

УДК 524.852

Горшков В.К., Мансуров Г.Н.*(г. Москва)*

МУЛЬТИМИР В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

Аннотация. Рассмотрена проблема измерения в квантовой механике, решение которой в копенгагенской интерпретации предложено на основании идеи коллапса волновой функции и разделении мира на квантовый и классический. В работах Эверетта на основании анализа уравнения Шредингера показана несостоятельность этой идеи. Эверетт предложил теорию, исходным постулатом которой является чистая волновая механика как полная теория. Полученная формулировка квантовой механики даёт детерминированное описание замкнутой системы без внешнего наблюдения. Сделан вывод о существовании квантовой мультивселенной.

Ключевые слова: квантовая механика, волновая функция, микромир, макромир, коллапс, детерминизм, мультимир.

V. Gorshkov, G. Mansurov*(Moscow)*

THE MULTIVERSE IN QUANTUM MECHANICS

Abstract. The article considers the problem of measurement in quantum mechanics, the solution of which is offered in Copenhagen interpretation. The basis of such interpretation is the idea of the wave function collapse and the world division into quantum and classical ones. Everett showed the inadequacy of this idea using the analysis of Schrodinger equation. Everett offered the theory the initial postulate of which is pure wave mechanics introduced as a complete theory. The resulting formulation of quantum mechanics gives a deterministic description of a closed system without external supervision. The authors make a conclusion about the existence of the quantum multiverse.

Key words: quantum mechanics, wave function, microcosm, macrocosm, collapse, determinism, multiverse.

В квантовой механике в центре внимания физиков оказалась проблема измерения, связанная с разделением мира на классический, к которому относится наблюдатель, и квантовый, к которому принадлежит объект наблюдений. Копенгагенская интерпретация, основанная на идее коллапса волновой функции в процессе наблюдения, оставляла чувство неудовлетворённости, поскольку граница между классичес-

ким и квантовым мирами не имела объяснения. Успешное применение квантовой механики в решении технических задач отодвинуло в тень на долгие годы вопрос о природе границы между квантовым и классическим мирами.

Микромир – это область действия квантовой механики, волновая функция даёт, согласно теории Бора, вероятностное описание объектов микромира. В момент наблюдения, как предполагалось, происходит редукция волновой функции и реализуется один результат наблюдения с определённой вероятностью. Таким образом, процесс измерения прерывает эволюцию волновой функции, все другие возможности её реализации исключаются – просто исчезают. Разделение мира на классический, к которому относится наблюдатель, и квантовый, содержащий наблюдаемый объект, ставило проблему объяснения природы границы между этими мирами. Эта проблема оставалась нерешённой в течение трёх десятилетий. Для её решения требуется уточнение смысла понятия волновой функции.

Проблема измерения в квантовой механике

Многочисленные экспериментальные результаты показывают правильность уравнения Шредингера для систем, содержащих различное число частиц как в случае микрообразований, так и в случае макромира, в котором мы живём. Есть все основания считать, что уравнение Шредингера выполняется не только для электронов и кварков, но и для сложноустроенных тел, независимо от общего числа составляющих их частиц. Исчезает основание для принципиального разделения микро- и макромира. Уравнение Шредингера применимо для описания всех частиц, без различия их прописки.

Решение проблемы измеримости Эверетт начал с объединения макроскопического и квантового миров. Основание для этого состоит в том, что макроскопический и квантовый миры состоят из одних и тех же частиц. Обстоятельство, которое, казалось бы, лежит на поверхности, но так и не получило должного внимания. Эверетт рассмотрел замкнутую наблюдаемую систему, в которой наблюдатель является неотъемлемой частью. Из анализа уравнения Шредингера следует, что волновая функция, связывающая наблюдателя, вместе с измерительным прибором, и объекты наблюдения в единую квантовую систему, эволюционирует непрерывно. Было показано, что редукция волновой функции в момент измерения никак не обоснована. Свойство линейности уравнения Шредингера означает, что никакое измерение не прерывает эволюции волновой функции.

Уравнение Шредингера выполняется как для электронов и кварков, так и для более сложно устроенных тел, независимо от числа частиц. Это значит, что уравнение Шредингера остаётся верным и при измерении, когда наблюдение охватывает объекты микро- и макромира в их взаимодействии.

Вероятность возникает с появлением наблюдателя и в квантовой, и в классической механике. Причиной возникновения вероятностного описания как в квантовой механике, так и в классической является неполнота знания измеряемой величины. Волновая функция есть функция состояния, значит, она может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Но вероятность не может быть отрицательной или комплексной, поэтому она определяется как квадрат амплитуды квантовой волны, которая является решением уравнения Шредингера. Для получения вероятности нахождения частицы в данной точке нужно перемножить значение волны в этой точке с её комплексно сопряжённым значением.

