

## НЕНАБЛЮДАЕМЫЕ СУЩНОСТИ МИКРОМИРА КАК ОБЪЕКТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Е. А. Мамчур

*Институт философии РАН*

Поступила в редакцию 7 октября 2017 г.

**Аннотация:** в статье обосновывается, что в отличие от ненаблюдаемых объектов классической физики, теоретические сущности квантовой механики не наблюдаемы «в принципе». В структуре физической реальности они выступают конструктами. Показано, что ограничение, налагаемое на познание микромира соотношениями неопределенности Гейзенберга, считавшееся недостатком квантовой механики, после создания квантовой теории информации (КТИ) стало расцениваться как достоинство. Технологические достижения КТИ создаются благодаря именно специфическим особенностям квантового описания микромира.

Во второй части статьи рассматривается проблема ограничений, налагаемых квантовой теорией на познание мира.

**Ключевые слова:** ненаблюдаемые объекты классической и неклассической физики, конструкты соотношения неопределенностей ограничения на возможности познания мира, квантовая теории информации (КТИ).

**Abstract:** the article substantiates that unlike unobservable objects of macrophysics, the theoretical entities of quantum mechanics (QM) are unobservable «in principle». It is shown, that the limitation imposed on the cognition of micro-world by the uncertainty principle considered as a flaw of QM in comparison with classical physics, after the creation of Quantum Theory of Information (QTI) became regarded as a virtue. All technological achievements of the QTI can be created thanks to specific features of quantum description of the micro-world.

In the second part of the article the problem of limitations imposed on the cognition of the world by quantum theory is analyzed.

**Key words:** unobservable objects macro and micro-world, constructs uncertainty principle limitations on the cognition of the world, quantum theory of information (QTI).

Существует принципиальное различие между ненаблюдаемыми объектами классической физики и физики микромира. Ненаблюдаемые объекты классической физики были доступны опосредованному наблюдению с помощью приборов, усовершенствующих наши органы чувств. Атомы в физике; невидимые невооруженным глазом далекие звезды в астрономии и космологии; бактерии и вирусы в биологии; структурные элементы клеток живых организмов и т. п. – стали видимыми и наблюдаемыми, как только были открыты и изобретены микроскопы и телескопы.

В неклассической физике ситуация совершенно иная. Здесь появляются сущности, в принципе не доступные для наблюдения. И дело не в

несовершенстве наших органов чувств, а в самой *природе* этих объектов. Вот это утверждение многие не понимают и сомневаются в его справедливости. Оно нуждается в экспликации, которая будет осуществлена ниже.

В современной физике микромира ненаблюдаемые сущности являются конструктами. Их конструирование осуществляется при опоре на косвенные результаты их фиксации в экспериментальной аппаратуре. Создание конструктов требует большой эпистемической работы, связанной с обоснованием теорий, в которых содержатся эти сущности, и с доказательством их реального бытия.

Создаваемый конструкт не только непосредственно не наблюдаем, он вообще не является наглядно представимым. В макромире мы не находим никаких подходящих образов для такого представления. Корпускулярные и волновые свойства микрообъекта дополняют и в то же время взаимно исключают друг друга. Корпусула – это нечто локализованное в пространстве, волна – нечто «размазанное» в нем. В макромире не существует аналогов таких объектов. Недаром авторы знаменитых фейнмановских лекций по физике утверждают: «На самом деле, он (имеется в виду электрон. – *Е. М.*) *ни на что* не похож» [1, с. 201].

Если попытаться ранжировать ненаблюдаемые в микрофизике по степени их наблюдаемости, можно указать на микрообъекты с наиболее высокой степенью ненаблюдаемости и непредставимости. Это кварки – составные элементы адронов (протонов, нейтронов) и глюоны – переносчики сильных взаимодействий. В отличие от других элементарных частиц кварки не фиксируются в свободном состоянии, хотя есть веские основания считать, что кварки существуют: они обнаруживаются внутри частиц в качестве партонов при глубоко неупругих взаимодействиях. Причина их ненаблюдаемости заключается в явлении конфайнмента (заточения)<sup>1</sup>.

