

## **СПОР МЕЖДУ РЕАЛИСТИЧЕСКИМИ И НЕРЕАЛИСТИЧЕСКИМИ ИНТЕРПРЕТАЦИЯМИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

*С.Ю. Коломийцев<sup>1</sup>*

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург*

*E-mail: kolomiytsev@yandex.ru*

***Аннотация.** Рассматриваются основные интерпретации квантовой механики, указывается на связь современной физики с традиционными философскими вопросами и делается вывод о том, что в настоящее время более обоснованными выглядят нереалистические интерпретации квантовой механики.*

***Ключевые слова:** интерпретации квантовой механики, реализм, объективная реальность, квантовые эксперименты, локальность, нелокальность, идеализм, материализм.*

Открытия в области квантовой механики коренным образом перевернули представления людей о законах природы. Как говорил в свое время Н. Бор, «если квантовая механика вас не шокировала, то это значит, что вы ее не поняли». Открытие принципа неопределенности, принципа дополнительности, волновой функции, принципа суперпозиции актуализировало вопрос о природе реальности и степени влияния исследователя на нее. Действительно ли мир на квантовом уровне является неопределенным, вероятностным и двойственным? Может быть, такое описание квантовой механики связано с нашим неполным знанием о нем и существуют более глубокие, скрытые от нас причины явлений, кажущихся нам случайными?

Еще одной интересной проблемой оказалась проблема наблюдателя. Опыты Тейлора и позже Фабриканта показали, что интерференция наблюдается, даже если через две щели пролетают одиночные частицы, например с частотой одна частица в секунду. Желая «подсмотреть», каким образом происходит интерференция частиц самих с собой, ученые поставили детекторы. Однако в данном случае наблюдаемая картина изменилась и на экране была обнаружена не интерференционная картина, а две яркие полосы напротив щелей, то есть частицы проявили в присутствии детектора и двух открытых щелей не волновую, а корпускулярную природу. Оказалось, что на свойства микромира влияет и то, каким образом производится наблюдение за исследуемым объектом и вообще производится оно или нет. Данное явление получило название «эффект наблюдателя». Обратим внимание, что наблюдателем может выступать не только человек, но и любой регистрирующий или измеряющий прибор.

---

<sup>1</sup> КОЛОМИЙЦЕВ Сергей Юрьевич – кандидат философских наук, доцент кафедры истории и философии гуманитарного факультета (секция философии) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

\* Статья представляет собой расширенный вариант выступления на конференции «Междисциплинарные исследования: сущность и перспективы развития» (Борисовские чтения) (Самара, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», 27–28 сентября 2019 г.).

Зададимся вопросом: действительно ли мы не можем точно предсказать положение частицы в пространстве и ее другие параметры? Действительно ли частица не обладает одновременно точными пространственно-временными и энергетически-импульсными параметрами или это означает, что мы лишь не можем их точно определить из-за нашего недостаточного знания? Двигается ли частица по одной определенной траектории или понятие траектории в классическом смысле в квантовой физике неприменимо? Как можно себе представить суперпозицию состояний и означает ли это, что один объект может одновременно находиться в разных местах? Насколько велико влияние наблюдателя на квантовый мир? Эти и иные подобные вопросы обрели статус философских, поскольку затрагивали традиционные для этой дисциплины проблемы – проблемы природы реальности, объективности бытия, соотношения материального и духовного, места человека в мире и степени его влияния.

В результате попыток осмысления квантовой механики возникли различные ее интерпретации, то есть различные понимания того, каков мир и какова объективная реальность, а также какой смысл скрывается за новыми формулами и законами.

1. Копенгагенская интерпретация. Она возникла в конце 1920-х гг. и является самой популярной интерпретацией, которой, как считается, придерживается большинство физиков. Она создана основоположниками квантовой механики Н. Бором и В. Гейзенбергом. Согласно данной интерпретации реальными являются только результаты измерений и никакой более глубокой реальности искать не следует. Объективной реальности до измерения не существует, она создается наблюдателем. Окружающий мир, безусловно, существует вне сознания человека, однако вопрос о том, что он собой представляет до процесса измерения, не имеет смысла. Сторонниками данной интерпретации с некоторыми уточнениями являлись преимущественно физики нового поколения: В. Паули, М. Борн, П. Дирак, В.А. Фок, Дж. Уилер, Ю. Вигнер и многие другие.

2. Второй по популярности является многомировая интерпретация, которую в 1957 г. предложил американский физик Х. Эверетт. В данной интерпретации принцип суперпозиции рассматривается как существование огромного количества параллельных миров, количество которых постоянно растет, а в момент измерения происходит выбор одного из них (то есть выбор одного из слагаемых в суперпозиции).

3. Квантово-логическая интерпретация, которую в 1936 г. предложили американские математики Дж. фон Нейман и Г. Биркгоф. Они утверждали, что все сложности возникают только в мышлении людей и связаны с тем, что мы еще со времен Аристотеля пользуемся двужаночной логикой, которая неприменима в современном мире. Для устранения парадоксов необходим переход к новой трехзначной квантовой логике.