Вероятностное толкование квантовой функции неверно, поскольку не даёт объяснения интерференции. Перекрывающиеся волны приводят к возникновению интерференционной картины, если возможны сокращения, что невозможно для волн вероятности, которые могут иметь только положительные значения. Употребление термина «волны вероятности» допустимо из соображений удобства, учитывая связь между квантовыми волнами и волнами вероятности [4]. В отличие от классической механики, где состояние системы определяется заданием координат и скоростей в данный момент времени, волновая функция – это характеристика ненаблюдаемая.

Схлопывание волны вероятности составляет суть копенгагенской интерпретации результатов измерения. Исходным положением является утверждение Бора о существенной разнице между микромиром и макромиром. Несмотря на то, что микромир образуют атомы и элементарные частицы, которые подчиняются уравнению Шредингера, в то же время для макромира, который образуют экспериментаторы со своими приборами, согласно Бору, уравнение Шредингера не применимо. Однако многолетние эксперименты показывают, что уравнение Шредингера остаётся справедливым для любых наборов частиц, образующих как различные приборы, так и нас с вами. Это значит, что уравнение Шредингера будет верным и при измерении, когда оно применяется для сложного набора частиц, образующих экспериментатора, приборы и измеряемый объект, и схлопывание волны из уравнения не следует. Математический аппарат квантовой механики

вовсе не определяет схлопывания волны вероятности при измерении. Причина в том, что уравнение Шредингера обладает замечательным свойством линейности.

Уравнение Шредингера определяет изменение волны с течением времени. Если построить график волновой функции в зависимости от времени, то линейность уравнения Шредингера означает, что его можно применять к отдельным участкам волны, в результате объединения которых получается полная форма волны.

Свойство линейности уравнения Шредингера является математическим выражением того, что целое есть сумма частей. Однако применение свойства линейности вызывает затруднения при получении волны вероятности для нескольких частиц. Особого внимания требует учёт линейности при проведении измерения, когда волна вероятности имеет несколько пиков. Например, при измерении положения электрона, который находится сначала в одном месте, а потом в другом, волна вероятности будет иметь два пика. Тогда, исходя из линейности, следует объединить результаты измерений для каждого пика в отдельности. Трудность в том, что уравнение Шредингера справедливо для всех частиц: для электронов, для фотонов монитора детектора и для нейронов головного мозга, и линейность применима всегда ко всем этим частицам, поэтому и монитор детектора покажет, казалось бы, *сразу оба* положения электрона, и сознание наше зафиксирует электрон *одновременно в двух местах*. Вопрос: одновременно ли? Сначала одна копия наблюдателя фиксирует одну копию наблюдаемого объекта, потом другая копия наблюдателя фиксирует другую копию объекта, сначала это будет в одном месте, потом в другом, соответственно, и моменты времени будут разные. Значит, одновременность исключается. Мы получаем две параллельные реальности, два параллельных мира. В каждом мире копия наблюдателя имеет единственный и точный результат наблюдения. Произошло *как бы* расщепление мира, соответственно, один наблюдатель представлен двумя копиями и двумя картинками сознания. Если волну состояния частицы можно представить как огибающую большого числа измерений в разных точках (большого числа близко расположенных пиков), то получим огромное количество параллельных реальностей, в каждой из которых копия наблюдателя фиксирует возможное положение частицы с помощью детектора и своего сознания. Вывод о существовании множества миров был получен Эвереттом, исходя из квантовой механики только в результате анализа уравнения Шредингера.

Детерминизм

Уравнение Шредингера применимо для описания всех частиц и всех их конфигураций, каковыми являются приборы и сами экспериментаторы. Детерминизм уравнения Шредингера состоит в том, что, имея исходную функцию состояния в качестве начальных данных, оно выдает её значение для отдельных частиц или ансамблей частиц, которые мы рассматриваем, в любой последующий момент времени [8; 9].

Квантовые состояния представляет волновая функция в сочетании, характерном для данной квантовой системы. Волновая функция представляет все элементы суперпозиции как в равной мере реальные, хотя в разной мере вероятные при измерении. Уравнение Шредингера описывает изменение волновой функции во времени, и эволюция её является гладкой и детерминированной. Однако, согласно Бору, при измерении происходит коллапс и возникает разрыв. С точки зрения математики такой результат никак не следует из уравнения Шредингера. Природа границы между квантовым и классическим мирами остаётся без объяснения.

