

Not Even Wrong *

Peter Woit

Jonathan Cape, London, 2006

Введение

Побуждение размышлять о природе физического мира, которого так или иначе мы все являемся частью, — характерная черта людей. Как социально организованная деятельность, такое размышление имеет чрезвычайно длинную историю и достигло действительно драматических успехов в течение прошлого столетия. Теоретическая физика — это работа воображения, которая ставит самые фундаментальные вопросы о физической действительности, причем она нашла красивые и убедительные ответы на многие из этих вопросов. Эти ответы, оказывается, наиболее естественно выражаются не на общепринятом языке, а на языке математики. Сила и изощренность математического языка чрезвычайно выросли за последние столетия, часто в ходе борьбы за то, чтобы найти ответы на вопросы поднятые физиками.

История того, как открытие принципов специальной теории относительности и квантовой механики изменило физику XX века, является к настоящему времени отнюдь не новой. К 1973 году у физиков уже имелось то, что должно было стать фантастически успешной теорией фундаментальных частиц и их взаимодействий — теория, которая должна была скоро получить название “Стандартной Модели”. С этого времени, всеобъемлющий триумф Стандартной Модели наложил на столь же всеобъемлющую неудачу поисков пути дальнейшего продвижения в фундаментальных вопросах. Как возникла эта ситуация и каковы перспективы когда-либо ее изменить?

Данная книга является попыткой решить этот вопрос с весьма частной точки зрения. Эта точка зрения немного необычна, поэтому я начну со своей персональной истории. Мои самые ранние воспоминания о собственной заинтересованности проблемами, которые будут обсуждаться в этой книге, восходят к началу 1970-х, к часам, проведенным за тщательным изучением каждой книги по астрономии, которую я мог найти в местной публичной библиотеке. В какой-то момент я наткнулся на предмет астрофизики; в частности, на тот ее раздел, где изучается структура звезд, записываются и затем решаются уравнения для температуры, давления и состава внутренности звезды. Тот факт, что можно надеяться понять настолько детальным и точным образом, что происходит в невообразимом интерьере звезды, очаровывал меня, но также и мистифицировал. Уравнения в книгах, которые я читал, были выражены на математическом языке, который я не мог понять, и были получены из физических законов, о которых я ничего не знал. Я начал пытаться изучать необходимую математику и физику, чтобы научиться извлекать из этих уравнений смысл.

Когда я познакомился с некоторыми основными идеями [дифференциального и интегрального — Пер.] исчисления и элементарной физики, одним из первых порази-

* перевод на русский язык В.О. Соловьева. E-mail: soloviev@th1.ihep.su

тельных уроков стало то, что исчисление и физика очень сложным образом переплетаются. Механика, часть элементарной физики, которая имеет дело с движениями частиц и силами, вызывающими эти движения, основана на законах Ньютона, требующих для своего выражения исчисления. Ньютон развил исчисление и механику в одно и то же время, и два предмета настолько всецело переплетены, что нельзя понять должным образом один, не понимая другого. Если использовать язык исчисления, то законы Ньютона — чрезвычайно простые и ясные утверждения о том, как работает, по крайней мере, часть мира.

По мере того, как я брал из библиотеки все больше книг по физике, я начал узнавать и другие области физики, сверх механики, и скоро натолкнулся и сразу влюбился в то, что очаровывает меня по сей день — на квантовую механику. В то время как уравнения классической механики Ньютона обращаются к легко наблюдаемым величинам, вроде положений и скоростей частиц, фундаментальное уравнение квантовой механики, уравнение Шредингера, касается математического понятия, целиком лежащего вне царства обычного опыта, волновой функции. Хотя и волновая функция, и уравнение Шредингера для нее, кажется, не имеют никакого отношения к чему-либо, что можно наблюдать, они позволяют физикам понимать и точно предсказывать невероятное разнообразие физических явлений, происходящих на расстояниях порядка размеров отдельного атома.