Нередко утверждают, что можно указать на косвенные доказательства существования микрообъектов: в камере Вильсона мы можем видеть треки частиц. Так что, утверждают, не такими уж ненаблюдаемыми являются объекты современной, неклассической физики! Возможно, не так уж они отличаются от ненаблюдаемых классической науки, и, если мы хорошенько подумаем, то сможем придумать приборы, позволяющие их наблюдать. Может быть, дело не в природе объектов квантовой механики, говорят они, а в нашей неспособности решить саму проблему наблюдения?

На самом деле, всё не так просто: дело действительно в *природе* микрочастиц. Ненаблюдаемые неклассической физики являются объек-

---

<sup>1</sup> Явление конфайнмента (удержания, в данном случае удержание цвета) объясняется тем, что цвет заряда, которым обладают кварки, имеет свойство антиэкранирования. Оно осуществляется из-за того, что переносчики сильного взаимодействия, в котором участвуют кварки, сами обладают цветовым зарядом и сами порождают дополнительное взаимодействие. В результате кварки взаимодействуют тем сильнее, чем дальше друг от друга они находятся.

тами квантовой механики. Как вспоминает В. Гейзенберг, размышляя вместе с Н. Бором над проблемами интерпретации квантовой механики (это было время острых дискуссий по поводу создающейся копенгагенской интерпретации квантовой теории – 1927 г.), будущие авторы этой интерпретации столкнулись с серьезной проблемой. Речь шла о том, как совместить тот факт, что существует возможность наблюдать траекторию электрона в камере Вильсона, с тем, что в формализме квантовой теории понятия траектории нет. Было неясно, каким образом в математической схеме квантовой теории можно представить траекторию электрона, наблюдаемую в камере Вильсона? На верное решение проблемы Гейзенберга натолкнуло замечание Эйнштейна, сделанное им в одной из их совместных бесед: «Только теория решает, что можно наблюдать» [2, с. 204].

Гейзенберг понял, что они с Бором неверно ставят вопрос. На самом деле квантовая теория в ее копенгагенской интерпретации *запрещает* наблюдение траектории электрона. В камере Вильсона наблюдалась не траектория электрона, а лишь дискретные следы неточно определенных положений электрона. Фактически в камере Вильсона видны лишь отдельные капельки воды, которые заведомо намного протяженнее электронов. Поэтому правильно поставленный вопрос должен был бы звучать так: «Можно ли в квантовой механике описать ситуацию, при которой электрон приблизительно, т. е. с некоторой неточностью, находится в данном месте, и при этом опять-таки приблизительно обладает заданной скоростью, и можно ли эти неточности сделать настолько незначительными, чтобы не впадать в противоречие с экспериментом?» [там же, с. 205].

Расчеты показали, что произведение неточностей не должно быть меньше планковского кванта действия. Позднее открытое Гейзенбергом соотношение неточностей получило название *принципа неопределенности Гейзенберга*. Этот принцип стал основополагающим для копенгагенской интерпретации квантовой механики.

«Для того, чтобы придать ему статус принципа, нужно было доказать, что в любом эксперименте, проводимом с целью подтверждения квантовой механики, могут возникать только те ситуации, которые удовлетворяют соотношениям неопределенности», – писал Гейзенберг [там же]. Что и было проделано Гейзенбергом.

В связи с этим немецкий физик вспоминает об одном своем бывшем соученике (по гимназии), который предположил, что в принципе можно создать микроскоп такой разрешающей силы, чтобы он (работая, естественно, не в видимом свете, а в рентгеновских лучах) смог бы сфотографировать траекторию электрона. Однако Гейзенберг показал, что даже такой микроскоп не смог бы «перешагнуть границы, устанавливаемые соотношением неопределенностей» [там же]. Так что мы действительно не можем видеть траекторию электрона или наблюдать сам электрон. «Видеть» траекторию электрона – значит проследить за движением отдельного электрона. Для того чтобы «увидеть» электрон, его нужно ос-

ветить фотонами. Но фотоны воздействуют на электроны. Пытаясь проследить за электронами, мы изменяем их движение. (Так что дело здесь вовсе не в наблюдателе, которому некоторые интерпретаторы приписывают чуть ли не мистическую роль в квантовой механике, а во вполне материальном физическом воздействии фотонов на электроны). Казалось бы, выход из этой ситуации есть: можно уменьшить интенсивность света, чтобы ослабить его действие на электроны. Но этот прием ничего не дает. Дело не в интенсивности света, а в его частоте. Можно попробовать изменить длину волны света, уменьшив его частоту. Но и эти эксперименты оказываются несостоятельными: как бы мы не уменьшали частоту света, картина движения электрона искажается.