Детерминизм квантовой механики дал основу Эверетту рассматривать каждое событие, определяемое уравнением Шредингера, как такое, которое реализуется в своём отдельном мире. Это множество миров можно рассматривать как мультивселенную, которая имеет квантовую природу [11].

Пусть мы наблюдаем на мониторе детектора Волну вероятности, форма которой соответствует некоторой комбинации частиц, перемещающихся в пространстве. Форма волны будет эволюционировать, как определяет уравнение Шредингера, если в каждой точке (момент времени) возникает пик, несущий информацию, которую воспринимает наше сознание. Эволюция волны приведёт к возникновению огромного количества пиков, различающихся определённой информацией, которая считывается соответствующим наблюдателем. Если осуществить опрос наблюдателей, то окажется, что каждый из них есть точная копия других. Единственная разница в том, что они будут наблюдать разные результаты, разную информацию. Каждый пик волны вероятности — это отдельный мир, который наблюдает соответствующий наблюдатель. Каждый такой мир реален, множество таких миров образует многомировую вселенную квантовой природы, к существованию которой пришёл Эверетт, исходя из волнового уравнения. Этот вывод соответствовал точке зрения Эйнштейна, согласно которой волновая функция изменяется детерминированно в соответствии с уравнением Шредингера и *случай* исключается полностью — «Бог в кости не играет» [10].

Мультимир в квантовой механике

В подходе Эверетта каждое событие, квантово-механическая вероятность которого отлична от нуля, находит свою реализацию в отдельном мире. Это и есть множество миров в многомировом подходе в квантовой механике [4]. Такой подход принципиально отличается от версий мультивселенной, которые связаны с разными формами существования материи [2; 3; 6; 7]. Многомировой подход определяется физической сущностью волновой функции, представляющей суперпозицию всех возможных состояний, которые реализуются согласно уравнению Шредингера.

Эверетт пришёл к выводу, что квантовая теория определяет обширную реальность, состоящую из постоянно растущего числа вселенных, а не единственный результат измерения, как в теории Бора. В многомировом подходе нет ничего вероятностного. Математический аппарат квантовой механики даёт детерминированное описание распространения волн всех частиц, составляющих объект наблюдения.

Возникает вопрос: «Есть ли место вероятности в многомировом подходе?». Вспомним, что вероятность возникает как результат *неполноты знаний* как в классической физике, так и в квантовой. В многомировом подходе стоит задача определить смысл вероятности в ситуации, когда считается, что могут существовать *все возможные результаты*, которые не исключают друг друга через соотношение «или-или». Возникает вопрос: как можно говорить, что одни результаты вероятны, а другие – маловероятны, если все они имеют место? Распространённая ошибка – думать, что среди различных ваших копий в многомировом подходе есть какая-то одна более реальная, только одна – это действительно «вы». Предположить, что только одна из ваших копий – это реальный «вы», а остальные *исчезают* в момент наблюдения, – значит, встать на точку зрения копенгагенской школы, согласно которой в момент наблюдения происходит схлопывание волны вероятности, а это многомировой подход исключает. Эверетт рассматривал наблюдателя как неотъемлемую часть наблюдаемой системы: универсальная волновая функция связала наблюдателя и объекты наблюдения в единую квантовую систему. Вывод Эверетта состоял в том, что измерение не прерывает эволюции волной функции и ни один из элементов суперпозиции возможных состояний не исчезает из реальности.

Есть две принципиально разные формулировки квантовой механики. Одна, широко распространённая, относится к системе с внешним наблюдением, она описывается функцией состояния, которая

даёт вероятностное описание результатов наблюдения, образующих дискретный набор. Другая формулировка исходит из уравнения волны, которое описывает непрерывное детерминированное изменение состояния замкнутой системы. Эта система состоит из наблюдателя с его измерительным прибором и объекта наблюдения. Вопрос в том, может ли изменение состояния замкнутой системы быть описано полностью на основании волнового уравнения. Если да, то тогда дискретное вероятностное описание не может иметь места.

Задача состояла в создании квантовой механики для систем без внешнего наблюдателя. Эверетт поступил с внешним наблюдателем так же, как Эйнштейн – с выделенной системой координат. Если в каждую систему координат Эйнштейн посадил по наблюдателю со своими часами, то Эверетт предложил рассматривать наблюдателей как физические системы, взаимодействующие с подсистемами внутри замкнутой системы.