4. Холистическая интерпретация. Ее предложил в 1980 г. американский физик Д. Бом. С его точки зрения, у Вселенной имеется глубинный, «непроявленный» уровень, существующий вне пространства и времени, с которым и имеет дело квантовая механика. Окружающий нас мир является проекцией другого, глубинного мира, а в каждом объекте окружающего нас мира, подобно голограмме, отражается вся Вселенная. Сторонником идеи целостности мира также является австрийско-американский физик Ф. Капра.

5. Реалистическая интерпретация. Данная интерпретация, являясь противоположностью копенгагенской, также появилась во время формирования

квантовой механики – в 1920-е гг. Некоторые физики не смогли принять квантовую механику в таком виде и поверить, что в основе мира лежат вероятностные законы. Они считали, что вероятности связаны с неполным знанием о квантовом мире и должны существовать «скрытые параметры», которые являются причиной вероятностных процессов. Квантовый мир должен подчиняться таким же точным законам, как и окружающий нас макромир, и быть наглядным. Он не должен зависеть от условий наблюдения, и в будущем возможно создание более глубокой теории, объясняющей кажущиеся парадоксы. Сторонниками данной трактовки являлись в основном физики старшего поколения: А. Эйнштейн, Э. Шрёдингер, М. Планк, Л. де Бройль, М. фон Лауэ. Более подробно данные и некоторые другие интерпретации квантовой механики рассмотрены, например, в работе [1].

Также необходимо обратить внимание на то, что часть физиков в принципе не придерживается никакой интерпретации и считает, что заниматься поисками смысла за формулами нет надобности, если формулы и так дают нам практическую пользу. По этому поводу можно вспомнить слова Ф. Энгельса: «Естествоиспытатели воображают, что они освобождаются от философии, когда игнорируют или бранят ее. Но так как они без мышления не могут двинуться ни на шаг <...> то в итоге они все-таки оказываются в подчинении у философии, но, к сожалению, по большей части самой скверной, и те, кто больше всех ругают философию, являются рабами как раз наихудших вульгаризированных остатков наихудших философских учений» [2, с. 166–167]. Похожие мысли высказывает современный аргентинский философ М. Бунге, обращающий внимание на то, что любой физик, часто не осознавая этого, пытаясь уяснить смысл своей работы, все равно рано или поздно сталкивается с философией. Поэтому вопросы, касающиеся интерпретации квантовой механики, нельзя игнорировать.

Как видим, условно все интерпретации можно разделить на две группы. Сторонники первой группы старались сохранить классический реализм и утверждали, что квантовая механика на данный момент является неполной. Сторонники второй группы считали, что квантовая механика является полной, законченной теорией, классический реализм неприменим к квантовой механике, а вероятность и неопределенность являются фундаментальными свойствами квантового мира.

Пристальным объектом споров стал принцип неопределенности Гейзенберга: действительно ли объекты не могут обладать одновременно точными характеристиками или эта неточность связана с нашей неполнотой знаний? Для «обхода» неравенства Гейзенберга сторонники реалистической интерпретации А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен предложили в 1935 г. так называемый ЭПР-парадокс, опровергающий принципиальную невозможность знать координаты и импульс одной частицы одновременно. Суть его заключается в следующем. Предположим, что движущаяся частица А с известным импульсом  $p_A$  распадается на две другие частицы: В и С. Принцип неопределенности говорит, что невозможно одновременно знать импульс и координату какой-либо частицы. Но в данном эксперименте, не нарушая никаких законов, мы можем измерить импульс частицы В (обозначим его  $p_V$ ) и координату частицы С (обозначим ее  $x_C$ ). Для получения полной информации о частице С нам останется узнать только ее импульс  $p_C$ , который мы сможем вычислить по закону сохранения импульса как разность между изначальным импульсом частицы А и импульсом, который перешел к частице В.

Таким образом, предполагали авторы мысленного эксперимента, нам удастся «перехитрить» принцип неопределенности, доказать, что за вероятностями скрывается лишь наша неполнота знаний, и показать, что квантовые частицы все же обладают объективными характеристиками независимо от измерений. Согласно реалистической интерпретации, такая ситуация в принципе возможна. Согласно копенгагенской интерпретации, измерение импульса частицы В должно мгновенно (а не со скоростью света) повлиять на характеристики частицы С, поскольку точное одновременное определение всех ее параметров принципиально невозможно, а до измерения частица не обладает объективными характеристиками.

Поскольку напрямую провести подобный эксперимент невозможно, то для его проверки в 1964 г. ирландский физик Дж. Белл сформулировал статистическое неравенство, которое можно было проверить экспериментально. Выполнение неравенства свидетельствовало бы о том, что, во-первых, частицы обладают объективными характеристиками до измерений (данная характеристика называется «реальность»), а во-вторых, мгновенное (а не со скоростью света) влияние одной частицы на другую невозможно (данная характеристика называется «локальность»). Нарушение неравенства свидетельствовало бы о том, что, как минимум, одно из положений неверно.