Принцип неопределенности невозможно объяснить какими-то более глубокими причинами или механизмами, действующими внутри самих элементарных частиц. Если придерживаться копенгагенской интерпретации, то следует признать: суть дела все-таки в том, что такова природа микрообъектов.

Что означают эти слова? Допустить справедливость принципа неопределенности – значит признать, что есть вещи, которые мы не просто не знаем, но которые мы не можем знать. К ним и относятся точные значения положения и скорости элементарных частиц, их энергии и импульса, а также всех некомутирующих величин, измеряемых одновременно. Казалось бы, то же самое утверждал и оппонент копенгагенской интерпретации – А. Эйнштейн. Он считал, что эти величины существуют; мы просто еще не построили теорию, которая давала бы нам возможность получить более полное знание об объектах микромира. Эйнштейн полагал, что есть более глубокий слой реальности, который мог бы послужить источником информации о скрытых параметрах. Приверженцы копенгагенской интерпретации, напротив, утверждают, что, вопреки Эйнштейну, не существует более глубоко лежащей реальности, содержащей информацию, которая позволила бы нам описать квантовую реальность полностью. Истинный копенгагенец полагает, что мы не просто пока не знаем этих свойств: их не существует. (Ср. с известными словами Ричарда Фейнмана: «Не только мы не знаем, не знает сама природа».)

В качестве объектов квантовой механики микрочастицы обладают такими, не имеющими аналогов в макромире свойствами, как корпускулярно-волновой дуализм, суперпозиция состояний. В экспериментах с прохождением электронов через двухщелевые установки электроны проходят через щели порциями и, следовательно, ведут себя как *частицы*. Вместе с тем экспериментально доказано, что они проходят не *либо* через одну, *либо* через другую щель, что было бы вполне естественно, если бы мы имели дело с частицами, а через обе щели одновременно. Таким образом электроны проявляют свои волновые свойства. Возникает интерференционная картина. Любые попытки утверждать, что электроны проходят *либо* через одну, *либо* через другую щель, оказываются несостоятельными, и несостоятельность их доказывается тем, что в тео-

ретической интерпретации эксперимента не удастся получить интерференционной картины, которая в действительности существует.

Справедливо сказано, что, формулируя принцип неопределенности, Гейзенберг «спасал» квантовую механику. Он прекрасно понимал, что «если бы можно было с большей точностью измерить и положение, и импульс микрообъекта, квантовая механика рухнула бы» [1, с. 220].

Между тем далеко не все физики в восторге от копенгагенской интерпретации, поскольку в лице принципа неопределенности квантовая теория налагает фундаментальные ограничения на возможности познания мира. «В девяти из десяти случаев, – пишет по этому поводу физик-теоретик Кристофер Фукс, – соотношения неопределенностей преподносятся таким образом, что складывается впечатление, будто в связи с их введением мы многое потеряли в наших возможностях исследования мира. Многие физики говорят: насколько богаче была классическая физика! Мы могли измерять местоположение частицы и ее скорость одновременно с той точностью, с которой хотели. Насколько беднее квантовая механика: у нас есть соотношение неопределенностей, и мы ничего с этим не можем поделать. Удел физиков – только скорбеть по этому поводу и пытаться извлечь из этого что-нибудь полезное [3, с. 29].

После появления квантовой теории информации (КТИ) ностальгия по временам классической физики сменилась эйфорией в связи с созданием КТИ. После появления этой теории ограничения, налагаемые квантовой теорией, стали расцениваться как достоинство. КТИ была создана в контексте совершающегося в последние годы в интерпретации квантовой механики информационно-теоретического поворота [4]. Этот поворот стимулировал разработки технологических приложений квантовой механики, таких как квантовые компьютеры, квантовая криптография, квантовая телепортация. Их успешность способствовала тому, что физики и технологи увидели позитивную сторону «недостатков» квантовой механики.