Книгой, которая произвела на меня сильное впечатление, была автобиография¹ Вернера Гейзенберга *Поперек Границы*,¹ в которой он описывает историю своей жизни в 1920-х годах и рождение квантовой механики. Он описывает долгие дебаты с друзьями о природе физической реальности, проходившие во время лазаний по местным горам. Основными идеями были те, что вскоре привели его, Эрвина Шредингера и других к взрыву новых идей о физике, который в 1925 г. стал рождением квантовой механики. Потом, после того, как я узнал больше о событиях между войнами в Германии, образ Гейзенберга и товарищей из его молодежной группы, идущих по горам, чтобы посетить большие вдохновенные слеты, стал мне напоминать и о более тревожных моментах.

Часть привлекательности квантовой механики для меня связана с тем, что она была своего рода тайной практикой. Путем длительных исследований и глубоких размышлений можно было надеяться достичь понимания скрытой природы Вселенной. В отличие от других популярных экзотических религиозных или изменяющих сознание видов деятельности того времени, этот вид поиска просвещения, казалось, был и намного более надежным, и таким, к какому я в самом деле имел некоторые способности.

Когда я поступил в колледж в Гарварде в 1975 г., то вскоре обнаружил, что тамошний физический факультет находится в состоянии большого волнения, до некоторой степени подобного тому, какое характеризовало физику вскоре после рождения квантовой механики, пятьюдесятью годами ранее. Недавно была сформулирована Стандартная Модель, и начали поступать экспериментальные свидетельства в ее пользу. Эта модель была квантовой теорией поля, более сложной версией квантовой механики, которую я только начинал серьезно изучать. Моим руководителем на младших курсах был Шелдон Глэшоу, в офисе через две двери сидел Стивен Вайнберг, с которым он позже разделит Нобелевскую премию за их независимые работы над частью Стандартной Модели. Одним из молодых постдоков был Дэвид Политцер, со-открыватель другой главной части теории. К нему скоро присоединился другой постдок, Эдвард Виттен из Принстона, которому было предназначено

¹Имеется в виду книга, в русском переводе называемая “Часть и целое”: В. Гейзенберг “Физика и философия. Часть и целое” М. Наука, 1989

стать следующим лидером в этой области. Большие события уже произошли и еще большие неизбежно ожидались от этого внушительного собрания талантов.

В течение моих студенческих лет у меня была летняя практика (formative summer) — участие в эксперименте по физике элементарных частиц в Стэнфордском Центре Линейного Ускорителя, и упорные попытки выяснить, о чем говорит квантовая теория поля. Я закончил свое высшее образование в 1979 г., имея туманные идеи о предмете и некоторые базовые знания о Стандартной Модели и в Принстоне приступил непосредственно к работе над диссертацией. Преподавательский состав физического факультета включал Дэвида Гросса, который, со своим студентом Фрэнком Вильчеком, сыграл критическую роль в развитии Стандартной Модели. Он должен был скоро включить и Виттена, вернувшегося в Принстон сразу постоянным профессором из постдока, перескочив через обычный путь стажировки (tenure track). Для меня это было временем серьезного изучения квантовой теории поля и начала попыток выполнить какую-нибудь оригинальную работу. Для области в целом это было начало периода разочарований. Вокруг носилось много идей о том, как выйти за пределы Стандартной Модели, но казалось, что ни одна из них не была успешной.

Я покинул Принстон в 1984 году, чтобы провести три года в статусе постдока — научного сотрудника в Институте Теоретической Физики в SUNY, Стони Брук. Мое прибытие туда совпало с периодом, который стал позже известен как “Первая суперструнная революция”; произошел ряд событий, которые будут описаны позже в этой книге, ознаменовавших собой большие изменения в области теории частиц. В последний из моих трех лет, проведенных в Стони Брук, мне стало ясно, что у тех, кто интересуется математикой и квантовой теорией поля нет большого будущего на физическом факультете, если они не хотят работать над новой теорией суперструн. Это впечатление подтвердилось отрицательным исходом поисков работы на второй срок постдока.

Так как мои исследовательские интересы касались весьма близкого к математике раздела квантовой теории поля, и так как я не хотел заниматься теорией суперструн, мне показалось, что хорошо бы испытать свою судьбу и поискать работу среди математиков. Я вернулся в Кембридж, где физический факультет в Гарварде разрешил мне пользоваться рабочим местом в качестве неоплачиваемого посетителя, а математический факультет в Тафтсе нанял меня как ассистента, чтобы преподавать исчисление. Оттуда я перешел к однолетнему постдокскому сроку научного сотрудника в Математическом институте научных исследований в Беркли, за чем последовал четырехлетний срок в должности временного младшего преподавателя на математическом факультете Колумбийского университета.

Эта смена поля деятельности с физики на математику, как оказалось, была мудрым ходом, и я к настоящему времени проработал на факультете математики в Колумбии более шестнадцати лет. Сейчас я благополучно нахожусь на не пожизненной (non-tenured), но постоянной позиции “лектора”, одной из моих главных обязанностей является то, чтобы компьютерная система факультета продолжала функционировать должным образом. Я также преподаю студентам и аспирантам и продолжаю исследования в области математической квантовой теории поля.

Путь моей академической карьеры был довольно необычным, и я прекрасно знаю, что он состоялся благодаря большой доле удачи. Началось с того, что мне повезло с родителями, которые могли позволить себе послать меня в Гарвард. Продолжилось тем, что в правильном месте и в нужное время я смог воспользоваться в своих интересах необыкновенной возможностью работать в превосходном отделе математики, в окружении талантливых и благосклонных коллег.

Опыт перехода от физики к математике несколько напоминает мне переезд в детстве из Соединенных Штатов во Францию. У математики и физики — свои соб-

ственные, разные и несовместимые, языки. Они часто говорят об одном и том же, используя взаимно неперебиваемые термины. Различия между этими двумя областями глубже, чем просто языковые, они проистекают из их весьма отличных историй, культур, традиций и способов мышления. Так же как в детстве, я нашел, что Вам приходится многому учиться, когда Вы делаете такой шаг, но зато, в конце концов, Вы приобретаете интересную бикультурную точку зрения. Я надеюсь, что смогу здесь объяснить часть того, что узнал о сложных, непрерывно развивающихся, отношениях между предметами физики и математики и между соответствующими академическими культурами.

Когда в 1987 г. я оставил физику, теория суперструн завладела основным вниманием ведущих физиков-теоретиков. Насколько я мог тогда судить, она не выглядела слишком многообещающей идеей, и ей было уготовано повторить путь многих других неудачных идей того периода. Чего ни я, ни кто-либо другой тогда еще не знали, это что спустя более чем двадцать лет после своего появления на сцене, несмотря на отсутствие какого бы то ни было успеха по части выхода за рамки Стандартной Модели, теория суперструн все еще будет господствовать в теории частиц. Обсуждение того, как возникла эта особая ситуация, и является одной из центральных задач данной книги.

Многие книги о физике, написанные для аудитории неспециалистов, являются вдохновенными рассказами об успехах и триумфах. Несколько недавних популярных книг о теории суперструн вписываются в эту картину. Данная книга имеет иной характер, рассказывая историю области науки, которая, испытав большой успех, в результате переживает трудные времена, во многих отношениях будучи жертвой этого успеха. Мне кажется, что это интересная и важная история, о которой нужно рассказать, хотя она во многих отношениях и не является вдохновляющей.

Физик Вольфганг Паули был, вместе с Гейзенбергом, Шредингером и Дираком, одним из пионеров построения квантовой механики. Он был известен как суровый слушатель, восклицавший “неправильно” (*falsch*), или “полностью неправильно” (*ganz falsch*), если был не согласен с докладчиком. В конце жизни, будучи спрошен молодым физиком о его мнении относительно недавней статьи, он печально сказал, что “это даже не неправильно” (*Das ist nicht einmal falsch*),². Эти истории широко циркулировали среди физиков, часто в различных версиях, и выражение “даже не неправильно” иногда использовалось как общепринятое ругательство в адрес полностью глупых идей. Вероятно, Паули, находившийся под сильным влиянием позитивистской философии науки Венского кружка, имел в виду более определенную критику. Научная идея является “даже не неправильной”, если она настолько неполна, что не может быть использована для вывода из нее предсказаний, которые можно сравнить с наблюдениями, чтобы посмотреть, не ошибочна ли данная идея.

В 1984 г. о теории суперструн было известно относительно немного. Обширный объем проделанной с тех пор исследовательской работы прояснил, что фраза Паули теперь дает точное описание статуса теории, и несколько физиков публично характеризовали ее именно так³. Как мы увидим, название “теория суперструн” в действительности относится не к четкой теории, а к неосознанным надеждам, что такая теория могла бы существовать. В результате, это “теория”, которая не делает никаких предсказаний, даже неправильных, и именно эта нехватка фальсифицируемости и есть то, что позволило предмету в целом выжить и процветать. Такая ситуация поднимает важные проблемы, которые мы исследуем. Является ли предмет наукой, если он не делает вообще никаких предсказаний? Когда весьма спекулятивное исследование является частью науки, а когда — нет?

Что происходит, когда спекуляция, не подчиненная дисциплине эксперимента, полностью овладевает областью науки?

Когда я сел за работу, чтобы раскрыть некоторые из этих тем, то начал с того, что попытался обрисовать краткую историю теории элементарных частиц и квантовой механики. Моя точка зрения отличалась от точки зрения, принятой в большинстве подобных упражнений, как правило, игнорирующих в этой истории роль математики. Изучая глубже некоторые стандартные книги по теме, я заметил нечто интригующее. Одной из главных фигур в узком круге людей, открывших и развивших квантовую теорию, на самом деле был математик, Герман Вейль. В течение весьма краткого периода, когда физики разработали квантовую механику, в 1925-1926 гг., Вейль поддерживал постоянную связь с ними, но сам испытывал взрыв вдохновения, делая чисто математическую работу, которая должна была стать звездным часом его карьеры. Область математики, с которой Вейль был связан в это время, известна как теория представлений групп, и он хорошо знал, что она являлась подходящим инструментом для понимания части новой квантовой механики. Физики были почти полностью сбиты с толку математикой Вейля и тем, как она вписывается в новую квантовую теорию, даже после того, как Вейль быстро написал книгу, содержащую дополнительные главы по квантовой теории и теории представлений⁴. Много лет книгу считали классической, но большинство физиков вероятно читало только половину из ее глав.

Теория представлений групп — это математическое выражение понятия “симметрии”, и понимание важности этого понятия медленно росло среди теоретиков частиц в 1950-х и 1960-х годах. К 1970-м, курсы теории представлений групп, использующие части работы Вейля, вошли в стандартные учебные планы по теоретической физике. С тех пор, теория элементарных частиц и математика тесно взаимодействовали, причем весьма сложным образом. Объяснение вихрей и поворотов этой истории — одна из главных целей этой книги.

Позитивным утверждением этой книги будет то, что исторически одним из главных источников прогресса в теории частиц было открытие новых групп симметрий природы, вместе с новыми представлениями этих групп. Неудача программы теории суперструн может быть отслежена и проистекает из отсутствия в ней какого-либо нового фундаментального принципа симметрии. Без неожиданных экспериментальных данных новые продвижения в теории, вероятно, будут достигнуты лишь тогда, когда теоретики переключат свое внимание с этой неудавшейся программы на трудную задачу лучшего понимания симметрий мира природы.

Об этой книге

В книге делается попытка рассказать непростую историю, которая может заинтересовать широкий круг читателей с различным уровнем подготовки. Некоторые разделы этой истории, по необходимости, оказываются довольно трудными, использующими недостаточно широко известные области математики и физики. Поэтому большинство читателей, вероятно, будет испытывать трудности, по крайней мере, при чтении некоторых глав.

Эти более технические главы написаны без использования формул, автор изо всех сил старался, с одной стороны, избегать технических терминов, с другой стороны, предлагать хотя бы некоторые разъяснения тех терминов, без которых нельзя было обойтись. Такие намерения приводят к определенному недостатку точности, что может не понравиться знатокам. Хотя автор надеется, что многие неспециалисты смогут понять большую часть этих глав, обилие трудных и абстрактных понятий, вероятно, сделает чтение настоящим испытанием для них.

Такие главы начинаются с вводной части, суммирующей в общих словах постановку проблемы и то, как она соотносится с главной темой книги. Профессиональные

физики и математики вполне свыклись с мыслью, что нельзя надеяться всегда следовать за техническим обсуждением, надо быть готовым что-то пропустить, пока не начнется разговор о более понятных предметах. Практически все читатели, в тех или иных местах, должны прибегать к этой тактике. Для тех же, кто хочет действительно понять некоторые из наиболее технических глав, в конце глав помещены специальные секции, содержащие аннотированные списки книг для предлагаемого дальнейшего чтения.

Действительного понимания многих обсуждаемых здесь тем нельзя добиться прочитав несколько страниц текста, оно требует путешествия по довольно трудной дорожке. Я надеюсь, по крайней мере, описать ориентиры на этом пути и указать читателям точку, где эта дорога в действительности начинается, если они всерьез захотят по ней пройти.

Большая часть книги посвящена истории, но точное описание этой истории, если таковое вообще возможно, потребовало бы совсем другого, намного большего объема. А то, что лежит перед вами, — скорее торопливый набросок, игнорирующий прекрасные детали: кто именно открыл, что открыл и когда открыл. Вместо всего этого часто приводятся только короткие сведения о физиках или математиках, имена которых традиция связала с различными открытиями. Это ни в коем случае нельзя понимать так, что именно эти люди и являются фактическими первооткрывателями. На лекциях по физике элементарных частиц, которые я слушал в Гарварде у испанского физика Альваро де Рухулы, я выучился тому, что всякий раз, когда он вводит понятие, начиная со связанного с этим понятием имени, он будет, в общем, говорить примерно следующее: “Это так называемый угол Вайберга, который, конечно, был открыт не Вайбергом, а Глэшоу”. Один раз, после введения поименованного понятия, он на некоторое время замолчал и казалось, глубоко задумался. Наконец он объявил, что, насколько ему известно, как это ни странно, но это понятие действительно, кажется, было открыто человеком, именем которого оно названо.

Большая часть истории, которую я рассказываю, бесспорна, и большинство знатоков предмета более или менее согласилось бы с тем, как она здесь изложена. С другой стороны, читатель должен знать, что последние главы книги посвящены темам, являющимся весьма спорными, и моя точка зрения на эти темы никоим образом не является точкой зрения большинства. Читатели должны будут сами рассудить для себя, сколько веры следует давать моим аргументам, и это — одна из причин включения в книгу и несколько необычного технического материала и разумного количества подробностей об образовании и опыте автора.

Со времен моего самого раннего интереса к науке, одной из наиболее привлекательных ее сторон для меня всегда было то, что понятие истины в ней не базируется на обращении к авторитетам. Суждения о научной истине должны быть основаны на логической последовательности аргументов и на свидетельствах эксперимента, а не на известности тех, кто утверждает, что знает истину. Отсутствие этих экспериментальных свидетельств и является источником спорной ситуации в физике, которая будет здесь исследоваться, но дело еще более осложнилось групповым мышлением, отказом бросать вызов общепринятому и нежеланием честно оценивать аргументы за и против теории струн. До настоящего времени широкой публике были известны только аргументы энтузиастов этой теории. Данная книга откроет читателям обратную сторону всей истории; только после этого они получают возможность самостоятельно решать, где может находиться истина.

Благодарности

Мои знания по темам, обсуждаемым в этой книге, сформировались за многие годы, проведенные в среде математиков и физиков, за это время я извлек выгоду из бесед на эти темы с множеством математиков и физиков. К настоящему времени их число настолько велико, что я боюсь, что в состоянии вспомнить и поблагодарить только тех, кто помогал мне в течение последних нескольких лет, пока я писал и готовил к публикации эту книгу.

