

МЕМУАР МАЛЛАНСОНА

ЧАСТЬ ВТОРАЯ: МОНОПОЛИ

"Человек, которого большинство Вечных знает под именем Виктора Маллансона, оставил записки о своей жизни. Эти записки трудно назвать дневником или автобиографией. Скорее, они представляют собой руководство, адресованное Вечности, которая, как он знал, должна была возникнуть через несколько веков после его смерти... В них рассказывается история жизни человека по имени Бринсли Шеридан Купер, который родился в 78-м и был взят Учеником в Вечность в нарушение всех правил в возрасте двадцати трех лет..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

К концу девятнадцатого века, вскоре после открытия электрона, его удалось разогнать до скорости, близкой к скорости света. К своему удивлению физики обнаружили, что для такого электрона законы классической механики перестают быть справедливыми. В частности, оказалось, что его масса зависит от скорости его движения.¹ Это послужило причиной бурной полемики вокруг законов классической механики, справедливость которых не подвергалась сомнению более двух столетий. Пытаясь спасти эти законы, виднейшие ученые – Абрагам, Лоренц, Пуанкаре и др. – предлагали разные модели электрона, объясняющие его поведение на больших скоростях не нарушением законов классической механики, а особенностями его внутренней структуры.

Так, например, в 1902 году Абрагам предложил модель электрона в виде шара с равномерно распределенным по его поверхности электрическим зарядом. Движение шара перераспределяло заряд на его поверхности, что обнаруживало себя в эксперименте зависимостью его инертной массы от скорости его движения. В 1904 году Лоренц предложил другое объяснение этой зависимости – он отказался от постоянной формы и размеров электрона. В его модели электрон сжимался особым образом в направлении своего движения. Величина этого сжатия зависела от скорости движения электрона и определяла изменение его инертной массы. Формула этой зависимости у Лоренца была более простой, чем у Абрагама.

С появлением в 1905 году специальной теории относительности Эйнштейна, объясняющей поведение электрона на больших скоростях не особенностями его внутренней структуры, а свойствами самого пространства-времени, обе модели стали ненужными. Правда формула Лоренца вошла в специальную теорию относительности, но в ней она имела более общий смысл и выполнялась для любого вида инертной массы, независимо от ее происхождения. При этом все элементарные частицы в теории Эйнштейна рассматривались как точечные объекты.²

Новый интерес к структуре электрона возник после того, как Де Бройль провозгласил свой принцип корпускулярно-волнового дуализма частиц. Дело в том, что еще в 1815 году

¹ В 1901 году это установил Кауфман.

² С 1907 года, после того как Минковский предложил четырехмерную интерпретацию специальной теории относительности, принято считать, что на околосветовых скоростях соответствующим образом увеличиваются только импульс и энергия тела, а его инертная масса не изменяется (является постоянной в уравнениях). Я с этим не совсем согласен и в 16-й сноске объясню, почему.

Френель показал, что распространение световой волны в пространстве можно представить в виде траектории светового луча, соединяющего источник света с глазом наблюдателя. Этот вывод Френеля уточнял волновую теорию света Гюйгенса, поэтому сегодня он называется принципом Френеля-Гюйгенса. В 1834 году Гамильтон существенно расширил содержание этого принципа: он показал, что если фронт световой волны можно представить в виде траектории светового луча, то и траекторию движения материальной частицы можно представить в виде фронта распространения некоторой волны. Сегодня этот вывод Гамильтона называется *оптико-механической аналогией*.

Долгое время оптико-механическая аналогия не вызывала интереса у физиков. Но в 1923 году Де Бройль сопоставил ее с квантовой гипотезой Планка и пришел в свою очередь к выводу, что все частицы в природе должны обладать двойственными корпускулярно-волновыми свойствами. Поэтому, заключил Де Бройль, кроме световых волн и частиц материи, в природе должны существовать частицы света и волны материи. Существование частиц света к тому времени уже было доказано Планком, Эйнштейном и другими учеными, оставалось только доказать существование волн материи. В 1926 году Шредингер вывел уравнение этих волн, а в 1927 году Дэвиссон и Джермер зарегистрировали это волны в эксперименте.

Уравнение Шредингера вводило понятие волновой функции, характеризующей положение частиц в пространстве и времени. Волновая функция заменяет классическое описание частиц координатами и импульсами. В отношении волновой функции можно говорить о фазе, когерентности, разности хода и других специфических волновых свойствах. По этой причине Шредингер вначале полагал, что волновой функции электрона соответствует какое-то конкретное физическое поле, наподобие электромагнитного. Однако реальная природа волновой функции оказалась намного сложнее и потребовала коренного пересмотра наглядных представлений об элементарных частицах как неких точечных шариках, занимающих строго определенное положение в пространстве и времени.

Объяснение феномену волновой функции было дано Борном в том же 1926 году, а узаконено в физике в 1927 году, после классического опыта Дэвиссона и Джермера по дифракции электронов. Согласно Борну, волны материи – это волны вероятности. Интенсивность волн материи математически описывается квадратом модуля волновой функции. Наличие знака модуля в этой формуле объясняется тем, что сама по себе волновая функция является комплексной величиной, а наблюдать в эксперименте мы можем только вещественные величины.³ Именно поэтому конкретный физический смысл сегодня придается только квадрату модуля волновой функции, но не самой этой функции.

Схему опыта Дэвиссона и Джермера можно представить себе в виде прохождения пучка электронов сквозь узкую щель.⁴ Попадая на размещенную за щелью фотографическую пластинку, каждый электрон пучка чернит на ней точечное пятно. В результате на

³ Точнее, наличие знака модуля в этой формуле объясняется тем, что принцип Френеля-Гюйгенса и оптико-механическая аналогия Гамильтона опираются на аппарат аналитических функций, т.е. функций комплексного переменного. По этой причине и волновая функция Шредингера, опирающаяся на принцип корпускулярно-волнового дуализма Де Бройля, оказывается комплексной величиной, что и вынуждает вводить знак модуля в указанной формуле.

⁴ В реальном опыте такой щелью служила кристаллическая решетка металла.

фотопластинке возникает классическая дифракционная картина, характерная для прохождения волн сквозь щель, размеры которой сравнимы с длиной этих волн. Но возникает эта картина только при наличии пучка электронов, точку попадания на фотопластинку каждого отдельного электрона невозможно предугадать заранее, если пропускать их сквозь щель по одному. С другой стороны, если такие одиночные электроны фотографировать достаточно долго на одной и той же фотопластинке, не изменяя ее положения, то вновь возникает классическая дифракционная картина. Ясно, что ни одна обычная волна не может вести себя подобным образом.

Еще более парадоксальным с этой точки зрения выглядит опыт Фабриканта, поставленный в 1949 году. В этом опыте изучалась интерференция электронов, проходящих сквозь две близко расположенные щели. Как и в опыте Дэвиссона-Джермера, интерференционная картина в опыте Фабриканта возникала только при одномоментной регистрации на фотопластинке множества электронов или при длительной регистрации одиночных электронов. Но вот парадокс: если считать электрон частицей, проходящей только через одну щель, то приходится признать, что его волновая функция "знает" о существовании второй щели, в противном случае в этом опыте возникла бы не интерференционная картина, а две независимые дифракционные картины, наложенные друг на друга. Если же считать электрон волной, дающей при прохождении щелей интерференционную картину, то приходится признать, что как частица он проходит сразу сквозь обе щели.

Другой подход к структуре электрона сформировался в рамках планетарной модели атома. В 1913 году Бор, на основе квантовой гипотезы Планка и спектральной формулы Ридберга, сформулировал свои знаменитые постулаты, согласно которым в атомах существуют *стационарные орбиты*, на которых электроны не излучают. Излучение возникает только при переходе электронов с одной стационарной орбиты на другую. Частота излучения атомов пропорциональна постоянной Планка и разности энергий тех стационарных орбит, между которыми переходят электроны. Более высокие стационарные орбиты обладают большей энергией, поэтому если электроны переходят с более низких на более высокие орбиты, то они поглощают фотоны, а если они переходят с более высоких на более низкие орбиты, то они излучают фотоны.

Дальнейшее развитие этой гипотезе Бора дал Зоммерфельд. В 1915 году он предположил, что стационарные орбиты электронов могут иметь форму не только окружностей, но и эллипсов, в одном из фокусов которых находится ядро атома. Энергия электромагнитного излучения, сопровождающего переходы электронов между эллиптическими и круговыми орбитами, также должна квантоваться, т.е. быть пропорциональной частоте этого излучения и постоянной Планка, причем эта энергия должна отличаться от энергии излучения, сопровождающего переходы электронов между только эллиптическими или только круговыми орбитами. В 1916 году Пашен подтвердил эту гипотезу Зоммерфельда, обнаружив так называемую *тонкую структуру* в излучении атомов. Внимательно рассматривая спектры излучения гелия, он обнаружил, что спектральные линии этого элемента являются не сплошными, а состоят из нескольких близко расположенных линий, как это и должно быть, согласно гипотезе Зоммерфельда.

На основе своей гипотезы Зоммерфельду удалось объяснить и так называемый *нормальный эффект Зеемана* – расщепление спектров излучения атомов во внешнем магнитном поле. Он предположил, что эллиптические орбиты электронов в атоме объединяются в группы, имеющие в обычных условиях одно и то же значение энергии.

Отличие между энергиями этих орбит можно выявить только во внешнем магнитном поле, относительно которого эти орбиты по-разному ориентируются.

Однако гипотеза Зоммерфельда не могла объяснить так называемый *аномальный эффект Зеемана* – удвоенное расщепление спектров излучения атомов в сильном магнитном поле. Попытки решить эту проблему привели в 1924 году Паули (ученика Зоммерфельда) к открытию спина электрона. Он предположил, что кроме круговых и эллиптических стационарных орбит электронов, а также объединения эллиптических орбит в группы с одинаковым значением энергии, у атомов существует еще одно квантовое свойство, различающее энергии этих орбит и отвечающее за дополнительное расщепление спектров излучения этих атомов в сильном магнитном поле. Исходя из экспериментальных данных, Паули математически описал это свойство, отметив при этом, что наглядно представить его, по-видимому, невозможно.

Но в 1925 году Уленбек и Гаудсмит предложили наглядную модель этого свойства в виде вращения электрона вокруг своей оси. Они утверждали, что кроме орбитального момента, электрону присущ еще и собственный вращательный момент – так называемый *спин*. Складываясь с орбитальным моментом, спиновый момент может уменьшать или увеличивать первый, что отражается на энергии электрона и вызывает дополнительное расщепление спектров излучения атомов в сильном магнитном поле.

Поначалу гипотеза Уленбека и Гаудсмита встретила серьезные возражения. Как отмечал Лоренц, эта гипотеза приводит к выводу, что электрон обладает пространственной протяженностью, в противном случае его собственный вращательный момент был бы равен нулю. Между тем, из работы Паули следовало, что любое толкование электрона как протяженного тела, имеющего какие-то другие пространственные размеры, кроме нулевых, приводит к сверхсветовым линейным скоростям вращения на его "экваторе",⁵ что запрещает специальная теория относительности.