Первые убедительные опыты смог провести около 1981 г. французский физик А. Аспек, и эти опыты показали нарушение неравенств Белла. Эксперимент Аспека стал первым опытом, окончательно доказавшим, что квантовую механику невозможно привести в соответствие с понятиями классической механики и классического реализма, и, соответственно, кардинально изменившим представления ученых о мире.

В 1985 г. Э.Дж. Леггетт и американский физик А. Гарг сформулировали временные неравенства Леггетта – Гарга. Данные неравенства выражают соотношения между положениями в пространстве одной и той же частицы, измеренные в разные моменты времени. Выполнение неравенств должно происходить только в том случае, если квантовый объект в каждый момент времени находится только в одном положении и оно может быть определено без вмешательства наблюдателя. Начиная с 2012 г. был проведен ряд экспериментов, зафиксировавших нарушение неравенств, что означает, что микрочастица действительно движется не по одной траектории, а одновременно по всем (то есть имеет место суперпозиция траекторий).

В 2003 г. были сформулированы пространственные неравенства Леггетта, нарушение которых однозначно доказывало бы отсутствие конкретных свойств и реальных характеристик микрообъектов до наблюдения. В 2007 г. австрийские физики М. Аспельмейер и А. Цайлингер с коллегами экспериментально доказали нарушение пространственных неравенств Леггетта и, стало быть, отсутствие конкретных характеристик у частиц до их наблюдения. Более подробно данные эксперименты и некоторые другие описаны в работе [3].

Существуют и другие эксперименты, указывающие на удивительные свойства микромира. Интересен, например, эксперимент с отложенным выбором, предложенный в 1978 г. Дж. Уилером. В двухщелевом эксперименте картина на экране зависела от того, наблюдаем ли мы за тем, через какую щель проходит фотон, или не наблюдаем. Суть эксперимента Уилера заключалась в том, чтобы в тот промежуток времени, когда фотон света уже пролетел через одну или две щели в ширме, но еще не достиг экрана, экспериментатор

выбирал, наблюдает он за ним при помощи датчика или нет. Если бы экспериментатор решал наблюдать, то на экране должны были наблюдаться две полосы напротив щелей. Если бы экспериментатор решал не наблюдать, то на экране должна была возникать интерференционная картина. В 2007 г. А. Аспек со своими французскими коллегами смог реализовать данный эксперимент Уилера, и картина на экране действительно появлялась в зависимости от решения, принятого после того, как фотон проходил через щель (или щели).

Таким образом, создается впечатление, что именно в начале XXI века, спустя 100 лет споров, появилась возможность внести хоть какую-то ясность в позиции сторонников разных интерпретаций. У физиков становится все больше уверенности в том, что квантовые объекты не обладают конкретными характеристиками до наблюдения, их движение не происходит по определенной траектории в классическом смысле, имеет место «нелокальность», заключающаяся в изменении характеристик одной частицы мгновенно без физического взаимодействия путем влияния на вторую, «запутанную» частицу. Можно заключить, что реалистические интерпретации квантовой механики, предлагавшие описание квантовых явлений по аналогии с классическими, оказываются несостоятельными, а выдерживают испытание нереалистические, в первую очередь копенгагенская и многомировая. Также в связи с доказательством «нелокальности» и «запутанности» частиц и даже применением данных свойств в технике начиная с конца XX века возрастает интерес к холистической интерпретации Бома. Либо, следуя рекомендациям Дж. фон Неймана и Г. Биркгофа, в контексте открытий к области квантовой физики для человечества настало время менять мышление.

### Список литературы

1. Севальников А.Ю. Интерпретации квантовой механики: в поисках новой онтологии. Изд. 2-е. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 190 с.
2. Энгельс Ф. Философия природы. – М.: Госполитиздат, 1941. – 338 с.
3. Карпенко А.С. В поисках реальности: исчезновение // Философия науки и техники. – Т. 20. – № 1. – 2015. – С. 36–81.

### DISPUTE BETWEEN REALISTIC AND NON-REALISTIC INTERPRETATIONS OF QUANTUM MECHANICS

*S.Y. Kolomyitsev*<sup>2</sup>

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg*

*E-mail: kolomyitsev@yandex.ru*

**Abstract.** *The paper examines the basic interpretations of quantum mechanics, pointed the connection of modern physics with traditional philosophical questions and concludes that at present unrealistic interpretations of quantum mechanics seem to be more reasonable.*

**Keywords:** *interpretation of quantum mechanics, realism, objective reality, quantum experiments, locality, non-locality, idealism, materialism.*

---

<sup>2</sup> KOLOMIYTSEV Sergey Yurievich – candidate of philosophy, associate Professor, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg