

© Горшков В.К., Мансуров Г.Н., 2012

## ЧЕЛОВЕК И РЕАЛЬНОСТЬ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

**Аннотация.** Разбирается положение наблюдателя в определении понятия физической реальности в квантовой механике. Проводится анализ вероятностного характера квантовой механики в сравнении с классической. Центральным вопросом оказывается роль наблюдателя в определении характеристик элементарных частиц. Особое внимание уделяется вопросу о полноте квантовой механики, который был поставлен Эйнштейном в 1935 г. Показано, что отрицание полноты квантовой механики ошибочно. Дано изложение теоретических и экспериментальных работ, доказывающих полноту квантовой механики. Дается изложение антропного принципа и его значение при решении вопроса о свойствах Вселенной, необходимых для возникновения человека.

**Ключевые слова:** наблюдатель, физическая реальность, квантовая механика, квантовая неопределенность, квантовые связи, сильный антропный принцип, слабый антропный принцип, происхождение Вселенной.

© V. Gorshkov, G. Mansurov, 2012

## A MAN AND REALITY IN MODERN SCIENCE

**Abstract.** The article discloses the observer's position in defining the concept of "physical reality" in quantum mechanics. The author analyses the probabilistic nature of quantum mechanics versus classical. The role of the observer in determining the characteristics of elementary particles is considered to be central. Special attention is paid to the question of completeness of quantum mechanics which was raised by Einstein in 1935. It is shown that negation of completeness of quantum mechanics is wrong. The article presents a set of theoretical and experimental works proving the completeness of quantum mechanics. The presentation of the anthropic principle and its importance for the solving on the problem the properties of the Universe, necessary for the emergence of a man, is given.

**Key words:** observer, physical reality, quantum mechanics, quantum uncertainty, quantum communications, strong anthropic principle, the weak anthropic principle, the origin of the Universe.

Мысль о том, что «реальность без познаваемости абсурдна» плохо соответствует твердо усвоенному нами понятию об объективной реальности как о чем-то, существующем вне и независимо от наблюдателя. Однако концепция наблюдателя, без которого невозможна как теория относительности, так и квантовая механика, выходит на центральное место в современной науке. Понятие физической реальности квантовой теории включает в себя в качестве необходимого элемента экспериментальную установку, с помощью которой осуществляется наблюдение процессов микромира. Познавательная деятельность человека носит макроскопический характер, в его распоряжении имеются понятия классической механики, поэтому для описания явлений микромира необходимо

получить их отображение в макромире. Эта задача решается наблюдателем с помощью макроприбора. Можно сказать, что физическая реальность квантовой теории представляет собой макроскопическую форму существования микромира, которая создается в результате активной деятельности человека. Эта форма не менее объективна, чем любая другая. Этому утверждению соответствует признание существования объективного мира до всякого опыта, именно объективная реальность микромира наполняет содержанием его отображение с помощью прибора в макромире.

Концепция наблюдателя и его положения в разных научных системах имеет особое значение при рассмотрении эволюционных процессов в обществе. Следует признать, что человеческое общество превратилось в общество потребления и вопросы познания и гармонии с окружающей природой ушли с главной дороги жизни. Возникает проблема прогресса и связи технического прогресса с проблемами экологии. Известное высказывание Винера, «... что прогресс есть вульгарный прихвостень теории эволюции», приобретает конкретные очертания.

### **Концепция наблюдателя в современной науке**

Физическая реальность не может быть определена без учета наблюдателя, без его участия. Дело в том, что наблюдатель сам – часть мира, а познание мира есть процесс взаимодействия наблюдателя (одной части мира) с окружающим его миром (другой частью).

Идеал объективности как независимости явлений природы от наблюдателя очень просто и точно выразил Эйнштейн: «Имеется нечто вроде «реального состояния» физической системы, которое существует объективно, независимо от какого бы то ни было наблюдения или измерения, и которое в принципе может быть описано на языке физики» [14]. Но ведь именно Эйнштейн является автором теории относительности. В этой теории именно наблюдатель со своими часами, покоящийся в данной системе отсчета и наблюдающий за другим субъектом с его часами, приходит к выводу об изменении размеров и хода часов субъекта, летящего мимо. И, что самое важное для теории относительности, то же самое наблюдает над первым и тот, второй. В центре внимания оказывается наблюдатель. А если убрать наблюдателей, крепко сидящих в своих системах отсчета, то не станет и теории относительности с ее выводом о связи пространства и времени, с ее учением о четырехмерном пространственно-временном континууме как физической реальности. Наблюдатель причастен к образованию физической реальности, четырехмерного пространственно-временного многообразия, понятие о котором и возникло в результате учета самого наблюдателя. Из решения, казалось бы совершенно абстрактной проблемы отношения пространства и времени, был получен результат, который стал фундаментальным для атомной энергетики и создания атомной бомбы. Человечество было подброшено на новый уровень технического развития. А ключевым моментом стал учет наблюдателя при рассмотрении событий в пространстве и времени, этого, казалось бы, совершенно субъективного обстоятельства, от которого не должен зависеть объективный ход процессов в природе. Теория относительности изменила наши представления о мире, по-новому стала выглядеть картина мира – то, чем занимается чистая наука. Но этот результат чистой науки привел к невиданным достижениям прикладной науки.