И все же гипотеза Уленбека и Гаудсмита настолько логически вытекала из гипотез Бора и Зоммерфельда, что в конце концов утвердилась в физике, не смотря на все возражения против нее. Для преодоления этих возражений было выдвинуто предположение, что электрон может обладать ненулевым вращательным моментом при нулевых пространственных размерах. Это предположение было ничуть не хуже постулатов Бора, запрещающих электрону излучать на стационарных орбитах, но не дающих этому запрету никакого объяснения, хотя классическая электродинамика требует, чтобы электроны, наоборот, излучали на этих орбитах.⁶

Физики хорошо осознавали эту проблему, поэтому не прекращали попыток вывести постулаты Бора из классической электродинамики. Но все такие попытки приводили к одному и тому же выводу: атом Бора существовать не может. Поэтому в 1925 году Гейзенберг предложил отказаться от обычных наглядных представлений об электроне, движущемся в атоме по определенной траектории. Он предположил, что именно эти представления, придуманные нами самими, но не соответствующие действительности, содержат те самые противоречия, которые не позволяют математически описать экспериментально доказанные постулаты Бора. Так, например, эти постулаты ничего не

⁵ На несколько порядков больше скорости света!

⁶ Поскольку движутся с центробежным ускорением.

говорят о состоянии электрона "между" двумя стационарными орбитами, когда он излучает фотон, а именно это состояние и пытались описать математически все, кто занимался противоречивостью постулатов Бора.

Для преодоления этих противоречий Гейзенберг предложил описывать состояния электронов в атоме не обычными функциями, дающими непрерывные ряды числовых значений, соответствующих тем или иным состояниям электронов, а дискретными наборами чисел, полученными в конкретном эксперименте, при измерении конкретных состояний электронов. В математике такие наборы чисел называются *матрицами*. Их можно умножать, как обычные числа, но результат этого умножения зависит от последовательности, в которой матрицы умножаются. При этом постулаты Бора получались автоматически, как свойство самого матричного аппарата, описывающего состояния электронов в атоме.

Поначалу матричная механика Гейзенберга выглядела сложной и неудобной для применения. Поэтому он обратился за помощью к известному математику Гильберту с просьбой помочь ее упростить. Но Гильберт ответил, что всякий раз, как ему приходилось иметь дело с матрицами, они возникали как побочный продукт в решении волновых уравнений. Поэтому вместо того, чтобы заниматься матрицами, Гильберт посоветовал Гейзенбергу поискать соответствующее волновое уравнение. Гейзенберг решил, что Гильберт просто его не понял, поскольку именно матрицы были нужны ему для описания состояний электронов в атоме.

Но в 1926 году Шредингер предложил свое знаменитое уравнение, описывающее состояния электронов в атоме также хорошо, как и матрицы Гейзенберга. Именно уравнение Шредингера оказалось тем самым волновым уравнением, которым Гильберт предлагал заменить матрицы Гейзенберга. Как оказалось, предлагал вполне обоснованно: вскоре Шредингер и Дирак доказали эквивалентность обоих подходов к математическому описанию состояний электронов в атоме и, соответственно, к математическому обоснованию квантовой механики.

В 1928 году тот же Дирак предложил релятивистское уточнение квантовой механики. Необходимость такого уточнения объяснялась тем, что уравнение Шредингера можно применять к электронам только в нерелятивистском случае, т.е. при движении их с малыми скоростями. Но в тяжелых атомах электроны на ближайших к ядру орбитах движутся с околосветовыми скоростями. Аналогичные скорости возникают и в опытах по ускорению электронов в сильном электрическом поле. Для описания состояний таких электронов возникла необходимость в соответствующем уточнении уравнения Шредингера. Именно такое уточнение и предложил Дирак.

Точкой опоры ему послужил принцип соответствия, выдвинутый Бором в 1918 году и строго доказанный Эренфестом в 1927 году. Согласно этому принципу, законы квантовой механики, в пределе увеличения количества микрочастиц, переходят в законы классической механики. До Дирака было известно, что обычное уравнение Шредингера переходит в этом случае в классическое уравнение движения, а в релятивистское уравнение движения переходит так называемое *уравнение Клейна-Гордона*.⁷

⁷ В 1926 году его предложили Клейн, Гордон и Фок для описания частиц с нулевым спином. В конце позапрошлого века оно встречалось математикам в связи с исследованиями по геометрии Лобачевского.

Однако долгое время уравнение Клейна-Гордона не применялось к реальным частицам, поскольку допускало у них состояния с отрицательной энергией и отрицательной вероятностью существования. Состояния частиц с отрицательной вероятностью существования вообще не имеют физического смысла, по крайней мере для обычных частиц. Менее очевидна невозможность состояний частиц с отрицательной энергией. В классической физике наличие у частиц таких состояний несущественно, поскольку они отделены от состояний с положительной энергией запрещенной энергетической областью, а все переходы частиц в классической физике непрерывны. Поэтому если в какой-то начальный момент эти частицы обладали положительной энергией, то такой же она будет оставаться и в дальнейшем. В квантовой физике ситуация совершенно иная, поскольку она допускает скачкообразные переходы частиц, позволяющие им проникать сквозь запрещенную область. А поскольку всякая система стремится перейти в состояние с минимальной энергией, то все частицы с положительной энергией в конце концов должны перейти в состояния с отрицательной энергией.

Пытаясь преодолеть эту трудность, Дирак заменил уравнение Клейна-Гордона другим, равносильным ему уравнением. Это позволило ему избавиться от состояний частиц с отрицательной вероятностью существования, хотя состояния с отрицательной энергией сохранились в его уравнении. Но зато спин электрона в уравнении Дирака получался автоматически,⁸ его уже не нужно было специально постулировать, как в теории атома Бора или в уравнении Шредингера. Кроме того в 1930 году он обнаружил, что его уравнение предсказывает существование у электрона положительно заряженного партнера, т.е. *позитрона*.⁹

Поэтому Дирак в корне изменил свое первоначальное отношение к состояниям частиц с отрицательной энергией и попытался узаконить их в физике. Он изменил само понятие физического вакуума как пустого пространства, в котором отсутствуют какие-либо частицы, и отождествил его с бесконечным множеством электронов в состояниях с отрицательной энергией.¹⁰ Согласно Дираку, сам по себе такой вакуум не наблюдаем. Но если в нем образуется "дырка", и электрон из состояния с отрицательной энергией переходит в состояние с положительной энергией, то "дырка" будет вести себя как частица с положительной энергией и положительным электрическим зарядом, т.е. как позитрон. Если же электрон уходит в "дырку", то внешне это будет выглядеть как аннигиляция электрона и позитрона в фотон. В 1932 году Андерсон подтвердил эту гипотезу Дирака, обнаружив позитроны во вторичном космическом излучении, а также аннигиляцию электронов и позитронов в фотоны.

Проблема состояний с отрицательной энергией была устранена с появлением метода *вторичного квантования*, основы которого заложил сам Дирак. В 1927 году он создал квантовую теорию излучения, предложив считать компоненты Фурье-разложения электромагнитного поля операторами. При этом электромагнитное поле представлялось в виде системы квантовых осцилляторов. То же самое он проделал и с электронным полем,

⁸ Он возникал в нем в виде уравнения Паули, в которое уравнение Дирака переходит в нерелятивистском случае. Уравнение Паули представляет собой уточнение уравнения Шредингера, учитывающее наличие у электрона не только орбитального, но и спинового момента.

⁹ Точнее, сначала Дирак пытался отождествить его не с позитроном, а с протоном. Но Оппенгеймер заметил, что подобная интерпретация атома приводит к его нестабильности.

¹⁰ Это нужно было ему для того, чтобы запретить электронам с положительной энергией переходить в состояния с отрицательной энергией, если все эти состояния уже заполнены другими электронами.

предложив считать операторами волновые функции электронов.

В 1932 году Фок, Дирак, и Подольский доказали релятивистскую инвариантность такой схемы квантования, а Фок вывел основные математические соотношения этого метода.¹¹ В 1933 году Гейзенберг, Оппенгеймер и Фарри показали, что при квантовом рассмотрении решений уравнения Дирака электроны и позитроны описываются симметрично, и проблема отрицательных энергий не возникает. К аналогичному выводу в 1934 году пришли Паули и Вайскопф, проквантовав решения уравнения Клейна-Гордона.

Современное определение вакуума тесно связано с определением Дирака понятием *зарядового сопряжения* частиц и античастиц. Тот способ, которым Дирак получил свой позитрон, – это и есть такая операция зарядового сопряжения. Но если у Дирака смысл этой операции сводился к одновременному возникновению электрона и позитрона из вакуума, то в современной квантовой теории поля смысл ее сводится к поочередному существованию электрона и позитрона, которые могут переводиться друг в друга посредством операции зарядового сопряжения. И только после этого, исходя не из уравнения Дирака, а из закона сохранения электрического заряда, в квантовой теории поля вводится одновременное существование электронов и позитронов.¹²

Сегодня под вакуумом понимают связанные состояния частиц и античастиц, простейшим из которых является электронно-позитронная пара. Но в отличие от просто устроенного вакуума Дирака, современное определение вакуума охватывает все возможные в природе частицы и античастицы – легкие и тяжелые, живущие бесконечно долго и возникающие на ничтожно короткое время в ускорителях. Но главное, что сегодня под вакуумом понимают не реальные, а виртуальные состояния частиц и античастиц, не обнаруживающие себя в эксперименте. Любое изменение этих состояний оказывается меньше постоянной Планка. Величина этой постоянной очень мала, а главное – она положительна.

Но оказалось, что если вакуумные эффекты не влияют на результаты экспериментов, то они могут влиять на предсказания теории. Так, например, в 1947 году Лэмб и Ризерфорд решили проверить одно следствие из уравнения Дирака, согласно которому вторая круговая и вторая эллиптическая орбиты электрона в возбужденном атоме водорода имеют одинаковую энергию. После тщательных измерений они пришли к выводу, что эти орбиты имеют разную энергию (этот результат получил название *лэмбовского сдвига*). Это говорило о принципиальной неполноте квантовой электродинамики, которая уже с 1936 года начала испытывать трудности при расчете состояний электронов в атомах.

Причина этих трудностей состояла в том, что в квантовой электродинамике реальные электроны нельзя рассматривать отдельно от виртуальных электронно-позитронных пар и

¹¹ Сразу же хочу уточнить, что вторичное квантование не является квантованием в прямом смысле этого слова. Это не реальное квантование физических полей, а только его *представление*, симметрично описывающее квантование электромагнитного и электронно-позитронного полей.

¹² И снова хочу уточнить, поскольку идея вакуума отрицательных энергий не "хотела" так просто сдаваться. В 1933 году Оппенгеймер интерпретировал рождение фотоном электронно-позитронной пары как своего рода фотоэффект, при котором фотон выбивает электрон из вакуума отрицательных энергий и переводит его в область положительных энергий, расходуя на это всю свою энергию. При этом образуются электрон и позитрон-дырка с положительными энергиями. В этом же году Дирак предсказал эффект поляризации вакуума, играющий важную роль в квантовой электродинамике. Он объяснил его смещением электронов в вакууме отрицательных энергий под действием внешнего электромагнитного поля...

