

## Атемпоральные принципы многомировой интерпретации

О.О. Фейгин

(Получена 31 июля 2007; опубликована 15 октября 2007)

Рассматриваются общие принципы темпорализации многомировой интерпретации окружающей действительности путем введения в квантовую теорию Мультиуниверсума атемпоральной парадигмы. Предлагается методологическая основа универсализации и расширения многомирового подхода в границах квантовой хронофизики. Исследуется роль и значение атемпоральных многомировых сценариев в хроноквантовой космологии. Концептуируется построение конструктива единой стрелы времени и принципиальные аспекты детерминации физических событий.

*«Мы можем ввести в стандартную релятивистскую теорию системы, которые представляют собой наблюдателей. Такие системы могут быть задуманы как автоматически функционирующие машины (сервомеханизмы), обладающие регистрационными устройствами (памятью) и которые способны отвечать на воздействие окружающей среды. Поведение этих наблюдателей можно всегда рассматривать в пределах традиционной волновой механики. Кроме того, мы вводим вероятностные утверждения для процессов как субъективные проявления сознания наблюдателя, ставя, таким образом, теорию в полное соответствие опыту. Так мы приходим к новому умозаключению, в котором формальная теория является объективно непрерывной и причинной, и в то же время субъективно дискретной и вероятностной»*

*Хьюго Эверетт III 'Relative State Formulation of quantum mechanics', Review of Modern Physics 29, pp. 454-462 (1957).*

Многомировая интерпретация /ММИ/ нашей действительности имеет в своей основе одну из специфических концептуальных форм квантовой механики, возникшую в 50-х годах XX века. Согласно данной концепции, в дополнение к непосредственно познаваемому нами Миру есть много других подобных миров, которые существуют параллельно в том же самом пространстве и времени. Одной из конечных целей разработки теории ММИ было попытка удалить рандомизацию и дальнодействие как из квантовой теории, так и из всей физики в целом. История возникновения ММИ начинается с работ Х.Эверетта, включавших предположение о существовании практически бесконечного числа миров во Вселенной в дополнение к Миру нашей реальности. В частности каждый раз, когда выполняются квантовые эксперименты с различными результатами, имеющими ненулевую вероятность, ММИ позволяет считать, что каждый фиксируемый результат соответствует различному миру, хотя мы знаем, что непосредственно наблюдаемый результат принадлежит только нашему Миру [1, 2].

Формулировку Эверетта квантовой механики можно отнести к попыткам решить проблему квантовомеханических измерений, путем своеобразного разбиения процесса коллапса волновой функции в стандартной теории Неймана-Дирака. Для этого эмпирические предсказания стандартной теории рассматривались как субъективные опыты наблюдателей, которые сами по себе представляют физические системы, описываемые в соответствии с данной теорией. Одной из главных проблем теории Эверетта является неясность механизмов практической реализации ММИ. В свое время, было предпринято несколько попыток реконструировать «безколлапсионную» теорию Эверетта, чтобы объяснить очевидную

определенность результатов квантовых измерений. Наиболее известны построения Д.Уилера и Б.Девитта. В конечном итоге эти попытки привели к таким формулировкам квантовой механики как многомировая, многих индивидуальных сознаний наблюдателей, многих квантовых историй и многомировой хроноквантовой атемпорализации. Общими чертами разнообразных концептуализаций ММИ можно считать сопоставление образу Вселенной функции состояния, которая никогда не испытывает недетерминированного коллапса и подчиняется уравнению Шредингера. Другая особенность ММИ состоит в предположении, что это вселенское состояние является квантовой суперпозицией нескольких (а возможно, и бесконечного числа) состояний одинаковых невзаимодействующих между собой параллельных вселенных.

В настоящей работе рассматриваются некоторые аспекты применения многомировой интерпретации в реляционной квантовой хронофизике. На основании полученных теоретических результатов делаются выводы о наиболее перспективных направлениях дальнейшего развития теории многих хроноквантовых историй [3-5].

Стандартная формулировка квантовой теории Неймана-Дирака включает несколько основополагающих принципов:

**Представление состояний:** возможные физические состояния системы  $S$  представляются отдельными векторами единичной длины в гильбертовом пространстве (которое для прикладных целей КМ можно считать линейным с внутренним произведением).

**Представление свойств:** для каждого физического параметра  $P$ , который можно наблюдать в системе  $S$ , есть линейный проективный оператор  $P$ , представляющий свойства данной квантовой системы.

**Связь собственных состояний и собственных значений:** система  $S$  определенно содержит физический параметр  $P$ , если и только если  $P$ , воздействуя на  $S$ , приводит к  $S$ . Мы говорим тогда, что  $S$  является собственным состоянием  $P$  с собственным значением 1. При этом  $S$  определенно не имеет свойств  $P$ , если и только если  $P$ , воздействуя на  $S$ , приводит к 0.

**Динамика:** Если над квантовой системой не проводятся измерения, то она развивается непрерывно согласно линейной, детерминированной динамике, которая, зависит только от энергетических свойств системы. Если над системой проведено измерение, то данная система мгновенно и хаотично переходит в состояние, где или определенно имеет, или определенно не имеет измеряемого свойства. Вероятность реализации каждого возможного состояния постизмерения определяется начальным состоянием системы. Более определенно можно сказать, что вероятность реализации специфического заключительного состояния равна норме, возведенного в квадрат произведения проекций начального и конечного состояний.

Таким образом, чтобы система определенно имела некоторое специфическое свойство, вектор, представляющий состояние системы должен входить в луч (или подпространство) в пространстве состояний, представляющем данное свойство, и чтобы определенно не иметь такого свойства, вектор состояния системы должен лежать в плоскости (или подпространстве) ортогонально к этому пространству. Вообще говоря, большинство векторов состояния будет ни параллельно, ни ортогонально к данному лучу (или подпространству). Далее, стандартная детерминированная динамика квантовой системы не может гарантировать, что система будет определенно иметь, или определенно не иметь некоторое специфическое свойство, когда каждый наблюдает, имеет ли система данное свойство. Это - то, почему динамика коллапса необходима в стандартной формулировке квантовой механики. Это - динамика коллапса, которая гарантирует, что система будет или определенно иметь, или определенно не иметь специфическое свойство всякий раз, когда

проводится наблюдение. Но линейная динамика также необходима, чтобы объяснять квантовомеханические интерференционные эффекты. Так что стандартная формулировка квантовой механики имеет два динамических закона: детерминированный, непрерывный и линейный описывающий, как система развивается, когда нет измерений, и случайный, прерывистый и нелинейный описывающий, как система развивается, когда проводятся измерения.

Чтобы сохранить внутреннее органическое единство квантовой механики и основных положений, Эверетт предположил, что стандартная формулировка коллапса не могла использоваться для описания систем с внутренними наблюдателями. Для Эверетта, это ограничение на применимость квантовой механики было недопустимо. Эверетт хотел так переформулировать квантовую механику, чтобы она могла быть применена к любой физической системе вообще без разделения на классы наблюдателей. Чтобы решить проблему кватовых измерения, Эверетт предложил понизить уровень динамики коллапса и вывести стандартные статистические предсказания квантовой механики из субъективных опытов наблюдателей, которых необходимо рассматривать как обычные физические системы в пределах новой теории.

Если применить ММИ для лабораторных измерений наблюдателем  $D$ , в состоянии готовности  $D(0)$ , какого либо существенно дуального параметра  $x$  некоторой квантовой физической системы  $S$  (например, спина в положении  $a$  и  $b$ ), то можно получить следующие вариации:

$$|D(0)\rangle |S[x(a)]\rangle \Rightarrow |D[x(a)]\rangle |S[x(a)]\rangle, \quad (1)$$

$$|D(0)\rangle |S[x(b)]\rangle \Rightarrow |D[x(b)]\rangle |S[x(b)]\rangle. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что если наблюдатель измеряет систему, которая детерминирована определенным направлением спина, то и в его отчете будет присутствовать именно данная детерминация. Теперь рассмотрим случай, когда наблюдатель фиксирует параметры системы, которая определяется наложением собственных дуальных состояний спина:

$$c(1) |S[x(a)]\rangle + c(2) |S[x(b)]\rangle. \quad (3)$$

Процесс измерений, аналогичных (1) и (2), в такой сложной системы будет иметь вид:

$$|D(0)\rangle \{c(1) |S[x(a)]\rangle + c(2) |S[x(b)]\rangle\} \Rightarrow c(1) |D[x(a)]\rangle |S[x(a)]\rangle + c(2) |D[x(b)]\rangle |S[x(b)]\rangle. \quad (4)$$

В стандартной квантовомеханической формулировке коллапсионной редукции, в течение измерения исходное состояние (3) разрушилось бы и свелось к любому из слагаемых правой части (4) с вероятностями  $c(1)$  или  $c(2)$ . Но, по предположению Эверетта, никакого коллапса не происходит. Согласно ММИ существует специфическое состояние постизмерения, которое является запутанным в результате наложения регистрации наблюдателем результата измерения и состоянием квантовой системы с определенным параметром. Здесь стоит заметить, что Эверетт всегда признавал, что состояние постизмерения подобное (4), является одним из наиболее трудно интерпретируемым положением ММИ. Так, согласно парадигме ММИ, в результате взаимодействия наблюдателя с квантовой подсистемой возникает специфическое состояние измерительного аппарата (4), который больше не способен к независимому определению параметров. Впоследствии определение объективных характеристик квантовой системы возможно только

относительно внесистемной «внешней» лаборатории детектирующей состояния квантового объекта в целом.

Это неопределенное результирующее поведение, кажется противоречащим нашему повседневному опыту, так как физические объекты в окружающей реальности всегда имеют определенную позиционную дислокацию. Проанализируем данную ситуацию, представив лабораторного наблюдателя, как подсистему сложной системы: наблюдатель + объект. Тогда, после измирительного взаимодействия данных подсистем (4), там не будет вообще существовать отдельное состояние наблюдателя, однако, будет наложение сложных состояний системы, где каждый элемент содержит определенное состояние наблюдателя сопряженное с фиксированным состоянием системы объекта. Кроме того, как мы видим, каждое из этих относительных состояний системы объекта будет, приблизительно, собственными состояниями наблюдения, соответствующего значению, полученному наблюдателем, который описывается тем же самым элементом наложения. Таким образом, каждый элемент конечного наложения описывает наблюдателя, который зафиксировал определенный и вообще различный результат, и которому кажется, что состояние системы объекта перешло в соответствующее собственное состояние. В этом смысле обычные утверждения о редукционном коллапсе волновой функции, сводятся к субъективному уровню восприятия каждого наблюдателя, описываемого элементом наложения.

В данном аспекте интересен введенный Эвереттом принцип т.н. фундаментальной относительности квантовых механических состояний. На этом принципе основывается суждение, что в некотором специфическом состоянии, наблюдатели, зарегистрировавшие определенный параметр квантового объекта (например, положение спина), могут заявить, что измеряемая квантовая подсистема находится именно в данном состоянии. Но этот принцип не может сам по себе обеспечить определенную фиксацию измерений, предсказываемых стандартной квантовомеханической формулировкой редукционного коллапса волновой функции. Стандартная формулировка предсказывает, что при измерении квантовомеханическое состояние сложной системы разрушается и точно сводится к одному из следующих двух состояний:

$$|D[x(a)]\rangle |S[x(a)]\rangle \text{ или } |D[x(b)]\rangle |S[x(b)]\rangle. \quad (5)$$

Таким образом, осуществляется единственный вариант состояния квантовой подсистемы, о который может зафиксировать наблюдатель.

Проведенный краткий анализ показывает, что в случае ММИ проблема состоит в том, что существует разрыв в описании Эверетта между тем, что он намеревается объяснить и тем, чем он, в конечном счете, заканчивает высказывание. Так, он намеревается объяснить, почему наблюдатели получают точно те же самые отчеты об измерениях как предсказывает стандартная формулировка коллапса, но он заканчивает выводом, из которого неясно каким образом наблюдатель имеет определенные отчеты после типичного измерения. Так же неясно, как с помощью ММИ объяснить конкретные зафиксированные результаты измерений, а также, почему нужно ожидать, что итоговые лабораторные отчеты будут соответствовать стандартной квантовой статистике. Этот пробел в описании Эверетта приводит ко многим взаимно несовместимым реконструкциям ММИ квантовой механики. Каждая из этих разнообразных реинтерпретаций имеет цель объяснить, как лабораторные отчеты наблюдателей могут быть параметрически фиксированы субъективным или объективным образом. Аналогично, вариации ММИ должны содержать четкий ответ на вопрос о роли и значении мировоззренческого статуса детектора в состоянии постизмерения квантовых состояний, подобных специфическому эвереттовскому состоянию.

Ряд вышеприведенных критических замечаний можно было бы устранить кардинальным образом, введя в теорию ММИ атемпоральную парадигму [5-7]. Атемпоральная концептуализация основных положений ММИ может включать следующее:

1. Замена (под)пространственной рандомизации на темпоральную.
2. Сведение темпоральных границ редукционного коллапса волновой функции к хроноквантовому масштабу.
3. Конструирование стрелы времени.

Замена подпространственной рандомизации на темпоральную предполагает наличие новой обобщенной формы для выражений (1) и (2):

$$|D[t(0)]\rangle |S[x(i)]\rangle \xrightarrow{t(j)-t(0)} |D\{t[x(j)]\}\rangle + |S\{t[x(j)]\}\rangle, \quad (6)$$

где  $D$  – темпоральный детектор,  $S[x(i)]$  –  $i$ -параметризованная квантовая подсистема;  $t(j)-t(0)$  – временной интервал детектирования;  $\xrightarrow{\quad}$  – темпоральный переход в границах выделенного хронокванта [8].

Соответственно, для сложного случая атемпоральной редукции дуальной суперпозиции (4), получаем

$$|D(0)\rangle \{c(1) |S[x(a)]\rangle + c(2) |S[x(b)]\rangle\} \xrightarrow{t(1)} c(t(1)) |D\{t(1)[x(a)]\}\rangle + |S\{t(1)[x(a)]\}\rangle, \quad (7)$$

$$|D(0)\rangle \{c(2) |S[x(a)]\rangle + c(1) |S[x(b)]\rangle\} \xrightarrow{t(2)} c(t(2)) |D\{t(2)[x(a)]\}\rangle + |S\{t(2)[x(a)]\}\rangle. \quad (8)$$

Подытожим сказанное, итак атемпоральная ММИ предстает как еще один вариант реинтерпретации квантомеханических представлений, который предполагает существование последовательных во времени вселенных. В каждой из них действуют одни и те же законы природы с набором одних и тех же мировых констант, но все они находятся в разных темпоральных состояниях. В определенном смысле атемпоральную ММИ можно рассматривать как отказ от концептуирования недетерминированного коллапса волновой функции, который сопутствует понятию «измерение» в копенгагенской интерпретации. Атемпоральные аспекты ММИ основываются на явлении темпоральной квантовой запутанности, а для объяснения эффектов, происходящих при измерении, привлекается явление атемпоральной декогеренции, которая происходит, когда состояния взаимодействуют с окружающей средой в границах выделенных хроноквантов.

Хотя со времени выхода первых оригинальных работ по квантовой хронодинамике уже было предложено несколько новых версий атемпоральной ММИ, всем им свойственно два основных момента. Первый состоит в существовании атемпоральной функции состояния для всей Вселенной, которая в целом описывается соотношением Шредингера и которая никогда не испытывает недетерминированного коллапса. Второй момент состоит в предположении, что это вселенское состояние является хроноквантовой суперпозицией нескольких состояний разновозрастных темпорально взаимодействующих между собой последовательных вселенных.

Атемпоральная ММИ является одной из многих многомировых гипотез в физике и философии. На сегодняшний день она имеет определенные перспективы развития, наряду со стандартной ММИ, копенгагенской интерпретацией и интерпретацией согласованных хронологий.

Как и другие интерпретации, атемпоральная ММИ дает свое видение результатов классического опыта по двухщелевому рассеиванию квантов электромагнитного излучения.

Напомним элементарные факты, что когда кванты проходят через двухщелевой интерферометр их результирующее положение определяется из требований корпускулярно – волнового дуализма. Чтобы объяснить переход от волнового процесса к корпускулярным представлениям, согласно копенгагенской интерпретации вводит процесс так называемого *коллапса волновой функции*.

Если вернуться к истокам ввода представлений о данном явлении, то необходимо вспомнить своеобразный постулат дуальности процесса изменения волновой функции. Согласно нему это может быть либо скачкообразное случайное изменение, вызываемое наблюдением и измерением, либо детерминированная темпоральная эволюция в соответствии с уравнением Шредингера. Еще Эйнштейн признавал, что явление коллапса волновой функции, предложенного копенгагенской интерпретацией, является отчасти оригинальным искусственным приемом, что дает основания для поиска иных интерпретаций.

Атемпоральная ММИ как раз и предлагает одну из подобных альтернатив. Вслед за стандартной ММИ мы будем считать, что для составной системы утверждение о том, что какая-либо подсистема находится в определённом состоянии, является некорректным. Это сразу же приводит нас к заключению об темпорально относительном характере состояния одной системы по отношению к другой.

Формулировки квантовой хронодинамики, приводящие к пониманию процесса коллапса волновой функции, происходящего при измерении, математически эквивалентны хроноквантовой суперпозиции волновых функций. В формулировке атемпоральной ММИ, измерительный прибор и объект измерения образуют составную систему, каждая из подсистем которой до измерения существует в определённых атемпоральных состояниях в границах выделенных хроноквантов. Тогда и процесс измерения мы можем рассматривать как процесс атемпорального взаимодействия между элементами подсистем. Итоговый результат взаимодействия, возможно детектировать темпорально относительными состояниями хроноквантовой суперпозиции неких альтернативных историй.

## Литература

1. Доронин С.И. Мера квантовой запутанности чистых состояний// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL112004/p1123.pdf>
2. Доронин С.И. Магия запутанных состояний и современная физика// <http://physmag.h1.ru/theory.files/article.html>
3. Фейгин О.О. Физика атемпоральных квантовых переходов// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL132004/p3150.html>
4. Фейгин О.О. Модель хроноквантового континуума// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL132004/p3155.html>
5. Фейгин О.О. Квантовый Мультиуниверсум// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL212005/p1148.html>
6. Фейгин О.О. Хроноквантовое суперпозиционирование// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL222005/p2101.html>
7. Фейгин О.О. К вопросу о возможности корректной атемпоральной реинтерпретации квантовомеханических представлений// <http://www.quantmagic.narod.ru/volumes/VOL312006/p1101.html>
8. Фейгин О.О. Концептуирование хроноквантовой декогерентизации// <http://www.quantmagic.narod.ru/volumes/VOL342006/p4109.html>