Примерно в то же время, когда создавалась теория относительности, были сформулированы основные идеи квантовой теории. Как отмечает Паули, в квантовой механике был сделан шаг в сторону более существенного включения наблюдателя и условий опыта в физическое описание природы [10]. Всякое наблюдение представляет собой взаимодействие средств наблюдения с наблюдаемой системой. При наблюдении квантовых процессов осуществляется взаимодействие макромира с микромиром. Для мира квантовых

явлений характерна неделимость элементарных квантовых процессов. Квант энергии – неделим. Эта особенность квантовых процессов размывает границу между макро- и микромиром, поскольку взаимодействие средств наблюдения с квантовым объектом состоит в обмене квантами энергии.

В процессе измерения на волновую функцию действует экспериментальный прибор, который превращает эту огромную, размытую в пространстве волновую функцию в маленький, крошечный объект. Это называется стягиванием или редукцией волновой функции.

Если процесс измерения не описывается уравнением Шредингера, то чем он описывается? Возникает вопрос – откуда вообще берутся вероятности? Попыткой ответа на этот вопрос является ЭПР-парадокс, он рассматривается Эйнштейном как доказательство неполноты квантовой теории, случайность связывалась с существованием скрытых, пока неизвестных физических величин и возникновением вероятностного описания. Эйнштейн отстаивал концепцию реальности, которую наука должна описывать независимо от существования человека. Пригожин [11] отмечает, что Эйнштейн считал познаваемость мира чудом. Но если эта познаваемость означает отрицание именно того, что делает ее возможной, то это не чудо, а абсурд. Бор [2] отстаивал неотделимость проблемы реальности от проблемы человеческого существования. Волновая функция описывает состояние объекта в квантовой механике и определяется (является решением) уравнением Шредингера в полном соответствии с требованием детерминизма [12]. В этом смысле существует полная аналогия с уравнением Ньютона в классической механике. Принципиальная разница связана с измерением физической величины.

Расхождение во взглядах между Бором и Эйнштейном заключалось, прежде всего, в интерпретации смысла волновой функции. Согласно Бору, волновая функция описывает состояние отдельной частицы и представляет собой ненаблюдаемую сущность. Физическая характеристика частицы возникает как результат измерения с помощью соответствующего прибора.

Согласно Эйнштейну, смысл волновой функции в описании статистического ансамбля частиц, обладающих физическими характеристиками независимо от наблюдателя. Это является основанием для вероятностного характера квантовой механики. Эти два подхода так или иначе проявляются во всех существующих интерпретациях квантовой механики.

Квантовая теория – это не только математический аппарат, но и теория измерений, теория наблюдений. Измеряемой величине ставится в соответствие определенный оператор, для которого решается задача на собственные функции и собственные значения. По найденным собственным функциям осуществляется разложение волновой функции, определяющей состояние наблюдаемой системы в условиях опыта. Коэффициенты разложения и дают (после возведения в квадрат) вероятности для соответствующих значений измеряемой величины. Можно сказать, что значение наблюдаемой величины определяется по закону «абсолютного случая» [9]. Что это значит?

Физические наблюдения микроявления осуществляются с помощью макроприбора, и каждое взаимодействие макроприбора с микроявлением регистрируется (например, показанием стрелки макроприбора). Положение стрелки отвечает лишь одной возможности, содержащейся в волновой функции; такая однозначность принципиальна: стрелка прибора одновременно не может находиться в разных положениях. В этой интерпретации существенно, что причинное развитие волновой функции (список возможностей) происходит до взаимодействия прибора с микрообъектом. Во время взаимодействия из всех возможностей, которые описываются волновой функцией, происходит отбор всегда лишь одной возможности, и причем *по закону абсолютного случая*. «Редукция» волнового пакета состоит в сведении всех возможностей к одной.

Нет ли в этом разрыва с объективной реальностью, с объективным существованием рассматриваемых явлений? Наверное, нет, поскольку в каждом конкретном случае объективный смысл волновой функции проявляется уже в том, что этот список возможностей для осциллятора выглядит совершенно по-другому, чем, например, для ротатора или атома водорода. Существование различной объективной реальности определяет различный перечень возможностей для описания того или иного объекта микромира. Этот список возможностей развивается во времени причинным образом согласно уравнению Шредингера. Может быть, это и должно вызывать самое большое удивление. Почему? Ведь дело идет о вероятностях, а вероятность и детерминизм, казалось бы, несовместимы. Однако задание волновой функции в начальный момент определяет согласно уравнению Шредингера значение этой функции в любой другой момент времени. Тот же детерминизм, что и в классической механике, поскольку речь идет о состоянии. Но квантовая теория как теория микромира, совсем другого мира, чем тот, в котором мы живем, кроме математического аппарата включает в себя проблему измерения, связанную с проблемой наблюдения. Это проблема взаимодействия микромира с макромиром, проблема учета наблюдателя, ибо нет наблюдения – нет явления в макромире. В этом суть физической *реальности*, соответствующей квантовой теории.

Но волновая функция – ненаблюдаемая сущность!? И в этом мире ненаблюдаемых сущностей и происходит действие законов природы. Причинное изменение волновой функции, представляющей совокупность возможностей, определяется законами природы, выраженными в уравнении Шредингера. Вероятность появляется, когда появляется наблюдатель и с помощью прибора производит измерение той физической величины, которая соответствует поставленной задаче. Значение измеряемой величины получается с определенной вероятностью. Но если в классическом случае вероятность появляется как результат неполного знания, вследствие сложности системы, то в квантовой теории вероятность получается как результат точного знания волновой функции. Вероятность результата измерения в квантовой механике входит в «список возможностей», который представляет собой волновая функция. Но, как уже было сказано, волновая функция изменяется строго детерминированным образом согласно уравнению Шредингера, а значит та вероятность, которая получается при измерении, строго определена в «списке возможностей», который представляет волновая функция. Именно поэтому говорят, что наблюдаемая величина реализуется по закону «абсолютного случая». Вероятность появляется, когда появляется наблюдатель, как в *квантовой*, так и в *классической физике*, но на этом сходство заканчивается. Далее наступает принципиальное различие, оно состоит в том, что в квантовой теории, в отличие от классической, в появлении вероятности *нет* непознанной необходимости. Напротив, она *заключена в волновой функции как списке* возможностей, строго определяемым уравнением Шредингера. Поэтому ее *реализация* происходит *по* закону «абсолютного случая».

Существуют различные интерпретации квантово-механического описания микромира при взаимодействии его с макромиром. В разных интерпретациях по-разному определяется место редукции.

Хорошо известна копенгагенская интерпретация квантовой механики, которую отстаивал Бор. Согласно этой интерпретации редукция волновой функции наступает в момент взаимодействия микрообъекта с макроприбором. Это утверждение предлагается как постулат, предполагающий, что в момент наблюдения нарушается детерминистическое описание явления, протекающего согласно уравнению Шредингера, и квантовая механика становится неприменимой. Этот постулат *редукции* волновой функции вызывал большую неудовлетворенность у многих физиков и, как оказывается, небезосновательно.

Академик Марков подробно разбирает эксперимент взаимодействия микрообъекта с макроприбором, предложенный в работе Блохинцева [1]. Строго говоря, квантово-



механическое описание взаимодействия микроявления с микрообъектом никогда не нарушается. Отсюда делается вывод, что квантово-механическое описание не перестает действовать, и детерминизм явления, определяемый уравнением Шредингера, остается справедливым во времени до бесконечности. Это значит, что из списка возможностей реализуется одна, что и составляет смысл редукции при квантовом описании явления.

Редукция представляет собой объективный факт, она происходит в природе всякий раз, когда возникает взаимодействие микроявления с макрообъектом. Так, пузырьки – след заряженной частицы – видны не только в камере Вильсона, построенной человеком, но и в природе в прозрачных кристаллах минералов.

Наблюдатель решает вопрос о том, какая физическая величина будет измерена и, в соответствии с этим, создается прибор для наблюдения определенного микроявления, которое представляет собой одну из проекций микроявления на макромир. Волновая функция описывает взаимодействие микрообъекта с макроприбором непрерывно, строго детерминированным образом согласно уравнению Шредингера. Наблюдаемая редукция является результатом квантового описания явления и происходит по закону абсолютного случая. Это значит, что за ней нет непознанной необходимости, поскольку эта необходимость представлена строго определенной волновой функцией, являющей собой полный список возможностей.

Самая существенная особенность микромира состоит в том, что привычные нам, живущим в макромире, элементы физической реальности (импульсы или координаты) не являются объективно существующими атрибутами микромира, *их там просто нет*. Мы получаем их для характеристики микрообъектов с помощью соответствующих приборов. Эти приборы осуществляют взаимодействие с микромиром и измеренные с их помощью характеристики дают нам ту или иную проекцию микроявления на макромир. Измеренная величина будет иметь смысл координаты, если используемый прибор предназначен именно для измерения этой величины. Если же прибор предназначен для измерения импульса, то именно этот смысл и будет иметь измеренная величина. Таким образом, понятия координаты и импульса будут являться соответствующими характеристиками микрообъекта только лишь в связи с указанием класса аппаратуры. Нельзя определить координату и импульс микрочастицы одновременно в одном опыте, ибо определяются они разными приборами и находятся в дополнительном отношении для данной микрочастицы. В этом смысл принципа дополнительности Бора и принципа неопределенности Гейзенберга.

Понятия координаты и импульса в применении к микрочастице не могут быть сосуществующими в одном и том же опыте так же, как для классической частицы не могут сосуществовать различные траектории (например, прямая и парабола) в одной и той же системе координат. Вопрос о траектории классической частицы приобретает смысл только при указании системы отсчета и в полной аналогии с этим, вопрос об импульсе микрочастицы или ее координате имеет смысл только в связи с аппаратурой соответствующего класса. Дело в том, что наблюдатель принадлежит макромиру, и он подходит к изучению явлений микромира со своими макроскопическими понятиями, которые не существуют в микромире, они появляются как характеристики микромира в результате применения аппаратуры, которая дает соответствующую «проекцию» микрообъекта на макрообъект. Человек – существо макроскопическое, и его познавательная деятельность носит макроскопический характер. Познание человеком микромира обеспечивает прибор, который дает макроскопическое отображение явлений микромира, рассказывает о них «макроскопическим языком».

### Полна ли квантовая механика?

Вероятностный характер квантовой механики Эйнштейн не мог считать удовлетворительным для описания природы. Его убеждение, что «бог не играет в кости» давало ему основание утверждать, что квантовая механика не является завершённой теорией. В 1935 г. была написана статья Эйнштейном, Подольским и Розеном (ЭПР), целью которой было показать, что каждая частица имеет определенное положение и определенную скорость в любой заданный момент времени. И если квантовая механика не может определить их одновременно, значит, она является неполной теорией физической реальности и принцип неопределенности выражает ограниченность ее подхода.

Авторы предложили умозраительный эксперимент, в котором две частицы одинаковой массы разлетаются в противоположных направлениях с одинаковыми и противоположно направленными скоростями. Они предположили, что измерение положения летящей вправо частицы дает возможность косвенно узнать положение летящей влево частицы. И поскольку вы ничего не делали с летящей влево частицей, то она должна была иметь это положение, которое вы определили, хотя и косвенно. Так же, измерив скорость летящей вправо частицы, вы косвенно определяете скорость летящей влево частицы. И поскольку никакого действия на летящую влево частицу оказано не было, значит, она уже имела именно эту скорость, которую вы определили. ЭПР делают вывод, что летящая влево частица имеет определенное положение и определенную скорость в любой заданный момент времени. Неспособность квантовой механики одновременно описывать положение и скорость частиц означает, по мнению авторов, что она не охватывает все характеристики реальности, а значит, не является полной теорией.

В статье ЭПР сформулирован критерий физической реальности: «Если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине» [13]. На основании этого критерия можно делать вывод, что любые характеристики летящей влево частицы, которые мы узнали или могли узнать путем измерения летящей вправо частицы, имеют определенное значение, т. е. являются характеристиками *физической реальности*. Дело в том, что, измеряя характеристики вправо летящей частицы, мы никак не можем влиять на летящую влево частицу, поскольку они не взаимодействуют, так как являются пространственно разделенными. Все эти рассуждения остаются в силе и в том случае, если частицы поменяют ролями. Значит, обе частицы имеют характеристики, относящиеся к физической реальности. В частности, обе частицы имеют определенные положения и скорости, хотя квантово-механический принцип неопределенности исключает такую возможность. Эта неспособность квантовой механики одновременно описывать положение и скорость в статье ЭПР рассматривается как доказательство неполноты теории. Суть в том, что рассуждения ЭПР приводят к выводу, что каждая частица имеет определенные положение и скорость, независимо от измерения. Характеристики частиц являются физической реальностью, поскольку выполняется критерий физической реальности Эйнштейна.

Во Вселенной Эйнштейна все объекты обладают определенными значениями всех физических характеристик, не дожидаясь момента, когда экспериментальные измерения вызовут их к существованию. Однако большинство ученых разделяют мнение Бора, что характеристики частиц пребывают в состоянии неопределенности и принимают определенные значения, когда акт измерения вынуждает их к этому. Вопрос о том, кто прав, был решен только десятилетия спустя после выхода в свет статьи ЭПР. Расчеты Белла и эксперименты Аспекта доказали, что предположение о том, что частицы всегда имеют определенные характеристики, противоречит экспериментальным наблюдениям. Экспе-

риментальные результаты опрокинули надежды доказать неполноту квантовой механики. Доказать или опровергнуть вывод ЭПР мог только эксперимент, и он был предложен Беллом в 1964 г. [15]. Для эксперимента был выбран спин частицы, для которого квантовая неопределенность исключает возможность одновременного определения более чем относительно одной оси; так же невозможно одновременно определить положение и скорость частицы. При этом само измерение определяет вращение электрона только вдоль одной выбранной оси и исключает возможность определить, как перед измерением вращался электрон относительно любой другой оси. Вопрос состоит в том, обладает ли частица на самом деле одновременно определенным значением спина относительно любой оси вопреки принципу квантовой неопределенности?

Принцип квантовой неопределенности говорит о том, что частица не имеет никакого определенного спина относительно любой выбранной оси до тех пор, пока экспериментатор не проведет измерение, заставив частицу мгновенно принять то или иное значение спина относительно выбранной оси.

Белл показал, что хотя и невозможно одновременно определить спин частицы относительно более чем одной оси, но если частица действительно имеет определенный спин относительно всех осей, то это можно доказать экспериментально.

Рассматривался эксперимент, когда два электрона испускаются из одного источника, находящегося посередине между двумя детекторами, таким образом, чтобы их спины были взаимосвязаны. Взаимосвязь устроена так, что когда детекторы настроены на измерение спина вдоль одной и той же оси, то они всегда будут давать одинаковые результаты.

Открытие Белла показывает, что если каждый электрон действительно имеет определенный спин относительно всех трех осей, то в результате измерения достаточно большего количества пар идентичных электронов относительно случайно выбираемых осей, *электроны будут иметь одинаковый спин более чем в половине случаев*. Если это так, то значит, что Эйнштейн, Подольский и Розен правы. Если число совпадений *не больше половины случаев*, то ЭПР не правы.

В результате расчетов Белл нашел, что само существование определенных характеристик частиц, даже если их невозможно измерить, имеет следствия, которые вполне можно проверить экспериментально. Так, результаты, полученные двумя далеко разнесенными в пространстве детекторами, измеряющими спин частиц относительно различных случайно выбираемых осей, в указанной выше схеме совпадут более чем в половине случаев.

К такому выводу Белл пришел в 1964 г., но в то время еще не было технологий для проведения такого эксперимента. Первые опыты были проведены в 1970-х гг., но более тонкие и впечатляющие эксперименты были выполнены лишь в начале 1980-х гг. Аспектом с сотрудниками. В этих экспериментах два детектора были разнесены друг от друга на расстоянии 13 м, посередине между ними помещался контейнер с возбужденными атомами кальция. При переходе в нормальное состояние каждый атом кальция испускает пару фотонов, разлетающихся в противоположных направлениях с полностью скоррелированными спинами, как в обсуждавшемся выше примере с электронами. В экспериментах Аспекта одинаково настроенные детекторы всегда регистрировали одинаковый спин каждой пары фотонов!

Но самый важный результат из всего множества экспериментов, выполненных Аспектом, состоит в том, что показания детекторов *не совпали более чем в 50% случаев* при изменении настройки детекторов случайным и независимым друг от друга способом. Значит вывод ЭПР о том, что частицы обладают определенными значениями характеристик, запрещенных принципом неопределенности, ошибочный! Основное предположение ЭПР состояло в том, что если в данный момент времени можно определить

характеристику частицы путем эксперимента, проведенного над другой частицей, пространственно удаленной, то первая частица должна еще до измерения иметь определенные значения этой характеристики. Пространственное разделение и одновременность измерений исключают взаимодействие в процессе измерений. Эти предположения означают, согласно теории Белла, что показания детекторов должны совпадать более чем в половине случаев, что опровергается экспериментом.

Задача, которую ставили перед собой Эйнштейн, Подольский и Розен, состояла в том, чтобы доказать неполноту квантовой механики. Но результаты экспериментов Аспекта доказали ошибочность такого предположения.

В 1997 г. были проведены эксперименты по схеме Аспекта при удалении детекторов друг от друга на расстояние 11 км. Результат не изменился. Можно предполагать, что корреляция между фотонами сохраняется при любых расстояниях. Эксперименты Аспекта и других исследователей установили существование квантовых корреляций, которые не зависят от расстояния. Квантовая связь объединяет объекты, разделяемые огромным расстоянием так, что характеристики одного из них оказываются обусловленными характеристиками другого.

Невозможность существования характеристик у частиц до измерения означает, что именно измерение спина фотона относительно какой-либо оси заставляет удаленный фотон принять тот же спин относительно той же оси. С точки зрения экспериментатора, находящегося в лаборатории, в тот самый момент, когда измеряется спин одного фотона, второй фотон мгновенно обретает тот же спин. При этом не происходит *никакой передачи информации*, а поскольку она всегда связана с переносом энергии, то мгновенность не противоречит существованию предела скорости, установленному специальной теорией относительности.

Противоречия с теорией относительности нет, поскольку между двумя фотонами существует фундаментальная связь, имеющая смысл квантово-механической корреляции. Эта связь сохраняется при любом пространственном разделении. Фотоны столь тесно связаны потому, что являются частями одной физической системы, имеющей общее происхождение в начальный момент образования Вселенной. Акт измерения одного из фотонов воздействует на единую сущность, т. е. затрагивает оба фотона одновременно.

На вопрос о возможности передачи информации от одного фотона к другому путем измерения спина – ответ отрицательный, поскольку результатом измерений на каждом из двух детекторов будет лишь случайная последовательность значений спина. Никакой передачи информации не будет, и списки измерений для каждого детектора будут идентичны, что можно установить уже после измерений обычным способом передачи информации (по телефону, факсу, электронной почте).

Эксперименты Аспекта устанавливают факт: две частицы, разнесенные в пространстве сколь угодно далеко, связаны друг с другом так, что одна мгновенно повторяет все то, что делает другая. И это упорно наводит на мысль, что между ними действует *нечто* быстрее света, что противоречит теории относительности. Но противоречия нет, так как квантово-механическая связь не передает информацию, т. е. не является причинно-следственной связью.

В квантовой механике акт измерения вызывает коллапс волновой функции мгновенно во всей Вселенной: обнаружение частицы в каком-либо месте приводит к падению до нуля немедленно в любом другом месте. Стандартная квантовая механика прекрасно согласуется с опытными данными. Если принять механизм дальнего действия, определяемый коллапсом волновой функции, то расчеты показывают, что данные правого и левого детектора будут точно совпадать в 50% случаев.

Квантовая механика исключает возможность существования характеристик частиц, связанных соотношением неопределенности, до момента измерения. Две частицы, для



которых производится измерение, оказываются связанными во всем пространстве, независимо от расстояний между ними. Оказывается, что кроме привычного нам свойства пространства разделять объекты, существует свойство объединять объекты, которое определяет квантово-механическая взаимная зависимость. Попытка исключить взаимосвязь объектов и на этом основании доказать неполноту квантовой механики обернулась прямо противоположным результатом.

Существование квантовой связи, которая не зависит от огромных размеров пространства, заставляет пересмотреть наши представления о пространстве.

Можно сказать, что пространство выполняет роль среды, в которой отдельные части Вселенной являются частями единого целого. Общее прошлое далеких друг от друга объектов обеспечивает их существование скоординированным образом. Два объекта могут быть разделены гигантскими расстояниями и все же не иметь полностью независимого существования. Квантовая механика меняет взгляд на пространство. Пространство не разделяет объекты. В пространстве устанавливается квантовая связь между объектами, которая обуславливает характеристики одного объекта характеристиками другого. Существование таких связей по-новому ставит вопрос о природе пространства.

Опыты Аспекта и более поздние эксперименты, подтверждающие открытие Белла, доказывают, что существование наблюдателя является необходимым условием возникновения физической реальности. Критерий реальности физической величины Эйнштейна включал в качестве необходимого условия ее существование вне и независимо от наблюдателя. Это было основанием для вывода Эйнштейна о неполноте квантовой механики. Этот вывод оказался ошибочным. Квантовая механика правильно отражает устройство нашей Вселенной. Эксперименты доказали, что существование наблюдателя является решающим в определении физической реальности в квантовой механике. Квантовые связи, не зависящие от расстояний, подчеркивают связь проблемы природы пространства с происхождением Вселенной.

### **Человек и Вселенная (антропный принцип)**

Появление человека – это событие уникальное или универсальное для Вселенной? Для существующего мира? Эйнштейн отметил, что «одна из больших заслуг Канта состоит в том, что он показал бессмысленность утверждения о реальности внешнего мира без этой познаваемости».

На вопрос о том, почему природа устроена так, а не иначе, ответ предлагает так называемый антропный принцип космологии [6]. Согласно этому принципу наша Вселенная обладает именно такими свойствами потому, что во Вселенной с иными свойствами наблюдателя просто не существовало бы, и задавать вопросы об устройстве мира было бы некому.

Сам принцип в таком виде выглядит довольно тривиально и его содержание остается не раскрытым. Такой ответ есть лишь констатация факта, что мир таков, каков он есть. Основным смыслом этого принципа – какими свойствами должна обладать Вселенная, чтобы в результате ее эволюции появился наблюдатель.

Современная космология объясняет происхождение Вселенной на основе теории инфляции [4]. Согласно этой теории разные части Вселенной могли возникать в результате инфляционного взрыва в разные моменты времени и разрастаться до размеров, значительно превышающих размер вселенной. Это значит, что нельзя говорить, что вся Вселенная возникла в некоторый момент времени, до которого она не существовала, поскольку инфляция может иметь хаотический характер. Таким образом, Вселенная может состоять из различных экспоненциально больших частей с различными свойствами элементарных частиц. Инфляционная Вселенная сама по себе, без внешнего вмешательства, рождает экспоненциально большие области со всеми возможными законами физики.

При решении проблемы происхождения Вселенной возникает вопрос: какими свойствами должна обладать Вселенная, чтобы в ней возникла жизнь, подобная нашей? Было показано, что в список этих свойств должны входить как свойства элементарных частиц, так и характеристики Вселенной в целом. В частности, при небольшом изменении массы электрона (в 2–3 раза) жизнь была бы невозможна; при изменении размерности пространства на единицу существование стабильных планетных систем было бы невозможно.

Для существования известной нам жизни необходимо, чтобы Вселенная была достаточно большой, плоской, однородной и изотропной. Список требований, которым должна удовлетворять Вселенная, чтобы в ней могла возникнуть известная нам жизнь и составляет содержание антропного принципа.

Существуют разные формулировки антропного принципа, по-разному отвечающие на вопрос о привилегированности нашего положения во Вселенной [7]. Один вариант, так называемый слабый антропный принцип, принимает как должное законы природы, численные значения фундаментальных физических и космологических констант. Этот вариант констатирует привилегированность нашего положения в смысле условий, обеспечивающих существование наблюдателя. Другой вариант, так называемый сильный антропный принцип, утверждает, что Вселенная такова, что в ее свойствах заложены все необходимые условия для появления наблюдателей.

Рассмотрим более подробно слабый антропный принцип. В нем утверждается наличие особых свойств Вселенной, при которых возможно возникновение разумных существ. При этом предполагается, что их появление не противоречит законам природы и фундаментальным характеристикам Вселенной, определяющим характер ее эволюции. После инфляции Вселенная оказывается разделенной на бесконечное множество экспоненциально больших областей с веществом в разных состояниях, соответствующих разным законам физики. Эти области могут иметь различную размерность и всевозможные значения гравитационной постоянной и амплитуды флуктуаций плотности. Каждая область может рассматриваться как отдельная Вселенная, одной из них может быть та, в которой мы живем. Физика сама по себе не способна дать полное объяснение всем свойствам нашей Вселенной. Одна и та же физическая теория может описывать различные области Вселенной с совершенно разными свойствами, но мы живем в той, в которой возможна жизнь типа нашей. Такое состояние мира доказывает *слабый антропный принцип*. Не требуется никакая сверхприродная причина, создающая нашу Вселенную со специально подобранными для возможности нашего существования параметрами. Слабый космологический принцип указывает на выделенность космологической эпохи в эволюции Вселенной, когда создаются условия существования разумных существ.

Сильный антропный принцип идет дальше, он связывает появление «наблюдателя» со свойствами самой Вселенной на самых глубоких условиях ее организации. Для доказательства *сильного антропного принципа* вводится понятие Мультимира, которое включает все Вселенные со всеми возможными законами физики [8]. Для описания такой структуры используется расширенная теория, описывающая множество всех Вселенных. Такой прием вполне допустим, так как рассматривается бесконечная совокупность Вселенных, каждая из которых не влияет на остальные. Для поиска нашей Вселенной нужно осуществить отбор тех из них, которые содержат элементарные частицы с характеристиками, допускающими наше существование. Поскольку Мультимир представляет полный набор Вселенных, то задача нахождения нашей Вселенной получает твердую основу.

Однако тот факт, что «наблюдатель» в нашей Вселенной все же появился, заставляет сделать заключение, что все необходимые для этого условия, задаваемые всем спектром элементарных частиц, численных значений фундаментальных физических констант и

космологических параметров, прежде всего на ранней стадии развития Вселенной, были «обеспечены» с высокой точностью.

В этом состоит реальное физическое содержание *сильного антропного принципа*. Этому соответствует утверждение, что мир, в котором мы живем – один и этот мир – квантовый. Разделение мира на классический и квантовый в копенгагенской интерпретации квантовой механики, как было сказано ранее, представляется необоснованным. Сильный антропный принцип подчеркивает то обстоятельство, что речь должна идти не о том, что выделяет разумную жизнь из неживой природы, а о том, что их объединяет уже на начальном этапе эволюции Вселенной, и на том уровне (ядерном, атомном), где нет еще различия между живым и неживым.

На начальном этапе эволюции мир является существенно квантовым [3]. Понятие физической реальности квантовой механики учитывает существенную роль наблюдаемости квантовой системы. В широком смысле наблюдаемость состоит во взаимодействии систем разных структурных уровней. Этим обеспечивается необратимость процессов, направленность времени и возможность эволюции. В принципе эволюция может обрываться на любом этапе. Но, если вспомнить «бессмысленность утверждения о реальности мира без его познаваемости», то с необходимостью следует вывод, что эволюция мира должна приводить к возникновению разума. Для эволюции такого типа должна быть обеспечена «тонкая подгонка» фундаментальных констант и других параметров. Одной из возможностей решения этой задачи является концепция «ансамбля Вселенных». Постулируется множество Вселенных, в котором реализуются все возможные комбинации фундаментальных постоянных и других параметров. В этом множестве всегда найдутся Вселенные, удовлетворяющие требованию «тонкой подгонки», в которых будет возможен тип эволюции с возникновением разумных существ. Реальность мира будет выражена через его познаваемость. Вне связи с антропным принципом идея «ансамбля Вселенных» была разработана в так называемой «многомировой» интерпретации квантовой механики. Концепция множества Вселенных была предложена в 1957 г. Хью Эвереттом [16] для истолкования редукции волновой функции при измерении. Согласно копенгагенской интерпретации, из всех возможных состояний, содержащихся в начальной волновой функции, в макроскопическом приборе реализуется лишь одно значение наблюдаемой величины, все другие оказываются нереализованными. Именно в этом пункте копенгагенская интерпретация предполагает, что квантовая теория несправедлива в момент измерения, а именно утверждается, что при проведении измерения состояние системы перестает подчиняться детерминистическим законам эволюции состояния квантовой теории, переходя в одно из собственных состояний измеряемой величины. В многомировой интерпретации явление продолжает развиваться согласно уравнению Шредингера как во время наблюдения, так и после него. Данное значение наблюдаемой величины соответствует эксперименту в данной Вселенной, все другие возможности реализуются в других Вселенных. Основная идея в том, что реальными являются все слагаемые волновой функции как до измерения прибором, так и после. Цель многомировой интерпретации в том, чтобы придать аппарату квантовой механики детерминистический смысл. В качестве обоснования многомировой интерпретации может рассматриваться свойство нелокальности квантовой механики, которое определяется квантовыми связями. Эти связи существуют между частицами на любых расстояниях, что объясняется возникновением их на начальной стадии образования вселенной, которая имеет существенно квантовый характер. Это соответствует утверждению, что мир, в котором мы живем, – один, и этот мир квантовый. В квантовой теории, так же как и в классической физике, эволюция состояния рассматриваемой системы полностью определяется законами физики. Основное отличие от классической физики состоит в том, что квантовое состояние непосредственно не наблюдается, волновая функция является ненаблюдаемой сущностью. Этому понятию вполне соответствует многомировая интерпретация квантовой механики, которая утверждает, что состояние мира, само по себе, не является на-

блюдаемым, оно описывается в любой момент времени набором ненаблюдаемых величин, но закон его изменения детерминистичен. В результате измерения с помощью того или иного прибора мы получаем физическую реальность для наблюдаемой нами Вселенной.

Применение квантовой механики ко всей Вселенной приводит к выводу, что Вселенная как целое неизменна во времени. Понятие эволюции неприменимо ко Вселенной в целом, так как нет ни одного внешнего по отношению к ней наблюдателя и нет часов, не принадлежащих ей. Чтобы ответить на вопрос: почему мы видим Вселенную эволюционирующей во времени, надо поделить Вселенную на две части – наблюдателя с его часами и измерительными приборами и остальную Вселенную. Без наблюдателя Вселенная оказывается мертвой, не эволюционирующей со временем [16].

Как уже было сказано, физическая реальность квантовой теории представляет собой результат познавательной деятельности наблюдателя. Имея в виду связь между реальностью и познаваемостью, можно утверждать, что реальной будет лишь такая Вселенная, в которой значения физических констант с самого начала обеспечивают появление жизни и разума на некотором этапе эволюции. Можно сказать, что наблюдатель столь же существен для Вселенной, как и Вселенная для наблюдателя.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Блохинцев Д.И. Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука, 1966. – 160 с.
2. Бор Н. Дискуссия с Эйнштейном по проблемам теории познания в атомной физике. Избранные научные труды. Т.2. – М.: Наука, 1971. – С. 399-434.
3. Брайан Грин. Ткань космоса: пространство, время и текстура реальности. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 608 с.
4. Горшков В.К., Мансуров Г.Н. Теория инфляции. Стрела времени. [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. – М.: МГОУ, 2012 – № 1. – С.139-149. – URL: [http://evestnik-mgou.ru/vipuski/2012\\_1/stati/himiya/gorshkov.html](http://evestnik-mgou.ru/vipuski/2012_1/stati/himiya/gorshkov.html) (зарегистрировано в ФГУП НТЦ «Информрегистр» №0421200150\0010) (дата обращения: 20.06.2012).
5. Гросс Д. Грядущие революции в фундаментальной физике. <http://elementy.ru/lib/430177> (Дата обращения: 08.06.2012).
6. Казютинский В.В., Балашов Ю.В. Антропный принцип: история и современность. – М.: Природа, 1989. № 1. – С.23-32.
7. Линде А. Инфляция, квантовая космология и антропный принцип. <http://www.astronet.ru/db/msg/1181211> (дата обращения: 05.06.2012).
8. Линде А. Многоликая Вселенная. Всероссийский проект «Открытые публичные лекции». ФИАН, 10.06.2007, <http://elementy.ru> (дата обращения: 20.06.2012).
9. Марков М.А. О трех интерпретациях квантовой механики. – М.: Наука, 1991. – 112 с.
10. Паули В. Физические очерки. М.: Наука, 1975. – 256 с.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант: к решению парадокса времени: пер. с англ./ред. В. И. Аршинов, пер. Ю. А. Данилов. – М.: КомКнига, 2005. – 229 с.
12. Фаддеев Л. Д. Математический взгляд на эволюцию физики. – М.: Наука. Природа, 1989. № 5. – С.11-16.
13. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Собрание научных трудов. Т.3. – М.: Наука, 1966. – С.604-611.
14. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. – М.: Наука, 1966. – С. 623-626.
15. Bell J.S “On the Einstein Podolsky Rosen paradox”. – Physics. 1964. – V.1. – № 3. – P. 198-200.
16. Everett H. III. “Relative State” Formulation of Quantum Mechanics”. Reviews of Modern Physics. – V. 29. – N 3. – 1957. – P.454-462.