Важную помощь оказали струнные теоретики и симпатизирующие им физики, пожелавшие поделиться со мной своими знаниями при обсуждениях теории струн на различных перекрестках Интернета. Из этих дискуссий я вынес многое, так что, несмотря на то, что многие из них вряд ли будут очень довольны этой книгой, их усилия сделали ее намного лучше, чем она, возможно, была бы без них. За помощь этого вида я определенно хотел бы поблагодарить Эрона Бергмана, Шона Карролла, Жака Дистлэ, Роберта Хеллинга, Клиффорда В. Джонсона, Любоша Мотля, Мош Розали и Ерс Шрейбер.

В течение последних нескольких лет я испытывал благодарность ко многим людям, которые связывались со мной, иногда анонимно, с выражениями поддержки и энтузиазма, часто привнося интересную историю того или иного типа. Понимание того, что моя озабоченность современным состоянием теории элементарных частиц разделяется столь многими людьми, было важным стимулом для написания этой книги.

Я также хотел бы поблагодарить Роджера Астли из *Cambridge University Press*, вместе с Джимом Леповски и несколькими анонимными рефери. В то время как публикация Кембриджем в конечном счете не удалась, пройденный там процесс рецензирования, в конечном счете, превратил оригинальную рукопись в намного лучшую книгу. На более поздней стадии, Бинки Урбан дал мне прекрасные советы, о том, что должно быть сделано, чтобы книга имела успех, большей частью которых, боюсь, я не сумел воспользоваться.

Профессор Карл фон Мейен предоставил мне ссылку, указывающую, что приписывание фразы “Даже не неправильно” Паули не столь недостоверно, как я опасался, вместе с полезными комментариями о контексте фразы и о влиянии Венского Кружка на мышление Паули.

Джон Хорган обеспечил поддержку и советы, вместе с интересным обсуждением его взглядов на некоторые из рассматриваемых здесь тем.

Среди друзей и сторонников, которые особенно долго выслушивали мои мнения о теории струн и некоторых других предметах, рассматриваемых здесь, я хотел бы особенно поблагодарить Оизин МакГиннесс, Натана Михрвольда, Питера Орланда и Эрика Вейнштейна, так же как и моих коллег из Колумбии: Боба Фридмана, Джона Моргана, Д.Х. Фонга и Майкла Таддеуша, интерес и поддержка которых неоценимы.

Большой честью для меня была возможность обсудить, лично или с помощью электронной почты, некоторые из рассматриваемых здесь проблем с некоторыми действительно крупными математиками и физиками, и получить от них всех полезные советы. Это были Джерард т’Хуфт, Ли Смолин и Мартин Вельтман, а также два человека, работы которых оказали решающее влияние на мое понимание математики и физики, сэр Майкл Атья и Эдвард Виттен. В то время как многие из них могут весьма резко не согласиться с моей точкой зрения, всем стоящим, что есть в этой книге я во многом обязан им.

Другой крупный физик, сэр Роджер Пенроуз, оказал мне критическую помощь в ободрении этого проекта и помог найти для него издателя, за что я чрезвычайно ему благодарен.

Было большим удовольствием работать с моими редакторами в издательстве *Jonathan Cape*, Виллом Салкином и Ричардом Лоуренсом, и я надеюсь, что они не будут сожалеть о своей готовности помочь мне писать и издавать именно такую книгу, какую мне хотелось, возможно более интеллектуально бескомпромиссную, чем большинство издателей нашло бы удобным.

Наконец, я бесконечно обязан Эллен Хэнди. Ее обширная редакционная помощь, оказываемая в течение многих лет, создала текст намного более высокого качества, чем было бы мыслимо иначе. Что еще более важно, ее любовь, самоотверженная поддержка и непоколебимая вера в меня сделали возможным написание этой книги, и еще очень и очень многое сверх этого.