Возьмем, например, квантовую криптографию. Суть этого технологического приложения в разработке способов сохранения секретности передаваемой информации, защиты ее от попыток перехвата. Из истории известны различные способы защиты передаваемых сообщений от несанкционированного использования. Такая процедура, как шифрование сообщений, практиковалась уже в далекой древности. Если шифр был достаточно надежен, удавалось сохранить секретность информации в течение длительного времени. Но находились злоумышленники, которые в конце концов разгадывали шифр и получали доступ к сообщению. В связи с этим работа по совершенствованию методов сохранения секретности сообщений велась постоянно.

Положение изменилось в лучшую сторону при появлении квантовой теории информации. Идея использовать квантовые системы для передачи и сохранения секретности информации возникла благодаря некоторым особенностям квантовых систем. Состояние квантовой системы определяется измерением, после которого она переходит в другое состо-

ание, причем однозначно предсказать результаты измерения невозможно. И, если в качестве носителей информации используются квантовые системы, попытка перехватить сообщение приведет к изменению состояния квантовой системы, которая и укажет на то, что такая попытка была реализована. При этом измерение не позволяет получить полную информацию о квантовой системе, и ее невозможно клонировать (копировать), что делает ее очень удобным средством для передачи информации и сохранения ее секретности.

Один из вариантов практической реализации квантовой криптографии состоит в следующем. По волоконно-оптическому кабелю передается световой сигнал (поток фотонов), находящийся в суперпозиции двух состояний. Если злоумышленники подключатся к кабелю где-то на полпути, сделав там отвод сигнала, чтобы подслушать передаваемую информацию, это вызовет редукцию волновой функции, и свет из суперпозиции состояний перейдет в одно из собственных состояний. Проводя статистические пробы света на приемном конце кабеля, можно будет обнаружить, находится ли он в супер-позиции состояний или над ним произведено измерение, в процессе которого информация поступила нелегитимному пользователю. Таким образом, коллапс волновой функции позволяет обнаружить перехват информации.

Это обстоятельство вселяет оптимизм в сторонников информационно-теоретического поворота и порождает надежды, что в результате его реализации квантовая механика трансформируется в информационную теорию микромира, в которой «кажущиеся смущающими (perplexing) квантовые феномены, такие как проблема измерения и нелокальность, могут оказаться не такими уж плохими» [3, с. 6].

### ***Критерии реальности конструкторов***

Известно, что квантовая механика, будучи успешно работающей теорией, до сих пор не имеет общепризнанной интерпретации. Наиболее распространенной является копенгагенская трактовка этой теории. Она была создана Н. Бором, В. Гейзенбергом, В. Паули и др. в 1922–1927 гг. Большинство исследователей – ее сторонников – полагают, что она является антиреалистической, поскольку противостоит «локальному реализму», защищаемому А. Эйнштейном. Эйнштейн определял критерий реального существования объектов микромира таким образом: если мы можем, *не возмущая систему* (курсив мой. – Е. М.) предсказать с вероятностью, равной единице, существование того или иного свойства квантовой системы, и это предсказание подтверждается, значит это свойство существует реально [5, р. 779]. Многие исследователи утверждают, что согласно копенгагенской интерпретации как раз наоборот: реальность *создается* самим актом измерения.

Посмотрим, например, как характеризует различие между критерием локального реализма Эйнштейна и отношением к реальности копенгагенской интерпретации физик-экспериментатор Леонард Мандел. Подводя итоги эксперимента с интерференцией двух поляризованных фотонов, который показал, как утверждает Мандел, несостоятельность

критерия локального реализма Мандел пишет: «Эксперимент показал, что позитивистское утверждение, согласно которому квантово-механическое измерение создает реальность, ближе к истине, чем идея локального реализма Эйнштейна-Подольского-Розена» [6, с. 135].

Думается, однако, что утверждение Мандела нуждается в уточнении. В таком виде оно выглядит по крайней мере неточным. Известно, что Н. Бор не был антиреалистом. Он не отрицал реального существования элементарных частиц. Отечественный физик акад. М. А. Марков рассказывает, как на вопрос, признает ли Бор существование электрона вне и независимо от человеческого сознания, тот ответил решительным «да», и даже удивился самому вопросу [7, с. 96]. Но ведь, будучи создателем копенгагенской интерпретации, Бор должен был бы сказать, как это сделал Мандел, что измерение создает реальность. Неужели Бор противоречил сам себе? Ведь, с одной стороны, он признавал существование микрообъектов до измерения, с другой – утверждал, что микрообъекты создаются самим актом измерения.

