейнстрима той эпохи концепция пятого измерения представлялась чем-то заимствованным из книг Герберта Уэллса или бульварной прессы, а никак не подлинной наукой. Помимо времени, не существовало никаких видимых свидетельств наличия других измерений дополнительно к длине, ширине и высоте. Теория, использующая пять измерений, казалась такой же невероятной, как если бы учила проходить сквозь стены или добывать золото из воздуха.

Калуца опередил скептиков, используя в своей теории *цилиндрические условия*, чтобы сделать прямое наблюдение пятого измерения невозможным. Также как хомячок, который бежит в колесе,

никуда не сдвигается, в теории Калуцы все наблюдаемые величины не изменяются при перемещении в пятом измерении. Поскольку пятое измерение закольцовано, оно не дает заметных эффектов, кроме своего неявного воздействия, привносящего электромагнетизм в общую теорию относительности. Пятое измерение надежно спрятано за сценой, поэтому любые возражения экспериментаторов могли быть сняты.

Первой реакцией Эйнштейна было желание похвалить статью Калуцы как превосходящую статью Вейля. В отличие от теории Вейля, она не искажала известные соотношения, такие как величины пространственно-временных интервалов. Однако, выполнив ряд вычислений, основанных на теории Калуцы, Эйнштейн поскущел. Пытаясь описать движение электронов при совместном воздействии электромагнитного и гравитационного полей, он не смог получить разумное решение. Вместо этого он столкнулся с математическим препятствием в виде *сингулярностей* — мест, где одна или несколько величин становятся бесконечными. Нужно было каким-то образом удалить из теории эти проблемные точки, как удаляют больной зуб.

Указав на недостаток теории Калуцы, Эйнштейн очертил новое направление для расширения общей теории относительности: создание теории движения электронов в пространстве. Боровская модель атома объясняла основные спектральные линии простых элементов, таких как водород, показывая, как квантование момента импульса и энергии ограничивает движение электронов дискретными орбитами. Однако она не предлагала полной теории движения электронов в других случаях, например при их полете в катодной трубке. Исследуя последствия различных подходов к объединению, Эйнштейн использовал дилемму электронов в качестве пробного камня.

Эддингтон был полностью согласен с Эйнштейном по поводу важности проблемы электрона. Используя теорию Вейля в качестве отправной точки, Эддингтон предложил альтернативную единую теорию, основанную на изменении аффинной связности и создании четырехмерной геометрии, отличной от геометрии Римана. И все-таки он не был уверен, что его теория адекватно объясняет движение электронов. Эддингтон писал: «При выходе за пределы евклидовой геометрии возникает гравитация; при выходе за пределы римановой

геометрии возникают электромагнитные силы; что остается для дальнейших обобщений? Очевидно, это будут не те максвелловские силы, которые удерживают электрон в атоме. Но проблема электрона довольно сложна, и я не могу сказать, удастся ли с помощью данного обобщения предложить методы для ее решения»^{48}.

Встав на путь объединения, Эйнштейн столкнулся с вопросом выбора между теориями Вейля, Калуцы и Эддингтона. Хотя он не нашел удовлетворительных теорий, но заимствовал некоторые идеи, чтобы построить свои собственные модели. Все это время он также пытался описать электрон в модифицированной версии общей теории относительности.

1919 год подошел к концу, и начались «бурные двадцатые». Жизнь Эйнштейна в корне перевернулась. Ему было за сорок, и возраст, когда обычно делаются главные открытия в области теоретической физики, остался позади. Тем не менее его стремление расширить свою теорию относительности до единого описания всех сил и материи только усиливалось. Он, наконец, развелся с Милевой (по иронии судьбы в День святого Валентина) на том условии, что если он когда-либо получит Нобелевскую премию, то отдаст ей все деньги. Ничто не может компенсировать потерянных надежд, но нобелевские деньги, по крайней мере, обеспечат ей комфортное существование.

После окончательного оформления развода 2 июня Альберт женился на Эльзе. Несколько месяцев спустя, после объявления Эддингтоном результатов затмения, она поняла, что обменялась клятвой верности с самым известным ученым в мире. Эльза была счастлива, стоя рядом с мужем, когда он путешествовал по всему миру, встречался со знаменитостями, принимая почести и знаки уважения.

Сделка Милевы окупилась сторицей. Эйнштейну присудили Нобелевскую премию 1921 года по физике, которую он получил в следующем году. Бывший муж Милевы оказался в центре постоянного внимания, а она и двое их сыновей отступили в тень и жили на деньги премии. Обеспечив себе хорошее положение в академической среде, прославленный и передавший все бытовые проблемы в руки Эльзы, Эйнштейн стал свободен, как орел, и был готов воспарить к величественным вершинам единой теории.

Глава 3

ВОЛНЫ МАТЕРИИ И КВАНТОВЫЕ СКАЧКИ

Если бы я знал, что придется иметь дело с этими чертовыми квантовыми скачками, то я бы никогда не начал работать над атомной теорией.

Эрвин Шрёдингер (со слов Вернера Гейзенберга)

Пожалуйста, не поймите меня неправильно. Я ученый, а не учитель морали.

Эрвин Шрёдингер. «Разум и материя»

Если ограничение свободы сравнить с тюремным заключением, то общая теория относительности будет в этом отношении идеальным тюремщиком. Путем сплавления времени с пространством она сплавляет прошлое, настоящее и будущее в единый монолит. Временной ландшафт выглядит в ней полностью детерминированным, как зона строгого режима. Шаг вправо, шаг влево — расстрел: мы лишены даже своего собственного времени.

Расширение общей теории относительности для включения в нее остальных сил еще больше усугубит нашу участь. Единая теория, которая описывает электричество вместе с гравитацией, в принципе должна была бы полностью описать структуру и функционирование мозга каждого человека, который жил или когда-либо будет жить на земле. Каждая из наших мыслей и каждый из наших поступков были бы, таким образом, заранее предопределены. Однажды заданные уравнения вечности полностью определили бы все наши судьбы. Как сказал великий Омар Хайям:

*В Книге Судеб ни слова нельзя изменить.
Тех, кто вечно страдает, нельзя извинить,
Можешь пить свою желчь до скончания жизни:
Жизнь нельзя сократить и нельзя удлинить^{49}.*

Да, судьба может быть жестокой. После окончания Первой мировой войны многие солдаты вернулись домой с расшатанной психикой. Шрёдингеру посчастливилось остаться в живых, но его любимый профессор Фридрих Хазенёрль был убит осколком гранаты. Это известие потрясло Шрёдингера и все венское академическое сообщество.

В конце 1919 года умер отец Шрёдингера. Вскоре после этого австрийская экономика была уничтожена сильнейшей инфляцией, которая съела сбережения многих семей, в том числе и семьи Шрёдингера. Время было хуже некуда. Шрёдингер ушел в себя, в размышления о собственном жизненном пути.

Он пытался найти утешение в женском обществе и одновременно вел дневник, в котором описывал свои эмоциональные переживания. Примерно в 1919 году в этом дневнике появилась запись о встрече с Анной-Марией Бертель. Энни — как он ее называл — была веселой скромной девушкой из Зальцбурга. Хотя она и не была интеллектуалкой, но уважала его книжные пристрастия.

В отличие от пар, которые идеально подходят друг Другу, Эрвин и Энни расходились по многим вопросам. Например, они часто ссорились из-за музыки: она любила играть на фортепиано, а он этого терпеть не мог. Тем не менее они всегда наслаждались общением друг с другом, хотя и не считали свои отношения исключительными. Это была близость, основанная на взаимном доверии. Вскоре они объявили о своей помолвке и стали планировать две свадьбы — одну католическую, а другую протестантскую — в соответствии с вероисповеданием обеих семей. Церемонии состоялись весной 1920 года.

В период послевоенной депрессии Шрёдингер увлекся философией и стал буквально одержим Шопенгауэром. В своих дневниках Шрёдингер записывал комментарии и впечатления обо всем, что он прочитал, и называл Шопенгауэра «величайшим ученым Запада»^[50].

Заинтригованный многочисленными отсылками Шопенгауэра к восточной философии, Шрёдингер погрузился в изучение ведических индуистских манускриптов (в своих записях он называет их санскритским словом «Веданта») и классиков восточной мысли. Он даже подумывал стать философом, но решил остаться верен физике и развивать философскую тему в качестве боковой линии. За всю жизнь

он написал несколько философских книг, в том числе «Мой взгляд на мир», основанный частично на трактате под названием «Поиски пути», который он закончил в 1925 году.

Шрёдингера особенно поразила трактовка Шопенгауэра феноменов страсти и желания в контексте механистической Вселенной. Оглядываясь вокруг после Великой войны, Шрёдингер не видел ничего, кроме удручающего контраста между материальным и духовным миром. В то время как наука и технологии развились до небывалых высот, культура, по его мнению, погружалась в дантовские глубины. Он назвал это «распадом искусств». «Наше время, — писал Шрёдингер, — демонстрирует пугающее сходство с закатом античного мира» ^[51].

Конечно, Шрёдингера вряд ли можно было назвать пуританином, учитывая, что он и Энни исповедовали свободные отношения на протяжении всей супружеской жизни. Но когда он смотрел на себя в зеркало, он видел современного Платона или Аристотеля — эрудита, человека эпохи Возрождения, который оказался в ловушке развратного века насилия и декаданса.

В книге «Мир как воля и представление» и других своих работах Шопенгауэр дает объяснение движущих сил эмоций, которые ведут ко многим бедам. Исходя из индуистского понятия кармы и буддийской концепции страдания, он вводит понятие воли как универсальной силы, заставляющей людей совершать те или иные поступки. Это желание порождает действие, которое ведет к неизбежному. Как и другие силы природы, этот механизм приводит ко вполне предсказуемым результатам. Но, несмотря на это, люди, испытывающие такое влечение, убеждены, что это их собственная воля принимает решения и реализует их. Они могут быть невротично одержимы своими желаниями, при этом постоянно чувствуя внутреннюю пустоту, поскольку всякий раз, как только какая-то цель уже достигнута, в их сознании возникает новое желание. Поэтому, как говорил Будда, желание — причина страдания. Избежать этого можно, отказавшись от всех целей и эмоций и живя максимально аскетично, став почти монахом. Другая возможность заключается в том, чтобы направить свои желания в эстетическую область, например на искусство или музыку. Обратить страстное желание во вдохновляющую композицию. Человека, отдавшего себя на волю

желанию, не следует осуждать или хвалить, потому что он просто отвечает на призыв универсальной силы.

Поэтому если вы в кого-то влюбились, то это не ваш личный выбор. Скорее всего, ваша любовь просто выполняет возложенную на нее судьбой функцию — свести вместе вас и вашего возлюбленного или возлюбленную. С этой точки зрения заявление о том, что Эрвин и Энни выбрали друг друга, имеет не больше смысла, чем заявление, что Земля и Луна решили вести совместную жизнь, испытывая взаимное гравитационное влечение. А раз так, Эрвин не видел никаких моральных оснований соблюдать традиционные правила брака, осуждать или оправдывать свои импульсивные решения.

Это послужило основой, на которой Шрёдингер сплел философские мотивы своего понимания физики. Чувство цельности, которое он почерпнул из сочинений Шопенгауэра, и лежащая в основах этих работ ведическая философия привели Шрёдингера к отказу от нечеткого, неполного описания природы в пользу завершенности и определенности. Он полагал, что в природе все должно быть взаимосвязано, постоянно трансформируясь в непрерывном потоке от одного момента времени к другому. Обратим внимание, что Шрёдингер изучал возможность существования в природе элемента случайности в некоторых из своих работ, но главное направление его исследований состояло в поиске причинно-следственных связей. Эти соображения сыграли важную роль в формировании его позиции по отношению к неопределенности в квантовой механике.

Еретическая Библия

Философские воззрения Шрёдингера и Эйнштейна в чем-то совпадали, но акценты были расставлены по-разному. Хотя Эйнштейн был знаком с трудами Шопенгауэра, большее влияние на него оказал Спиноза. Его философия направляла Эйнштейна в поисках цельного, единого объяснения Вселенной, в котором случайность не играет фундаментальной роли. Поскольку Спиноза был одним из тех философов, которые оказали на Шопенгауэра особенно сильное влияние, Шрёдингер также не обошел вниманием его труды.

Бенедикт (Барух) де Спиноза родился в 1632 году в семье евреев-сефардов, чьи предки после изгнания из Португалии осели в Амстердаме. Он учился в ортодоксальной религиозной школе «Эц Хаим», где изучал иврит, Тору с комментариями Раши, Талмуд и другую раввинистическую литературу, а также основы еврейского богословия и риторики. По окончании школы Спиноза пришел к радикальному переосмыслению роли Бога во Вселенной. Сефардская община посчитала его понятие божества настолько еретическим, что приняла решение о его отлучении, — чрезвычайно редкое событие в иудаизме.

В традиционных монотеистических религиях Бог играет активную роль на протяжении всей истории, начиная с создания мира и привнесения в него жизни. Как создатель, Бог отделен от мира, но может вмешиваться в его развитие по собственному усмотрению. Однако не каждое решение в мире принимается по воле Бога, поскольку он наделил свободной волей людей, и они могут делать свой собственный выбор.

Существуют разночтения между богословами относительно того, как часто Бог вмешивается в судьбу Мира и относительно природы свободной воли человека. В ряде конфессий признается жесткая предопределенность человеческих судеб, ограничивающая свободу людских поступков и мыслей. Таким образом, злой человек обречен принимать преступные решения, и это не является его личным выбором. С этой точки зрения вмешательство Бога состоит в установлении раз и навсегда определенного порядка вещей и

последовательности событий, так что всему, что происходит, суждено было произойти с самого начала.

В других вероисповеданиях человек полностью свободен в своем выборе, но плохой выбор может привести к неприятностям в загробной жизни или возможному невезению в последующей реальной жизни. Хороший выбор может приблизить человека к Богу и, скорее всего, он будет за него вознагражден, хотя это зависит от конкретной веры. Персонифицированный Бог взирает с небес на то, что делают люди, и реагирует соответствующим их поведению образом.

Начиная с XVII века в европейской теософской традиции появляется понятие более ограниченного божественного вмешательства, в котором роль Бога редуцируется до сотворения Вселенной, создания ее законов и внесения в дальнейшем небольших коррективов. Таким образом, Бог действует как метафорический часовщик, создающий свои шедевры и ремонтирующий их по мере необходимости (примером такого вмешательства может служить Всемирный потоп). Ньютону приписывается точка зрения, согласно которой воображаемый Бог создал законы гравитации и другие законы природы, разместил планеты на их орбитах и запустил механизм Солнечной системы, предоставив его самому себе, но оставив за собой право на вмешательство в случае необходимости подправить работу механизма. Современное понятие «чудо» включает в себя предположение, что, несмотря на то, что следствия вытекают из причин согласно законам природы, Бог иногда обходит эти законы, с тем чтобы творить добро.

Взгляд Спинозы на Бога и Вселенную был весьма необычен для того времени. Он отвергал концепцию персонифицированного Бога и идею, что Бог может выборочно вмешиваться в человеческую жизнь или природу. Он считал, что молитвы бесполезны, потому что их никто не слушает. Скорее, Бог — это субстанция, наполняющая Вселенную собой — бесконечной всепроникающей сущностью. Все люди и вещи являются мерцающими гранями великолепного, вечного бриллианта.

Поскольку, по мнению Спинозы, Бог бесконечен и совершенен, его природа является незыблемой. У него нет никакого выбора, какую форму придать Вселенной, поскольку ее свойства просто следуют из его атрибутов. Все события происходят от божественных законов, созданных идеальным образом. Следовательно, история Вселенной

разворачивается как ковер с вытканной вневременной картиной. В своем труде «Этика» Спиноза писал: «В природе вещей нет ничего случайного, но все определено к существованию и действию по известному образу из необходимости Божественной природы»^{52}.

Поскольку Эйнштейн начал двигаться от материального к эфемерному: от теорий, основанных на экспериментальных вопросах, к теориям, подчиненным абстрактным законам и эстетическим соображениям, — он стал все чаще апеллировать к Богу в своих физических формулировках. Но это не был персонифицированный библейский Бог-отец, активно вмешивающийся в действия человека и в ход земных событий. Скорее, это был бог Спинозы — идеальная вневременная сущность, порождающая законы природы. Однажды Эйнштейн так ответил на вопрос раввина, верит ли он в Бога: «Я верю в бога Спинозы, который проявляет себя в упорядоченной гармонии всего сущего, а не в Бога, который озадачивает себя судьбами и поступками людей»^{53}.

В широко обсуждавшейся статье, опубликованной в журнале *New York Times* 9 ноября 1930 года, Эйнштейн упомянул Демокрита, святого Франциска Ассизского и Спинозу как трех величайших мыслителей в истории, внесших вклад в формирование «космического религиозного чувства» — чувства благоговения перед создателем Вселенной, возникающего в ходе научных исследований^{54}. Упоминание Демокрита показывает, что Эйнштейн верил в важность идей атомизма. Святого Франциска Эйнштейн считал основателем гуманитарных наук. Но наибольшие споры вызвал выбор Эйнштейном вольнодумца Спинозы. Признание Эйнштейна породило многочисленные дискуссии среди религиозных ученых и духовенства о допустимости такой вещи, как «космическая религия».

Вера Эйнштейна в концепцию космического порядка Спинозы и, возможно, его традиционное образование, основанное на физике Ньютона, привели его в лагерь сторонников строгого детерминизма и к отрицанию любой возможности основополагающей роли случайности в природе.

В конце концов, как может что-то, порожденное божественным совершенством, происходить несколькими способами? Каждое явление должно иметь явную причину, которая в свою очередь

вытекает из более ранней причины, и так далее — последовательность упавших костей домино в конечном итоге обязана приводить к пальцу, уронившему первую кость. Отрицание Эйнштейном вероятностной природы квантовой физики и многолетние поиски единой теории поля были следствием его ревностной приверженности идеям Спинозы.

Принципиальное отличие убеждений Эйнштейна и Шрёдингера состояло в преданности последнего восточной философии. Ни одна из фигур, упомянутых Эйнштейном, не имеет отношения к восточной философской традиции (он лишь кратко упомянул буддизм).

Эйнштейн мало интересовался любыми формами мистики или духовными практиками. Шрёдингер, напротив, испытывал глубокое убеждение, что все люди разделяют общую душу и что все в природе образует единое целое. Он проводил параллель с общей ведической душой и вселенским сознанием Спинозы, полагавшим, что люди являются «гранями божественного». «Разница состоит в том, — подчеркивал Шрёдингер, — что каждый из нас не является отдельной частью, а, напротив, входит в целое, вечное и бесконечное, созвучное пантеизму Спинозы. Любой из вас мог бы задаться мучительным вопросом: “Какая часть, какой аспект Вселенной есть я? Что объективно отличает меня от других?” Но нет, вы — не часть. Вы и все прочие разумные существа являетесь сразу всем» ^{55}.

И Эйнштейн, и Шрёдингер стремились к поиску единства в науке, но у них были разные мотивы. Для Эйнштейна это был поиск божественных законов, лежащих в основе природы, поиск самого простого и изящного набора уравнений. Для Шрёдингера — поиск того, что соединяет все во Вселенной, поиск крови, текущей по венам космоса. Поскольку взгляды Эйнштейна были более строгими, он никогда не соглашался с возможностью фундаментальной роли случайности. Шрёдингер оставался гораздо более терпимым к неопределенности, рассматривая удачу и случай в качестве возможных проявлений универсальной воли. Как ни странно, благодаря силе воли, казалось бы случайное событие может привести кого-то на тот путь, который ему был предназначен. Кроме того, он знал из трудов Больцмана, что законы термодинамики могут быть выведены путем статистического усреднения спонтанного поведения мириад атомов. Миллиарды рассеянных капель могут изменить целое море.

Наряду со стремлением к унификации существенным общим фактором в научной философии Эйнштейна и Шрёдингера была вера в непрерывность. Эта концепция классической физики, на которой они выросли (например, механике жидкости), резонировала с их убеждением, общим для философии Спинозы и ведической философии, что события текут, как реки, от одного момента к другому. Ничто не может просто исчезнуть и вновь появиться где-то в другом месте или оказывать невидимое мгновенное влияние на расстоянии. Одежды природы должны быть сшиты воедино прочными нитями, как в пространстве, так и во времени, чтобы они не рассыпались в груды лохмотьев, как источенный молью плащ.

Нарушение непрерывности являлось отличительной чертой планетарной модели атома Бора. Эйнштейн и Шрёдингер считали его главным недостатком теории, которая в остальных отношениях была важным шагом вперед. Почему электроны мгновенно перескакивают с орбиты на орбиту в атоме, хотя с планетами в Солнечной системе не происходит ничего подобного? Шрёдингер говорил: «Я не могу себе представить, что электрон прыгает, как блоха»^{56}.

Кроме того, если электроны совершают скачки в атомах, почему они ведут себя как непрерывный поток в свободном пространстве — в полости электронно-лучевых трубок, например? Вдохновленный попытками унификации Вейля, Калуцы, а позже и Эддингтона, Эйнштейн в начале 1920-х годов начал размышлять о возможности объяснения поведения электронов путем расширения общей теории относительности, которое включило бы электромагнетизм наравне с гравитацией. «Скачки, — думал Эйнштейн, — должны быть математическими артефактами в остальном детерминистичной непрерывной теории». Под влиянием бесед с Эйнштейном Шрёдингер стал разрабатывать свою собственную идею непрерывного описания электронов, которая в конечном итоге привела к его новаторской теории *волновой механики*.

Однако не все в физическом сообществе считали отсутствие непрерывности недостатком. Пока зачатки волновой механики обретали форму, Вернер Гейзенберг, молодой физик из Мюнхена, предложил абстрактную математическую теорию, названную *матричной механикой*, в которой мгновенные прыжки из состояния в состояние были неотъемлемым атрибутом. Где еще могла быть

предложена столь абстрактная теория, как не в утонченной среде Гёттингена? Гейзенберг был вдохновлен серией замечательных докладов Бора в этом городе.

Дерзость первопроходцев

В июне 1922 года Гильберт и несколько других членов профессорско-преподавательского состава университета Гёттингена, в том числе яркий молодой физик Макс Борн, пригласили Бора выступить с серией лекций о теории атома. Приняв это приглашение с энтузиазмом, Бор снял неофициальный бойкот немецких научных учреждений, который имел место после Первой мировой войны. За исключением Эйнштейна, чей образ был известен на международном уровне, научная репутация немцев сильно пострадала из-за войны. Ужасные последствия отравляющих газов — изобретения немецкого химика Фритца Габера, коллеги Эйнштейна, — и воздушных налетов оставили глубокие психологические травмы у выживших. Лекции Бора, названные «Боровским фестивалем» вслед за недавним «Гейделевским фестивалем», проходившим в том же городе, помогли возобновить научное сотрудничество между Германией и другими европейскими странами.

Прошло почти девять лет с тех пор, как Бор впервые предложил свою теорию. В последующие годы она была значительно укреплена стараниями Арнольда Зоммерфельда, работавшего в Мюнхене. В частности, Зоммерфельд дополнил нумерацию Бора уровнями квантованной энергии двумя дополнительными квантовыми числами: полным моментом и проекцией момента на одну из координатных осей (обычно обозначаемой как ось z). Новые квантовые числа описывали различные орбиты электронов с одинаковой энергией. Ситуация, в которой два состояния системы с различными квантовыми числами обладают одинаковой энергией, называется *вырождением*.

В качестве бытовой аналогии вырождения рассмотрим разбросанные на столе карандаши. Поскольку все карандаши лежат на плоской поверхности стола, их потенциальная энергия одинакова, несмотря на то, что каждый карандаш повернут относительно стран света в свою сторону. Точно также электроны в вырожденных

состояниях имеют равные энергии, но разные наклоны и формы своих орбит.

В 1916 году Зоммерфельд вместе с голландским физиком и химиком Питером Дебаем показал, что расширенная модель Бора, известная теперь как модель Бора — Зоммерфельда, может объяснить загадочный эффект Зеемана. Впервые описанный голландским физиком Питером Зееманом в 1897 году, эффект возникает при наблюдении спектральных линий атомов в магнитном поле. При наличии магнитного поля некоторые из спектральных линий расщепляются. Вместо одной линии на определенной частоте вблизи нее вдруг возникает три, пять или больше линий. Представьте, что при настройке радиоприемника на волну определенной радиостанции вы неожиданно обнаружили еще две передачи этой же радиостанции на соседних частотах.

Зоммерфельд показал, что эффект Зеемана является результатом взаимодействия внешнего магнитного поля и момента импульса электронов, вращающихся вокруг атомного ядра. В присутствии магнитного поля электроны с различными моментами импульса имеют различные энергии. Поскольку различие энергетических уровней приводит к различию частот света, испускаемого электронами при переходе из одного состояния в другое, то оно обуславливает и наблюдаемое расщепление спектральных линий.

Зоммерфельду посчастливилось быть научным руководителем двух блестящих студентов-физиков, которые продолжили его исследования и многое сделали для развития квантовой теории. Одним из этих студентов был Вольфганг Паули, венский крестник Маха. Он был настоящим вундеркиндом и поражал маститых физиков не по годам зрелыми идеями. В нежном двадцатилетнем возрасте, будучи студентом-второкурсником, Паули по просьбе Зоммерфельда, бывшего редактором энциклопедии математических наук, написал великолепную обзорную статью о теории относительности. Кроме того, Паули был известен не только своей эрудицией и широтой интересов, но и жесткой прямоотой. Он считал своим долгом высказывать коллегам в лицо все, что он думает о них и их исследованиях, даже если его слова больно ранили. Например, он называл ранние атомистические теории Зоммерфельда атомистицизмом.

Вторым квантовым виртуозом, которого учил Зоммерфельд в начале 1920-х годов, был Гейзенберг. Гейзенберг одинаково хорошо управлялся как с карандашом и бумагой, так и с альпинистским снаряжением. Он вошел в группу Зоммерфельда, будучи членом организации *Pfadfinder* — немецкого аналога скаутского движения с сильным националистическим уклоном.

Гейзенберг глубоко уважал Эйнштейна и восхищался теорией относительности. Он был впечатлен, когда Зоммерфельд во время занятий зачитал вслух одно из писем Эйнштейна. Однако Паули убедил Гейзенберга не проводить исследований в этой области. После написания энциклопедической статьи Паули был убежден, что в теории относительности осталось не так много фундаментальных проблем, ожидающих своего решения, и следствий, поддающихся экспериментальной проверке. Поэтому теория относительности, по мнению Паули, была еще не готова к прогрессу.

«Настоящая горячая область исследований, — говорил он Гейзенбергу, — это атомная физика и квантовая теория. В атомной физике мы по-прежнему имеем множество экспериментальных данных, требующих интерпретации. Природные явления в одной области, кажется, противоречат тому, что происходит в другой. И до сих пор не удалось хотя бы наполовину закончить целостную картину всех взаимосвязей. Правда, Нильс Бор сумел связать необъяснимую устойчивость атомов с квантовой гипотезой Планка... Но я за всю свою жизнь так и не понял, как ему это удалось, отмечая, что у него тоже не получается избавиться от противоречий, которые я упомянул. Иными словами, все по-прежнему блуждают в густом тумане, и, вероятно, пройдет еще несколько лет, прежде чем он рассеется»^[57].

Летом 1922 года Эйнштейн был приглашен в Лейпциг для доклада об общей теории относительности. Зоммерфельд настоятельно рекомендовал Гейзенбергу присутствовать на выступлении и предложил познакомить его с Эйнштейном. Гейзенберг был в восторге. Однако антисемитские угрозы в адрес Эйнштейна вынудили того отменить приезд и отправить вместо себя Макса фон Лауэ. Не зная о том, что Эйнштейн не приедет, Гейзенберг все-таки отправился в Лейпциг. Он был поражен, увидев толпу студентов возле лауреата Нобелевской премии по физике Филиппа Ленарда, который раздавал красные листовки, «разоблачавшие» Эйнштейна и теорию

относительности как «еврейскую науку». Ленард начал антисемитскую кампанию по искоренению любых форм науки, которые не были «чисто немецкими». Гейзенберг тогда еще не знал, что менее чем за полтора десятилетия жизненное кредо Ленарда станет государственной политикой нацистского режима.

Другим докладчиком, послушать которого Зоммерфельд рекомендовал Гейзенбергу, был Бор. Они решили поехать на выступление Бора вместе. Участие в Боровском фестивале стало для Зоммерфельда своего рода возвращением домой, поскольку он получил докторскую степень в Гёттингене. К тому времени Паули также работал в этом университете в качестве ассистента Борна и был его аспирантом. После приятной дороги в Гёттинген Зоммерфельд и Гейзенберг заняли места в переполненном зале.

Это было славное время для Гёттингена, распахнувшего двери перед международным научным сообществом. Летняя солнечная погода придавала очарование городу с его средневековыми зданиями, торговыми лавками и трамваями. Великолепные цветы обрамляли дорожки, ведущие в конференц-зал. Боровский фестиваль начался при всеобщем волнении и оживлении.

Стиль лекций Бора был не для случайных слушателей. Он говорил очень тихо и часто использовал заумные, загадочные фразы. Однако эти сложности только добавляли таинственности его образу своего рода первосвященника квантовой теории. Подобно Дельфийскому оракулу, говорившему загадками, непостижимый боровский стиль чтения лекций позволял слушателям строить собственные предположения. К примеру, хотя Бор никогда четко не объяснял физические законы, положенные в основу его правила квантования момента импульса, многие физики считали, что они имеют логическое происхождение и что Бор каким-то образом обосновывал их с помощью классической механики.

Гейзенбергу, однако, было не так легко угодить. Он внимательно слушал лекцию и начал сомневаться в том, что Бор считает свою теорию полной и законченной. Когда пришло время для вопросов, Гейзенберг шокировал многих профессоров в аудитории, указав Бору на различия между классической и квантовой идеями орбитальных периодов. В модели Бора, как заметил Гейзенберг, периоды обращения электронов не имеют ничего общего с их орбитальными скоростями.

Может ли Бор это объяснить? Кроме того, Гейзенберг поинтересовался, добился ли Бор какого-либо прогресса в изучении атомов с несколькими электронами. Применима ли его теория по-прежнему только к атому водорода и водородоподобным ионам?

Слушатели, без сомнения, были шокированы комментариями Гейзенберга. В то время было неслыханно, чтобы студент во время публичной лекции задавал каверзные теоретические вопросы выступающему профессору, не говоря уже о вызове всемирно известному Бору. Но Бор довольно спокойно отнесся к комментариям и предложил Гейзенбергу прогуляться с ним по близлежащим холмам, чтобы обсудить эти вопросы. Бор признался во время прогулки, что некоторые аспекты его теории основаны на интуитивных догадках, а не на строгих физических законах. Гейзенберг был рад, что такой известный ученый настолько тепло к нему отнесся. Это была первая из бесчисленного множества их совместных прогулок, во время которых они будут размышлять над философией квантового мира.

Матрица реальности

Общение с Бором вдохновило Гейзенберга на развитие собственной теории атомных переходов. В конце концов ведь Бор не мог дать ответов на все вопросы, значит, пришло время для более всеобъемлющей концепции атома. Работая без предубеждений, Гейзенберг не боялся опровергнуть такие широко распространенные представления, как утверждение, что квантовые числа должны быть целыми.

Используя спектральные данные, полученные от Зоммерфельда, Гейзенберг построил систему, названную им *базовой моделью*, в которой полуцелые квантовые числа использовались наряду с целыми. Полуцелые числа помогли объяснить дублеты — спектральные линии, появляющиеся парами. Зоммерфельд с ходу отверг гипотезу Гейзенберга, утверждая, что квантовые числа $1/2$, $3/2$ и так далее «абсолютно невозможны». Бор также не принял этой идеи. Однако идеи Гейзенберга оказались созвучны мыслям Борна, и у ученых появился шанс посотрудничать.

Как молодой преподаватель, не боящийся сложных задач, Борн был открыт для радикальных предложений. Он возился со своими идеями, альтернативными модели Бора — Зоммерфельда. Судьба распорядилась так, что 1922–1923 учебный год Зоммерфельд преподавал в США в Университете Висконсина. На время своего отсутствия он отправил Гейзенберга в Гёттинген поработать с Борном. Замыкая квантовый треугольник (Мюнхен, Гёттинген, Копенгаген), Паули переехал на север, став ассистентом Бора.

Когда Гейзенберг в октябре 1922 года приехал к Борну, тот рекомендовал ему сосредоточиться на вариациях теории Бора, основанных на принципах небесной механики. Они вместе работали над тем, чтобы согласовать планетарную модель атома с набором спектральных линий ионизированного гелия — атома гелия с одним электроном, простейшей системы, более сложной, чем водород.

В мае 1923 года Гейзенберг вернулся в Мюнхен, чтобы закончить и защитить докторскую диссертацию. Несмотря на выдающийся теоретический вклад Зоммерфельда, основной упор в работе делался на практической стороне физики. В отличие от Шрёдингера, у Гейзенберга было мало опыта и склонности к проведению экспериментов, и его защита в этой части выглядела очень слабо. Средняя оценка, которую ему выставили за теоретическую и экспериментальную части работы, была около тройки. Тем не менее Зоммерфельд все же организовал банкет в честь его защиты. Стыдясь поставленной ему низкой оценки, Гейзенберг рано покинул банкет, побежал на вокзал и сел на ночной поезд в Гёттинген, чтобы продолжить свое сотрудничество с Борном, теперь уже в качестве научного сотрудника.

А дел для Гейзенберга там было много. Новые данные о спектральных линиях появлялись в больших количествах, демонстрируя любопытные структуры большей сложности и требуя вносить все больше и больше изменений в существующие модели. Гейзенберг тщетно пытался приспособить свою базовую модель к поступающим новым данным.

К началу 1924 года Борн начал осознавать, что их попытки применить планетарную аналогию к движению электронов провалились. Традиционная орбитальная механика в сочетании с принципом квантования энергии и момента импульса просто не могла

объяснить поведение электронов в ионе гелия. Если даже такую сравнительно простую систему, как ионизированный гелий, не удалось смоделировать, можно ли надеяться на понимание более сложных атомов?

Отбрасывая классическую механику, когда речь идет об атомах, Борн объявил о необходимости создания совершенно новой, *квантовой* механики. Основное отличие состояло в том, что квантовая механика должна быть дискретной, а не непрерывной, объясняя все на основе мгновенных скачков, а не плавных переходов. Описание поведения электронов, таким образом, требует представлять атом как черный ящик со скрытым внутренним устройством, а не как классическую физическую систему.

Шаг Борна был беспрецедентным в истории физики. Со времен Ньютона физики считали законы движения неприкосновенными. Специальная теория относительности Эйнштейна изменила определения импульса и энергии, но не меняла базовую предпосылку, что эти величины строго сохраняются (путем рассмотрения релятивистской массы как одной из форм энергии) и что ничто не может исчезнуть где-то, а потом появиться в другом месте. В ньютоновской физике за каждый момент времени требуется предоставить отчет; скрытые моменты случаются в эксперименте, но не в теории. Борн вполне мог сказать, что мы не понимаем механизма скачков электрона из-за ограниченности наших наблюдательных возможностей или из-за шума, создаваемого помехами сложных процессов. Но вместо этого он хирургически удалил любую причинно-следственную связь между положением электрона до и после скачка. Все, что можно узнать, — это только правила перехода^[8].

Если классическую механику можно сравнить со скрягой, который отслеживает каждый пенс из своих сбережений в каждый момент времени, то квантовая механика представляет собой клиента инвестиционного фонда открытого типа, который заботится только о перспективах роста своих сбережений. Если бы он даже удосужился справиться о своих инвестициях, ему бы сказали: «Не спрашивайте; это просто происходит». Точно также в квантовой механике не существует полного описания механизма скачков электронов; они просто следуют инструкции, указывающей начальное и конечное состояния.

Точно так же разочарованный ограничениями классической механики, Гейзенберг был нацелен на совершенно новый подход. В течение 1924-го и в начале 1925 года, потратив часть времени на посещение института Бора в Копенгагене, он исследовал различные способы сопоставления орбитального поведения электронов со сложными спектрами атомов. Посоветовавшись с Паули, Бором и другими физиками, Гейзенберг решил отказаться от идеи описания электронных орбит. Он чувствовал, что продуктивнее будет сосредоточиться исключительно на физических величинах, известных как *наблюдаемые*, которые можно непосредственно измерить, чем на попытках представить траектории, описываемые электронами.

Прорыв случился в июне 1925 года, когда Гейзенберг провели две недели на острове Гельголанд в Северном море. Привела его туда тяжелая сенная лихорадка, а морской воздух помогал избавиться от сильного насморка. Там Гейзенберг разработал систему расчета амплитуд (величин, связанных с вероятностями) переходов между состояниями электрона, которая воспроизводила наблюдаемые частоты излучаемого или поглощаемого света. Он составил своего рода таблицу, в которой были перечислены амплитуды всех возможных атомных переходов. Он также показал, как использовать основанный на этих таблицах математический аппарат для определения вероятности того, что электроны будут иметь определенные координату, импульс, энергию и другие наблюдаемые величины. Выходило, что такие физические величины будут известны не точно, а с некоторой вероятностью, как, скажем, шанс, что вам выпадет 21 очко в блэкджеке.

Вернувшись в Гёттинген, Гейзенберг показал свою таблицу амплитуд Борну, который интерпретировал ее как матрицу — математический объект, состоящий из чисел, расположенных в строках и столбцах. Борн привлек одного из своих аспирантов, Паскуаля Йордана, к работе над изучением математического аппарата того, что впоследствии стало известно как *матричная механика*.

Борн хорошо знал, что произведение двух матриц дает разные ответы в зависимости от порядка их умножения. В отличие от стандартного умножения чисел, для которых 2×3 — это то же, что и 3×2 , при умножении матриц $A \times B$ — в общем случае, это не то же самое, что $B \times A$. Если порядок не имеет значения, то говорят, что

величины *коммутируют*, а матрицы, для которых результат зависит от порядка их умножения, называются *некоммутирующими*. Поскольку в системе Гейзенберга для определения таких физических характеристик, как координата и импульс, используются некоммутирующие матрицы, то порядок измерения этих величин имеет значение. Иначе говоря, если сначала измерить координату частицы, а потом ее импульс, то результат будет не таким, как если бы мы сначала измерили импульс, а потом координату.

Гейзенберг позже покажет, что эта некоммутативность приводит к *принципу неопределенности*, который делает невозможным точное одновременное измерение определенных пар физических величин. Например, координата и импульс электрона не могут быть одновременно точно измерены. Если одна величина определяется с высокой степенью точности, значение другой должно быть сильно неопределенным. Это как на фотографии, где в идеальном фокусе может быть или передний план, или задний, но не оба. Если фотограф попытается навести резкость на ближайший к нему предмет, то удаленный станет размытым, и наоборот. Аналогичным образом, если физик решит провести эксперимент, позволяющий абсолютно точно определить местоположение электрона, импульс электрона станет «размазанным» по бесконечному диапазону значений, то есть — неизвестным вовсе.

Абстракцию матричной механики сразу невзлюбило сообщество физиков-экспериментаторов с их склонностью к осязаемым наглядным объяснениям. Только после того как была создана волновая механика и показана ее эквивалентность матричной механике, объединенная квантово-механическая теория получила широкое признание.

Эйнштейн, сторонник концепции бога Спинозы, пришел в ужас от одного из поразительных следствий теории Гейзенберга: если координата и импульс не могут быть измерены одновременно и точно, то невозможно определить координаты и скорости всех объектов во Вселенной и предсказать их будущее. Подобное упущение не беспокоило Гейзенберга и Борна, которым было комфортно работать с вероятностной механикой вместо точной классической механики. Эйнштейн же яростно сражался против отказа от строгого детерминизма в пользу идеи случайного поведения частиц.

Подсчет фотонов

Любопытно, что Эйнштейн, один из основателей квантовой теории, оказался противником своего собственного творения. Тем не менее мы должны отличать оригинальную идею кванта, которая просто означала дискретную порцию энергии или другой физической величины, от полностью сформировавшейся квантовой механики, системы, которая на атомном масштабе заменяет детерминистическую классическую механику. К примеру, в описании фотоэффекта, предложенном Эйнштейном, электрон поглощает дискретное количество энергии в виде фотона, а затем использует полученное ускорение, чтобы оторваться от поверхности металла и далее двигаться в пространстве уже непрерывно (и детерминированно). Эйнштейн возражал против парадоксальной идеи о том, что электрон поглощает фотон, а затем мгновенно оказывается совершенно в другом месте. Кажущиеся дискретными случайные скачки должны иметь непрерывное, причинное объяснение в рамках более глубокой теории, полагал Эйнштейн.

Эйнштейн не видел никаких проблем со случайностью как с инструментом, но не как с фундаментальным принципом природы. Эйнштейн знал, что в статистической механике случайность необходима как способ описания совокупного поведения неисчислимого множества атомов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой. Классическая механика точно описывала простые взаимодействия между парами объектов, но не справлялась с расчетом сложных систем с большим количеством компонентов. Вот где работает случай, верил Эйнштейн, — не как основополагающий закон, а скорее как способ представления хаотичных движений.

Последним крупным вкладом Эйнштейна в квантовую теорию, прежде чем он сменил лагерь и превратился в самого известного из ее критиков, стала квантовая статистическая теория идеальных газов. Идеальный газ — это большое количество молекул, как правило, помещенных в некоторый сосуд, причем для простоты считается, что молекулы не взаимодействуют друг с другом. В классической статистической механике, разработанной Больцманом и другими физиками, предположение о том, что молекулы движутся случайным образом, приводит к простой зависимости между давлением, объемом

и температурой, которую называют *уравнением состояния идеального газа*. Эйнштейн обновил стандартный формализм статистической механики, дополнив его идеей о квантовании энергии.

Стимулом к последней работе Эйнштейна в квантовой области была выдающаяся статья, которую он получил от индийского физика Шотендроната Бозе. В своей работе Бозе вывел формулу Планка для излучения черного тела из квантовых статистических принципов. Эйнштейн перевел статью на немецкий язык и опубликовал в августе 1924 года в престижном научном журнале *Zeitschrift für Physik*. Бозе считал фотоны чем-то наподобие одинаковых шариков для пинг-понга в контейнере, которые переносят дискретные порции энергии, зависящие (в соответствии с формулой Планка) от их частоты. Эйнштейн обобщил идею Бозе на случай одноатомных газов. Сегодня квантовая статистика тождественных частиц определенного типа, в том числе фотонов, называется статистикой Бозе — Эйнштейна. (Вот откуда появился термин «бозон», недавно использованный для названия частицы Хиггса.)

В сентябре 1924 года состоялась одна из наиболее важных научных конференций в период между двумя мировыми войнами. Она называлась «Naturforscherversammlung» (Ежегодное совещание натуралистов) и проходила в Инсбруке, красивом австрийском городе в Альпах. Хотя Эйнштейн и не делал доклада на конференции, все же он присутствовал на всех заседаниях и кулуарно обсуждал свои идеи по квантовой статистике с ее участниками, в том числе и с Планком.

Шрёдингер также принял участие в конференции. Она была отличной возможностью встретиться с Эйнштейном и Планком — двумя наиболее уважаемыми им учеными и, конечно же, двумя самыми известными физиками в мире. Он уже бывал на лекциях Эйнштейна на Венской конференции 1913 года, когда они обменялись статьями по общей теории относительности, но до этого момента он еще ни разу с ним не беседовал — по крайней мере, содержательно.

Встреча Эйнштейна и Шрёдингера в Инсбруке не только положила начало их долгой плодотворной дружбе (начавшейся весьма формально, но со временем ставшей более близкой), но и стала ключевым моментом в истории современной физики. Последнее открытие Эйнштейна в области квантовой статистики, обсуждавшееся на конференции, вдохновило Шрёдингера вступить с ним в переписку,

из которой он узнал об идее волн материи, выдвинутой французским физиком Луи де Бройлем. Это, в свою очередь, привело Шрёдингера к выводу собственного волнового уравнения, одного из ключевых столпов квантовой механики.

В Инсбруке Шрёдингер также воспользовался шансом повидаться с австрийскими коллегами (тогда он работал в Швейцарии) и подышать чистым горным воздухом. Последнее было важно, так как тремя годами ранее он перенес туберкулез и сильный бронхит. Кроме того, он много курил, что не способствовало его выздоровлению.

Последние несколько лет были очень беспокойными для Шрёдингера. После женитьбы на Энни он стал кем-то вроде странствующего ученого. Хотя ему предложили должность в Университете Вены, он с конца 1920 до конца 1921 года последовательно занимал академические посты на короткие периоды в Йене, Штутгарте и Бреслау (ныне польский город Вроцлав). Заработок заботил его очень сильно в то время, поскольку инфляция уже начала разорять Германию. Он с ужасом наблюдал, как его овдовевшая мать, некогда гордая представительница среднего класса, потеряла дом и жила после смерти отца в нищете. Она скончалась от рака в сентябре 1921 года. Эрвин решил, что займет самую прибыльную и надежную академическую должность, которую только сможет найти, надеясь обеспечить Энни максимально комфортную жизнь и избавить ее от любого риска оказаться нищей.

Такая возможность появилась в конце 1921 года, когда открылась вакансия в Университете Цюриха. Швейцария, в отличие от Германии и Австрии, предложила Эрвину и Энни стабильные мирные условия для жизни, свободной от экономических проблем и беспорядков. Заняв престижную академическую должность, справившись с вышеупомянутыми приступами бронхита и туберкулеза, Шрёдингер начал публиковать статьи, посвященные вопросам применения классических идей Больцмана в квантовой области.

Одним из вопросов, которые волновали Шрёдингера первые годы его работы в Цюрихе, было определение в квантовых терминах понятия энтропии (или меры беспорядка) для идеального газа. Больцман определял энтропию через количество уникальных микросостояний (расположений частиц) для каждого макросостояния. Однако если частицы неразличимы, например для случая квантового

газа, то существует значительно меньшее количество уникальных микросостояний. Это можно представить на примере подсчета числа расстановок из нескольких монет, отчеканенных в разные годы. Если вы дифференцируете монеты по году чеканки, то из них можно составить гораздо больше уникальных наборов, чем если вы будете рассматривать их как идентичные. Таким образом, квантовая оценка энтропии отличается от классической.

До того как Бозе опубликовал свою основополагающую статью о фотонах, а Эйнштейн обобщил его идею на случай идеальных газов, многие физики совершенно не понимали, какие факторы следует включать в выражение для энтропии квантовых систем. Хорошо известное уравнение для энтропии содержало сомнительный поправочный коэффициент, природу которого никто до Бозе не мог полностью объяснить. Поправочный коэффициент был добавлен, чтобы исправить проблемы с применением формулы Больцмана к квантовым газам. Но не все считали его обоснованным. В 1924 году Шрёдингер опубликовал статью, в которой не учел поправочный коэффициент, что привело к ошибочному выражению для энтропии.

Новаторские методы Эйнштейна, встреча с ним в Инсбруке и их последующая переписка стали для Шрёдингера настоящим откровением. Благодаря идеям Эйнштейна Шрёдингер стал мыслить о квантовой статистике по-новому, отказавшись от ошибочного классического представления, что перестановка частиц всегда дает различные микросостояния, хотя на это ушло некоторое время. Сначала Шрёдингер думал, что Эйнштейн, должно быть, допустил ошибку в своих расчетах, потому что они не согласовывались с методами Больцмана. В своем первом письме Эйнштейну, в феврале 1925 года, он указал на возможную ошибку. Эйнштейн терпеливо ответил, объяснив идею Бозе, согласно которой фотоны могут занимать одинаковые квантовые состояния. Шрёдингер пересмотрел определение энтропии на основе новых представлений о статистике и представил свою работу Прусской академии наук в июле 1925 года.

Теоретик не может предвидеть, какая часть его научной статьи окажется наиболее интересной. Иногда даже вскользь упомянутая мысль может прищипорить воображение и положить начало целому циклу плодотворных идей. Ссылка на работу де Бройля в одной из статей Эйнштейна о квантовой статистике вдохновила Шрёдингера на

величайшее открытие в науке — уравнение волновой механики. Как отметил физик Питер Фройнд, «без ссылки Эйнштейна на работу де Бройля уравнение Шрёдингера, возможно, было бы выведено намного позже» ^[58].

Волны материи

Кажется, будто частица и волна — две совсем разные вещи. Одна локализована, а другая распределена в пространстве. Одна отскакивает от стен, а другая огибает углы. Одна вроде бы является крошечной частью материи, а другая представляется как рябь в пространстве. Что у них может быть общего?

Фотоны, как показал Эйнштейн, представляют собой гибрид волны и частицы. Как и частицы, фотоны переносят порции энергии и импульса, которые могут передавать при столкновениях. Как волны, они имеют узлы и пучности, которые могут образовывать полосатые изображения, называемые интерференционными картинками.

В 1924 году в своей докторской диссертации, основанной на расчетах, выполненных годом ранее, де Бройль творчески применил дуальное описание ко всей материи. Он предположил, что не только фотоны, но и все другие частицы обладают как корпускулярными, так и волновыми свойствами. В частности, электрону сопоставляется длина волны, равная постоянной Планка, деленной на его импульс.

Красота концепции де Бройля заключается в том, что она естественным образом приводит к боровским правилам квантования момента импульса (и к их обобщениям, которые называются правилами квантования Бора — Зоммерфельда). Это было ключом к описанию стабильных орбит электронов в атоме. Де Бройль представлял орбиту электрона в атоме чем-то наподобие вибрирующей гитарной струны, только закольцованной вокруг ядра. Также как натянутая струна может вибрировать в разных тональностях, с разным количеством узлов и пучностей, электронная волна в атоме может колебаться с различными длинами волн. Поскольку импульс в формуле де Бройля обратно пропорционален длине волны, а момент импульса — это импульс, умноженный на радиус, то формула приводит к правилу, в соответствии с которым момент импульса может принимать

только дискретные значения. Таким образом, простые вычисления приводят к необходимым ограничениям на орбиты электронов, которые Бор не мог адекватно объяснить сам, но которые были критически важны для его теории.

В одной из своих статей по квантовой статистике одноатомных газов Эйнштейн обратился к идее де Бройля о волнах материи как к возможному объяснению, почему в газах при низких температурах атомы двигаются как бы в унисон, тем самым становясь более упорядоченной системой и уменьшая энтропию. Идея, что атомы, как и фотоны, могут вести себя подобно волнам, выстроила существенную связь между одноатомным газом Эйнштейна и фотонным газом Бозе, на модели которого Эйнштейн основывал свою теорию. Эйнштейн также хвалил де Бройля за инновационное решение проблемы квантования момента импульса, которая была слабым местом боровской модели.

Когда Шрёдингер внимательно прочел статью Эйнштейна и увидел ссылку на диссертацию де Бройля, он тут же захотел ознакомиться с ней. Забавно, но он, похоже, не понимал, что ее основные результаты уже опубликованы и доступны в библиотеке Университета Цюриха, прямо у него под носом. Вместо этого он написал в Париж и попросил выслать саму диссертацию. Увлечение Шопенгауэром и Спинозой подготовило его к поиску объединяющих принципов, поэтому Шрёдингер нашел идеи де Бройля об общих свойствах материи и света блестящими. Внезапно модель атома Бора — Зоммерфельда превратилась из ущербного аналога Солнечной системы в бьющееся сердце материи, пульсирующее в соответствии с природными закономерностями, которые определяли его свойства. 3 ноября 1925 года Шрёдингер написал Эйнштейну: «Несколько дней назад я с величайшим интересом прочел гениальную диссертацию Луи де Бройля, которую наконец-то раздобыл» ^[59].

Вдохновленный Дебаем, работавшим тогда в ЕТН, Шрёдингер организовал семинар по волнам материи де Бройля, на котором было убедительно показано революционное значение этой идеи. В конце обсуждения Дебай предложил Шрёдингеру заняться вопросом, уравнению какого типа могут подчиняться подобные волны и как можно описать их эволюцию во времени и в пространстве. Может ли, по аналогии с излучением электромагнитных волн, которое

описывается уравнениями Максвелла, существовать механизм испускания волн материи, который бы соответствовал физическим ограничениям той или иной ситуации? Например, как будут вести себя электроны, помещенные в электромагнитное поле, которое создается протонами в атомных ядрах? Как они будут вести себя за пределами атомов при движении в пустом пространстве?

Следующие несколько месяцев Шрёдингер лихорадочно пытался найти правильное уравнение, которое описывало бы волны материи и объясняло поведение электронов в атомах. Наибольшую проблему для него в то время представляло внутреннее свойство электронов, называемое *спином*. Впервые описанный в 1926 году двумя студентами Эренфеста, Сэмюэлом Гаудсмитом и Джорджем Уленбеком, спин представляет собой квантовое число, которое характеризует поведение частицы во внешнем магнитном поле. Спин «вверх» означает, что частицы выстраиваются в одном направлении с полем, а спин «вниз» означает, что они располагаются в противоположном направлении. Многие типы частиц, включая электроны, обладают полуцелым спином, например $1/2$, или $-1/2$.

Частицы с полуцелым спином не подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна, потому что две такие частицы не могут находиться в одном квантовом состоянии. Скорее, как это покажет Паули, электроны и другие частицы с полуцелым спином должны подчиняться *принципу запрета*, гласящему, что каждая частица должна занимать свое собственное квантовое состояние. Частицы этого типа, называемые *фермионами*, не могут сбиваться в кучу, как музыкальные фанаты возле сцены. Вместо этого у каждой частицы есть свое собственное место.

Термин *фермион* происходит от названия статистики Ферми — Дирака, правильно описывающей коллективное поведение частиц с полуцелым спином. Названная в честь итальянского физика Энрико Ферми и английского физика Поля Дирака, каждый из которых внес свой вклад в теорию, она описывала распределение частиц по состояниям иначе, чем статистика Бозе — Эйнштейна. Впоследствии Дирак вывел правильное релятивистское уравнение, описывающее поведение фермионов, названное *уравнением Дирака*. Это потребовало нового типа обозначений с использованием комплексных чисел.

Шрёдингер начал свои расчеты, не зная ничего из этого, и вскоре разработал уравнение для волн материи, в котором использовались положения специальной теории относительности. Это было очень важное уравнение, которое позже переоткрыли шведский физик Оскар Клейн и немецкий физик Уолтер Гордон и которое было названо *уравнением Клейна — Гордона*^[9]. Беда была в том, что оно не вполне применимо к электронам и другим фермионам из-за их полуцелого спина. На самом деле оно отлично работает для описания бесспиновых бозонов, но Шрёдингер пытался описать с его помощью электроны, являющиеся фермионами, а не бозонами. К его великому разочарованию, когда он попытался смоделировать атом Бора — Зоммерфельда, предсказания модели оказались ошибочными.

После серии бесплодных попыток Шрёдингер решил, что ему нужен перерыв. На носу были рождественские каникулы, и Шрёдингер использовал их, чтобы выбраться из города и более глубоко поразмыслить о волнах материи. Он сообщил Энни, что отправляется отдыхать в живописную альпийскую деревушку Ароза. Шрёдингер уже бывал там раньше, когда восстанавливался после легочной инфекции. Тем временем он написал письмо одной своей бывшей подруге из Вены (чье имя неизвестно, поскольку его дневник за тот год утерян) и пригласил ее присоединиться к нему. Энни осталась в Цюрихе.

Рождественское чудо

В своем личном философском эссе «Поиски пути», завершенном в 1925 году, Шрёдингер соглашается с идеей воли Шопенгауэра, определяемой как общая сила, которая направляет всех людей и даже неодушевленные предметы по заданному пути. Он использовал сравнение со скульптурой, чтобы показать, что хотя конечный продукт идеален, красив и вечен, в процессе своего производства он требует тысяч крошечных, очевидно случайных и даже деструктивных ударов по камню. «Поэтому и должны мы на каждом шагу изменять, преодолевать, разрушать форму, которой только что обладали, — писал Шрёдингер. — Соппротивление примитивной воли представляется мне

подобным физическому сопротивлению существующей формы резцу ваятеля»^[60].

Шрёдингер действовал импульсивно, чувствуя, что риск важен для личностного роста. Пока мир провожал 1925 год, он отправился со своей прежней подружкой в Вилла-Хервиг, окруженную прекрасными горными пейзажами, готовя себя к напряженному периоду научных расчетов и вычислений. Что бы он там ни делал, казалось, это было связано с научной работой. Так, его двухнедельный отпуск ознаменовал наиболее плодотворный период в его жизни, во время которого он создаст совершенно новый подход к физике, что в конечном итоге принесет ему Нобелевскую премию. Герман Вейль, который хорошо знал Шрёдингера и, видимо, был осведомлен об их любовных связях, так описал этот период в своем рассказе историку науки Абрахаму Пайсу: «Шрёдингер совершил свое великое открытие в позднем эротическом порыве своей жизни»^[61].

Под словом «позднем» кроется факт, что Шрёдингеру на тот момент было тридцать восемь. Он был намного старше юных гениев Гейзенберга и Паули, которые командовали другим квантовым флангом. Как ни печально, лишь немногие теоретики (по крайней мере в наше время) вносят существенный вклад, когда им уже за тридцать. Эйнштейн является еще одним таким исключением из правила: он завершил свою общую теорию относительности в возрасте тридцати шести лет, а свой основной вклад в квантовую статистику он сделал в возрасте сорока пяти лет. Однако, в отличие от Шрёдингера, Нобелевскую премию ему присудили за работу (посвященную фотоэлектрическому эффекту), которую он опубликовал, когда ему еще не было тридцати.

Наполненный юношеской энергией, Шрёдингер устремился навстречу судьбе. Продолжая играть с релятивистским волновым уравнением, он решил переключиться на его нерелятивистскую версию. Вместо формулы $E = mc^2$ он использовал старую ньютоновскую формулу для энергии. Комбинируя классическое выражение для кинетической энергии (энергии движения) и потенциальной энергии (энергии положения), он ловко переписал их в виде математической функции, названной оператором Гамильтона (формулировка, аналогичная гамильтоновой, уже упоминалась ранее,

но там все выражалось в терминах производных и других функций). В своем знаменитом уравнении Шрёдингер применил гамильтониан к объекту, который называется *волновой функцией* (также известной как пси-функция), чтобы определить, как она изменяется со временем.

Волновая функция, согласно концепции Шрёдингера, задавала распределение заряда и массы элементарной частицы в пространстве. Чтобы найти стационарные состояния частицы с фиксированной энергией, например стабильные электронные состояния атома, просто найдите все волновые функции, для которых действие оператора Гамильтона эквивалентно умножению этой волновой функции на некоторое число. Каждое число, для которого это уравнение обращается в тождество, представляет собой энергию некоторого состояния, а соответствующая волновая функция описывает стационарное состояние с этой энергией.

Используем аналогию, чтобы понять, как работает метод Шрёдингера. Представьте, что вы — банкир, живущий в стране, где в обращении много фальшивых купюр. Вы сконструировали сканер, который определяет подлинность купюры по номеру в одном из ее углов. Если на купюре этого числа нет, то она объявляется фальшивой. Если же сканер обнаруживает этот номер на купюре, то загорается индикатор со значением ее истинной стоимости, и купюра помещается в одну из нескольких стопок, в зависимости от номинала. А теперь представьте себе оператор Гамильтона как сканер, который обрабатывает волновые функции и в некоторых случаях считывает их энергию и сохраняет эти состояния, в то время как в других случаях он их утилизирует. Математические термины для результатов такого процесса сортировки — *собственные значения* и *собственные функции* (или собственные состояния). Применение оператора Гамильтона к собственной функции (волновой функции стационарного состояния) дает собственное значение (энергию), умноженную на эту собственную функцию.

Первым делом Шрёдингер, разумеется, решил рассчитать при помощи нового метода атом водорода. Он заметил, что электрическое поле атомного ядра одинаково во всех направлениях. Из этого следует, что задача должна обладать сферической симметрией. Используя эту симметрию, Шрёдингер получил семейство решений, которые могли быть заданы тремя различными квантовыми числами — в точности

теми же числами, которые предложили Бор и Зоммерфельд. К его восторгу, новая формула, которая приводится во всех современных учебниках физики как уравнение Шрёдингера, давала правильный результат, чудесным образом воспроизводя модель атома Бора — Зоммерфельда.

В январе 1926 года Шрёдингер закончил первую статью на эту тему. Она называлась «Квантование как задача о собственных значениях». Совершение такого значительного прорыва всего лишь за пару месяцев было практически беспрецедентным подвигом. Он отправил статью Зоммерфельду, который был потрясен его блестящим достижением. Зоммерфельд ответил, что статья стала для него «громом среди ясного неба»^[62].

Шрёдингер с огромным уважением относился к Планку и Эйнштейну и с нетерпением ждал их реакции. К счастью, отзывы были в основном положительными. Как вспоминала Энни, «Планк и Эйнштейн преисполнились энтузиазма с самого начала... Планк сказал: “Я смотрю на это, как ребенок, озадаченный головоломкой”»^[63].

Шрёдингер поблагодарил Эйнштейна в личном письме: «Ваше с Планком одобрение для меня ценнее, чем половина мира. Кроме того, это уравнение... возможно, никогда бы не появилось (по крайней мере, я бы его не открыл), если бы ваша работа не сделала для меня очевидной важность идей де Бройля»^[64].

К тому времени уже были опубликованы несколько работ Гейзенберга, Борна и Йордана с изложением теории матричной механики. Дирак предложил удобные математические обозначения для описания квантовых правил с использованием символов *бра* и *кет*^[10], что сделало матричную механику гораздо более изящной и понятной. Естественно, возник вопрос о связи волновой механики с матричной, поскольку каждая из них точно описывала атом водорода, хотя и разными способами. Шрёдингер был достаточно осторожен и подчеркивал, что его теория была разработана независимо и совершенно не основывалась на работах Гейзенберга.

Несмотря на то что теории Шрёдингера и Гейзенберга появились независимо друг от друга и что Шрёдингер, естественно, отдавал предпочтение своей, он осознавал, насколько важно

продемонстрировать их эквивалентность. Зоммерфельд сразу понял, что теории совместимы — но совместимость необходимо было доказать математически. И вскоре Шрёдингер представил доказательство, которое Паули подкрепил еще более тщательными и скрупулезными выкладками. После установления эквивалентности обеих теорий Шрёдингер начал доказывать, что его подход был более материалистичен и обоснован с физической точки зрения. В конце концов, ведь в его описании электроны непрерывно перемещались в пространстве и во времени, а не прыгали из одного состояния в другое в абстрактном мире матриц.

В царстве призраков

После серьезных размышлений о следствиях обеих теорий Борн обнаружил в каждой из них слабые стороны, в том числе и в той, которую он сам помог разработать. Бор знал, что матричную механику критикуют за то, что она слишком абстрактна. Волновой подход выглядел более конкретным и наглядным. Он хорошо моделировал процессы, происходящие в реальном физическом пространстве, например столкновения частиц. Борну пришлось признать его изящество, ясность и значимость.

Однако волновая механика предлагала неадекватное описание движения свободного электрона в пустом пространстве. Такая картина не соответствовала экспериментальным данным, которые показывали, что иногда электроны ведут себя как точечные частицы. Картина пульсирующего в пространстве электрона выглядела привлекательно, но не было никаких опытных данных, подтверждающих, что заряд и энергия электрона на самом деле как-то распределялись в пространстве.

Чтобы примирить оба подхода, Борн предложил третий способ: представить волновую функцию как «призрак», который управляет поведением настоящего электрона. Волновая функция сама по себе не обладает никакими физическими характеристиками: ни энергией, ни импульсом. Она «живет» в абстрактном пространстве (которое теперь называется *гильбертовым пространством*), а не в реальном физическом мире. Это приводит к тому, что о ее существовании становится известно только косвенным образом, когда мы наблюдаем за электронами и получаем информацию о вероятности результатов отдельных измерений. Другими словами, как и в случае матрицы состояний Гейзенберга, волновая функция выступает источником данных о вероятностях.

Борн показал, как можно найти различные наблюдаемые величины с помощью волновой функции, используя ее призрачную, «закулисную» роль. Каждый раз, когда производятся измерения, вероятности различных исходов зависят от собственных состояний конкретного оператора (некоторых математических функций).

Например, для измерения наиболее вероятной координаты электрона необходимо найти собственные состояния оператора координаты и использовать их для вычисления вероятности каждой возможной координаты. А чтобы найти наиболее вероятное значение импульса, необходимо сделать то же самое с оператором импульса и его собственными состояниями. Точное измерение либо координаты, либо импульса означает, что волновая функция электрона совпала с одним из собственных состояний оператора координаты или оператора импульса. Удивительная особенность заключается в том, что, поскольку собственные состояния оператора координаты и оператора импульса образуют различные наборы, вы никогда не можете измерить координату и импульс частицы одновременно. Вам необходимо выбрать очередность измерений: либо сначала измерить координату, а потом импульс, либо наоборот. Как и в случае матричной механики, при изменении порядка выполнения операций изменяется результат.

В интерпретации Борна также можно использовать волновые функции, чтобы определить вероятность того, что электрон перейдет из одного квантового состояния в другое, например вероятность перехода между двумя энергетическими уровнями в атоме. Такой квантовый скачок происходит мгновенно и непредсказуемо, вы можете только оценить его вероятность. Единственный способ увидеть этот скачок — это наблюдение испускания или поглощения фотона атомом. Из-за принципа неопределенности вы не можете отследить движение электрона в пространстве при совершении им квантового скачка.

Словом, подход Борна превратил волновые функции Шрёдингера из физических, материальных волн в волны вероятности. В своей обновленной роли они могут подсказать вам только вероятность того, что электроны обладают определенной координатой или импульсом, и то, какова вероятность, что эти значения как-то изменятся. Вы никогда не сможете определить точные значения обеих величин одновременно. Из-за того что в каждый конкретный момент времени вы не знаете точно, где частица находится и как она движется, вы не можете точно предсказать, где она будет находиться в следующий момент. Таким образом, Борн перевернул детерминистичное описание Шрёдингера, превратив его в вероятностное. Поведение электронов отныне представлялось как последовательность случайных квантовых скачков из одного состояния в другое.

Гейзенберг был согласен с Борном в том, что электроны нельзя в буквальном смысле представлять как волны, «размазанные» по всему пространству. Единственным возможным применением волновой механики, полагал он, является альтернативный способ расчета матричных компонентов его собственной теории. Ему казалось нелепым представлять электроны в виде волнообразных сгустков, окружающих атомы. Ни один эксперимент не показал, что электроны — это протяженные объекты. Поэтому Гейзенберг принял интерпретацию Борна как удобный способ получения полезных результатов из расчетов, выполненных на основе уравнения Шрёдингера, не заморачиваясь такими нелепыми объектами, как размазанные электроны.

Дом Бора

Ситуация сильно осложнилась в октябре 1926 года, когда Шрёдингер по приглашению Бора посетил Копенгаген, чтобы представить там свои новые результаты. Институт теоретической физики, в котором работал Бор, стал святым престолом квантового понтификата с Бором в роли понтифика. Бора окружали увлеченные молодые ученые, среди которых в то время были Гейзенберг, Дирак и Оскар Клейн.

Клейна особенно интересовала волновая механика, поскольку он имел собственную точку зрения на эту тему. Он тоже читал работы де Бройля и хотел построить волновое уравнение, основанное на идее волн материи. Пробуя несколько различных подходов, в конце 1925 года он самостоятельно разработал аналог уравнения Шрёдингера, но из-за болезни не смог опубликовать результаты. Ко времени его выздоровления первая статья Шрёдингера уже увидела свет. Однако Клейн, как и Гордон, получил признание за разработку релятивистской версии этого уравнения.

Клейн также независимо воспроизвел теорию Калуцы — расширение общей теории относительности путем введения дополнительного пространственного измерения с целью описания электромагнетизма и гравитации в рамках единой теории. Как и его предшественник, Клейн надеялся разработать единую теорию

природы, которая смогла бы объяснить, как электроны движутся в пространстве под действием комбинации этих двух сил.

Однако, в отличие от теории Калуцы, теория Клейна основывалась на квантовых принципах. Он использовал понятие стоячих волн де Бройля, но интерпретировал их несколько иначе. Вместо того чтобы оборачиваться вокруг атомов, эти волны сворачивались вокруг ненаблюдаемого пятого измерения. Клейн отождествил импульс в пятом измерении с электрическим зарядом. Используя идею де Бройля о том, что длина волны обратно пропорциональна импульсу, он связал максимальный размер дополнительного измерения с минимальным значением импульса и тем самым связал последнее с минимальным электрическим зарядом. Таким образом, он показал, что крошечная величина заряда электрона естественным образом приводит к тому, что пятое измерение должно иметь очень маленький размер. Следовательно, пятое измерение слишком мало, чтобы его можно было наблюдать в эксперименте.

Невозможность наблюдения пятого измерения Клейна можно проиллюстрировать на следующем примере. Представьте себе, что вы стоите на высокой стремянке и смотрите вниз на иголку, на которую туго намотана нитка. С такой высоты толщина нитки не будет заметна, а иголка будет казаться просто прямой линией. Аналогично, из-за того, что пятое измерение очень плотно свернуто, оно ненаблюдаемо.

После завершения своей работы Клейн был потрясен, когда услышал от Паули об аналогичной идее унификации взаимодействий, предложенной Калуцей. Паули был одним из немногих ученых, кто успевал следить за всеми исследованиями и новыми теориями в области общей теории относительности и квантовой физики. Поэтому он служил источником информации для других. Хотя Клейн был разочарован тем, что не стал первым, кто предложил пятимерную теорию объединения, он все же решил, что его теория достаточно уникальна и заслуживает публикации. В последующих моделях объединения, включая некоторые из попыток Эйнштейна, клейновская идея крошечного, плотно свернутого пятого измерения стала существенным компонентом. Поэтому многомерные схемы объединения сил природы часто называют теориями Калуцы — Клейна.

Однако на тот момент подход Клейна не оказал существенного влияния на копенгагенское сообщество. Бор направил усилия группы на достижение консенсуса в представлениях о природе атома и кванта. Такая общая позиция включала в себя представление об атоме как о вероятностном механизме. Ни пятимерная теория Клейна, ни интерпретация Шрёдингера волны в виде распределенного в пространстве заряда не включали в себя идею спонтанных квантовых скачков и поэтому были исключены из развивающейся канонической теории.

Октябрьский визит Шрёдингера напоминал выступление адепта одной религии перед преданными сторонниками другой в попытке отстоять свое вероучение. И хотя его взгляды бывали гибки, гордый, упрямый венский физик не собирался так быстро уступать. Он изменил свое мнение по собственным соображениям, а не под давлением «копенгагенцев».

Шрёдингер прибыл поездом первого октября. На вокзале его встретил Бор, тут же засыпавший Шрёдингера вопросами. Допрос не прекращался до тех пор, пока Шрёдингер не прочитал свою лекцию и не уехал обратно домой. Даже когда он во время этого визита простудился и лежал в постели, Бор продолжал расспрашивать о его взглядах. Шрёдингер остановился в доме Бора, так что у него и впрямь не было выбора.

Несмотря на шквал вопросов, все в Копенгагене были любезны и дружелюбны, особенно Маргарет, жена Бора, которая всегда заботилась, чтобы гости чувствовали себя желанными. Удобно расположившись в теплой, уютной, домашней обстановке, Шрёдингер попал под интенсивное давление со стороны Бора, Гейзенберга и других физиков, требовавших от него принять интерпретацию Борна и отбросить свою идею воли материи. Шрёдингер сопротивлялся изо всех своих интеллектуальных сил. Он не хотел, чтобы его гениальная теория стала просто машинкой для расчетов, которую сторонники матричной механики могут использовать в своих вычислениях.

Решающим моментом в контраргументации Шрёдингера был отказ признать случайные квантовые скачки физически реальными. Вместо этого он обосновывал необходимость непрерывного, детерминистического объяснения. Это был своего рода поворот, учитывая, что в своей инаугурационной речи в Цюрихе, вторя идеям

своего наставника Франца Экснера, Шрёдингер подчеркивал роль случайности в природе и подвергал сомнению необходимость причинности в науке. Кроме того, ранее Шрёдингер писал Бору, восхищаясь теорией излучения, названной БКС-теорией (теорией Бора — Крамерса — Слейтера), которую тот помог развить и которая обходила принцип причинности ^{65}.

Эйнштейн категорически возражал против БКС-теории именно из-за ее случайности. По этому вопросу он и Шрёдингер были по разные стороны баррикад. Но это было в 1924 году, еще до того, как Шрёдингеру пришлось защищать свое собственное каузальное, непрерывное, детерминистическое уравнение. По воле случая к концу 1926 года взаимное неприятие идеи случайных квантовых скачков заставит их обоих объединиться в один антикопенгагенский лагерь. Этот альянс образовался, когда оба поняли, что находятся среди немногих ярых критиков борновской интерпретации волнового уравнения.

После возвращения из Копенгагена в Цюрих Шрёдингер продолжал отстаивать свое неприятие квантовых скачков. Он полагал, что атомная физика должна быть наглядной и логически последовательной наукой. Но Бор сохранял надежду, что Шрёдингер все-таки примет консенсусную точку зрения, просто потому что волновая механика в ее вероятностной формулировке прекрасно согласовывалась с матричной механикой. На тот момент квантовая теория еще только формировалась, так что различные интерпретации не мешали ее прогрессу. Гораздо большую проблему для целей Бора по достижению квантовой гармонии представляла более жесткая оппозиция Эйнштейна.

Играет ли Бог в кости?

К концу 1926 года Эйнштейн провел четкую демаркационную линию между собой и квантовой теорией. Раздраженный отсутствием внимания к понятию непрерывности, которое он рассматривал как логически необходимую часть природы, он начал обращаться к религиозным образам, чтобы доказать свою правоту. Почему именно религия? Эйнштейн вырос в светской еврейской семье и, конечно, не был набожен. Тем не менее ему часто напоминали о его иудаизме: в негативном ключе — правые немецкие националисты, совершая антисемитские нападки на его работы, и в позитивном — движение за Еврейское государство в Палестине, которое он поддерживал.

Несмотря на философские разногласия, Эйнштейн и Борн оставались близкими друзьями. Они очень любили вести интеллектуальные дискуссии, вместе играли камерную музыку и состояли в постоянной переписке. Борн воспитывался в очень похожей светской еврейской семье. Учитывая их сходство, пожалуй, не стоит удивляться, что Эйнштейн обратился именно к Борну, пытаясь убедить его в том, что квантовой физике необходимы детерминистичные уравнения, а не вероятностные правила.

«Квантовая механика объясняет многое, и это достойно большого уважения, — писал Эйнштейн Борну, — но внутренний голос подсказывает мне, что это еще не правильный путь. Эта теория... вряд ли приближает нас к постижению Его замысла. Во всяком случае, я убежден, что старик не играет в кости»^{66}.

Как мы видим, слово «старик» было одним из условных обозначений Эйнштейна, которыми он пользовался для отсылки к богу. Но не к библейскому Богу, а к богу Спинозы. Это был не последний раз, когда Эйнштейн прибегнет к этой метафоре. Оставшуюся часть своей жизни, объясняя, почему он не верит в квантовую неопределенность, он будет как мантру повторять снова и снова, что Бог не играет в кости.

Квазирелигиозный тон его заявления был обращением к разуму и здравому смыслу, а не призывом заменить науку верой. Он мог бы сказать: «Мое чувство естественного порядка говорит мне, что законы физики не являются случайными», но он решил добавить драматизма.

И действительно, фраза «Бог не играет в кости» вызвала такой общественный резонанс, какой фраза «законы природы не являются вероятностными» породить была бы не способна.

Театральность заявления указывала на растущую уверенность в важности собственных высказываний. Эйнштейн уже начал привыкать к тому, что его слова подхватывала пресса. Наверное, поэтому, даже в частном письме, его призыв был столь драматизированным.

Очередной попыткой опровергнуть интерпретацию Борна стало выступление Эйнштейна в Прусской академии наук 5 мая 1927 года. Он поставил целью доказать, что волновое уравнение Шрёдингера подразумевает точное описание поведения частиц, а не просто бросание костей. Неделью спустя он триумфально писал Борну: «На прошлой неделе я представил в Академии краткий анонс своей статьи, в которой показал, что с помощью волновой механики Шрёдингера можно построить полностью детерминистичное описание движения, не прибегая к какой-либо статистической интерпретации. Подробности появятся в ближайшее время»^[67]. Эйнштейн направил свою статью в престижный научный журнал. Однако, возможно, из-за того, что он не был полностью уверен в результатах, Эйнштейн отозвал статью уже через несколько дней, и она никогда не была опубликована. Только первая страница его неудачного доказательства сохранилась для истории.

Несмотря на известность Эйнштейна, его аргументы оказали мало влияния на сторонников квантовой теории. Эксперимент за экспериментом доказывали, что квантовая механика является очень точной теорией, описывающей поведение атомов. Ее прогнозы подтверждались раз за разом с высокой степенью точности. Молодые исследователи, несведущие в философских вопросах (или, по крайней мере, равнодушные к ним), которыми руководствовались Эйнштейн и Шрёдингер, были свидетелями опытных подтверждений квантовой механики и поэтому рассматривали ее как единственно верный путь. Им не хотелось спорить с экспериментально успешной теорией.

Не убежденный аргументами Эйнштейна, Борн продолжал отстаивать свою вероятностную интерпретацию. Сама идея, что в природе все предопределено, вызвала у него отторжение. Зачем соглашаться с тем, что в мире нет ни выбора, ни случайности?

Тем временем Гейзенберг приступил к систематизации принципа неопределенности в процессе квантовых измерений в своей очень важной статье, которую он отправил Паули в феврале 1927 года и опубликовал в том же году под названием «О наглядном содержании квантово-теоретической кинематики и механики»^{68}. Название и тема статьи отражали горячее желание Гейзенберга противопоставить призыву Шрёдингера к наглядности квантовой теории собственные представления о том, что может наблюдаться в природе, а что нет.

Статья Гейзенберга примечательна, так как представляет собой введение к тому, что он назвал «принципом индетерминированности» («indeterminacy principle»), известным сегодня как *принцип неопределенности*, утверждающий невозможность одновременного измерения определенных пар наблюдаемых величин. Координата и импульс образуют одну такую пару, время и энергия — другую. Чем более точно вы измеряете одну величину в каждой паре, тем более неопределенной становится другая. Хотя математическое обоснование этой идеи было разработано ранее (известный факт, для матриц, представляющих сопряженные величины, имеет значение порядок операций с ними), только в статье Гейзенберга 1927 года впервые совершена попытка объяснения на физическом уровне того, что при этом происходит.

Гейзенберг показал, что если необходимо измерить положение электрона, следует направить на него луч света. Минимальным количеством света, необходимым для этого, будет один фотон.

Но даже этот отдельный фотон, направленный на электрон, после столкновения передаст ему дополнительный импульс. Таким образом, к моменту, когда вам будет известно местоположение электрона, его импульс изменится на неизвестную величину.

Гейзенберг также описал процесс, который стал известен как *коллапс*, или *редукция волновой функции*. Перед началом измерения любой величины, такой как координата, волновая функция представляет собой суперпозицию (взвешенную сумму) собственных состояний. Как только происходит измерение, волновая функция мгновенно переходит в одно из своих собственных состояний, избавляясь от всех остальных. Таким образом, координата (или любая другая величина) принимает определенное собственное значение, соответствующее данной собственной функции.

Мы можем представить себе процесс редукции волновой функции на примере стоящего вертикально на столе четырехгранного карандаша, вероятность падения которого в любую из четырех сторон одинакова. Он находится в суперпозиции собственных состояний: север, юг, запад и восток. А теперь представьте сильный ветер, который внезапно подул в совершенно произвольном направлении. Он в некотором смысле производит измерение. Наш карандаш упадет в одном из направлений, коллапсируя в одно из своих собственных состояний. Процесс измерения вызвал редукцию суперпозиции состояний в одно конкретное состояние.

Венгерский математик Джон фон Нейман позже показал, что все квантовые процессы подчиняются одной из двух динамических закономерностей: непрерывному детерминированному изменению, описываемому волновым уравнением (уравнением Шрёдингера или его релятивистским аналогом — уравнением Дирака), и дискретному вероятностному изменению состояния, связанному с редукцией волновой функции. Сам Шрёдингер будет продолжать отстаивать первую закономерность, горячо протестуя против последней.

Хотя Бор во многом был союзником Гейзенберга в битве за интерпретацию квантовой механики, поначалу он разошелся с ним во мнении относительно принципа неопределенности. Бор не считал полезным ограничивание квантовой философии рамками погрешности измерений; скорее, думал он, необходим более глубокий анализ. Бор отстаивал способ объединения всех различных аспектов квантовой теории в своего рода подходе «инь-ян», названном им *принципом дополнительности*, который предполагает, что электроны и другие субатомные объекты обладают и корпускулярными, и волновыми свойствами, каждое из которых проявляется в различных типах измерений.

Боровский принцип дополнительности принимает во внимание план эксперимента наблюдателя. Если исследователь изучает волновые свойства частиц, к примеру интерференционные картины, он будет четко видеть именно такие черно-белые полосы. С другой стороны, если он будет изучать корпускулярные свойства частиц, к примеру измерять их координаты, то эти свойства обязательно проявятся в виде чего-то наподобие точки на экране. Бор пришел к убеждению, что такие противоречия — фундаментальная составляющая природы.

Однако вскоре Бор и Гейзенберг договорились представить единую точку зрения на проблему квантовых измерений с принципами дополнительности и неопределенности как альтернативными взглядами на одно и то же. Их объединенные представления, включая идею редукции волновой функции, вызванные наблюдением, в конечном счете стали известны как *копенгагенская интерпретация квантовой механики*.

Объединенная позиция Бора и Гейзенберга была испытана на прочность на V Сольвеевском конгрессе «Электроны и фотоны», состоявшемся в Брюсселе в октябре 1927 года, когда Эйнштейн резко раскритиковал Бора и его сторонников. Эренфест, который дружил с Бором и Эйнштейном, упрекнул отца теории относительности в консерватизме и неготовности принять новые идеи очередной революции в физике. Он обвинил Эйнштейна в том, что тот противостоит квантовой механике так же, как традиционно настроенные критики атаковали его теорию относительности. Однако Эйнштейн не уступил.

Дебаты о квантовой философии между Эйнштейном и Бором были на этой конференции в значительной степени неформальными и происходили во время завтраков, а не на заседаниях. Каждое утро Эйнштейн подавал к столу гипотетическую ситуацию, в которой квантовой неопределенности можно было бы избежать. Бор обдумывал ее некоторое время, придумывал тщательное опровержение и объяснял его Эйнштейну. На следующий день ситуация повторялась. В конце концов Бору удалось успешно защитить квантовую теорию от всех возражений Эйнштейна.

Эйнштейн вернулся в Берлин гораздо более одинокой в научном сообществе фигурой. Его мировая известность продолжала расти, но репутация среди молодого поколения физиков начала ухудшаться. Они даже стали высмеивать его возражения против квантовой механики. На фоне продолжающих поступать экспериментальных данных, подтверждающих квантовую картину, отстаиваемую Бором, Гейзенбергом, Борном, Дираком и другими физиками, несогласие Эйнштейна с их точкой зрения казалось непринципиальным и нелогичным.

Шрёдингер был одним из немногих, кто симпатизировал сомнениям Эйнштейна. Они продолжали беседовать о способах

расширения квантовой механики. Эйнштейн пожаловался ему на догматизм большинства ученых квантового сообщества. Например, так писал он Шрёдингеру в мае 1928 года: «Успокаивающая философия Гейзенберга — Борна — или религия? — настолько нарочито надуманна, что, до поры до времени, она создает истинно верующему мягкую подушку, от которой ему не очень-то легко отказаться. Так пусть и лежат там. Но эта религия имеет... чертовски слабое влияние на меня»^{69}.

В своем уединении Эйнштейн пытался создать общую теорию поля, которая бы заменила квантовую механику. Учитывая успех квантово-механических уравнений, эти попытки Эйнштейна мало интересовали ведущих физиков. Статьи Эйнштейна вскоре стали более популярны в прессе, чем в физическом сообществе.

Оглядываясь назад, можно сказать, что работы Эйнштейна, написанные после Сольвеевского конгресса, оказали мало влияния на науку. Они представляли собой в основном математические упражнения в изучении различных возможностей объединения взаимодействий. Отмечая, что после 1925 года Эйнштейн не создал ни одной серьезной теории, Пайс язвительно писал: «В оставшиеся 30 лет жизни... его слава не уменьшилась бы или даже стала больше, если бы вместо этого он занялся рыбалкой»^{70}.

Хотя все физическое сообщество переселилось в королевство вероятностной квантовой реальности, оставив Эйнштейна одиноким обитателем изолированного замка детерминизма, пресса по-прежнему купала его в лучах славы. Он был лохматым гением, знаменитым ученым, выдающимся специалистом, который предсказал искривление света звезд. Он был кем-то вроде церемониального монарха, который уже давно никак не влиял на ход событий. Газетчики гораздо больше интересовались Эйнштейном, чем менее известными учеными, которые на самом деле меняли науку. Каждое из его заявлений по-прежнему широко освещалось в прессе, хотя в значительной степени игнорировалось коллегами.

Ожидание того, что у Эйнштейна все еще остались джокеры в рукаве, сохранялось до конца его жизни. Его теории объединения, созданные в Берлине в конце 1920-х годов, помогли удержать на нем внимание общественности. Отвергнутый большинством ученых

физического сообщества, которые все чаще рассматривали его как реликвию, он оставался любимцем журналистов.

Глава 4

В ПОИСКАХ УНИФИКАЦИИ

Этот Эйнштейн утешал нас тем, что всегда знал, что мы много не знаем. Он доказал нам, что парни, которые считали себя умниками, на самом деле так же глупы, как и все мы... Я думаю, что этот голландец [sic] тихонько посмеивается над всем миром.

Уилл Роджерс. «Взгляд Уилла Роджерса на теорию Эйнштейна»

В Берлине Эйнштейн пребывал в атмосфере постоянной активной деятельности. Мало того что Берлин был крупным научно-техническим центром, город также стал прибежищем для многих деятелей искусства. Унтер-ден-Линден — главный проспект в центре Берлина — в конце 1920-х годов представлял собой один из наиболее концентрированных культурных центров мира. На улице, растянувшейся от знаменитых Бранденбургских ворот до Берлинского кафедрального собора, Городского дворца и Музейного острова, расположились государственная библиотека, государственная опера и главное здание Берлинского университета.

Хотя инфляция серьезно сказалась на экономике Германии, Берлин блистал великолепием. Город гордился тем, что является самым большим по площади в мире. Строились новые районы с универмагами, ресторанами, джаз-клубами и другими общественными заведениями. Большой популярностью пользовались оперетты. Бертольд Брехт и Курт Вайль искусно смешали оперу с языком улиц и джазовыми мотивами в своем шедевре под названием «Трехгрошовая опера», премьера которой состоялась в Театре на Шиффбауэрдамм в августе 1928 года.

В конце 1927 года Планк покинул Берлинский университет и вышел на пенсию. При содействии Эйнштейна Шрёдингер был приглашен на престижную профессорскую должность. Хотя пребывание в Цюрихе давало много преимуществ, в особенности Шрёдингера прельщала близость к Альпам, он был счастлив получить предложение из Берлина. Эрвин и Энни с радостью переехали в шумную столицу, возвратившись на немецкую землю.

Энни вспоминала то волнующее время: «Берлин был самым замечательным и абсолютно уникальным местом для всех ученых. Они все это знали и очень ценили... Театр и музыка были на высоте, не отставала и наука со всеми научными институтами, а также промышленность. И самый знаменитый коллоквиум... Моему мужу на самом деле все это очень нравилось»^{71}.

Живя в столице Германии, Шрёдингер не только стал центральной фигурой в научном сообществе и получил легкий доступ к лекциям и научным дискуссиям, но он также начал приобретать международную известность. Это была всего лишь толика того колоссального внимания, которое уже получил Эйнштейн, но она все же дала ему почувствовать вкус славы.

Например, в июле 1928 года журнал *Scientific American* опубликовал статью, в которой взгляды Шрёдингера были представлены как каноническая замена боровской модели^{72}. *New York Times* также не обошла вниманием эту новость и проинформировала своих читателей о новой теории Шрёдингера. Сообщалось, что работы Бора устарели так же, как и юбки длиной по щиколотку, и подкованные читатели должны ознакомиться с новой волновой теорией атома, предложенной Шрёдингером.^{73}

Пока Шрёдингер купался в лучах славы, Эйнштейн чувствовал, что тяготится ею, за исключением тех случаев, когда она оказывалась полезной для его благотворительных целей или приносила ему дополнительный доход от популярных книг и статей, которые он часто публиковал. Хотя Эйнштейн и считал, что общественность необходимо информировать о научных успехах, все же он сомневался, что большинство людей сможет понять его теории. Наиболее резко он выразил эту мысль сразу после своего визита 1921 года в США, когда обвинил американцев в неотесанности. Его странные выводы о том, почему они так заинтересованы в его работах, породили следующий заголовок в *New York Times*: «Эйнштейн заявляет, что здесь правят женщины. Ученый считает американских мужчин игрушечными собачками в руках противоположного пола. Люди здесь колоссально скучны».

Газета цитировала Эйнштейна, который выразился в том смысле, что американские женщины «делают все, что модно и популярно, и

сейчас совершенно случайно они обратили внимание на персону Эйнштейна... [Эта] тайна непонятного — вот что создает волшебные чары, под которые они попадают». Американские мужчины, с другой стороны, «абсолютно ничем не интересуются»^{74}.

Эльзе, напротив, нравилась публичность. И она видела одной из своих ролей создание и продвижение имиджа Эйнштейна. Тем не менее, как она поняла на одной неприятной встрече 31 января 1925 года, общественные деятели часто привлекают к себе внимание сумасшедших. В тот день русская вдова Мари Диксон пробралась в их дом. Размахивая оружием (по одним сведениям, заряженным револьвером, по другим — шляпной булавкой), она пригрозила Эльзе и потребовала встречи с профессором. По сообщениям прессы, Диксон полагала, что Эйнштейн был царским агентом. Ранее она уже угрожала советскому послу во Франции, за что отсидела три недели в тюрьме, а затем была депортирована. После чего она направилась прямиком в Берлин, к Эйнштейну^{75}.

Зная, что муж работает в своем кабинете, Эльза пошла на хитрость. Она сказала, что мужа нет дома, и предложила позвонить, когда он появится. Диксон успокоилась и сказала, что зайдет позже. Как только она вышла, Эльза позвонила в полицию. Когда Диксон вернулась, ее уже ждали пять полицейских. После ожесточенной борьбы они арестовали ее и отправили в психиатрическую лечебницу. Все это время Эйнштейн, погруженный в свои теории, спокойно работал у себя в кабинете, даже не подозревая, что Эльза спасла ему жизнь^{76}.

Хотя Эйнштейн, возможно, и был в долгу перед своей женой, они часто ссорились. Эльзу выводило из себя отсутствие какого-либо интереса у Альберта к собственному внешнему виду. Он просто ненавидел стричься, и Эльзе приходилось постоянно уговаривать его посидеть спокойно, пока работал парикмахер. Кроме того, Эйнштейн постоянно отказывался носить носки. Учитывая их высокий статус, Эльза хотела, чтобы он хорошо выглядел на фотографиях журналистов, но он вообще не заботился об этом. Поддержание определенного публичного имиджа просто было для него дополнительным грузом, и он предпочитал проводить время наедине со своими проектами. В свою очередь, Эйнштейн часто выражал свое недовольство «глупостью» дорогих нарядов Эльзы^{77}.

К тому времени как Шрёдингеры переехали в Берлин, стресс вкупе с отсутствием физических нагрузок и чрезмерным увлечением трубкой начали негативно сказываться на состоянии здоровья Эйнштейна. В марте 1928 года во время посещения Швейцарии он даже потерял сознание. Ему был поставлен диагноз — увеличение сердца. После возвращения в Берлин Эйнштейну предписали постельный режим и строгую бессолевую диету. Он потерял трудоспособность на многие месяцы и использовал их как отличную возможность поработать над новой единой теорией поля. В мае того года Эйнштейн эмоционально написал своему другу: «В тиши болезни у меня родилась идея, связанная с общей теорией относительности. И только богу известно, будет ли она жизнеспособной и долгоживущей. Я до сих пор благословляю свою болезнь, которая одарила меня таким прекрасным подарком»^[78].

Секреты «Старика»

Юбилей Эйнштейна в 1929 году отмечался как публично, так и приватно. Публичные чествования примерно совпали по времени с объявлением о его первой широко известной попытке создания единой теории поля, которую он разработал во время болезни. Ранее он уже публиковал варианты теорий объединения, но без шумихи. Пятидесятилетний юбилей, новаторский подход и сама персона Эйнштейна — все это обеспечило его новой работе достаточно широкое освещение в прессе.

Различные варианты теории объединения, созданные в 1920-х годах другими учеными, только раздразнили аппетит Эйнштейна. Он стремился к разгадке секретной формулы «Старика», которая бы описала взаимосвязь всех сил природы. Казалось, что гравитация и электромагнетизм имеют слишком много сходств, чтобы быть независимыми. Сила обоих взаимодействий уменьшалась обратно пропорционально квадрату расстояния между телами. Однако ограниченность общей теории относительности состояла в том, что она описывала лишь одну из сил — гравитацию. Необходимо было добавить новые члены в геометрическую часть уравнений, чтобы стало возможным описать вторую силу — электромагнетизм. Однако

введение дополнительных членов в уравнения и без того успешной теории не тот шаг, к которому можно отнестись несерьезно. Для этого требуется четкое обоснование, если не апеллирующее к физическим законам, то данное посредством математических рассуждений.

Эйнштейн пробовал работать с вариациями идей Калуцы, Вейля и Эддингтона, но результаты его не удовлетворили. Как он ни старался, ему не удалось найти физически реалистичных решений, соответствующих элементарным частицам. Он даже опубликовал статью, в которой описывал модель, очень похожую на пятимерную теорию Клейна, только для того, чтобы в итоге понять, что Клейн уже обошел его. Паули рассказал Эйнштейну об этом сходстве, и Эйнштейну пришлось добавить в конец статьи неловкое замечание о том, что результаты его работы идентичны модели Клейна.

Затем, начиная с середины 1928 года и далее в течение нескольких лет, он посвящает себя идее, называемой *телепараллелизмом*. Его новый подход позволял соединять риманову геометрию с евклидовой, что делало возможным определение параллельности линий, проходящих через две различные точки в пространстве. Взяв за основу искривленное, неевклидово пространственно-временное многообразие общей теории относительности, он сопоставил с каждой его точкой внешнее евклидово пространство, так называемую тетраду^[11]. Поскольку на тетраде можно задать декартову систему координат, Эйнштейн заметил, что с помощью этих структур очень просто определить, будут линии параллельны или нет. Такое сравнение отдаленных параллельных линий несет дополнительную информацию, которой нет в стандартной формулировке общей теории относительности, позволяя дать геометрическое описание электромагнетизма наряду с гравитацией.

В стандартной формулировке общей теории относительности из-за кривизны пространства-времени ориентация системы координат в различных точках различается — координатные оси в разных точках наклонены по-разному. Это похоже на то, как выглядит Земля из космоса. Вы же не ждете, что космическая ракета, взлетающая вертикально вверх в Австралии, будет двигаться в том же направлении, что и ракета, запущенная в Швеции. Аналогично, координатные оси в одной области пространства-времени будут иметь направление, отличное от направления координатных осей в другой области. Таким

образом, в стандартной общей теории относительности невозможно определить, являются ли две линии параллельными или нет. Вы можете определить только расстояния между линиями, но не их взаимное расположение.

Телепараллелизм, с его дополнительной «коробчатой» структурой, позволяет указать относительное направление двух любых прямых линий и расстояние между ними. Он добавляет во Вселенную навигационную систему, дополняющую базовый комплект дорожных карт, поставляемый вместе со стандартной общей теорией относительности. По этой причине Эйнштейн счел свою новую теорию более всеобъемлющей.

В каждой очередной попытке создания единой теории поля Эйнштейн прежде всего стремился воспроизвести уравнения Максвелла геометрическим способом, объединив их под одной крышей с общей теорией относительности. Он был рад, что смог достичь этого при помощи телепараллелизма, по крайней мере, для случая пустого пространства. Однако Эйнштейн не сделал никаких новых экспериментально проверяемых предсказаний, как это было ранее для общей теории относительности.

Он также не добился другой своей цели — воспроизвести квантовые правила. Начиная с конца 1920-х годов, при каждой попытке объединения Эйнштейн надеялся, что уравнения его новой теории будут переопределены, то есть количество уравнений будет больше, чем количество независимых переменных. Такая избыточность, как он надеялся, приведет к решениям, описывающим дискретное поведение, к чему-то наподобие квантовых уровней.

Примером переопределения может служить запись уравнения движения бейсбольного мяча с добавлением дополнительного условия, что высота его полета должна иметь определенное значение. Без этого условия мяч будет двигаться, описывая в воздухе кривую линию, а введение дополнительного условия ограничит его положение только двумя возможными дискретными значениями. Мяч достигнет этой высоты один раз на пути вверх и один раз — на пути вниз. Таким образом, непрерывные уравнения, в тандеме друг с другом, будут задавать дискретные значения. Аналогично, как надеялся Эйнштейн, переопределенные единые теории поля заставят электроны двигаться по особым орбитам, схожим с собственными состояниями модели

Бора — Зоммерфельда и найденным с помощью уравнения Шрёдингера. Однако у него это не получилось.

В общем, как ни старался Эйнштейн, ему не удалось воспроизвести с помощью телепараллелизма ни классическое, ни квантовое поведение частиц. Поэтому его идея оказалась скорее математическим упражнением, чем строгой физической теорией.

Даже математический аппарат его теории не был оригинален. Как Эйнштейн с опозданием узнал, французский математик Эли Картан и австрийский математик Роланд Вайценбёк уже опубликовали работы по этой теме. Картан напомнил Эйнштейну, что они однажды уже обсуждали идею телепараллелизма на семинаре в 1922 году — на встрече, о которой Эйнштейн, видимо, забыл. В конечном итоге Эйнштейн отдал должное Картану за работу над математическим аппаратом, лежащим в основе его теории.

Как оказалось, относительно легко подправить общую теорию относительности и включить в нее версию уравнений Максвелла, модифицировав правила определения длин, направлений, размерностей и других параметров. Эйнштейн думал, что телепараллелизм является одной из рационально обоснованных модификаций такого типа. Его главными критериями были простота, логичность и математическая стройность. Однако, как указал Паули и другие ученые, отказ от таких успешных предсказаний общей теории относительности, как искривление света звезд вблизи Солнца, был слишком радикальным шагом, на который не следовало идти сгоряча. Коллеги сильно удивились растущему интересу Эйнштейна к абстрактным представлениям и его нежеланию согласовывать теорию с экспериментальными данными.

На седьмом небе от счастья

В январе 1929 года Эйнштейн подготовил к публикации короткую статью с описанием новой схемы унификации. Несмотря на отсутствие экспериментальных подтверждений, он сделал короткое заявление для прессы, отметив ее научную ценность и подчеркнув ее превосходство над стандартной формулировкой общей теории относительности^{79}. Как только международная пресса узнала о планирующейся

публикации, более ста журналистов осадили Эйнштейна с требованием дать интервью, в котором тот рассказал бы о новой идее просто и внятно. Не понимая, насколько абстрактна и далека от физики статья, они ожидали прорыва такого же масштаба, какой совершила теория относительности. Сначала Эйнштейн отказался от дальнейших комментариев, скрывшись от репортеров^{80}. Но в конце концов дал достаточно популярное и подробное объяснение, которое появилось в лондонской *Times*, *New York Times*, *Nature* и других изданиях. Журнал *Nature* процитировал фрагмент его заявления: «Только сейчас мы узнали, что сила, которая заставляет электроны двигаться по их эллиптическим орбитам вокруг ядер атомов, — это та же сила, которая удерживает нашу Землю в ее длящемся год путешествии вокруг Солнца, и эта же сила является источником света и тепла, которые делают возможной жизнь на этой планете»^{81}.

Провозглашение новой теории вызвало лавину публикаций, сопоставимую, пожалуй, только с сообщением о солнечном затмении 1919 года. Учитывая малопонятный, гипотетический характер статьи и отсутствие экспериментальных подтверждений, внимание прессы, которое она привлекла, было ошеломляющим. В одной только *New York Times* была опубликована почти дюжина статей об этой теории.

Ученых из разных стран просили прокомментировать и интерпретировать результаты Эйнштейна. Несмотря на отсутствие экспериментальных доказательств, ажиотаж вокруг теории нарастал. Среди тех, кто отреагировал чересчур поспешно, был профессор Г. Шелдон, декан физического факультета Нью-Йоркского университета, который сделал фантастическое предположение, что «эта теория сделает возможным такие вещи, как полеты аэропланов без двигателей или какой-либо поддержки, или выход из окна по воздуху без страха падения, или путешествия на Луну...»^{82}.

Казалось, что теория резонирует со всей культурой. Ряд священнослужителей даже нашли в ней богословский смысл. Один пастор пресвитерианской церкви в Нью-Йорке, преподобный Генри Говард, сравнил теорию с проповедью св. Павла о единстве природы^{83}. Одни сатирики и юмористы, например Уилл Роджерс, высмеивали ее непостижимость^{84}. Другие шутили, что теория может быть использована для проверки мячей для гольфа^{85}.

До Эйнштейна такое огромное внимание прессы к статье, посвященной теоретической физике, было просто немыслимым. Эйнштейн сделал даже самую абстрактную, оторванную от реальной жизни теорию модной, таинственной и значительной. Тот факт, что его гипотеза состояла из выхолощенного набора математических уравнений, не имеющих жизненно важных экспериментальных подтверждений, совсем не смущал журналистов. Математические выкладки, тщательно выведенные рукой Эйнштейна, предоставляли прессе все жизненно необходимые доказательства.

Эйнштейн чувствовал себя в статусе знаменитости очень неловко. Конечно, он хотел, чтобы внимание было направлено на теорию и ее следствия, а не на него лично. Излишне говорить, что пресса сосредоточилась на самом физике, который пытался от нее спрятаться, часто безуспешно.

Общественная шумиха нарастала, а реакция сообщества физиков-теоретиков была практически пулевая. К тому времени, во многом благодаря квантовой революции, идеи Эйнштейна стремительно теряли актуальность в физическом сообществе. Среди наиболее активных квантовых теоретиков младшего поколения только Паули сохранял интерес к его работам. Хотя самого Эйнштейна лично уважали, его скоропалительные заявления о создании непроверенных теорий объединения стали расценивать как шутку. Например, молодые физики в Копенгагене спародировали его идеи в юмористической постановке «Фауста», в которой король (Эйнштейн) носился со своей блохой (единой теорией поля).

Однако Паули был не из тех, кому легко угодить. Верный своей репутации человека, любящего прямоту, однажды он вылил на Эйнштейна ушат ледяной воды. Комментируя статью, опубликованную на тему телепараллелизма, он написал в письме к редактору: «Это действительно смелый поступок редакторов принять в журнал *Results in the Exact Sciences* статью Эйнштейна о его новой теории поля. Его нескончаемый изобретательский талант, его настойчивость в погоне за одной и той же целью в последнее время удивляет нас, в среднем, одной такой теорией в год. С точки зрения психологии интересно, что автор обычно считает каждую свою новую теорию “окончательным решением”. Так что... можно объявлять во всеуслышание: “Новая

теория поля Эйнштейна мертва. Да здравствует новая теория поля Эйнштейна!”»^[86].

В частном порядке Паули сообщил Паскуалю Йордану, что только американские журналисты могли быть настолько доверчивы, чтобы принять теорию телепараллелизма Эйнштейна; даже американские физики, не говоря уже о европейских исследователях, не так наивны. И Паули заключил пари с Эйнштейном, что тот пойдет на попятную в течение года.

Журналисты ярко осветили новую теорию Эйнштейна, но обошли вниманием важнейшую работу Вейля, в которой показывалось, как применить его старую идею калибровки к волновым функциям электронов и естественным образом объяснить электромагнитное взаимодействие. Его идея состояла в том, что включение дополнительного калибровочного фактора наряду с математическим описанием электрона требует добавления нового *калибровочного поля*, которое можно отождествить с электромагнитным полем. Таким образом, мы получаем калибровочную теорию электромагнетизма. Представьте себе калибровочный фактор как своего рода ветряную мельницу, которая может вращаться в любом направлении. Чтобы она вращалась в определенном направлении, нужен «ветер», создаваемый электромагнитным полем. Несмотря на великолепие квантовой калибровочной теории электромагнетизма, предложенной Вейлем, пройдет еще два десятилетия, прежде чем физическое сообщество начнет ее использовать. Паули, будучи очень проницательным, оказался одним из первых, кто признал важность этого открытия.

Благословение раввина Лука на создание единых теорий

После того как Эйнштейн представил общественности свою теорию объединения, он сразу ограничил контакты с постоянно растущим потоком папарацци. Его день рождения был не за горами, и он отчаянно пытался скрыться от репортеров. К большому разочарованию прессы, 12 марта, за два дня до своего пятидесятилетия, Эйнштейн решил улизнуть от официальных торжеств и спрятаться в уединенном месте. «Даже самые близкие

друзья не знают о его местонахождении», — сообщила *New York Times*, отмечая, что вопросы о единой теории поля просто «свели его с ума»^{87}.

Каким-то образом один репортер, чье имя история не сохранила, все-таки отыскал убежище Эйнштейна и написал в газету отчет о празднике. Сообразительный журналист установил, что богатый друг Эйнштейна Франц Лемм, известный как «обувной король Берлина», по такому случаю одолжил ему свою виллу в лесном районе Гатова. Вдали от ослепительного блеска центра Берлина Эйнштейн спокойно отметил день рождения в кругу семьи.

Когда журналист вошел, Эйнштейн сосредоточенно всматривался в подаренный ему микроскоп, разглядывая каплю крови, выжатую из собственного пальца. Небрежно одетый в растянутый свитер, домашние брюки и тапочки, иногда останавливаясь, чтобы попынтеть трубкой, он был воплощением детской непосредственности. Возможно, он вспоминал компас, подаренный ему в детстве. Среди других подарков были шелковый халат, трубки, табак и модель яхты, которую друзья собирались построить для него.

Пожалуй, самым необычным подарком была кукла, сделанная его падчерицей Марго. Она изображала раввина, держащего в каждой руке по луковице. Скульптура была страстью Марго, в особенности она любила вырезать образы священнослужителей. Создание фигурок для своего любимого отчима было для нее в радость. Гордая своей работой, она продекламировала стихотворение «Раввин Лук»^{88}.

«Раввин Лук, — объяснила Марго, — это выдающийся целитель. Лук, согласно традиционным еврейским поверьям, полезен для сердца». Годом ранее Эйнштейн прибегал к этому способу, восстанавливаясь после болезни. Фигурка изображала таинственного мудреца с волшебными луковицами, благословляющего Эйнштейна на долгую, здоровую жизнь и на создание еще большего количества единых теорий поля. Он поморщился при мысли, что ему придется штамповать все новые и новые теории объединения. Но это пророчество оказалось точным.

Когда Эйнштейн вернулся домой в Берлин, он обнаружил, что его ожидает целая гора подарков. Самым главным среди них было щедрое предложение от городских властей Берлина принять дом и землю недалеко от реки Хафель и системы озер, чтобы Эйнштейн мог

наслаждаться безмятежным пейзажем и заниматься парусным спортом. Город предложил ему в бесплатное пользование особняк в обширном поместье Ной-Кладов, приобретенном недавно муниципалитетом у одного состоятельного аристократа. Однако когда Эльза приехала осмотреть резиденцию, бывший хозяин сообщил ей, что договор купли-продажи включает его право оставаться там на неопределенный срок. Не стесняясь в выражениях, он попросил ее отказаться от права собственности.

Краснея от стыда из-за неудачного подарка, городские власти попытались найти другое решение. После нескольких месяцев судебных тяжб о правах на собственность Эйнштейн взял дело в свои руки и купил собственную недвижимость в Капуте, вблизи Потсдама, прямо на пересечении двух озер: Швилов и Темплин. Он нанял молодого амбициозного архитектора, Конрада Ваксмана, чтобы тот спроектировал и построил комфортный деревянный дом в нескольких минутах ходьбы от леса и озер. Пока шло строительство, прибыл его долгожданный парусник, который он назвал «Дельфин» (Tiimmler). Когда дом был закончен и семья переехала в него, Эйнштейн чувствовал себя как в раю.

На берегу Швиловзее

Капут был идеальным местом для Эйнштейна: здесь он мог много гулять пешком и заниматься парусным спортом. Это позволило ему погрузиться в свои мысли и забыть о растущем спросе на его личное время. В своем уединении он был небрежен, насколько это было возможно: часто ходил босиком и в пижаме или без рубашки и никогда не одевался официально. Он намеренно не подключал телефон, так что те, кто его посещал, часто приезжали без предупреждения. Однажды, когда группа высокопоставленных лиц была у них в гостях, Эльза умоляла Альберта одеться прилично. Он отказался, заявив, что если они пришли увидеться с *ним*, то он сейчас к ним выйдет, а если они пришли, чтобы посмотреть на его одежду, то их следует проводить в гардеробную.

Одним из частых гостей в доме Эйнштейна, никогда не возражавшим против неформальной обстановки, был Шрёдингер,

который точно также ненавидел официоз. В то время как профессора в немецких университетах той эпохи носили костюмы и галстуки, Шрёдингер почти всегда ходил в свитере. В жаркие летние дни он преподавал студентам, одетый только в брюки и рубашку с короткими рукавами. Однажды привратник не разрешил ему даже пройти в ворота университета, потому что он выглядел неопрятно. Одному студенту пришлось выручать Шрёдингера и убеждать привратника в том, что перед ним действительно профессор^{89}. Во время другого инцидента, по воспоминаниям Дирака, персонал отеля отказывался предоставить Шрёдингеру номер для проживания на Сольвеевском конгрессе, потому что тот выглядел как турист^{90}.

В июле 1929 года Прусская академия наук приняла Шрёдингера в свои ряды. Поскольку церемония была очень официальной, Шрёдингер оделся подобающим образом. Он прочитал речь о случайности в физике, заняв взвешенную позицию, не одобряя, но и не критикуя взгляды Гейзенберга и Борна. Он научился очень осторожно рассуждать на эту щекотливую тему. Таким образом, Шрёдингер призывал представителей обоих лагерей (и детерминистов, и сторонников индетерминизма) использовать его уравнение так, как они сами пожелают.

В общем, Шрёдингер был рад стать членом такой престижной организации, как Прусская академия наук. Тем не менее он поделился с Эйнштейном своим ощущением, что Академия — это весьма скучное место. Они оба предпочитали пешие прогулки и парусный спорт формальным встречам и заседаниям. Поэтому именно на лесных тропах и водных путях Капута они по-настоящему сблизились.

В своих прогулках по лесу и поездках на озера Эйнштейн и Шрёдингер пришли к пониманию общности их интересов. Пожалуй, только отсутствие у Шрёдингера интереса к музыке мешало им стать еще ближе друг другу, ведь Эйнштейну очень нравилось музицировать со своими ближайшими друзьями. В тот период их жизни они разделяли глубокое увлечение философскими основаниями физики. Каждый из них был более склонен рассуждать о том, насколько взгляды Спинозы или Шопенгауэра применимы к современной науке, чем о современных экспериментальных данных.

Тем не менее Эйнштейн был гораздо тверже в своей оппозиции к господствующей интерпретации квантовой механики. А вот

отношение Шрёдингера было настолько переменчивым, что в своей речи в музее Мюнхена в мае 1930 года он практически принял интерпретацию Гейзенберга — Борна волнового уравнения, хотя и отказался от этого мнения несколько лет спустя.

Свою жесткую позицию Эйнштейн выразил в марте 1931 года в интервью, в котором опять подчеркнул, что убежден в фундаментальном значении причинности и находится в оппозиции к неопределенности. «Я очень хорошо понимаю, — сказал он с усмешкой, — что мои представления о причинности как части природы вещей могут быть расценены как признак старческого маразма. Однако я убежден, что понятие причинности является инстинктивно необходимым в вопросах, касающихся естественных наук... Я считаю, что теория Шрёдингера — Гейзенберга — это большой прогресс, и я убежден, что эта формулировка квантовых отношений ближе к истине, чем все предыдущие попытки. Я чувствую, однако, что статистический характер этой теории со временем исчезнет, поскольку это приводит к неестественному описанию природы»^[91].

Столкновению взглядов двух друзей на вопросы причины и следствия был посвящен новостной сюжет в ноябрьском номере *Christian Science Monitor* 1931 года^[92]. В статье, вероятно, впервые упоминались точки зрения обоих физиков. В сюжете непоколебимая уверенность Эйнштейна в том, что закон причинности все еще применим, сравнивалась с убеждением Шрёдингера, что физикам нужно стать более открытыми к различным альтернативам, таким как перспектива акаузальности (отсутствия причинности). «Меняющиеся взгляды, — утверждал Шрёдингер, — могут преобразить наши подходы к описанию поведения природы, в том числе, возможно, придется признать закон причинности устаревшим».

Мы видим, что хотя оба ученых проявляли интерес к философии, Эйнштейн склонялся к более жесткой позиции Спинозы, согласно которой все мировые законы установлены с самого начала и могут быть выведены логически. Шрёдингер же придерживался более свободных взглядов, сформированных под влиянием восточных учений о пелене иллюзий, в которых истина представлена в постоянно изменяющейся точке зрения общества. То, что считается истинным сегодня, утверждал Шрёдингер, завтра может стать заблуждением.

Поэтому не исключено, что мы, может быть, так никогда и не отыщем истину в последней инстанции.

Помимо интереса к философии и ее связи с наукой, двух физиков объединяли более приземленные проблемы. Ни тот ни другой не был счастлив в браке; у каждого был роман на стороне. Считая, что Эльза пытается его постоянно контролировать, Альберт искал способы этого избежать. Она огорчалась, когда он посещал концерты и театральные представления с Тони Мендель, сногшибательной богатой вдовой, приезжавшей за ним на лимузине с водителем. Он также регулярно встречался с белокурой австрийской красоткой Маргарет Лебах, которую Эльза терпеть не могла^[93].

Между Эрвином и Энни была очень крепкая дружба, но мало сексуальной страсти. Кроме того, они не могли иметь общих детей. Но они решили не разводиться, а сохранить свободный брак без обязательств. Им было слишком комфортно вместе, чтобы окончательно разбежаться.

В отличие от Эйнштейна, который жалел о проблемах в семейной жизни, Шрёдингер романтизировал свои многочисленные связи и вел дневник любовных подвигов. Некоторые из его романов длились многие годы. Однажды он влюбился в Ити Юнгер, молодую женщину, которую он учил математике. Их связь окончилась незапланированной беременностью. Хотя Шрёдингер очень хотел ребенка, он бы не оставил Энни. Против желания Эрвина Ити сделала аборт и ушла от него^[94]. Несмотря на то что этот роман слегка отрезвил Шрёдингера, он начал отношения с Хильде Марх, молодой женой знакомого физика из Инсбрука Артура Марха. Их страстные отношения в конечном итоге переросли во что-то наподобие второго брака.

Эйнштейн и Шрёдингер не осознавали, насколько хрупким и скоротечным окажется то время, которое они проводили вместе в Берлине и Капуте. Веселье, расслабленная атмосфера и открытость тех дней исчезнут без следа, как только нацисты подомнут под себя Веймарскую республику. Привыкшие к уютной праздной жизни, ученые будут вынуждены эмигрировать. Им больше никогда не придется вместе плавать под парусами по озерам Хафель.

Злые ветра и океанские бризы

Начало 1930-х годов в Германии было ознаменовано массовой безработицей и народными волнениями. Обвал американского фондового рынка в 1929 году вызвал цепную реакцию, которая привела к череде экономических кризисов во многих странах мира и затронула хрупкую послевоенную экономику Германии. Нацистское движение и другие ультраправые группы подняли волну национализма, чтобы использовать недовольство немцев условиями перемирия и призвать их к мести. Коммунисты и социалисты ответили требованиями отдать власть рабочим, чем напугали многих владельцев бизнеса и большую часть консерваторов, которые предпочли нацистов коммунизму как меньшее из зол. В Берлине сотни тысяч безработных от безысходности были готовы принять участие в политических движениях на обоих флангах политического фронта. Массовый митинг на Александерплац, одной из главных площадей Берлина, полиция разогнала, окружив демонстрантов танками. Правые и левые партии боролись за голоса избирателей, слабые коалиционные правительства создавались и распускались.

Хотя Эйнштейн и не был активным сторонником какой-либо партии, как правило, он поддерживал прогрессивное социалистическое движение и выступал за расширение прав трудящихся. Он причислял себя к интернационалистам, считая национализм опасным. Как пацифист, он поддерживал Лигу противников войны. Эйнштейн всегда прямо заявлял о своих взглядах и не побоялся открыто выступить против нацистов. Хотя поначалу он считал поддержку нацистов обычным заблуждением, вскоре он пришел к выводу — еще до того, как они захватили власть, — что нацисты представляют серьезную угрозу. Шрёдингер, напротив, вообще не интересовался политикой и, как правило, старался избегать дискуссий на политические темы. Он не принимал нацистское движение всерьез, пока не стало слишком поздно.

В период экономического кризиса оба физика были обеспокоены своим финансовым положением и искали возможности работы за рубежом, по крайней мере, временной. Эйнштейну первому представился шанс. Он был рад получить приглашение поработать в Калифорнийском технологическом институте (Пасадена, штат

Калифорния) зимой 1931 года и посетить обсерваторию Маунт-Вилсон, в которой Хаббл открыл расширение Вселенной. Жалованье в размере \$7000, которое обещали Эйнштейну всего за два месяца, было невероятно щедрым по тем временам — оно составляло примерно полный годовой заработок профессора.

К тому времени Эйнштейну помогали два оплачиваемых ассистента: Хелен Дукас, секретарь, и Вальтер Майер, его «калькулятор» — математический помощник. Дукас обрабатывала поток корреспонденции Эйнштейна и вела календарь его выступлений. Майер выполнял рутинные математические расчеты, необходимые Эйнштейну для его исследований, особенно в области единой теории поля. Эйнштейн начал понимать, что Паули был прав, и идея телепараллелизма является физически нежизнеспособной. Поэтому он начал искать другие пути построения единой теории.

Перед отъездом на Западное побережье США Эйнштейн опубликовал в *New York Times Magazine* статью, упомянутую в третьей главе, в которой он поясняет свои взгляды на науку и религию и отстаивает концепцию бога, предложенную Спинозой. Статья вызвала жаркие дискуссии и помогла обратить внимание общественности на предстоящий визит Эйнштейна.

Огромные толпы людей, подобные тем, что приходят встречать короля или королеву, приветствовали прибытие Эйнштейна и его свиты в порт Сан-Диего 30 декабря 1930 года. Вместе с ним с корабля «Belgenland» сошли его жена, Дукас и Майер. Эльза стала прекрасным переводчиком; ее английский был гораздо лучше, чем у Альберта. А Майер был под рукой всякий раз, когда у Эйнштейна выдавалась свободная минутка для расчетов.

Знаменитый экспериментатор Роберт Милликен, декан факультета физики Калифорнийского технологического института, предложил Эйнштейну постоянное место. Но, учитывая его привязанность к Берлину — и в частности, к образу жизни, который он вел в Капуте, — переговоры были преждевременными. Тем не менее Эйнштейну нравилась Южная Калифорния, особенно красивые сады Пасадены и ее мягкий климат. Одним из наиболее ярких моментов его пребывания была встреча с Хабблом и визит в обсерваторию Маунт-Вилсон. Альберт и Эльза также познакомились с несколькими звездами Голливуда, в частности с Чарли Чаплиной. Будучи большим

поклонником фильмов Чаплина, Эйнштейн удостоился чести быть его гостем на мировой премьере фильма «Огни большого города».

Следующей зимой Эйнштейна пригласили в Калифорнийский технологический институт (Калтех) еще на два месяца. Вопрос о постоянном контракте вновь стал актуальным. Учитывая все проблемы в Германии и пугающие перспективы политики нацистского правительства, Эйнштейн начал думать об эмиграции. Впрочем, к тому времени он получил и другие предложения, включая должность профессора в Оксфорде.

Обхаживая Эйнштейна, Милликен совершил одну роковую ошибку. Он познакомил Эйнштейна с Авраамом Флекснером, который приезжал в Калифорнийский технологический институт, чтобы обсудить создание Института перспективных исследований (IAS) в Принстоне, финансируемого состоятельными благотворителями, который должен был заниматься фундаментальными исследованиями. В итоге Флекснер предложил Эйнштейну должность, которая поначалу предполагала только неполный рабочий день. Он обещал Эйнштейну колоссальное жалованье в размере \$15 000 в год, что делало его одним из самых высокооплачиваемых профессоров физики в стране. Эйнштейн настаивал, в качестве дополнительного условия, чтобы вторую постоянную позицию предоставили Майеру для помощи в расчетах его единой теории поля. Флекснер был шокирован подобным требованием, но в конечном итоге уступил. Эйнштейн, в свою очередь, принял предложение о своем назначении в институт.

Примерно в тот же период Эйнштейн уделил время тому, чтобы выдвинуть Шрёдингера и Гейзенберга (именно в таком порядке) на Нобелевскую премию в области физики. Будучи лауреатом Нобелевской премии, Эйнштейн мог предлагать кандидатов для этой высокой награды. В его рейтинге Шрёдингер занял первое место, потому что, по его мнению, открытия Шрёдингера были более важны, чем результаты Гейзенберга. И тем не менее Эйнштейн проявил великодушие, номинировав Гейзенберга, учитывая противоборство их взглядов. Он понимал, что многие физики ставят их наравне как сооснователей квантовой механики. Поэтому он подумал, что логично будет включить в список обоих, но при этом учел личные предпочтения.

В декабре 1932 года Эйнштейны и их спутники отплыли в Южную Калифорнию для своего третьего и последнего визита в Калифорнийский технологический институт. Визит был горько-сладким, отчасти потому, что Милликен был раздосадован новым назначением Эйнштейна, и отчасти из-за понимания того, что Адольф Гитлер, который тогда был вице-канцлером в коалиции консервативной партии и нацистов, уже практически возглавил Германию. Когда они выходили из дверей их дома в Капуте, Альберт сказал Эльзе, что она видит этот дом в последний раз. Тем не менее он, должно быть, надеялся, что они все-таки смогут вернуться (судя по тому, что он писал берлинским коллегам о своих планах на будущий год).

По иронии судьбы, Милликен ранее получил от Эйнштейна согласие вскоре после прибытия выступить с речью, восхваляющей германо-американские отношения. Цель была в том, чтобы расположить к себе спонсоров. Не желая разочаровывать хозяев, Эйнштейн выступил с речью, которую он прочитал на английском языке (перевод его собственного текста). Он использовал эту возможность, чтобы поддержать идеи толерантности к оппозиционным политическим взглядам и религиозным убеждениям как в Соединенных Штатах, так и в Германии.

Упоминая США, Эйнштейн намекал на публичную жалобу реакционной группы под названием «Женская патриотическая корпорация» на то, что таким известным «революционерам», как Эйнштейн, разрешили въезд в страну. Хотя ничего из этого не вышло, ФБР завело на него досье, в которое десятилетиями собирало информацию о его патриотизме.

Словно в насмешку примерно неделю спустя после речи Эйнштейна о терпимости, 30 января 1933 года, президент Германии Пауль фон Гинденбург назначил Гитлера канцлером. Зная реальную расистскую и антисемитскую политику, за которой стояли сотни тысяч коричневорубашечников, вооруженных головорезов (также называемых СА или «штурмовиками»), захвативших бразды правления в свои руки, противники готовились к едкой полемике. Народ хотел знать, воплотит ли Гитлер свои слова ненависти в реальность или они останутся просто политическим приемом, призванным привлечь на свою сторону банды хулиганов?

Поджог Рейхстага

Немецкая политика в начале 1930-х годов была настолько переменчива, что многие аналитики считали, что канцлерство Гитлера будет очень коротким. Умеренные консерваторы спокойно ожидали, что он будет ориентироваться на поддержку рабочими коммунистов и станет двигаться по направлению к центру. Многие полагали, что на фоне улучшения экономической ситуации избиратели одумаются, выберут более здравомыслящих политиков и умерят свой экстремизм. После того как Гитлер приступил к исполнению своих обязанностей, даже Эйнштейн все еще питал некоторые надежды на возвращение в Берлин. А Шрёдингер, презиравший нацистов и их нетерпимость, поначалу вовсе не был обеспокоен сложившейся ситуацией.

Затем произошли события, которых ни один из ученых не ожидал. 27 февраля неизвестные подожгли Рейхстаг, здание парламента Германии. Хотя историки полагают, что преступниками, вероятнее всего, были члены СА, Гитлер сразу же заявил, что поджог Рейхстага совершили коммунисты. Парламент принял закон, который приостановил действие гражданского права и разрешил бессрочное задержание подозреваемых. Политиков-коммунистов и других представителей левых движений без промедления арестовали и в конечном итоге отправили в концентрационные лагеря. Новые выборы состоялись 5 марта. По их результатам нацисты составили крупнейшую парламентскую группу.

Ко времени поджога Рейхстага Эйнштейн пришел к выводу что он не сможет вернуться в Германию, пока нацисты будут у власти. Он написал Маргарет Лебах, что отменяет свой доклад, который должен был читать в Прусской академии наук, потому что боится возвращаться в страну. Из Пасадены он на поезде отправился в Нью-Йорк. В это время газеты сообщили о том, что нацисты обыскали его дом в Капуте. Это напугало Эйнштейна еще больше. На Манхэттене он выступил в нескольких организациях с осуждением действий нацистов, направленных на ограничение свобод граждан. Эти сообщения были подхвачены немецкой прессой, которая раскритиковала его за нелояльность режиму.

В Нью-Йорке Эйнштейн и его свита сели на борт «Belgenland» и отплыли обратно в Европу. Во время морского путешествия он

написал вежливое письмо в Прусскую академию наук, в котором поблагодарил за предыдущую поддержку и попросил отозвать свое членство, сославшись на политическую ситуацию. Затем, по прибытии в Антверпен, Эйнштейн передал свой немецкий паспорт в консульство Германии и оборвал все связи с этой страной. Второй раз в жизни (первый — еще в студенчестве в Швейцарии) он стал человеком без родины.

К счастью, у Эйнштейна было много друзей в Бельгии и соседней Голландии, которые предложили ему помощь. Королева Елизавета, родившаяся в Баварии и после свадьбы породнившаяся с бельгийской королевской семьей, была особенно благосклонна к Эйнштейну. Он открыл банковские счета в Лейдене и Нью-Йорке, что оказалось крайне важным после того, как нацисты конфисковали все деньги, которые он хранил на своих счетах в берлинских банках. Несмотря на отсутствие дома и гражданства, у него было безопасное будущее за рубежом.

Эйнштейну повезло вовремя уехать из Германии. Закон о чрезвычайных полномочиях, принятый 23 марта немецким парламентом, отменял все права на инакомыслие, фактически предоставив Гитлеру всю полноту власти. Вскоре нацисты распустили все местные законодательные органы, наступив на страну железной пятой. Последующие двенадцать лет диктатуры будут самыми бесчеловечными в мировой истории.

Эйнштейны искали место для временного проживания, пока не будет подготовлена должность в IAS. Они сняли небольшой домик в Ле-Кок-сюр-Мер, на берегу Северного моря. Домик на побережье хотя и не был так же комфортабелен, как их дом в Капуте, оказался уютным прибежищем на несколько месяцев, проведенных в Бельгии в ожидании возможности уехать в Америку.

Это был во многих отношениях грустный период для Эйнштейна. Примерно в то же время, когда он был вынужден покинуть родину, двоих его близких постигла трагическая судьба. Его сын Эдуард, по прозвищу Тете, который блестяще успевал в школе и хотел стать психиатром, заболел шизофренией и был помещен в психиатрическую клинику в Цюрихе. Переписываясь с ним ранее о психологии и трудах Зигмунда Фрейда, Эйнштейн надеялся, что он сможет сделать хорошую карьеру, и сильно переживал, когда она была так бесславно

прервана. Затем в сентябре 1933 года Пауль Эренфест, один из лучших друзей Эйнштейна, покончил жизнь самоубийством. Но перед тем как Эренфест покончил с собой, он застрелил своего собственного сына, Вассика, страдавшего синдромом Дауна, под бредовым предлогом избавить свою жену от трудностей по уходу за больным ребенком.

Холодный, унылый Атлантический океан вскоре разделит Эйнштейна от Европы и ее страданий. Он будет следить за ситуацией, наблюдать за тем, как жизнь его бывших соотечественников становится все хуже и хуже. Он никогда не забудет их ужасное положение, даже в своей вечной ссылке в Новом Свете. Хотя он уже никогда не вернется в Европу, его тоскующее сердце и горестные мысли навсегда останутся там.

Глава 5

ЖУТКИЕ СВЯЗИ И КОТЫ-ЗОМБИ

Бывают случаи, когда мы принимаем действительно непростые, серьезные, болезненные решения, тогда мы молимся Всевышнему и просим у него помощи. Но в этих случаях Он неумолим! Нам приходится принимать решения самим. Все, что *должно* произойти, обязательно произойдет, жизнь продолжается. У жизни не существует [волновой] функции.

Эрвин Шрёдингер. «Индетерминизм и свобода воли»

Шрёдингер был выдающимся человеком, но не особенно отважным. Он стремился к тому, чтобы им восхищались: его коллеги, общество, женщины, — и он часто именно так подбирал слова, чтобы скорее достичь этой цели. Он никогда не хотел, чтобы политика или религия становились между ним и другими, поэтому старался придерживаться как можно более нейтральной позиции по чувствительным вопросам. Хотя он и выражал свои философские взгляды в эссе, они формулировались в виде размышлений, а не незыблемых догм.

Тем не менее приход нацистов к власти и их преклонение перед мужским тевтонским доминированием настолько противоречили характеру Шрёдингера, что он не смог скрыть своих чувств. В отличие, например, от Гейзенберга, он презирал любые формы национализма. Ему нравились иностранные языки, религиозное разнообразие и экзотические культуры. Он не видел оснований для того, чтобы ставить германский народ и его традиции выше всех остальных.

Энни вспоминала, как однажды отвращение Эрвина к нацизму выплеснулось в стычке с разгневанными штурмовиками. Он хотел пройти по Вертгейму, одному из крупнейших универмагов Берлина, и узнал, что его бойкотируют из-за еврея-владельца. 31 марта 1933 года нацисты объявили национальный бойкот еврейским предприятиям. Головорезы со свастикой на нарукавных повязках преграждали клиентам вход в магазин и устраивали драки с каждым, кого считали евреем. По словам Энни, Эрвин повздорил с одним из

головорезов, не сознавая опасности, и его чуть было не избили. В самый последний момент молодой физик Фридрих Мёглих, сторонник нацистов, узнал Шрёдингера и вступился за него^[95].

Шрёдингер начал избегать заседаний Прусской академии наук, возможно, считая, что его могут вовлечь в политические игры. Действительно, так и произошло. Первого апреля руководство дало резкий ответ на уведомление Эйнштейна о том, что он обрывает все связи академией и Германией в целом. В заявлении, получившем широкую огласку, оно открыто осудило Эйнштейна за «антинемецкое» поведение. В ужасе от таких действий Макс фон Лауэ, который был активным членом академии, предложил голосовать за отзыв заявления академии. Но ни один из ведущих членов не встал на защиту Эйнштейна — даже Планк, который был его давним сторонником. Голосование провалилось, и заявление не было отозвано. Отсутствовавший во время дискуссии Шрёдингер публично никак не выразил свою позицию.

Эйнштейн не простил академии этого трусливого поступка. Предательство членов академии (за исключением фон Лауэ, Шрёдингера и в какой-то мере Планка, который оказал поддержку^В частном порядке, но не публично) стало для него горькой пилюлей. Отказ академии проигнорировать политику нацистов был одной из причин, по которым он никогда больше не ступил на немецкую землю, даже после войны.

Осуждение Эйнштейна Прусской академией наук стало первым толчком, предвещавшим в будущем гораздо большее землетрясение. Седьмого апреля немецкий парламент принял гнусный закон о восстановлении профессиональной службы, который запрещал евреям и политическим противникам нацистов занимать государственные должности, в том числе преподавать и заниматься научной работой. Единственными исключениями в первое время были ветераны Первой мировой войны, служившие на фронте, а также те, кто потерял на войне родственников, и те, кто занимал свои посты до войны. Но эти исключения просуществовали недолго.

Больше всего пострадал от нацистского запрета университет Гёттингена, в котором работало много ученых еврейского происхождения. Макс Борну, хотя он и был одним из основателей квантовой физики, сообщили, что он должен уйти в отставку.

Математики Эмми Нётер и Рихард Курант также были уволены. Лауреат Нобелевской премии экспериментатор Джеймс Франк сам подал в отставку, прежде чем ему было предложено покинуть свой пост. Фон Лауэ в очередной раз попытался заручиться поддержкой своих коллег, чтобы осудить эту чистку, но безрезультатно. Планк, чей голос имел бы большой вес, отказался открыто протестовать против нацистов, хотя в частных беседах выражал свой ужас от такого развития событий.

Рекрутеры из университетов других стран быстро поняли, что эта потеря Германии вполне может стать их приобретением. Первым, кто воспользовался такой возможностью, был физик из Оксфордского университета Фредерик Линдемманн, решивший переманить нескольких знаменитостей, чтобы усилить исследовательский потенциал своего университета. Благодаря Дж. Дж. Томсону, Эрнесту Резерфорду и другим ученым Кембридж сильно опережал Оксфорд в научных достижениях, и Линдемманн надеялся хоть немного сбалансировать ситуацию. Высокомерный, пафосный, столь не любимый многими Линдемманн уже видел Эйнштейна на постоянной должности в Оксфорде, но Эйнштейн приезжал лишь раз в году и на короткий срок. Антисемитский закон означал, что другие ученые, скорее всего, уедут из Германии по примеру Эйнштейна. Возможно, подумал Линдемманн, ему удастся их уговорить, и Оксфорд станет для них новым домом.

Линдемманн родился в Германии и окончил Берлинский университет, поэтому он был хорошо знаком с этой страной и следил за ее политикой. Сразу поняв, что нацистский режим будет представлять угрозу для всего мира, он поделился своими опасениями с Уинстоном Черчиллем, одним из своих ближайших друзей. Во время Второй мировой войны премьер-министр Черчилль назначил его главным научным консультантом и поспособствовал в получении британского звания пэра как лорда Черуэлла. Линдемманн оказал большое влияние на британскую военную политику, славно (или позорно, в зависимости от точки зрения) выступая за бомбардировку немецких районов жилой застройки. По иронии судьбы, учитывая его будущую роль в военное время, на Пасху 1933 года Линдемманн попал в небольшую аварию, когда поехал в Германию на своем «роллс-ройсе», чтобы встретиться с немецкими учеными.

По предложению Зоммерфельда Линдемманн решил обратиться к Фрицу Лондону, маститому квантовому физику, внесшему фундаментальный вклад в теорию химической связи и межмолекулярных сил. Во время визита к Шрёдингеру оксфордский профессор упомянул о предложении должности Лондону. К большому удивлению Линдеммана, Шрёдингер попросил иметь его в виду, если Лондон откажется. Линдемманн не думал, что ученые нееврейского происхождения, такие как Шрёдингер, могут быть заинтересованы в отъезде из Германии, но согласился обсудить этот вопрос с потенциальными спонсорами новых должностей в Оксфорде.

Призыв помощников

Шрёдингеру на тот момент было хорошо известно, что поиски Эйнштейна хорошей должности в других странах увенчались успехом. Учитывая его финансовые потребности и враждебное отношение к нацистам, возможность получения должности в Оксфорде выглядела для него привлекательно. Впрочем, как и Эйнштейн, Шрёдингер выдвинул в качестве условия требование найма своего помощника. У Эйнштейна был Майер, а у Шрёдингера — Артур Марх. Он спросил Линдемманна, сможет ли он предоставить позицию в Оксфорде еще и Марху, чтобы они могли работать вместе.

Тем не менее Эйнштейн и Шрёдингер преследовали разные цели, когда просили устроить и своих ассистентов. Эйнштейну было за пятьдесят, и он уже не имел достаточного терпения производить кропотливые расчеты. Поэтому Майер был очень важен для повышения его производительности. Ситуация с Мархом была иной. Шрёдингер только обсуждал с ним возможность написания совместной книги, но они никогда ранее не сотрудничали. Скорее всего, с Артуром поехала бы его жена, Хильде, в которую Эрвин был сильно влюблен.

Линдемманн вернулся в Англию и сразу поспешил получить финансирование для всех позиций, на которые договорился, в том числе для Шрёдингера и Марха. Между тем обстановка в Германии продолжала ухудшаться. Май был еще хуже, чем апрель. Количество увольнений евреев постоянно росло. На Бебельплац, прямо напротив

Берлинского университета, массовое сожжение книг еврейских авторов и другой запрещенной литературы показало, насколько упал уровень интеллектуальной жизни в Германии. Борн уехал в Италию, ожидая обещанной должности в Кембридже.

Отчасти чтобы избежать беспорядков, Шрёдингеры и Мархи решили провести лето в Швейцарии и Италии, а также нанести визиты Паули, Борну и Вейлю. Ранее Вейль получил должность в Гёттингене, но поскольку его жена была еврейкой, он решил уйти в отставку и уехать из Германии. Позднее он занял должность в принстонском Институте перспективных исследований (IAS).

В горах Северной Италии Эрвин уговорил Хильде отправиться с ним в длинный велосипедный поход — только они вдвоем, и больше никого. Во время этой поездки между ними вспыхнула страсть. Примерно в это время Хильде забеременела от Эрвина. Вместо того чтобы разводиться со своими супругами, они решили построить необычные отношения — чрезвычайно сложный брак.

Линдемманн снова встретился со Шрёдингером в сентябре, в живописной деревушке Мальчезине на берегу озера Гарда в Италии.

Он был счастлив сообщить, что британская фирма *Imperial Chemical Industries* согласилась профинансировать несколько должностей, в том числе двухлетний пост для Шрёдингера и отдельную временную позицию для Марха. Шрёдингер получит должность в престижном колледже Магдалины в Оксфорде. Хотя размеры окладов еще не были известны, Шрёдингер не имел ни малейшего желания возвращаться в Берлин и с радостью принял предложение. Он, Энни и Хильде переехали в Оксфорд в начале ноября. Артуру нужно было согласовывать свой отъезд в Инсбруке, где он тогда работал, поэтому он вернулся туда на некоторое время.

Отъезд Шрёдингера из Германии разозлил нацистов. Он был слишком известным физиком нееврейского происхождения, чтобы вот так просто взять и уехать. Гейзенберг, хотя и не состоял в нацистской партии и не был ее сторонником, был расстроен из-за того, что Шрёдингер покинул Германию. В представлении Гейзенберга верность родине и научному прогрессу Германии должны были стоять вне политики. «Нужно просто переждать и надеяться на более разумное правительство, думал он, а не бежать из страны». Все же, к чести Гейзенберга, он решительно выступил против Филиппа Ленарда и

Йоханнеса Штарка, которые считали, что всю «еврейскую физику», в том числе теории Эйнштейна и Борна, следует запретить во имя «физики немецкой» (имея в виду германских физиков нееврейского происхождения). Гейзенберг продолжал поддерживать дружеские контакты с евреями-физиками вплоть до начала войны, а после войны опять возобновил. Он призывал немецких евреев-физиков, таких как Борн, попытаться оставаться в Германии как можно дольше, чтобы сохранить активность научной мысли. Поэтому в его глазах решение Шрёдингера было поражением для немецкого научного сообщества.

Берлин, покинутый Шрёдингером, мало походил на город, который он так любил. Меньше года назад в германской столице бурлила жизнь: искусство, наука и политика были на подъеме. Ее авангардные театральные постановки и оперетты привлекали внимание всего мира. Она радушно принимала людей всех вероисповеданий и точек зрения. Однако к концу 1933 года Берлин стал культурной пустыней, открытой только для искусства, музыки и театра, соответствующих официальной идеологии режима. Обсуждение вклада Эйнштейна в теоретическую физику было запрещено. Пресса стала настолько цензурируемой, что только одна газета опубликовала заметку об отъезде Шрёдингера.

Следующая новость стала еще большим ударом по самолюбию нацистов и еще больше потешила и без того раздутое эго Линдемманна. Вскоре после переезда Шрёдингера в Оксфорд ему присудили Нобелевскую премию по физике 1933 года за разработку волнового уравнения. Он поделил премию с Дираком. Линдемманн дефилировал по Оксфорду со своим трофеем и попросил *Imperial Chemical Industries* повысить тому жалованье.

Поначалу все шло хорошо. Но несколько месяцев спустя Хильде родила Эрвину дочь, которую назвали Рут. Оксфорд негодовал от того, что деньги были потрачены на содержание любовницы. С этого момента у Шрёдингера было мало шансов получить постоянную должность в Оксфорде, даже с новенькой Нобелевской премией в кармане.

Коварен, но не злонамерен

После большей части года, проведенной в Бельгии под защитой королевской семьи, Эйнштейну пришлось попрощаться с Европой — как оказалось, навсегда. Альберт, Эльза, Хелен Дукас и Вальтер Майер отплыли на лайнере «Belgenland» и прибыли в Нью-Йорк 17 октября 1933 года. На этот раз никаких встречающих толп или репортеров не было. Чтобы избежать возможного саботажа со стороны нацистских шпионов, после того, как они сошли с корабля, Эйнштейна и сопровождающих лиц быстро увезли на небольшом катере в Нью-Джерси, откуда направили напрямиком в Принстон.

Поскольку здания для Института перспективных исследований еще не были построены, Эйнштейну с коллегами пришлось разделить помещения с математическим факультетом в Файн-Холл, главном здании Принстонского университета. Одной из приятных особенностей этого здания был конференц-зал с большим камином. Над ним был выгравирован один из афоризмов Эйнштейна на немецком языке: «Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht» (Господь Бог коварен, но не злонамерен). Таким образом Эйнштейн выражал надежду, что Бог не позволит ученым поверить в ложную теорию природы, даже если найти правильное решение будет очень непросто. Эйнштейн все еще надеялся создать окончательную теорию, которая бы объединила все силы природы.

Одним насущным вопросом, с которым столкнулся Эйнштейн, был поиск помощника в его расчетах. Хотя ему и удалось договориться, чтобы Майера наняли специально для этой цели, его «калькулятор», к большому разочарованию Эйнштейна, решил заняться своими собственными математическими исследованиями. Что еще хуже, из-за того, что позиция Майера была постоянной, Флекснер отказался предоставить Эйнштейну другого помощника.

Из-за параноидальной мании Флекснера до малейших деталей контролировать расписание Эйнштейна, чтобы тот занимался только своими обязанностями в Институте перспективных исследований, у них начался конфликт. Эйнштейн был оскорблен до глубины души, когда узнал, что Флекснер читает всю его почту и отклоняет приглашения, даже не посоветовавшись с ним. Флекснер даже отклонил приглашение встретиться с Рузвельтами в Белом доме. Тем

не менее Эйнштейн все-таки узнал о приглашении и принял его. Он чувствовал себя словно заключенный, запертый в IAS, лишенный ассистента, который мог бы помочь с расчетами.

К счастью, в IAS стекался стабильный поток блестящих молодых исследователей, жаждущих оставить свой след в науке и поработать с известными учеными. Два таких ума, русский физик Борис Подольский, получивший недавно докторскую степень в Калифорнийском технологическом институте, и американский физик Натан Розен, который учился в Массачусетском технологическом институте, оказались готовы к плодотворной теоретической работе. Эйнштейн воспользовался этой возможностью, и они начали сотрудничать в области квантовой физики.

Несмотря на нелюбовь к Флекснеру, Эйнштейн хорошо осознавал опасность возвращения в Европу. Он понимал, что IAS, расположенный в тихом месте, где не было необходимости преподавать, создавал ему идеальные условия для построения единой теории поля, завершения работы над общей теорией относительности, а также для проведения других научных исследований, близких его сердцу. Поэтому он решил остаться на неопределенный срок.

К счастью для Эйнштейна, Принстон был расположен неподалеку от побережья, так что Эйнштейн мог заниматься парусным спортом. Он купил яхту, которую назвал «Tinef» (что переводится с идиш приблизительно как «маленький кусочек мусора»), и проводил большую часть лета в различных местах пролива Лонг-Айленд и озера Саранак-Лейк в горах Адирондак северной части штата Нью-Йорк. Поскольку он не умел плавать, когда его яхта случайно перевернулась, ему пришлось звать на помощь местных жителей. Это произошло летом 1935 года, когда Эйнштейны отдыхали в городке Олд Аайм, штат Коннектикут, что послужило поводом для следующего заголовка в *New York Times*: «Относительно небольшой отлив и песчаная коса поймали Эйнштейна в ловушку; он посадил свой парусник на мель в Олд Аайм»^[96].

В другой раз, на Саранак-Лейкв 1941 году, мальчик спас Эйнштейну жизнь, когда тот запутался под водой в рыболовной сетке. Как рассказывал потом десятилетний спасатель Дон Дусо об этом инциденте много лет спустя, «он был в нокауте. Если бы я не оказался рядом, он бы, наверное, утонул»^[97].

Понимая, что они, вероятнее всего, останутся в Принстоне надолго, Альберт и Эльза начали подыскивать себе подходящий дом. Они нашли идеальное место всего в нескольких кварталах от университета (и временного расположения IAS), что позволяло Эйнштейну добираться до работы пешком или на велосипеде. В августе 1935 года они купили дом на Мерсер-стрит, 112. Верхний этаж был превращен в кабинет с новым панорамным окном с видом на сад. А комнаты на первом этаже супруги обставили антикварной мебелью, которую им удалось вывезти из их бывшей берлинской квартиры. Вскоре Эйнштейн написал королеве Бельгии Елизавете, что хотя он и отчужден от социальной жизни, «Принстон — это чудесное местечко... Я смог создать для себя атмосферу, где ничто не отвлекает и можно спокойно заниматься наукой»^[98].



*Дом Эйнштейна на Мерсер-стрит в Принстоне, штат Нью-Джерси. Фото
Пола Хэлперна*

Чтобы стало еще уютнее, они завели себе собаку — терьера по кличке Чико и несколько кошек. Чико верно нес службу, охраняя частную жизнь владельцев. Как однажды заметил Эйнштейн, «этот пес

очень смущен. Он жалеет меня за то, что мне приходится так много почты; вот почему он все время пытается укунить почтальона»^[99].

Тем не менее от одного из своих корреспондентов Эйнштейн всегда был рад получить письмо. Конечно же, это был Шрёдингер. Они поддерживали теплые отношения, а их переписка становилась все более философской в отрыве от родной земли. Эйнштейн также продолжал переписываться с Борном, чье мнение очень ценил, несмотря на их серьезные разногласия по поводу вероятностной квантовой механики. Он пытался убедить Флекснера пригласить Борна в IAS, но безрезультатно. Флекснер вообще перестал помогать Эйнштейну.

Примите моих жен, пожалуйста

Шрёдингер получил возможность посетить Принстон, но не через IAS, а через физический факультет университета. На факультете существовала специальная профессорская должность Джонсов, учрежденная братьями, выпускниками Принстона, желавшими помочь университету расширить возможности для проведения исследований в области математики и других наук, и на нее-то он и был приглашен.

Приглашение было послано в октябре 1933 года, когда состоялась тайная встреча специального комитета физического факультета, на которой комитет решал, кого назначить на профессорскую должность. Председателем комитета был Рудольф Ладенбург, атомный физик, эмигрировавший из Германии. Он был очень хорошо знаком с работами Гейзенберга и Шрёдингера и настойчиво предлагал их кандидатуры. Они решили предложить полную ставку Гейзенбергу, но также использовать часть средств для приглашения Шрёдингера на срок от одного до трех месяцев. Шрёдингер принял предложение, а Гейзенберг отказался, сославшись на политическую ситуацию в Германии как причину не выезжать за рубеж.

Взяв отпуск в Оксфорде, Шрёдингер посетил Принстон в марте — начале апреля 1934 года. За годы своей научной деятельности он выработал великолепный, выразительный стиль чтения лекций с использованием большого количества ярких аналогий. Увлеченность поэзией и театром помогала ему делать сложные научные концепции

живыми и доступными для понимания. Глубокие познания Шрёдингера в древней истории и философии обогащали его лекции, посвященные современным проблемам. Кроме того, он прекрасно владел английским языком — у него было чистое произношение, практически без австрийского акцента. Эйнштейн же, напротив, читал лекции на английском языке только по заранее подготовленному конспекту, причем постоянно запинаясь. К тому же у него был ярко выраженный южнонемецкий акцент. Администрация факультета была довольна кандидатурой Шрёдингера и предложила декану по науке Лютеру Эйзенхарту назначить его на полную ставку.

По возвращении в Оксфорд Шрёдингер долго размышлял о предложении Принстонского университета, но в итоге решил его отклонить. Принстон привлекал его возможностью снова жить и работать в одном городе с Эйнштейном. И Шрёдингер надеялся, что Флекснер под давлением Эйнштейна предложит ему ставку в IAS, но этого не произошло. Видя высокий оклад Эйнштейна и его щедрую привилегию в виде отсутствия лекционной нагрузки, Шрёдингер хотел подобных условий и для себя. Но, к его разочарованию, Принстон предлагал хотя и по всем стандартам щедрые, но не соответствующие его запросам условия. Ожидая такого же отношения, как к Эйнштейну, Шрёдингер не понимал, насколько необычна была ситуация первого. Эйнштейн получал примерно на 50% больше, чем платили престижные университеты, такие как Принстонский, своим старшим профессорам физики. Ссылаясь на оклад в качестве основной причины, он с сожалением написал Ладенбургу в октябре о своем отказе.

Помимо финансовых причин Шрёдингеру приходилось принимать во внимание свою необычную семейную ситуацию. Шрёдингер, конечно, не хотел уезжать за океан от Хильде и Рут — ребенка, о котором он всегда мечтал. Он спрашивал себя, как общественность Принстона отреагирует на то, что он привезет их вместе с Энни. Может быть, его даже привлекут к ответственности за двоеженство? Говорят, что он упомянул эту ситуацию в беседе с президентом Принстонского университета Джоном Хиббеном и был разочарован его негативной реакцией по поводу идеи семьи с «двумя женами» и совместным воспитанием ребенка^[100].

Возможно, где-то в параллельной Вселенной Шрёдингер согласился бы на должность в Принстоне, стал бы еще ближе к Эйнштейну и провел бы остаток своей жизни в комфорте и безопасности. Может быть, Хильде и Рут удалось бы эмигрировать в США без привлечения особого внимания. Но вместо этого он решил вернуться в Австрию, как раз незадолго до ее аннексии фашистской Германией. В результате ему придется бежать из страны. Но причинность зависит от прошлого, а не от будущего. К тому же у него были неполные данные. Поэтому его обычно острый ум на сей раз дал сбой.

Жуткие связи

К 1935 году многие теоретики квантовой механики, довольные тем, что их основные представления оказались верными, приступили к изучению атомного ядра. В то время как квантовая теория уже представлялась достаточно разработанной, теория атома оказалась областью наиболее активных исследований. В этом же году японский физик Хидэки Юкава предложил модель описания взаимодействия нуклонов (протонов и нейтронов) между собой посредством обмена другими частицами, названными *мезонами*. Впоследствии это взаимодействие получит название *сильного взаимодействия*. Теория Юкавы пыталась объяснить, за счет чего нуклоны удерживаются в атомных ядрах. Сегодня мы знаем, что в качестве таких посредников выступают не мезоны, а *глюоны*. Годом ранее итальянский физик Энрико Ферми начал изучать процесс бета-распада — превращения нейтронов в протоны путем испускания электронов и других частиц. Это взаимодействие, называемое *слабым*, ответственно за некоторые виды радиоактивного распада. В конечном итоге оно было описано в рамках более общей теории *электрослабого* взаимодействия.

В то время как Шрёдингер заинтересовался этими исследованиями, Эйнштейн их попросту проигнорировал. Он предпочел сосредоточиться на сочинении популри для дуэта своей юности — гравитации и электромагнетизма, а не пробовать играть на непроверенных инструментах и не превращать дуэт в трио или квартет. Таким образом, к середине 1930-х годов его попытки

построения единой теории поля не могли больше рассматриваться как построение «теории всего». Скорее, они объединяли лишь некоторые, но не все силы, существующие в природе.

Между тем Эйнштейн по-прежнему был обеспокоен тем, что квантовый подход становился общепринятым. Его последняя встреча с Бором состоялась в 1930 году на Солвеевском конгрессе, где они спорили по поводу принципа неопределенности. Как и во время Солвеевского конгресса 1927 года, Эйнштейн предложил мысленный эксперимент, якобы противоречащий квантовой теории, который Бор после долгих размышлений все же смог опровергнуть.

Гипотетическим устройством, которое предложил Эйнштейн, был заполненный излучением ящик, оснащенный таймером, предназначенным для испускания фотона в определенный момент времени. Взвешивая этот ящик до и после испускания фотона, можно рассчитать точную энергию фотона, аргументировал Эйнштейн. Таким образом, вопреки принципу неопределенности Гейзенберга, можно одновременно определить и время испускания, и энергию фотона.

Однако, как точно подметил Бор, Эйнштейн забыл включить в рассмотрение эффекты общей теории относительности. Используя собственную теорию Эйнштейна против него самого, Бор парировал, обратив внимание на то, что процесс взвешивания ящика — например, на пружинных весах — слегка изменил бы его положение в гравитационном поле Земли. В общей теории относительности временная координата объекта в гравитационном поле зависит от его местоположения. Таким образом, изменение положения ящика приведет к размазыванию временного значения в соответствии с принципом неопределенности. Используя свою квантовую логику, Бор опять перехитрил Эйнштейна.

Но и пять лет спустя Эйнштейн не забыл о спорах с Бором. В ряде дискуссий с Подольским и Розеном он возвратился к некоторым из своих квантовых парадоксов. К тому времени Эйнштейн уже признал, что квантовая механика точно объясняет экспериментальные результаты в атомной физике и физике элементарных частиц. Однако, как он отмечал в беседах с молодыми исследователями, квантовая механика не может быть *полным* описанием физической реальности. Соображения Эйнштейна были следующими: если пара таких величин, как координата и импульс, действительно описывает природу,

то, в принципе, они должны иметь вполне определенные значения во все моменты времени. Невозможность точно определить их значения указывает на то, что квантовая механика не является исчерпывающей моделью природы. Кроме того, если при точном измерении координаты частицы ее импульс фактически становится неопределенным и даже неизмеримым, то это означает, что квантовая механика игнорирует реальность. Поэтому, согласно Эйнштейну, нечеткость принципа неопределенности указывает на ограничения квантовой механики в отношении соответствия теории и реальности.

Другой вопрос, который поднял Эйнштейн, был связан с *нелокальностью*, или «жутким дальнодействием»^[12]. Любое мгновенное воздействие одной частицы на другую, удаленную от нее в пространстве, будет нарушать то, что он назвал *принципом локального реализма*. Причинность, утверждал он, имеет локальную природу, которая объясняется взаимодействием между соседними субъектами, распространяющимся в пространстве от одной точки к другой со скоростью света или медленнее. Далекие объекты должны рассматриваться как физически обособленные, а не как связанные системы. В противном случае между электроном на Земле и электроном, скажем, на Марсе может существовать своего рода «телепатическая связь». Как может каждый из них мгновенно «узнать», что делает другой?

К тому времени Джон фон Нейман уже формализовал понятие коллапса, или редукции волновой функции, первоначально предложенное Гейзенбергом. В этой модели волновая функция частицы может быть выражена в терминах собственных состояний или оператора координаты, или оператора импульса, но не обоих операторов сразу. Это что-то вроде нарезки яйца. Его можно разрезать вдоль или поперек на несколько кружков. И вы можете сделать либо одно, либо другое, если только у вас нет задачи нарезать яйцо кубиками. Точно так же, когда вы «нарезаете» волновую функцию частицы, вы будете вынуждены выбирать между операторами координаты и импульса, в зависимости от того, какую из этих величин вы пытаетесь измерить. Затем, после измерения координаты или импульса, волновая функция мгновенно коллапсирует с определенной вероятностью в одно из собственных состояний оператора координаты или импульса. Теперь предположим, что причина такого коллапса

удалена в пространстве. Исследователь, «не предупреждая об этом частицу», решает, какую величину он будет измерять. Как при редукции волновая функция мгновенно узнает, из какого набора собственных состояний ей следует выбирать?

Статью, подводящую итоги диалога между Эйнштейном, Подольским и Розеном, под названием «Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным?» (часто называемой «ЭПР-статьей») написал и представил для публикации Подольский. Опубликованная в журнале *Physical Review* 15 мая 1935 года, статья вызвала настоящий переполох в сообществе квантовых физиков — особенно она удивила Бора, который считал, что дискуссия уже давно закончилась. Бору снова пришлось защищать квантовую механику, именно в тот момент, когда он только начал углубляться в теорию ядра.

В статье описывалась ситуация для двух частиц (например, системы из двух электронов), которые движутся в разные стороны, например, после столкновения. Хотя они и разнесены в пространстве, квантовая механика говорит нам, что эту систему можно описать общей волновой функцией. Шрёдингер назвал такую ситуацию *запутанностью*.

Предположим, что исследователь измерил координату первой частицы. Тогда волновая функция всей системы коллапсирует в одно из собственных состояний оператора координаты, а также мгновенно дает информацию о местоположении второй частицы. Если же, наоборот, был измерен импульс первой частицы, то сразу становится известен импульс второй частицы. Поскольку вторая частица не может «знать» заранее, что собирается сделать исследователь, она должна иметь наготове оба набора собственных состояний: и оператора координаты, и оператора импульса. Нахождение частицы одновременно и в собственном состоянии оператора координаты, и в собственном состоянии оператора импульса запрещается принципом неопределенности. В статье говорилось, что теория квантовых измерений — это не ладно сшитое платье, а лоскутное одеяло, сотканное из противоречий.

Вскоре Шрёдингер написал Эйнштейну, выразив восхищение статьей. «Я был очень рад тому, что... Вы публично схватили

догматичную квантовую механику за шкуру, сделали то, о чем мы уже так много говорили в Берлине», — писал он^{101}.

Вместе с тем философы науки Артур Файн и Дон Ховард указывали, что Эйнштейн проводил четкую грань между личными взглядами и аргументами, изложенными в ЭПР-статье. Достаточно странно, что такой авторитетный ученый, как Эйнштейн, не читал статью до ее опубликования. Поэтому у него были некоторые сомнения касательно предложенной Подольским аргументации. Как он ответил Шрёдингеру, «[статья] была написана Подольским после многих совместных дискуссий. Но она не вышла в таком виде, как я на самом деле хотел; суть была похоронена эрудицией»^{102}.

Эйнштейн не хотел акцентировать внимание на истинности или ложности принципа неопределенности. Скорее, он хотел подчеркнуть необходимость таких законов природы, которые бы допускали локальное и полное описание всех физических величин. Квантовая механика, как заявляли Гейзенберг, фон Нейман и другие ученые, по-видимому, содержит нелокальные и неоднозначные аспекты, которые требуют более полного объяснения.

«Вся физика описывает “реальность” — объяснял он Шрёдингеру. — Но это описание может быть полным или неполным»^{103}.

Чтобы пояснить свою позицию, Эйнштейн предложил Шрёдингеру следующую гипотетическую ситуацию. Допустим, мяч находится в одной из двух закрытых коробок. С позиции вульгарного понимания теории вероятностей мы должны предположить, что одна половина мяча находится в одной коробке, а другая половина — в другой. Тем не менее он не может быть разделен между обеими коробками; он должен быть или в одной, или другой. Полное описание однозначно определит, где именно находится мяч в каждый момент времени.

Эйнштейн обнародовал свои взгляды еще до выхода статьи. Четвертого мая 1935 года газета *New York Times* опубликовала заметку с кричащим заголовком «Эйнштейн атакует квантовую теорию». В статье объяснялась точка зрения Эйнштейна на квантовую теорию: «хоть она и “правильная”, но “неполная”»^{104}.

Порох Эйнштейна

Мы видели, как Эйнштейн раз за разом помогал Шрёдингеру оформить его идеи и продвинуться в научной карьере: от интереса к теоретической физике к разработке волнового уравнения, от должности в Берлинском университете к присуждению Нобелевской премии. Шрёдингер действительно был выдающимся, оригинальным мыслителем. Как знают все, он придумал остроумный мысленный эксперимент с котом в коробке. Однако на это его тоже вдохновил Эйнштейн.

ЭПР-эксперимент вновь усилил антипатию Шрёдингера к «неоднозначным» аспектам квантовых измерений и желание исследовать противоречия в стандартной интерпретации квантовой механики. В свою очередь, Эйнштейн обрел в Шрёдингере благодарного слушателя, с которым мог делиться своими идеями.

«На самом деле Вы единственный человек, с которым мне очень нравится дискутировать... Вы смотрите на вещи как подобает: и внутрь, и снаружи», — писал ему Эйнштейн 8 августа ^{105}. Почти все остальные его коллеги стали приверженцами новой догмы, не желая объективно относиться к ее обескураживающим следствиям. Нет сомнений в том, что Шрёдингер был рад стать для Эйнштейна главным доверенным лицом в вопросах квантовой теории.

В том же письме Эйнштейн описал парадоксальную ситуацию с порохом. Опыт подсказывает нам, что порох, будучи горючим, либо уже взорвался, либо еще не взорвался. Но, как отмечает Эйнштейн, если применить уравнение Шрёдингера к волновой функции, описывающей бочку пороха, окажется, что через некоторое время эта бочка придет в состояние странной смеси из этих двух возможностей. Она бы взорвалась и не взорвалась одновременно ^{106}.

Таким образом, в концепции Эйнштейна макроскопические, знакомые нам системы, описанные на языке квантовой механики, вполне могут стать чудовищными гибридами, которые сочетают в себе противоречивые, логически не согласованные утверждения о реальности. Логическая несогласованность, а также внутренне противоречивые утверждения стали краеугольными камнями для заявления австрийского математика Курта Гёделя, опубликованного в 1931 году и представленного в Принстоне в докладе 1934 года в IAS о

том, что математическая система Гильберта была неполна. Аналогично, Эйнштейн утверждал, что квантовая механика содержит внутренние противоречия, которые опровергнут ее же методологию.

Странная история кота

Частично основываясь на эйнштейновской идее с порохом, а также помня о мысленном эксперименте Эйнштейна с мячом в коробке, Шрёдингер смоделировал свой мысленный эксперимент с котом так, чтобы подчеркнуть неоднозначность квантовых измерений. Он признал свой долг перед Эйнштейном в письме от 19 августа, в котором рассказал, что придумал квантовый парадокс, который «похож на Ваш эксперимент со взрывающейся пороховой бочкой».

Бот как Шрёдингер объяснял Эйнштейну свой мысленный эксперимент: «Счетчик Гейгера и малое количество урана, которое может вызвать его срабатывание, помещены в стальную камеру. Пусть это будет настолько небольшое количество урана, что в течение часа существует одинаковая вероятность того, что счетчик зарегистрирует или не зарегистрирует ядерный распад. Усиливающее реле гарантирует, что если происходит атомный распад, то сразу же разбивается колба, содержащая синильную кислоту. Это достаточно жестоко, но в этой стальной камере находится еще и кот. Через час комбинированная волновая функция всей системы будет описывать наполовину живого и наполовину мертвого кота, смешанные друг с другом, — простите за подобные выражения»^{107}.

Суть в том, что, до того как ящик будет открыт и мы увидим, что в нем, уран имеет равные шансы распасться или нет, следовательно, шансы кота на смерть или на выживание так же равны. Таким образом, совокупная волновая функция, описывающая показания счетчика Гейгера и состояние кота, будет иметь странную особенность — наполовину распавшееся ядро урана, наполовину нет; наполовину мертвый, наполовину живой кот. Если бы кто-то открыл коробку, то совокупная волновая функция сколлапсировала в одну из этих двух возможностей.

В эксперименте с котом, чья волновая функция представляет собой смесь равных частей жизни и смерти до тех пор, пока исследователь не

откроет ящик, Шрёдингер смоделировал еще более неправдоподобную ситуацию, чем Эйнштейн с порохом, в надежде показать, что квантовая механика становится своеобразным фарсом. Почему именно кот? Шрёдингер часто прибегал к аналогиям с обычными вещами, такими как предметы быта или домашние животные, чтобы продемонстрировать всю абсурдность ситуаций, делая их более осязаемыми. Не то чтобы он имел что-то против котов — напротив, как вспоминала Рут, он любил животных, — но также и нельзя сказать, что у него было желание увековечить память об одном из них ^{108}.

Могут ли две системы находиться в запутанном состоянии, независимо от того, насколько они непохожи или разнесены в пространстве? Может ли формализм волновой механики, который изначально применялся для описания таких микроскопических объектов, как электроны, использоваться для описания чего-либо еще? Сама идея о том, что судьбы живых существ связаны с поведением частиц, как доказывал Шрёдингер, была нелепой. Квантовая механика далеко отошла от своей первоначальной миссии, раз ее можно применить к описанию живых мурлыкающих существ.

Эйнштейн ответил Шрёдингеру искренним выражением одобрения. «Ваш пример с котом показывает, что мы полностью солидарны в отношении оценки характера современной теории, — писал он. — Пси-функция, в которой одновременно содержится и живой и мертвый кот, просто не может использоваться для описания реального состояния дел» ^{109}.

К неудовольствию Бора, Шрёдингер в тандеме с Эйнштейном высмеивал успешную теорию, не предлагая более надежной альтернативы. Но что насчет единой теории, которая могла бы прийти на смену квантовой механике? Бор никогда не считал попытки Эйнштейна (и более поздние попытки Шрёдингера) построить единую теорию поля заслуживающими доверия, поскольку продвигаемые Эйнштейном модели не основывались на данных атомной физики и даже не учитывали ядерные взаимодействия. Тем не менее Бор всегда был вежлив и терпелив даже со своими недоброжелателями.

Кошачий парадокс Шрёдингера был опубликован в ноябре 1935 года как часть статьи под названием «Текущая ситуация в квантовой механике». В этой же статье он вводит понятие *запутанность*. Как мы уже говорили во введении, этот мысленный эксперимент не был

известен широкой публике на протяжении многих десятилетий. В тот момент только физическое сообщество имело возможность смеяться, удивляться или критиковать причудливую гипотетическую постановку задачи Шрёдингера.

Одной из основных идей, которую иллюстрировал кошачий парадокс, был конфликт между происходящим на микроскопическом и на макроскопическом уровнях. Как сам Шрёдингер писал в своей статье, неопределенность на атомном масштабе оказывается связанной с неоднозначностью на человеческом масштабе. Поскольку на макроскопическом уровне такая неоднозначность никогда не наблюдается, то и микроскопическая неопределенность тоже не должна существовать ^{110}.

Шрёдингер утверждал, что вероятностные квантовые правила неприменимы к живым существам. Его беспокоило утверждение одного из современников, согласно которому квантовая неопределенность объясняет выбор, которые делают разумные существа. «В отличие от поведения частиц, — отмечал он, — невозможно разработать вероятностную схему действий, совершаемых людьми».

Свою статью «Индетерминизм и свобода воли», написанную на английском языке и опубликованную в июле 1936 года в авторитетном журнале *Nature*, Шрёдингер посвятил различиям между взаимодействием частиц и принятием решений людьми, доказывая несостоятельность такой аналогии. «На мой взгляд, такая аналогия является в корне ошибочной, — писал он, — поскольку множество возможных действий... — это самообман. Подумайте, к примеру, о такой ситуации: вы сидите на официальном приеме рядом с очень важными персонами и вам ужасно скучно. *Могли бы вы ни с того ни с сего запрыгнуть на стол и растоптать стаканы и прочую посуду, просто ради удовольствия?* Возможно, вы думаете, что смогли бы; может быть, вы чувствуете, что сможете, хотя на самом деле при любых обстоятельствах вы этого не сделаете» ^{111}.

Иными словами, заданные факторы, такие как воспитанность и личные особенности, определяют то, какое решение примет человек. Подобная концепция «свободной воли», как кажется, тесно связана с идеей Шопенгауэра о том, что кажущиеся спонтанными действия людей на самом деле предопределены. Если бы вы знали мотивы,

лежащие в основе действий людей, и их предыдущий опыт, то вы смогли бы предсказать, что они будут делать в любых других обстоятельствах. Однако, по мнению Шрёдингера, не существует ситуаций, когда вы могли бы сказать, что человек с вероятностью 75% поступит одним образом и с вероятностью 25% — другим. Скорее, в зависимости от того, насколько хорошо вы понимаете человека и его ситуацию, вы либо предвидите, что он будет делать, либо вы вообще не в состоянии правильно предсказать его поведение.

Шрёдингер высмеял идею о том, что методы Гейзенберга могут быть использованы для расчета того, как часто люди делают определенные вещи. «Если бы мой выбор выкурить или не выкурить сигарету перед завтраком (очень вредная привычка!) определялся принципом неопределенности Гейзенберга, — писал он, — то этот принцип задал бы между этими двумя событиями определенную статистическую закономерность..., которую я мог бы изменить волевым усилием. Или, в противном случае, если он это запрещает, то почему я чувствую себя ответственным за свои поступки, раз частота моих грехов определяется принципом Гейзенберга?»^[112].

Предложение, от которого следовало отказаться

Ни один историк не предложил алгоритм, который мог бы точно объяснить решения Шрёдингера — ни с использованием принципа неопределенности, ни с использованием какого-либо другого метода. В конце 1935 года он узнал, что его должность в Оксфорде будет финансироваться только два года. Ему нужно будет двигаться дальше — но куда?

Между тем Артур Марх увез Хильде и Рут обратно в Австрию. Хильде страдала депрессией, ей требовалось лечение в санатории. После отъезда матери своего ребенка Эрвин завел еще одну любовницу. Ею стала еврейка Ханси Бауэр-Бом, фотограф из Вены, жившая в то время в Англии. Как и Хильде, она была замужем, но при этом она была гораздо более самоуверенна и настойчива. После многих месяцев, проведенных вместе, она дала ему понять, что собирается вернуться в родной город. Учитывая, что одна из его любовниц уже была в Австрии, а другая собиралась вскоре туда вернуться, Шрёдингер, возможно, решил, что это предзнаменование судьбы и ему тоже следовало уехать обратно в Австрию.

Была ли это случайность, судьба или таинственные механизмы принятия решений в академическом мире, но Шрёдингер получил заманчивые предложения сразу из двух австрийских университетов: должность профессора в университете Граца и должность почетного профессора Венского университета. Его старый друг со студенческих времен, Ганс Тирринг, договорился о второй должности. Единственным предложением от других университетов, которое оказалось в тот момент на его столе, было предложение должности профессора в Эдинбурге. Он начал его читать, но тут же увидел, насколько низкий оклад там предлагают. Поэтому он принял предложение Грацкого университета, а должность в Эдинбурге досталась Борну.

Задним числом можно утверждать, что переезд в Австрию прямо накануне аншлюса (аннексии Австрии нацистской Германией) был невероятно глупым поступком, особенно для того, кто уже успел досадить нацистам, оставив престижное место в Берлине. Как

заметила Энни, «любой, кто хоть немного думал о политике, сказал бы: “Не надо ехать в Австрию. Опасность уже нависла над ней”»^{113}.

Австрия, в которую вернулся Шрёдингер, очень сильно отличалась от той Австрии, которую он оставил полтора десятилетия назад. С марта 1933 года у руля стояла фашистская партия, управляемая националистическим движением «Патриотический фронт». Схожая по духу с итальянскими фашистами, возглавляемыми Бенито Муссолини, партия запретила деятельность социал-демократической партии и национал-социалистической рабочей партии. Сначала фронт возглавил Энгельберт Дольфус, но в июле 1934 года при попытке свержения конституционного строя он был убит австрийскими нацистами. Заговорщики ставили своей целью объединение Австрии с германским рейхом под предводительством Гитлера. После неудачного переворота пост федерального канцлера занял Курт Шушниг. Он сопротивлялся давлению на Австрию со стороны гитлеровской Германии, отстаивая независимость страны. Тем не менее австрийское нацистское движение продолжало набирать обороты. Как и германские нацисты, они собрали недовольных безработных и других своих сторонников в грозную военизированную группировку. Они были воодушевлены речами Гитлера (родившегося в Австрии), добивавшегося создания Великогерманской империи, в которую бы вошли все страны, где родным языком является немецкий.

В июле 1936 года Шушниг подписал соглашение с Гитлером, которое на первый взгляд гарантировало Австрии независимость. Австрия и Германия признавали обоюдный суверенитет и обязывались не вмешиваться во внутренние дела друг друга. Шушниг гарантировал, что его внешняя политика будет согласована с политикой «немецкого государства», а также что он назначит австрийских нацистов на некоторые посты в правительстве. Эти, казалось бы, безопасные пункты на самом деле были для Гитлера троянским конем, позволившим включить своих сторонников в руководство Австрии и начать оказывать на него давление изнутри для последующего захвата власти.

Шрёдингер приступил к исполнению обязанностей в Граце в октябре 1936 года. В очередной раз он попытался проигнорировать политику и сосредоточиться исключительно на исследованиях. Его заинтересовало недавнее предложение Артура Эддингтона объединить

квантовую механику с общей теорией относительности и объяснить неопределенность с помощью космологических аргументов. Таким образом, пребывая среди беспорядков в Австрии, он обратил свой взор на уравнения.

Квант и космос

Эддингтон завоевал больше уважение в физическом сообществе, защищая, интерпретируя и проверяя общую теорию относительности в конце 1910-х и начале 1920-х годов. Однако начиная с середины и до конца 1920-х годов он все более сосредоточивался на объяснении свойств природы посредством математических отношений, которые связывают очень большое с очень малым. Хотя он и был во многих отношениях провидцем и одним из первых соотнес физику элементарных частиц с космологией, многие физики считали более поздние его теоретические работы нумерологией, а не наукой. Например, британский астрофизик Герберт Дингл относил его работу (наряду с другими спекулятивными теориями) к «лженаучной мифологии»^{114}.

Эйнштейн и Шрёдингер, напротив, очень уважали независимое мышление Эддингтона. Как и они, Эддингтон определенно не был одним из множества в безликой толпе. Хотя они не всегда соглашались с его «предписаниями», они ценили его «медицинский» взгляд на «болезни» квантовой механики и его идеи относительно ее улучшения.

Два наиболее важных соотношения в современной физике — это волновое уравнение Шрёдингера в квантовой механике и уравнение Эйнштейна в общей теории относительности. Поразительно, но области их применения сильно отличаются. Уравнение Шрёдингера описывает распределение и поведение материи и энергии в пространстве и во времени, а уравнение Эйнштейна показывает, как распределение материи и энергии формирует ткань самого пространства-времени. Таким образом, первое ключевое различие между этими двумя уравнениями заключается в том, что в уравнении Шрёдингера пространство и время пассивны, в то время как в уравнении Эйнштейна они, напротив, активны. Другое важное отличие состоит в том, что по крайней мере в копенгагенской трактовке

квантовой механики волновые функции, представляющие собой решения уравнения Шрёдингера, имеют лишь косвенное отношение к фактически наблюдаемому в эксперименте. Как ярко и образно показывает парадокс кота Шрёдингера, в квантовой механике наблюдаемые величины проявляются после того, как экспериментатор производит измерение и вынуждает волновую функцию коллапсировать в одно из ее собственных состояний. Однако чтобы узнать точное значение наблюдаемой величины в общей теории относительности, разумеется, никакого экспериментатора не требуется. В противном случае кто бы наблюдал все 13,8 миллиарда лет космической эволюции?

Как показал Дирак в 1928 году, изменение уравнения Шрёдингера для согласования его со специальной теорией относительности — довольно простая задача. Уравнение Дирака, описывающее фермионы — частицы с полуцелым спином, — приводит к решениям, которые называются *спинорами*. Это математические объекты, похожие на векторы, но преобразуемые иным способом при вращениях в абстрактном пространстве. Алгебра, описывающая спинорные решения уравнения Дирака (предполагающая введение таких объектов, как матрицы Паули), немного сложнее, чем алгебра волновых функций — решений уравнения Шрёдингера.

Уравнение Дирака приводит к поразительному предсказанию, что у электронов есть двойники, имеющие ту же массу, но противоположный электрический заряд. Дирак думал, что это «дырки» в энергетическом море Вселенной, оставшиеся после появления электронов. Впоследствии эти «дырки» оказались частицами, названными *позитронами*: античастицами электронов. Карл Андерсон впервые обнаружил позитроны в 1932 году, изучая космические лучи.

Согласовать квантовую механику со специальной теорией относительности было гораздо проще, чем с общей теорией относительности. На протяжении 1930-х годов многие физики безуспешно пытались объединить эти две теории. Даже Эйнштейн, который, как правило, держался в стороне от квантовых вопросов (за исключением их критики или попыток заменить квантовую механику на более фундаментальную теорию), пробовал на этом поприще свои силы. В последние годы пребывания в Берлине, с 1932-го по 1933 год, он вместе с Майером работал над способом формулировки общей

теории относительности с использованием четырехкомпонентных математических объектов (*полувекторов*), связанных со спинорами.

Отчасти мотивом Эйнштейна было желание построить единую теорию поля, допускающую существование разноименно заряженных частиц различной массы: протонов и электронов. Все его более ранние единые теории поля, в том числе теория телепараллелизма, описывали только частицы одинаковой массы — электроны. Чтобы ввести в теорию протоны, Эйнштейн и Майер пытались обобщить уравнение Дирака таким образом, чтобы оно согласовывалось с общей теорией относительности, а также предсказывало существование частиц различной массы. К сожалению, полувекторный подход не привел к имеющим физический смысл результатам. После переезда Эйнштейна в Принстон они с Майером перестали сотрудничать, и он решил отказаться от полувекторного подхода. Этот подход стал еще одним подержанным автомобилем-теорией, взятым на многолетний тест-драйв, но признанным неудовлетворительным, а затем обмененным на другой.

Эддингтон также интересовался уравнением Дирака и возможными перспективами установления с его помощью связей между квантовой механикой и четырехмерным пространством-временем специальной теории относительности. Наряду с принципом неопределенности Гейзенберга, который был открыт за год до того, уравнение Дирака побудило его разработать принципиально новое видение Вселенной «сверху вниз». Свой анализ он начал с нескольких простых предположений о том, что Вселенная искривлена и конечна (аналогично оригинальной модели Вселенной с космологической постоянной, предложенной Эйнштейном) и что все физические величины являются относительными. Эддингтон предположил, что для измерения таких физических величин, как координата или импульс, исследователь должен сравнить их значение со значениями в других точках пространства. Это сравнение, с учетом искривления пространства-времени под действием гравитации, задает некоторую меру неточности и в итоге приводит к принципу неопределенности. Поскольку измерить свойства микроскопических объектов, сравнивая их координаты или импульсы с координатами и импульсами других известных объектов, весьма сложно, то на атомарном уровне неопределенность проявляется в гораздо большей степени, чем на

астрономических масштабах. Таким образом, квантовая неопределенность не является основополагающим свойством природы, а представляет собой лишь результат человеческой неспособности измерить все во Вселенной с Рассматривая волновые функции как искусственно созданные, но не как фундаментальные объекты, Эддингтон использовал модифицированную общую теорию относительности (учитывающую его идею об относительности физических величин) для описания распределения координат, импульсов и других характеристик системы частиц. Затем он объединил полученные данные, чтобы построить волновые функции и волновые уравнения. Его целью было показать, что законы пространства-времени, если смотреть на них сквозь туманную призму человеческой ограниченности в отношении возможности определения координат и импульсов, приводят к уравнениям, напоминающим уравнения квантовой механики.

Эддингтон разработал способ оценки значения постоянной Планка на основе количества частиц во Вселенной, кривизны пространства Вселенной и других физических величин. Он утверждал, что дискретность квантовых явлений свойственна Вселенной, имеющей конечный объем пространства и конечное число частиц. Рассматривая Вселенную как нечто вроде черного тела, он рассчитал энергию, доступную для каждой из ее составных частей, и тем самым попытался получить точное значение постоянной Планка.

Хотя Эддингтон писал понятно и убедительно, расчеты, относящиеся к его фундаментальной теории (как он называл связь между квантом и космосом), были довольно туманны. Всегда заинтересованный в описании ситуации в целом, Шрёдингер увлекся теорией Эддингтона, но так и не смог проследить логические ходы, которыми тот пришел к своим выводам. В июне 1937 года Шрёдингер написал Эддингтону письмо с просьбой пояснить его расчеты постоянной Планка. Эддингтон ответил, но ответ Шрёдингера не удовлетворил.

Италия в тот период времени была тесно связана с Австрией, поэтому в нее было относительно легко выехать. За 1937 год Шрёдингер совершил несколько поездок. Его июньский визит в Рим был приурочен к его принятию в Папскую академию наук. Во время еще одной поездки, в октябре, он отправился в Болонью, чтобы

представить там научный доклад о теории Эддингтона. Он растерялся, когда последовали жесткие вопросы о расчетах Эддингтона от Бора, Гейзенберга и Паули, находившихся в аудитории. Шрёдингер попал в опасное положение, защищая теорию, которую на самом деле не понимал.

Несмотря на неуверенность Шрёдингера в теории Эддингтона, она послужила трамплином для его попыток разработать свою собственную теорию объединения. Подобно Эйнштейну и Эддингтону, он начал видеть смысл в объяснении таких проблемных аспектов квантовой механики, как неопределенность, скачкообразные переходы между состояниями, квантовая запутанность и так далее, посредством более фундаментальной теории, основанной на модификации общей теории относительности.

В другом измерении с целью унификации

Пока Шрёдингер боролся с нюансами фундаментальной теории Эддингтона, Эйнштейн вернулся в многомерное царство Калуцы и Клейна. Пройдя полный круг, он решил снова попробовать использовать дополнительное пространство пятого измерения для расширения общей теории относительности, чтобы наряду с гравитацией включить в теорию законы электромагнетизма. В этот раз он решил добавить физически реалистичное дополнительное измерение, а не просто использовать его как математический трюк. Введение пятого измерения добавляло к уравнениям общей теории относительности еще пять независимых компонент. Он надеялся, что сможет за счет включения этих дополнительных условий полностью описать поведение частиц — объяснить электромагнетизм наряду с гравитацией, дать квантовое описание наряду с классическим. Для проработки деталей нового единого подхода Эйнштейну посчастливилось найти двух способных ассистентов. Первый, Питер Бергманн, немецкий физик еврейского происхождения, устроился в Институт перспективных исследований в сентябре 1936 года. Он получил докторскую степень в университете Праги под руководством Филиппа Франка, который занял позицию Эйнштейна в этом университете. Второй помощник, Валентин «Валя» Баргманн, физик и

математик, тоже родившийся в Германии, но в русско-еврейской семье, приступил к работе в следующем году.

Он закончил докторантуру под руководством Паули в Цюрихе. Как у немецких евреев, у обоих ученых не было никакого будущего в Европе, поэтому они переехали в Америку, куда их пригласил сам Эйнштейн. Заметив любопытное сходство их фамилий, Хелен Дукас прозвала их «Берг и Барг» ^{115}.

Помимо встреч с ассистентами, время Эйнштейна больше ничем не было ограничено. Он овдовел в декабре 1936 года, когда после продолжительной болезни умерла Эльза. У нее были серьезные проблемы с почками и сердцем. Ее дочь Ильзе умерла от рака двумя годами ранее. Дукас, жившая с Эйнштейном на Мерсер-стрит, взяла на себя большую часть обязанностей по дому. Марго и позже Майя (младшая сестра Альберта) тоже жили вместе с ними.

Эйнштейн составил себе расписание. Каждое утро около одиннадцати часов Бергманн и Баргманн приезжали к нему домой. Они общались в неформальной обстановке и планировали день, учитывая время, необходимое для расчетов и, возможно, вечер камерной музыки. Дукас провожала трех мужчин до дверей, проверяя, чтобы Эйнштейн был одет по погоде.

Эйнштейн, Бергманн и Баргманн шли по парку в направлении Института перспективных исследований. До 1939 года пунктом их назначения был Файн-Холл, офис номер 109, в кампусе Принстона; а позже пунктом назначения станет Фалд-Холл, новое главное здание, построенное на Олден-Фарм, за пределами центра города. По дороге они во всех подробностях рассказывали друг другу о трудностях или победах, которые одержали в своих исследованиях со вчерашнего дня. Большинство людей, слушая их разговор, абсолютно не понимали, о чем они говорят.

После того как Эйнштейн обосновывался в своем кабинете, он тщательно проверял их последние результаты и подробно обо всем расспрашивал. Его офис в Фалд-Холл был разделен на две части: большой кабинет с большой доской и маленькую комнату с маленькой доской. Две доски служили разным целям. Большая доска с надписью «Удалить» использовалась для быстрых расчетов, которые часто ни к чему не приводили, различных заметок и всего остального, что, как они считали, носило временный характер.



Фалд-Холл, где был расположен офис Эйнштейна, Институт перспективных исследований, Принстон, Нью-Джерси. Фото Пола Хэлперна

Маленькая доска с надписью «Не стирать» была священной скрижалей, куда должны быть записаны «окончательные» уравнения^{[\[116\]](#)}. В действительности «окончательные» обычно означало, что они будут изучаться в течение нескольких недель или месяцев, прежде чем их заменят следующие. Тем не менее, если бы они оказались правильными, надпись «Не стирать» спасла бы их от уничтожения.

К тому времени критерии Эйнштейна истинности уравнений уже сильно отличались от критерия соответствия эксперименту. Хотя он и оставался нерелигиозным человеком в общепринятом смысле слова, его космическая религия, основанная на идеях Спинозы, определяла его суждения. Он часто просил своих ассистентов подумать о том, какие возможные варианты выбрал бы Бог при создании теории

всего^{117}. Сингулярности (точки, в которых физические величины становятся бесконечными) и любые другие величины, которые не могут быть определены уравнениями, считались «грехами», как он сам выражался. Уравнения должны быть такими же строгими, как архитектурный проект, и ничего не оставлять на волю случая.

Учитывая его стремление к полному описанию Вселенной, свободному от противоречий и неточностей, вновь обретенная одержимость Эйнштейна пятым измерением была своего рода уловкой. Использование дополнительного измерения допускало нелокальные связи между удаленными объектами, пока эти объекты находятся в ненаблюдаемых многомерных областях пространства-времени. В ЭПР-эксперименте и в переписке с другими учеными Эйнштейн был категорически против того, чтобы волновая функция содержала скрытую информацию о частицах. Все физические величины должны быть «вещественными» и «реальными» в любой момент времени, даже если они не измеряются. Тем не менее в его пятимерной попытке объединения информация могла быть спрятана в недоступных наблюдению областях пространства. Он был как политик, рассказывающий прессе: «В то время как мой оппонент не может подтвердить документально какие-либо связи с зарубежными корпорациями, я добросовестно это делаю — все мои документы надежно заперты в моем неприступном безопасном хранилище».

Главное преимущество пятимерных теорий объединения состояло в том, что общая теория относительности сама по себе могла оставаться в исходном виде. Дополнительная динамика может быть построена таким образом, что четырехмерное описание гравитации, подтвержденное измерениями во время солнечного затмения и другими экспериментами, будет сохранено. Некоторые из других предложений Эйнштейна относительно теорий объединения, такие как телепараллелизм, не сохраняют эти важные результаты, что с самого начала заставляет сомневаться в их истинности. Уравнения, которые, как надеялся Эйнштейн, заменят квантовую механику, должны зависеть от дополнительных слагаемых, возникающих из-за увеличения числа измерений с четырех до пяти. Это было похоже на ситуацию владельца величественного исторического особняка, решившего соорудить пристройку, чтобы получить дополнительное

пространство, вместо того чтобы переделать все здание и разрушить его очарование.

Помощники Эйнштейна восхищались его упорством. День за днем они мчались на всех парах к теории объединения, преодолевая все препятствия. Как только Эйнштейн понимал, что они движутся в неверном направлении, он настойчиво задавал новый курс, не выражая разочарования и ни о чем не сожалел. Эйнштейн верил, что в конечном итоге они достигнут цели и что это только вопрос времени.

Бесполезные уступки

В последние месяцы 1937 года наиболее насущной проблемой для Шрёдингера стала необходимость совмещать преподавание в университете, научную деятельность и встречи с тремя разными женщинами: Энни, Хильде и Ханси (которая, как и планировала, переехала обратно в Австрию). У него была, казалось бы, стабильная должность профессора в Граце и прекрасная должность приглашенного профессора в Вене, которая давала ему возможность в любой момент посетить родной город и хорошего друга Тирринга.

Шрёдингер лишился всего этого в начале 1938 года, когда после аншлюса Австрия оказалась под железной пятой нацистов. Учитывая непомерные амбиции Гитлера и существенное военное превосходство Германии, аннексия Австрии, пожалуй, была неизбежной. Шушниц отчаянно пытался во всем потакать диктатору, чтобы сохранить независимость Австрии. Его усилия достигли своего апогея на встрече с Гитлером 12 февраля, на которой он согласился координировать свою внутреннюю и внешнюю политику с политикой Германии, а также дать полную свободу австрийским нацистам. Затем он понял, что просчитался, и решил провести референдум о сохранении Австрией независимости, запланировав его на 13 марта. Гитлер был в ярости и приказал войскам начать вторжение. Предвидя свое поражение, Шушниц подал в отставку 11 марта. Когда нацистские войска следующим утром вошли на территорию Австрии, сделав ее одной из провинций рейха, австрийская армия не оказала никакого сопротивления.

Шрёдингер был известен как противник нацизма и близкий друг Эйнштейна. Испытанная неприязнь к политике, он вообще не видел необходимости прилюдно сообщать о своих взглядах. В Граце, где нацисты были довольно популярны, он не распространялся о своих убеждениях. Тем не менее за несколько недель до аншлюса Шрёдингер делал в Вене доклад о работе Эддингтона, в заключение которого осудил стремление одних государств господствовать над другими. Сразу поняв, о какой доминирующей державе он говорил, публика восторженно ему зааплодировала.

После прихода к власти в Австрии нацисты быстро начали «очищать» университеты от социалистов, коммунистов, пацифистов, австрийских националистов и всех, кто был в политической оппозиции. Из университетов и с других государственных должностей были уволены все евреи. Тирринг, ярый пацифист, сразу потерял работу. Шрёдингер, конечно, понимал, к чему все это может привести.

Шрёдингеру надоело быть бродяжничающим исследователем, и он решил, что изо всех сил постарается сохранить свое профессорство, чего бы ему это ни стоило. Поскольку у Хан си было еврейское происхождение, он разорвал с ней отношения. Естественно, она была расстроена его бессердечным отношением. Он также пошел к назначенному нацистами ректору университета Граца Хансу Райхельту и попросил у него совета. Райхельт предложил Шрёдингеру написать письмо с заявлением его лояльности рейху и отправить его в сенат университета. Опасаясь увольнения, он согласился.

К огромному стыду Шрёдингера, его заявление о поддержке аншлюса было отправлено во все газеты рейха и опубликовано 30 марта. Зарубежные ученые вскоре узнали об этом из публикации в журнале *Nature*. Бывшие коллеги Шрёдингера были поражены, прочитав его «исповедь», которая звучала так, будто ее писал новоиспеченный гитлеровец. «Вплоть до последнего момента я не понимал истинную волю и... судьбу моей страны, — писал Шрёдингер. — Голос крови призывает [бывших сомневающихся] обратиться к своему народу и тем самым найти свой путь обратно к Адольфу Гитлеру»^[118].

В апреле, видимо, надеясь набрать дополнительные баллы лояльности, Шрёдингер отправляется обратно в Берлин на конференцию, посвященную восьмидесятилетию Планка. Его участие

в конференции давало шанс повернуть время вспять и восстановить репутацию в немецком физическом сообществе.

Тем не менее выражение солидарности с режимом не помогло Шрёдингеру. Вскоре после возвращения в Грац он узнал, что лишен своей почетной должности в Вене. К августу того же года он лишился позиции профессора в Граце. Фашисты не считали Шрёдингера достаточно благонадежным, чтобы сохранить ему такой высокий статус. Из-за своей фаустовской сделки с гитлеровским режимом он только отправился в чистилище, лишившись всех академических постов.

Пока, прощай, ауфвидерзеен, адьё

Голливудская экранизация мюзикла «Звуки музыки», рассказывающая историю бегства из Австрии одной семьи, содержит некоторые вольности. В то время как вымышленная семья певцов фон Трапп тайно перебралась через горы в Швейцарию, реальные фон Траппы мирно уехали от нацистского режима, воспользовавшись своими связями в Италии. Георг фон Трапп имел итальянское гражданство, что позволяло семье свободно передвигаться по этой стране на поезде, далее уехать в Лондон и, наконец, в Америку, где они провели уже запланированный концертный тур.

Аналогичным образом, после того как Шрёдингер потерял свои университетские должности и решил, что пришло время ему и Энни покинуть родную землю, Италия оказалась подходящим путем к отступлению. Впрочем, их побег прошел гораздо более тяжело, чем у семьи фон Трапп. С одной стороны, хоть он и получил предварительное предложение новой работы, ее условия были очень расплывчатыми. Кроме того, поскольку Австрия больше не была независимой страной, у него не было надлежащих проездных документов.

Спасителем Шрёдингера оказался тот, с кем он даже ни разу не встречался, — Имон «Дэв» де Валера, премьер-министр Ирландии. Он родился в Соединенных Штатах, мать его была ирландкой, отец кубинцем. Когда ему было два года, семья переехала в Лимерик, в Ирландию. После изучения математики в Королевском университете в

Дублине, где он познакомился с работами Уильяма Роуэна Гамильтона, де Валера читал лекции в колледже Св. Патрика в Мейноте и других университетах по всей Ирландии. В 1916 году растущее чувство обиды на то, насколько подавлена была ирландская культура, заставило его присоединиться к ирландским добровольцам и принять участие в Пасхальном восстании против британского правления во имя провозглашения демократической Ирландской республики. Он командовал третьим батальоном из Боланд-Милл, большого мучного склада в Дублине.

Значительно уступая по численности и вооружению английским войскам, ирландские добровольцы были вынуждены сдаться. Де Валера и другие лидеры были захвачены в плен и все, кроме одного, казнены. Де Валера остался жив, возможно, потому, что у него было американское гражданство. Либо, может быть, потому, что от англичан потребовали остановить казни. После года тюремного заключения он вернулся в Ирландию, чтобы возглавить партию Шинн Фейн (Sinn Féin) и содействовать созданию благоприятных условий для независимости Ирландии. Из-за разногласий с Шинн Фейн по поводу переговоров с Великобританией он в конце концов сформировал партию Фианна Файл (Fianna Fail) и стал премьер-министром.

В 1937 году де Валера как лидер партии практически в одиночку написал ирландскую конституцию и определил для страны курс на нейтралитет и отделение от Великобритании. Будучи математиком, он был сильно обеспокоен ухудшением работы бывшего научно-исследовательского центра Гамильтона Дансинкской обсерватории, видя в этом символ упадка. Он хотел не только вновь прославить Ирландию, но и сделать ее ведущей державой в области математики и других наук. Для этой цели де Валера решил основать Дублинский институт перспективных исследований (DIAS) по образцу IAS в Принстоне. Но кто являлся равноценной Эйнштейну фигурой?

Узнав об увольнении Шрёдингера из Венского университета, Дэв решил, что тот — идеальный кандидат на должность ведущего профессора в новом институте. Поскольку было бы неразумно обращаться к Шрёдингеру напрямую, так как это могло бы насторожить нацистов, Дэв решил прозондировать почву через сеть контактов. Он поговорил с математиком из Эдинбурга Э. Т. Уиттекером, который был одним из его преподавателей в Дублине.

Уиттекер передал послание своему коллеге Борну. Борн написал Ричарду Баеру другу Шрёдингеру, жившему в Цюрихе. Баер попросил своего голландского друга поехать в Вену и сообщить о предложении Дэва. Друг, не найдя Шрёдингера в Вене, поскольку в то время они были в Граце, оставил послание матери Энни. Наконец, мать Энни отправила короткое письмо о предложении де Валера. Эрвин и Энни прочли записку три раза, а затем сожгли ее.

Эрвин знал, что другого выбора, кроме как принять предложение, у него нет. В глубине души он по-прежнему надеялся получить постоянную должность в Оксфорде. Но он понимал, что из-за финансовых проблем и враждебного отношения к нему Линдеманны это маловероятно. Его «исповедь Гитлеру» еще больше разозлила Линдеманны. Энни поехала в город Констанц, на границе со Швейцарией, где встретила Баера и передала, что Эрвин согласен на переезд в Дублин. Баер написал Борну, который сообщил об этом Уиттекеру. Уиттекер, в свою очередь, передал хорошую новость де Валера.

14 сентября Эрвин и Энни бежали из Граца. Опасаясь, что таксист может их сдать, Энни отвезла все вещи на вокзал на своей машине, а затем оставила машину в гараже и попросила, чтобы ее вымыли. Это был последний раз, когда она видела свой автомобиль. Всего лишь с десятью марками в кармане они сели в поезд до Рима.

Приехав в Вечный город, Шрёдингер хотел написать де Валера, а также Линдеманны, чтобы дать им знать о своем новом положении. Он хотел сообщить, что принимает предложение де Валера, а также собирается попросить Линдеманны остаться перед этим на некоторое время в Оксфорде. Ферми, который в то время был профессором в Римском университете, сказал Шрёдингеру, что все его письма могут перлюстрироваться. Поскольку Шрёдингер был членом Папской академии наук, Ватикан казался ему более безопасным местом. В окружении красот Ватикана он написал оба письма и адресовал их де Валера, в Лигу Наций, в Женеву. Де Валера в то время был президентом этой международной организации. Два дня спустя де Валера позвонил им и пригласил в Женеву для обсуждения деталей. Он передал Шрёдингеру разрешение на въезд от ирландского консула, билеты первого класса и деньги на расходы.

Эрвин и Энни с нескрываемым волнением сели на швейцарский экспресс. На границе они сильно испугались, когда таможенник, держа в руках листок бумаги с их именами, попросил их выйти из поезда и отдельно друг от друга пройти личный досмотр. Энни очень сильно нервничала, когда ее сумки и другие личные вещи поставили под рентгеновский аппарат, в то время как офицеры подозрительно смотрели на нее. К счастью, им разрешили вернуться в поезд и продолжить путь до Женевы, где Дэв тепло их приветствовал. Пробыв с ним три дня и обсудив планы института, Шрёдингеры направились в Англию.

Приехав в Оксфорд, Эрвин был сильно разочарован холодной встречей Аиндеманна. Линдеманн не мог простить ему пронацистские заявления. Не помогло и утверждение Шрёдингера, что это никого не касается и что он просто сделал то, что должен был сделать. К счастью, помощь Аиндеманна ему не потребовалась, поскольку вскоре он получил предложение на один год занять должность в Университете Гента в Бельгии. Учитывая, что дублинский институт еще находился в стадии планирования и дата его открытия не была известна, Шрёдингер воспользовался предоставившейся возможностью.

В ожидании открытия института

Шрёдингер узнал больше о планах премьер-министра во время своего краткого визита в Дублин 19 ноября. Предполагалось, что институт будет включать в себя Отделение теоретической физики и Отделение кельтских исследований. Шрёдингер поднял вопрос о своих собственных интересах. В том числе спросил, смогут ли Хильде, Рут и Энни присоединиться к нему в Ирландии^[119]. Эта просьба была весьма необычной, учитывая, что Хильде была замужем.

Де Валера не возражал, поскольку просьба Шрёдингера была наименьшей из его забот. Ему нужно было получить одобрение Дойла (ирландского парламента) на создание института — процесс, на который уйдут месяцы политических баталий. Пока Шрёдингеры были в Генте, Дэв вынужден был доказывать членам парламента, например генералу Ричарду Мулкахи, представителю оппозиционной партии «Фине Гэл», важность института. Оппозиция считала институт

ненужным, поскольку в Ирландии уже были хорошие университеты, требовавшие финансирования. Критики Дэва высмеивали идею объединения столь разных областей исследований, как теоретическая физика и кельтские исследования, в одном институте. По-видимому, единственное, что их объединяло, это увлеченность премьер-министра и той и другой. Может быть, следует просто отказаться от физического факультета, говорил Мулкахи.

Дэв парировал, что одно направление могло бы подкреплять репутацию другого. Напоминая о наследии Гамильтона, он размышлял о том, что серьезные научные достижения могли бы вернуть Ирландии прежнюю славу и уважение. Поскольку партия «Фианна Файл» имела в парламенте большинство, он понимал, что в конце концов его законопроект будет принят. Его аргументы скорее были направлены на тех, кто занимал выжидательную позицию и еще не определился.

Узнав о дебатах, особенно о предложении отказаться от физического направления института, Шрёдингер занервничал. Но Дэв заверил его, что в итоге все будет хорошо, нужно просто немного подождать. Поскольку никаких других вариантов не было, Шрёдингеру пришлось довериться Дэву.

Одним из приятных событий года, проведенного Шрёдингером в Генде в ожидании места в Дублине, было знакомство с Жоржем Леметром, бельгийским теоретиком и священником, который первым выдвинул идею о том, что Вселенная расширяется из чрезвычайно плотного состояния. Эта идея позже стала известна под названием теории *Большого взрыва*. Шрёдингер был рад представившемуся шансу помочь с расчетами и показать, что определенные сценарии расширения Вселенной приводят к возникновению материи и энергии. Результаты его расчетов предвосхитили теорию стационарной Вселенной в космологии, выдвинутую Фредом Хойлом, Томасом Голдом и Германом Бонди в конце 1940-х годов, а также современные представления о том, что большая часть материи Вселенной возникла на ранней стадии Большого взрыва, в эпоху инфляции.

Ожидая переезда в Дублин, Шрёдингер обратился к религиозным и философским вопросам, к Спинозе, Шопенгауэру и Веданте. По неопубликованным рукописям, которые он привезет с собой в Дублин, понятно, каким образом его идеи касательно поиска естественного порядка развились в систему убеждений, сильно напоминающую

космическую религию Эйнштейна. Как писал Шрёдингер, «в науке загадку нам задает не кто иной, как Господь. Он не только ставит задачу, но также задает правила игры, — однако они полностью неизвестны, половину из них он скрыл от нас, чтобы мы их открыли или вывели сами» ^{120}.

К сентябрю 1939 года контракт в Генте истек, Шрёдингеру пришлось время покинуть Бельгию. Хильде и Рут переехали к Эрвину и Энни в их дом, а Лртура они оставили в Инсбруке. При этом возникло несколько трудностей. С одной стороны, вопрос с дублинским институтом до сих пор не был решен. Кроме того, после вторжения нацистов в Польшу началась Вторая мировая война. Шрёдингер не только оказался в очередной раз безработным, но и с точки зрения союзников технически он был гражданином вражеского государства. Это оказалось большой проблемой, потому что ему нужно было проехать через Великобританию, чтобы попасть в Ирландию. К счастью, некоторые из его благодетелей, в том числе де Валера и неожиданно любезный Линдемманн, помогли ему и его «расширенной» семье оформить все необходимые документы, чтобы пересечь Великобританию и добраться до Дублина. Шрёдингеры прибыли туда 7 октября.



*Резиденция Эрвина Шрёдингера на Кинкора-роуд в пригороде Дублина в
Клонтарфе. Фото Джо Мехиган*

Только 1 июня 1940 года Доил окончательно принял закон об учреждении дублинского Института перспективных исследований. Первое заседание его правления состоялось в ноябре того же года. Главной причиной задержки стала война. Пока Шрёдингер ждал, де Валера помог ему получить временную должность профессора в Ирландской королевской академии и ставку преподавателя в университетском колледже Дублина.

Между тем Шрёдингер и его семья нашли себе пристанище на Кинкора-роуд, 26, — в тихом пригороде Клонтарфе. Это был прекрасный район недалеко от Дублинского залива. Как заядлому

велосипедисту Эрвину очень нравилось, что дом находится достаточно близко от центра города.

По словам ирландского историка культуры Брайана Фаллона, «создание дублинского Института перспективных исследований в 1940 году стало эпохальным событием»^{121}. Это было важной вехой в том, что называется «гэльским Ренессансом». Кто сможет управлять Отделением теоретической физики лучше, чем человек эпохи Возрождения, такой как Шрёдингер? Когда институт, наконец, открыли, наверное, не было никого счастливее Дэва.

Глава 6

УДАЧА ИРЛАНДЦЕВ

[Теория Эйнштейна и Эддингтона] не работала, они бросили ее. Почему она должна работать сейчас? Является ли это следствием ирландской атмосферы? Ну да, а может быть, это очень благоприятный климат Меррион сквер, 64, где есть время, чтобы подумать.

Эрвин Шрёдингер. «Законы окончательной аффинной теории поля»

Никогда в науке не полагайтесь на авторитет. Даже самый гениальный человек может ошибаться — есть ли у него одна Нобелевская премия, две или нет ни одной.

Эрвин Шрёдингер. «Законы окончательной аффинной теории поля»

В самом сердце Дублина располагается аккуратный зеленый анклав, уютно окруженный рядами больших домов в георгианском стиле. Расположенный рядом с Тринити-колледж, правительственными зданиями и музеями, Меррион-сквер прекрасно подходил для Дублинского Института перспективных исследований (DIAS). В качестве тихой гавани для ученых де Валера удачно выбрал два основных направления института: факультет кельтских исследований и факультет теоретической физики. Позже на противоположной стороне сквера будет построен факультет космической физики.



Меррион-сквер, 64–65, в Дублине, где находился факультет теоретической физики. Офис Эрвина Шрёдингера. Фото Джо Мехиган

Впервые за много лет Шрёдингер чувствовал себя в безопасности и уважаемым человеком. У него было достаточно времени на исследования в новых для него областях, например в биологии, что привело к написанию влиятельной книги «Что такое жизнь?». Гордясь своим блестящим новобранцем, Дэв приводил весь кабинет на многочисленные лекции Шрёдингера.

Благодарный приютившей его стране и де Валера за внимание, Шрёдингер стремился стать экспертом во всех важных для Ирландии вопросах. Он увлекся кельтскими мотивами. Гости любовались его наборами миниатюрной мебели, которые он мастерил и украшал сам и даже ткал для них ткань на ирландском станке. Он пытался выучить гэльский язык и даже держал у себя на столе учебник ирландского языка. Хотя Шрёдингер знал другие языки, он испытывал проблемы с ирландской грамматикой и в конечном итоге сдался. Тем не менее многие из ирландских коллег высоко оценили затраченные усилия.

Прежде всего, он порадовал дублинцев, рассказав им, как сильно ему нравится Дублин по сравнению с высокомерным Оксфордом.

Шрёдингер активно участвовал в жизни института и дружил со многими коллегами. Поскольку Шрёдингер, как правило, работал до поздней ночи, он не любил вставать рано утром. Тем не менее обычно Эрвин добирался на своем велосипеде до DIAS вовремя; чтобы успеть насладиться со своими коллегами-учеными утренним чаем и приятной беседой^{122}.

У Шрёдингера было множество причин чувствовать себя комфортно и безопасно. Живя в нейтральной стране, он смог избежать всех ужасов войны и опасности; связанной с выражением политических взглядов. Кроме того, с таким могущественным наставником и покровителем; как де Валера, он мог свободно продолжать вести свой необычный образ жизни.

Де Валера не только занимал пост премьер-министра Ирландии; он также был основателем и владельцем одной из ведущих общенациональных газет — *Irish Press*. Позиции, выражаемые газетой; как правило; совпадали с интересами де Валера, который входил в редакционную коллегию. Гораздо позже, после большого скандала выяснилось, что он составил устав газеты таким образом, чтобы основная часть ее прибыли распределялась между ним и его семьей, а не тысячами акционеров из США и Ирландии. Корпорация была создана таким образом, чтобы почти все инвесторы владели фиктивными акциями, не приносящими дивидендного дохода, в то время как Дэв и члены его семьи владели реальными акциями и богатели^{123}.

Журналисты газеты работали в стесненных условиях и атмосфере хаоса. В целом до определенной степени они понимали, что это часть их работы — представлять Дэва и его друзей в самом лучшем свете. Возможно, по этой причине (наряду с его природным талантом и очарованием, поразившим журналистов) Шрёдингер часто получал лестные отзывы, обычно публиковавшиеся на первой или второй полосе.

Возьмем, к примеру, несколько статей о быте Шрёдингера, опубликованных в *Irish Press*. В ноябре 1940 года статья «Профессору себя дома» превозносила его как «величайшего ученого в области

математической физики из всех, известных миру сегодня». Журналист представлял себе Шрёдингера человеком надменным и равнодушным, однако когда он «услышал веселый голос мягко говорящего человека с необыкновенным чувством юмора, открывшего дверь в одном из пригородных районов Дублина», журналист «понял, что ошибался». Перед ним «стоял вполне человеческий индивидуум»^{124}.

Хотя Эйнштейн был не менее известен, его морские прогулки освещались в прессе только в том случае, если что-то шло не так, как, например, в 1935 году, когда парусник сел на мель у побережья Коннектикута. Для *Irish Press*, напротив, даже тот факт, что Шрёдингер ушел в отпуск, был хорошим информационным поводом. Например, когда в августе 1942 года Эрвин решил совершить поездку на велосипеде в графство Керри, газета опубликовала очередной сюжет^{125}.

В другой статье — «“Атомный человек” у себя дома: профессор Эрвин Шрёдингер берет выходной», опубликованной в феврале 1946 года» описывалась семейная жизнь Шрёдингера с Энни, Хильде и Рут. Ничто в статье не указывало на необычность ситуации. В ней цитировалось, но не подвергалось сомнению выдуманное Шрёдингером объяснение причин пребывания Хильде и Рут в Ирландии. Показывая на Рут, только что обыгравшую его в шахматы, Шрёдингер говорил: «Она и ее мать, госпожа Марх, были с нами в Бельгии, когда началась война. Мы взяли их с собой»^{126}.

Рут большую часть времени жила в Дублине и пользовалась вниманием сразу трех родительских фигур. Однажды хороший друг спросил ее, почему у нее две матери, а «отец» (имея в виду Артура) с ними не живет^{127}. Рут не знала. Для нее это было совершенно нормально. Она была очень привязана к своему псу Буши (что-то наподобие клички «Дружок»), колли из гор Уиклоу, которого они взяли еще щенком. Рут очень расстраивалась, когда Буши был вместе с учебной сиреной во время войны. Она горевала после смерти Буши, но в целом вспоминала годы, проведенные в Ирландии, как «довольно однообразные»^{128}.

Поскольку де Валера был покровителем Шрёдингера, Эрвин мог не опасаться скандалов, связанных с личной жизнью. Если уж на то пошло, он считал себя вправе ухаживать за другими женщинами. Пока

Энни и Хильде заботились о Рут и домашнем хозяйстве, Эрвин крутил романы на стороне. Но все это не предавалось гласности, как он писал в своем дневнике. Публично он был «большим мозгом» — так окрестила его пресса.

Каждый рабочий день Шрёдингер ездил на велосипеде из своего ухоженного загородного дома в комфортный офис и обратно. Он часто брал отпуск и должен был прочитать за год всего несколько лекций. Мысли его свободно бродили по чудесной стране теоретической физики. В военные годы, когда многие из коллег Шрёдингера испытывали острую нужду, де Валера обеспечил Эрвину очень комфортную жизнь.

При всей удаче такого положения было совершенно ясно, что долг придется возвращать. От Шрёдингера ожидалось, что он прославит институт и ирландскую науку в целом. Когда Эйнштейн получил назначение в Берлин, то беспокоился о том, не стал ли «курочкой», которая вполне может потерять способность «нести яйца» ^{129}. Шрёдингер тоже столкнулся с подобным требованием доказывать успешность, причем лидер страны еще и все время заглядывал ему через плечо. Его рассматривали как надежду Ирландии на международное признание в физике, как ее «нового Гамильтона», единственного гражданина Ирландии — лауреата Нобелевской премии, равного самому Эйнштейну. Пресса всячески обыгрывала этот образ, установив для Шрёдингера неподъемно высокую планку.

Но стремление к творчеству было также и внутренней потребностью Шрёдингера. Ему надоела рутина, он любил ставить перед собой сложные задачи и заново открывать себя. Ему нравилось представлять в образе человека эпохи Возрождения — возможно, даже преемника древнегреческих философов. Его активный ум устремлялся от одной темы к другой в поисках новых интеллектуальных приключений.

Многие физики, столкнувшиеся с необходимостью изменения физической парадигмы, пытались сотрудничать с коллегами. Однако в начале 1940-х годов возможности международного сотрудничества были ограничены. Хотя Шрёдингер и был хорошо известен в физическом сообществе, большинство физиков занимались военными разработками. Теоретическая физика переключилась на новые направления, такие как ядерная физика и физика элементарных

частиц. Интересы Шрёдингера разошлись с интересами большинства ученых.

Почему-то DIAS, хотя и располагался в самом центре города, был долгое время изолирован от других ирландских научных учреждений. Как отметил Леопольд Инфельд, бывший ассистент Эйнштейна, в ходе своего визита в 1949 году, «институт, который привлекает студентов со всего мира, принес Ирландии множество научных достижений. Тем не менее его влияние на собственную страну, на интеллектуальную жизнь ирландцев, на университеты очень невелико»^{130}.

Посмешище

В то время как Шрёдингер пользовался успехом у *Irish Press*, одна из конкурирующих газет, *Irish Times*, хотя и относилась к нему уважительно, но все же была менее щедра на похвалу. *Irish Times* сохраняла критический взгляд на администрацию де Валера и его политику. В своем стремлении быть независимой и открытой ей часто приходилось иметь дело с государственной цензурой и обвинениями в клевете.

С точки зрения противников Дэва, особенно из консервативной партии, DIAS был тщеславным проектом амбициозного лидера, который вообразил себя равней лучшим в мире математикам, физикам и другим ученым. Поэтому *Irish Times* относилась к этому институту с меньшим пиететом, чем *Irish Press*. Пока газету не усмирили угрозами исков о клевете, один ее обозреватель даже высмеивал научные разработки института на манер Джонатана Свифта, изображая его научные исследования как нелепые и бессмысленные, похожие на летающий остров Лапута из «Путешествий Гулливера».

В апреле 1942 года в юмористической колонке *Irish Times* под названием Cruiskeen Lawn (на дублинском сленге это означает полный кувшин виски) появилась сомнительная статья. Написанная язвительным, одаренным богатым воображением писателем Брайаном О'Ноланом, творившим под псевдонимом Myles na gCopaleen, колонка транслировала презрительный взгляд на современную жизнь Ирландии. Имевший неподдельный интерес любителя к науке и философии, бегло говоривший по-гэльски О'Нолан внимательно

следил за всеми сообщениями, поступающими из DIAS. Он с любопытством отметил, что профессор Ф. О'Рэйли с факультета кельтских исследований высказал предположение, что св. Патрик был сплавом двух разных людей. Это выглядело довольно странным для него — пожалуй, даже кощунственным.

О'Нолан также вспомнил, что в 1939 году Шрёдингер прочитал доклад перед Метафизическим обществом университета Дублина, который назывался «Некоторые рассуждения о причинности». Как обычно, Шрёдингер уклонился от прямого ответа на вопрос, является ли Вселенная каузальной. Наконец, поняв, что в обсуждении этого вопроса его носит взад и вперед, как качели во время сильного ветра, он процитировал испанского писателя Мигеля де Унамуно, который сказал, что «человека, которому удалось никогда не противоречить самому себе, решительно можно подозревать в том, что он вообще ничего не говорил»^{131}.

В конце речи президент общества, преподобный А. А. Люс, поблагодарил Шрёдингера за то, что тот не исключил свободную волю, и назвал его «современным Эпикуром». О'Нолан, однако, придерживался иного мнения и неверно интерпретировал сомнения Шрёдингера относительно каузальности Вселенной как сомнения по поводу того, есть ли у нее «первопричина». Иными словами, по мнению О'Нолана, он открыл дверь агностицизму. Без первопричины в существовании Бога нет необходимости.

Язвительная колонка О'Нолана, посвященная DIAS, называла два выступления Шрёдингера примерами неслыханно еретических направлений для исследований, не соответствующих миссии института. «Первым результатом этого института, — писал он, — была демонстрация того, что существует два святых Патрика, а Бога нет. Распространение ереси и безверия не имеет ничего общего с классическим образованием, и если мы не будем осторожны с этим институтом, он выставит нас посмешищем перед всем миром».

Также О'Нолан назвал институт «печально известным», отметив: «Господи, да я бы все отдал за то, чтобы в нем работать... за “работу”, которую большинство людей считают отдыхом»^{132}.

Шрёдингер воспринял комментарии О'Нолана благодушно, оценив юмор, однако руководство DIAS было в ярости. Оно потребовало от *Irish Times* извинений. Редактор газеты выполнил требование и

пообещал, что О'Нолан никогда больше не упомянет институт в своей колонке.

Но не только Шрёдингер стал научной мишенью О'Нолана. После того как в июле 1942 года Эддингтон провел в DIAS семинар по теории объединения, упомянув, что теория относительности по-настоящему понятна лишь немногим людям, О'Нолан предложил в своей колонке преподавать ее на гэльском языке ирландским школьникам. Вместо того чтобы «безграмотно писать на двух языках», шутил О'Нолан, они могли бы стать «невеждами в четырех измерениях»^{133}.

О'Нолан был еще и романистом, публиковавшим свои произведения под псевдонимом «Фланн О'Брайен». Один из его самых известных романов, «Третий полицейский», был написан в период между 1939 и 1940 годами, то есть совпал со временем переезда Шрёдингера в Ирландию и его докладом о причинности во Вселенной. На протяжении всей своей жизни О'Нолан так и не смог найти издателя; роман был впервые опубликован посмертно в 1967 году.

Закулисный персонаж романа, необычный ученый по имени де Селби, появляется только в сносках. Де Селби выдвигает странные теории о природе, в том числе любопытное объяснение ночи, которая якобы представляет собой «черный воздух», возникающий вследствие извержений вулканов и сжигания угля^{134}.

Насмешки О'Нолана над глупыми научными размышлениями анализировали многие литературоведы. Вполне вероятно, что персонаж де Селби был, по крайней мере отчасти, списан с того, чье имя начинается с «де»: интеллектуала де Валера. Впрочем, не исключено, что Эйнштейн и Шрёдингер также повлияли на этот образ.

Гамильтонова печать

Ни один математик не был так мил сердцу де Валера, как Гамильтон. Для всего мира 1943 год был годом разрухи. Немецкие и советские войска бились за Сталинград. Евреи варшавского гетто подняли восстание, которое было жестоко подавлено войсками СС. Однако для де Валера 1943 год был годом празднования столетия

кватернионов — математических объектов, изобретенных Гамильтоном в Ирландии.

Кватернионы являются четырехкомпонентным обобщением комплексных чисел. Комплексные числа, имеющие одну вещественную и одну мнимую (умноженную на квадратный корень из -1) компоненту, могут быть представлены как точки на двумерной плоскости. Гамильтон хотел найти математический эквивалент для точек в трехмерном пространстве. Озарение случилось, когда Гамильтон шел через мост Брум Бридж в Дублине. Он понял, что ему потребуется не три компоненты, а четыре. Определение кватернионов мгновенно пришло ему в голову, и он тотчас вырезал уравнения на перилах моста.

Ирландское правительство, возглавляемое де Валера, выпустило серию почтовых марок, посвященных Гамильтону и его открытию. В ноябре того же года де Валера устроил торжественный прием, предложив международному сообществу присоединиться к празднованию. Однако из-за войны лишь немногие иностранные ученые смогли принять в нем участие.

Почему де Валера был настолько одержим чистой математикой в самый разгар мировой войны? Даже несмотря на то что Ирландия сохраняла нейтралитет, ее экономика сильно пострадала. Как и во многих других странах, в Ирландии были введены продовольственные карточки, и страна испытывала сильнейший дефицит во многих вещах. Тем не менее Дэв проявлял странное упорство в отстаивании личных интересов, которое обескураживало его критиков.

Англо-ирландский аристократ лорд Гранард однажды после встречи с де Валера заметил, что тот находится «на грани гениальности и безумия». Это, конечно, можно сказать о многих людях, сосредоточенных на какой-то идее. Вопреки всем трудностям и несмотря на свои странные цели, Дэв оставался популярным политиком, напоминаям оторванного от жизни, но все равно уважаемого учителя, который всегда, кажется, заботится об интересах своих учеников.

Празднование столетия кватернионов означало дополнительное давление на Шрёдингера. От него ожидали, что он станет новым Гамильтоном и выведет Ирландию на международный научный уровень. Пригласив в DIAS Эддингтона наряду с другими

знаменитостями, такими как Дирак, он добился подъема престижа страны. Шрёдингер также помог заполучить известного физика Вальтера Гайтлера, увеличив тем самым интеллектуальный потенциал факультета теоретической физики. Тем не менее он должен был оправдывать лившиеся на него из редакции *The Irish Press* хвалебные слова: «Человек, делающий больше всего для продолжения традиции Гамильтона, — это профессор Эрвин Шрёдингер»^{135}.

С учетом того, что Эйнштейн служил эталоном гения, Шрёдингер выбрал для себя парадоксальную стратегию, бравируя своими связями с уважаемым физиком и при этом мягко занижая его достижения. Подобно Зоммерфельду, читавшему письма Эйнштейна вслух на своих лекциях, Шрёдингер сумел дать понять своим коллегам и прессе, что он состоял в переписке с Эйнштейном. Тем не менее мотивы Зоммерфельда и Шрёдингера различались. Зоммерфельд полагал, что слова Эйнштейна вдохновят студентов. Шрёдингер же похвалялся своей дружбой с ним. «Письма, которыми обмениваются эти два выдающихся ума, испещрены таинственными алгебраическими формулами, еще более притягательными, чем Лана Тернер», — отмечала пресса, имея в виду известную голливудскую актрису^{136}.

Несмотря на дружбу с Эйнштейном, Шрёдингер не был к нему снисходителен. На праздновании юбилея Гамильтона Шрёдингер заметил: «Принцип Гамильтона стал краеугольным камнем современной физики, тем, чему должно подчиняться любое физическое явление. Когда некоторое время назад Эйнштейн предложил идею “теории без принципа Гамильтона”, это вызвало сенсацию... На самом же деле она оказалась провальной»^{137}.

Шрёдингер в то время придерживался «квантовой суперпозиции взглядов», которая сочетала отношение Эйнштейна к Гейзенбергу и отношение Гейзенберга к Эйнштейну. Вместе с Эйнштейном он будет критиковать тех, кто верит в вероятность (например, Гейзенберга), за то, что они потеряли связь с реальным опытом. Парадокс кота Шрёдингера является хорошей иллюстрацией такого рода критики. Однако когда Шрёдингер считал, что Эйнштейн его не услышит, он утверждал, что стареющий физик уже потерял хватку — ту самую, которой обладал Гейзенберг. Пройдет еще четыре года, прежде чем Эйнштейн в полной мере осознает, как сильно им манипулировали.

Принстонский отшельник

В годы войны Эйнштейн вел довольно уединенный образ жизни. Даже в Принстоне, относительно небольшом городке, с ним были знакомы очень немногие. После смерти Эльзы никто не заставлял его хорошо одеваться или стричься. Вместе с несколькими ассистентами он продолжал свою уединенную борьбу за объединение.

Эйнштейн писал своему другу по Берлину доктору Хансу Мюзаму, который в период британского мандата в Палестине переехал в Хайфу: «Я стал одиноким стариком. Своего рода почтенным персонажем, известным в первую очередь тем, что он не носит носки и появляется на людях в очень странном виде. Но в своей работе я более фанатичен, чем когда-либо, и я действительно лелею надежду на то, что я решу свою старую задачу объединения физических полей. Впрочем, это как летать в дирижабле, на котором можно отправиться в путешествие среди облаков, но непонятно, как вернуться к реальности, то есть на землю» ^[138].

В качестве примера отношения к Эйнштейну приведем юмористическую песенку, сочиненную выпускниками Принстонского университета 1939 года. Это был обычай студентов Принстона — подшучивать над своими профессорами. И хотя Эйнштейн никогда не был профессором университета, они скандировали следующие строки:

*Сквозь неевклидовую жуть,
Эйнштейн укажет верный путь.
Хоть он отшельником живет,
Ему лохматость не идет* ^[139].

Эйнштейн работал в Фулд-Холле, недавно возведенном главном здании Института перспективных исследований, построенном в колониальном стиле, и у него больше не было необходимости делить пространство с математическим факультетом в университетском кампусе. Ему также не приходилось иметь дело с Флекснером, который ушел с поста директора, — Флекснера сменил более мягкий Фрэнк Айделот. В загородной обстановке, в окружении акров леса с множеством лесных тропинок, Эйнштейн мог наслаждаться долгими

приятными прогулками со своими коллегами (такими, как недавно принятый в институт Курт Гёдель) и гостями.

Одним из таких гостей был Бор, с которым они не виделись много лет. Бор пробыл в Принстоне два месяца зимой 1939 года. Можно было бы ожидать, что друзья проведут время в дружеских беседах и взаимных шутках, но между ними царило разделявшее их мрачное молчание. Каждый был погружен в собственные мысли. Эйнштейн вместе с Бергманном и Баргманном отчаянно пытался найти пятимерное расширение общей теории относительности, имеющее реалистичные физические решения, Бора же тревожили более сложные проблемы. От австрийского физика Отто Фриша он только что узнал об успешных экспериментах Отто Гана и Фрица Штрассманна в Берлине, связанных с бомбардировкой урана нейтронами. Родная тетя Отто Фриша, физик-ядерщик Лиза Мейтнер, работала с ними над этим проектом, прежде чем бежать в Швецию из-за своего еврейского происхождения. Проанализировав полученные результаты, она и Фриш пришли к выводу, что ядерное деление (расщепление ядра) действительно возможно. После того как Фриш рассказал об этом Бору, тот пришел в ужас от мысли, что фашисты могут раскрыть секрет атомной бомбы. Действительно, во время войны Гейзенберг был поставлен во главе ядерного проекта, в котором также приняли участие Ган и другие ученые.

Бор вежливо порадовался вместе с Эйнштейном за его последние успехи на пути теории объединения, но его ум был занят более насущными делами. Он сидел со стеклянным взглядом и слушал основоположника общей теории относительности, поглощенного поисками призрачной «теории всего», которая, казалось, игнорирует все открытия с тех времен. Как в ней обстоят дела со спином? А с нейтронами? А с ядерными силами? Возможно, он пропустил все, за исключением последнего тезиса. В конце беседы Эйнштейн пристально посмотрел на Бора и сказал, что его цель — создать альтернативу квантовой механике. Бор отвел взгляд в сторону и не сказал ни слова ^{140}.

Через несколько месяцев после визита Бора Эйнштейн и сам оказался втянут в процесс создания атомной бомбы. В июле 1939 года, во время отпуска в восточной части Лонг-Айленда, два венгерских физика Лео Силард и Юджин Вигнер прибыли к нему домой с

грозным посланием. Они были серьезно обеспокоены тем, что нацисты начнут добывать уран в бельгийском Конго и использовать его для создания бомбы. Силард теоретически показал возможность цепной ядерной реакции, в которой нейтроны, испущенные при делении ядер определенного изотопа урана, вызывают распад следующих ядер, выделяя при этом значительное количество разрушительной энергии.

В августе Эйнштейн написал предостерегающее письмо президенту США Франклину Рузвельту. Силард перевел его на английский язык, а Эйнштейн подписал и отправил. Спустя два года Рузвельт подписал указ о создании Манхэттенского проекта — сверхсекретного проекта по разработке атомной бомбы, во главе которого встал Дж. Роберт Оппенгеймер. Хотя Эйнштейн никогда не имел доступа к секретной информации по Манхэттенскому проекту, во время войны ему неоднократно предлагали приложить руку к военным разработкам. Мир был расколот на множество частей, а Эйнштейн стремился вперед, к теории космического единства.

Потратив на теории объединения почти два десятилетия, обычно оптимистичный Эйнштейн начал отчаиваться. Например, в обращении к Американскому научному конгрессу в Вашингтоне 15 мая 1940 года он признался, что «задача кажется безнадежной, все логические подходы к описанию Вселенной заводят в тупик» ^[141].

И даже в такие мрачные моменты Эйнштейн все еще отказывался признавать, что миром правит случай. «Несмотря на то, что нет никаких сомнений в верности принципа неопределенности Гейзенберга, — сказал Эйнштейн на конференции, — я не могу поверить, что мы должны согласиться с точкой зрения, что законы природы аналогичны игре в кости».

Но подобная неуверенность будет мимолетной. Его искания были сродни поискам Северо-западного прохода: если один маршрут оказывался заблокированным, путешественники пытались найти другой путь. Музыка успокоит его дух, пока он будет планировать новые направления исследований. Затем он проведет консультации с ассистентами, возобновит свои усилия и пойдет новым курсом.

В 1941 году Эйнштейн, Бергманн и Баргманн опубликовали «лебединую песнь» — статью о пятимерной теории объединения. В этом же году Бергманн покинул Институт перспективных

исследований, чтобы занять должность в колледже Блэк-Маунтин. В конечном итоге он создал в Сиракузском университете влиятельную исследовательскую группу, работающую в области общей теории относительности, и начал развивать свои собственные варианты теории квантовой гравитации. Баргманн стал профессором математики в Принстоне. Эйнштейну опять пришлось искать себе новых помощников.

Бич Божий

Следующую свою работу по теории объединения Эйнштейн выполнил в соавторстве со своим старым другом и частым критиком Вольфгангом Паули. Паули считал своей святой обязанностью быть максимально честным, насколько это возможно, и с друзьями, и с врагами. Он с гордостью носил прозвище, которое дал ему Эренфест: die Geissel Gottes (Бич Божий). Паули даже иногда подписывал так свои письма. Эйнштейн высоко ценил подробный анализ Паули своих статей, но всегда должен был быть готов к беспощадной критике с его стороны. В некотором смысле Паули занимал важное место в его космической религии. За каждый «грех» неверного толкования «замысла Бога» относительно законов природы он терпел мученичество в виде насмешек Паули.

В 1940 году математический факультет Института перспективных исследований пригласил Паули стать его временным сотрудником. Руководство выбрало его вместо Шрёдингера (еще на стадии рассмотрения), поскольку считало, что так будет менее рискованно. Оно оценило Шрёдингера как «блестящего, но менее надежного, чем Паули». Еще в 1937 году сравнивая их относительные достоинства, университетское начальство сделало выбор в пользу Паули ^{142}.

Почему математический факультет IAS посчитал Шрёдингера «менее надежным»? Мог ли кто-то в руководстве знать о его необычной семейной ситуации? Поскольку он, по-видимому, обсуждал этот вопрос с президентом Принстонского университета, возможно, слухи дошли до соседнего института. В качестве альтернативной гипотезы можно предположить, что список публикаций Шрёдингера, в который наряду со статьями с математическими расчетами входили

философские работы, был расценен как слишком бессистемный. Как бы там ни было, Паули считался более предпочтительной кандидатурой.

Паули был рад покинуть бурлящую военную Европу и переехать в более спокойную часть света. Хотя Цюрих, где он работал, был сравнительно безопасен для человека еврейского происхождения, его близость к гитлеровскому рейху, конечно, не делала этот город идеальным. Поэтому Паули предпочел провести военные годы в Принстоне.

Эйнштейн решил воспользоваться тем, что работает под одной крышей с Паули в Фулд-Холл, и попытаться добиться «общего помещения» и для сил природы. Развив идеи, разработанные совместно с Бергманном и Баргманном, Эйнштейн приступил вместе с Паули к созданию пятимерной модели объединения. Это был один из немногих случаев, когда он работал с известным физиком, а не с ассистентом

Тщательный подход Паули привел их к несомненному выводу, что не существует физически реалистичных решений для таких моделей, которые были бы свободны от сингулярностей (бесконечных членов). Единственные решения, не содержащие сингулярностей, которые они смогли найти, оказались безмассовыми и электрически нейтральными, такими как фотоны, в то время как одной из целей объединения было описание поведения заряженных массивных частиц, таких как электроны.

В 1943 году Эйнштейн и Паули опубликовали совместную статью, в которой указали на отсутствие надежных решений. В то время как «пятимерная теория Калуцы выглядит довольно убедительной, — отметили они, — ее основания являются неудовлетворительными» ^[143].

Устремления Эйнштейна в многомерные пространства завели в тупик. Он решил отказаться от подхода Калуцы и Клейна и сосредоточиться на теориях со стандартным количеством измерений: тремя пространственными и одним временным. И хотя другие ученые взялись бы за теорию Калуцы — Клейна и попытались преуспеть в этом направлении, Эйнштейн посчитал, что он уже исчерпал ее возможности. Надпись «Не стирать» пришлось стереть с доски. Очевидно, настало время двигаться дальше.

Аффинное неистовство

По иронии судьбы, примерно в тот момент, когда Эйнштейн зашел в тупик, у Шрёдингера проснулся энтузиазм. Вдохновленный тремя теоретиками, которыми он восхищался — Эйнштейном, Эддингтоном и Вейлем, — Шрёдингер тоже решил попытать счастья. Он пересмотрел некоторые из своих ранних работ по общей теории относительности и единой теории поля и начал разрабатывать собственный подход.

Поскольку Эйнштейн и Шрёдингер были относительно изолированы в своих институтах, для них было естественно вести переписку о предметах, которыми они оба интересовались. Начиная с зимы 1943 года Шрёдингер стал регулярно писать Эйнштейну о возможности такого расширения общей теории относительности, которое включало бы в себя и другие силы. В канун Нового года он послал Эйнштейну некое подобие поздравления, которое мог написать только физик-теоретик. В письме были приведены уравнения общей теории относительности, выведенные с использованием лагранжева формализма, основанного на гамильтоновом принципе наименьшего действия. В постскриптуме Шрёдингер предлагал модифицировать лагранжиан и изучить полученные полевые уравнения.

Как мы уже писали, Гамильтон разработал принцип наименьшего действия и метод Лагранжа как способы описания движения, предполагающие, что объекты выбирают среди всех возможных траекторий наиболее эффективную, подобно тому, как пионеры, заселявшие территорию Америки, пересекали горные хребты самым быстрым способом, пытаясь свести к минимуму количество спусков и подъемов. Если принять во внимание рельеф и другие факторы, то самый прямой путь на карте может оказаться не самым быстрым и удобным. Аналогично, траектория частицы, движущейся в пространстве, зависит от ландшафта пространства, задаваемого потенциальной энергией. Количественное описание такого ландшафта содержится в лагранжиане, который используется для нахождения уравнений движения.

Как показал Гильберт, уравнения общей теории относительности можно вывести с помощью лагранжиана, который состоит из произведения двух скалярных величин (инвариантов преобразований

координат). Одна из них связана с метрическим тензором, который задает правило измерения расстояний между точками в пространстве, а другая — с тензором Риччи (и с тензором Эйнштейна, о котором говорилось ранее), описывающим кривизну пространства. И метрический тензор, и тензор Риччи могут быть представлены в виде матриц размером 4×4 . Каждый из них имеет шестнадцать компонент. Но из-за условий симметрии только десять компонент являются независимыми (остальные шесть дублируются). В стандартной общей теории относительности десять независимых компонент тензора кривизны связаны с десятью независимыми компонентами тензора энергии-импульса, представляющего материю и энергию. Иначе говоря, материя и энергия вызывают искривление пространства-времени, причем эта связь описывается десятью независимыми уравнениями.

Кривизна, однако, является лишь одной из характеристик геометрии пространства-времени. Чтобы узнать траектории движения тела в пространстве, необходимо знать еще компоненты метрического тензора, с помощью которого определяется расстояние от одной точки до другой. Эти компоненты задают видоизмененную версию теоремы Пифагора в любой области пространства. Как я уже описывал ранее, метрический тензор — это что-то наподобие навеса над раскаленным песком пустыни, он обозначает области, где песок опускается и поднимается (показывает кривизну) из-за разбросанных по пустыне камней (распределение материи и энергии). Для навеса необходимо построить каркас, который показывает, как шесты (локальные координатные оси) изгибаются при переходе от точки к точке. Связующим звеном для каркаса является аффинная связность. В стандартной общей теории относительности у аффинной связности шестьдесят четыре компоненты, но из-за условий симметрии оказывается, что только сорок из них независимы.

Таково стандартное описание гравитации Эйнштейна. Включение в теорию дополнительных компонент, связанных с электромагнетизмом, требует модификации уравнений посредством таких действий, как увеличение размерности пространства (которое Шрёдингер всерьез не рассматривал), введение дополнительных структур, например телепараллелизма (которые Шрёдингер также не рассматривал), или

ослабление требований симметрии и признание аффинной связности фундаментальной физической величиной.

Следуя путем Эддингтона, кратко описанным Эйнштейном в 1923 году, Шрёдингер решил ослабить требования симметрии и сосредоточиться на аффинной связности. Он назвал свой подход общей унитарной теорией (General Unitary Theory. Аббревиатура GUT будет позже использоваться для теории великого объединения — Grand Unified Theories, предполагающей объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий).

Еще до того как Эйнштейн успел ответить на новогоднее письмо, Шрёдингер приступил к работе над новой теорией. Он начал с наиболее общих возможных наборов аффинных связностей и использовал их для построения тензора Риччи и более эластичного лагранжиана. Такая гибкость открывала возможность включения в теорию компонент электромагнитного поля. Он также надеялся добавить в теорию компоненты, отвечающие за то, что он называл мезонным полем (а мы сегодня называем сильным взаимодействием), но решил пока оставить это для будущих исследований. Затем он использовал определенные математические свойства, чтобы ограничиться рассмотрением лагранжиана специального вида, что привело его к результату, отличному от лагранжиана Гильберта. Из его уравнений получались необычные следствия. Теория предсказывала, что магнитные поля (например, Земли или Солнца) убывают с увеличением высоты гораздо быстрее, чем это предполагает обычная теория. Это ослабление обусловлено неким аналогом «космологической постоянной» для электромагнетизма, подобным слагаемому, которое Эйнштейн много лет назад ввел в теорию гравитации. После того как Шрёдингер набросал основные идеи своей новой теории, он был готов представить результаты коллегам-ученым

Жизнь, Вселенная и всё такое

Первое представление общей унитарной теории Шрёдингера состоялось в Ирландской королевской академии 25 января 1943 года. Его статья будет опубликована примерно через пять месяцев в сборнике трудов академии. В своем докладе он объяснил, почему

решил продолжить работу, начатую, но не завершённую Эддингтоном и Эйнштейном. В год чествования Гамильтона Шрёдингер был рад воспользоваться методами ирландского математика, воздав таким образом ему ещё большую дань уважения.

Irish Press на все лады превозносила доклад, делая упор на то, что «Эйнштейна опередили». С заголовком «Впереди Эйнштейна» 1 февраля за подписью репортера Майкла Дж. Лолора вышла эпатажная статья, в которой он заявлял: «Профессор Эрвин Шрёдингер разработал настолько фундаментальную научную теорию, что по своей значимости ее можно сравнить со знаменитой теорией относительности Эйнштейна, которая произвела настоящую революцию в современной физике и изменила наши представления о природе Вселенной... Как говорится, Эйнштейн открыл новый мир человеческому разуму. А профессор Шрёдингер, основываясь в своих выводах на величественном здании общей теории относительности, сегодня сделал ещё один огромный шаг вперед. И этот шаг настолько велик, что, вполне может быть, со временем его новая теория будет играть такую же важную роль, как теория Эйнштейна в наши дни»^{144}.

На следующий день газета опубликовала интервью с несколькими ирландскими учеными, высказывавшими свое мнение о работе Шрёдингера. Доктор А. Дж. Макконнелл из Тринити-колледжа, один из тех, с кем удалось связаться репортерам, рукоплескал усилиям Шрёдингера в столь «трудные для института фундаментальной науки времена». Его коллега, профессор С. Х. Роу, описывал достижение Шрёдингера как «выдающееся событие в истории науки этой страны»^{145}.

На этот месяц у Шрёдингера были запланированы три публичные лекции на совершенно другую тему, а именно: «Что такое жизнь?». Хотя у него не было никакой специальной подготовки или опыта научных исследований в области биологии, в юности он перенял увлеченность отца наукой о живых организмах и хотел поделиться своими мыслями на эту тему.

Прибыв в Физический театр Тринити-колледжа для чтения первой лекции, он увидел, что зал настолько забит, что многие желающие даже не смогли в него попасть. Он согласился повторить лекцию несколько дней спустя для тех, кому не удалось поприсутствовать. Естественно, премьер-министр, его самый большой поклонник, среди

сотен пришедших сидел на самом видном месте. В конце лекции Шрёдингера ждали бурные овации.

Некоторые из ключевых идей Шрёдингера касались взаимосвязей между свойствами атомов и поведением живых существ. Указывая на то, что большинство естественных систем, как правило, стремится к увеличению энтропии (беспорядка), он показал, что жизнь сохраняет упорядоченность за счет поглощения энергии, например от Солнца. Он также предположил, что аperiодические кристаллы (неповторяющееся расположение атомов) сыграли важную роль в развитии жизни. Таким образом, он был одним из первых, кто предположил, что жизнь была закодирована в химических последовательностях. Книга Шрёдингера, основанная на этих лекциях, послужит источником вдохновения для биологов 1950-х годов, таких как Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик, которые будут разрабатывать модель двойной спирали ДНК.

Научно-популярные лекции привлекли внимание журнала *Time*, который сообщал, что «Шрёдингер — очень обаятельная личность. Его мягкая, веселая речь, его необычная улыбка просто очаровывают. И дублинцы гордятся тем, что лауреат Нобелевской премии живет среди них»^{146}.

Когда *Irish Press* впервые сообщила об общей унитарной теории Шрёдингера, журналисты послали Эйнштейну экземпляр статьи, чтобы узнать его мнение. Наконец в апреле Эйнштейн телеграфировал. Это был сдержанный, вежливый ответ. «Профессор Шрёдингер обладает очень осторожным и критически настроенным умом, — писал он, — так что его новая попытка решить эту колоссальную проблему должна быть весьма интересна каждому физику. На данный момент я не в состоянии сказать что-либо еще»^{147}.

В той же статье была опубликована реакция Шрёдингера на ответ Эйнштейна. «Конечно, профессор Эйнштейн не может сказать больше, пока он не увидит полноценную научную публикацию», — ответил он.

Этот обмен мнениями в прессе был достаточно любезным и на тот момент дружбе не угрожал. Однако по мере роста уверенности Шрёдингера в правильности своей теории его заявления о превосходстве над работами Эйнштейна становились все смелее и смелее.

Могила надежд Эйнштейна

На заседании Ирландской королевской академии 28 июня Шрёдингер в очередной раз взволновал своих коллег утверждением, что его общая унитарная теория получила экспериментальное подтверждение. Объяснив, что воскресил идею, от которой отказался Эйнштейн двадцать лет назад, Шрёдингер хвастался, что сделал то, чего не смог Эйнштейн. На заседании он прочел вслух одно из писем Эйнштейна, адресованное лично ему. В письме Эйнштейн называет свои ранние работы по аффинной теории «могилой своих надежд».

«Я думаю, что сейчас мы можем эксгумировать его надежды, — сказал Шрёдингер, — потому что в последнее время мне удалось обеспечить этой части теории довольно надежное эмпирическое подтверждение»^{148}.

В статье с заголовком «Эйнштейн потерпел неудачу» газета *Irish Press* безосновательно заявила, что Шрёдингеру удалось то, в чем Эйнштейн «признал свой провал». Статья вводит в заблуждение, поскольку в ней предполагается, что Эйнштейн уже давно отказался от попыток построения единой теории, в то время как дело обстояло прямо противоположным образом. Он часто признавал, что его ранние идеи были неверными, но по-прежнему сохранял надежду на конечный успех.

Каковы же были решающие экспериментальные доказательства теории Шрёдингера? На самом деле там не было ничего стоящего. Предполагаемое доказательство основывалось на данных наблюдений магнитного поля Земли. По иронии судьбы, компас, прибор, который Эйнштейн лелеял, как ребенка, стал символом попытки представить его идеи устаревшими. Исследования, на которые ссылался Шрёдингер, не были достаточно новыми — одно датировалось 1885 годом, а другое — 1922-м. Хотя уже были доступны более современные данные, Шрёдингер о них даже не упоминает. Например, в том же месяце, когда Шрёдингер читал свой доклад, геофизик Джордж Вуллард опубликовал статью, в которой систематически исследовал магнитный и гравитационный профили Северной Америки^{149}. Несмотря на это, Шрёдингер взял данные из старых пыльных книг.

Иногда геофизики находят расхождения между ожидаемым и реальным поведением магнитных силовых линий. Это, как правило, указывает на неизвестные ранее намагниченные структуры под поверхностью, такие как скальные породы с большим, чем обычно, содержанием магнитного железняка. Поэтому если геофизик обнаруживает аномальное отклонение стрелки компаса, он может начать искать пласты подземных пород, которые могут быть причиной этого.

Обычно значение магнитного поля Земли меняется с течением времени и от места к месту. Это поле порождается за счет сложного *эффекта динамо*, зависящего от изменения состояния намагниченных материалов в земном ядре, мантии и коре.

Шрёдингер, однако, интерпретировал такие расхождения иным образом. Он использовал их для иллюстрации того, что классическая теория электромагнетизма была не совсем точна в своих прогнозах, и (вместе со стандартной общей теорией относительности) должна быть заменена на его собственную единую теорию. Как сообщала *Irish Press* в своей передовице, «именно воздействие на стрелку компаса, указывающее на колебания интенсивности магнитного поля Земли, неожиданно доказало правильность великой теории профессора Шрёдингера. Это напоминает то, как движение звезд подтвердило справедливость теории относительности Эйнштейна, которую новая теория профессора Шрёдингера дополняет и, в какой-то мере, даже заменяет»^{150}.

При разработке волнового уравнения Шрёдингер основывался на известных физических законах, таких как закон сохранения энергии и непрерывность волн. Его успех был обусловлен точным соответствием спектральных линий атомов предсказаниям теории. Когда Эйнштейн предложил свою общую теорию относительности, он опирался на принцип эквивалентности — надежную гипотезу, основанную на измерениях ускорений тел при движении в их пространстве. Она была проверена несколькими независимыми способами, в том числе при помощи феномена искривления Солнцем света, идущего от звезды, которое трудно объяснить в рамках ньютоновской теории.

В то же время у общей унитарной теории Шрёдингера, «подтвержденной» аномальным поведением стрелки компаса, не было ни строгого теоретического обоснования, ни достоверных

экспериментальных подтверждений. Он разработал свою теорию, опираясь на абстрактные математические рассуждения, а не на общеизвестные (или хотя бы гипотетические) физические законы. Кроме того, данные, которые он использовал для доказательства теории, гораздо проще объясняются естественной изменчивостью магнитного поля Земли. Даже сам Шрёдингер на тот момент рассматривал свою теорию как предварительную и неокончательную. Он будет работать над ней еще несколько лет, прежде чем заявит о своей победе еще раз. Тем не менее характер освещения разработки теории в прессе создавал впечатление, что она была свершившимся фактом, бесспорным крупным достижением в науке.

В августе Шрёдингер написал Эйнштейну письмо с описанием электромагнитного «доказательства» правильности своей теории.^{151} Эйнштейн был настроен скептически. Он ответил в сентябре, перечислив другие возможные объяснения, почему магнитное поле Земли может быть асимметричным, в числе которых было неравномерное покрытие океанами земной поверхности в Северном и Южном полушариях^{152}. В октябре Шрёдингер написал в ответ, признавая свою ошибку: «Скорее всего, вы, как обычно, правы»^{153}.

Но, несмотря на критику Эйнштейна, Шрёдингер был непоколебим. Он эмоционально объяснял Эйнштейну, как он планирует расширить аффинную теорию, чтобы включить в нее три поля: гравитационное, электромагнитное и мезонное (сильное взаимодействие). Гравитационное и мезонное поля должны были описываться симметричными компонентами аффинной связности, а электромагнитное — антисимметричными. Эта идея заинтересовала Эйнштейна и послужила толчком к более обстоятельной переписке.

Эйнштейну по-прежнему нравилось иметь друга по переписке, с которым можно обмениваться идеями. Он по-дружески писал Шредингеру: «Я высоко ценю то, что вы открыто сообщаете мне о ваших достижениях. В какой-то степени я это заслужил, ведь десятилетиями я в одиночку бился головой об эту стену»^{154}.

Новообретенная популярность (благодаря книге «Что такое жизнь?» и его общей унитарной теории), теплая переписка с Эйнштейном и очевидные успехи в области физики — Шрёдингер был на седьмом небе от счастья. Безусловно, он был выдающимся ученым,

но нарциссизм затуманил его рассудок. Его желание быть обожаемым женщинами и получать удовольствие от их соблазнения реализовалось в многочисленных любовных приключениях. У него состоялось еще два романа в течение ближайших нескольких лет, каждый из которых привел к беременности и рождению дочек.

Первый из двух романов был с замужней женщиной по имени Шейла Мэй Грин, интеллигентной общественной активисткой и критиком администрации де Валера. Они начали встречаться весной 1944 года. Уже осенью Шейла забеременела. 9 июня 1945 года она родила дочь, Бланат Николетт. Шейла и ее муж Дэвид воспитывали ее, а после развода Дэвид воспитывал дочь в одиночестве. Помимо дочери, еще одним результатом их романа стала книга любовной поэзии, которую Эрвин посвятил Шейле, а через некоторое время опубликовал.

Второй роман был с женщиной по имени Кейт Нолан (на самом деле это псевдоним для сохранения конфиденциальности), государственной служащей, которая познакомилась с Хильде, когда они обе работали в Красном Кресте^{155}.^[13]

Их короткая связь привела к появлению на свет девочки по имени Линда Мари Тереза, родившейся 3 июня 1946 года. Изначально Кейт, будучи в шоковом состоянии из-за незапланированной беременности, отдала Линду Шрёдингерам. Однако спустя два года она захотела вернуть себе дочь. Однажды, проезжая мимо, она увидела, как няня, нанятая Шрёдингерами, прогуливается с Линдой. Кейт взяла Линду из коляски и забрала ее. Эрвин ничего не мог с этим поделать, поскольку Кейт была ее законной матерью. Кейт перевезла девочку в Родезию (ныне Зимбабве), где она и выросла. Сын Линды (и внук Шрёдингера) Терри Рудольф родился там же в 1973 году^{156}. Он стал физиком, специалистом в квантовой теории, и в настоящее время работает в Имперском колледже Лондона.

Поймать физика

Жившему в нейтральной Ирландии Шрёдингеру не приходилось принимать сложных моральных решений о том, участвовать или нет в военных проектах. Л, например, Гейзенберг, оставшийся в Германии,

находился в ситуации, когда ему было трудно от них отказаться. Он был связан семейными узами с Генрихом Гиммлером, рейхсфюрером СС. Это помогло ему избежать обвинений в чрезмерно близких контактах с евреями-учеными, например Борном. Эти связи также помогли ему занять ведущие научные позиции во время войны. Гейзенберг был рад получить возможность послужить своей стране, даже в условиях режима, который не поддерживал.

О руководящей роли Гейзенберга в нацистской ядерной программе написано много. После войны он свел к минимуму усилия команды ученых, направленные на разработку атомной бомбы, и переориентировал ее работу на изучение аспектов мирного использования атомной энергии. Его коллега, физик Карл Фридрих фон Вайцзеккер предположил, что они специально работали медленно и никогда не хотели, чтобы Гитлер заполучил бомбу. Они утверждали, что в некотором смысле немецкие ученые вели себя более этично, чем союзники, потому что они никогда всерьез не стремились создать ядерное оружие и никогда не использовали его. Гейзенберг также обвинил Эйнштейна в лицемерии, когда тот из главного пацифиста превратился в убежденного сторонника военных действий союзников.

Однако в 2002 году были обнародованы неотправленные письма Бора Гейзенбергу. В них Бор описывает их беседы, которые состоялись в Копенгагене в 1941 году (встречи, которые легли в основу знаменитой пьесы Майкла Фрейна «Копенгаген»). Бор так никогда и не отправил эти письма Гейзенбергу, потому что не хотел беречь старые раны. Он вспоминал, что именно Гейзенберг рассказал ему о том, что немцы активно работают над созданием атомной бомбы и что они в конечном итоге достигнут цели. Бор был потрясен уверенностью Гейзенберга. В сентябре 1943 года Бор был вынужден бежать на рыбацкой лодке из Дании в Швецию, а затем самолетом военной авиации (организованным Линдеманном) — в Великобританию, где он присоединился к ядерной программе союзников.

Слежка за Гейзенбергом и немецким атомным проектом стала одним из наиболее важных приоритетов для разведки союзников. Примерно одновременно с побегом Бора Сэмюэл Гаудсмит (который совместно с Джорджем Уленбеком ввел понятие *спина*) был назначен главой миссии «Алсос». Перед ней была поставлена задача оценки прогресса в создании атомной бомбы.

Вряд ли можно было заподозрить в шпионаже Мо Берга, который был заурядным игроком бейсбольной лиги и тренером, но в то же время полиглотом и экспертом по имитации научных способностей. Один из его бывших товарищей по команде как-то пошутил, что тот «может говорить на двенадцати языках, но не может хорошо ударить ни на одном из них»^{.157.} Берг присоединился к Управлению стратегических служб (организации — предшественнице ЦРУ) в 1943 году и вскоре был завербован в сверхсекретный проект по противодействию нацистской ядерной программе.

После кратких инструкций относительно нюансов квантовой и ядерной физики Берг выдал себя за физика и в декабре 1944 года принял участие в конференции в Цюрихе, где должен был выступать Гейзенберг. Берг имел при себе пистолет и капсулу с цианидом, у него был строгий приказ: если окажется, что Гейзенберг приблизился к созданию бомбы, Берг должен его убить. Если же, напротив, окажется, что он ведет безопасные исследования, то трогать его не нужно. К счастью для Гейзенберга, реализовался второй сценарий. Он делал доклад о матрицах рассеяния в квантовой физике, предмете, который имел мало общего с бомбами. Берг решил, что это достаточно безопасно, и сохранил Гейзенбергу жизнь.

В 1945 году, когда советские войска взяли Берлин, Великобритания и США поняли, что все атомные секреты немецких ученых могут попасть в руки СССР. Они приступили к операции «Эпсилон» по задержанию ведущих немецких физиков-ядерщиков и перемещению их в Англию.

Гейзенберг и девять других ученых, включая Гана, фон Вайцзеккера и фон Лауэ, были доставлены в Фарм-Холл, величественный особняк, расположенный неподалеку от Кембриджа, где они содержались в течение шести месяцев. Несмотря на то что ученые находились в изоляции и под охраной, им создали комфортные условия.

Начиненный прослушивающими устройствами Фарм-Холл стал своеобразной лабораторией, в которой испытываемыми были сами ученые. Целью этого «эксперимента» являлось наблюдение за исследователями, находящимися в спокойной и комфортной обстановке и не подозревающими, что за ними следят, и выяснение, какой была настоящая цель их исследований и каких результатов они в

действительности достигли. Когда в августе союзники сбросили атомные бомбы на японские города Хиросиму и Нагасаки, реакции ученых были зафиксированы и тщательно проанализированы. Все ученые были потрясены тем, как быстро союзникам удалось реализовать атомный проект. Они усиленно работали над созданием бомбы, но на проекте отрицательно сказывались недостаточное финансирование и отсутствие у Гейзенберга опыта конструкторских разработок. Его мышление было слишком абстрактным для проектирования взрывных устройств. Поэтому они доложили наверх, что для создания бомбы потребуются еще много лет исследований и это нереалистично в ближайшей перспективе.

После того как Гейзенберг был освобожден из Фарм-Холла, он возобновил научную карьеру. С окончанием войны и победой союзников Германия вернулась в свои довоенные границы, но с некоторыми изменениями. Она была разделена на четыре оккупационные зоны, каждая из которых находилась под управлением одного из союзников. Берлин также был разделен на четыре сектора. Гейзенберг поселился в Гёттингене, который находился в британском секторе.

Шрёдингер был рад видеть Австрию освобожденной, восстановленной и независимой республикой. Впрочем, она тоже была разделена на оккупационные зоны, включая советский сектор на востоке. Хотя Шрёдингер уже начал думать о возвращении, из-за политической ситуации он еще на некоторое время оставался в Дублине, — этот период ожидания закончился лишь десятилетие спустя. Тем временем Шрёдингер решил уйти с поста руководителя факультета теоретической физики, уступив это место Гайтлеру» но остался старшим профессором. По официальной версии, он хотел сосредоточиться на исследованиях. Тем не менее есть данные о том, что у него были разногласия с обслуживающим персоналом института, и он решил, что сыт по горло административной работой.

В его семейной жизни тоже произошли изменения, так как Хильде и Рут уехали в Австрию. Энни очень сильно привязалась к Рут за годы, проведенные вместе на Кинкора-роуд. Она стала для Рут второй мамой. Когда Хильде решила вернуться в Инсбрук к Артуру и забрать Рут с собой, Энни была расстроена. Она погрузилась в глубокую

депрессию, без сомнения, усугублявшуюся продолжающимися отношениями Эрвина с другими женщинами.

А вот Эйнштейна совершенно не интересовала перспектива возвращения в Германию. Да и если бы он на это решился, его ждала бы настоящая разруха. Как и большая часть центра Берлина, его бывший дом в Баварском квартале был разрушен. Его дом у озера в Капуте, в то время находившийся в советском секторе, был экспроприрован. Облик большинства немецких городов коренным образом изменился, и требовались десятилетия на их восстановление. Однако больше всего шокировало количество человеческих жертв. Нацисты истребили миллионы европейцев, в том числе шесть миллионов евреев. Миллионы людей погибли на войне. Бесчисленное множество людей так или иначе пострадали: стали бездомными, инвалидами, вдовами, сиротами. Эйнштейн никогда не забыл и не простил этого невыразимого ужаса.

Несмотря на всю свою печаль и гнев, Эйнштейн возобновил усилия по поиску единой теории поля. В сотрудничестве с Эрнстом Штраусом он начал исследовать то, что называл «обобщением релятивистской теории гравитации». Как и новая теория Шрёдингера, это обобщение было попыткой подправить аффинную связность, которая связывает точки пространства-времени, и посмотреть, как эти изменения повлияют на полевые уравнения. Он начал проект самостоятельно, опубликовав первые результаты своей работы, но допустил ошибку в расчетах, которую исправил Штраус. И в 1946 году они опубликовали совместную статью.

Эйнштейн отнюдь не считал свою работу по единой теории поля завершённой. В последние десять лет жизни он использовал эклектичный подход, рассматривая различные модификации общей теории относительности скорее как возможные варианты, чем как последнее слово в науке. Тем не менее его огромная слава гарантировала интерес аудитории практически ко всему, что он публиковал, независимо от того, насколько это было абстрактным или сырым. Ему также пришлось иметь дело с соперниками — в частности, одним старым приятелем из Дублина.

Глава 7

ФИЗИКА И СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

В семействе почтеннейшем Штейн
Гертруда была, Эп и Эйн.
Романы Гертруды — заумны,
Эпа статуи — просто безумны,
И не понят был всеми Штейн Эйн.

*Автор неизвестен, публикация в журнале Time от 10
февраля, 1947 г. ^{158}, [14].*

После окончания войны образ Эйнштейна в глазах общественности заметно усложнился. По иронии судьбы в общественном сознании его научная деятельность прочно ассоциировалась с бомбардировками Хиросимы и Нагасаки. И это несмотря на то, что у него даже не было разрешения на участие в атомном проекте. Тот факт, что масса превратилась в энергию в результате ядерных взрывов, прочно связал образ ядерного гриба с теорией относительности. Даже сегодня все еще существует миф о том, что Эйнштейн был «отцом атомной бомбы». Если до войны Эйнштейн считался блестящим ученым, то после нее он, казалось, получил еще и лавры супергероя.

Отголоском этого образа стал странный слух, растиражированный в популярной газетной колонке Уолтера Уинчелла 23 мая 1948 года под названием «Ученые создают световой луч, способный расплавить стальную глыбу». Он уверял миллионы своих читателей, что Эйнштейн совместно с десятью бывшими нацистскими учеными разрабатывает сверхмощный луч смерти. По его словам, «11 ученых (во главе с Эйнштейном), одетые в асбестовые костюмы, наблюдали луч света... Стальной блок размером 20 на 20 дюймов растаял также быстро, как быстро вы щелкаете дома выключателем... Это новое секретное оружие может быть установлено на самолетах и способно разрушать целые города» ^{159}.

Судя по личному делу Эйнштейна, заведенному ФБР и недавно опубликованному в соответствии с Законом о свободе информации, эта утка была воспринята достаточно серьезно. Чтобы ее опровергнуть, разведывательному подразделению армии США пришлось рапортовать, что «эта информация в действительности лишена всякого основания... невозможно разработать подобную машину, которая была бы эффективна на расстоянии более нескольких футов»^{160}.

Также ФБР опасалось, что Эйнштейн может перейти на сторону Советского Союза. Можно предположить, что отчасти этот страх был вызван опасениями, что Эйнштейн может увезти с собой тщательно охраняемые ядерные секреты. Подобного рода подозрения, конечно же, были безосновательны, поскольку он никогда не имел доступа к работе над атомной бомбой и ничего не знал о специфике ее производства.

Как ни странно, но ФБР, по-видимому, не знало о романтической связи между Эйнштейном и Маргаритой Конёнковой, которая якобы была советской разведчицей. Эйнштейн познакомился с Конёнковой в 1935 году, когда ее муж, известный скульптор Сергей Конёнков, работал над бюстом Эйнштейна для Института перспективных исследований. В какой-то момент у них завязался роман, который продолжался до конца войны. Историки узнали об их отношениях в 1998 году, когда любовные письма Эйнштейна Конёнковой, датированные 1945–1946 годами, всплыли на аукционе^{161}. Предвосхищая моду на создание общего имени (как звездная пара Брэд Питт и Анджелина Джоли, известная как «Бранджелина»), Альберт и Маргарита придумали для себя прозвище «Альмар». Примерно в то же время, когда стало известно о существовании этих писем, бывший советский разведчик заявил, что Конёнкова была русской Матой Хари, встречалась с Эйнштейном, чтобы заполучить секреты атомной программы США. Она действительно познакомилась с советским вице-консулом в Нью-Йорке. Тем не менее на сегодняшний день нет убедительных доказательств того, что она была шпионкой. Не говоря уже о том, что она не могла заставить Эйнштейна раскрыть какие-либо военные секреты, поскольку он их попросту не знал. К счастью, история не стала известна желтой прессе — Эйнштейн был уже достаточно недоверчив к СМИ.

Эйнштейн продолжал давать газетам множество поводов для выставления его в нелепом свете. Свое презрение к прессе он выразил в ответе на вопрос одной швейцарской газеты о том, что он может рекомендовать почитать молодым людям, следующим образом: «Человек, который читает только газеты... напоминает мне очень недалёковидного человека, который стыдится носить очки. Он полностью зависит от суждений и моды своего времени и больше ничего не видит и не слышит»^[162].

Но ничто на свете не подготовило бы Эйнштейна к той волне интереса к его персоне, которая началась после того, как из Дублина пришла новость о том, что Шрёдингер, по-видимому, смог превзойти его в создании единой теории поля. Чтобы восстановить истинное положение вещей, он вынужден был противостоять пытливым журналистам. По крайней мере, отчасти шквал сообщений в прессе объяснялся тем, что в ситуации был замешан сам де Валера.

В долгий период тяжелой экономической ситуации, который переживала Ирландия, Дэв надеялся, что DIAS, его Олимп мысли, будет освещать его путь. Шрёдингеру, как звездному игроку, нужно было наращивать количество побед для ирландской науки. Ирландская пресса считала своим долгом болеть за хозяев и трубить о каждом достигнутом успехе. Ведь политическая оппозиция не дремала и была готова воспользоваться любым подвернувшимся поводом. Внимательно наблюдая за каждой оплошностью, она была жадна до сенсаций и с нетерпением поджидала своего часа.

Заходящая звезда Дэва

В послевоенный период, после более чем десяти лет у власти, звезда премьер-министра стала закатываться. Массовая безработица, введение карточной системы на продукты и отток людей из страны, напоминавший времена картофельного голода^[15], еще больше усиливали ощущение, что он далек от проблем народа. Новая социал-демократическая партия «Республиканский клан» (Clann na Poblachta) стала публично дистанцироваться от «Фианна Файл». Дебаты в палате представителей Ирландии становились все более непристойными,

члены парламента горячо критиковали политику правительства и постоянно напоминали де Валера о его должностных обязанностях.

Де Валера оставался сильно связанным с DIAS. Он и его партия по-прежнему приводили основание DIAS в качестве своего основного достижения, несмотря на недостаточную очевидность того, что он достиг своей цели — всемирной известности и авторитета. Например, во время всеобщих выборов в Ирландии 1948 года его партия привела основание Дублинского института в числе одного из своих достижений^{163}.

На фоне социальных волнений де Валера и руководство DIAS приняли решение расширить свою миссию и учредить факультет космической физики. Хотя добавление новых программ находилось в рамках полномочий института, де Валера понимал, что ему придется запросить у парламента дополнительное финансирование на новый факультет. Его попытка увеличить расходы во время жесткого дефицита была встречена крайне негативно. В ходе парламентских дебатов, состоявшихся 13 февраля 1947 года, особенно отличился Джеймс Диллон, депутат консервативной партии «Фине Гэл», громкий критик администрации де Валера.

«Я считаю, что все это делается с целью создания дешевой и сомнительной рекламы дискредитировавшей себя администрации, — пояснил Диллон. — Я вспоминаю “Жизнь де Валера” [в которой] он писал, что политика была для него невыносимым испытанием: что на самом деле его счастье было в том, чтобы оставить все мирские дела и свободно погрузиться в высшие сферы математики, где мало кто смог бы последовать за ним. Это спектакль, которым он нас до сих пор развлекает, а также себя и того космического физика, который сидит на площади Меррион, погружаясь в космический эфир, в то время как невежды консервативной партии (“Фине Гэл”), и аграрной партии (“Клан на Талман”), и лейбористской партии занимают себя проблемами пенсионеров и коров и прочими малодостойными проблемами подобного рода»^{164}.

При этом достоверно неизвестно, на кого именно ссылается Диллон, говоря: «Космический физик, который сидит на площади Меррион», — на Шрёдингера или кого-то еще. Но независимо от того, кто именно, помимо де Валера, был мишенью для его колких замечаний, DIAS явно был не в фаворе из-за его избранности.

Шрёдингер столкнулся с огромным давлением: он должен был доказать, что оправдывает свое жалованье и расходы на офис во время острого кризиса.

Асимметричное товарищество

Беседы о волновой механике в начале 1920-х годов, долгие прогулки в окрестностях Капута в конце тех же 1920-х и бурные споры о квантовой философии в середине 1930-х делали отношения Эйнштейна и Шрёдингера с годами все более близкими и дружескими. Переписка о единой теории поля в начале 1940-х годов обозначила общие интересы, которые объединили их еще сильнее. Однако временем наибольшего единства их теоретических интересов и методов исследования стал период с января 1946-го по январь 1947 года. В это время каждый из них пытался создать расширенную общую теорию относительности, исключив условия симметрии. Они практически в унисон искали единство. Их идеи отличались лишь незначительными деталями. В течение этого года они практически во всех смыслах были коллегами, за исключением того, что не публиковали совместных статей. Но очень скоро их сотрудничество резко оборвалось, когда Шрёдингер, находясь отчасти под давлением необходимости поддержать Дэва, заявил о победе над Эйнштейном на своем впечатляющем докладе в Ирландской королевской академии.

Почему Шрёдингер внезапно вышел из дуэта и стал работать самостоятельно? Хотя их теоретические интересы были одинаковыми, в жизненных ситуациях Эйнштейна и Шрёдингера в то время наблюдалась явная асимметрия. Эйнштейна мало волновало одобрение начальства. К тому моменту руководство принстонского Института перспективных исследований и физическое сообщество в целом относились к нему как к реликвии (больше для шоу, чем для научных исследований), и он сам это хорошо понимал. Ему также не приходилось беспокоиться о своей научной продуктивности и обеспечении семьи, поскольку Эльза давно умерла. Скорее, это был его собственный «внутренний контролер», который вел бесконечную борьбу, не давая ни минуты покоя.

Шрёдингер, в свою очередь, чувствовал, что ему все еще нужно проявить себя, оправдать жалование и, может быть, заработать еще больше. Его известная лекция «Что такое жизнь?», упоминавшаяся в международной прессе, укрепила его авторитет. Если бы он сделал что-то подобное тому, что делал Эйнштейн, это помогло бы еще больше. Поэтому он сосредоточился на том, что делал Эйнштейн, и на том, может ли он это сделать лучше. Он стал кем-то вроде ученика мастера боевых искусств, внимательно наблюдающим за каждым его движением, пытающимся повторить каждый его шаг и страстно мечтающим однажды его превзойти.

Не то чтобы Шрёдингер был абсолютно беспринципным человеком. Он был искренне заинтересован в этом проекте, который хорошо сочетался с его математическим талантом. Последнее, чего бы он хотел, — это подвести Эйнштейна или предать его. Он думал, что сможет каким-то образом произвести впечатление на Д эва и покровителей института, не навредив лично Эйнштейну. До самого последнего момента он не понимал, что его заявление об успехе поставит в неловкое положение и даже оскорбит его лучшего друга.

Из переписки обоих ученых мы можем проследить, как развивались их идеи. 22 января 1946 года Эйнштейн отправил Шрёдингеру письмо со своими соображениями насчет того, как можно обобщить теорию относительности, сохранив несимметричные компоненты метрического тензора. Это была работа, которую он только что завершил в сотрудничестве со Штраусом. Напомним, что метрический тензор задает способ измерения расстояний в пространстве-времени, то есть расширение теоремы Пифагора для искривленных пространств. Его можно записать в виде матрицы размером 4×4 с шестнадцатью компонентами. Как правило, из-за симметрии этой матрицы только десять ее компонент являются независимыми. Однако Эйнштейн решил отказаться от требования симметричности метрического тензора, восстановив оставшиеся шесть компонент в статусе независимых величин. Он полагал, что дополнительные независимые компоненты метрического тензора можно будет использовать для описания электромагнитного поля, аналогично тому, как он раньше пытался это сделать с помощью введения дополнительных измерений.

Эйнштейн указал Шрёдингеру на то, что Паули выдвинул возражения по поводу его нового метода. Паули вообще не нравилась идея смешивания симметричных и несимметричных компонент. Он полагал, что система не будет преобразовываться должным образом и поэтому будет нефизичной. Вторя библейскому стиху, Паули однажды сказал Вейлю: «Что Бог соединил, человек да не разъединяет»^{165}.

«Паули показал мне язык», — пожаловался Эйнштейн Шрёдингеру^{166}.

Что в этом было нового? Паули реагировал критикой на каждую новую гипотезу Эйнштейна. К глубокому сожалению Эйнштейна, каждый раз Паули оказывался прав. Но, может, в этом случае «Бич Божий» каким-то образом что-то упустил? Эйнштейн хотел получить от Шрёдингера консультацию по этому вопросу.

19 февраля Шрёдингер написал ответное письмо с некоторыми предложениями. Он показал, как выразить метрический тензор таким образом, чтобы «Паули прекратил показывать язык»^{167}. Он также предложил Эйнштейну включить мезонные поля (поля сильного взаимодействия), сделав тем самым объединение фундаментальных взаимодействий более полным.

Мезонное поле оказалось для них камнем преткновения. Эйнштейн не хотел усложнять теорию дополнительным взаимодействием. Он считал, что достаточно будет найти математически обоснованную теорию гравитации и электромагнетизма, в которой бы отсутствовали уже успевшие всем надоесть сингулярности. Для Шрёдингера объединения всего двух из трех фундаментальных взаимодействий было недостаточно. Он хотел сделать хет-трик, чтобы победить все известные силы природы. Всю весну они много спорили об этой проблеме, но каждый был упрям и нестибаем.

С другой стороны, в один прекрасный момент Шрёдингер почувствовал, что попытка Эйнштейна разработать теорию без сингулярностей, которая бы полностью описывала поведение электронов, слишком амбициозна. Верный своему стилю, он обратился к метафоре для описания своих чувств. «Вы затеяли охоту на крупную дичь, как говорят англичане, — писал он Эйнштейну 24 марта. — Вы охотитесь на льва, а я же пока говорю о кроликах»^{168}.

Подарок от чертовой бабушки

Несмотря на различия в подходах, Эйнштейн и Шрёдингер продолжали сближаться. Седьмого апреля Эйнштейн начал свое письмо с возвышенного комплимента: «Эта переписка приносит мне большое удовольствие, потому что Вы мой ближайший брат и Ваш мозг устроен так же, как и мой»^{169}.

Шрёдингер был взволнован и польщен тем, что стал таким доверенным лицом. Невозможно представить более блестящую похвалу для физика, чем слова, что его мозг работает, как у Эйнштейна. Ничто не может быть восхитительнее, чем подобные слова от такого великого человека. В другом месте Эйнштейн назвал Шрёдингера «смышленным шельмецом», чем раздул его самомнение еще сильнее.

В своей обширной переписке (они обменивались подробными письмами раз или два в месяц) ученые нередко смеялись над трудностями, с которыми сталкивались. Чаще всего они использовали выражение «подарок от чертовой бабушки», как однажды обозвал Эйнштейн математическую проблему, над которой они бились.

Эйнштейн имел в виду колдовской сглаз (в смысле закрадывающееся ощущение, что он обречен на провал), и Шрёдингер нашел это выражение забавным.

В ответ Шрёдингер предложил собственную историю. «Давно меня ничто так не смешило, как “подарок от чертовой бабушки” — писал он. — В предыдущих фразах вы в точности описали Голгофу, на которую я пошел лишь для того, чтобы завершить дело, возможно, с таким же бесполезным результатом, как и Вы»^{170}.

Эйнштейн ответил: «Ваше последнее письмо было необычайно интересным. Я был чрезвычайно тронут вашим энтузиазмом в отношении “чертовой бабушки”»^{171}.

Оба они постоянно сталкивались с математическими демонами. Одной из проблем, досаждавших физикам, было понятие *общей ковариантности*. Важной особенностью общепринятой формулировки общей теории относительности является идеальное требование того, чтобы простые преобразования координат (такие, как вращения системы координат) не влияли на результаты физических измерений.

Однако в некоторых расширениях общей теории относительности такая инвариантность отсутствует. Одни компоненты преобразуются там иначе, чем другие, что делает теорию далекой от идеала. Это как если взять легковой автомобиль с жилым автоприцепом и надеяться, что при повороте направо прицеп последует за ним в том же темпе, иначе произойдет авария и автопоезд расцепится.

К концу 1946 года два физика были так близки, что Шрёдингер пытался убедить Эйнштейна переехать в Ирландию. Для совместной работы такие условия были бы идеальными. Но Эйнштейн вежливо отказался, написав: «Старому растению не место в новом горшке»^{172}.

Примерно в январе 1947 года Шрёдингеру удалось добиться того, что он посчитал крупным прорывом. Он нашел (или думал, что нашел) простой лагранжиан, который хорошо сочетался с его единой теорией и из которого можно было получить полевые уравнения для гравитации, электромагнетизма и мезонных полей.

Взволнованный этим открытием, он подготовил доклад для Ирландской королевской академии, чтобы представить его на собрании 27 января.

Речь всей жизни

Зима 1947 года в Ирландии была очень суровой. Из-за сильных морозов и снегопадов острая нехватка топлива переживалась еще более болезненно. Популярность правительства сильно упала, что неудивительно. К концу января в Дублине установилась довольно низкая температура и пошел легкий снежок. И дальше погода только ухудшалась.

Несмотря на то что снег практически полностью покрыл город, велосипедисты продолжали ездить по центральным улицам. Шрёдингера не страшила погода, поскольку у него была миссия, которую он намеревался завершить. На своем велосипеде вдоль Доусон-стрит, большой магистрали, параллельной главной улице Дублина Графтон-стрит, он прибыл в академию с «ключом ко Вселенной» в рюкзаке: простой комбинацией символов, которая умещалась на клочке бумаги размером с почтовую марку, но которую он считал лагранжианом, описывающим всё во Вселенной. Подставьте

этот лагранжиан в уравнения движения, разработанные Гамильтоном, и вы увидите, как чудесным образом появляются все силы природы.

Дух Гамильтона часто посещал это величественное кирпичное здание. В 1852 году, когда Академия переехала на Доусон-стрит, 9, Гамильтон был ведущим ученым и мыслителем Ирландии и присутствовал на всех заседаниях академии. Интересуясь связью между временем и пространством, он восхищался тем, как физики объединяют их в своих математических теориях. Как он однажды заметил, «из символов спрясть бы такую нить, чтоб ею пространство и время сшить» ^[173].

Конференц-зал академии, спроектированный известным архитектором Фредериком Кларендоном, был воплощением элегантности. Огромные люстры, свисавшие с высокого потолка, дополняли слабое освещение от высоких окон, расположенных над балконами.

Стоявшие вдоль стен книжные шкафы, напоминая членам академии о значимости научного наследия прошлого, ломались от увесистых фолиантов. Каждый курс лекций, тщательно записанный для потомков в изданиях трудов академии, также пополнял коллекцию библиотеки.

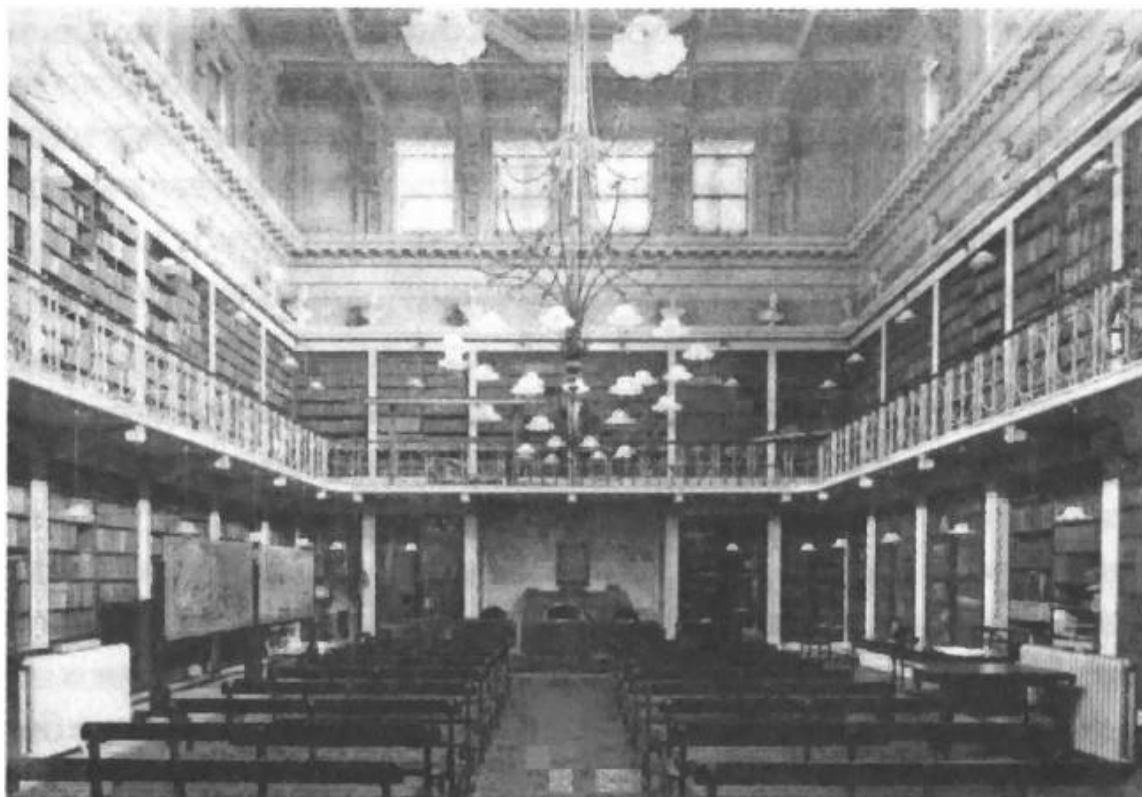
Премьер-министр занял свое место в зале вместе с приблизительно двадцатью другими участниками, включая студентов и профессоров. Без сомнения, он был счастлив находиться здесь, а не в Дойле перед лицом возмущенной оппозиции. Его присутствие практически гарантировало освещение доклада в прессе. Репортеры *Irish Press* и *Irish Times*, предупрежденные о том, что заседание может стать отличным информационным поводом, сидели все во внимании и нетерпеливо ждали сенсации.

Президент академии Томас Перси Клод Киркпатрик (врач, библиофил и историк медицины) подошел к трибуне. Он тоже приехал на велосипеде, поскольку у него не было автомобиля. Киркпатрик представил нового члена академии, графа Росса, и первого спикера, ботаника Дэвида Уэбба, который прочитал лекцию о видах растений Ирландии.

Затем настал черед Шрёдингера. Зал затих, и все взоры устремились на австрийского лауреата Нобелевской премии.

«Чем ближе человек подбирается к истине, тем проще становятся вещи, — начал Шрёдингер. — Я имею честь представить вам сегодня краеугольный камень аффинной теории поля, а также решение проблемы, волнующей физиков уже более тридцати лет: непротиворечивое обобщение великой теории Эйнштейна 1916 года»^[174].

Репортеры старательно делали заметки о новой научной революции и прокручивали в голове варианты громких заголовков. Они надеялись, что смогут каким-то образом понять математические выкладки в достаточной степени, чтобы донести их значимость до читателей.



Конференц-зал Ирландской королевской академии, в котором Шрёдингер прочитал многие из своих главных лекций. Фотограф и дата неизвестны; © RIA

Шрёдингер объяснил, как Эйнштейн и Эддингтон почти нашли правильный лагранжиан, равный квадратному корню из определителя тензора Риччи, взятого со знаком минус. Но именно Шрёдингер заставил его работать. (Напомним, что тензор Риччи используется для описания кривизны пространства-времени, а его определитель, или

детерминант, получается путем суммирования комбинаций его компонент.) Шрёдингер отметил, что основное отличие его подхода от предыдущих заключается в том, что он использовал несимметричную аффинную связность. Неназванные коллеги пытались разубедить его, но он стоял на своем.

Шрёдингер использовал свои излюбленные аналогии с животным миром, чтобы обосновать использование аффинной связности, которая не была симметричной, и тем самым включить в теорию дополнительные независимые переменные. «Наездник хочет, чтобы его конь взял барьер, — сказал Шрёдингер. — Он смотрит на него и думает: “Несчастное создание, у него четыре ноги, ему будет очень трудно управляться сразу со всеми четырьмя. Я знаю, что делать. Я буду учить его последовательно. Сначала я свяжу вместе его задние ноги, и он научится прыгать только передними ногами. Это будет намного проще. И тогда мы посмотрим, возможно, после этого он сможет научиться прыгать, используя одновременно четыре конечности”. Эта аналогия отлично описывает ситуацию. Несчастное создание [аффинная связность] получило свои задние ноги, связанные условием симметрии, которое отобрало 24 из 64 степеней его свободы. Следствием такого ограничения стало то, что оно не могло прыгать»^{175}.

Закончил свою речь Шрёдингер необычайно амбициозным прогнозом, что его теория способна объяснить, почему вращающиеся массы (например, такие объекты, как Земля) могут создавать вокруг себя магнитные поля. С 1943 года его цели расширились от описания аномалий магнитного поля Земли до объяснения законов всего мироздания. Он говорил о том, что выхолило за рамки его компетенции! Он мало что знал о геомагнетизме и, похоже, не был знаком с исследованиями, которые успешно объясняли этот эффект при помощи модели ядра Земли.

Например, в 1936 году датский геофизик Инге Леманн продемонстрировала с помощью анализа сейсмических волн, что Земля имеет как внутреннее, так и внешнее ядро. В 1940 году американский геофизик Фрэнсис Бёрч разработал модель для описания магнитного поля Земли, основанную на некоторых предположениях о поведении железа, находящегося в ее ядре под высоким давлением. Хотя его модель и была довольно упрощенной и

неточной, она представляла собой надежную отправную точку для дальнейших исследований источников возникновения магнитного поля Земли. С учетом этого становится ясно, что Шрёдингер не просто промазал мимо мишени, но даже не прицелился как следует.

Дракон зимой

По окончании заседания Шрёдингер сразу умчался на своем велосипеде, уклонившись от назойливых репортеров. Он крутил педали изо всех сил, несмотря на снег, пробираясь сквозь пробки так быстро, как только мог. Журналистам удалось поймать Шрёдингера только в его доме на Кинкора-роуд. Он раздал им экземпляры своей речи, а также несколько дополнительных страниц с комментариями для неспециалистов. Сама новость, без сомнения, уже была по дороге к редакциям, начав путь к национальной и даже общемировой известности.

Пресс-релиз Шрёдингера под названием «Новая теория поля» начинался с исторического обзора гипотез о частицах и их взаимодействиях со времен древних греков и до Эйнштейна. Он показал, что на протяжении веков ученые страстно стремились описать материю и силы природы с помощью геометрии. Это был блистательный фундамент его собственных исследований. Его рассказ как бы подразумевал, что он будет преемником греков и Эйнштейна. После описания сути своей теории он повторил, что к таким же выводам могли прийти Эйнштейн и Эддингтон еще в 1920-е годы, будь они более открытыми и беспристрастными. Также он сказал, что убежден в том, что его теория почти наверняка верна. Доказательством должны послужить исследования магнитного поля Земли, которое, как он полагал, могло быть объяснено только на основе его теории.

На следующий день *Irish Press* сообщила, что Шрёдингер произнес историческую речь. «Эта теория должна объяснить всё в области теории поля», — цитировали они слова Шрёдингера. Помимо краткого содержания лекции, репортаж включал в себя интервью с ним, в котором его попросили дать более простое, понятное всем объяснение теории. Он ответил: «Практически невозможно упростить теорию до такой степени, чтобы обычный человек с улицы смог ее понять. Она

открывает новые перспективы в области теории поля. Это именно то, чем мы, ученые, должны заниматься, вместо того чтобы создавать атомные бомбы. Новая теория является обобщением предыдущих. Теперь теория Эйнштейна становится просто ее особым частным случаем. Так же как движение камня, брошенного вертикально вверх, — это частный случай более общего движения по параболе»^{176}.

Отвечая на вопрос о том, почему Эйнштейн раскритиковал более раннюю версию этой теории, Шрёдингер ответил, что это хороший пример для молодых физиков, который показывает, что даже самые блестящие ученые могут ошибаться. Иными словами, он утверждал, что достаточно разбирается в вопросе, чтобы игнорировать авторитет Эйнштейна и действовать по собственному разумению в поисках верного решения. Допуская, что он, в свою очередь, тоже может ошибаться, Шрёдингер сказал, что в этом случае он будет выглядеть «ужасным дураком».

Международные СМИ быстро подхватили историю *Irish Press*. Например, 31 января в *Christian Science Monitor* сообщалось, что Шрёдингер превзошел Эйнштейна и создал единую теорию поля, тем самым решив проблему, занимавшую физиков уже более тридцати лет^{177}.

Вскоре первоначальная уверенность Шрёдингера сменилась мучительными сомнениями по поводу того, как будет воспринята его дерзкая выходка. Что подумает Эйнштейн, когда узнает? Конечно, он поймет все обстоятельства: положение DIAS, находящегося в осаде и отчаянно нуждающегося в финансировании; присутствие в аудитории де Валера, на которого он должен был произвести впечатление; журналистские сплетни. В конце концов, это же был просто научный доклад. Он высказывал свои тезисы исключительно в контексте научной дискуссии, а раструбила о них пресса. Так Шрёдингер оправдывал свои действия.

Третьего февраля он написал Эйнштейну о своих новых результатах и реакции прессы на них. Шрёдингер предупредил Эйнштейна о том, что вскоре репортеры начнут расспрашивать его о новой теории, и приводил слабые оправдания в свой адрес. Ситуация с окладами и пенсиями в DIAS, писал Шрёдингер, настолько плоха, что он решил немного прихвастнуть, чтобы привлечь внимание к институту. Иными словами, он несколько преувеличил значение своих

результатов ради создания позитивного имиджа института, так остро нуждавшегося в финансировании.

В конце письма Шрёдингер рассуждал о том, что он будет делать, если его лагранжиан, основанный на детерминанте, окажется неверным. «Я буду ложиться спать с детерминантом и просыпаться с ним, — писал он. — Я не вижу ничего более разумного... Если окажется, что это не так, тогда я буду игуанодоном, скажу: “Холодно, холодно, холодно” и засуну свою голову в снег»^{178}.

Шрёдингер объясняет в письме, что игуанодон — это персонаж из повести Курда Лассвица. Хотя Шрёдингер буквально об этом не пишет, давайте попробуем разобраться, что он имел в виду. Лассвиц был известным писателем-фантастом. В его романе «Хомхен — сказки верхнего мела» (Хомхен — это сказочное животное из верхнего мелового периода) игуанодон — это дракон из доисторических времен с длинной шеей. Он живет среди густых папоротников и привык к жаркому солнцу. В один прекрасный день он обнаруживает, что погода становится все холоднее. Он высовывает голову из своего логова, но быстро втягивает ее обратно, бормоча при этом: «Холодно, холодно, холодно». Из-за изменения климата он остается без завтрака до тех пор, пока не потеплеет. Кто знает, как долго ему придется ждать?

Действительно, в снежную зиму 1947 года Шрёдингер был как дракон, который извергал огонь, но которому в итоге пришлось отступить. Пламя его претенциозных заявлений испепелило отношения с одним из его самых близких друзей. Его усилия по налаживанию сотрудничества ради поисков единой теории поля превратились в дым. Эйнштейн на некоторое время перестал ему писать. Все произошло в точности так, как Шрёдингер и опасался: он оказался обречен на «холодно, холодно, холодно».

Дублин под огнем критики

Одна из международных новостей срикошетировала обратно в Дублин и сильно ударила по его самолюбию. Под руководством де Валера Дублин пытался позиционировать себя как центр научной мысли. Тем не менее в статье в *Time* от 10 февраля не только игнорировались его достижения, но и сам город представлялся

далеким от науки. Статья начиналась словами: «На прошлой неделе из всех уголков ненаучного Дублина прилетели известия о человеке, который не только понимает Эйнштейна, но и продвинулся чудовищно далеко вперед (как он сам говорит) в туманную электромагнитную бесконечность... Если это так, он выиграл научный Большой шлем»^{179}. В верхней части страницы публикации приводился предложенный Шрёдингером лагранжиан и связанные с ним математические выкладки, а также отмечалось, что «для неспециалистов все это выглядит как малопонятные закорючки».

Эта резкая критика ирландской науки попала на глаза математику Йонну Лайтону Сингу, урожденному дублинцу, который в то время был профессором Технологического института Карнеги в Питтсбурге. Синг написал редактору письмо, опубликованное 3 марта, в котором указал, что Гамильтон был родом из Дублина^{180}.

Вместо того чтобы признать приведенный Сингом пример известного дублинского ученого, редактор перешел на личности. В опровержении, последовавшем за письмом, он сослался на дядю Синга, драматурга Джона Миллингтона Синга, как на аргумент в пользу того, что Дублин — это город писателей, а не ученых. «Пусть дублинский математик Синг вспомнит духов своего города (среди которых и его дядя, автор пьесы «Удалой молодец — гордость Запада») и признает, что Дублин — это город писателей».

Синг, несомненно, хотел отделить себя от дяди и объяснить, что Дублин — это родина многих талантливых людей разных профессий. Но ответ редактора показал, как все-таки трудно преодолеть стереотипы.

Интересно, что на следующий год Синг будет утвержден на должность профессора в дублинский Институт передовых исследований, где он будет работать в течение многих лет бок о бок со Шрёдингером. Там он внесет значительный вклад в изучение общей теории относительности. Этот вклад будет настолько значительным, что биограф Синга назовет его «пожалуй, самым выдающимся ирландским математиком и физиком-теоретиком со времен Гамильтона»^{181}.

Ирландские газеты обратили внимание на спор о научных заслугах Дублина. *Irish Times* назвала Синга «блестящим математиком»^{182}. В

другой ирландской газете *Tuam Herald* обсуждалась парламентская шумиха вокруг факультета космической физики. После короткого пересказа статьи из *Irish Times* и комментариев Синга следовал вывод, что «позиция некоторых наших депутатов по поводу недавней дискуссии в палате представителей о космической физике дает много пищи для размышлений»^{183}.

Очевидно, что дискуссии по обе стороны Атлантики о том, является Дублин «научным» или нет, отражают те сомнения, которые де Валера хотел развеять путем создания DIAS и привлечением к его работе Шрёдингера. Но, несмотря на все его усилия, похоже, что он потерпел неудачу в деле разрекламированного на весь мир ирландского научного ренессанса.

Ответ Эйнштейна

Естественно, публику интересовало, будет ли мудрец с собственной точкой зрения на теорию относительности побит на своем пути к созданию теории объединения. Корреспондент *New York Times* Уильям Лоуренс, который довольно часто брал интервью у Эйнштейна в последние годы его жизни, послал ему экземпляр статьи Шрёдингера и пресс-релиз, чтобы оценить реакцию ученого. Лоуренс также отправил копии Юджину Вигнеру, Роберту Оппенгеймеру и другим выдающимся физикам. В своем обращении к Эйнштейну Лоуренс написал: «Если после изучения этих документов окажется, что вы согласны с доктором Шрёдингером, я буду глубоко признателен за ваши комментарии на сей счет»^{184}.

Times опубликовала три статьи о якобы совершившемся прорыве. Первая содержала слова Эйнштейна, что он «отказывается комментировать» (пока не появится больше информации).^{185} Другая статья вышла под следующим заголовком: «Сообщается, что теорию Эйнштейна удалось расширить: дублинский ученый утверждает, что он создал единую теорию поля, которую искали в течение 30 лет».^{186} В третьей статье отмечалось, что хотя Шрёдингер и может оказаться прав, он знает обо всех «подводных камнях на своем пути»^{187}.

Вскоре после этого еще одна пресс-группа, *Overseas News Agency*, действуя независимо от остальных, выслала Эйнштейну статью Шрёдингера. Управляющий директор агентства Иаков Ландау, продолжая сыпать соль на раны, также просил его высказать мнение о «достоинствах формулы и ее последствиях»^{188}.

Судя по ответу, Эйнштейн пришел в ярость. С помощью Штрауса он написал собственное заявление для прессы. Хотя начинается оно в нейтральном и научном тоне, к концу тон становится язвительным и колким. Эйнштейн писал: «Основания теоретической физики к настоящему времени не определены. Мы стремимся найти в первую очередь удобные (логически простые) основания теоретической физики. Обычный человек, естественно, склонен рассматривать ход развития науки таким образом, что основания получаются из опыта путем последовательного обобщения фактов (абстракции). Однако это не тот случай».

После объяснения, почему теория Шрёдингера представляет собой просто математическое упражнение (причем не самое удачное), а не реальный физический результат, Эйнштейн в завершение обрушился с критикой на журналистов: «Такие коммюнике, облеченные в форму сенсации, вводят широкую публику в заблуждение относительно характера научных исследований. У читателей складывается впечатление, что каждые пять минут в науке происходит революция, что-то вроде переворотов в маленьких нестабильных республиках. В действительности же в теоретической науке идет процесс постепенного развития, в который своим неустанным трудом вносят вклад лучшие умы каждого последующего поколения ученых. Вот так медленно рождается более глубокое понимание законов природы. И следует отдать должное такому характеру научной работы»^{189}.

Комментарий Эйнштейна по поводу действий прессы был вполне обоснован. Однако и ему самому можно бросить упрек в отношении его реакции на репортажи о его собственных попытках создания единой теории поля, которые во многих случаях преподносились как уже совершенный прорыв, а не как находящиеся в стадии разработки исследования. Например, когда газеты в 1929 году устроили шумиху вокруг его теории телепараллелизма, он, вместо того чтобы отказаться от всех спекуляций, выступил с публичными заявлениями о ее важности.

После того как критичный ответ Эйнштейна появился в различных изданиях, таких как *Pathfinder* (вашингтонский журнал), а также в ирландской прессе, Шрёдингер опубликовал свой собственный пресс-релиз, в котором представил этот вопрос как проблему академической свободы: «Конечно, за профессором Эйнштейном должно быть последнее слово в споре о правах ученых свободно высказывать свое мнение и докладывать о своих результатах в его Академии»^{190}.

Как вспоминала Энни, обе стороны даже собирались обвинить друг друга в плагиате в судебном порядке. Когда об этом узнал Паули, он решил выступить посредником. Паули предупредил, что судебный иск может плохо сказаться на репутации обоих ученых. «Кроме того, — отметил он, — я действительно не понимаю, из-за чего весь сыр-бор. Эта теория еще недостаточно осмыслена. Если вы каким-либо образом свяжете ее с моим именем, то тогда у меня тоже появится повод подать на вас в суд»^{191}.

Шрёдингер вскоре решил, что продолжать спор будет неразумно. Он и так уже серьезно конфликтовал с другом. Ситуация вышла из-под контроля. Он начал называть этот инцидент «пакостью Эйнштейна» (Einstein Schweinerei).

Хотя Шрёдингер и воздержался от продолжения дискуссии, писатель-сатирик Брайан О'Нолан решил вступить за него. Под псевдонимом он написал разгромную колонку, в которой обвинил Эйнштейна в снобизме. «Вы знаете, мне совсем не понравилось то выступление, — прокомментировал он. — Прежде всего, обратите внимание на неприкрытую насмешку... Я, черт возьми, ведь обычный человек. А обыватели, естественно, склонны рассуждать о довольно глупых вещах, [таких как] золото, растущее на деревьях ... Это просто оскорбление и ничего больше»^{192}.

Как и Шрёдингер, Эйнштейн не стал продолжать спор. Он не ответил на публикацию О'Нолана, о которой, вероятно, даже и не узнал. Тем не менее прошло еще три года, прежде чем он возобновил переписку со старым другом.

Исторические вехи

В 1948 году принстонский физик Джон Уилер, живший рядом с Эйнштейном и часто навешавший его, принес волнующее известие. Блестящий аспирант Уилера Ричард Фейнман разработал новый подход к квантовой механике, который назвал «суммой по историям»^[16]. Подход обобщал принцип наименьшего действия Гамильтона и описывал, как обмен фотонами между электронами и другими заряженными частицами порождает электромагнитное взаимодействие. В этом процессе фотон выступает в роли *частицы-посредника* — существование таких частиц требуется в калибровочной теории электромагнетизма Вейля. Фейнман показал, что, в отличие от классической механики, в которой частицы движутся по единственной траектории, при описании квантовых взаимодействий необходимо учитывать все возможные траектории с весом, зависящим от их вероятности, чтобы получить итоговый результат.

Понять разницу между классической механикой и фейнмановской суммой по историям поможет следующая аналогия. Представьте себе мальчика в ботинках, идущего домой из школы. Предположим, у него на выбор есть три различных маршрута: короткий путь по песчаной тропинке, более длинный путь по грязной дорожке и еще более длинный путь по гравийной. В классической механике он выберет наиболее эффективный маршрут и испачкает ботинки песком. А теперь сравните это с квантовой версией, в которой результатом будет сумма по всем возможным траекториям. В этом случае в конце пути на его ботинках будет не только много песка, но еще и грязь и немного гравия. Это как если бы он пошел всеми тремя маршрутами сразу, но каким-то образом «большая его часть» пошла бы коротким путем.

Одной из первоначальных проблем применения метода Фейнмана стало появление нежелательных бесконечных слагаемых. Впрочем, Фейнман и независимо от него физики Джулиан Швингер и Синъитиро Томонага разработали способ, называемый «перенормировкой», который позволял сокращать эти бесконечности. Перенормировка подразумевает группировку слагаемых таким образом, чтобы положительные и отрицательные слагаемые сокращались, а итоговая сумма была конечной.

Теория Фейнмана, Швингера и Томонаги, названная *квантовой электродинамикой* (КЭД), позволила глубже понять взаимодействие между частицами. Хотя изначально методы были разработаны для описания электромагнитного взаимодействия, через некоторое время они были модифицированы и использованы для описания слабых и сильных ядерных взаимодействий. Это стало решающим шагом на пути к построению *Стандартной модели* — способа описания электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий на основе единой теории.

Эйнштейн мало интересовался такими идеями. По воспоминаниям Уилера, фейнмановская идея суммирования по траекториям Эйнштейна не впечатлила. Проблема заключалась в зависимости таких сумм от вероятностей. «Я не могу поверить, что Бог играет в кости, — говорил Эйнштейн Уилеру, — но, быть может, я заслужил право на ошибку»^{193}.

В том году Шрёдингер и Энни получили ирландское гражданство. Шрёдингер был полностью доволен новой родиной, но продолжал скучать по австрийским Альпам и, конечно, по Хильде и Рут. Единственная заковыка была в том, что его покровитель не был более премьер-министром. Дэв был вынужден уйти в отставку после выборов в феврале 1948 года, когда оппозиционные партии образовали парламентскую коалицию, отстранившую либеральную партию «Фианна Файл» от власти. Смена власти продемонстрировала здоровую конкуренцию в ирландской демократии. Вскоре Ирландия будет официально признана республикой, чем она, в сущности, и была с конца 1930-х годов.

В конце 1948 года, за несколько месяцев до семидесятилетия, Эйнштейн перенес операцию на брюшной полости. Его положили в Бруклинский еврейский госпиталь в канун Нового года, прооперировали и оставили на несколько дней для реабилитации. Когда он вышел из больницы через черный ход, толпища папарацци столпились вокруг него и просили сфотографироваться. Он категорически отказался, кричал им: «Нет! Нет! Нет!»^{194}. Но фотографии не оставляли его в покое, и в конце концов Эйнштейну пришлось вызвать полицию, чтобы она сопровождала его до дома.

Самым ярким событием празднования его дня рождения в том году стал визит детей, оставшихся сиротами после войны. В их числе была

и его дальняя родственница, Элизабет Керзек. На тот момент ей было одиннадцать лет. Привел детей в дом Эйнштейна Уильям Розенвальд, председатель «Объединенного еврейского призыва». Розенвальд пообещал Эйнштейну, что он попытается найти новые семьи для всех детей к концу года. Сам Эйнштейн, будучи беженцем, активно содействовал поиску нового жилья и работы для перемещенных европейцев, он написал сотни писем в их поддержку-Институт перспективных исследований, возглавляемый в то время Оппенгеймером, вступившим в должность в конце Второй мировой войны, чествовал своего самого известного ученого на представительной конференции, организованной совместно с Принстонским университетом. Вейль, давно отказавшийся от попыток создания единой теории поля и занимавшийся чистой математикой, был одним из многих ученых, кому воздавали должное. Физики обнаружили, что применение калибровочной теории Вейля к миру элементарных частиц дает отличные результаты.

Бор не смог присутствовать на конференции, но прислал письменное поздравление. Он писал, что хотел бы получить удовольствие от бесед с Эйнштейном, которого рассматривал как своего рода огневое испытание для сложных аспектов квантовой физики. Он понимал, что его ответы, а также ответы других физиков на бескомпромиссно прямые вопросы Эйнштейна помогли сделать квантовую философию более строгой.

Другой оратор, ученый-физик Исидор Айзек Раби, предсказал, что действие гравитации на атомные часы будет точно измерено к восьмидесятилетию Эйнштейна. Он был не так уж далек от истины. Хотя Эйнштейн и не дожил до этого возраста, в 1959 году, когда ему исполнилось бы восемьдесят, гарвардский физик Роберт Паунд и его ученик Глен Ребка провели эксперимент, в результате которого успешно измерили гравитационное красное смещение — эффект, предсказанный общей теорией относительности, согласно которому гравитация может изменять частоту света. Это открытие стало еще одним триумфом теории Эйнштейна.

Вигнер, еще один участник конференции, тоже произнес хвалебную речь в адрес Эйнштейна. Позже он заинтересуется мысленным экспериментом с котом Шрёдингера и ЭПР-парадоксом в связи с квантовой теорией измерений. Его парадокс «друга Вигнера»

обобщает парадокс кота Шрёдингера следующим образом. Представим себе друга, который открывает коробку и наблюдает за состоянием кота, но не сообщает о результатах. В данном случае, с точки зрения стороннего наблюдателя, отмечает Вигнер, друг будет находиться в смешанном квантовом состоянии шока и облегчения, пока он не передаст результат своего наблюдения. Этот мысленный эксперимент указывает на еще большее значение роли сознания в традиционной интерпретации квантовой механики.

Газеты также превозносили Эйнштейна за неустанные поиски космической истины. *New York Times* верно заметила, что он «будет продолжать искать до конца своих дней... всеобъемлющую теорию, которая, помимо гравитации и электромагнетизма, включила бы в себя все ядерные взаимодействия, которые удерживают Вселенную в едином фундаментальном порядке»^{195}.

К концу года Эйнштейн ощутил вкус успеха еще раз. Семидесятилетний старик все еще был способен высечь искру и зажечь воображение всего человечества. Эйнштейн снова оказался в центре внимания и оставил конкурентов позади.

Глава 8

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ВАЛЬС: ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ЭЙНШТЕЙНА И ШРЁДИНГЕРА

Вряд ли человек может знать, что является наиболее значимым в его собственной жизни. И конечно же, это мало беспокоит других людей. Горечь и сладость приходят извне, твердость — изнутри, от твоих собственных усилий. По большей части я делал то, что моя природа заставляла меня делать. Мне довольно неловко заслужить столько уважения и любви за это... Я живу в таком уединении, которое воспринимается болезненно в молодости, но вкус которого начинаешь ценить в годы зрелости.

Альберт Эйнштейн. «Автопортрет»

Несколько месяцев перед своим семьдесят первым днем рождения Эйнштейн провел примерно так же, как время перед пятидесятилетием: представляя и популяризируя свою новую теорию объединения. По этому поводу издательство *Princeton University Press* решило в марте 1950 года выпустить исправленное и дополненное издание книги «Сущность теории относительности», основанной на докладах, которые сделал Эйнштейн в Принстонском университете в мае 1921 года. Обновленная версия книги должна была включать приложение, в котором Эйнштейн объяснял свою «обобщенную теорию гравитации» в популярной форме.

Последнее, что было нужно Эйнштейну на тот момент, это еще один скандал в СМИ. Шрёдингер не доставлял ему больше беспокойства, так как вел себя тихо и примерно. Нет сомнения, что Шрёдингер был обеспокоен установившимся между ними молчанием и понял, как глупо было поставить под угрозу их дружбу ради мимолетной славы. Тем не менее Эйнштейн не смог избежать полемики. В кулуарах шли бурные дебаты по поводу преждевременности публикации нового материала.

Дат Смит и Герберт Бейли, директор и главный редактор *Princeton University Press* соответственно, идеально выбрали время для

торжественной презентации последней теории Эйнштейна. Они планировали выпустить пресс-релиз в феврале, когда книга поступит в продажу. Люди должны были узнать о новом взгляде на природу, купив книгу и изучив приложение.

Ближе к Рождеству 1949 года Смит и Бейли узнали, что Эйнштейн договорился опубликовать статью об обобщенной теории еще и в журнале *Scientific American*, который собирался анонсировать ее в ближайшее время. Опасаясь, что читатели проигнорируют книгу из-за статьи, издатели решили поспешить с заявлением о ее готовящемся выходе в свет.

Однако их ждал неприятный сюрприз. Девятого января *Life* напечатал статью Линкольна Барнетта, автора недавно вышедшей книги «Вселенная и профессор Эйнштейн»^{196}. В статье не только простым языком рассказывалось об обобщенной теории Эйнштейна, что дублировало планируемое приложение книги, но в ней даже не упоминалось новое издание Принстонского университета. Вместо этого в статье подразумевалось, что теория Эйнштейна уже была опубликована. Это было отчасти верно; Эйнштейн публиковал предварительные версии своей теории, но спустя какое-то время он многое в них менял. Смит и Бейли беспокоились, как бы читатели не потеряли интерес к книге.

Смит сразу же написал Барнетту гневное письмо, в котором упрекал его в том, что в статье не была упомянута книга. Барнетт извинился, объяснив, что это произошло случайно, по недосмотру^{197}. Редакция *Life* хотела заполучить сенсационную историю прежде, чем ее опубликует *Scientific American*. Кроме того, он утверждал, что узнал о новой теории Эйнштейна сам, на конференции Американской ассоциации содействия развитию науки, где была представлена более ранняя версия теории. Наконец, он выразил уверенность, что в журнале будут другие статьи о теории, в которых будут ссылки на книгу. Смит принял его подробные объяснения и вежливые извинения^{198}.

Словно желая еще больше усложнить жизнь Смицу и Бейли, примерно в это же время Эйнштейн позвонил им и сообщил, что уравнения его обобщенной теории можно выразить в более простой форме. Он настоял на том, чтобы они приостановили работу над

книгой до тех пор, пока он не переработает приложение, которое должна была перевести с немецкого на английский жена Баргманна Соня. Издатели выполнили просьбу, хотя это, несомненно, стоило им немалых денег. А что еще они могли сделать? Ведь это был сам Эйнштейн. После того как книга была уже напечатана, Эйнштейн обнаружил несколько ошибок в своих расчетах. Их пришлось указывать в списке найденных опечаток, который был добавлен в каждый экземпляр книги.

В этой истории был еще один темный момент. В середине января Эйнштейн получил письмо от некоей Фрэнсис Хагеманн из Мэйплвуда, штат Нью-Джерси. Она утверждала, что фраза «единое гармоничное здание космических законов», использованная в статье *Life*, принадлежит ей и что журнал украл фразу через Комиссию по атомной энергии США.

«Я бы хотела предупредить вас, чтобы вы держались подальше от моей собственности, — писала она. — Я еще не читала вашу книгу, но если после ее прочтения я увижу, что мои авторские права ущемлены, то я буду преследовать вас по всей строгости закона об авторских правах»^{199}.

Хагеманн также отправила копию этого письма Бейли. Он ей ответил и объяснил, что данная фраза принадлежит редакции журнала *Life*, а не Эйнштейну^{200}. Но Хагеманн это не убедило. Она раздраженно ответила Бейли (отправив копию Эйнштейну), что авторскими правами защищены ее идеи, а не только слова^{201}. Действительно ли она официально подала жалобу, неизвестно.

Слухи о новой теории добрались и до зарубежных печатных изданий. В *Irish Times* писали, что большинство людей, за исключением немногих ученых, таких как Шрёдингер, недостаточно образованны, для того чтобы понять новую теорию Эйнштейна. Журналист сокрушался: «К сожалению, профессор Эйнштейн уникален в своей сфере; во всем мире найдется лишь небольшая горстка людей, способных добиться успеха, несмотря на все преграды на пути. Ирландии повезло, так как один из ее граждан, профессор Шрёдингер, относится к числу тех избранных, которые в состоянии понять и, более того, объяснить некоторые аспекты новой теории»^{202}.

Газета *New York Times* преподносила новую работу как «главную теорию» Эйнштейна. «Его последний интеллектуальный синтез, — рассуждал журналист, — может раскрыть человеку безграничные, но все еще неизвестные возможности, выходящие за пределы воображения»^{203}.

Примечательно, что на семьдесят первом году жизни Эйнштейна, когда с момента последней революционной публикации прошло более четверти века, его простой набор уравнений единой теории, еще даже не подтвержденных экспериментально, породил такой ажиотаж. Каждая новая теория Эйнштейна (независимо от степени обоснованности) была как сладкий нектар, на который слетался целый рой журналистов и физиков-подражателей, а в некоторых случаях даже доходило до скандалов и драк за лакомый кусочек.

Физическому же сообществу попытки Эйнштейна создать последовательную единую теорию казались все более нелепыми из-за того, что он игнорировал уже известный физикам мир элементарных частиц. В экспериментах с космическими лучами уже было обнаружено множество новых субатомных частиц, таких как мюоны, пионы и каоны, а в теориях Эйнштейна они даже не предполагались. Он настойчиво игнорировал ядерные силы.

Роберт Оппенгеймер, например, хоть и очень любил Эйнштейна и был большим поклонником его ранних, пионерских работ, считал его поздние попытки объединения взаимодействий абсурдными и недостойными великого ученого. Оппенгеймер писал: «Я думаю, совершенно ясно, что область явлений, которую описывает эта теория, слишком скудна и не включает в себя многое из того, что уже известно физикам, но что было недостаточно изучено в студенческие годы Эйнштейна. Таким образом, она выглядит как безнадежно ограниченное и с исторической точки зрения скорее случайное, ситуационное приближение. Хотя Эйнштейн пользуется расположением или, более правильно, любовью каждого из-за своей решимости не бросать свои исследования, он практически потерял контакт с физикой как профессией, потому что узнал о некоторых вещах слишком поздно, когда ему уже было не до них»^{204}.

Смиренный и полный надежд

Шрёдингер чувствовал себя ужасно из-за происшедшей тремя годами ранее ссоры с Эйнштейном. Чтобы загладить вину, он усиленно хвалил Эйнштейна за попытку создания единой теории, принижая свои заслуги на этом поприще.

«Я был среди тех, кто совершал подобные попытки и не достиг ничего действительно стоящего, — признался Шрёдингер. — Если сейчас он преуспел в этом, безусловно, это очень значимый результат»^{205}.

Несмотря на сильное желание Шрёдингера восстановить прежние отношения с Эйнштейном, их представления о том, что можно считать завершённой теорией, не совпадали. В отличие от Эйнштейна, Шрёдингер считал необходимым включение в теорию ядерных взаимодействий. Эйнштейн как будто отказался от формулирования проверяемых на опыте предсказаний, а Шрёдингер всегда подчеркивал их важность, хотя его собственная экспериментальная база не была надёжной. Он продолжал использовать свой пример с магнитным полем Земли, хотя плохо разбирался в геофизике. Кроме того, как создатель волнового уравнения, Шрёдингер придавал гораздо большее значение предсказательной силе стандартной квантовой механики, чем Эйнштейн. Наконец, ещё со времен своих ранних работ по общей теории относительности, опубликованных в 1917 году, Шрёдингер активно использовал в своих теориях космологическую постоянную, которую Эйнштейн уже давно не рассматривал.

Эйнштейн отказался от космологической постоянной в свете открытого Хабблом расширения Вселенной. Шрёдингер же полагал, что это слагаемое имеет большое значение, хотя его величина и очень мала. Свою теорию с космологической постоянной он рассматривает в книге 1950 года «Структура пространства-времени». В ней Шрёдингер представил всесторонний обзор общей теории относительности и смежных теорий. Он утверждал, что одно из преимуществ его аффинной теории состоит в том, что она объясняет возникновение космологической постоянной естественным образом и доказывает, что она имеет хотя и очень маленькое, но ненулевое значение^{206}. Убежденность Шрёдингера в необходимости введения в теорию небольшой, но ненулевой космологической постоянной, конечно, была

провидческой. Это согласуется с сегодняшней моделью ускоряющегося расширения Вселенной, приводимой в движение таинственной темной энергией. Каким-то образом его догадка оказалась верной.

В своей книге Шрёдингер также рассматривает вероятность того, что для единой теории не будет найдено никакого решения, но не расценивает это как ее существенный недостаток. Он также отмечает, что найденные классические решения могут не соответствовать квантовым свойствам частиц ^[207].

В отличие от Эйнштейна, Шрёдингер считал, что одного обобщения общей теории относительности недостаточно, чтобы предоставить реалистичное описание частиц. Он понимал, что простые волновые функции, решения его собственного волнового уравнения должны лучше подходить для описания нюансов квантовой механики.

В Верховный суд

Осенью 1950 года переписка между Эйнштейном и Шрёдингером возобновилась. Возможно, они поняли, как высоко ценят друг друга, как мыслят в резонанс. Шрёдингер вел себя крайне осторожно, чтобы не обидеть дорогого друга. Он научился не делать бестактных заявлений о превосходстве своих теорий.

Эйнштейн продолжал возиться со своей обобщенной теорией. В письме Шрёдингеру от 3 сентября он признался, что его попытки могут показаться несколько идеалистичными. «Все это пахнет старым добрым донкихотством, — писал он про одно из своих математических допущений, — но если вы хотите отражать реальность, другого выбора у вас нет» ^[208].

В своих дискуссиях они обратились к спорным аспектам квантовых измерений — их общей любимой теме. Шрёдингер, чьи интересы постоянно менялись, вновь обратился к философии. Он хотел показать, что в контексте истории традиционная интерпретация квантовой механики когда-нибудь станет пережитком. Он представил свои взгляды в статье 1952 года «Существуют ли квантовые скачки?», в которой сравнил идею квантовых скачков с устаревшей идеей

эпициклов Птолемея, которая была заменена теорией Коперника. Он послал экземпляр своей работы Эйнштейну, несомненно рассчитывая на его восторженную реакцию.

Вскоре после этого единые теории поля, основанные на концепции аффинной связности, стали подвергаться критике. В 1953 году было опубликовано несколько статей, в том числе статьи физиков С. Питера Джонсона-младшего и Джозефа Кэллоуэя. В этих работах показывалось, что из обобщенной теории Эйнштейна (и, как следствие, из работы Шрёдингера) не выводится поведение заряженных частиц, наблюдаемое в реальных экспериментах. Эйнштейн быстро отразил критические нападки в свой адрес, а Шрёдингер, напротив, еще больше разочаровывался в своей теории.

В мае 1953 года, ознакомившись с последними идеями Эйнштейна, Шрёдингер позволил себе немного конструктивной критики некоторых математических допущений. Надеясь не расстроить Эйнштейна, он начал письмо словами: «Пожалуйста, не сердитесь на мое упрямство...»^{209}

В своем ответном письме в июне того же года Эйнштейн иронизирует на этот счет: «Мы много спорили, и даже небезуспешно, о естественности аффинной теории. Только Бог может быть судьей интуитивным решениям. Но, как и Верховный суд, он не рассматривает подобные обращения»^{210}.

Спин Боба и квантовые измерения

У многих физиков, бывавших в Принстоне в 1940-х или начале 1950-х годов, есть воспоминания, связанные с Эйнштейном. Одни, возможно, видели его идущим по городу со своими ассистентами. Другие посещали некоторые из его лекций, которые он читал, как правило, на немецком языке. Кому-то посчастливилось пообщаться с ним лично. Они сохранили яркие воспоминания об этих драгоценных моментах, которыми, несомненно, неоднократно делились со своими друзьями и родственниками.

Роберт Ромер, физик из Амхерстского колледжа, написал про свои «полчаса с Эйнштейном» — речь идет о его визите к Эйнштейну в феврале 1954 года. Встреча была приятной и запоминающейся. «Мисс

Дукас поздоровалась со мной и провела наверх, в маленький и загроможденный вещами кабинет Эйнштейна, — вспоминал Ромер. — Он был там и выглядел “в точности как Эйнштейн”: брюки цвета хаки, серый свитер, в общем, одет он был примерно также модно, как одеваюсь я сейчас»^{211}.

Больше всего Ромеру запомнилось обсуждение мысленного эксперимента ЭПР. Эйнштейн спросил его: «Вы действительно верите, что если кто-то здесь измерит спин атома, то это может повлиять на одновременное измерение спина другого атома где-то там?» — указывая вниз по Мерсер-стрит. По прошествии времени Ромер был удивлен, что Эйнштейн переформулировал эксперимент в терминах спина, а не координаты и импульса, как в своей оригинальной статье. Это можно рассматривать как более ранний вариант версии ЭПР-парадокса в терминах спина, предложенной физиком Дэвидом Бомом в 1957 году совместно с Якиром Аароновым.

Эйнштейн познакомился с Бомом, когда тот работал ассистент-профессором в Принстонском университете в конце 1940-х годов. Бом проявлял значительный интерес к квантовой механике и решил написать учебник по этому предмету. После публикации книги он начал сомневаться в некоторых аспектах копенгагенской интерпретации, в том числе в «призрачном дальнодействии». Он поделился своими сомнениями с Эйнштейном, и они провели немало времени за плодотворными дискуссиями о логических пробелах квантовой теории. Бом решил разработать альтернативную причинную интерпретацию квантовой механики с помощью нелокальных скрытых переменных — ненаблюдаемых в эксперименте величин. Между тем он был вынужден покинуть Принстон из-за отказа давать показания Комиссии по расследованию антиамериканской деятельности в период маккартизма и «охоты на ведьм» (людей, заподозренных в прокоммунистических настроениях). При содействии Эйнштейна Бом получил новую должность в университете Сан-Пауло в Бразилии. Там он продолжил исследования причинной интерпретации квантовой механики. В результате появилась теория, которая восходит к идеям де Бройля и Шрёдингера 1920-х годов о том, что волновая функция физически реальна, а не просто представляет собой абстрактное хранилище вероятностной информации о частицах. В 1927 году де Бройль опубликовал детерминистическую интерпретацию квантовой

механики, основанную на реальных волнах, которые управляют поведением частиц, и назвал ее «теорией волны-пилота». Поэтому иногда идеи де Бройля и Бома, хотя они и развивались независимо, объединяют в «теорию де Бройля — Бома».

В мысленном эксперименте ЭПР в версии Бома — Ааронова рассматриваются два электрона с одного энергетического уровня, движущиеся в противоположных направлениях. Принцип Паули требует, чтобы электроны имели противоположные спиновые состояния: если спин одного электрона направлен вверх, то спин другого будет направлен вниз. Пока не произведено измерение, невозможно узнать, у какого электрона какой спин. Следовательно, два электрона образуют *запутанное квантовое состояние*, суперпозицию обоих возможных вариантов ориентации спинов: «вверх-вниз» и «вниз-вверх». Теперь предположим, что экспериментатор измеряет спин одного из электронов с помощью магнитного устройства, а другой исследователь сразу же регистрирует спин другого электрона. Согласно стандартной интерпретации квантовой механики, система мгновенно коллапсирует в одно из своих собственных спиновых состояний: либо «вверх-вниз», либо «вниз-вверх». Поэтому если эксперимент показал, что первый электрон имеет «спин вверх», то другой неизбежно будет обладать «спином вниз». Как в отсутствие непосредственного взаимодействия между электронами второй электрон смог мгновенно «узнать» результат измерения спина первого электрона?

В 1964 году физик Джон Белл исследовал этот вопрос более подробно и разработал математический аппарат для различения стандартной квантовой интерпретации запутанных состояний и альтернативного объяснения с использованием скрытых переменных. Он основывал свои идеи на мысленном эксперименте ЭПР в версии Бома — Ааронова. Теорема Белла критически важна для дальнейшего анализа того, что в действительности происходит, когда наблюдатель производит измерение квантовой системы. Она будет проверена в 1982 году в ходе эксперимента с поляризаторами, проведенного французским физиком Аленом Аспе и его коллегами.

Работы Бома и Белла были посвящены интерпретации квантовой механики, а не ее применению. Более практический вопрос касался расширения квантовой теории поля с целью включения в нее

остальных сил помимо электромагнетизма. Целью было обобщить квантовую электродинамику в такую теорию, которая смогла бы описать и другие взаимодействия, такие как ядерные силы и гравитация.

Основной теоретический прорыв в этой области произошел примерно в то же время, что и визит Ромера к Эйнштейну. В начале 1954 года физик Чжэньнин Янг и математик Роберт Миллс опубликовали статью, в которой калибровочная теория поля, предложенная Вейлем, помимо вращательной симметрии дополнялась новой группой симметрии. Напомним, что исходная калибровочная теория, описывающая электромагнетизм, в некотором смысле напоминает вентилятор или флюгер, который может указывать в любом направлении. Таким образом, она обладает вращательной симметрией.

Группу таких симметрии, или группу поворотов окружности, математики обозначают $U(1)$. Ключевым свойством группы $U(1)$ является то, что она *абелева*. Это означает, что порядок операций на этой группе не имеет значения. Если вы повернете вентилятор на четверть круга по часовой стрелке и затем на треть круга против часовой стрелки, то он окажется в том же положении, что и в случае, если вы измените очередность поворотов.

Работа Янга и Миллса обобщила метод Вейля на случай *неабелевых* групп симметрии. В качестве простого примера можно привести повороты в трехмерном пространстве, которые могут быть представлены группой $SU(2)$. Возьмите яйцо, аккуратно поставьте на нем точку и поверните его на четверть круга по часовой стрелке вокруг его длинной оси, а затем поверните на треть круга против часовой стрелки вокруг его короткой оси. В отличие от двумерного вращения окружности, если вы измените порядок вращения, метка на яйце перейдет в совсем другую точку. Иными словами, для неабелевых групп, таких как $SU(2)$, порядок операций имеет значение.

Важное свойство калибровочной теории Янга — Миллса (которое позже будет доказано в работах нобелевских лауреатов, голландских физиков Герарда 'т Хоофта и Мартинуса Велтмана) заключается в том, что, как и квантовая электродинамика, она *перенормируема*. Это означает, что она приводит к конечным ответам. Как оказалось, ее свойства идеально подходят для моделирования слабых и сильных

ядерных взаимодействий наряду с электромагнетизмом. Конечно, Эйнштейна не заинтересовало бы объединение взаимодействий, которое содержало бы вероятностные аспекты, такое как квантовая теория поля.

Когда Гейзенберг гостил у Эйнштейна осенью 1954 года во время поездки с лекциями по США, Эйнштейн выказал как раз подобное отсутствие интереса. За кофе и тортом Гейзенберг пытался в последний раз убедить основателя теории относительности в правильности вероятностных представлений о природе. Он надеялся заинтересовать Эйнштейна и упомянул, что начал разрабатывать собственную единую теорию поля на основе принципов квантовой механики. Чтобы встреча прошла как можно более гладко, разговоров о политике они избегали. Тем не менее Эйнштейн не был впечатлен. Упрекая Гейзенберга, он повторял свою старую максиму: «Но вы же не можете всерьез поверить, что Бог играет в кости»^[212].

Карандаш и бумага

После встречи с Гейзенбергом Эйнштейн проживет еще примерно полгода. С 1948 года он знал, что у него в груди тикает бомба замедленного действия — аневризма аорты, — которая может разорваться в любой момент. По нескольким причинам, одной из которых стало пошатнувшееся здоровье, Эйнштейн отказался от поездок и большую часть времени проводил в Принстоне. Один раз он выехал в Сарасоту (Флорида) на отдых, но такие поездки за пределы города были редким явлением.

Смерть родной сестры Майи в 1951 году сильно потрясла его. Он почувствовал себя более одиноким, чем когда-либо раньше. Единственным утешением в последние годы жизни для него было сближение с сыном Гансом Альбертом, который переехал в США и получил должность профессора гидроинженерии в Беркли. Ганс Альберт часто навещал его, и они наверстывали упущенное, обсуждая общие научные интересы.

Серьезно опасаясь ядерной войны, Эйнштейн активно выступал за создание мирового правительства. Он полагал, что передача контроля над оружием массового уничтожения централизованному мировому

парламенту — это единственный способ предотвратить его применение. Зная, что отпущенное ему на земле время истекает, он пытался сделать все от него зависящее для сохранения планеты.

Будучи убежденным сторонником создания еврейского государства, он был встревожен разворачивающимся конфликтом в государстве Израиль, основанном в 1948 году. Надеясь, что на этой земле евреи и арабы смогут жить вместе в мире и согласии, он призывал к решению территориальных споров за столом переговоров. Эйнштейн хотел видеть такой Израиль, который был бы дружен со своими соседями и признан ими.

В 1952 году, когда первый президент Израиля Хаим Вейцман умер, Эйнштейну официально предложили занять его место. Хотя это было большой честью, он категорично и вежливо отклонил предложение. Без сомнения, состояние его сердца и нежелание путешествовать повлияли на его решение. Но основным фактором было то, что он предпочитал одиночество всеобщему вниманию, а также то, что он не хотел исполнять роль главы государства, особенно если ему придется выступать против решений правительства.

Последним крупным общественным деянием Эйнштейна стал манифест Рассела — Эйнштейна, антивоенное воззвание ученых, инициированное философом Бертраном Расселом. В манифесте утверждалось, что в следующей мировой войне, скорее всего, будет использовано ядерное оружие, которое может разрушить крупнейшие города и угрожает уничтожить всю человеческую расу, поэтому необходимо положить конец вооруженным конфликтам. Эйнштейн подписал документ 11 апреля 1955 года, всего за неделю до смерти.

Последние несколько дней жизни Эйнштейна сопровождались сильной болью. Но тем не менее он оставался бодр и весел. Дукас испугалась, когда 13 апреля обнаружила его лежащим на полу. Она вызвала врача, который приехал и выписал Эйнштейну морфин. На следующий день приехали несколько врачей и сообщили Дукас, что аневризма Эйнштейна очень нестабильна и скоро произойдет ее разрыв. Врачи рекомендовали операцию, но Эйнштейн отказался, сказав, что прожил уже достаточно долго и настало время уходить. Когда на следующий день он не смог пошевелиться от боли, Дукас вызвала скорую. Его доставили в больницу Принстона.

Даже находясь при смерти, Эйнштейн продолжал работать над единой теорией поля. За день до кончины он попросил принести ему карандаш и блокнот, чтобы он мог продолжить свои расчеты. Его сын приехал и находился рядом с ним весь день, вместе со своим доверенным Отто Натаном и Дукас

Ранним утром 18 апреля линия жизни Эйнштейна достигла своей конечной точки — последней сингулярности жизни. Как врачи и предупреждали, произошел разрыв аорты. Эйнштейн пробормотал медсестре несколько слов по-немецки, медсестра их не поняла и не смогла воспроизвести. Увы, они оказались потеряны для потомков.

Эйнштейн никогда не хотел, чтобы ему ставили памятник, даже был против могилы. Его тело было кремировано, а прах развеян. Патологоанатом Томас Харви во время вскрытия трупа Эйнштейна перед кремацией странным образом, ни у кого не спрашивая, принял решение извлечь и сохранить его мозг для научных исследований. В последующие годы он разделил мозг на части в целях изучения. Сегодня фрагменты мозга Эйнштейна представлены на выставке в Музее медицинской истории Мюттера, штат Филадельфия.

В честь Эйнштейна, через несколько месяцев после его смерти, в Берне состоялась крупная конференция, организованная Паули и посвященная юбилею специальной теории относительности. На ней присутствовали ведущие ученые со всего мира, в том числе Бергманн, который вернулся в Европу впервые после войны. Брурия Кауфман, последняя ассистентка Эйнштейна, представила на конференции его финальную статью о единой теории поля.

Вена зовет

Со смертью Эйнштейна Шрёдингер потерял одного из своих самых близких друзей. Несмотря на конфликт 1947 года, они по-прежнему доверяли мнению друг друга. К счастью, ученые успели возобновить переписку до смерти Эйнштейна, иначе Шрёдингеру пришлось бы еще тяжелей.

С 1946 года Шрёдингер надеялся на переезд обратно в Австрию. Тем не менее он не хотел возвращаться в Вену, пока город был частично оккупирован советскими войсками и окружен советским

сектором. Устав от политики, Шрёдингер не имел ни малейшего желания быть пешкой в холодной войне. По его мнению, нейтралитет был лучшей политикой.

Поэтому он очень обрадовался, когда в 1955 году бывшие союзники пришли к соглашению о выводе всех оккупационных войск из Австрии. В свою очередь, Австрия официально взяла на себя обязательство сохранять нейтралитет и оставаться свободной от ядерного оружия. С точки зрения Шрёдингера, на чьей памяти рухнула Австро-Венгерская империя, возник фашизм и состоялся аншлюс, это была лучшая политическая новость за все время.

Когда Шрёдингеру предложили место в Венском университете, он надеялся, что ему удастся продолжить творческую карьеру после отъезда из Дублина. Когда Эрвин и Энни сели на корабль, покинув приютивший их город, де Валера был последним, кто пришел с ними проститься. Это был момент горькой радости, поскольку Шрёдингер так же сильно любил Ирландию, как и тосковал по горам своего родного края. Федеральное министерство образования радостно приветствовало его. Австрия была рада возвращению своего прославленного земляка.

Как это ни печально, возвращение Шрёдингера домой не было столь радостным и спокойным, как он ожидал. В последние годы жизни Эрвин и Энни тяжело болели. У обоих были серьезные проблемы с легкими. Помимо бронхиальной астмы, Энни страдала тяжелой депрессией и проходила курсы электрошоковой терапии. До появления антидепрессантов электрошок был стандартным методом лечения. Эрвин страдал от частых бронхитов и воспалений легких, усугублявшихся из-за постоянного курения. После удаления катаракты ему приходилось носить очки с толстыми линзами. Он также страдал от флебита, атеросклероза, высокого давления и проблем с сердцем. Во время прогулок ему часто приходилось останавливаться, чтобы отдышаться. Он был подавлен тем, что больше не может ходить по горам, как в молодости.

Буквально перед отъездом из Дублина у него случился настолько сильный бронхиальный приступ, что для того, чтобы хоть немного облегчить свое состояние, Эрвин принял очень большую дозу снотворного, запив ее виски. На следующее утро Энни нашла его в

бессознательном состоянии и не смогла разбудить. Она в панике вызвала врача, которому, к счастью, удалось откачать Шрёдингера.

Приступив к работе в Венском университете, он попытался сосредоточиться на своих исследованиях. Несмотря на плохое состояние здоровья, Шрёдингер успел поработать еще над несколькими научными проектами. Он стал наставником молодого физика Леопольда Халперна, который был его ассистентом. Халперн впоследствии работал с Дираком, другим лауреатом Нобелевской премии по физике 1933 года.

Переосмысливая философские идеи своей молодости, Шрёдингер написал эссе «Что реально?», которое дополняло его монографию 1925 года «Поиски пути». Он также опубликовал работу «Мой взгляд на мир», которая подытоживала его взгляды на природу жизни, сознания и реальности. Несколько лет ранее Шрёдингер издал книгу о греческой философии «Природа и греки». Шрёдингер всегда видел себя скорее натурфилософом или естествоиспытателем, какими были Платон и Аристотель, а не специалистом по вычислениям, в которых он, несомненно, также был искусен.

Переходы и завершения

12 августа 1957 года Эрвину исполнилось семьдесят лет. Вскоре он решил, что пришло время уйти на пенсию. В конце учебного года ему был присвоен статус почетного профессора в отставке, который давал множество привилегий, но не обязывал преподавать. Хотя это было довольно необычно — выйти в отставку вскоре после вступления в должность, Шрёдингер и в прошлом не задерживался на одном месте, особенно в начале карьеры. Разве что его пребывание в Дублине затянулось более чем на десять лет.

Неизвестно, как Шрёдингер отреагировал на статью докторанта Принстонского университета Хью Эверетта III, вышедшую в июле 1957 года под названием «Формулировка квантовой механики через “соотнесенные состояния”». В статье подробно излагалась достойная альтернатива стандартной интерпретации квантовой механики — то, что позже получит название *многомировая интерпретация* квантовой механики. Хотя сейчас эта статья считается программной, в то время

физики не уделили ей особого внимания. Уилер, научный руководитель Эверетта, поощрял его творческие порывы, но переживал, что ведущие физики, например Бор, сочтут их нелепыми. И действительно, Бора не особенно впечатлили работы Эверетта. Только после того, как физик Брайс Девитт развил эту гипотезу в 1970-х годах, она начала обретать сторонников.

Интересно, что задолго до этого у Эверетта был краткий контакт с Эйнштейном. В 1943 году, когда Хью было двенадцать лет, он написал Эйнштейну письмо, в котором спрашивал, управляется ли Вселенная случаем или в ее основе лежит более общий фундаментальный закон. Эйнштейн с присущим ему юмором ответил, что Хью в своем письме сформулировал и сам же разрешил его собственную, Эйнштейна, философскую дилемму.

Многомировая интерпретация предлагает однозначный анализ сценария кота Шрёдингера. Согласно ей, каждое квантовое наблюдение приводит к разветвлению реальности на бесчисленные варианты параллельных путей. Эверетт решил вопрос о детерминизме и роли наблюдателя очень необычным образом: утверждая, что существование обладающего сознанием наблюдателя разделяется равномерно по всем ветвям реальности. Поэтому каждая копия наблюдателя будет считать, что его сценарий является истинным и predetermined, и он будет прав в этой ветви реальности. Никакого коллапса не происходит, устраняется эффект воздействия наблюдателя на наблюдаемое. Следовательно, помещение кота в стальной ящик с радиоактивным механизмом срабатывания приведет к бифуркации, вызванной возможностью распада. В одной ветви реальности радиоактивное вещество распадется, кот скончается, а наблюдатель расстроится. В другой ветви распада не произойдет, кот выживет, а наблюдатель будет радоваться.

Эверетт считал, что его интерпретация предполагает бессмертие^{213}. Для любого фактора, который может привести к смерти, всегда существует параллельная ветвь, в которой выживание будет возможно. Так что если кот был помещен в стальную камеру на час в день, в одной из версий реальности всегда будет живой кот, который увидит начало следующего эксперимента, и так далее.

Если бы такое бессмертие было возможным, то мы ничего не знали бы обо всех несчастных копиях себя, обреченных на жестокую участь.

Мы не увидели бы скорбящих лиц во всех других параллельных ветвях. Однако мы видим, как уходят наши любимые люди — по крайней мере, так нам кажется в нашей ветви. Поэтому непонятно, будет ли такой вид бессмертия благословением или проклятием. В ситуации Эрвина и Энни в конце 1950-х годов можно увидеть некоторые аналогии: к тому времени они оба страдали от такого множества заболеваний, что каждый из них начал представлять, как он будет жить без партнера.

В 1958 году в драме унификации физики настал черед запоздалого выхода Гейзенберга, который официально представил собственную единую теорию поля. В отличие от Эйнштейна и Шрёдингера, он основывался на стандартной интерпретации квантовой механики и физике элементарных частиц. На основе спиноров (объектов, похожих на векторы, но преобразующихся по-другому) он включил в теорию все, что было известно о слабом ядерном взаимодействии, в том числе недавнее открытие Янга и Т. Д. Ли — нарушение четности. Сохранение четности означает, что зеркальное отражение некоторого физического процесса должно быть эквивалентно самому этому процессу. Как показали Янг и Ли, процессы, связанные со слабым взаимодействием (то есть силой, которая ответственна за многие виды радиоактивного распада), не всегда следуют этому правилу. К тому времени Шрёдингер был уже вне игры и не прокомментировал единую теорию поля Гейзенберга, которой в любом случае не хватало экспериментальных доказательств.

В том же году умер Паули, внесший вклад в единую теорию Гейзенберга. Ученый мир был потрясен, ведь Паули было всего 58 лет, и он все еще активно работал. Он и Гейзенберг враждовали почти целый год, после того как пресса назвала первого «ассистентом Гейзенберга»^{214}. Оскорбленный Паули начал открыто критиковать теорию Гейзенберга. Услышав однажды, как Гейзенберг рассказывает по радио о своей новой теории в том ключе, что ее осталось дополнить всего парой деталей, Паули послал физику Георгию Гамову рисунок в виде пустого прямоугольника с надписью: «Это показывает всему миру, что я могу рисовать, как Тициан. На картине отсутствуют лишь некоторые технические детали»^{215}.

Гейзенберг был настолько возмущен, что не пришел на похороны Паули. Таков был печальный итог некогда продуктивного

сотрудничества. По сравнению с Паули и Гейзенбергом Эйнштейн и Шрёдингер проявили значительно больше великодушия друг к другу.

Двумя светлыми моментами последних лет жизни Шрёдингера были свадьба Рут и Арнульфа Брауницера в мае 1956 года, а также рождение их первенца, Андреаса, в феврале 1957 года. Несколькими годами ранее Эрвин рассказал Рут, что он ее биологический отец. Так что теперь он мог открыто наслаждаться тем, что стал дедушкой. К сожалению, законный отец Рут, Артур Марх, скончался вскоре после рождения Андреаса.

Брауницеры поселились в Альпбахе, восхитительной тирольской деревушке неподалеку от Инсбрука. Ее свежий воздух и обилие цветов полюбили и Шрёдингеру. В Альпбахе хорошо отдыхалось после оживленной Вены. На момент написания этих строк Рут и Арнульф по-прежнему живут там.

В мае 1960 года Эрвин получил неутешительное известие от своего лечащего врача: туберкулез, от которого, как он надеялся, он избавился десятилетия назад, вновь заявил о себе. В течение года болезнь прогрессировала, его дыхание становилось более и более затруднительным. В конце концов его положили в больницу, где он провел все рождественские праздники.

Шрёдингер сказал Энни, что хочет провести свои последние дни дома, а не в больнице. Она забрала его домой и все время была рядом, нежно держа его за руку. Трудности преклонных лет показали, как глубоко они привязаны друг к другу. Его последними словами стали признания ей в верности.

Четвертого января 1961 года Шрёдингер покинул материальный мир. Под присмотром Ханса Тирринга его тело было передано коронеру для вскрытия, а затем перевезено в Альпбах, где он был похоронен 10 января. Тирринг произнес надгробную речь. На могиле установили кованый железный крест с кругом, в котором выгравировано его знаменитое волновое уравнение.

Много лет спустя Рут установила перед надгробным камнем табличку с одним из стихов Шрёдингера. Этот стих, содержащий строку «все бытие по сути едино», красиво иллюстрирует его отношение к ведической философии, где все взаимосвязано и вечно. Сочетание стихотворения на табличке и физического уравнения на

памятнике великолепно характеризует его личность, которая была так сложна и неординарна.

Кот пробирается в культуру

На момент смерти Шрёдингер был известен физикам прежде всего благодаря его волновому уравнению, в то время как биологи (и люди, интересующиеся биологией) были знакомы с ним, главным образом, по книге «Что такое жизнь?». Тем не менее широкая общественность практически ничего не знала о кошачьем парадоксе, той самой работе, которая в конечном итоге сделает его знаменитым. Все изменилось в 1970-х годах, когда в нескольких научно-фантастических произведениях использовался этот запутанный сюжет.

Один из первых рассказов на эту тему под названием «Кот Шрёдингера» вышел в 1974 году, его написала Урсула Ле Гуин. Она узнала о мысленном квантовом эксперименте, читая «физику для крестьян», как она выразилась. «Очевидно, что это была великолепная метафора для определенного типа научной фантастики»^{216}.

В последующие годы появилась уйма фантастических рассказов о квантовых котах, написанных различными авторами. Многие из них были посвящены теме параллельных вселенных и аналогичным идеям. В 1979 году Роберт Антон Уилсон опубликовал книгу «Соседняя Вселенная», первую книгу в трилогии о коте Шрёдингера, посвященной альтернативной истории. Книга Роберта Хайнлайна «Кот, проходящий сквозь стены», опубликованная в 1985 году, описывает новые реальности, порожденные путешествиями во времени. Примерно в это же время в нескольких научно-популярных книгах обсуждалась проблема парадокса. Появился целый ряд историй о квантовых животных — как правило, с участием котов и кошек, но иногда в этих историях участвовали и другие существа или даже люди, оказавшиеся в ситуации неопределенности между жизнью и смертью.

Поэма, опубликованная в 1982 году писателем Сесилом Адамсом в его колонке *The Straight Dope* («Из надежного источника»), стала частью широко известной истории о квантовом котенке (особенно после того, как она стала доступна в Интернете многими годами позже). В ней описывается героическая битва между Уином

(Шрёдингером) и Элом (Эйнштейном) за неопределенность Вселенной, которая порождает парадокс кота Шрёдингера и фразу Эйнштейна про игральные кости. Сага заканчивается тем, что Уин на похоронах Эла заключает пари: сможет ли тот добраться до рая.

Процарапав себе путь в литературу, жуткий кот перепрыгнул в мир поп-музыки благодаря группе *Tears For Fears*. Группа выпустила песню «Кот Шрёдингера» в качестве второй песни своего сингла в начале 1990-х годов. Позже они написали песню «Ошибка Бога» со словами «Бог не играет в кости», преобразовав утверждение Эйнштейна в размышления о непредсказуемости любви. Как объяснил Роланд Орзабал, автор песен группы, «моя песня... это просто насмешка над классической научной манерой смотреть на вещи, насмешка над рациональным материализмом, над привычкой разделять вещи на части, не будучи в состоянии собрать потом их обратно, видеть отдельные деревья вместо леса. В конце песни я пою: “Кот Шрёдингера мертв для этого мира”. Кот мертв или просто спит? Мне нравится неоднозначность, неопределенность» ^{217}.

В последние годы кот Шрёдингера стал популярным мемом. Он появился на футболках, в комиксах (например, в популярном веб-комиксе «xkcd»), в телесериалах (таких, как «Теория Большого взрыва» и «Футурама»). Но, пожалуй, самым известным упоминанием о коте Шрёдингера стала публикация 12 августа 2013 года на главной странице Google карикатуры на этот мысленный эксперимент, приуроченная к 126-й годовщине со дня рождения Шрёдингера. Благодаря этим разнообразным упоминаниям в культуре кот и даже сам эпитет «шрёдингеровский», применяемый к чему угодно, стал символом неоднозначности в целом.

Научное наследие

Многое из того, что мы сегодня знаем о сложной жизни Эйнштейна и Шрёдингера, было обнаружено в раскрытых архивах К сожалению, высокая ценность интеллектуального наследия привела к затяжным боям за контроль над ними.

В 1963 году Энни приняла гостя из Соединенных Штатов, философа и историка науки Томаса Куна. Кун работал над сбором

документов об истории создания квантовой физики. После интервью Энни отдала Куну большую коробку весом более двухсот фунтов, полную писем, рукописей, дневников и других личных материалов ее покойного мужа. Она оказалась просто сокровищницей, бесценной для историков.

Кун перекопировал большую часть материалов (в основном на микропленку) и передал оригиналы в Центральную библиотеку Венского университета. Библиотека десятилетиями хранила коробку, в то время как ученые изучали копии в хранилищах и исследовательских центрах по всему миру.

После того как в 1965 году Энни умерла, Рут осталась единственной наследницей Шрёдингера, но она ничего не знала про коробку до 1980-х годов. Она говорила с Вальтером Тиррингом, руководителем Института физики Венского университета, но он сказал ей, что ни о каких новых материалах ему не известно. В 2006 году она попросила ректора университета вернуть ей материалы. Университет собрал совещание по правовым вопросам и решил подать в суд, чтобы урегулировать права владения. Брауниеры наняли адвоката, и начались судебные препирательства, которые должны были установить, кому принадлежит право собственности на архивы Шрёдингера^{218}.

Дело тянулось несколько лет. Значительного прогресса удалось добиться в 2008 году, когда осенью обе стороны договорились о шагах к возможному решению спора^{219}. Идея была в том, чтобы создать новый фонд для управления наследственным имуществом. Наконец в октябре 2014 года дело было урегулировано и бумаги Шрёдингера внесены в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Научные работы Эйнштейна также стали предметом судебных тяжб. Душеприказчиками Эйнштейна были Отто Натан и Хелен Дукас. Они одобрили использование его изображений и материалов, до тех пор пока основная часть материалов не будет передана Еврейскому университету в Иерусалиме. Чтобы исследователи могли получить доступ к работам Эйнштейна, в Принстоне была создана копия его архива. Натан и Дукас подписали соглашение с издательством *Princeton University Press*, разрешающее начать публикацию сборника трудов Эйнштейна. Однако в 1970-х годах между Натаном и издательством разгорелся конфликт из-за выбора редакторов. Чтобы

урегулировать их разногласия, потребовалось вмешательство суда. В итоге физик и историк науки Джон Стейчел стал ведущим редактором этого проекта.

Последующего развития событий никто не ожидал. Стейчел и другой историк, Роберт Шульман, узнали о сейфе в банке Беркли, в котором вторая жена Ганса Альберта, Элизабет, хранила около пятисот писем из переписки Эйнштейна и Милевы. В их число вошли около пятидесяти ранних любовных писем, проливающих свет на доселе неизвестный период жизни Эйнштейна. После долгих споров между наследниками Эйнштейна и *Princeton University Press* издательство получило право опубликовать любовные письма Эйнштейна. Многие читатели были потрясены контрастом между страстью Альберта и Милевы в начале их отношений и презрением, которое он демонстрировал позже, перед разводом.

Судьбы Эйнштейна и Шрёдингера показывают нам, что даже самые гениальные ученые — тоже люди. У них случались вспышки озарения, но им приходилось переносить и длительные периоды, когда они работали безо всякого результата. Их отношения знавали и хорошие времена, и предательство. Они могли погнаться за мимолетными иллюзиями, но потом возвращались домой, к тем, кто действительно заботился о них.

Переписка Эйнштейна и Шрёдингера наполнена теплом и взаимной поддержкой. Может быть, как Дон Кихот и Санчо Панса, они сражались с ветряными мельницами. Каждый из них хорошо понимал, что задачи, которые он ставит перед собой, могут быть расценены как донкихотство, а его образ жизни — как эксцентричный. Тем не менее компаньерос оставались верны друг другу в глубине сердца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После Эйнштейна и Шрёдингера: поиски единства в наше время

У фотографии есть по крайней мере одно хорошее свойство — вы просто сфотографировали, и всё. Дело сделано. А вот с теорией... она никогда не может быть закончена.

*Альберт Эйнштейн, интервью газете Christian Science
Monitor от 14 декабря 1940 года*

Кто станет следующим Эйнштейном? Сможет ли кто-то превзойти его гениальные открытия? Есть ли кто-то настолько талантливый, что сможет воплотить его мечту о единой физической теории в жизнь? Мы видели, что даже Шрёдингер — признанный ученый, нобелевский лауреат и человек эпохи Возрождения — не добился такой же известности на международной арене, какая была у Эйнштейна (не считая Ирландии 1940-х годов). Если уж на то пошло, вся слава досталась его коту — по крайней мере, его мему. Впрочем, он не был единственным, кто пытался занять место Эйнштейна.

С 1919 года, когда общественность впервые узнала о теории относительности, подтвержденной измерениями во время солнечного затмения, у нее не на шутку разыгрался аппетит на любые новости об Эйнштейне и его возможных преемниках. Пока он был жив, как мы видели, пресса трубила о каждом предложенном им варианте единой теории поля, как будто состоялся серьезный теоретический прорыв. И после смерти Эйнштейна продолжают появляться статьи про гениальных ученых, подобранных достаточно близко к завершению его миссии. В конце концов, Эйнштейн оставил свое дело незаконченным, и вопрос о том, кто его продолжит, остается нерешенным уже почти сто лет.

Ученые знают, что прогресс в любой области обычно идет постепенно, в течение лет или даже десятилетий. Революционных открытий очень мало, и они чрезвычайно редки. Обычно ученый должен быть достаточно удачлив, чтобы оказаться в нужном месте в нужное время и сделать что-то стоящее. Большинство научных

исследований сегодня выполняется большими командами, а не отдельными учеными.

Кроме того, в культуре все еще популярен миф об одиноком гении, изменяющем все вокруг нас. Введите фразу «новый Эйнштейн» в любом интернет-поисковике, и он вывалит вам кучу результатов: от рецептов, как добиться успеха в учебе, до требований к резюме и личных объявлений. Вот несколько примеров недавних публикаций СМИ: «Станет ли серфер^[17] следующим Эйнштейном?»^{220}, «Это будет вундеркинд с необычайно высоким IQ?»^{221}, «А что, если следующий Эйнштейн — это компьютер?»^{222}. «Может ли его идентифицировать приложение для смартфона?»^{223}. Или, может, старомодный DVD, предназначенный для самых маленьких, сможет добиться цели?». Так, в 2009 году шуточный заголовок газеты *New York Times* гласил: «В вашей детской кроватке оказался не Эйнштейн? Требуйте возврата денег!»^{224}.

Формула, создавшая Эйнштейна, была идеальным сочетанием актуальной научной проблемы, которая требовала радикальных решений, исключительных озарений, часто опровергавших общепринятые убеждения, ироничной фотогеничной внешности (кто же знал, что мятый свитер, усы в виде мочалки и копна непослушных седых волос могут быть настолько неотразимыми?) и вездесущих фотокорреспондентов. Его путь к славе более или менее совпал по времени с «золотым веком» Голливуда, когда в кинохронике демонстрировались последние крики моды, достижения и фиаско знаменитостей. Как и Дуглас Фэрбенкс, Мэри Пикфорд, Чарли Чаплин, семья Бэрримор и бесчисленное множество других звезд кино 20-х, 30-х и 40-х годов, Эйнштейн появлялся на экранах тысяч кинотеатров по всему миру. Публика видела, как он останавливается во время своих прогулок, чтобы помахать поклонникам, комментирует важные политические или социальные события или участвует в различных благотворительных акциях, а иногда — как он рассказывает о прогрессе в своих исследованиях. Торопясь выполнить план по сданным статьям, интересным для широкой аудитории, репортеры лакомились новостями о немецком ученом-еврее, как голодные кошки разлитым молоком.

Неизвестно, будет ли эта формула успеха когда-либо еще раз воспроизведена. С одной стороны, сейчас наблюдается взрыв публикаций. Множество теорий борются за доминирование — гораздо активнее, чем во времена Эйнштейна и Шрёдингера. Кроме того, энергии, необходимые для проверки этих теорий, требуют все более дорогих и трудоемких проектов, таких как Большой адронный коллайдер под Женевой в Швейцарии. Сегодня экспериментальная наука не может ограничиваться измерениями во время солнечных затмений, она работает намного медленнее и осторожнее, она требует анализа гораздо большего количества данных. В физике высоких энергий исследовательские команды обычно насчитывают сотни ученых, а не единицы пионеров-исследователей, как это было раньше. В то же время СМИ разделились и следят за достижениями различных известных физиков.

Питер Хиггс, один из лауреатов Нобелевской премии по физике 2013 года, — редкий пример современного блестящего теоретика, приобретшего широкую известность. Тем не менее вряд ли он может сравниться по популярности с Эйнштейном. Частица, названная в его честь *бозоном Хиггса*, стала известна как «частица Бога». Когда бозон Хиггса был обнаружен в 2012 году, большая часть сообщений в прессе наделяла его божественной сущностью.

К глубокому сожалению Индии, ее достойный сын Шатьендранат Бозе упомянут не был.

Триумф Стандартной модели

Открытие бозона Хиггса стало последним недостающим кусочком головоломки Стандартной модели физики элементарных частиц — модели, наиболее близкой к единой теории поля из всех, что мы имеем сегодня. Стандартная модель включает в себя универсальное объяснение электромагнитного и слабого взаимодействий, известных как *электрослабое* взаимодействие. Она также содержит описание сильного взаимодействия — силы, которая связывает протоны и нейтроны в атомных ядрах. Последняя оставшаяся сила — гравитация — не является частью Стандартной модели.

Разработка теории электрослабого взаимодействия началась в 1961 году, в год смерти Шрёдингера. Тогда физик Шелдон Ли Глэшоу предположил, что электромагнитное и слабое взаимодействия могут быть объединены в рамках одной теории, в которой взаимодействие между частицами осуществляется посредством обмена четырьмя типами бозонов (переносчиков взаимодействия): фотоном, двумя заряженными бозонами, называемыми W^+ и W^- , отвечающими за радиоактивный бета-распад, и четвертым бозоном, названным позднее Z^0 , отвечающим за слабые нейтральные токи. На тот момент еще не был открыт четвертый тип взаимодействия между двумя частицами, имеющими одинаковый заряд. Лагранжиан (функция, описывающая состояние динамической системы), который использовал Глэшоу, был не совсем корректен, но идея о существовании четырех обменных частиц оказалась точна, «как в аптеке».

Однако при объединении электромагнитного и слабого взаимодействий возникает серьезная проблема. Дело в том, что две эти силы имеют совершенно разные радиусы действия и *константы связи*. Электромагнетизм действует на огромных расстояниях. Доказательством тому служит наблюдаемый с Земли свет от далеких звезд, находящихся за триллионы километров от нас. Слабое взаимодействие, в отличие от электромагнитного, действует только на атомном масштабе. Кроме того, на субатомном уровне электромагнитное взаимодействие примерно в десять миллионов раз сильнее, чем слабое. Если на ранних этапах существования Вселенной эти силы были одним целым, то почему они кажутся настолько различными сегодня?

Как оказалось, свойства бозонов, которыми обмениваются частицы материи, постоянно испуская и поглощая их, определяют радиус и силу взаимодействия. Безмассовые бозоны, например фотоны, обеспечивают заметное взаимодействие на больших расстояниях. Тяжелые бозоны, такие как частицы-переносчики W -и Z -бозоны, создают относительно слабое короткодействующее взаимодействие. Следовательно, объяснение сегодняшнего несоответствия между электромагнитным и слабым взаимодействиями сводится к пониманию того, как W - и Z -бозоны приобретают массу.

Для этого был придуман механизм Хиггса — гениальный способ, объясняющий, как по мере остывания Вселенной с момента Большого

взрыва большинство типов частиц приобретали массу, а фотон остался безмассовым. Механизм, предложенный в 1964 году несколькими группами исследователей независимо друг от друга (одну группу составляли Питер Хиггс, Франсуа Энглер (нобелевский лауреат совместно с Хиггсом) и Роберт Браут, а другую — Джералд Гуралиик, Карл Ричард Хаген и Томас Киббл) предполагает, что вся ранняя Вселенная была заполнена полем с определенным типом калибровочной симметрии. Спонтанное нарушение этой симметрии, которое сопровождалось снижением температуры, наделило большинство частиц массой, оставив фотоны безмассовыми.

Калибровочную симметрию можно проиллюстрировать следующим образом: представьте себе множество вращающихся вентиляторов, находящихся в каждой точке пространства и выдувающих воздух во всех возможных направлениях. По мере остывания Вселенной условия стали такими, что первоначальная симметрия поля Хиггса оказалась спонтанно нарушена. Каждый вентилятор как бы застыл на месте, а все они оказались направлены в одном том же направлении. До того как они застыли, воздействия вентиляторов уравнивали друг друга, позволяя частицам свободно двигаться так, как им заблагорассудится. Однако после того как вентиляторы застыли на месте и начали дуть в одну сторону, они стали препятствовать движению большинства частиц, уменьшая радиус и силу их взаимодействия. Иными словами, частицы приобрели массу. Только фотоны, на которые не действует ветер от вентиляторов, остаются безмассовыми, а электромагнетизм — далекодействующим взаимодействием.

В конце 1960-х годов американский физик Стивен Вайнберг и пакистанский физик Абдус Салам независимо друг от друга предложили лагранжианы (по аналогии с калибровочной теорией Янга — Миллса, упоминавшейся ранее), которые включали компоненты хиггсовского поля вместе с бозонными полями (частицами — переносчиками взаимодействий) и фермионными полями (частицами материи). Их лагранжианы были составлены таким образом, чтобы спонтанное нарушение симметрии происходило ниже определенной температуры, при которой три бозона, W^+ , W^- и Z^0 , приобретали массу посредством хиггсовского механизма, оставляя при этом фотоны безмассовыми. Так же приобретали свои массы и фермионы. Квант

исходного поля Хиггса может наблюдаться как массивная частица, которая называется бозоном Хиггса.

К тому времени было открыто так много новых элементарных частиц, что оказалось критически важно понять, какие из известных фермионов являются действительно элементарными. Большинство физиков уже подозревали, что протоны и нейтроны не являются элементарными, а состоят из более мелких частей. Эти части поначалу называли по-разному, но в конце концов физическое сообщество остановилось на термине *кварк*, который предложил Мюррей Гелл-Манн. Он заимствовал это слово из романа Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану», где в одном из эпизодов звучит фраза: «Три кварка для мистера Марка!» Поскольку и протоны, и нейтроны состоят ровно из трех кварков (так же, как и все частицы в данной категории, называемые барионами), такое название показалось вполне подходящим.

После того как кварки были математически описаны, оказалось, что они группируются по нескольким различным семействам, называемым поколениями. Первое поколение состоит из *верхнего* и *нижнего* кварков, из которых построены протоны и нейтроны. Второе поколение включает *странный* и *очарованный* кварки, образующие более массивные экзотические частицы. Наконец, третье, еще более тяжелое поколение состоит из *прелестного* и *истинного* кварков, которые не были обнаружены вплоть до 1980-х (прелестный) и 1990-х (истинный) годов. Каждое поколение кварков также содержит античастицы той же массы, но противоположного заряда, называемые *антикварками*. Конкретные сорта кварков, такие как очарование или странность, называются *ароматами* [\[18\]](#).

Лептоны (частицы, которые не участвуют в сильном взаимодействии) точно так же делятся на три поколения. Первое состоит из электронов и *нейтрино* — очень легких и быстро движущихся частиц. Второе включает *мюоны* и *мюонные нейтрино*. Массивные *таоны* и *тау-нейтрино* составляют третье поколение.

В отличие от попыток объединения известных взаимодействий, которые предпринимали Эйнштейн и Шрёдингер, теория электрослабого объединения предлагает большое количество конкретных и проверяемых предсказаний. Среди них: существование слабого нейтрального тока (обмена виртуальными Z-бозонами

наподобие передачи заряда), существование W^+ , W^- и Z^0 -бозонов определенной массы, а также бозона Хиггса. В 1970-е и 1980-е годы эксперименты на ускорителе частиц в ЦЕРНе (Европейской организации по ядерным исследованиям) близ Женевы в Швейцарии подтвердили каждое из этих предсказаний, за исключением последнего. И наконец, существование бозона Хиггса было доказано благодаря изучению данных о столкновениях частиц, полученных на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе.

Наряду с электрослабым взаимодействием Стандартная модель также включает теоретическое описание сильного взаимодействия, которое предполагает обмен частицами, называемыми *глюонами*. Они создают «клей», который как бы «склеивает» кварки вместе и удерживает их в группах по три (или в кварк-антикварковых парах в случае мезонов). По аналогии с положительными и отрицательными электрическими зарядами каждый кварк имеет *цветовой заряд*. «Цвет» в данном случае не имеет ничего общего с внешним видом, это просто условное обозначение для определенной сохраняющейся величины. Сильное взаимодействие возникает естественным образом за счет обмена глюонами между кварками разных цветов. Квантовая теория поля, описывающая этот процесс, называется *квантовой хромодинамикой* (КХД) по аналогии с квантовой электродинамикой.

Сегодня, когда мы знаем, как формировалась Стандартная модель, газетная шумиха вокруг каждой версии единой теории поля Эйнштейна и Шрёдингера, претендовавшей на то, чтобы стать окончательным описанием Вселенной, кажется смешной. Понимание природы, устоявшееся в последние десятилетия, кардинально отличается от того, которое было во времена Второй мировой войны. Очевидно, что у Вселенной еще много сюрпризов в рукаве. Может ли так получиться, что новые открытия когда-нибудь сделают устаревшей и Стандартную модель?

Открытые вопросы

На протяжении многих лет предсказания Стандартной модели проверялись с невероятно высокой точностью снова и снова. По этому критерию она является чрезвычайно успешной теорией, объясняющей

все: от магнитов на холодильник до солнечного излучения. Она предлагает беспрецедентное объединение трех фундаментальных сил природы из четырех. Только гравитацию не удалось включить в эту теорию.

Такой же степенью достоверности обладает и общая теория относительности. Многочисленные высокоточные эксперименты подтвердили многие предсказания виртуозной теории гравитации, предложенной Эйнштейном. Возьмем, например, недавние спутниковые измерения явления, называемого увлечением инерциальных систем отсчета и предложенного старым другом Шрёдингера Хансом Тиррингом и австрийским физиком Йозефом Лензе еще в 1918 году. Эффект Лензе — Тирринга предсказывает искривление пространства-времени вблизи Земли из-за ее вращения. Единственное крупное предсказание общей теории относительности, которое еще прямо не подтверждено, — это существование гравитационных волн, описанных Эйнштейном также в 1918 году^[19].

Объедините Стандартную модель с общей теорией относительности — и вы получите эффективный набор инструментов для изучения множества явлений природы. Но будет ли его достаточно? Нет. Имеется несколько важных феноменов, которые ни одна из этих теорий объяснить не может. *Темная энергия* — фактор, отвечающий за ускоренное расширение Вселенной, и *темная материя* — невидимая субстанция, которая удерживает галактики, чтобы они не разлетались, — вот тайны, аналогичные тем, которым бросили вызов пионеры квантовой физики. Я уже писал, что темная энергия как будто соответствует понятию космологической постоянной, предложенной (и позже отвергнутой) Эйнштейном, необходимость которой позже отстаивал Шрёдингер. Однако никто не понимает физическую природу темной энергии, которая действует как своего рода антигравитация.

Природа темной материи — еще одна загадка современности. Впервые обнаруженная еще в 1930-е годы швейцарским астрономом Фрицем Цвикки при изучении скопления галактик в созвездии Волосы Вероники, темная материя представляет собой невидимую массу, необходимую для гравитационной стабильности астрономических структур. Поскольку научное сообщество не придало особого значения наблюдениям Цвикки, потребовались еще полвека, прежде чем начались серьезные исследования природы темной материи.

Импульсом к ним послужило открытие астрономами Верой Рубин и Кентом Фордом того факта, что в Туманности Андромеды и других галактиках не хватает видимого вещества для обеспечения высокой скорости движения периферийных звезд, которая выводилась из наблюдений за вращением галактик. Кажется, что галактики вращаются, как карусели, у которых быстрые, отдаленные от центра, лошадки разгоняются невидимыми механизмами. Начиная с 1980-х годов физики и астрономы ведут поиски тусклых астрономических объектов и/или невидимых частиц, способных создать достаточно сильное гравитационное поле, чтобы их можно было причислить к темной материи. В последнее время ученые сосредоточили свое внимание на поиске холодных (медленно движущихся) частиц темной материи, которые участвуют в слабом и гравитационном взаимодействиях, но не участвуют в электромагнитном (отсюда их невидимость). Поиски таких частиц проводились в переоборудованных тоннелях шахт глубоко под землей, чтобы избежать «шума» от обычных частиц, а также экранироваться от космического излучения. На момент написания этой книги убедительные доказательства существования частиц темной материи так и не были получены.

Если бы темная энергия и темная материя были достаточно редкими явлениями, то, возможно, мы могли бы не торопиться с их объяснением и заняться другими нерешенными физическими проблемами. Но дело в том, что вместе они составляют 95% всей массы во Вселенной. Согласно последним астрономическим расчетам, 68% массы Вселенной — это темная энергия, 27% — это темная материя и лишь 5% — это то, что можно объяснить с помощью Стандартной модели и общей теории относительности. Некоторые ученые предлагают идти путем Эйнштейна и модифицировать общую теорию относительности. Однако большая часть физического сообщества признает потрясающую успешность и Стандартной модели, и общей теории относительности в описании того, что мы реально можем наблюдать. Желание не испортить достигнутый успех ставит перед физиками сложный вопрос: как продвинуться дальше и, возможно, даже объединить эти два шедевра XX века.

Вопросы о темных субстанциях Вселенной не единственные, на которые не дает ответа Стандартная модель. Почему одни частицы

(кварки) участвуют в сильном взаимодействии, а другие частицы (лептоны) — нет? Можетли наука объяснить, почему в наблюдаемой части Вселенной существует гораздо больше материи, чем антиматерии? Почему существуют только три поколения элементарных частиц, и почему они имеют именно такие массы? Существует ли преобразование симметрии, которое обеспечивает связь между частицами материи (фермионами) и переносчиками взаимодействий (бозонами)? Это лишь некоторые из множества открытых на сегодняшний день проблем в физике элементарных частиц.

Мечты о геометрии, симметрии и единстве

В последние десятилетия наблюдается всплеск интереса к объединению всего во Вселенной при помощи чистой геометрии — тому, что было мечтой Эйнштейна, Шрёдингера, Эддингтона, Гильберта и других великих физиков. Кажется, что каждый раз, когда наука далеко уходит от идеалистичной мысли Пифагора о том, что «все есть число», находятся ученые-теоретики, которые стремятся вернуть ее обратно.

Сегодня большинство теоретиков представляют себе не волны материи (де Бройля/Шрёдингера), колеблющиеся на атомном масштабе, а струны (одномерные нити) и мембраны (многомерные поверхности), вибрирующие на гораздо более мелких масштабах. Эти струны и мембраны являются чисто геометрическими структурами, которые за счет своих вибраций и кручений порождают все известные свойства частиц. *Теория струн* — это довольно обширная тема. Давайте ее кратко рассмотрим.

Первоначальным импульсом к возникновению теории струн послужила неудачная попытка японского физика Йоитиро Намбу и его коллег в конце 1960-х и начале 1970-х годов (еще до того, как родилась идея глюонов) представить механизм сильного взаимодействия в виде модели, где частицы соединялись друг с другом посредством гибких энергетических нитей. Эти *бозонные струны*, как они их называли, действовали наподобие собачьего поводка, удерживая частицу в

крошечной области ядерного масштаба, но при этом не ограничивая свободу в пределах «поводка».

В 1971 году французский физик Пьер Рамон обнаружил способ описания фермионов — тоже в виде струн. Он разработал метод, получивший название *суперсимметрия*, в котором бозонные струны могли быть преобразованы в фермионные путем вращения в некотором абстрактном пространстве. Его открытие вдохновило теоретиков Джона Шварца и Андре Неве на разработку универсальной теории, описывающей строительные блоки материи (фермионы) и частицы-переносчики взаимодействий (бозоны) с помощью струн, колеблющихся всевозможными способами. Этим универсальным объектам был присвоен титул *суперструн*. Один специфический аспект теории суперструн заключается в том, что она математически полна (за исключением слагаемых, которые рассматриваются как нефизические) только в пространстве десяти или более измерений. Ранее в этом же году физик Клод Лавлейс показал, что бозонные струны требуют двадцати шести измерений, так что сокращение необходимых измерений до десяти было похоже на улучшение теории.

К середине 1970-х годов физики буквально вгрызались в статьи и книги, описывающие теорию Калуцы — Клейна в высших измерениях, в надежде понять, как с ней работать. Учебник по общей теории относительности с предисловием Эйнштейна, написанный Бергманном в 1940 году, помог теоретическому сообществу освежить в памяти методы работы с более чем четырьмя измерениями. Старая идея компактификации, предложенная Оскаром Клейном (о том, что дополнительные измерения настолько плотно свернуты, что их нельзя увидеть), переживала возрождение. Теоретики нашли способы свернуть шесть дополнительных измерений в крошечные, плотно упакованные, как клубки ниток, пространства. Математики Эудженио Калаби и Шинтан Яу разработали схему классификации таких скрученных пространств, называемых теперь *многообразиями Калаби — Яу*.

Ажиотаж в физическом сообществе достиг наката в 1975 году, когда Джон Шварц и французский физик Жоэль Шерк предложили способ объяснения гравитации при помощи суперсимметрии. Они показали, как гравитоны — гипотетические бозоны — переносчики гравитационного взаимодействия — естественным образом возникают

в их теории, если применить методы суперсимметрии к другим типам частиц. Гравитация, утверждали исследователи, оказывалась, таким образом, естественным следствием союза между бозонами и фермионами. Пожените эти два типа элементарных частиц, и от их брака родятся гравитоны.

Многие ученые, например французские теоретики Эжен Креммер, Бернар Джулиа и Жоэль Шерк из Высшей нормальной школы в Париже, голландский физик Бернар де Вит совместно с немецким физиком Херманном Николаи, научная группа голландского физика Питера ван Ньювенхейзена из Университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук применили суперсимметрию к стандартной квантовой теории поля (не используя струны). Такой подход был назван *супергравитацией*. Креммер, Джулиа и Шерк показали, как такая теория может быть идеально размещена в одиннадцатимерном пространстве-времени^[20], где лишние семь измерений сворачивались. Несмотря на многообещающее начало, супергравитация столкнулась с проблемами при описании определенных аспектов мира частиц.

Объединившись с британским физиком Майклом Грином, Шварц продолжил исследования свойств суперструн. В 1984 году Грин и Шварц объявили, что им удалось создать десятимерную модель, которая свободна от аномалий (технических математических дефектов). Кроме того, в отличие от КЭД, электрослабой теории и других стандартных квантово-полевых теорий, суперструнные теории поля приводят к конечным значениям различных физических величин и поэтому не требуют сокращения бесконечных выражений путем перенормировки. Полученные ими результаты, которые сразу окрестили «суперструнной революцией», давали множество поводов для радости. Возможно, с помощью суперструн, думали многие физики, удастся закончить поиски единой теории поля, начатые Эйнштейном.

Подобно тому как Эйнштейн, Шрёдингер и прочие ученые показали, что существует множество способов расширить общую теорию относительности, Грин, Шварц и другие исследователи, такие как блестящий теоретик Эдвард Виттен из Института перспективных исследований в Принстоне, который доказал ключевые теоремы новой теории, разработали множество типов теории суперструн. На самом деле выбор был настолько большой, что просто глаза разбегались.

Теория суперструн вскоре стала лабиринтом с бесчисленным множеством возможных маршрутов. Но какой из них будет той самой нитью Ариадны, которая приведет к единой всеобъемлющей теории природы?

На конференции в 1995 году в Калифорнии Виттен провозгласил начало Второй суперструнной революции. На этот раз теория, помимо струн, включала новые объекты различной размерности — мембраны^[21]. Он назвал новый подход *М-теорией*, туманно выразившись в том смысле, что буква «М» может означать как «мембрану», так и «магию». М-теория объединила несколько разных типов теории струн, а также несколько теорий супергравитации в едином подходе. Одним из новшеств, наученных в конце 1990-х годов такими физиками, как Ним Аркани-Хамед, Савас Димопулос, Георгий Двали, Лиза Рэндалл, Раман Сундрум и другими, была идея о том, что одно из дополнительных измерений может быть «большим» (то есть немикроскопическим), но недоступным для всех типов полей, кроме гравитонов. Это объясняет, почему гравитация гораздо слабее, чем другие силы природы.

В отличие от Стандартной модели и общей теории относительности, суперсимметрия, теория суперструн, М-теория и существование дополнительных измерений до сих пор никак не подтверждены. Почему же тогда у них так много сторонников среди теоретиков? Такие факторы, как математическая красота, симметрия, полнота поразительно похожие на некоторые критерии Эйнштейна, — все они определяют этот выбор. Плюс ко всему на сегодняшний день не предложено других альтернативных теорий, заслуживающих доверия.

Петлевая квантовая гравитация, разработанная Абэйем Аштекаром, Карло Ровелли, Ли Смолиным и другими физиками, является, пожалуй, наиболее широко известным способом квантования гравитации, отличным от теории струн. Как и общая единая теория Шрёдингера, петлевая квантовая гравитация подчеркивает важнейшую роль аффинной связности, которая несколько модифицируется и используется в качестве квантовых переменных. Пространство-время заменяется своеобразной геометрической пеной. Струнные теоретики часто указывают на то, что петлевая квантовая гравитация не является теорией всего, а просто предлагает способ квантования гравитации.

Сторонники петлевой квантовой гравитации, в свой черед, утверждают, что теория струн рассматривает гравитацию и как фон (метрику пространства-времени, на фоне которой двигаются частицы), и как поле (гравитоны), а не как единое целое. Их цель — сперва понять квантовую гравитацию, а потом пытаться объединить ее с другими взаимодействиями.

Чтобы понять важнейшее значение теории струн, М-теории и петлевой квантовой гравитации, нам потребуется совершить экскурсию на планковский масштаб, микроскопическую область пространства, в которой встречаются квантовая теория и гравитация. Однако достижение столь огромных энергий лежит далеко за пределами наших сегодняшних технических возможностей. К счастью, в физике высоких энергий часто имеются низкоэнергетические следствия. Большой адронный коллайдер вполне может обнаружить такие состояния частиц, которые позволят заглянуть за пределы физики Стандартной модели. Примером могут служить частицы-суперпартнеры: суперпартнерами фермионов должны быть бозоны, и наоборот. Открытие таких частиц стало бы убедительным доказательством существования суперсимметрии, а также возможных кандидатов на звание темной материи. И хотя ни одна такая частица до сих пор не обнаружена, многие физики сохраняют надежду, что суперпартнеры однажды будут найдены и подробно изучены.

Быстрее света: поучительная история

Исследователи, студенты, научные фонды, поклонники науки, писатели и другие люди, которым интересно узнать, что же находится за пределами Стандартной модели, с нетерпением ждут хоть какого-то намека на новые необъяснимые явления. Столько времени и денег вложено в Большой адронный коллайдер и другие крупные научные эксперименты, что неудивительно, что у людей так много ожиданий относительно ошеломляющих результатов.

Физикам следует соблюдать осторожность и избегать поспешных заявлений о достигнутых успехах, какими бы многообещающими они ни казались. Группы ученых, которые обнаружили бозон Хиггса, терпеливо копили статистику, чтобы исключить другие возможности,

даже несмотря на то, что на это ушло много месяцев. Они преподавали урок настойчивости. Тем не менее иногда ученые торопятся делать заявления раньше, чем другие группы исследователей подтвердят полученные результаты.

Несмотря на то что фиаско Эйнштейна и Шрёдингера состоялось в 1940-х годах, его уроки актуальны и сегодня. Скудное финансирование часто требует от ученых доказывать значимость своих исследований, как правило, через выпуск пресс-релизов. Поспешное объявление о непроверенном открытии может оставить неприятное впечатление, которое подорвет доверие к будущим исследованиям в этой области. Даже если это заявление впоследствии будет опровергнуто, общественность еще долгое время будет вспоминать о нем как о реальном прорыве, а не как о ложном сообщении.

Возьмем, к примеру, заявление исследовательской группы, опубликованное в сентябре 2011 года, о том, что на экспериментальной установке в Гран-Сассо в Италии обнаружены частицы, движущиеся быстрее света. Большая часть научного сообщества сомневалась в достоверности этих результатов или, по крайней мере, отнеслась к ним настороженно, однако история получила широкое освещение в международной прессе. В СМИ начались дебаты о том, необходимо ли изменить постулаты специальной теории относительности. Журналисты интересовались, откроют ли полученные результаты дверь в новую физику за пределами Стандартной модели. Полностью игнорируя десятилетия экспериментов, подтверждающих специальную теорию относительности и ее требование предельно допустимой скорости, этот эксперимент преподносился в качестве «лакмусовой бумажки» для теории относительности и неприкосновенности принципа причинности. Например, в статье британской газеты *Guardian* сообщалось, что «ученые в лаборатории Гран-Сассо представили доказательства того, что существует возможность послать информацию назад во времени, стерев грань между прошлым и настоящим и разрушив основополагающий принцип причинности»^{225}.

Сомнительное доказательство возможности путешествий со сверхсветовой скоростью было предложено группой под названием OPERA (от англ. Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus), которая отслеживала потоки нейтрино, создаваемые на ускорителе в

ЦЕРНе, в лаборатории под Женевой, на расстоянии около 720 километров. После трех лет работы ученые измерили времена прибытия нейтрино, и оказалось, что частицы преодолели это расстояние приблизительно на шестьдесят миллиардных долей секунды быстрее, чем если бы они двигались со скоростью света.

«Этот результат стал полной неожиданностью, — заявил руководитель эксперимента OPERA Антонио Эредитато в пресс-релизе. — После многих месяцев исследований и перекрестных проверок мы не обнаружили каких-либо инструментальных эффектов, которые могли бы объяснить такой результат измерения»^{226}.

В пресс-релизе и новостных репортажах подчеркивалось, что полученные результаты требуют независимой проверки и что их не следует принимать за истину в последней инстанции. Тем не менее вскоре весь Интернет, в частности Twitter, гудел как улей.

Как гласил один из заголовков газеты *Los Angeles Times*, вышедшей всего через несколько дней после пресс-релиза: «Шутки о нейтрино распространились в Twitter быстрее света». В статье приводились примеры, такие как: «Нейтрино, движущимся быстрее света, вход воспрещен, — сказал бармен. Но тут нейтрино заходит в бар»^{227}.

Вскоре появились и песни. Так, ирландская группа *Corrigan Brothers* и Пит Крейтон написали «Песню нейтрино». «Старый Альберт был не прав? — задают они вопрос в одном из куплетов. — Эту невероятную теорию относительности уже развенчали»^{228}.

Если бы теория Эйнштейна была опровергнута, то теоретическая физика столкнулась бы с неожиданной проблемой. Возможно, ее решил бы новый Эйнштейн, который собрал бы отдельные части и создал более фундаментальную теорию. Но, как это зачастую бывает, сообщения о кончине теории относительности были сильно преувеличены.

В июне 2012 года ЦЕРН выпустил пресс-релиз, в котором говорилось, что «первоначальные ошибки измерений OPERA можно объяснить неисправностью элемента оптоволоконной системы фиксации времени в эксперименте». Скорости нейтрино, как это подтвердили в OPERA и в трех других экспериментах, не превышали скорости света. «Это было тем, чего все мы в глубине души ожидали», — заявил директор по исследованиям ЦЕРН Сержио Бертолуччи^{229}.

К этому моменту мем о сверхсветовых нейтрино давно уже исчез из Twitter и из других соцсетей. Но, без сомнения, первоначальное сообщение ввело общественность в заблуждение. К примеру, поисковая система Google на запрос «нейтрино» по-прежнему предлагает «сверхсветовые» в качестве наиболее часто встречающегося связанного слова. Кто знает, сколько студентов, проводящих веб-серфинг для своих эссе, столкнулись с подобной выдачей поисковика и упомянули движение быстрее света как возможный вариант поведения частиц?

В результате этого инцидента Эредитато и научный координатор эксперимента OPERA Дарио Аутьеро решили уйти в отставку, после того как большинство коллектива выразило им вотум недоверия. Голосование и их последующие отставки отражают тот факт, что заявления лидеров проекта были слишком преждевременными.

Путь вперед

Терпение не является сильной стороной прессы, особенно в эпоху Интернета, когда новости распространяются, как степной пожар. СМИ жадно используют любой информационный повод, если он, на их взгляд, нов и интересен для публики. Неопубликованные отчеты, спекуляции, предварительные результаты и другие недостоверные сведения иногда представляются СМИ как тщательно проверенные выводы.

Терпение также не является характерной чертой политиков, особенно в предвыборные периоды. Мы видели, как политическая фортуна де Валера зависела в некоторой степени от того, окажутся ли дублинский Институт перспективных исследований и другие его любимые проекты успешными или приведут к бессмысленной трате денег. Понимание этого вынуждало Шрёдингера а также *Irish Press* — рупор де Валера — преподносить предварительные расчеты, как будто они были священными скрижалями, переданными человечеству на горе Синай. Шрёдингер поспешил объявить о своих результатах всего лишь через несколько недель после завершения математических расчетов, задолго до того, как состоялась их научная проверка. Сегодня научные бюджеты стали легкой мишенью, что создает дополнительное

давление на исследователей и требует, чтобы они поскорее докладывали о своих достижениях.

Тем не менее терпение — это именно то качество, которое необходимо для кропотливой работы, продвигающей вперед фундаментальную физику к следующему этапу развития. Кто знает, когда будут обнаружены первые явления, выходящие за рамки Стандартной модели? Какова будет цена этого успеха? Сколько лет сбора данных и статистического анализа потребуется, прежде чем будет создан прочный фундамент для новой физики?

Мы видели последствия поспешных заявлений, которые принижают значимость процесса проверки и апробации. Это сбивает с толку общественность и в конечном счете никак не помогает ученым. Хотя и Эйнштейн, и Шрёдингер время от времени принимали желаемое за действительное и публиковали свои необоснованные спекулятивные теории, в более спокойные периоды жизни они подчеркивали необходимость глубокого, вдумчивого, спокойного занятия наукой. Нам не мешало бы почитать их работы, а также труды тех ученых и философов, которые вдохновили их на размышления о современном состоянии физики и о том, куда следует двигаться дальше.

* * *

Примечания

1

Речь идет о письме Эйнштейна Шрёдингеру 8 августа 1935 года, в котором он предлагает «сырой макроскопический пример»: аналогию квантовой системы и бочки с порохом, находящейся в неустойчивом равновесии и способной самопроизвольно взорваться в любой момент в течение года. Он пишет, что пси-функция будет описывать своего рода смесь взорвавшейся и невзорвавшейся систем и никакая интерпретация не позволит «преобразовать эту функцию в адекватное отражение реального положения вещей. — *Примеч. пер.*

2

Первым это сделал русский математик Николай Иванович Лобачевский, опубликовавший свою пионерскую работу «О началах геометрии» в журнале «Казанский вестник» в 1829 году. Ознакомившись с трудами Лобачевского, Гаусс рекомендовал избрать Лобачевского иностранным членом-корреспондентом Гёттингенского королевского научного общества как «одного из превосходнейших математиков русского государства». Избрание Лобачевского состоялось в 1842 году. — *Примеч. пер.*

3

Идеи Эйнштейна были предвосхищены британским математиком Уильямом Кингдоном Клиффордом, который еще в 1870 году, основываясь на работах Римана, выдвинул гипотезу о связи материи и тяготения с кривизной пространства. Клиффорд перевел трактат Римана на английский язык, опубликовав его в 1873 году, однако вклад Клиффорда получил широкое признание только после создания в 1915 году Эйнштейном общей теории относительности.

4

Речь идет о двух американских космических аппаратах «Вояджер-1» и «Вояджер-2», запущенных в 1977 году для исследования дальних планет Солнечной системы. На сегодняшний день «Вояджер-1» является самым дальним от Земли и самым быстрым движущимся объектом, когда-либо созданным человеком. На 30 августа 2013 года его скорость составляла 17,037 км/с. — *Примеч. пер.*

5

Релятивистские эффекты — это физические явления, наблюдаемые при скоростях тел или частиц, сравнимых со скоростью света. — *Примеч. пер.*

6

Радий А — это полоний-218. Многие радионуклиды, возникающие при радиоактивном распаде радия, до того, как была выполнена их химическая идентификация, получили наименования типа радий А, радий В, радий С и т. д. — *Примеч. пер.*

7

В механике *момент* чего-то — это в общем случае произведение этого «чего-то» на *плечо*. Например, *момент силы*, прилагаемой автомехаником к закручиваемой гайке, — это произведение усилия автомеханика на длину гаечного ключа. — *Примеч. ред.*

8

Правила перехода определяют вероятности переходов между различными энергетическими уровнями квантовых систем. — *Примеч. пер.*

9

Независимо от Клейна и Гордона это уравнение вывел советский физик Владимир Александрович Фок, написавший статью, посвященную обобщению уравнения Шрёдингера на случай магнитных полей, где силы зависели от скорости. Поэтому уравнение часто называют *уравнением Клейна — Гордона — Фока*. — *Примеч. пер.*

10

Название символов «бра» и «кет» происходит от английского слова *braket* (скобка). Известные также как *обозначения Дирака*, бра-векторы записываются как $\langle \psi |$, а кет-векторы — как $|\psi \rangle$. — *Примеч. ред.*

11

Тетраду можно рассматривать как особую четверку векторов, таких, что матрица 4x4, составленная из попарных произведений их компонент, совпадает с римановой метрикой в данной точке. — *Примеч. пер.*

12

Жуткое дальноедействие — нем. *spukhafte Fernwirkung*, англ. *spooky action at a distance* (в переводе Борна). — *Примеч. тр.*

13

Мур полагал, что, поскольку Шрёдингер всегда хотел иметь сына, он надеялся, что она забеременеет мальчиком.

14

Гертруда Стайн — американская писательница и критик. Автор произведений в стиле «потока сознания». Джейкоб Эпстайн — американский скульптор. Автор скульптурных портретов, религиозно-аллегорических композиций. — *Примеч. пер.*

15

Ирландский картофельный голод (или Великий голод в Ирландии) произошел в 1845–1849 годах. Голод был вызван массовым заражением картофельных посевов патогенным грибом *Phytophthora infestans*. — *Примеч. пер.*

16

В русскоязычной литературе фейнмановская сумма по историям обычно называется «интегралом по путям» или «интегралом по траекториям», а также просто «фейнмановским интегралом» или «фейнмановской суммой». — *Примеч. ред.*

17

Речь идет о Гаррете Лиси, американском физике-теоретике, официально не работающем ни в одном институте и большую часть своего времени занимающемся серфингом. 6 ноября 2007 года он опубликовал «Исключительно простую теорию всего», которая, однако, оказалась неполна и не была принята физическим сообществом. — *Примеч. пер.*

18

Помимо приведенных названий различных ароматов кварков, часто используют и другие обозначения: u-кварк (от англ. up), d-кварк (от англ. down), s-кварк (от англ. strange), c-кварк (от англ. charm), b-кварк (от англ. beauty либо, bottom), t-кварк (от англ. truth либо top). — *Примеч. пер.*

19

Уже когда книга находилась в верстке, все мировые новостные агентства облетело сообщение, что гравитационные волны, наконец-то, зарегистрированы. Таким образом, на сегодняшний день все

предсказания общей теории относительности получили экспериментальное подтверждение. — *Примеч. ред.*

20

В работе также было показано, что одиннадцать — это максимально возможное количество измерений. — *Примеч. пер.*

21

Подобные объекты называются *вранами*. Этот термин был придуман, чтобы обобщить понятие двумерной мембраны на многомерные случаи. — *Примеч. ред.*

Ссылки

1

Erwin Schrodinger, “The New Field Theory;” January 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, Princeton, NJ, 22–152.

2

“Unifying the Cosmos,” New York Times, February 16, 1947.

3

Elihu Lubkin, “Schrodinger's Cat,” International Journal of Theoretical Physics 18, no. 8 (1979): 520.

4

Hilary Putnam, личная переписка с автором, August 4, 2013.

5

Walter Thirring, Cosmic Impressions: Traces of God in the Laws of Nature, trans. Margaret A. Schellenberg (Philadelphia: Templeton Foundation Press, 2007), 54.

6

Там же, 55.

7

“Einstein Tribute to Schroedinger,” Irish Times, June 29, 1943, 3.

8

Albert Einstein, “Statement to the Press,” February 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–146.

9

Myles na gCopaleen [Brian O' Nolan], “Cruiskeen Lawn,” Irish Times, March 10, 1947, 4.

10

Albert Einstein, цит. по “Einstein's Comment on Schroedinger Claim,” Irish Press, February 27, 1.

11

John Moffat, *Einstein Wrote Back: My Life in Physics* (Toronto: Thomas Allen, 2010), 67.

12

Peter Freund, *A Passion for Discovery* (Hackensack, NJ: World Scientific, 2007), 5–6.

13

Albert Einstein, *Autobiographical Notes*, trans, and ed. Paul Arthur Schilpp (La Salle, IL: Open Court, 1979), 9.

14

John Casey, *The First Six Books of the Elements of Euclid* (Dublin: Hodges, Figgis, 1885), 6.

15

Ernst Mach, “Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen,” *Scientia* 8 (1910), trans. as “The Guiding Principles of My Scientific Theory of Knowledge and Its Reception by My Contemporaries,” in S. Toulmin, ed, *Physical Reality* (New York: Harper & Row, 1970), 37–38.

16

Erwin Schrodinger, Antrittsrede des Herrn Schrodinger, Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss. (Berlin) 1929, p. C, цит. по Jagesh Mehra and Helmut Rechenberg, *Erwin Schrodinger and the Rise of Wave Mechanics, Part 1: Schrodinger in Vienna and Zurich, 1887–1925, The Historical Development of Quantum Theory*, volume 5 (New York: Springer, 1987), 81.

17

Причины ошибки в расчетах обсуждаются в статье Стефана Буна “Fritz Hasenohrl and $E = mc^2$ ” *European Physical Journal H* 38 (2013): 261–278.

18

Интервью с Тиррингом. Вена, Австрия, 4 апреля, 1963, *Archive for the History of Quantum Physics*, American Philosophical Society, Philadelphia, PA

19

Einstein, *Autobiographical Notes*, 15.

20

Albert Einstein to Anna Keller Grossmann, reprinted in Carl Seelig, *Albert Einstein: A Documentary Biography*, trans. Mervyn Savill (London: Staples Press, 1956), 208. 10. Max Talmey, “Einstein as a Boy Recalled by a Friend,” *New York Times*, February 10, 1929, 11.

21

Max von Laue, цит. по Seelig, Albert Einstein, 78.

22

Max von Laue, цит. по Seelig, Albert Einstein, 78.

23

Hermann Minkowski, речь, произнесенная 21 сентября 1908 г. на 80-й ассамблее натуралистов и физиков.

24

Punch, November 19, 1919, 422, цит. по Alistair Sponsel, "Constructing a 'Revolution in Science': The Campaign to Promote a Favourable Reception for the 1919 Solar Eclipse Experiments," *British Journal for the History of Science* 35, no. 4 (2002): 439.

25

Jagdish Mehra and Helmut Rechenberg, *Erwin Schrodinger and the Rise of Wave Mechanics, Part 1: Schrodinger in Vienna and Zurich, 1887–1925, The Historical Development of Quantum Theory, volume 5* (New York: Springer, 1987), 166.

26

George de Hevesy to Ernest Rutherford, October 14, 1913. Rutherford Papers, University of Cambridge, цит. по Ronald W. Clark, *Einstein: The Life and Times* (New York: World Publishing, 1971), 158.

27

Erwin Schrodinger, *Space-Time Structure* (Cambridge: Cambridge University Press, 1963), 1.

28

Альберт Эйнштейн, речь, произнесенная в Киото (Япония) 14 декабря, 1922, цит. по Engelbert L. Schucking and Eugene J. Surowitz, “Einstein's Apple,” неопубликованная рукопись, 2013.

29

Albert Einstein to Arnold Sommerfeld, October 29, 1912, in Albert Einstein, *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 5, *The Swiss Years: Correspondence, 1902-1914*, English translation supplement, ed. Don Howard, trans. Anna Beck (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995), Doc. 421.

30

Carl Seelig, *Albert Einstein: A Documentary Biography*, trans Mervyn Savill (London: Staples Press, 1956), 108.

31

Альберт Эйнштейн Паулю Эренфесту, январь 1916, в Seelig, *Albert Einstein*, 156.

32

Richard Feynman, “*Surely You re Joking, Mr. Feynman!*”: *Adventures of a Curious Character* (New York: Norton, 2010), 58.

33

Walter Moore, *Schrodinger: Life and Thought* (New York: Cambridge University Press, 1982), 105.

34

Erwin Schrodinger, цит. по Alex Harvey, “How Einstein Discovered Dark Energy,” 2012, <http://arxiv.org/abs/1211.6338>.

35

Albert Einstein, “Bemerkung zu Herrn Schrodingers Notiz Uber ein Losungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen,” *Physikalische Zeitschrift* 19 (1918): 165–166, цит. по M. Janssen et al. in *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 7, *The Berlin Years: Writings, 1918–1921* (Princeton: Princeton University Press, 2002), doc. 3.

36

Harvey, “How Einstein Discovered Dark Energy.”

37

Ben Almassi, “Trust in Expert Testimony: Eddington's 1919 Eclipse Expedition and the British Response to General Relativity,” *Studies in History and Philosophy of Science Part B* 40, no. 1 (2009): 57–67.

38

Там же.

39

“Eclipse Showed Gravity Variation,” *New York Times*, November 8, 1919, 6.

40

Там же.

41

“Revolution in Science... New Theory of the Universe... Newtonian Ideas Overthrown,” Times (London), November 7, 1919, 1.

42

Erwin Schrodinger, *Space-Time Structure* (Cambridge: Cambridge University Press, 1963), 2.

43

Albert Einstein, “On the Method of Theoretical Physics” (1933 lecture at Oxford), translated by S. Bargmann in *Albert Einstein: Ideas and Opinions* (New York: Bonanza Books, 1954), 270–276.

44

David Hilbert, MacTutor online biography, University of St Andrews, <http://www.history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hilbert.html>.

45

Albert Einstein to Hermann Weyl, March 8, 1918, in *Albert Einstein, The Collected Papers of Albert Einstein, vol. 8, The Berlin Years: Correspondence, 1914–1918, English translation supplement*, ed. Klaus Hentschel, trans. Ann M Hentschel (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998).

46

Daniela Wunsch, *Der Erfinder der 5. Dimension*, Theodor Kaluza (Gottingen: Termessos, 2007), 66.

47

Theodor Kaluza Jr., интервью в NOVA: *What Einstein Never Knew*, PBS, originally broadcast October 22, 1985.

48

Arthur S. Eddington, “A Generalisation of Weyl's theory of the Electromagnetic and Gravitational Fields,” *Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A* 99 (1921): 104–122.

49

Перевод Г. Плисецкого. — *Примеч. ред.*

50

Jagdish Mehra and Helmut Rechenberg, *Erwin Schrodinger and the Rise of Wave Mechanics, Part 1: Schrodinger in Vienna and Zurich, 1887–1925, The Historical Development of Quantum Theory, volume 5* (New York: Springer, 1987), 408.

51

Erwin Schrodinger, *My View of the World*, trans. Cecily Hastings (Woodbridge, CT: OxBow Press, 1983), 7.

52

Б. Спиноза, «Этика», Теорема 29. Цитируется по переводу Н. А. Иванцова, 1892 г. — *Примеч. ред.*

53

Albert Einstein, цит. по “Einstein Believes in 'Spinoza's God,” *New York Times*, April 25, 1929, 1.

54

Albert Einstein, «Religion and Science», *New York Times Magazine*, November 9, 1930, SMI.

55

Schrodinger, My View of the World, 21.

56

W. Heitler, “Erwin Schrodinger Obituary” *Roy. Soc. Obit.* 7 (1961): 223–234.

57

Wolfgang Pauli, цит. по Werner Heisenberg, *Physics and Beyond* (New York: Harper and Row, 1971), 25–26.

58

Peter Freund, *A Passion for Discovery* (Hackensack, NJ: World Scientific, 2007), 162.

59

Erwin Schrodinger to Albert Einstein, November 3, 1925, Albert Einstein Duplicate Archive, Princeton, NJ, 22–004.

60

Шрёдингер Эрвин. Мой взгляд на мир / Пер. с нем. 2-е изд. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — *Примеч. ред.*

61

Hermann Weyl, reported by Abraham Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World* (New York: Oxford University Press, 1988), 252.

62

Arnold Sommerfeld to Erwin Schrödinger, February 3, 1926, reported in Mehra and Rechenberg, Erwin Schrödinger and the Rise of Wave Mechanics, 537.

63

Интервью с Аннемарией Шрёдингер, взятое Томсом Куном 5 апреля 1963 г. в Вене. Archive for the History of Quantum Physics, American Philosophical Society, Philadelphia, PA.

64

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, April 23, 1926, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–014.

65

Erwin Schrödinger to Niels Bohr, May 24, 1924, цит. по O. Darrigol, “Schrödinger's Statistical Physics and Some Related Themes,” in M. Bitbol and O. Darrigol, eds., Erwin Schrödinger, Philosophy and the Birth of Quantum Mechanics (Gif-sur-Yvette, France: Editions Frontieres, 1992).

66

Albert Einstein to Max Born, December 4, 1926, in Albert Einstein-Max Born, Briefwechsel (Correspondence), ed. Max Born (Munich, 1969), 129, цит. по Alice Calaprice and Trevor Lipscombe, Albert Einstein: A Biography (Westport, CT: Greenwood Press, 2005), 92.

67

Albert Einstein to Max Born, May 1927, reprinted in A. Einstein, H. Born, and M. Born, Albert Einstein, Hedwigund Max Born, Briefwechsel: 1916–1955 / kommentiert von Max Born; Geleitwort von Bertrand Russell; Vorwort von Werner Heisenberg (Frankfurt am Main: Edition Erbrich, 1982), 136, цит. по Hubert Goenner, “On the History of Unified Field

Theories,” Living Reviews in Relativity, 2004, [http: //relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2004-2/download/lrr-2004-2Color.pdf](http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2004-2/download/lrr-2004-2Color.pdf).

68

В русском переводе статья вышла в журнале УФН. — 1977. — Т. 122, вып. 8. — С. 651–671. — *Примеч. пер.*

69

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, May 31, 1928, Albert Einstein Duplicate Archive, 22-022, цит. по G. G. Emch, Mathematical and Conceptual Foundations of 20th century Physics (Amsterdam: North Holland, 2000), 29S.

70

Abraham Pais, Einstein Lived Here (New York: Oxford University Press, 1994), 43.

71

Интервью с Аннемарией Шрёдингер, взятое Томсом Куном 5 апреля 1963 г. в Вене. Archive for the History of Quantum Physics, American Philosophical Society, Philadelphia, PA.

72

Paul Heyl, “What Is an Atom?,” Scientific American 139 (July 1928): 9–12.

73

“Current Magazines,” New York Times, July 1, 1928.

74

Albert Einstein, цит. по “Einstein Declares Women Riule Here,” New York Times, July 8, 1921.

75

“Woman Threatens Prof. Einstein's Life,” New York Times, February 1, 1925.

76

“A Deluded Woman Threatens Krassin and Professor Einstein,” The Age (Melbourne, Australia), February 3, 1925, 9.

77

Wythe Williams, “Einstein Distracted by Public Curiosity” NewYorkTimes, February 4, 1929.

78

Einstein to Zangger, end of May 1928, EinsteinArchives, Hebrew University of Jerusalem, call no. 40–069, цит. по Tilman Sauer, “Field Equations in Teleparallel Spacetime: Einstein's Fernparallelismus Approach Towards Unified Field Theory,” *Historia Mathematica* 33 (2006): 404–405.

79

“Einstein Extends Relativity Theory,” New YorkTimes, January 12, 1929, 1.

80

Albert Einstein, цит. по “Einstein I s Amazed at Stir over Theory; Holds 100 Journalists at Bay for a Week,” New York Times, January 19, 1929.

81

Albert Einstein, цит. по “News and Views,” Nature, February 2, 1929, reprinted in Hubert Goenner, “On the History of Unified Field Theories,” in Proceedings of the Sir Arthur Eddington Centenary Symposium, edited by V. de Sabbata and T.M. Karade, 1:176–196 (Singapore: World Scientific, 1984).

82

H. H. Sheldon, цит. по “Einstein Reduces All Physics to 1 Law,” New York Times, January 25, 1929.

83

“Einstein Is Viewed as Near the Mystic,” New York Times, February 4, 1929.

84

Will Rogers, “Will Rogers Takes a Look at the Einstein Theory,” New York Times, February 1, 1929.

85

“Byproducts: Some Parallel Vectors,” New York Times, February 3, 1929.

86

Wolfgang Pauli, “[Besprechung von] Band 10 der Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften,” Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 11 (1931): 186, цит. по Goenner, “On the History of Unified Field Theories.”

87

“Einstein Flees Berlin to Avoid Being Feted,” New York Times, March 13, 1929.

88

“Einstein Is Found Hiding on Birthday”, New York Times, March 14, 1929.

89

Walter Moore, *Schrödinger: Life and Thought* (New York: Cambridge University Press, 1982), 242.

90

Paul Dirac, цит. по “Erwin Schrödinger,” *Archive for the History of Quantum Physics*.

91

Albert Einstein, цит. по “Einstein Affirms Belief in Causality,” *New York Times*, March 16, 1931, 1.

92

“Physicists Scan Cause to Effect with Skepticism,” *Christian Science Monitor*, November 13, 1931, 8.

93

Albrecht Folsing, *Albert Einstein: A Biography*, trans. Ewald Osers (New York: Penguin, 1997), 617.

94

Moore, *Schrödinger*, 285.

95

Annemarie Schrödinger, reported in Walter Moore, *Schrödinger: Life and Thought* (New York: Cambridge University Press, 1982), 265.

96

“Relative Tide and Sand Bars Trap Einstein; He Runs His Sailboat Aground at Old Lyme,” *New York Times*, August 4, 1935, 1.

97

Don Duso, reported in Sandi Fairbanks, *All Points North Magazine*, Summer 2008, www.apnmag.com/summer_2008/fairbanks_einstein.php.

98

Albert Einstein to Elisabeth, Queen of Belgium, autumn 1935, цит. по Ronald Clark, *Einstein: The Life and Times* (New York: World Publishing, 1971), 529.

99

Albert Einstein, цит. по “Einsteinhaus in Caputh,” www.einsteinsommerhaus.de.

100

Moore, Schrödinger, 294.

101

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, June 7, 1935, цит. по Don Howard, “Revisiting the Einstein-Bohr Dialogue,” *Iyyun: The Jerusalem Philosophical Quarterly* 56 (January 2007): 21–22.

102

Albert Einstein to Erwin Schrödinger June 19, 1935, Albert Einstein Duplicate Archive, Princeton, NJ, 22–047.

103

Там же.

104

“Einstein Attacks Quantum Theory,” New York Times, May 4, 1935.

105

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, August 8, 1935, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–049.

106

Там же.

107

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, August 19, 1935, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–051.

108

Ruth Braunizer, reported by Leonhard Braunizer, личная переписка с автором, May 6, 2014.

109

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, September 4, 1935, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–052.

110

Erwin Schrödinger, “Die Gegenwertigen Situation in der Quantenmechanik,” *Die Naturwissenschaften* 23 (1935): 807–812, 824–828, цит. по Arthur Fine, *The Shaky Game: Einstein, Realism and the Quantum Theory* (Chicago: University of Chicago Press, 1986), 65.

111

Erwin Schrödinger, “Indeterminism and Free Will,” *Nature* July 4, 1936.

112

Там же.

113

Интервью с Аннемарией Шрёдингер, взятое Томсом Куном 5 апреля 1963 г. в Вене. *Archive for the History of Quantum Physics*, American Philosophical Society, Philadelphia, PA.

114

Helge Kragh, *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century* (Princeton: Princeton University Press, 1999), 218–229.

115

Jamie Sayen, *Einstein in America* (New York: Crown, 1985), 147.

116

Lucien Aigner, “A Book May Be Written, a Shoe Made — But a Theory — It's Never Finished,” *Christian Science Monitor*, December 14, 1940, 3.

117

Nathan Rosen, “Reminiscences,” in Gerald Holton and Yehuda Elkana, eds., *Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives* (Princeton: Princeton University Press, 1982), 406.

118

Erwin Schrödinger, “Confession to the Fuhrer,” *Graz Tagespost*, March 30, 1938, цит. по Moore, *Schrödinger: Life and Thought*, 337.

119

Erwin Schrödinger, цит. по “History of the Dublin Institute for Advanced Studies: 1935–1940: Formation of the School,” Dublin Institute for Advanced Studies, [www.dias.ie/index.php?option=com_content&view=article&id=804:theoreticalhistory1935–1940](http://www.dias.ie/index.php?option=com_content&view=article&id=804:theoreticalhistory1935-1940).

120

Erwin Schrödinger, неопубликованная рукопись, Dublin Institute for Advanced Studies Archive, цит. по Moore, *Schrödinger: Life and Thought*, 348.

121

Brian Fallon, *An Age of Innocence: Irish Culture, 1930–1960* (London: Palgrave Macmillan, 1998), 14.

122

Walter Thirring, *Cosmic Impressions: Traces of God in the Laws of Nature*, translated by Margaret A. Schellenberg (Philadelphia: Templeton Foundation Press, 2007), 55.

123

Nicola Tallant, “Dev Tricked Public into Investing in Irish Press, File Reveals,” Irish Independent, October 31, 2004, 1.

124

L. Mac G., “A Professor at Home,” Irish Press, November 1, 1940, 5.

125

“People and Places,” Irish Press, August 11, 1942, 2.

126

“The Atom Man' at Home: Dr. Erwin Schrödinger Takes a Day Off,” Irish Press, February 1, 1946, 7.

127

Gesprach mit Ruth Braunizer fiber Erwin Schrödinger (интервью с Рут Брауницер об Эрвине Шрёдингере), Österreichische Mediathek, 1997, <http://www.oesterreich-amwortat/treffer/atom/14957620-36E-00084-00000AF8-1494EDB5>.

128

Ruth Braunizer, “Memories of Dublin — Excerpts from Erwin Schrödinger's Diaries,” in Gisela Holfter, ed, German-Speaking Exiles in Ireland 1933–1945 (Amsterdam: Rodopi, 2006), 265.

129

Albert Einstein, цит. по Robert P. Crease, The Great Equations: Breakthroughs in Science from Pythagoras to Heisenberg (New York: W. W. Norton, 2010), 197.

130

Leopold Infeld, "Visit to Dublin," Scientific American 181, no. 4 (October 1949): 11.

131

Erwin Schrödinger, "Some Thoughts on Causality," Irish Times, November 15, 1939, 5.

132

Myles na gCopaleen [Brian O'Nolan], reported in Paddy Leahy, "How Myles na gCopaleen Belled Schrödinger's Cat," Irish Times, February 22, 2001, 15.

133

Myles na gCopaleen [Brian O'Nolan], "Cruiskeen Lawn," Irish Times, August 3, 1942, 3.

134

Flann O'Brien [Brian O'Nolan], The Third Policeman (Chicago: Dalkey Archive Press, 2006), 116.

135

"Observer Says," Irish Press, November 9, 1943, 3.

136

Там же.

137

"Famous Physicist's Memory to Be Honoured by Special Stamp/ Irish Press, November 6, 1943, 1.

138

Albert Einstein to Hans Muehsam, early summer 1942, цит. по Carl Seelig, *Albert Einstein: A Documentary Biography*, translated by Mervyn Savill (London: Staples Press, 1956), 230.

139

Peter Seyyfiart, "Einstein, Mann Popular at Princeton; Students 'Praise' Them in Jingles," *Milwaukee Journal*, August 12, 1939.

140

Leon Rosenfeld to Friedrich Hemeck, 1962, published in F. Hemeck, *Einstein und sein Weltbild* (Berlin: Buchverlag derMorgen, 1976), 280.

141

Albert Einstein, речь 15 мая на Американском научном конгрессе, reported in William L. Laurence, "Einstein Baffled by Cosmos Riddle," *New York Times*, May 16, 1940, 23.

142

Institute for Advanced Study School of Mathematics, Confidential Memo, April 19, 1945, IAS Archive, Princeton, NJ.

143

Albert Einstein and Wolfgang Pauli, "On the Non-Existence of Regular Stationary Solutions of Relativistic Field Equations," *Annals of Mathematics* 44 (April 1943): 13.

144

Michael Lawlor, "Forward from Einstein," *Irish Press*, February 1, 1943, 2.

145

“Scholars Acclaim His Theory,” Irish Press, February 2, 1943, 2.

146

“Science: Schroedinger,” Time, April 5, 1943.

147

“Einstein's Comment on Schroedinger Theory,” Irish Press, April 10, 1943, 1.

148

“Einstein Tribute to Schroedinger,” Irish Times June 29, 1943, 3.

149

George Prior Woollard, “Transcontinental Gravitational and Magnetic Profile of North America and Its Relation to Geologic Structure. The Geological Society of America Bulletin 54, no. 6 (June 1, 1943): 747–789.

150

“Schroedinger's New Theory Confirmed,” Irish Press, June 28, 1943, 1.

151

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, August 13, 1943, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–075.

152

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, September 10, 1943, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–076.

153

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, October 31, 1943, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–088.

154

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, December 14, 1943, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–090.

155

Reported in Walter Moore, *Schrödinger: Life and Thought* (New York: Cambridge University Press, 1982), 418.

156

John Gribbin, *Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution* (Hoboken, NJ: Wiley, 2013), 285.

157

Matthew Benjamin, “Catcher, Spy: Moe Berg,” *US News and World Report*, January 27, 2003.

158

Перевод: Поэт Алекс, <http://www.stihi.ru/avtor/lserbin>.

159

Walter Winchell, «Scientists See Steel Block Melted by Light Beam», *Spartanburg Herald Journal*, May 23, 1948, A4.

160

D. M. Ladd, Office Memorandum to the Director, Federal Bureau of Investigation, February 15, 1950, FBI Records: The Vault, <http://vaultfbi.gov/Albert Einstein>.

161

Robin Pogrebin, "Love Letters by Einstein at Auction." New York Times June 1, 1998

162

Reported in Carl Seelig, Albert Einstein: A Documentary Biography, trans. Mervyn Savill (London: Staples Press, 1956), 115.

163

"A Summary of Fianna Fail's Self Claimed Achievements as Used by the Party During the General Election of 1948," University College Dublin Archive P150/2756, reprinted in Diarmaid Ferriter Judging Dev: A Reassessment of the Life and Legacy of Eamonn de Valera (Dublin: Royal Irish Academy Press, 2007), 296.

164

James Dillon, "Constituent School of the Dublin Institute for Advanced Studies — Motion," Dail Eireann Proceedings 104 (February 13, 1947)

165

Wolfgang Pauli, цит. по Vladimir Vizgin, Unified Field Theories: In the First Third of the 20th Century, trans. J. B. Barbour (Boston: Birkhauser, 1994), 218.

166

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, January 22, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, Princeton, NJ, 22–093.

167

Erwin Schrodinger to Albert Einstein, February 19, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–094.

168

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, March 24, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–102.

169

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, April 7, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–103.

170

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, June 13, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–107.

171

Albert Einstein to Erwin Schrodinger, July 16, 1946, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–109.

172

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, January 27, 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–136.

173

William Rowan Hamilton, in-., no Robert Percival Graves, Life of Sir William Rowan Hamilton (Dublin: Hodges, Figgis, 1882).

174

Erwin Schrödinger, “The Final Affine Field-Laws,” Address to the Royal Irish Academy, January 27, 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–143.

175

Там же.

176

Erwin Schrödinger, цит. по “Dr. Schroedinger: Einstein Theory of Relativity,” Irish Press, January 28, 1947, 5.

177

“Dublin Man Outdoes Einstein,” Christian Science Monitor January 31, 1947, 13.

178

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, February 3, 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–138.

179

“Science: Einstein Stopped Here,” Time, February 10, 1947.

180

John L. Synge, “Letter to the Editor,” Time, March 3, 1947.

181

Petros S. Florides, “John Lighton Synge,” Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society 54 (December 2008): 401.

182

Nichevo [R. M. Smyllie], "Higher Maths," Irish Times, March 22, 1947, 7.

183

S.McC, "And Now Cosmic Physics," Tuam Herald, April 12, 1947.

184

William L. Laurence to Albert Einstein, February 7, 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–141.

185

"Einstein Declines Comment," New York Times, January 30, 1947.

186

"Einstein's Theory Reportedly Widened," New York Times, January 30, 1947.

187

"Unifying the Cosmos," New York Times, February 16, 1947.

188

Jacob Landau to Albert Einstein, February 18, 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–149.

189

Albert Einstein, "Statement to the Press," February 1947, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–146.

190

Erwin Schrödinger, цит. по “Schroedinger Replies to Einstein,” Irish Press, March 1, 1947, 7.

191

Peter Freund, *A Passion for Discovery* (Hackensack, NJ: World Scientific, 2007), S.

192

Myles nagCopaleen [Brian O’Nolan], “Cruiskeen Lawn,” Irish Times, March 10, 1947, 4.

193

John Archibald Wheeler, интервью с автором, Princeton, November S, 2002.

194

“Einstein Leaves Hospital,” New York Times, January 14, 1949.

195

William L. Laurence, “World Scientists Hail Einstein at 70,” New York Times, March 13, 1949.

196

Lincoln Bamett, “U.S. Science Holds Its Biggest Powwow and Finds It Has a New Einstein Theory to Ponder — The Meaning of Einstein's New Theory,” Life, January 9, 1950.

197

Datus Smith to Lincoln Barnett, January 6, 1950, Princeton University Press Archive, Box 7, Princeton University Library; Lincoln Barnett to Datus Smith January 18, 1950, Princeton University Press Archive

198

Datus Smith to Lincoln Bamett, January 23, 1950, Princeton University Press Archive.

199

Frances Hagemann to Albert Einstein (copy to Herbert Bailey), January 14, 1950, Princeton University Press Archive.

200

Herbert Bailey to Frances Hagemann, January 18, 1950, Princeton University Press Archive.

201

Frances Hagemann to Herbert Bailey (copy to Albert Einstein), January 26, 1950, Princeton University Press Archive

202

Irish Times, January 2, 1950, 5.

203

William L. Laurence, «Einstein Publishes His “Master Theory”»; New York Times, February 15, 1950.

204

Robert Oppenheimer, “On Albert Einstein,” New York Review of Books, March 17, 1966.

205

Erwin Schrödinger, интервью в “Einstein Has New Theory of Laws of Gravitation,” Irish Press, December 26, 1949, 1.

206

Erwin Schrödinger, Space-Time Structure (Cambridge: Cambridge University Press, 1963), 114.

207

Там же.

208

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, September 3, 1950, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–171.

209

Erwin Schrödinger to Albert Einstein, May 15, 1953, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–210.

210

Albert Einstein to Erwin Schrödinger, June 9, 1953, Albert Einstein Duplicate Archive, 22–212.

211

Robert Romer, “My Half Hour with Einstein,” Physics Teacher 43 (2005):35.

212

Albert Einstein, цит. по Werner Heisenberg, *Encounters with Einstein* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1989), 121.

213

Eugene Shikhovtsev, “Biographical Sketch of Hugh Everett, III,” edited by Kenneth W. Ford, <http://spacejnet.edu/home/tegmark/everett/everett.html>.

214

Arthur I. Miller, *Deciphering the Cosmic Number: The Strange Friendship of Wolfgang Pauli and Carl Jung* (New York: Norton, 2010), 269.

215

Wolfgang Pauli to George Gamow, March 1, 1958, reported in Miller, *Deciphering the Cosmic Number*, 263.

216

Ursula K. Le Guin, интервью с Irv Broughton, *Conversations with Ursula K. Le Guin* (Jackson: University Press of Mississippi, 2008), 59.

217

Roland Orzabal, личная переписка с автором, September 17, 2013.

218

Klaus Taschwer, “Der Streit um Schrödingers Kiste,” *Der Standard* (Austria), December 19, 2007.

219

“Schrödingers Erbe: Gerichtlicher Streit beigelegt,” Österreichischen Rundfunk, May 13, 2009.

220

“Laid-Back Surfer Dude May Be Next Einstein,” FoxNews.com, November 16, 2007, www.foxnews.com/story/2007/11/16/laid-back-surfer-dude-may-be-next-einstein.

221

“Autistic Boy, 12, with Higher IQ than Einstein Develops His Own Theory of Relativity,” Daily Mail Online, March 24, 2011, www.dailymail.co.uk/news/article-1369S9S/JacobBamett-12-higher-IQ-Einstein-develops-theory-relativity.html

222

“Will the Next Einstein Be a Computer?,” KitGuru Online Forum, www.kitguru.net/channel/science/jules/will-the-next-einstein-be-a-computer.

223

Kane Fulton, “Ubuntu on Android May Help Find Next Einstein,” TechRadar, June 18, 2013, www.techradar.com/us/news/software/operating-systems/-ubuntu-on-android-may-help-find-next-einstein — 1159142.

224

Tamar Lewin, “No Einstein in Your Crib? Get a Refund!,” New York Times, October 24, 2009, A1.

225

Ian Sample, “Faster Than Light Particles Found, Claim Scientists,” The Guardian, September 22, 2011.

226

Antonio Ereditato, press release, OPERA experiment, September 23, 2011.

227

“Neutrino Jokes Hit Twittersphere Faster Than the Speed of Light,” Los Angeles Times, September 24, 2011.

228

Corrigan Brothers and Pete Creighton, “Neutrino Song,” October 10, 2011, www.youtube.com/watch?v=vpMY84T8WY0.

229

Sergio Bertolucci, press release, CERN June 8, 2012.

#PopScience

Пол Хэлперн

ИГРАЮТ ЛИ КОТЫ В КОСТИ?

Эйнштейн и Шрёдингер
в поисках единой теории
мироздания

Многие физики всю свою жизнь посвящают исследованию конкретных аспектов физического мира и поэтому не видят общей картины. Эйнштейн и Шрёдингер стремились к большему. Поиски привели их к важным открытиям: Эйнштейна — к теории относительности, а Шрёдингера — к волновому уравнению. Раздраженные найденной частью решения, они надеялись завершить дело всей жизни, создав теорию, объясняющую всё.

Эта книга рассказывает о двух великих физиках, о «газетной» войне 1947 года, разрушившей их многолетнюю дружбу, о хрупкой природе сотрудничества и открытий в науке.

Пол Хэлперн — знаменитый физик и писатель — написал 14 научно-популярных книг. В круг его интересов попадает всё — время и пространство, множественные измерения, темные материя и энергия, космология. Его последняя книга повествует о том, как Альберт Эйнштейн и Эрвин Шрёдингер сражались с несовершенством и недетерминированностью квантовой механики, пытаясь создать теорию поля, которая объединила бы все силы природы и потеснила квантовую странность. К сожалению, оба потерпели фиаско.

Сможет ли кто-то из современных ученых превзойти гениев прошлого? Найдется ли новый Эйнштейн, который сможет воплотить его мечту о единой физической теории в жизнь?



Заказ книг:

Санкт-Петербург

тел.: (812) 703-73-74, postbook@piter.com

www.piter.com —

каталог книг и интернет-магазин

ISBN 978-5-496-01861-6



9 785496 018616