

Круглый стол
по фундаментальным проблемам квантовой механики
19 мая 2019, Институт философии РАН, Москва

Терехович В.Э.

Мнение по вопросам, вынесенным на обсуждение:

Существуют ли квантовые объекты (вектора состояния) между измерениями (пси-онтическая точка зрения)? Или волновая функция описывает только наше знание (пси-эпистемологическая точка зрения)?

Между измерениями квантовые объекты находятся в потенциальном модусе бытия в виде совокупности множества возможных состояний, несовместимых в актуальном модусе. Соответственно происходит сразу множество несовместимых возможных событий (историй). Каждое из них обладает определенными предрасположенностями к актуальному существованию. Амплитуду вероятности и ее комплексную фазу можно рассматривать как формальную численную меру таких предрасположенностей.

После измерения или декогеренции (запутывания с окружающей средой), в т.ч. в результате наблюдения, эти возможные состояния или события-истории переходят в актуальный модус существования. Наблюдатель, обладающий сознанием, не имеет здесь особой роли. Хотя, он, безусловно, вносит свой специфический вклад в создание различных формализмов для вычислений и интерпретаций для объяснения.

Вопрос о том, какой из двух модусов фундаментальный, а какой вторичный, требует отдельного изучения. С одной стороны, актуальные состояния и события всегда основаны на множестве потенциальных состояний и событиях, с другой стороны, каждое новое актуальное состояние и событие может породить множество новых состояний и событий, но уже в потенциальном модусе. Можно сказать, что каждому модусу соответствует своя сфера реальности, они существуют как бы «параллельно», непрерывно переходя друг в друга.

В чем достоинства двухмодусной модели существования: потенциальное-актуальное для описания квантовых явлений?

С одной стороны, язык модели двухмодусного существования имеет давнюю философскую традицию и хорошо разработан в рамках модальной онтологии и модальной логики. С другой стороны, пара понятий «потенциальное-актуальное» широко используется в физике. Достаточно упомянуть

вариационные принципы в различных разделах физики и ряд интерпретаций квантовой механики. Придание легитимности физическому существованию в потенциальном модусе снимает онтологическую неопределенность вокруг квантовых парадоксов, возникших из-за попыток примирить свойства квантовых систем со свойствами классических явлений. Если на макроскопическом уровне с определенной степенью приближения можно обойтись описанием в терминах актуального существования, то на квантовом уровне уже трудно игнорировать процесс перехода из потенциального модуса в актуальный. Тогда смысл комплексной фазы амплитуды вероятности можно было бы объяснить через ее отношение к потенциальному модусу существования.

Какие части формализма квантовой теории наиболее адекватно описывают существование квантовых объектов (вектор состояния, операторы поля, комплексная фаза, возможные пути в формализме интегралов по траекториям)?

Полагаю, что амплитуду вероятности и ее комплексную фазу можно рассматривать как численную меру предрасположенности каждого возможного состояния или события-истории перейти в актуальность. Эта мера не имеет самостоятельного онтологического статуса, которым обладает только предрасположенность. Смысл математической операции возведения в квадрат модуля амплитуды вероятности можно было бы связать с переходом из потенциального модуса к актуальному.

Как известно, в каком-то смысле классический принцип наименьшего действия можно рассматривать как предел формализма интеграла по историям Фейнмана. Хотя, скорее всего, это предел только в математическом смысле, поскольку оба формализма принадлежат к теориям, которые вряд ли имеют независимую метафизическую сущность. Думаю, что и классическое действие, и квантовое действие в фазе амплитуды вероятности являются разными физическими мерами некой метафизической сущности, которая состоит из стремления каждого возможного состояния или события к реализации в актуальном модусе. Отличие состоит в том, что первое относится к классическому фазовому или конфигурационному пространству, а второе – к гильбертовому пространству.

Возникает ли классический мир из квантового мира, и если да – то как?

Принятие двухмодусной модели бытия еще не объясняет, каким образом факт наблюдения или декогеренция способствует переходу квантовых состояний

в актуальность. Отдельного исследования требует механизм перехода от множества альтернативных потенциальных состояний или событий к уникальным состояниям и событиям в актуальном модусе. Дж. Уилер считал, что никакое объяснение не может считаться удовлетворительным, если оно не способно объяснить, как Вселенная возникла из ничего; не из физического вакуума с его флуктуациями и виртуальными частицами, но именно из ничего. Когда не было ни законов, ни частиц, ничего («Курс квантовых измерений 1977-79 гг.»). Возможно потенциальный модус существования – это и есть та область, где из ничего рождается нечто (актуальное).