виртуальных фотонов. Виртуальные частицы покрывают реальные электроны своеобразной "шубой", поэтому в эксперименте мы наблюдаем не "голые", а "одетые" электроны. Именно "одетым" электронам соответствуют те величины их заряда и массы, которые мы наблюдаем в эксперименте. Вот тут-то и оказалось, что если импульс виртуальных частиц, окружающих "голый" электрон, устремлять к бесконечности или, что равносильно, устремлять к нулю радиус "одетого" электрона, то квантовая электродинамика приводит в этом случае к бесконечным величинам заряда и массы виртуального облака реального электрона.

В 1949 году Томонага, Швингер и Фейнман сумели преодолеть эту трудность, разработав так называемую *теорию перенормировки*.¹³ Суть ее сводится к такой форме расчета взаимодействия "голого" электрона с вакуумом, чтобы значения заряда и массы реального электрона соответствовали экспериментальным данным. При этом бесконечные величины заряда и массы уже не входят явно в теорию – они скрываются в заряде и массе "голого" электрона, причем вакуумные эффекты дают те самые поправки к физическим величинам, которые мы наблюдаем в эксперименте.¹⁴ Исключение ненужных бесконечностей из квантовой электродинамики при переходе от "голого" электрона к реальному электрону называется *перенормированием теории*, а реальные значения заряда и массы электрона, учитывающие его происхождение от "голого" электрона, – *перенормированными значениями* заряда и массы.

Теория перенормировки разрешила одни трудности квантовой электродинамики, но зато создала другие, поскольку вернулась к рассмотрению элементарных частиц как протяженных в пространстве объектов, от которого в свое время отказалась специальная теория относительности. Дело в том, что те бесконечные величины заряда и массы, которые возникали в квантовой электродинамике при расчете состояний частиц, связаны с предположением о нулевых размерах этих частиц. Если же считать, что эти частицы имеют ненулевые размеры, то бесконечные величины исчезают из расчетов. Поэтому было высказано предположение, что существует некий малый размер, называемый *фундаментальной длиной*, на котором законы специальной теории относительности перестают быть справедливыми. Роль такой фундаментальной длины могли бы играть размеры элементарных частиц.

Для того чтобы проверить это предположение, необходимо было проверить выполнение законов специальной теории относительности на расстояниях, сравнимых с размерами элементарных частиц. Но сделать это на основе обычных релятивистских эффектов не представлялось возможным в виду чрезвычайной малости этих частиц. Для этого нужен был эффект, допускающий объяснение только в рамках специальной теории относительности, и, в то же время, позволяющий регистрировать его на расстояниях,

¹³ Сам принцип перенормировки сформулировал в 1947 году Крамерс, а Бете, исходя из этого принципа, рассчитал величину лэмбовского сдвига (т.е. он первым проделал процедуру перенормировки).

¹⁴ Хочу уточнить смысл процедуры перенормировки. В квантовой электродинамике все виртуальные вклады во взаимодействие электрона с вакуумом можно представить в виде добавок к его массе и заряду: $m_0 + \delta m$ и $\alpha_0 + \delta\alpha$, где m_0 и α_0 – *голые* масса и заряд электрона. Далее эти суммы отождествляются с экспериментально измеренными величинами массы $m_{\text{физ}}$ и заряда $\alpha_{\text{физ}}$ электрона: $m_0 + \delta m = m_{\text{физ}}$ и $\alpha_0 + \delta\alpha = \alpha_{\text{физ}}$. После этого данные суммы представляются в виде произведений $m_0 + \delta m = Z_m m_0$ и $\alpha_0 + \delta\alpha = Z_\alpha \alpha_0$, где Z_m и Z_α – безразмерные сингулярные числовые множители. Операция переопределения параметров электрона путем умножения на числовые множители $m_0 \rightarrow Z_m m_0 = m_{\text{физ}}$ и $\alpha_0 \rightarrow Z_\alpha \alpha_0 = \alpha_{\text{физ}}$ называется *перенормировкой*. При этом нужно учитывать, что величины m_0 , α_0 , δm и $\delta\alpha$ не могут быть измерены в эксперименте по отдельности, они могут быть измерены только в виде величин $Z_m m_0$ и $Z_\alpha \alpha_0$.

сравнимых с размерами элементарных частиц. Такой эффект у физиков был – это дисперсионный характер рассеяния частиц друг на друге.

В 1926 году Крамерс и Крониг показали, что запрет специальной теории относительности на превышение сигналами скорости света в вакууме приводит к существованию формулы, связывающей в едином соотношении показатели преломления в материальной среде электромагнитных волн разной частоты. Эта формула получила название *дисперсионного соотношения*, поскольку именно понятие дисперсии характеризует зависимость показателей преломления электромагнитных волн от их частоты. В 1954 году Голдбергер, Гелл-Манн и Тирринг применили дисперсионное соотношение к методу рассеяния частиц. При этом роль частоты электромагнитных волн в их формуле играла энергия элементарных частиц, роль показателя преломления этих волн в материальной среде – вероятность рассеяния частиц на тот или иной угол, а роль дисперсии – зависимость вероятности рассеяния от энергии этих частиц.¹⁵ Как и предыдущая, эта формула исходит из строгого выполнения законов специальной теории относительности.

Именно проверка дисперсионных соотношений в рассеянии элементарных частиц друг на друге позволила проверить выполнение законов специальной теории относительности на расстояниях, сравнимых с размерами этих частиц. При этом оказалось, что данные соотношения сохраняют свою справедливость вплоть до 10^{-16} сантиметра, что намного меньше размеров протона и даже размеров электрона. Это означало, что гипотетическая фундаментальная длина либо вообще не существует, либо меньше проверенных расстояний. Но возможность дальнейшей проверки этих расстояний ограничивалась энергией ускорителей частиц, поэтому вопрос о существовании фундаментальной длины остался открытым.

Позднее я еще вернусь к этому вопросу, а пока подойду к нему с другой стороны. В 1927 году Гейзенберг сформулировал *принцип неопределенностей*, ставший фундаментом квантовой механики. Согласно этому принципу, мы никогда не сможем одновременно и одинаково точно измерить корпускулярные и волновые свойства частиц. К примеру, чтобы измерить координаты электрона, нужно использовать фотоны с короткой длиной волны, иначе дифракция "размажет" изображение этого электрона вторичными волнами. Но фотоны с короткой длиной волны обладают большим импульсом, и если мы используем их для измерения координат электрона, то он получает большую отдачу и соответственно изменяет свой импульс. И чем точнее мы измеряем координаты электрона, тем более неопределенным становится его импульс. Как показал Гейзенберг, величина этой неопределенности пропорциональна постоянной Планка. С тех пор процесс измерения в квантовой механике носит название *кванта действия*, а формула, его описывающая, – *соотношения неопределенностей*.

В этом же году Бор дал философское обоснование принципу неопределенностей Гейзенберга. А именно, он сформулировал принцип дополнительности, согласно которому два квантовомеханических способа описания частиц – корпускулярный и волновой – никогда не приходят в соприкосновение, поскольку никогда не возникают одновременно. Чем более определенными в каком-то явлении оказываются

¹⁵ Напоминаю, что все частицы в квантовой механике являются в то же время и волнами, обладающими определенной энергией, а энергия волновых квантов однозначно связана с их частотой.

корпускулярные свойства частиц, тем более неопределенными оказываются их волновые свойства, и наоборот. Оба эти способа взаимно исключают и в то же время дополняют друг друга.

С принципом неопределенностей не могли смириться такие известные ученые, как Лоренц, Планк, Эйнштейн, Шредингер, Де Бройль и другие. Они утверждали, что этот принцип противоречит наиболее фундаментальному положению классической механики – тому, что материальные тела обладают определенными свойствами, которые может быть и нельзя измерить, но которые от этого не перестают существовать. Из принципа же неопределенностей следовало, что если бесконечно точно измерить одно свойство квантового объекта, то связанное с ним свойство полностью исчезнет. Более того, само намерение исследователя бесконечно точно измерить одно из этих свойств уже предполагает отсутствие у квантового объекта второго свойства.

Бор отвечал на это, что понятие бесконечно точного измерения является бессмысленным; в реальном эксперименте мы можем измерять свойства объектов только с какой-то определенной степенью точности. Но такое утверждение равносильно провозглашению нового закона природы, поскольку классическая механика не предполагает в этом случае никаких ограничений на процесс измерения. Можно, конечно, утверждать, что этот закон имеет не классическое, а квантовое происхождение, поэтому не противоречит законам классической механики. Но в том-то и дело, что квантовая механика занимает особое положение среди физических теорий – она содержит в себе классическую механику как некий предельный случай и, в то время, нуждается в этом случае для своего собственного обоснования.¹⁶ Такое положение выглядит неестественно. Поэтому многие ученые считали, что квантовая механика не учитывает какие-то скрытые параметры, позволяющие описывать поведение квантовых объектов также точно, как и в классической механике.

В предыдущей части я уже упоминал эту проблему, только не стал уточнять понятие скрытых параметров. Смысл его проще проследить на примере классической термодинамики. Известно, что такой внешний параметр макроскопического тела как температура характеризует среднюю кинетическую энергию его молекул. Состояние каждой молекулы этого тела в отдельности, в принципе, может быть описано также точно, как и состояние самого тела. Необходимость в усреднении этих состояний возникает из-за огромного количества этих молекул в структуре данного тела. Именно такое усредненное молекулярное состояние и представляет параметр температуры. При этом состояния самих молекул обретают статус скрытых параметров, характеризующих меру нашего незнания этих состояний. Или, более точно, меру нашего нежелания знать все эти состояния в подробностях.

Аналогичным образом можно подходить и к квантовым объектам, т.е. считать, что вероятностный характер их поведения обусловлен нашим незнанием каких-то особенностей их внутренней структуры. Каждая из этих особенностей в отдельности, в принципе, может быть описана также точно, как и в классической механике, а их усреднение в структуре квантового объекта отвечает за его внешнее вероятностное поведение. Однако в 1964 году Белл показал, что если описание квантовых объектов строить на подобной основе, то оно будет противоречить законам квантовой механики.

¹⁶ Поскольку свойства квантовых объектов измеряются классическими приборами.

Точнее Белл, исходя из классических представлений о причинно обусловленном характере физической реальности, вывел ряд неравенств, экспериментальная проверка которых позволяла установить, возможна ли переформулировка квантовой механики на языке скрытых параметров. И эта проверка показала, что такая переформулировка невозможна.

В качестве примера можно привести *ЭПР-парадокс*, предложенный Эйнштейном, Подольским и Розеном в 1935 году. Этот парадокс основан на утверждении классической механики, что характеристики тела – координаты, импульсы и т.д. – существуют сами по себе, независимо от процесса их измерения, как объективные свойства данного тела. Поэтому если в системе двух тел выполняется закон сохранения импульса, то, зная импульс одного тела, всегда можно точно указать импульс другого тела. Тогда говорят, что импульсы тел, составляющих систему, *коррелируют* между собой. С другой стороны, квантовая механика утверждает, что мы в принципе не можем измерить импульсы частиц, не изменив их координат, и наоборот, измерить координаты частиц, не изменив их импульсы, даже если эти импульсы коррелируют между собой.

Сам парадокс заключается в следующем. Допустим, что при распаде гамма-фотона возникает электронно-позитронная пара. В силу законов сохранения, эти частицы должны обладать одинаковыми импульсами. Если точно измерить импульс электрона, то определить его точные координаты будет уже нельзя. Но зато остается возможность точно измерить координаты позитрона, хотя величина его импульса заранее известна из результата измерения импульса электрона. Разрешить это противоречие можно, если предположить, что измерение импульса электрона изменяет не только его координаты, но и координаты позитрона. Но тогда возникает противоречие со специальной теорией относительности, поскольку квантовая механика допускает в этом случае мгновенную передачу воздействия от электрона к позитрону. Это говорит о том, что те ограничения, которые накладывает на процесс измерения принцип неопределенностей Гейзенберга, имеют принципиально иную природу, чем те, которые накладывает на него специальная теория относительности.

Помните проверку дисперсионных соотношений в методе рассеяния частиц, которую я рассматривал выше? Дело ведь там не в энергии ускорителей, а в неправильном подходе к проблеме. Можно до бесконечности увеличивать эту энергию, но если сам принцип наших экспериментов предполагает выполнение законов специальной теории относительности, то дисперсионные соотношения будут выполняться на любых, сколь угодно малых расстояниях. Потому что эта теория правильно описывает наблюдаемые свойства пространства-времени нашей Вселенной. А что мы знаем о тех его свойствах, которые не подчиняются ее законам? Только то, что они, как минимум, не наблюдаемы. Поэтому поставить эксперимент, в котором нарушаются законы специальной теории относительности, мы можем разве что случайно. Хотя принцип неопределенностей вполне прозрачно указывает нам на условия такого эксперимента.

Дело в том, что при анализе этого принципа исключили из рассмотрения единственную возможность его классического истолкования – нарушение им принципа причинности, согласно которому никоим образом нельзя повлиять на события прошлого. Подобное влияние приводит к логическим парадоксам, поскольку изменяет картину настоящего. К примеру, если допустить, что какой-то человек попадает (с помощью машины времени) в прошлое и убивает там своего дедушку, то тогда сам он впоследствии не сможет появиться на свет и осуществить свой преступный замысел. Объяснить этот парадокс, не

нарушая принцип причинности, очень трудно. Именно поэтому до сих пор считалось, что машина времени невозможна.

Наиболее вероятным объяснением этого парадокса является жесткая взаимосвязь между событиями вдоль временной петли, образовавшейся в результате проникновения в прошлое. Это означает, что лишь те события на временной петле допустимы, которые не нарушают существование данной петли, и наоборот, если события недопустимы, то они должны разрушать временную петлю. Поэтому если убийство собственного деда недопустимо, то временная петля должна разрушать самого путешественника во времени, а если оно допустимо, то оно должно разрушать саму временную петлю, изменяя соответствующим образом все связанные с ней события прошлого, настоящего и будущего. Физическую природу этой взаимосвязи я уточню позже, а пока только скажу, что она является квантовой.

Именно эта взаимосвязь между событиями прошлого, настоящего и будущего может составлять физический смысл парадоксальных свойств квантовых объектов. Классический смысл квантового принципа неопределенностей заключается именно в том, что квантовые объекты перемещаются не только в пространстве, но и во времени. А поскольку при движении в прошлое эти объекты сохраняют свою структуру, то это автоматически подразумевает изменение структуры той временной петли, вдоль которой они движутся. Именно эта пространственно-временная неустойчивость и наделяет материальные частицы волновыми свойствами. Эта же неустойчивость обеспечивает квантовую корреляцию между электроном и позитроном в ЭПР-парадоксе.

Правда этот парадокс объясняет только волновые свойства микрочастиц, т.е. наличие у них импульса и собственной длины волны. Корпускулярные свойства этих частиц, т.е. наличие у них массы и определенных координат, не находят пока что места в моей модели. Но здесь на помощь приходит специальная теория относительности, одним из следствий которой является замедление темпа течения времени в тех системах отсчета, которые движутся с околосветовой скоростью. Этот факт обыгрывает *парадокс близнецов*, согласно которому два брата-близнеца попадают в разные временные условия: один из них остается на Земле, а другой улетает на космическом корабле к далеким звездам. Через десяток лет он возвращается обратно и обнаруживает, что его брат постарел на столетие. Это объясняется тем, что все это время его космический корабль двигался относительно Земли с очень большой скоростью.

Но можно рассматривать этот парадокс и по-другому – как то, что брат-близнец не улетает на космическом корабле с Земли и возвращается обратно, а просто перескакивает из ее настоящего в ее будущее на машине времени. Классическая механика не накладывает на такое перемещение никаких ограничений, за исключением технических, поскольку оно не нарушает классическую причинность. А между тем, другим следствием специальной теории относительности является увеличение инертной массы тел, движущихся с околосветовой скоростью. Это означает, что само наличие у тел инертной массы можно рассматривать как следствие перемещения их в будущее. Необходимо лишь иметь машину времени, чтобы это перемещение стало возможным.

И такая "машина" существует! Это не что иное, как микрочастицы, составляющие структуру макроскопических тел. Если уж они, как я предположил, могут перемещаться в прошлое, нарушая классическую причинность, то ничто не запрещает им также перемещаться в будущее. И если перемещение в прошлое отвечает за их волновые

свойства, то перемещение в будущее должно отвечать за их корпускулярные свойства и, в частности, за наличие у них массы покоя. Это перемещение увеличивает устойчивость пространства-времени, нарушаемую их перемещением в прошлое. Далее я покажу, что это предположение, каким бы голословным оно сейчас не казалось, прекрасно вписывается в квантовую электродинамику и квантовую теорию поля.¹⁷

Хорошо известно, что классическая электродинамика Максвелла не симметрична относительно электричества и магнетизма: она допускает существование статического поля покоящихся электрических зарядов и магнитного поля движущихся электрических зарядов, но не допускает существования статического поля покоящихся магнитных зарядов и электрического поля движущихся магнитных зарядов. Почему – понятно. Потому, что магнитные заряды в природе не наблюдаются. Но теоретически ничто не мешает сформулировать эту теорию так, чтобы она была симметрична относительно электричества и магнетизма.

По этой причине в 1931 году Дирак предложил модель магнитного заряда¹⁸ в виде тонкой струны бесконечной длины, внутри которой сосредоточено постоянное магнитное поле. Силовые линии этого поля направлены вдоль струны. Один конец струны эквивалентен южному полюсу постоянного магнита, а другой – северному полюсу.¹⁹ По утверждению Дирака, ни один наблюдатель, не имеющий возможности обнаружить струну, не сможет определить, что перед ним – обычный постоянный магнит или магнитный заряд соответствующего знака, если в его распоряжении имеются только классические заряженные частицы (например, электроны). С помощью таких частиц можно обнаружить только классические электрические и магнитные поля, а в модели Дирака эти поля ведут себя одинаково как в случае магнитного заряда, так и в случае обычного магнита.

Как обнаружить такую струну, придумали Ааронов и Бом, предложившие в 1956 году мысленный опыт, демонстрирующий парадоксальность законов квантовой механики. Схема их опыта аналогична схеме опыта Фабриканта, который я рассматривал выше, с той лишь разницей, что Ааронов и Бом добавили к ней бесконечно длинный соленоид, поместив его сразу же за препятствием между щелями. Согласно законам классической электродинамики, наличие или отсутствие тока в соленоиде не должно влиять на интерференцию электронов пучка. Но законы квантовой электродинамики утверждают, что векторные потенциалы электромагнитного поля зависят от волновых функций

¹⁷ Во 2-й сноске я говорил, что в четырехмерной интерпретации СТО (специальной теории относительности) Минковского масса тела не увеличивается с приближением его скорости к скорости света, у него увеличивается только импульс и кинетическая энергия, но я с этим не совсем согласен. Да, в этой интерпретации масса является постоянной, но не аддитивной величиной (для аддитивной величины сумма ее частей всегда равна целому). Все классические величины аддитивны. До Минковского считалось, что масса тела в СТО также аддитивна. Именно это мнение легло в основу той интерпретации СТО, в которой масса тела увеличивается на околосветовых скоростях. Специалисты считают, что эта интерпретация ошибочна, но у нее есть оправдание. Дело в том, что СТО учитывает только состояния тел с постоянной скоростью и не учитывает их движение с ускорением при наборе скорости. Именно этот факт лежит в основе всех парадоксов СТО, включая парадокс близнецов. Интерпретация Минковского исправила эту ситуацию, убрав зависимость уравнений СТО от движения с ускорением. Именно так масса тела в СТО стала постоянной величиной. Моя интерпретация СТО (точнее, моя интерпретация парадокса близнецов) также не зависит от ускорения тел, но зато масса тела в ней аддитивна. Так что в какой-то мере я прав. Хотя, согласен, логика криволинейная. Но я дилетант, мне простительно.

¹⁸ Его еще называют *магнитным монополом*, т.е. изолированным магнитным полюсом.

¹⁹ Хорошей моделью такой струны является соленоид достаточно большой длины, по которому течет постоянный электрический ток.

электронов, поэтому при наличии тока в соленоиде должен происходить сдвиг интерференционной картины. В 1986 году этот эффект был зарегистрирован в эксперименте.²⁰

Парадоксальность опыта Ааронова-Бома заключается в том, что в классической электродинамике векторные потенциалы электромагнитного поля, сами по себе, не имеют физического смысла. Такой смысл придается только разности этих потенциалов, которую можно измерить в эксперименте. Сами же по себе эти потенциалы могут быть какими угодно. В этом смысле векторные потенциалы электромагнитного поля являются такими же эфемерными величинами, что и волновые функции электронов, у которых в эксперименте можно измерять только квадраты модуля. Однако опыт Ааронова-Бома показывает, что в эксперименте можно регистрировать и сами эти величины.

Из аналогичных соображений исходил Дирак, когда предлагал свою модель магнитного заряда. Опыт Ааронова-Бома тогда еще не был предложен (не говоря уже о самой его постановке), но была известна зависимость волновых функций электронов от векторных потенциалов электромагнитного поля. По этой причине Дирак и наложил запрет на обнаружение струны между северным и южным полюсами его магнитного заряда. В опыте Ааронова-Бома такой запрет означал бы невозможность размещения соленоида между щелями, на которых интерферирует пучок электронов,²¹ хотя в реальном опыте это удалось осуществить. В модели Дирака такой запрет означал невозможность нахождения электрических зарядов на самой струне.²²

Замечательным свойством модели Дирака являлось то, что в ней находило естественное объяснение квантования электрического заряда. До Дирака оно только постулировалось на основе экспериментальных измерений величины этого заряда, теоретического объяснения оно не находило ни в классической, ни в квантовой электродинамике. В модели Дирака оно возникало как следствие самого запрета на обнаружение струны между южным и северным полюсами его магнитного заряда, в виде прямой взаимосвязи между величинами магнитного и электрического зарядов. Оказалось, что если эта взаимосвязь имеет место, то струна не обнаруживается даже в опыте Ааронова-Бома.

²⁰ Необходимо сказать, что реальный опыт Ааронова-Бома отличался от опыта Фабриканта не только наличием соленоида. В этом опыте электронный пучок интерферировал не на кристаллической решетке металла, а на системе специальных электродов. Сначала этот пучок разделялся с помощью отрицательно заряженного электрода на два когерентных пучка, а затем последние сводились вместе с помощью положительно заряженного электрода, чтобы они могли проинтерферировать. Соленоид размещался в пространстве между когерентными пучками и электродами. При этом размеры соленоида приходилось делать микроскопическими – меньше одной седьмой толщины человеческого волоса. Большие размеры были невозможны, поскольку нельзя было сильнее развести электронные пучки без утраты их когерентности. Если бы электронный пучок интерферировал на кристаллической решетке металла, то размеры соленоида пришлось бы делать меньше размеров атома, что, конечно же, невозможно.

²¹ Потому что сдвиг интерференционной картины в этом опыте происходит только тогда, когда соленоид располагается между щелями (и, разумеется, при наличии тока в нем). Если расположить его снаружи щелей, сдвига не будет, поскольку векторные потенциалы внутреннего магнитного поля соленоида не действуют в его внешнем пространстве, а волновые функции электронов не распространяют свое действие за пределы их собственной длины волны. В данном случае – за внешние границы щелей.

²² В 1982 году Чанг показал, что дираковскую струну можно произвольно перемещать в пространстве с помощью калибровочного преобразования. Эта возможность говорит о нефизической природе данной струны, что и подтвердил реальный опыт Ааронова-Бома, обнаруживший ее. Потому что природу не обманешь, и соленоид – это не настоящий магнитный заряд. Далее я покажу, какой должна быть геометрия струны, чтобы ее нельзя было обнаружить.

При этом величина магнитного заряда оказалась пропорциональной величине электрического заряда и так называемой *постоянной тонкой структуры*.²³

Но практически сразу у этой модели выявились недостатки. Так, например, электродинамику Максвелла можно получить из одного только вариационного принципа, не прибегая к таким искусственным построениям, как соединение электрического заряда со струной. В модели Дирака этого сделать нельзя, поскольку применение в ней вариационного принципа приводит к несколько иному виду силы Лоренца.²⁴ И этот недостаток до сих пор не устранен, не смотря на то, что существуют и такие модели магнитного заряда, которые избавлены от струн. Кроме того, в 1966 году Швингер показал, что если струна не одна, то изменяется характер квантования электрического и магнитного зарядов – величина магнитного заряда возрастает по отношению к величине электрического заряда пропорционально количеству струн. То есть магнитный заряд можно квантовать как угодно, что вряд ли может считаться достоинством теории.

Но главный ее недостаток в том, что магнитные заряды до сих пор не обнаружены в эксперименте. Их пробовали искать в космических лучах, на ускорителях элементарных частиц (в столкновениях этих частиц друг с другом и с мишенью), в установках для улавливания нейтрино, на дне океана, в месторождениях магнитных руд, по ионизации ими вещества, излучению Вавилова-Черенкова и сильному ускорению в магнитном поле, но все усилия оказались тщетными. Сегодня это объясняют тем, что масса магнитного заряда, по-видимому, настолько велика, что энергии наших ускорителей не хватает для его рождения. Такие частицы могли бы рождаться в ранней Вселенной, но поскольку они должны быть устойчивыми, то отсутствие их в видимой Вселенной можно объяснить тем, что они существуют в особых условиях.²⁵ Например, в условиях Великого объединения взаимодействий. Или при особой топологии пространства-времени.

Прежде чем перейти к моей модели магнитного заряда, сделаю небольшое отступление. В начале прошлого века Томсон попытался построить необычную модель взаимодействия электронов. По его представлению, между движущимися электронами возникает струна, внутри которой сосредоточено электромагнитное поле. Вне струны это поле равно нулю. Томсон и его последователи безуспешно пытались найти соответствующее решение уравнений Максвелла. Сегодня ясно, почему это не удалось – потому, что они пытались получить *абрикосовский вихрь* в вакууме. Для образования такого вихря вакуум должен обладать необычными свойствами – он должен быть похож на *сверхпроводник второго рода*²⁶ для электрических и магнитных зарядов.

²³ Постоянная тонкой структуры – это безразмерная величина, характеризующая силу взаимодействия между электрическими зарядами и фотонами. Далее я покажу, что это не случайно, и что магнитные заряды имеют к этому взаимодействию самое прямое отношение.

Кстати, поначалу Дирак вовсе не собирался строить модель магнитного заряда, он просто хотел разрешить проблему происхождения постоянной тонкой структуры. И уже в ходе такого решения пришел к выводу, что без магнитных зарядов разрешить ее невозможно.

²⁴ Эта сила действует на электрические заряды в магнитном поле и на магнитные заряды в электрическом поле.

²⁵ Или тем, что они вообще не существуют в природе.

²⁶ Сверхпроводники второго рода – это такие сверхпроводники, которые имеют достаточно протяженный температурный интервал перехода в сверхпроводящее состояние. В пределах этого интервала магнитное поле может проникать внутрь сверхпроводника. Как только сверхпроводник полностью переходит в сверхпроводящее состояние, магнитное поле выталкивается из него (так называемый *эффект Мейснера*). У сверхпроводников первого рода этот интервал настолько мал, что магнитное поле практически сразу же

Ничего не напоминает? Правильно, очень похоже на модель магнитного заряда Дирака. Нужно только заменить второй электрон в струне Томсона позитроном и окружить ее "пробными" магнитными зарядами, с помощью которых мы будем пытаться определить, действительно это электрический заряд или полюс соленоида, в котором течет постоянный ток из магнитных зарядов и который создает постоянное электрическое поле. Да, такие струны невозможно создать в окружающем нас пространстве-времени, но что если их можно создать там, где обычным делом являются уже магнитные заряды? Не дираковские струны, а настоящие изолированные магнитные заряды, полностью равноправные с нашими электронами. Понятно, что такое пространство-время не может быть обычным, почему Дираку и пришлось выдумывать струну вместо полноценного магнитного заряда. Но то, что это пространство-время должно быть полностью равноправным с нашим пространством-временем, нет никаких сомнений. Иначе просто не стоило затевать эту эпопею с симметричной электродинамикой.

Первое, что приходит в голову после такой аналогии, – что наше пространство, внутри которого находятся знакомые нам электрические заряды, – это и есть струна. На одном конце этой струны находятся электроны, на другом – положительные заряды ядер атомов. Причем это еще не означает, что данные струны ограничиваются только размерами атомов. Любой электрон из любого атома может вылететь наружу и улететь на любое расстояние. При этом его электрическое поле всегда будет ориентировано на поля положительных электрических зарядов, а значит его струна не прерывается и может охватывать все пространство. Смысл струны не в этом, а в том, что она должна отделять пространство электрических зарядов (т.е. пространство нашей Вселенной) от пространства магнитных зарядов. И уже здесь возникает вопрос: какими свойствами должно обладать пространство магнитных зарядов, чтобы оно было тесно связано с нашим пространством и, в то же время, не наблюдалось в нем?

Я не буду пересказывать здесь первую и вторую части моей "Математики Творения", на которых основывал свою модель магнитных зарядов, и сразу перейду к сути. Представьте себе такое пространство, в котором элементарные частицы, если их проецировать на нашу Вселенную, имеют такие же размеры, как и она. И наоборот, если бесконечную границу этого пространства проецировать на нашу Вселенную, то она совпадет с размерами наших элементарных частиц. То есть все размеры в этом пространстве обратны размерам в нашем пространстве, перевернуты "с ног на голову". Причем эта перевернутость является относительной – с точки зрения "их" пространства точно также перевернуты все размеры в нашем пространстве. Так вот, я утверждаю, что заряженные элементарные частицы "их" пространства – это и есть магнитные заряды. С нашей точки зрения эти частицы являются нелокальными, поскольку занимают все пространство нашей Вселенной.²⁷

На чем я основываю это утверждение? А помните модель электромагнитного эфира,

выталкивается из них.

Абрикосовские вихри – это нити (они же струны) магнитного поля, в виде которых это поле проникает внутрь сверхпроводника второго рода. Снаружи этих вихрей находится сверхпроводящие электроны, а внутри – обычные несверхпроводящие электроны.

²⁷ В детстве я встречал в книжках рисунки-перевертыши: смотришь на них – и видишь какой-нибудь сюжет из жизни, а перевертываешь вверх "ногами" – и видишь тот же самый сюжет. То есть верхушка рисунка, представляющая небо, разрисована так, что при перевертывании превращается в основной рисунок, а основной рисунок – в небо. Мою модель взаимоотношений вселенных электрических и магнитных зарядов можно сравнить с таким рисунком.

которую я рассматривал в предыдущей части? Там я говорил, что фотоны не движутся в пространстве механическим способом, а просто исчезают в точке своего излучения, мгновенно расширяясь на весь бесконечный объем этого пространства, и появляются в точке своего поглощения, мгновенно стягиваясь из бесконечности в эту точку. При этом движение фотонов в пространстве сводится к перераспределению в нем волн вероятности, т.е. точек их вероятного излучения и поглощения. Сейчас я могу уже сказать, что фотоны не движутся в нашем пространстве, поскольку такого пространства попросту нет, есть материя магнитных зарядов, которую мы воспринимаем как пространство нашей Вселенной. На самом деле фотоны, после своего излучения электрическими зарядами, сразу же поглощаются магнитными зарядами, которые и переносят их в пространстве своей вселенной, двигаясь по ее законам. То есть у фотонов вообще нет состояния свободного распространения, есть только состояния их излучения электрическими зарядами и поглощения магнитными зарядами. И наоборот, излучения их магнитными зарядами и поглощения электрическими зарядами.

Такая точка зрения на движение фотонов проливает новый свет на закон постоянства их скорости, с которой они движутся в пространстве нашей Вселенной. Дело в том, что согласно специальной теории относительности,²⁸ данная скорость состоит из двух составляющих – движения в пространстве и движения во времени. Чем больше скорость движения тела в пространстве, тем, соответственно, меньше скорость его движения во времени. С этой точки зрения фотоны вообще не движутся во времени. Со скоростью света течет само время нашей Вселенной. Или, что равносильно, с этой скоростью наша Вселенная (т.е. вселенная электрических зарядов) движется относительно вселенной магнитных зарядов. Тела с ненулевой массой покоя могут только приближаться к этой скорости. При этом соответственно замедляется скорость их движения во времени.

С другой стороны, такая точка зрения на движение фотонов проливает новый свет на их роль переносчиков добавочной массы материальных частиц, обладающих ненулевой массой покоя. Эта масса действительно распространяется в пространстве нелокально, но не потому, что нелокальными свойствами обладают сами фотоны, а потому, что этими свойствами обладают магнитные заряды, переносящие эту массу после того, как им отдают ее электрические заряды. Фотоны – это всего лишь наша сегодняшняя интерпретация обмена массой и энергией между электрическими и магнитными зарядами, не учитывающая существование последних.²⁹

Конечно, можно спросить: если магнитные заряды в моей модели являются нелокальными, то как тогда в ней обеспечивается направленное распространение фотонов, прежде всего то, которое не использует средства геометрической оптики? Ведь эта направленность свидетельствует как раз о локальном характере их распространения! Если в отсутствие магнитных зарядов эту локальность еще можно как-то увязать с нелокальными свойствами самих фотонов, то добавление в этот процесс других нелокальных частиц, существующих в своем собственном пространстве (да еще и с вывернутыми наизнанку размерами!), должно либо разрушить эту локальность, либо не иметь к ней никакого отношения.

²⁸ Точнее, четырехмерной интерпретации этой теории, предложенной Минковским.

²⁹ При этом постоянную тонкой структуры можно трактовать как соответствующие параметры струны, разделяющей электрические и магнитные заряды, а не как различие в величине этих зарядов.

Ответ на этот вопрос у меня есть. Он состоит в том, что электрические и магнитные заряды взаимодействуют не только посредством фотонов, но и непосредственно. А именно, электрические заряды могут непосредственно превращаться в магнитные заряды и обратно. То есть наши электроны могут непосредственно превращаться в соответствующие монополи и обратно. При этом различие между электрическими и магнитными зарядами сводится к одному лишь существованию их в соответствующем пространстве.³⁰ Это – один из залогов полной симметрии между электрическими и магнитными зарядами в симметричной электродинамике. Это объясняет не только взаимосвязанное квантование электрических и магнитных зарядов, но и псевдолокальное распространение фотонов в нашем пространстве. Просто такие переходы автоматически маркируют "точки траектории движения фотонов" в нашем пространстве, когда они поглощены магнитными зарядами.

Более того, это объясняет наличие у электронов ненулевого спина при нулевых пространственных размерах. И классическая, и квантовая электродинамика исходят из предположения о неизменных нулевых размерах элементарных частиц.³¹ По этой причине наглядная интерпретация спина в них является противоречивой. Теория перенормировки предполагает ненулевые пространственные размеры этих частиц, но, как уже говорилось, проверка этого предположения закончилась плачевно. Кроме того, эта теория, как и две предыдущие, исходят из предположения о неизменных размерах этих частиц. В моей модели электроны не имеют постоянных размеров. Превращаясь в монополи, они расширяются на весь объем нашей Вселенной. При этом регистрировать в эксперименте мы можем только самый начальный момент такого расширения – тот, который не противоречит принципу локальности. Можно показать, что происходящий в этот момент процесс однозначно интерпретируется как некоторое специфическое вращение.³² То есть спиновое вращение – это и есть механизм перехода электрических зарядов в магнитные заряды и обратно. Этот же механизм определяет обмен электрических и магнитных зарядов фотонами.

Отсюда становится понятно, почему провалились эксперименты по проверке дисперсионных отношений на расстояниях, сравнимых с размерами элементарных частиц, и что такое фундаментальная длина. Фундаментальная длина – это такой момент в переходах электрических зарядов в магнитные заряды и обратно, когда их размеры изменяются настолько, что для них перестают быть справедливыми законы специальной теории относительности. В экспериментах по проверке дисперсионных отношений изначально предполагалась неизменность размеров элементарных частиц, независимо от того, какие они – конечные или нулевые. Под это предположение и подбирались условия экспериментов, приведшие их к провалу. Настоящей границей действия законов

³⁰ Хочу еще раз подчеркнуть: магнитный заряд – это тот же электрический заряд, только существующий в условиях радикально иной геометрии пространства-времени. Знакомое нам магнитное поле – это проявление такой геометрии в нашем пространстве-времени.

³¹ Напоминаю, что уравнение Дирака для релятивистского электрона, как и уравнение Шредингера, является волновым уравнением. Все решения этих уравнений с постоянной энергией представляют стоячие волны. Одной из таких волн и является спин. О внутренней пространственной структуре спина здесь речь не идет.

³² Такую интерпретацию предложил Зоммерфельд. В 1909 году он показал, что релятивистский закон сложения скоростей в специальной теории относительности математически эквивалентен сложению вращений на сфере с мнимым радиусом. В 1931 году на основе этого приема он рассчитал релятивистскую поправку к эффекту Зеемана, учитывающую влияние спина электрона на электромагнитное излучение атомов. Можно предположить, что на эту идею его натолкнула модель спина Уленбека и Гаудсмита.

специальной теории относительности на квантовом уровне является не структура частиц, а их динамические свойства, т.е. спиновое вращение.

Вот теперь я могу объяснить, почему энергия электромагнитных волн в моей модели эфира квантуется даже тогда, когда они свободно распространяются в пространстве. В предыдущей части я сказал, что причиной этого является тепловое равновесие нашей Вселенной. На самом деле тогда я схитрил, поскольку на основе изложенного не мог перейти к модели магнитных зарядов. Настоящей причиной квантования электромагнитных волн в вакууме является равновесие переходов частиц между нашей Вселенной и вселенной магнитных зарядов, и прежде всего, взаимосвязанное квантование электрических и магнитных зарядов. Такое равновесие лишь условно можно назвать "тепловым",³³ но именно оно отвечает за солитонизацию и квантование электромагнитных волн даже в вакууме, в котором по определению отсутствует дисперсия. Просто в вакууме эти волны диспергируют в средах магнитных зарядов, которые теснейшим образом связаны со средами электрических зарядов.

Прежде чем двигаться дальше, познакомимся с так называемой *CPT-теоремой* в квантовой теории поля. Согласно этой теореме, замена свойства частицы на противоположное меняет знак ее энергии на противоположный. Так, например, операция зарядового сопряжения *C* меняет электрон с положительной энергией на позитрон с отрицательной энергией; операция изменения проекции спина на импульс *P* меняет электрон с положительной энергией и проекцией спина по импульсу на электрон с отрицательной энергией и проекцией спина против импульса; операция изменения направления времени *T* меняет электрон с положительной энергией и положительным направлением времени на электрон с отрицательной энергией и отрицательным направлением времени. Каждая из этих операций связана с симметрией соответствующих свойств частиц. Если данная симметрия отсутствует, то данная операция не выполнима. Но ее можно выполнить (и, соответственно, восстановить симметрию), если при этом выполняется совместное действие двух других операций.³⁴

Рассмотрим сначала операцию *T*. В квантовой теории поля эта операция позволяет избавиться от состояний частиц с отрицательной энергией. Но что в этой теории понимается под изменением направления времени? Изменение направления движения частиц в пространстве на противоположное! Но разве это настоящее изменение направления времени? В той же термодинамике, к примеру, частицы могут двигаться в любом направлении пространства, и никто не рассматривает это как разные направления времени. Более того, за направление времени в термодинамике принимают такое направление, в котором протекают необратимые процессы. Причем это утверждение не ограничивается одной лишь термодинамикой, оно распространяется на все без исключения в природе процессы – классические, квантовые и релятивистские; физические, химические, биологические и социальные; микроскопические, макроскопические и космические.

С другой стороны, какое отношение к состояниям частиц с отрицательной энергией имеет изменение направления движения этих частиц в нашем пространстве? Даже если это

³³ Хотя бы потому, что не приводит к тепловому равновесию нашей Вселенной.

³⁴ То есть операция *C* равносильна совместному действию операций *P* и *T*, операция *P* – совместному действию операций *C* и *T*, а операция *T* – совместному действию операций *C* и *P*.

изменение трактуется как изменение направления времени, то это означает лишь то, что такое время условно. Оно не может быть распространено на всю нашу Вселенную и ограничивается только системой данных частиц, условно описывает их движение как обратимые процессы. К *CPT*-теореме такое изменение не имеет никакого отношения. Если же операция *T* действует в абстрактном пространстве (например, зарядовом), то какое отношение она имеет к обычным пространственным свойствам частиц (например, к их спину и импульсу), которые мы можем регистрировать в эксперименте? Опять же получается, что к *CPT*-теореме эта операция не имеет никакого отношения.

В моей модели операция *T* объясняет, зачем мне вообще понадобилось постоянное превращение электрических и магнитных зарядов друг в друга. Механизм нелокального распространения фотонов для этого не нужен, квантование электрического заряда – тоже. А вот если предположить, что магнитные заряды движутся во времени навстречу электрическим зарядам, то все сразу становится на свои места. Потому что настоящее движение навстречу во времени – это движение объектов навстречу друг другу по одной и той же траектории. Понятно, что без столкновений такое движение может осуществляться только если эти объекты имеют радикально иную геометрическую и физическую природу. Например, такую, как электрические и магнитные заряды в моей модели. Другого варианта движения объектов навстречу друг другу во времени лично я представить не могу.³⁵

Вот тут-то и обнаруживается связь моей модели магнитных зарядов с квантовым объяснением парадокса убийства собственного дедушки и парадокса близнецов. В самом деле, если электрические и магнитные заряды движутся навстречу друг другу во времени, то с учетом их постоянного превращения друг в друга ясно, что электроны не могут существовать в одном только моменте настоящего. Если монополи переходят в эти электроны из будущего нашей Вселенной, то это автоматически подразумевает фиксацию их корпускулярных свойств. И наоборот, если эти электроны переходят в те монополи, которые существуют в прошлом нашей Вселенной, то это автоматически подразумевает фиксацию их волновых свойств. При этом реальный электрон можно представить себе в виде сферической пространственной области, внутри которой обычные пространственные и временные представления не действуют, поскольку в ней существенно влияние встречного времени. Но точно также его можно представить в виде растянутой во времени области, прошлая часть которой отвечает за его волновые свойства, а будущая часть – за корпускулярные свойства. В целом же временная протяженность реального электрона не определена – внутри его пространственной области невозможно выделить ни прошлые и будущие области, ни сам момент настоящего.

³⁵ На самом деле я здесь схитрил для наглядности. С операцией *T*- в *CPT*-теореме все в порядке и даже более – она в точности соответствует моей интерпретации. Обращение времени *T*- это следствие того, что релятивистская квантовая механика допускает состояния частиц с отрицательной энергией. В классической механике эти состояния не существенны, поскольку их разделяет зона запрещенных энергий, поэтому они просто отбрасываются. В квантовой механике приходится хитрить, например, разрешать движение со сверхсветовой скоростью. В системе отсчета досветового наблюдателя частица движется по траектории в прямом направлении времени, а в системе отсчета сверхсветового наблюдателя она движется по той же траектории в обратном направлении времени. Второй случай соответствует античастице. Интересно, что классическая электродинамика Максвелла допускает распространение электромагнитных волн вспять во времени. Сегодня этот факт не находит себе объяснения, в моей модели он объясняется движением электрических и магнитных зарядов навстречу друг другу во времени. Просто фотоны не движутся свободно в пространстве, они движутся только во времени, будучи поглощенными электрическими или магнитными зарядами.

Хочу еще раз подчеркнуть: природа двойственных корпускулярно-волновых свойств квантовых объектов заключается именно в том, что электрические и магнитные заряды движутся во времени навстречу друг другу, и вместе с тем, являются одними и теми же объектами, поочередно существующими в том и другом времени. Ясно, что в таких условиях невозможно абсолютно точно зафиксировать пространственное и временное положение этих объектов вместе с их массой. Отсюда и возникают собственная длина волны этих объектов как неопределенность их положения в пространстве и времени, а также масса этих объектов как определенность этого положения.³⁶ В квантовой электродинамике все эти свойства объясняются взаимодействием частиц с вакуумом. При этом сами вакуумные эффекты никак не обосновываются, принимаются как данность. В моей модели эти эффекты объясняются взаимодействием электрических и магнитных зарядов, движущихся во времени навстречу друг другу.

Что касается концепции "голого" и "одетого" электронов, то здесь я мало что могу сказать. Безусловно, заряд и масса реального электрона образуются не одним виртуальным электроном, превращение которого в монополи выстроено во временную цепочку. В формировании этих свойств задействованы и множество виртуальных электронов, и множество виртуальных позитронов, и множество виртуальных фотонов. И вся эта "куча" виртуальных частиц "шевелится" внутри области, ограниченной собственной длиной волны реального электрона. Внутри этой области пространственные и временные размеры не определены из-за взаимодействия нашего и встречного времени. Поэтому я сомневаюсь, что там можно было хотя бы приблизительно разграничить "голый" электрон и его виртуальную "шубу". Тем более, что концепция "голого" электрона имеет чисто расчетную природу, является следствием неполноты несимметричной квантовой электродинамики, которую таким образом поправила теория перенормировки.³⁷ Сейчас я могу сказать только то, что главное отличие между состояниями виртуальных и реальных частиц заключается не в том, что величина энергии первых меньше, а вторых больше постоянной Планка. Оно в том, что первые – нелокальны, а вторые – локальны.

Главная проблема квантовой механики состоит в том, что волновая функция элементарных частиц является комплексной величиной. А это означает, что она учитывает состояние не только электрических, но и магнитных зарядов. Но связывается она сегодня только с электрическими зарядами. В отличие от матричного описания, это позволяет непрерывным образом описывать состояния элементарных частиц. Но игнорирование

³⁶ Точнее, их импульс и энергия. В принципе неопределенностей Гейзенберга именно эти величины связаны с пространственными и временными координатами частиц. Но масса – основа этих величин.

³⁷ Интересно, что Дирак тоже не любил теорию перенормировки, – он сравнивал процедуру перенормировки с заметанием мусора под ковер. В 14-й сноске я говорил, что массу "голого" электрона и виртуальную добавку к ней нельзя измерить в эксперименте по отдельности, в нем можно измерить только массу "одетого" электрона. И уже потом, исходя из этой экспериментально измеренной "одетой" массы, а также теоретически установленной "голой" массы, рассчитать виртуальную добавку к последней. Объясняют это тем, что в отличие от классического электрического заряда, который можно извлечь из поляризуемой им среды и обследовать "голым", электрон нельзя извлечь из поляризуемого им вакуума. Но зачем измерять массу теоретического электрона, если теория должна предсказывать массу реального электрона? Правильно, для того, чтобы убедиться, что она неверна! Как говорится, "на воре и шапка горит"... В оправдание теории перенормировки можно сказать то, что перенормируемыми моделям взаимодействий обычно соответствуют случаи, когда не удается построить последовательную квантово-полевую модель этого взаимодействия. Отсюда можно сделать вывод, что такие модели вообще нельзя проквантовать. Это, конечно, не полностью оправдывает теорию перенормировки, но доказывает ее нужность на сегодняшнем этапе развития физики элементарных частиц.

состояний магнитных зарядов приводит в этом случае к необходимости введения поправок в основную теорию, подобных теории перенормировки. Например, из моей модели следует, что поведение электронов на больших скоростях (я говорил об этом в начале части) можно объяснить как особенностями их внутренней структуры, так и геометрией пространства-времени. Матричное описание опирается исключительно на второе объяснение. В этом отношении оно более последовательно, чем волновое описание, к которому и без моей модели полно вопросов...

Но вернемся к *CPT*-теореме. В 1957 году было обнаружено несохранение *P*-четности волновых функций частиц в радиоактивном распаде кобальта. В этом распаде кобальт помещался в сильное магнитное поле при сверхнизкой температуре, чтобы тепловые колебания атомов не нарушали ориентации ядерных спинов. В результате было обнаружено, что спин электронов, вылетающих из ядер кобальта, ориентируется исключительно против направления вылета. Если бы пространство было симметричным, то обе ориентации спина – по направлению и против направления вылета – возникали бы с равной вероятностью. Позднее несохранение *P*-четности было обнаружено во всех процессах ядерного распада.

Для спасения квантовых законов сохранения было выдвинуто предположение, что *P*-симметрия в ядерных процессах сохраняется совместно для частиц и античастиц. Поэтому если в распаде ядер излучаются электроны, то их спин должен ориентироваться в магнитном поле против направления вылета, а если в нем излучаются позитроны, то их спин должен ориентироваться по направлению вылета. При этом *P*-четность волновых функций частиц оказывается сцепленной с *C*-четностью, а зеркальными отражениями частиц оказываются античастицы. Вскоре это предположение было подтверждено в эксперименте.

Введение сцепленной *CP*-четности спасло квантовые законы сохранения, но ненадолго. В 1964 году были обнаружены распады нейтральных каонов, в которых нарушалась уже *CP*-четность. Наиболее показательными в данном случае являются распады этих частиц на положительно заряженный пион, электрон и антинейтрино, и распады их на отрицательно заряженный пион, позитрон и нейтрино. Вероятность первых распадов оказалась на треть процента больше, чем вероятность вторых. Различие небольшое, но оно говорит об отсутствии полной симметрии между частицами и античастицами. Этого оказалось достаточно, чтобы навсегда рухнула вера физиков в безоговорочное выполнение закона сохранения *CP*-четности.

Единственной ненарушенной на сегодняшний день остается только сцепленная *CPT*-симметрия, дополняющая операцию *CP* еще и обращением времени *T*. Эта симметрия настолько глубоко заложена в основы современной квантовой теории поля, что физики в большинстве своем не сомневаются в ее незыблемости. Для выполнения этой симметрии достаточно самых общих теоретических предположений, таких как выполнение законов специальной теории относительности, сохранение причинности в квантовых процессах и положительности энергии частиц.

Но я уже говорил, что законы специальной теории относительности имеют ограниченное применение в квантовой механике, и что классическая причинность теряет свой смысл в условиях квантовой корреляции из-за неустойчивости геометрии пространства и времени. То же самое можно сказать и о положительности энергии частиц, поскольку магнитные заряды, активно взаимодействующие с электрическими зарядами, имеют даже не

отрицательную, а мнимую энергию. Это означает, что либо *CPT*-симметрия не выполняется в природе, либо ее нужно строить на каких-то других соображениях, допускающих ее выполнение в природе. Экспериментальные данные свидетельствуют в пользу последнего.

В моей модели несохранение *C*- и *P*-четности объясняется тем, что настоящей античастицей электрона является связанный с ним легкий монополю. Выше я уже говорил, что магнитный заряд – это тот же электрический заряд, только существующий в условиях радикально иной геометрии пространства-времени, поэтому различие между этими зарядами сводится к одному лишь существованию их в соответствующем пространстве. Сейчас я могу уже сказать, что во время перехода электрона в легкий монополю меняется не только направление времени, в котором он существует,³⁸ но и знак его электрического заряда, а также проекция спина на импульс. Если бы этот монополю каким-то образом оказался в нашем пространстве, минуя струну, то он выглядел бы как позитрон.³⁹ И такая возможность есть! Первая – это распад гамма-фотона на электрон и позитрон, вторая – рождение электронно-позитронных пар на ускорителях частиц. Обе возможности представляют собой сбой в обычном функционировании струны, разделяющей пространства электрических и магнитных зарядов.⁴⁰ Можно предположить, что этот сбой сопровождается соответствующим "катаклизмом" в пространстве магнитных зарядов. Что касается нарушения *CP*-симметрии, то она восстанавливается зеркальностью "катаклизмов" в пространствах электрических и магнитных зарядов, которые движутся во времени навстречу друг другу. То есть *CPT*-симметрия действительно выполняется в природе.

И снова хочу спросить: ничего не напоминает? Правильно, очень похоже на дираковский вакуум электронов в состояниях с отрицательной энергией. И позитроны в этих состояниях действительно выглядят как "дырки", оставшиеся после ухода из них электронов. И операция зарядового сопряжения в квантовой теории поля действительно не имеет никакого отношения к этому вакууму. Потому что на самом деле этот вакуум имеет не отрицательную, а нулевую энергию, и электроны не одни уходят из него, а вместе со своим "дырками", т.е. с позитронами. Электроны уходят в нашу Вселенную, а позитроны – во вселенную магнитных зарядов, превращаясь в монополи. После этого запускается цикл встречных переходов электрических и магнитных зарядов друг в друга, и обе вселенные приходят в равновесие. Такие переходы обеспечивают движение обеих вселенных во времени навстречу друг другу. Именно таким переходам соответствует операция *CPT*-сопряжения в квантовой теории поля.

Еще одно интересное свойство моей модели состоит в обосновании гипотезы тахионов. В самом деле, если магнитные заряды движутся во времени навстречу нашим электрическим зарядам, то с точки зрения последних в движении первых неизбежно должны возникать ситуации, когда это движение можно рассматривать как сверхсветовое. Для этого нужно только одно – рассматривать их как локальные объекты. Пусть очень большие, даже огромные, но имеющие конечные пространственные размеры относительно объектов нашей Вселенной. Причем такими объектами не обязательно

³⁸ При изменении направления времени вещественная масса и энергия электрона заменяется на мнимую массу и энергию.

³⁹ То есть мою струну с равным правом можно рассматривать и как дираковскую, и как томсоновскую.

⁴⁰ Поскольку при этом у античастиц меняются только *C*- и *P*-свойства, а *T*-свойство остается таким же, как у частиц нашей Вселенной.

должны быть сами монополи, ими могут быть какие-нибудь квазичастицы, промежуточные между монополями и всей их вселенной. Любое изменение состояний этих объектов, совпадающее с моментом нашего настоящего, с нашей точки зрения является сверхсветовым. При этом изменению состояния монополей будет соответствовать изменение состояния трансцендентных тахионов, а изменению состояния квазичастиц – изменение состояния обычных тахионов.

Что характерно – и монополи, и квазичастицы их вселенной, могут излучать и поглощать фотоны, которые мы можем наблюдать в нашей Вселенной. Но это, конечно же, не то, что гипотеза тахионов подразумевает под процессами, сопровождающими ускорение обычных тахионов и торможение трансцендентных тахионов. Я полагаю, что на самом деле эти процессы соответствуют образованию и коллапсу их и нашей вселенных. При образовании той и другой обычные тахионы излучают все возможные фотоны, которых до этого не было в обеих вселенных, и начинают обмениваться ими с частицами (*брадионами*) нашей Вселенной. При коллапсе той и другой трансцендентные тахионы поглощают все существующие фотоны, и их вселенная сливается с нашей.

И снова напрашивается аналогия с дираковским вакуумом. Только в данном случае этот вакуум порождает два источника излучения и поглощения фотонов – тахионы и брадионы. Причем опять обнаруживается несимметричность процессов, поскольку тахионы могут поглощать все фотоны в обеих вселенных до полного их исчезновения, а брадионы могут только обмениваться ими с тахионами. Я полагаю, что причина этой несимметричности та же, что и "опасность" ухода всех электронов обратно в вакуум Дирака – несимметричность самого этого вакуума. Потому что вакуум Дирака существует в том же времени, что и материя нашей Вселенной, поэтому его отрицательная энергия продолжает шкалу положительной энергии нашей материи. Если античастицы связать с этим вакуумом, то их состояние автоматически становится несимметричным состоянию наших частиц. Но если рассматривать этот вакуум как Единое поле, из которого могут рождаться частицы и античастицы, брадионы и тахионы, то получается моя модель симметричной электродинамики. Такое поле, как и обычный вакуум, является "точкой" равновесия вселенных электрических и магнитных зарядов, но отличается от него ненулевой энергией основного состояния.

То же самое можно сказать и об отрицательной вероятности существования частиц. В моей модели возможен и этот феномен, поэтому в ее описании можно применять и уравнение Клейна-Гордона. Но модифицировать его нужно так, чтобы оно учитывало встречное время и особую геометрию вселенной магнитных зарядов. Например, в виде духов Фаддеева-Попова⁴¹ – фиктивных полей, вероятность наблюдения которых отрицательна. Эти поля вводятся в теориях калибровочных полей для устранения нелокальных взаимодействий между ними. При этом нелокальное взаимодействие реальных полей представляется как локальное взаимодействие фиктивных полей, т.е. духов. Кванты духовых полей не являются физическими частицами и имеют "неправильную" связь спина со статистикой.⁴²

⁴¹ Я упоминал их в конце первой части практически в том же контексте.

⁴² Они являются скалярными бозонами по отношению к преобразованиям Лоренца и, в то же время, антикоммутируют как фермионы. Антикоммутирование – это математический термин. Физически ему соответствует невозможность для частиц одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Для бозонов это возможно. В следующей части я все эти понятия уточню (в 6-й, 7-й и 8-й сносках).

Как вам такой поворот ситуации? Ведь это означает, что наш физический вакуум является духовым полем для материи вселенной магнитных зарядов, которая имеет нелокальный характер. Эта нелокальность устраняется превращением данной материи в пространство-время нашей Вселенной, в котором фотоны "бегают" со скоростью света по строго определенным траекториям между нашими материальными телами, которые, в свою очередь, еще строже соблюдают принцип локальности.⁴³ То есть наше обычное пространство-время (точнее, его физическая "утроба", т.е. вакуум) – это и есть фиктивное духовое поле, которое мы, вопреки теории, наблюдаем воочию... И все это можно было обнаружить уже давно, потому что нелокальные квантовые теории поля предлагались уже тогда, когда локальная квантовая теория поля была только "беременная" теорией перенормировки...

Нелокальные квантовые теории поля стали предлагаться вскоре после того, как возникли трудности с расходимостями в локальной квантовой теории поля.⁴⁴ Попытки построить такую теорию предпринимали Марков (в 1940), Блохинцев (в 1948), Мак Манус (в 1948), Юкава (в 1950), Блох (в 1952), Паули (в 1953), Кретъен и Пайерльс (в 1953), Штюкельберг и Вандерс (в 1954), и др. Такие теории всегда считались одними из самых непоследовательных и далеких от реальности. Причем эта оценка основывалась не столько на многочисленных трудностях, присущих данным теориям, сколько на том, что сама идея нелокальности находилась в явном противоречии с опытом.

Физической идеей, лежащей в основе нелокальных теорий поля, являлось предположение, что во внутреннем пространстве электрона возможны другие виды причинной связи, нежели те, которые имеют место в его внешнем пространстве. Такие теории вводят в свои выражения дополнительную функцию координат и импульсов – так называемый *форм-фактор*. При этом взаимодействие электронного и электромагнитного полей оказывается "размазанным" по всему внутреннему пространству электрона. Такое взаимодействие может распространяться с любой скоростью, поэтому для того, чтобы не нарушалась причинность во внешнем пространстве электрона, вводилось ограничение на действие форм-фактора с увеличением радиуса электрона.⁴⁵

Как отмечал Марков, попытка построить теорию, в которой электрон рассматривается как протяженный в пространстве объект, неизбежно приводит к использованию форм-фактора, который не изменяется под воздействием внешних сил. Это означает, что такой электрон должен обладать абсолютно жесткой структурой. Но теория относительности, описывающая внешнее поведение частиц, запрещает существование абсолютно твердых тел, поэтому идея протяженного в пространстве электрона не совместима с законами его внешнего поведения. В теории это обнаруживает себя несовместимостью ее уравнений описывающих внешнее и внутреннее поведение электрона.

С другой стороны, Марков отмечал, что во внутреннем пространстве электрона можно отказываться от принципа причинности, но такое решение должно быть наполнено положительным содержанием. В квантовой механике, к примеру, нет однозначной связи

⁴³ Точнее, поле духов превращает материю одной вселенной в пространство для другой вселенной и наоборот.

⁴⁴ Я имею в виду трудности квантовой электродинамики, вершиной которых стало обнаружение лэмбовского сдвига.

⁴⁵ То есть форм-фактор должен содержать константу – фундаментальную длину, на которой его действие прекращается.

между прошлым и будущим не потому, что принцип причинности несправедлив, а потому, что координаты и импульсы электрона не характеризуют одновременно и точно его состояние. То есть в квантовой механике принцип причинности ограничивается принципом неопределенностей Гейзенберга. Нечто подобное можно ввести и во внутреннем пространстве электрона. Например, что-то вроде *сферы Шварцшильда*.⁴⁶ Во время публикации работы Маркова предположить такое было трудно, поскольку тогда еще не родился Хокинг, предложивший гипотезу микроскопических черных дыр. А сам Марков не предложил еще гипотезу *фридмонов* – гравитационно замкнутых миров, имеющих размеры элементарных частиц.

В конце своей работы Марков задает вопрос: существует ли такой класс форм-факторов, который приводит к локальной физике внутри протяженного электрона? Один из ответов состоит в том, что такие форм-факторы должны меняться под воздействием внешних сил, и для них должны быть написаны соответствующие уравнения движения. Но писать уравнения движения для форм-фактора – это значит вводить в рассмотрение новое поле. А поскольку в сегодняшней физике уже имеется много разных полей, то лучше не вводить новые поля, а использовать уже существующие в качестве "взаимных" форм-факторов. Для протяженного электрона такими "взаимными" полями должны быть электронное и электромагнитное поля. То есть здесь Марков пришел к идее перенормировки.⁴⁷

Как можно было заметить, в моей модели эта проблема решается с помощью принципа неопределенностей Гейзенберга. Но не только. Потому что есть в ней и форм-фактор – спиновое поле электронов, – который меняется под воздействием внешних сил – движения нашей Вселенной и вселенной магнитных зарядов во времени навстречу друг другу. Есть в ней и "взаимный" форм-фактор – спиновое поле магнитных зарядов.⁴⁸ Особенность моих форм-факторов состоит в том, что они являются процессами, т.е. временными, а не пространственными объектами. И они никоим образом не связаны с теми процессами, которые описывает специальная теория относительности, а значит не противоречат принципу причинности. Но они тесно связаны со спинами элементарных частиц, и это специальная теория относительности не может опровергнуть. Иначе идея протяженного в пространстве электрона не противоречила бы ей.

Еще одна особенность моих форм-факторов состоит в том, что они включают в себя фиктивные поля – духи Фаддеева-Попова, – "выворачивающие наизнанку" геометрические свойства материи магнитных зарядов и превращающие ее в пространство для нашей материи.⁴⁹ Это означает, что именно духовые поля фиксируют величину "фундаментальной длины" в моих форм-факторах, устанавливают ту границу во "внутреннем пространстве" электронов, на которой законы специальной теории относительности перестают выполняться. В предыдущей части я говорил, что в

⁴⁶ Это уже моя отсебятина.

⁴⁷ Самый "убийственный", на мой взгляд, довод Маркова против форм-факторов заключается в следующем. Пусть имеется расходящийся интеграл $\int k^2 dk \sim k^3, k \rightarrow \infty$.

Для сходимости таких интегралов требуется форм-фактор, который спадает быстрее, чем $1/k^{3/2}$. При этом взаимодействие с полем будет быстро уменьшаться с ростом энергии частиц. Это означает, что с ростом энергии частиц теория возмущений должна все лучше описывать их взаимодействие, что находится в резком противоречии с опытом.

⁴⁸ Фотоны тоже входят в этот форм-фактор.

⁴⁹ Можно сказать, что духи – это поля, обеспечивающие "гладкое" расхождение нашей Вселенной и вселенной магнитных зарядов в движении во времени навстречу друг другу.

сегодняшней квантовой теории поля эти поля вводятся только на промежуточном этапе вычислений и отсутствуют в конечном результате. Так вот, физический смысл этого "отсутствия" духов состоит в том, что они существуют вне времени. В 4-й части я покажу, что под этим следует понимать.

Главная проблема квантовой механики заключается в особенности ее аксиоматики. А именно в том, что она обобщает классическую механику и, в то же время, содержит ее в своей аксиоматике в виде классических приборов измерения. Такие приборы – и есть причина того, что дисперсионные соотношения выполняются до любых, сколь угодно малых, наперед заданных расстояний. При этом автоматически отбрасываются те процессы, которые нарушают законы специальной теории относительности. Но если бы наши приборы работали на духовых полях, то они уже могли бы обнаружить нарушение ее законов. Более того, тогда они могли бы обнаружить и другие значения постоянной Планка! Потому что обычное значение этой постоянной теснейшим образом связано с классическими приборами измерения квантовых процессов.⁵⁰

"Попав в Вечность, Купер изучал матричное исчисление Темпоральных Полей под руководством одного из Старших Вычислителей, а личный техник этого Вычислителя давал Куперу уроки Первобытной истории и Социологии... После того как Купер основательно овладел обеими дисциплинами, его послали в далекое прошлое, в 24-е Столетие, с заданием обучить некоторым разделам математики Первобытного ученого по имени Виккор Маллансон..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

Продолжение следует...

⁵⁰ Правда Ландау и Лифшиц утверждали, что для одних только квантовых объектов нельзя сформулировать логически замкнутую теорию. Но я полагаю, что для квантово-релятивистских объектов это все же можно сделать. Такую теорию, конечно, которая объединяет квантовую механику с общей теорией относительности.