

## Концептуирование хроноквантовой декогерентизации

Фейгин О.О.

[folor@bigmir.net](mailto:folor@bigmir.net)

(получена 15 сентября 2006; опубликована 15 октября 2006)

Рассматриваются различные темпоральные аспекты явления декогерентизации состояний квантовых микрообъектов и их макросистем. Делается попытка хроноквантовой реинтерпретации процесса декогерентизации с учетом ее новой роли в квантовой теории измерений и квантовой информатике. Сопоставляются общие принципы теории декогерентизации и хроноквантовой локализации при изучении различных типов спонтанных взаимодействий между микросистемами и их квантовым окружением на примере моделирование многощелевой интерференции с последующим атемпоральным редуцированием состояния системы. Анализируется темпоральный масштаб квантовых явлений в процессе декогерентизации, в частности феноменология квантовой хронодискретизации. Логически выводиться концептуализация решений для проблематики квантовой стрелы времени, реинтерпретации атемпоральных квантовомеханических представлений и перехода к классичности окружающей материальной действительности.

Экспериментальная парадигма декогерентизации основывается на анализе многощелевой интерференции, при которой квантовые частицы преодолевают диафрагму с несколькими отверстиями и фиксируются на экране, давая некоторое распределение вероятностей точек на его поверхности. В классической физике подобное распределение вычисляется путем перемножения вероятности прохождения через каждое отверстие и условной вероятности фиксации с последующим суммированием для всех пучков. В квантовом случае для суммарной вероятности вводится добавочный интерференционный член, который зависит от волновых компонент частиц, проходящих через все отверстия. Следовательно, квантовое состояние микрочастицы не сводится к описанию волны, проходящей через единичное отверстие, даже с учетом вероятностной неопределенности [1].

Однако, ситуация изменяется для модифицированной многощелевой интерференции с детектированием в плоскости диафрагмы, т.к. измерение импульса отдачи диафрагмы делает интерференционные координаты неопределенными. Возможна и спонтанная деструкция интерференционного члена при взаимодействии с квантовым окружением на дистанции диафрагма - экран. В этом случае интерференционный член не наблюдается, т.к. микрочастица запутывается с квантовым окружением, а фазовые соотношения между интерференционными компонентами определяются на уровне охватывающей системы: частица + окружение. Последний физический феномен и составляет предмет изучения теории декогерентизации, включая концепцию совместных декогерентных историй. Таким образом, смысловое содержание декогерентизации, как абстрактного математического формализма, определяется требованием вычислимости квантовых вероятностей для волновых компонент по

их начальным условиям, согласно стандартным классическим формулам для редукиции волнового пакета [2, 3].

*Теория атемпоральной (хроноквантовой) декогерентизации* изучает динамику спонтанных квантовых взаимодействий в темпоральном масштабе характерного планковского времени. В моделях таких взаимодействий проявляются темпоральные аспекты подавление интерференции в зависимости от скорости и длительности процессов, в рассматриваемой системе и ее окружения вблизи границ выделенного хронокванта [4, 5]. Окружение стремится объединиться с системой и подавить интерференцию между выделенным дискретным множеством состояний за границами хронокванта. Робастность этих выделенных состояний определяется квантовым временем взаимодействия с окружением, и пока система запутана с окружением, состояния, между которыми интерференция подавляется, оказываются состояниями с наименьшим временем взаимодействия с окружением. Таким образом, атемпоральная декогерентизация порождает эффективную селекцию квантовых состояний, как некоторое обобщение формализма квантовой механики для коммутации классически наблюдаемых величин.

Атемпоральная робастность приводит к возможности реидентификации волновых компонент микрообъектов за некоторый хроноквантовый промежуток времени, и это позволяет говорить об атемпоральных пространственных траекториях для выделенных состояний в эволюции редуцированных систем. В случае связанных с декогерентией взаимодействий в форме совместной оценки приближенных значений координат и импульса, выделенные состояния явно являются хронолокализованными волнами Шредингера. В этом случае, траектории на уровне компонент (траектории выделенных состояний) могут быть аппроксимированы соответствующими классическими траекториями. С точки зрения квантовой хронофизики это можно объяснить тем, что выделенные состояния в виде волновых пакетов, локализованных по координатам и импульсу, в течении хронокванта незначительно запутываются с окружением с соответствующим возмущением уравнения Шредингера. Здесь задачей будущего является построение феноменологии макроквантового атемпорального взаимодействия произвольной системы с некоторым окружением. Это является задачей детальных физических исследований – выяснить, для каких макроквантовых систем характерно отсутствие атемпоральных свойств, и какие общие выводы мы можем извлечь из изучения частных явлений туннелирования, сверхпроводимости и сверхтекучести [7].

То, что интерференция между локализованными состояниями макроскопических объектов подавляется на хроноквантовых эквидистанциях, заставляет предположить, что именно вследствие этого макроскопические объекты в действительности и предстают перед нами в виде локализованных состояний. Это тесно связано с классической проблемой измерений, т.к. отвечает на вопрос, почему мы не наблюдаем весь аппретурный базис состояний прибора для различных результатов. Квантовомеханические системы описываются волновыми математическими объектами (векторами), которые могут образовывать суперпозиции. Эволюция во времени, подчиняющаяся уравнению Шредингера, сохраняет такие суперпозиции.

В качестве примера можно рассмотреть квантовомеханическую систему, описываемую суперпозицией двух заданных состояний (например, спинами  $+1/2$  и  $-1/2$ ). Взаимодействие такой микросистемы с измерительным прибором, который реагирует на эти два состояния, в конечном итоге приводит к некоторому итоговому квантовому состоянию. Это объединенное состояние будет

суммой исходных компонент, в одной из которых прибор связан со значением (которое будет зарегистрировано) спина  $= +1/2$ . В другом случае прибор связан со значением (которое, также, будет зарегистрировано) спина  $= -1/2$ . Проблема состоит в том, что если мы можем допустить идею микроскопической системы, описываемой в виде подобной суперпозиции, то мы не можем даже представить себе смысл составного прибора и электрона, описываемого подобным образом.

Теперь, что происходит, если мы включаем в описание декогеренцию? Декогеренция говорит нам, помимо прочего, что существует большое число взаимодействий, в которых по-разному локализованные состояния макроскопических систем связываются с различными состояниями их окружения. В частности, по-разному локализованные состояния макроскопических систем могут представлять собой состояния вектора состояний прибора, регистрирующего различные значения спина электрона. В силу того же самого аргумента, структура из электрона, прибора и окружения будет представлять собой сумму состояний, отвечающего окружению, связанному с прибором, показывающим значение  $+1/2$  для спина, и состояния, отвечающего окружению, связанному с прибором, показывающим значение  $-1/2$  для спина. Итак, мы снова не можем представить себе, что все это означает для составной системы, описываемой в виде такой суперпозиции.

Независимо от того, привлекаем мы декогеренцию или нет, мы приходим к следующему выбору: либо составная система не описывается подобной суперпозицией, поскольку уравнение Шредингера нарушается и требует модификации, либо все же описывается, но тогда мы должны понять, что это значит, а это требует придания квантовой механике подходящей интерпретации. Таким образом, декогеренция как таковая не дает решения проблемы измерения, если только она, по крайней мере, не будет соединена с подходящей интерпретацией волновой функции. И действительно, как мы можем видеть, декогеренция лучше всего может быть понята в терминах атемпоральной реинтерпретации многомировой парадигмы.

Декогеренция не является собой, ни динамической эволюции, противоречащей уравнению Шредингера, ни новой интерпретации волновой функции, вместе с тем, она выявляет важные динамические эффекты, присущие эволюции, подчиняющейся уравнению Шредингера, и может внести свой вклад в формирование возможных интерпретаций волновой функции. С интуитивной точки зрения, если окружение проявляет себя без нашего вмешательства, в виде совокупности измерений координат, то проблема измерения должна рассматриваться более широко и включать также эти спонтанно происходящие измерения.

Действительно, как хорошо известно, локализованные состояния макроскопических объектов расплываются в процессе эволюции по Шредингеру (т.е. если нет взаимодействий) очень медленно, однако ситуация становится иной, если имеются взаимодействия с окружением. Хотя различные компоненты, которые связываются с окружением, локализуются непредсказуемым образом, коллективно они могут привести к расплыванию с амплитудой на много порядков больше. Это значит, что состояние объекта и окружения может представляться собой суперпозицию огромного числа хорошо локализованных членов, каждый со слегка отличной координатой, но которые в сумме расплываются на макроскопическое расстояние, даже в случае объектов, с которыми мы имеем дело повседневно.

Учитывая, что обыденные макроскопические объекты подвергаются, в частности, взаимодействиям, приводящим к декогеренции, это порождает вопрос,

может ли квантовая механика объяснить возникновение повседневного мира даже вне проблемы измерения в точном смысле слова. Упрощенно говоря, если что-то взаимодействует с чем-то еще, что-то запутано с чем-то еще, то это еще более трудноразрешимая проблема, чем запутывание измерительного прибора с измерительными датчиками. И действительно, обсуждение проблемы измерения без учета декогеренции (в полном объеме) может быть недостаточным, что хорошо иллюстрируется некоторыми версиями атемпоральной модельной интерпретации. Это позволяет предположить, что атемпоральная декогеренция может объяснить возникновение классичности повседневного мира именно на хроноквантовых эквидистанциях эволюции локализованной реальности нашего Универсума. Естественно, что на уровне компонент хроноквантовое описание феномена декогеренции может латентно продемонстрировать классические аспекты и на макротемпоральных интервалах.

Здесь возникает общий вопрос, действительно ли результаты атемпоральной декогеренции могут быть использованы для объяснения возникновения целостной классической картины окружающей Реальности в нашем варианте Мультиуниверсума. Ведь феноменологически адекватное описание должно включать объяснение таких кинематических и динамических свойств, как макроскопическая локализация в классическом приближении. Следует отметить, что имеются случаи, для которых классическое описание не имеет подходящей феноменологии, даже будучи примененным к макроскопическим системам (например, макроквантовое туннелирование, сверхпроводимость и сверхтекучесть). Соответственно, можно указать квантовые измерения, для которых классические аспекты повседневного мира являются только кинематическими параметрами (фиксированные значения вектора состояний), в то время как динамические аспекты оказываются в высшей степени неклассическими (индетерминистическая реакция прибора). В некотором смысле повседневный мир есть мир классический, как предположил Бор, в плане описания, в первую очередь, хроноквантовых феноменов, которые сами по себе оказываются следствиями атемпоральной декогеренции. Вопрос объяснения классичности повседневного мира становится вопросом о том, можно ли вывести из хроноквантовой физики условия, необходимые для создания предпосылок и осуществления на практике обоснования квантовой механики, и, таким образом, замкнуть логический круг. В такой общей постановке данный вопрос является, очевидно, слишком трудным для ответа и зависящим от того, как далеко сможет продвинуться физическая программа атемпоральной декогеренции.

Большинство из современных подходов к объяснению коллапсионной редукции волнового пакета, заключаются в модификации решений уравнения Шредингера. Часто данные построения исходят из требования подавления проявления суперпозиции различных полуклассических состояний или их выраженной метастабильности. Интуитивно кажется, что такие подходы мало согласуются с атемпоральной декогеренцией, хотя они пытаются описать эффект подавления в точности тех же суперпозиций, которые участвуют в атемпоральной редукции и хроноквантовой декогеренции.

В свое время фон Нейман предложил абсурдную идеалистическую идею о том, что сознание наблюдателя каким-то образом связано с тем, что он назвал Процессом I, иначе эта идея известна как постулат о коллапсе или проекционный постулат, который он в своей монографии поставил наравне с уравнением Шредингера (Процессом II по его терминологии). Имеется некоторая двойственность позиции фон Неймана. С одной стороны он защищал позитивистскую точку зрения на наше сознание, которое дает нам знать о том, что

волновая функция сколлапсировала, уточняя феноменологическое представление о процессе I. С другой стороны, в качестве альтернативы, он предлагал формально считать, что сознание играет некоторую причинную роль в проявлении коллапса. В этом случае Процесс I является физическим процессом, полностью наравне с Процессом II. В любом случае интерпретация фон Неймана идеалистична и малопродуктивна по своей природе и связывает интенсивность конечных предсказаний (которые мы осознанно ощущаем) в точности с тем, где и когда Процесс I используется для моделирования эволюции квантовой системы. Это часто упоминается как подвижность границы по фон Нейману между субъектом и объектом.

В данной интерпретации коллапсионная редукция волновой функции может происходить, когда частица попадает на экран, или когда экран чернеет, или когда делается автоматический отпечаток результата, или при попадании на нашу сетчатку или в зрительный нерв, или когда информация поступает в сознание. До и после коллапса эволюция системы описывается уравнением Шредингера. Фон Нейман ошибочно показывает, что все эти модели эквивалентны, в каком бы месте эти предсказания не формировались, так что сам коллапс якобы связан с сознанием, с учетом практики применения проекционного постулата на много более ранней (и более практической) стадии описания.

Что, однако, привело фон Неймана к выводу столь абсурдного результата? Вероятно, это предположение об отсутствии интерференции между различными компонентами волновой функции. Действительно, если бы интерференция имела место, то продолжительность коллапса влияла бы на финальную статистику, точно так же, как в случае эксперимента с двумя щелями (коллапс происходит за щелями или на экране).

Не менее пристального внимания заслуживает известная теория спонтанного коллапса. В ней концептуируется, что материальная частица спонтанно испытывает локализацию так, что в случайные моменты времени происходит коллапс в форме, используемой для описания оценки положения при измерении. В исходной модели коллапс происходит независимо для каждой частицы, а в более поздних моделях частота для каждой частицы взвешена в соответствии с ее массой, тогда результирующая частота коллапса связана с плотностью массы.

Таким образом, формально эффект спонтанного коллапса оказывается таким же, как в некоторых моделях атемпоральной декогеренции, по крайней мере – для одной частицы. Однако, существуют и определенные отличия. Так, мы имеем тривиальный коллапс вместо подавления интерференции, и спонтанный коллапс происходит без какого-либо взаимодействия между системой и окружением. В тоже время, в теории атемпоральной декогеренции подавление интерференции обычно осуществляется через взаимодействие с окружением на хроноквантовой эквидистанции.

Может ли стандартная декогеренция использоваться в хроноквантовой теории? Ситуация может оказаться довольно сложной, когда взаимодействие, порождающее декогеренцию, не связано преимущественно с измерением координатного положения (а например, вместо этого, сверхпроводящих токов), потому что коллапс и декогеренция могут в действительности быть разнонаправленными событиями. Но в тех случаях, когда основное взаимодействие, приводящее к декогеренции, также связано с измерением положения, ответ сводится к количественному сравнению. Если коллапс происходит быстрее, чем декогеренция, то суперпозиция компонент, связанная с декогеренцией, не имеет времени для нарастания, и таким образом теория хроноквантовой редукции волнового пакета охватывает классические феномены,

причем декогеренция не играет определяющей роли. Напротив, если декогеренция осуществляется быстрее, чем атемпоральный коллапс, то (как у фон Неймана) механизм коллапса может найти подходящие структуры, для которых осуществится редукция волновой функции. Таким образом, представляется, что атемпоральная декогеренция играет определенную роль и в теориях спонтанного коллапса.

С этим связан вопрос пригодности декогеренция для экспериментальной проверки теории хроноквантового коллапса. Действительно, хроноквантовая декогеренция может быть использована также в подходах, не связанных с коллапсом, таких, как теория волны-пилота и, особенно, интерпретация Эверетта (возможность атемпорализации которой мы обсудим в последующих работах). Тогда во всех случаях, когда декогеренция происходит быстрее, чем хроноквантовый коллапс это интерпретируется как очевидное проявление редукции. В то же время это может быть реинтерпретировано как стандартное подавление интерференции. И только в случаях, в которых теория хроноквантового коллапса предсказывает редукцию, но система заблокирована от декогеренции (или, возможно, коллапс и декогеренция действуют в различных направлениях) эта последняя может быть использована для экспериментальной проверки теории атемпоральной редукции.

Итак, требуются определенные усилия, чтобы можно было сделать обобщенные выводы, основанные на изучении только атемпоральных моделей декогеренции. С другой стороны, в плане объяснения возникновения классичности на основе атемпоральной декогеренции (вместе с подходящими основополагающими подходами), необходимо выяснить все возможные следствия ее применения. Прямым применением подходящей техники вывода классических траекторий на уровне компонент явилось использование ее для вывода хаотических траекторий в квантовой механике. С первого взгляда кажется, что проблемы квантового описания хаотического поведения не существует. Хаос, грубо говоря, характеризуется как крайняя чувствительность поведения системы к начальным условиям, причем расстояние между траекториями для разных начальных условий растет во времени экспоненциально. Поскольку эволюция, описываемая уравнением Шредингера, является унитарной, она сохраняет все скалярные произведения и все расстояния между векторами квантовых состояний. Таким образом, может показаться, что близкие начальные условия приводят к траекториям, которые равномерно близки во все моменты времени, так что хаотическое движение невозможно. Унитарность сохраняется, потому что векторы окружения, с которыми связаны различные компоненты, являются и остаются ортогональными: эволюция компонент как таковых остается нематериальной. Моделирование дает картину квантового хаоса, в которой различные траектории ветвятся (свойство, отсутствующее у классического хаоса, который является детерминистическим), и затем действительно расходятся экспоненциально. Подобно пересечению траекторий в теории де Бройля - Бома, здесь получается поведение на уровне компонент, которое качественно отлично от поведения, выводимого из волновой функции изолированной системы.

Другая претензия декогеренции на значимость связана с асимметрией времени, в частности с вопросом о том, может ли декогеренция объяснить несомненную направленность времени в нашем (классическом) мире. Этот вывод снова оказывается одним из тех, которые приводят к направленности времени на уровне компонент, и при этом вытекающих из симметричной во времени эволюции на уровне универсальной волновой функции (предположительно при специальных начальных условиях). Постольку поскольку (явный) коллапс

действительно является направленным во времени процессом, декогеренция будет иметь прямое отношение к происхождению этой «квантовомеханической стрелы времени». Связана ли декогеренция с другими типами стрелы времени – вопрос более тонкий и существуют самые разнообразные мнения по этому поводу.

В некоторых последних работах можно встретить замечания о том, что декогеренция может объяснить такой квантовый феномен, как *детектирование частицы*, так что концепция частицы в квантовой теории поля сама по себе оказывается следствием декогеренции. Это значит, что в категорию фундаментальных понятий включается только поля, а частицы оказываются производной конструкцией, в противоположность обычно используемой логике процедуры вторичного квантования. Таким образом, декогеренция, как кажется, предоставляет дальнейшие убедительные аргументы концептуального приоритета полей над частицами в вопросе интерпретации квантовой теории поля.

Наконец, можно высказать предположение, что по двум причинам атемпоральная декогеренция может оказаться полезной составной частью и теории квантовой гравитации. Во-первых, потому что подходящее обобщение теории хроноквантовой декогеренции до полной теории квантовой гравитации может приводить к подавлению интерференции между различными классическим проственно-временными областями. Во-вторых, декогеренция на хроноквантовых эквидистанциях темпоральной длительности процессов и явлений могла бы решить так называемую *проблему времени*, которая возникает как фундаментальная загадка в каноническом подходе к квантовой гравитации. Эта проблема заключается том, что фундаментальное уравнение Уилера – де Витта — аналогично *не зависящему* от времени уравнению Шредингера, и вообще не содержит времени. Иными словами, проблема крайне проста: откуда возникает время?

В контексте теории атемпоральной декогеренции можно попытаться сконструировать разнообразные модели, в которых аналог волновой функции Уилера – де Витта будет, раскладывается на не интерферирующие компоненты, разделенные хроноквантовым интервалом локализации на темпоральной оболочке континуума. Каждая из данных выделенных подсистем, в силу стандартных квантовых формализмов должна в полной мере удовлетворять *не зависящему* от времени хроноквантовому аналогу уравнения Шредингера. В данном смысле хроноквантовая декогеренция оказывается не только источником атемпоральной реальности окружающего Мультиуниверсума, но и служит основой конструктива стрелы субстанционально - реляционного времени. Доступное введение в эту концепцию и философское обсуждение подобных моделей дано в [6], где приведены также ссылки на оригинальные работы.

## Литература

1. Доронин С.И. Роль и значение квантовой теории в свете ее последних достижений// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL112004/p1101.html>
2. Доронин С.И. Мера квантовой запутанности чистых состояний// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL112004/p1123.pdf>
3. Доронин С.И. Магия запутанных состояний и современная физика// <http://physmag.h1.ru/theory.files/article.html>
4. Фейгин О.О. Физика атемпоральных квантовых переходов// <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL132004/p3150.html>

5. Фейгин О.О. Модель хроноквантового континуума//  
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL132004/p3155.html>
6. Фейгин О.О. Квантовый Мультиуниверсум//  
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL212005/p1148.html>
7. Фейгин О.О. Хроноквантовое суперпозиционирование//  
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL222005/p2101.html>
8. Фейгин О.О. К вопросу о возможности корректной атемпоральной реинтерпретации квантовомеханических представлений//