Не случайно понятия «потенциальное» и «актуальное» используются сторонниками как квантового *анти-реализма*, так и *квантового реализма*. В одних интерпретациях благодаря наблюдению актуальной становится только одна возможность, оставшиеся или исчезают, или остаются в потенциальном модусе. Например, В. Гейзенберг и В. А. Фок придерживались модели Аристотеля (одна из многих возможностей переходит в актуальность). В других интерпретациях считается, что каждое возможное состояние реализуется как актуальное, а наше сознание выбирает эти состояния в одной из возможных ветвей Вселенной. В третьих интерпретациях предполагается, что реализуется вся совокупность возможных состояний системы наблюдатель-прибор-объект, а мы лишь наблюдаем совокупный результат их совместной актуализации. Например, Э. Шредингер, Р. Фейнман, М. Гелл-Манн, Дж. Хартл и другие высказывали идеи, в чем-то близкие идеям Лейбница, согласно которому только вся совокупность конкурирующих возможностей суммируется и тем самым образует актуальные вещи. Причем актуализироваться могут только возможности, объединяющие наибольшее число совместимых возможностей, а значит имеющие максимальное количество сущности.

Последняя версия лично мне ближе. Полагаю, что актуальное состояние или актуальное событие-история отличается тем, что объединяет в себе максимальное количество возможных состояний или событий-историй. В физических моделях это проявляется в правиле суммирования возможных перемещений или траекторий в вариационных принципах, а также в суммировании возможных квантовых историй в формализме Фейнмана.

Прояснить ситуацию мог бы анализ соотношения двух понятий: знание наблюдателя или информация, полученная наблюдателем, и информация внутри системы. Какова между ними разница? Есть ли у информации и знания носитель, и кто или что их воспринимает? И, наконец, каким образом информация и знание превращаются в объекты? К сожалению, в интерпретациях квантовой

механики часто возникает путаница из-за различного понимания термина «информация». Сторонники квантового анти-реализма под информацией понимают или знание наблюдателя, уменьшающее неопределенность, или степень уверенности конкретного человека (пси-эпистемологический подход). Сторонники квантового реализма рассматривают информацию как самостоятельную сущность, не обязательно связанную с человеком (пси-онтический подход).

В качестве примера нечеткого использования понятий знание и информация приведу мнения двух признанных специалистов. Войцех Цурек описывает, как из теории декогеренции следуют онтологические свойства векторов состояний, а объективное существование отобранных состояний приобретает через эпистемологическую “передачу информации”. Однако решающую роль в определении того, какие состояния квантовых систем могут обнаруживаться наблюдателями, играет степень коррелированности или распространенности информации. Информация усиливается за счет ее распространенности или избыточности¹. Антон Цайлингер, с одной стороны, считает, что не может быть обосновано понятие реальности без возможности высказываться о ней утверждения для получения информации о ее свойствах. Одновременно, он возражает против субъективистской интерпретации роли наблюдателя: «Ясно, что сознание ни в коей мере не влияет на частицу»².

Теперь вспомним принцип неопределенности в формулировке Р. Фейнмана, в котором интерференцию разрушает сама возможность устроить прибор, определяющий, какое из двух взаимно исключающих событий осуществилось [Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1965, с. 215.]. Иначе говоря, правило определения вероятности обнаружения частицы зависит не от нашего знания, а от того, есть ли принципиальная возможность узнать, по какому из взаимоисключающих путей она пролетела [Фейнман, 2014, с. 94.]. Что здесь означает выражение «принципиальная возможность узнать»? Для человека – это некая потенциальная информация, о которой он может ничего не знать. Но в системе эта информация уже существует, иначе, почему тогда разрушилась интерференция? Чтобы разрешить трудность, достаточно разделить понятия собственно информации и информации, которую получил человек (т.е. знание).

Теперь вернемся к двухмодусной модели. С каждым актуальным событием в окружающей среде распространяется новая информация. Тогда

¹ Zurek W.H. Quantum darwinism // Nature Physics. 2009. Vol. 5(3), P. 181-188.

² Наука и предельная реальность: квантовая теория, космология и сложность / Ред. Дж. Барроу, П. Дэвис, Ч. Харпер мл. М.-Ижевск: ИКИ. 2013. С. 176-185.

предрасположенность каждого возможного состояния или события можно выразить через количество информации, которая может быть распространена в окружение в результате его актуализации. Чем больше информации можно распространить, тем больше предрасположенность. Предрасположенность конкретной возможности всегда будет относительно к состоянию окружения, в т.ч. к способу наблюдения. **Тогда роль наблюдателя** сводится к тому, что приготавливая и измеряя состояние (подбирая операторы), мы влияем на эти предрасположенности. Мы как бы заранее готовим новый вопрос, и тем самым влияем на возможные ответы.

В каком пространстве существуют вектора состояния (суперпозиция)?

Постулат о субстанциональности гладкого 4-мерного пространства-времени как внешнего заданного фона лежит в основе современной теоретико-полевой парадигмы. Однако, можно ожидать, что в новой физической теории, обобщающей КТП и ОТО, само пространство-время (возможно, разные пространства и времена) и его свойства будет возникать как следствие каких-то более фундаментальных процессов, например, эволюции сетей связей (графов) или отношений неких первичных элементов.

Благодаря введению двухмодусной модели бытия (потенциального-актуального) концептуально облегчается путь для различных теорий макроскопического пространства-времени. Можно представить, как пространство-время, оставаясь метрическим фоном для объектов и событий исключительно в актуальном модусе существования, само возникает в результате суммирования множества возможных событий (отношений, взаимодействий), происходящих в модусе потенциальном. При этом возникающее актуальное пространство-время вовсе не становится какой-либо субстанцией. Скорее оно становится способом существования и взаимодействия актуальных объектов, основное отличие которых от потенциальных состоит в их уникальности и несовместимости друг с другом. Пространство-время как раз и отражает эту уникальность и несовместимость. Аналогично, и для потенциальных событий можно вводить различные пространства и времена, скорее всего комплексные, с различной размерностью и топологией. Но и они вовсе не должны быть субстанциями.

В каком времени существуют вектора состояния (суперпозиция)?

Сначала надо определиться, о каком аспекте времени идет речь – о *метрическом* или об аспекте, связанным с возникновением и изменением систем (*время развития*). *Метрическое время* используется для синхронизации событий, определения их порядка и измерения интервалов между ними. Как внешний и относительный аспект времени оно обычно привязывается к доступным эталонам периодических процессов. *Метрическое время* используется при описании 4-мерного пространства-времени в СТО и ОТО, а также в дифференциальных уравнениях классической и квантовой физики. *Время развития*, напротив, используется как мера изменчивости сложных систем (квантовых, классических, биологических и других), независимо от их относительного движения в пространстве. Соответственно, время развития – это внутренний и абсолютный аспект времени. Оно может привязываться к изменению сложности, неопределенности, вероятности, устойчивости, информации, знанию и т.д.

Язык времени развития может быть использован там, где метрическое время или отсутствует или используется вынужденно и без всякого физического содержания: для безмассовых частиц, для уравнений Вселенной как целого, для запутанных квантовых частиц, для перехода квантовой суперпозиции в смешанное состояние, а затем к наблюдаемым, для фазовых переходов, для бифуркаций в сложных системах и т.д.

С учетом использования двухмодусной модели существования, возможно, придется ввести еще один аспект времени. Таким образом, для разных целей мы можем использовать три времени. (1) Метрическое время как мера актуального взаимного положения и взаимного движения в 3-пространстве. (2) Время возникновения и изменения актуальных состояний как мера перехода из потенциального модуса существования в актуальный. (3) Время изменения самих потенциальных состояний. Последний аспект времени не имеет отношения к времени в уравнениях КМ и КТП (там используются первые два аспекта времени). Пока мы можем только предполагать, что этот третий аспект времени существует, но как его измерить не ясно, ведь все наши инструменты и эталоны – актуальные. Можно также надеяться, что временной аспект развития поможет объяснить совпадение направлений различных «стрел времени»: термодинамической, космологической, электромагнитной и психологической. Здесь возможно всего несколько вариантов. Источником времени развития может являться или 2-е начало термодинамики вместе с эволюцией Вселенной, или принцип причинности, или особенности нашего восприятия, или что другое, пока нам не известное.