На наш взгляд, противоречия здесь нет: оно лишь кажущееся. При рассмотрении процедуры конструирования объектов квантовой механики нужно проводить различие между онтологическим и эпистемологическим (иногда говорят эпистемическим) аспектами этой процедуры. Признавая существование электронов вне и независимо от человеческого сознания, Бор, несомненно, имел в виду онтологический аспект. До всякого измерения уже существует «нечто». Актами измерения создаются свойства этого «нечто», конструируется квантовая система.

Создание конструкта осуществляется на эпистемическом уровне. Анализируя результаты своего эксперимента, Мандел отмечает: «...Если приложить определение критерия реальности, содержащееся в концепции локального реализма, к оценке результатов эксперимента, оно ведет к противоречию в системе специально подобранных уравнений, содержащих условия реальности, сформулированные авторами ЭПР-парадокса. Если же они анализируются с позиции копенгагенской интерпретации, противоречия не возникает. И происходит это потому, что в копенгагенской интерпретации мы не ассоциируем ту или иную величину с данными наблюдения, пока не произведено измерение этой величины. Фотон приобретает определенную величину поляризации только как результат измерения» [6, с. 137]. Это существенное уточнение: создается не реальность, а свойства квантовых систем: «нечто», существующее до измерения, в актах измерения приобретает определенные свойства, и, таким образом, создается конструкт, который мы называем фотоном.

Наши гипотетические предположения затем проверяются экспериментально. В этом плане физика ненаблюдаемых сущностей микромира сохраняет свою связь с классической физикой. Так, уже упоминалось, что ссылка на то, что неверное допущение, согласно которому микрообъекты проходят сначала через одну, а потом через другую щель, было опровергнуто ссылкой на эксперимент. Было показано, что такое предположение неверно, так как в этом случае в теории не удастся получить

интерференционной картины, в то время как в реальном эксперименте эта картина существует. Так что и для физики ненаблюдаемых существностей эксперимент является последним критерием правильности или ошибочности результатов конструктивистской деятельности.

***Проблема ограничений, ассоциируемых с квантовой механикой***

Вернемся, однако, к вопросу об ограничениях. Как уже отмечалось, соотношения неопределенностей характеризуют запрет на возможность повышения ранга наблюдаемости объектов микромира. Кроме того, они запрещают более детализированное, чем это разрешается копенгагенской интерпретацией, познание микромира и ставят крест на программе классической науки познать мир во всех его деталях. Так оно воспринимается большей частью физиков, обычно далеких от метафизики и мировоззренческих проблем и больше занятых прагматическими вопросами, например, приложениями квантовой теории. Философствующие физики, к которым мы с полным правом можем причислить творцов квантовой теории, таких как Н. Бор, В. Гейзенберг, В. Паули, Дж. Уилер и др., сумели посмотреть на проблему с другой, более глубокой и позитивной стороны, при этом никак не связанной с технологическими успехами созданной на основе квантовой механики квантовой теории информации (КТИ), с ее уже упоминавшимися технологическими инновациями.

Характеризуя точку зрения оппонентов копенгагенской интерпретации, недовольных ограничениями, накладываемыми соотношениями неопределенностей, М. А. Марков пишет, что критики этих ограничений нередко вспоминают о платоновской пещере и ее узниках. Как известно, по Платону, узники прикованы к стене, так что они обречены на то, чтобы видеть только тени реальных людей и тени реальных событий. И разве, спрашивает М. А. Марков, «...соотношения неопределенностей это не те же оковы, мешающие заглянуть вглубь микромира? Разве “макроскопическая проекция” микромира – это не мир теней, а макроскопическое существование человека – не “пещера”, в которой человек – узник?» [7, с. 48]. Сам Марков отнесся к такой аналогии, как к поклепу на копенгагенскую интерпретацию. «Она (аналогия. – Е. А.), пишет М. А. Марков, может привести и приводит в лучшем случае без всяких на то действительных причин к теоретико-познавательному “самобичеванию” физиков и философов, разрабатывающих эту интерпретацию» [там же].

Творцы копенгагенской интерпретации полагали, что, вопреки критикам, ограничения дают возможность лучше понять подлинную природу реального мира. Гейзенберг, утверждая, что классические понятия координаты микрообъекта и его импульса можно использовать и в квантовой физике, наложив ограничения на возможность их одновременного измерения, заявлял, что соотношения неопределенностей только и делают допустимым использование в квантовой механике классических понятий. А это использование Гейзенберг считал необходимым для понимания квантовой физики [цит. по: 8, с. 319].

Наиболее оригинальную концепцию, касающуюся квантовых запретов, предложил В. Паули. На этот раз речь шла об ограничениях, налагаемых на возможности достижения *объективности* научного знания. Немецкий физик увидел в них свидетельство возврата науки к средневековым представлениям о существовании *anima mundi* – «души мира». В средневековом мировоззрении под *anima mundi* понималась божественная сущность, которая одушевляет и одухотворяет всё – от мельчайших атомов материи до человека [9, с. 141 и др.]. В средневековом мировоззрении существовали представления о душах Земли, планет, звезд, но главной была *anima mundi* – душа мира. Идея одушевленности мира просуществовала в мировоззрении средневековья вплоть до XVII в. Создатели науки Нового времени, начиная с И. Кеплера и кончая И. Ньютоном, разрабатывали физику, опираясь только на рациональные основания.

В. Паули считал, что в копенгагенской интерпретации, идея одушевленности мира возвращается в наши представления о реальности. Причем уже не как ничем не подкрепленная метафизическая установка, как это было в средние века, а как утверждение, обоснованное экспериментальными результатами квантовой теории. Согласно Паули, одушевленность входит в наше мировоззрение через особенности квантовых феноменов. Паули характеризовал квантовый феномен как единство наблюдателя, процедуры выбора им экспериментальной установки, подготовку эксперимента и проведение процедуры измерения. И именно включение в квантовый феномен наблюдателя с его сознанием рассматривалось Паули как свидетельство возвращения в наше мировоззрение «души мира».

Бор, также как и Паули, включал в квантовый феномен наблюдателя. Но позиция Бора была более прагматичной, по сравнению с мистико-символическими идеями Паули. Бор полагал, что квантовая механика не о внешнем объективном мире, а о той информации, которую мы получаем в результате измерения тех или иных параметров квантовых систем. Его интересовали измерения и возможность на их основе делать успешные предсказания. Известны слова Бора, цитируемые А. Петерсеном – исследователем философских взглядов Бора: «Нас не интересует, как устроена природа, нас интересует, что физика может сказать о природе» [10, с. 305].

Основной интенцией раннего периода работы Бора над интерпретацией квантовой теории было «наведение мостов» между классической и квантовой физиками. Главным методологическим принципом построения квантовой теории он считал сформулированный им принцип соответствия. Кратко, суть этого принципа состояла в следующем: в условиях, когда можно было пренебречь величиной кванта действия  $h$  (полагая его стремящимся к нулю), можно было убедиться в том, что математический аппарат квантовой механики асимптотически переходит в математический аппарат классической механики, а сама классическая физика оказывается неким предельным случаем квантовой теории. Бор

сформулировал принцип соответствия как метод усиления важной для его мировоззрения идеи необходимости для научного познания понятий классической физики. Правила соответствия базировались на эпистемологической идее о невозможности понять реальность без обращения к понятиям, характеризующим макромир.

Но в более зрелый период своего творчества Бор отказался от принципа соответствия как методологической основы квантовой механики: за этим принципом была оставлена функция эвристического приема. Важную роль в такой смене декораций сыграло открытие «спина», понятия, не имеющего аналогов в классической физике. Это открытие нанесло удар по методологии соответствия.

Конечно, дело было не только в открытии спина. В процессе разработки квантовой механики Бор всё больше понимал, насколько радикально различаются миры классической и квантовой физик. На первый план для него выступили концепция дополнительности и связанные с ней холистские представления о квантовом феномене. В интерпретацию квантовой теории прочно вошло понятие единства таких элементов квантового феномена, как микрообъект, макроприбор, а также идея о неотделимости измеряемого объекта от измерительного прибора. Принцип дополнительности вынуждал Н. Бора включать в квантовый феномен не только микрообъект и макроприбор, но и наблюдателя, ибо наблюдатель решал вопрос, какую именно реальность – волновую или корпускулярную – он хотел бы наблюдать. Для этого наблюдатель использовал различные по своим характеристикам экспериментальные установки.

Включая в квантовый феномен наблюдателя, Бор, как уже отмечалось, не разделял таких радикальных представлений о роли наблюдателя, какие были присущи позиции В. Паули. Он колебался в своих высказываниях о функции наблюдателя в процессе измерения микрообъекта. Для Бора была важнее идея о неправомерности рассуждений относительно характеристик квантовой системы самой по себе, без учета спецификации измерительных макроприборов.

Здесь уместно вновь вспомнить о различиях между онтологическим и эпистемологическим ракурсами рассмотрения проблем физики, о которых упоминалось выше. И Бор, и Паули подчеркивали нераздельность, единство элементов, входящих в квантовый феномен. Но такая целостность для Бора существовала на эпистемическом уровне, тогда как для Паули – на онтологическом: ведь *anima mundi* одушевляла реальный мир.

Одним из первых философов, который начал формировать фундамент европейской рациональности, легшей в основу классической физики, был Рене Декарт. Он отказался от идеи одушевленности мира, проведя четкую границу между мыслящей и протяженной (материальной) субстанциями. Если обратиться к идеям Декарта, то можно сказать, что на онтологическом уровне сохраняет свою силу декартовская когнитивная парадигма, утверждающая существование границы между мыслящей и протяженной субстанциями. По-видимому, если эта граница и нарушалась, то только на эпистемологическом уровне.

Сторонники копенгагенской интерпретации критиковали Эйнштейна за то, что он, якобы, слишком уверовал в декартовское разграничение мыслящей и протяженной субстанций, и его ошибка усматривалась в том, что он не мог расстаться с этой парадигмой. Но, если Эйнштейн имел в виду онтологический уровень рассмотрения проблем квантовой механики, он, по-видимому, был прав.

Вопрос о функции наблюдателя в интерпретации квантовой механики до сих пор остается остро дискуссионным. Если ограничить роль наблюдателя только выбором измерительного прибора для получения либо корпускулярного, либо волнового аспекта микрореальности, то в его включении в квантовый феномен нет ничего особенного или удивительного. В западной литературе такой наблюдатель характеризуется как *detached* (отделенный от измеряемого объекта). Это означает, что, хотя наблюдатель включен в процедуру измерения, но функции его в получении результата недостаточно весомые и серьезные. Утверждают, что в этой процедуре наблюдатель вполне может быть заменен компьютером. Истинная «проблема наблюдателя» в другом: она в участии в процедуре измерения *сознания* наблюдателя, в возможном воздействии сознания на онтологию мира. Только в этом случае наблюдатель становится активным фактором в процедуре измерения квантовых систем.

Существует ли такое воздействие? Если да, то тут, как уже говорилось, когда речь шла о позиции Паули, встает вопрос об объективности нашего знания: она становится сомнительной.

Без выяснения подлинной функции наблюдателя в квантовом феномене бессмысленно обсуждать идею Паули о возвращении в наше познание мира идеи его одушевленности. А до этого нужно убедиться, насколько сама копенгагенская интерпретация уже безоговорочно признана верной. В последнее время усилилась тенденция частичной реабилитации эйнштейновской точки зрения о существовании более глубоких слоев реальности, которые могут служить источником информации, необходимой для получения полного, а не вероятностного описания поведения индивидуального микрообъекта. Нобелевский лауреат по физике Герард Хоофт сформулировал проект, в котором собирается разработать идею о существовании такого более глубокого слоя реальности, о котором мечтал Эйнштейн, но только «без повторения ошибок программы Эйнштейна». С его точки зрения, этот слой реальности можно обнаружить на уровне планковских масштабов величин [11]. При этом есть попытки вернуться к идее непрерывности перехода от классической к квантовой физике, в духе принципа соответствия<sup>2</sup>.

Так что, возможно, квантовая механика и вернулась к идее одушевленного мира, но утверждать это безоговорочно пока нет оснований.

---

<sup>2</sup> До сих пор явление квантовой запутанности (entanglement) могло наблюдаться только для ультра-охлажденных объектов микромира. Недавно группой физиков осуществлен эксперимент, в котором удалось «перепутать» два макрообъекта (два алмаза) при комнатной температуре [12].