Уравнение Шредингера определяет эволюцию волны вероятности, и если мы следим за перемещением в пространстве электрона, то монитор детектора будет регистрировать пики вероятности последовательно в разных точках, соответственно, и наше сознание будет регистрировать эти результаты наблюдений. Свойство линейности уравнения Шредингера даёт основание для объединения отдельных результатов и получения итоговой записи волны вероятности на мониторе детектора и в нашем сознании. При этом возникает трудность из-за кажущейся одновременности записи всех пиков на мониторе и в нашем сознании. Но объединение разных результатов измерений *не означает одновременности* их возникновения. Происходит суперпозиция результатов, зафиксированных монитором детектора и нашим сознанием *в разные моменты времени*. Эти результаты будут представлять разные параллельные реальности, отличающиеся друг от друга лишь местоположением частиц, которое регистрируется разными детекторами в каждой реальности и сознанием каждого наблюдателя в каждой реальности, которые будут копиями друг друга. Это и будет *множество миров в многомировом подходе в квантовой механике*.

Последовательная трактовка уравнения Шредингера, свободная от предположения Бора о коллапсе волновой функции, приводит к выводу о существовании обширной реальности, состоящей из постоянно растущего числа вселенных. Эверетт предложил теорию, исходным постулатом которой является чистая волновая механика как полная теория. Предлагается математическая модель каждой без исключения изолированной физической системы. Полное описание её обеспечивает

волновая функция, которая определяется линейным волновым уравнением. Причём подход Эверетта не требует существования живого наблюдателя как нефизического объекта. Суть этого подхода – в отказе от концепции «внешнего наблюдателя».

Волновая функция предполагается как ненаблюдаемая сущность без какой-либо предварительной интерпретации, предметом её является бытие в целом, без какой-либо предварительной детализации. Ставится задача описания замкнутой системы, которая содержит наблюдателя; для решения этой задачи требуется квантовая механика, внутренняя по отношению к изолированной системе. Обычная квантовая механика применяется для описания объектов, имеющих внешнего наблюдателя. Именно для таких систем возможно вероятностное описание и дискретные значения наблюдаемых величин. *Это первый путь изменения функции состояния системы в результате внешнего наблюдения.* Этот путь определен в копенгагенской трактовке квантовой механики, согласно которой происходит схлопывание функции состояния и определяется вероятность результата наблюдения. При этом все другие возможности изменения состояния системы молча исключаются, вопреки уравнению Шредингера.

Второй путь – это изменение состояния изолированной системы (без внешнего наблюдателя), когда согласно уравнению волны происходит непрерывное, детерминированное изменение состояния системы со временем. Если для обычной квантовой механики понятие внешнего наблюдателя является основой для применения математического формализма, то для систем без внешнего наблюдения этот путь изменения состояния исключается. Второй путь, предложенный Эвереттом, рассматривает изолированные системы, содержащие наблюдателей, которые являются физическими системами, взаимодействующими с другими подсистемами. Систему, которая подвергается внешнему наблюдению, можно рассматривать как часть большей изолированной системы.

Основой аксиоматической системы Эверетта является чистая волновая механика, которая рассматривается как полная теория. Волновая функция используется не как некоторый символ, а как физическая реальность, представляющая суперпозицию всех возможных состояний данной системы.

Описание мира производится без обращения к внешнему наблюдателю, существование «наблюдателя» допускается только как одного из элементов рассматриваемой системы. Принципиальное отличие «наблюдателя» от всех прочих элементов системы в теории Эверетта состоит во введении в волновую функцию наблюдателя *параметров его памяти.*

Соотнесённые состояния

Рассматриваются изолированные системы, содержащие наблюдателя, который взаимодействует с другими подсистемами. Возникают изменения, которые входят в волновую функцию наблюдателя как параметры его памяти. Для обоснования этих процессов Эверетт вводит основополагающее понятие «соотнесённых состояний». Его смысл состоит в том, что составляющую подсистему нельзя рассматривать независимо от остальной части сложной системы. «Любому произвольно выбранному состоянию одной подсистемы будет соответствовать единственное „соотнесённое состояние” остальной части сложной системы. Это „соотнесённое состояние” будет зависеть от выбора состояния для первой подсистемы. Таким образом, состояние одной подсистемы не имеет независимого существования, но определяется только состоянием остающейся подсистемы. Другими словами, состояния, занятые подсистемами, не независимые, но коррелированные» [5]. Понятие «соотнесённых состояний» составляет фундамент для разработки формализма сложных систем. Существенно то, что описание мира у Эверетта произведено с точки зрения наблюдателя как одного из элементов рассматриваемой системы.

Все ветви волновой функции являются фактически существующими реальностями. В этом смысл мультимира квантовой механики. Универсальная волновая функция связывает наблюдателя и объекты наблюдения в единую квантовую систему.

