

Концепция скрытого времени и квантовая электродинамика

П.В. Куракин, Г.Г. Малинецкий

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

<mailto:kurakin@keldysh.ru>

(Получена 17 июня 2004; исправлена 12 июля 2004; опубликована 19 июля 2004)

Развивается концепция скрытого времени, ранее предложенная авторами. Показано, как в принципе могло бы быть осуществлено количественное соответствие предложенной интерпретации квантовой теории с предсказаниями стандартной квантовой электродинамики. Кроме этого, аргументируется, что предлагаемая концепция позволяет пойти дальше стандартной теории в части вычисления мировых констант вместо традиционного использования их экспериментальных значений.

1. Введение

Ранее мы предложили концепцию скрытого времени (лучше даже говорить о скрытом пространстве – времени, но для краткости мы будем упоминать только время) [1]. Существо концепции в следующем. Физическое пространство – время дискретно, причем на уровне гораздо крупнее масштаба величины длины Планка, как принято думать. Ткань пространства – времени состоит из элементарных событий, то есть характерный пространственный размер «ячейки» порядка размера атома, поглотившего фотон, а временной размер – порядка времени перехода с одного уровня на другой.

Далее, физическое время в каждом конкретном эксперименте *в принципе* можно, как мы считаем, измерить *только* количеством элементарных событий, нормированном определенным образом. Способ нормировки определяется всей конфигурацией эксперимента.

Это, довольно тривиальное, на наш взгляд, утверждение приводит к довольно нетривиальным последствиям. А именно, в теорию можно ввести сигналы из скрытых параметров, которые, – и это существенно – представляют собой часть *математического аппарата* теории, они не являются физическими величинами, которые можно измерить и обнаружить. Они эволюционируют в скрытом времени, которое тоже не является физическим понятием, а принадлежит лишь матаппарату теории. В этом смысле, это по настоящему скрытые параметры.

На самом деле, вполне можно говорить и о физическом значении таких переменных. Можно считать, что вводимые нами переменные вполне физичны, но о «реальном» их существовании имеет смысл говорить лишь для очень малых (насколько, пока не можем утверждать) времен с начала Большого Взрыва. В настоящее время эти переменные и соответствующие им размерности Вселенной «выморожены». В этом мы видим аналогию с современной теорией суперструн.

Но, поскольку это довольно смелое предположение, подкрепленное лишь качественными аналогиями, мы предпочитаем на нем не настаивать и не афишировать его. В данной работе мы будем строго придерживаться взгляда, что наши скрытые переменные – лишь матаппарат.

На качественном, содержательном уровне эволюция наших скрытых переменных сводится к осуществлению «переговоров» между детектором и источником частиц (для простоты мы ограничиваемся пока *только* фотонами). Сигналы перемещаются во внутреннем времени «между» физическими точками пространства времени. Важно, что в принципе допустимо *сколь угодно* долгий – во внутреннем времени – обмен сигналами

Кроме этого, вводится процедура сшивки скрытого времени и физического времени, основанная на предложенной нами же фундаментальной (идеализированной) процедуре измерения физического времени.

Изложение построено следующим образом:

- сначала объясняется общая схема движения сигналов;
- объясняется процедура сшивки внутреннего времени и физического времени;
- показано, как *в принципе* можно привести эту схему в количественное соответствие с КЭД;
- обсуждается возможность вычисления мировых констант, другие потенциальные возможности и проблемы предложенной концепции.

2. Общая схема движения сигналов в упрощенном виде

(А) Рассмотрим простейший случай одного источника и нескольких возможных детекторов. Для начала забудем о явлении интерференции, и будем считать, что попадание фотона в любой из имеющихся детекторов равновероятно. Кроме этого, рассмотрим только случай неподвижных друг относительно друга источника и детекторов (рис. 1).

Сразу подчеркнем: мы полагаем, что можно предложить различные модели, опирающийся на один базовый принцип, который мы и хотим продемонстрировать. Поэтому предлагаемая схема – только набросок.