Принципиальное отличие наблюдателя от всех прочих элементов системы в теории Эверетта заключается во введении в волновую функцию наблюдателя *параметров его памяти*. Единственное требование, предъявляемое к параметрам, состоит в том, что они представляют последовательность событий, которые испытал наблюдатель. Возникает вопрос: «Как будет выглядеть такой мир, в котором уравнение Шредингера применимо всегда и ко всему – и к объектам наблюдения, и к наблюдателям».

С каждым последующим взаимодействием наблюдатель «ветвится» во множество различных состояний. Каждая ветвь представляет собой иной результат измерения и соответствующего собственного состояния объекта. Все ветви существуют в суперпозиции после любой данной последовательности наблюдений. Таким образом, «траектория» конфигурации памяти наблюдателя, выполняющего последовательность измерений, напоминает ветвящееся дерево со всеми возможными результатами, существующими в конечной суперпозиции

с различными коэффициентами в математической модели. В любом запоминающем устройстве, вследствие ограниченной ёмкости его памяти, ветвление не продолжается бесконечно, но должно остановиться в некоторой точке. Теоретически все элементы суперпозиции являются действительными, ни один не более «реален», чем остальные, и каждый из них индивидуально подчиняется волновому уравнению независимо от других. Это полное отсутствие влияния одной ветви на другую означает, что никакой наблюдатель никогда не будет знать ни о каком процессе «расщепления».

Физика всегда стремилась к тому идеалу знания, с которым наука связывала поиск реальности, не зависящей от человеческого существования. Такой метафизический подход выражался в многочисленных ссылках на Бога, который, согласно Эйнштейну, «...в кости не играет» [10].

Существование без познания, на любом уровне, представляется бессмысленным. В то же время Эйнштейн считал познаваемость мира чудом. Но если познаваемость отрицает именно того, кто делает её возможной, то это уже не чудо, а абсурд. Объективная реальность – это не то, что существует вне и независимо от нашего сознания. Реальное познание есть результат логики математического аппарата – именно это было критерием реальности для Эверетта.

Из анализа уравнения Шредингера Эверетт пришёл к определению физического смысла волновой функции. Логический анализ математического аппарата квантовой механики дал основание Эверетту сделать вывод о мультимировой картине Вселенной.

Технический прогресс, вызванный успехами квантовой механики, на самом деле ничего не объясняет, удовлетворяя лишь запросы общества потребления. В результате решение проблемы измерения ограничилось копенгагенской интерпретацией и было заторможено на три десятилетия. Как заметил создатель кибернетики Н. Винер: «...Прогресс – это вульгарный прихвостень эволюции» [1].

Эверетту удалось сдвинуть решение проблемы измерения благодаря тому, что он видел в волновой функции реальность мира, а не только инструмент для расчётов.

Литература:

1. *Винер Н. Я* – математик. – М.: Наука, 1967. – 354 с.
2. *Горшков В.К., Мансуров Г.Н.* Мультивселенная и антропный принцип // Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. – М.: МГОУ, 2013 – № 2. – URL: <http://www.vestnik-mgou.ru/Articles/View/327>.

3. Горшков В.К., Мансуров Г.Н. Человек и реальность в современной науке // Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. – М.: МГОУ, 2012. – № 3. – URL: http://vestnik-mgou.ru/vipuski/2012_1/stati/himiya/gorshkov.

4. Грин Б. Скрытая реальность. Параллельные миры и глубинные законы космоса. – М.: Книжный дом «Либроком», 2012. – 400 с.

5. Гуларян А.Б., Лебедев Ю.А. Многомирие и эвереттика. – URL: http://samlib.ru/g/gularjan_a_b/everett3.sh (дата обращения 16.11.2013).

6. Линде А. Инфляция, квантовая космология и антропный принцип [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1181211> (дата обращения: 05.06.2012).

7. Линде А. Многоликая Вселенная [Электронный ресурс] // Всероссийский проект «Открытые публичные лекции» // <http://elementy.ru>: [сайт]. URL: <http://elementy.ru/lib/430484> (дата обращения: 20.06.2012).

8. Марков М.А. О трёх интерпретациях квантовой механики. – М.: Наука, 1991. – 112 с.

9. Фаддеев Л.Д. Математический взгляд на эволюцию физики // Природа, 1989. – № 5. – С. 11–16.

10. Эйнштейн Альберт [Электронный ресурс]. – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Эйнштейн,_Альберт (дата обращения: 20.06.2012).

11. John A. Wheeler Assessment of Everett's „Relative State” Formulation of Quantum Mechanics // Reviews of Modern Physics. – Vol 29. – Num 3. – July, 1957. – P. 463–465.