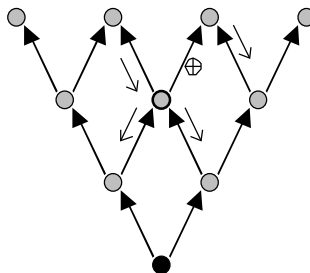


Рис. 1. Сигналы скрытых переменных

(Б) Представим, что пространство между источником и детекторами заполнено некоторыми узлами (мы полагаем, что им можно поставить в соответствие виртуальные электрон-позитронные пары вакуума). Сигналы передаются только между такими *скрытыми* узлами и *физическими* узлами, то есть, собственно источником и детекторами.

Сначала источник (черный кружок внизу) излучает *сигналы поиска* во все близлежащие узлы скрытого пространства (без времени). Скрытые узлы передают сигналы поиска дальше и дальше, распространение происходит в скрытом времени. Можно представлять себе, что «стрелки» существуют в вакууме наряду со скрытыми узлами, а можно считать, что никаких «стрелок» нет, а есть лишь указатели на соседние узлы внутри узлов. Для начального представления это несущественно.

Когда сигналы поиска достигают детекторов (верхний ряд кружочков), те посылают *обратно*, по направлению, обратному «стрелкам», *сигналы запроса*. Этот термин (возможно, и не самый удачный), предложен нами потому, что детекторы посылают источнику запрос на получение фотона.

В каждом внутреннем (скрытом) узле пространственной решетки происходит конкуренция сигналов запроса. Если сигнал запроса «вошел» в узел, он дожидается, пока подойдут все остальные. Отметим, что поскольку движение всех сигналов происходит с скрытым временем, это «ожидание» может продолжаться сколь угодно долго – оно никак не связано с *физическим* временем перемещения фотона из источника в детектор.

Когда в узел получил сигналы запроса во всех *исходящих* стрелках, между сигналами разыгрывается своего рода *лотерея*, конкретный механизм которой сейчас несущественен. Важно, что в лотерею выполняется правило: выживает ровно один входящий сигнал запроса.

Ребра пространственной решетки («стрелки»), проигравшую лотерею, метаются как выбывшие из соревнований (рис. 1). Сразу отметим, что мы рассматривали различные варианты дальнейшей судьбы этих ребер. С одной стороны, можно было бы сразу запускать некий *сигнал отказа* вдоль этих ребер к более «вышележащему» узлу. Можно дождаться, когда какой-то (один!) сигнал запроса достигнет источника, и уже оттуда пойдет расширяющаяся волна сигналов отказа.

Эти варианты можно обсуждать, но для начала они несущественны. Сейчас важно просто принять, что, так или иначе, ребра решетки («стрелки») с проигравшими сигналами запроса передадут вверх детекторам, пославшим эти сигналы, информацию о том, что фотон им не достанется (*сигнал отказа*).

Далее, после того, как лотерея прошла (и остался *единственный* входящий сигнал запроса!), узел «записывает» сигнал запроса во *все входящие* в него стрелки. Таким образом, процесс повторяется в каждом скрытом узле, все более и более приближаясь к источнику.

(В) Когда несколько выживших победителей достигнут физического узла с источником, тот также организует лотерею, в которой выживает единственный входящий запрос. Нетрудно показать, что в итоге мы получим ломаную дорожку от источника к детектору, по которой единственный детектор получит *сигнал подтверждения*, то есть самое фотон.

Опять же, можно задаться вопросом, что происходит при этом со «стрелками». Мы предлагаем считать, что по мере возвращения детекторам сигналов отказа и подтверждения стрелки «стираются».

3. Процедура сшивки

(А) Мы вводим очень простую процедуру сшивки скрытого и физического времени. Мы предлагаем считать, что момент получения детектором сигнала подтверждения и соответствует обычному, физическому моменту времени.

Важно, однако, показать, что введенная таким образом процедура сшивки является физически корректной. Критерий, по которому мы считаем предложенный механизм сшивки корректным, – это выполнение постулата о постоянстве скорости света. Точнее, говоря, мы показываем, что физическое время движения фотона от источника к детектору пропорционально расстоянию между ними.

Что такое время? Стандартный ответ – просто координата в пространстве Минковского. На самом деле, стоит помнить, что 4-точки – не математическая абстракция, а *физические события*, как-то, акты испускания и поглощения частиц. Повторим, сама ткань пространства Минковского формируется *событиями*. В случае классических полей мы имеем дело с огромным числом событий, и тогда можно говорить о *непрерывной* временной оси времени. Если мы рассматриваем единичное событие, никакой «оси» нет.

В этом случае необходимо определить принципиальную процедуру измерения времени, подобно тому, как Эйнштейн ввел принципиальную физическую процедуру синхронизации удаленных часов. Пришло время сделать следующий логический шаг и определить *физически*, что же такое сами часы.

(Б) Мы предлагаем очень простое определение:

Течение времени – это отсчет некоторых часов, то есть, физической системы, регистрирующей одиночные события. Говоря попросту, время – это когда тикают часы, а часы – это то, что тикает.

Время не существует как некий равномерный поток, независимый от *физических событий*. В любом физическом эксперименте мы всегда имеем какой-то конкретный *измеритель* времени, и никакого другого способа узнать о течении времени, кроме как, измерив его *количеством* каких-то *событий*, не существует в принципе. Мы предлагаем следующий вариант принципиальной физической процедуры измерения времени.

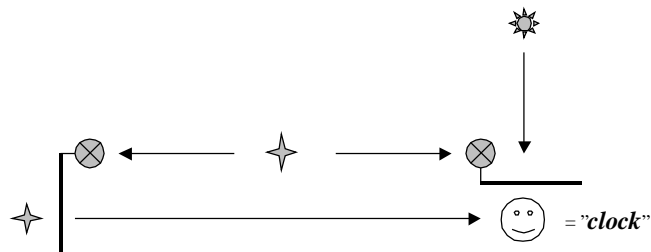


Рис. 2. Фундаментальная (упрощенная) процедура измерения физического времени

Пусть имеется *наш* источник и *внешний* источник (лазер). Имеется детектор – атом, который будет поглощать фотоны от *нашего* источника и от лазера. Кроме этого, имеется источник для запуска всего эксперимента, ровно посередине между нашим источником и детектором (рис. 3).

Процедура измерения времени состоит в следующем. Центральный источник испускает два фотона в противоположных направлениях. Эти фотоны пролетают одинаковое расстояние и «открывают» задвижки, прикрывающие *наш* источник и лазер. Из *нашего* источника вылетает фотон, *одновременно* (в данной СО) детектор начинает считать фотоны от лазера. По направлению отдачи (приобретаемый импульс, в пределах соотношения неопределенностей совместимый со знанием положения) атома, мы в принципе можем узнать, откуда прилетел фотон – из лазера или от *нашего* источника. Как только атом получил фотон, мы (как-нибудь) принудительно релаксируем атом в нижнее состояние, и детектор снова готов к работе. Как только поглощенный фотон прилетел слева, а не сверху, отсчет закончен. Можно просто подставлять на это место невозбужденный атом.

Время движения фотона от *нашего* источника до детектора определяется количеством полученных фотонов от лазера.

(В) *Почему физическое время не течет, пока движутся сигналы запроса (и ответные сигналы подтверждения и отказа)?*

Рис. 3 дает ответ на этот вопрос. Сигнал поиска от *нашего* источника будет обработан в порядке очереди, то есть *после* (во внутреннем времени) тех сигналов со звезды, что стоят в очереди перед ним.

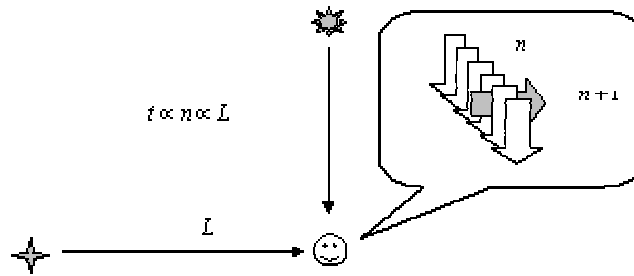


Рис. 3. Очередь из сигналов запроса гарантирует постоянство скорости света

С другой стороны, когда атом, наконец, пошлет запрос к *нашему* источнику, следующие в очереди сигналы (от звезды) ждут своей очереди – и физическое время не тикает. Допустим, что все сигналы от звезды получают подтверждение. Тогда физическое время полета нашего фотона равно количеству сигналов в очереди *перед нашим* сигналом.

Нетрудно понять, что количество сигналов поиска, стоящих в очереди перед *нашим* сигналом, в экспериментальной схеме на рис. 6 пропорционально расстоянию от *нашего* источника до детектора.

Таким образом, как бы долго не происходила конкуренция детекторов во внутреннем времени, физическое время движения фотона, *если* он регистрируется, всегда пропорционально расстоянию между источником и детектором.

Ясно также, что предложенная схема наиболее проста в случае, когда все сигналы движутся во внутреннем времени с одинаковой скоростью (скоростью света). Именно поэтому мы говорим о «фотонах», а не каких-то других частицах.

(Г) Следует отметить, что идея использовать стабильную линию светового излучения как *принципиальный* способ измерения времени был впервые предложен Л. Бриллюэном [2]. При этом Л. Бриллюэн не оговаривал, что именно является единицей измерения. Похоже, он по умолчанию считал, что это период колебаний. Но в этом случае мы должны иметь классический осциллятор (диполь), воспринимающий поле электромагнитной волны. На самом деле поглощение света *в принципе* квантуется. Поэтому мы говорим не о *единице* времени, а о его *кванте* – единичном акте поглощения.

Любопытно также, что в работе [2] Л. Бриллюэн недоумевал по поводу де-факто сложившуюся практику, когда стандарты и времени, и расстояния определяются одним и тем же явлением – испусканием узкой атомной линии (у криптона и цезия). С нашей точки зрения, совсем наоборот – эта практика де-факто признает, что как расстояние, так и время *в принципе* измеряются одним и тем же способом.

Более того, в этом факте мы видим внутреннее, еще плохо осознанное единство релятивистской теории и квантовой теории. Мы полагаем, что релятивистские свойства мира и квантовые свойства – это одно и то же.

4. Получение точных КЭД - амплитуд

(А) Мы полагаем, что принципиально совсем несложно перейти от упрощенной модели без интерференции к модели, дающей точную квантово-электродинамическую амплитуду для одного фотона (с интерференцией).

Полная (без зависимости от времени) амплитуда для одного фотона вычисляется следующим образом (согласно [3]). Фотон «перемещается» от источника к детектору всеми возможными путями. Каждый такой экземпляр пребывает в детектор вместе с показаниями «часов» – комплексным числом единичной длины. Полный поворот часов при движении вдоль траектории соответствует длине волны фотона. В детекторе происходит сложение всех этих комплексных величин. Суммарный вектор и есть амплитуда данного процесса. Вероятность детектора попасть в данный детектор пропорциональна квадрату длины полученной стрелки.

Ясно, что нашу упрощенную схему в принципе можно привести в соответствие с этой процедурой вычисления полной КЭД – амплитуды. Для этого необходимо, чтобы сигналы поиска меняли собственную фазу на пути к детекторам, так же, как это делают экземпляры фотона, достигающие детектор всеми возможными путями в методе Фейнмана интегрирования по путям. При этом скрытые узлы пространственной решетки пропускают сигналы поиска сквозь себя без изменений, в то время как реальные (физические) узлы, соответствующие детекторам, умеют векторно складывать фазы сигналов поиска и отправлять в обратную сторону (к источнику) сигналы запроса.

Теперь сигналам запроса будем приписывать некую интенсивность. Лотерея в скрытых пространственных узлах будет разыгрываться так же, как и в упрощенной схеме, но теперь каждый сигнал запроса имеет шансы на победу пропорциональные его интенсивности. Правило «в каждом узле выживает единственный входящий сигнал запроса» остается в силе.

Таким образом, конкуренция сигналов запроса от детекторов протекает практически так же, как в упрощенном случае. Разница только количественная.

(Б) В модели с интерференцией также можно построить очередь сигналов запроса, важную для процедуры сшивки. Обсудим здесь вопрос, который мы временно обошли, обсуждая модель без интерференции. Дело в том, что, как нетрудно видеть из рис. 1, сигналы запроса достигают каждого потенциального детектора несколькими путями. Значит, в детектор входит *несколько* сигналов запроса, соответствующих одному и тому же источнику. В то же время, процедура сшивки и очередь сигналов запроса (рис. 4) по умолчанию пока предполагала, что детектор воспринимает *каждый* вошедший сигнал запроса как пришедший от *отдельного* источника.

Мы предлагаем такое возможное решение возникшего противоречия. Разумно допустить, что сигналы запроса от одного источника, *последовательно* поступающие в детектор, незначительно отличаются по фазе: $\Delta\Phi \ll 1$. В то же время, сигнал от некоего второго источника, *скорей всего* (хотя, и не гарантированно), не будет удовлетворять этому соотношению. Можно представить, что детектор продолжает векторно суммировать входящие сигналы, пока их фазы отличаются на величину, менее некоторого порога: $\Delta\Phi \ll \varphi_0 \ll 1$. Когда очередной вошедший сигнал превысит этот порог, детектор закончит суммирование и пошлет соответствующий этому источнику сигнал запроса. При этом детектор поставит последний сигнал запроса в очередь, и приступит к векторному суммированию для следующего источника.

Подчеркнем, это только одно возможное решение. Нас могут спросить: а как быть в случае, если «чужой» сигнал запроса все-таки случайно попадет в диапазон $\Delta\Phi \ll \varphi_0$? Ведь в этом случае детектор «запутается» в источниках? Кто знает, может, и хорошо, что запутается. Возможно, это

как раз соответствует какому-то известному эффекту, который просто сразу не приходит в голову. Надо разбираться детально. Именно к этому мы и призываем молодых и амбициозных теоретиков: «Бросайте всё! Занимайтесь концепцией скрытого времени, и вы получите Клондайк результатов».

Отметим, что если принять предложенную схему, то реально получится, что экземпляры фотона достигают детектора не всеми возможными путями, а только такими, которые попадают в некоторый «коридор». Что ж, и это тоже хорошо. По крайней мере, это заведомо так для квазиклассических траекторий, когда коридор представляет собой узкий пучок рядом с классической траекторией [4].

(В) К сожалению или к счастью для нас как авторов, идея обратных сигналов (от детектора к источнику) не нова. Известны транзакционная интерпретация квантовой механики (ТИКМ) Джона Крамера [5] и теория элементарных волн (ТЭВ) Льюиса Литтла [6].

Что касается ТИКМ, то эта концепция, к сожалению, ничего не говорит об амплитуде перехода и механизме выбора конкретного детектора (т.н. «редукция»). ТЭВ почти в тех же терминах, что и мы, говорит о конкуренции сигналов, идущих от детектора. Но Л. Литтл предполагает, что такие сигналы распространяются в обычном физическом времени, что мы считаем недопустимым (аргументацию см. в [1]).

5. Обсуждение

(А) Предложенная концепция воскрешает идею скрытых параметров, перенося их эволюцию в скрытое время. В отличие от известной интерпретации квантовой механики Де Бройля – Д. Бома [7], использовавшей нелокальные скрытые параметры, наши параметры локальны, по крайней мере, в математическом смысле. В физическом смысле концепция не локальна, если считать скрытое время лишь принадлежностью матаппарата. Но, если принять аргументы, изложенные во введении, то концепция вполне может оказаться локальной, в том числе, и в физическом смысле.

(Б) Предложенная концепция, разумеется, описана далеко не исчерпывающим образом. Вопросов остается больше чем ответов. Среди таких вопросов мы бы перечислили такие:

- описание динамических экспериментов;
- описание многочастичных экспериментов и вывод соответствующих амплитуд с перекрестными членами;
- вывод амплитуд, зависящих от времени.

Что касается динамических экспериментов, здесь мы не видим никаких существенных проблем, и планируем, что наша следующая работа будет посвящена как раз этому.

Сейчас можно отметить, что использование скрытого времени и атомов, неподвижных относительно друг друга (и решетки скрытых узлов), почему-то вызывает смущение у многих наших коллег. Скрытая пространственная решетка ассоциируется с абсолютной системой отсчета. Утверждается так же, что схема в принципе годится лишь для статических экспериментов.

Никакой АСО в модели нет. Можно сказать, что есть *скрытая* «АСО», но, поскольку это никакая не *физическая* АСО, это ничему не противоречит. Сигналы скрытых переменных могут распространяться в скрытом пространстве, как в абсолютном

эфире, важно лишь, чтобы релятивистские соотношения выполнялись между *физическими* точками пространства-времени. А эти точки, как объяснено выше, суть вполне определенное *подмножество* скрытого пространства-времени (см. также пункт (в) данного раздела).

(В) Мы вполне отдаем себе отчет в том, что предложенная концепция может оказаться в принципе негодной по какой-то фундаментальной причине. Но это очень простая и прямолинейная концепция. Скажем так: идея конкуренции детекторов как объяснение вероятностного характера квантовых явлений настолько очевидна, что, на наш взгляд, с концепции именно такого рода должно было бы исторически начаться создание теории микроскопических явлений.

Поэтому, если есть причина, по которой строить теорию *так* нельзя, то эту причину надо обязательно выяснить.

Мы бы провели аналогию с исторически первой моделью турбулентности, предложенной Л. Д. Ландау [8]. Модель, как показал эксперимент, оказалась неверной, *и именно в этом* была ее ценность. Очень важно было понять, что такая простая модель, как связанные нелинейные осцилляторы, не годится по неким фундаментальным причинам.

(Г) Мы делаем еще одно простое предположение. Если допустить, что заряды «переговариваются» друг с другом в скрытом времени, прежде чем завершить транзакцию и обменяться фотоном, то у таких переговоров есть некий «протокол». Заряды при этом выступают в роли неких приемников и передатчиков, осуществляющих определенную обработку сигналов. Этот механизм можно «взломать», отталкиваясь лишь от одного простого критерия: модель должна давать те же амплитуды, что и стандартная квантовая теория.

Рискнем предположить, что при этом станет возможным (по крайней мере, *в принципе*) вычислить значение постоянной тонкой структуры

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}.$$

Во всяком случае, сразу можно предложить такую краткосрочную программу. Можно придумать так называемый искусственный мир, с крайне упрощенной «физикой». Эта физика должна быть квантовой. В этом мире возможно в численном эксперименте определить *его* константы.

Здесь следует отметить, что значение *сверх-упрощенных* моделей в физике часто недооценивается. Между тем, их роль огромна. Для примера приведем миллиарды Синая [9], указавшие фундаментальное явление разбегания фазовых траекторий и его значение для обоснования статистической физики, и «шестереночную» модель Дж. Максвелла [10]. Эта модель, как позднее отмечал Л. Больцман, была крайне важным (и даже гениальным) шагом на пути к точным уравнениям Максвелла.

Мы полагаем, что вычисление констант «игрушечного» мира (со скрытым временем!) может указать принципиальный путь к вычислению «настоящих» констант

Литература

1. П.В. Куракин, *Скрытое время и скрытые параметры в квантовой теории*, препринт ИПМ РАН, 2004 г. (Работа выложена в WEB: <http://hiddentime.narod.ru>).
2. Л. Бриллюэн. *Новый взгляд на теорию относительности*, М. Мир, 1972.

3. Р. Фейнман. *КЭД – странная теория света и вещества*. М. «Наука», Библиотечка журнала «Квант», 1988 г.
4. Р. Фейнман, А. Хибс. *Квантовая механика и интегралы по траекториям*. М. «Мир», 1968 г.
5. J. Cramer, *Transactional Interpretation of Quantum Mechanics*, Reviews of Modern Physics **58**, 647-688, June 1986. (Работа выложена в WEB: http://mist.npl.washington.edu/npl/int_rep/tiqm/TI_toc.html).
6. Lewis E. Little, *Theory of Elementary Waves*. Physical Essays, vol. **9**, No. 1, 1996. (Работа выложена в WEB: <http://www.yankee.us.com/TEW/>).
7. «Вопросы причинности в квантовой механике». М., Издательство иностранной литературы, 1955 г.
8. Л.Д. Ландау, *К проблеме турбулентности*, Доклады АН СССР, 44, стр. 30 – 39, 1944.
9. Я.Г. Синай, *Динамические системы с упругими отражениями. Эргодические свойства рассеивающих бильярдов*. «Успехи мат. наук», 1970, т. 25, № 2, стр. 141 – 192.
10. Джемс Клерк Максвелл. *Избранные сочинения по теории электромагнитного поля*. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., 1954 г.