Проблема наблюдателя не раз поднималась философами и физиками, в том числе и творцами самой квантовой теории. Ее ставили Дж. фон Нейман, Дж. А. Уилер, Ю. Вигнер, А. Шимони, Э. Шредингер. При этом у всех перечисленных авторов речь идет не о detached наблюдателе, а о сознании как значительно более активном факторе измерительной процедуры. Часть физиков при этом отрицали возможность включения сознания в интерпретацию квантовой механики (Шредингер), другие относились к идее положительно.

Интересно ставил проблему Ю. Вигнер [13]. Он рассуждал так: копенгагенская интерпретация исходит из существования коренных различий между микромиром (микрообъектами) и макромиром (приборы): микромир описывается квантовой теорией, макромир – классической физикой. Однако Вигнер напоминает, что квантовая механика является универсальной теорией и должна быть приложима не только к микро, но и к макромиру. (Согласно Луи де Бройлю – творцу волновой механики – волновыми свойствами обладают не только микрообъекты, но и любая частица материи. Просто в макромире, ввиду того, что масса макротел несравнимо больше массы микрообъекта, длина волн, в соответствии с уравнением де Бройля, оказывается ничтожно малой.) Но если это так, принцип суперпозиции состояний должен выполняться не только в микромире, но и в макромире. Следовательно, и состояние макроприбора должно быть суперпозицией состояний.

Встает вопрос, как же тогда возможно измерение? Чтобы реконструировать при таких условиях процедуру измерения, необходимо найти, полагает Вигнер, некоторый нефизический фактор, к которому (в виду его не-физической природы) принцип суперпозиции уже не применим. Согласно Вигнеру в качестве такового и выступает сознание наблюдателя. Именно оно переводит смешанное состояние макроприбора в одно из собственных состояний.

Концепция Вигнера сразу же подверглась критике философов: если сознание не является физическим фактором, как оно может воздействовать на микрообъект или прибор? Такое воздействие могут оказывать только физические факторы.

Проблема сознания в настоящее время воспринимается представителями всех, традиционно связанных с изучением этого феномена научных дисциплин, как одна из самых сложных и весьма далеких от разрешения. И пока она не будет прояснена, вряд ли вопрос об участии сознания в процедуре квантово-механического измерения может обсуждаться действительно серьезно.

Впрочем, вопрос продолжает дискутироваться [14]. Физики, даже из весьма сочувствующих самой идее, предпочитают высказываться очень осторожно и в гипотетическом духе. Вот что пишет об этом, например, А. Шимони. «Мне представляется возможным, что все попытки объяснить редукцию ...волнового пакета чисто физическим путем окажутся несостоятельными. ... Я думаю, что Шредингер был не прав, априорно

исключая возможность прибегнуть к включению сознания. Возможно, эмпирические данные покажут необходимость наложения новых ограничений на процедуру объективации... и выявят некоторые несовершенства на физическом уровне, некоторые, так сказать, трещины (fissures), через которые проявит себя существенно ментальный характер мира» [15, р. 314–315]. Как видим, утверждения Шимони носят гипотетический характер. При этом сам Шимони добавляет, что для того, чтобы обсуждаемый тезис перестал быть чистой спекуляцией, необходимо, чтобы были проделаны тщательные эксперименты, которые, к тому же, должны быть воспроизводимыми [там же].

На этом мы поставим точку в нашем кратком рассмотрении проблемы ограничений. Эта проблема нуждается в дальнейшем и более детализированном изучении. Заканчивая статью, можно отметить, что в последнее время многие исследователи констатируют некоторый спад интереса к разработке теоретических проблем квантовой теории. В деятельности ученых, как, впрочем, и в других сферах интеллектуальной деятельности людей, начинает превалировать прагматический подход. Это, конечно, многое объясняет. Но это не единственная причина спада. Существенную роль играет отсутствие достаточно разработанной эпистемологической базы для проведения дальнейших исследований. Для продвижения вперед необходим глубокий анализ эпистемологических проблем квантовой теории. Даже в период возникновения квантовой механики о такой базе не раз говорили ее творцы – В. Гейзенберг, Н. Бор, В. Паули Э. Шредингер и др. А ведь в то время в решение теоретических задач квантовой механики было вовлечено значительно большее число философов и физиков, чем в настоящее время. Так что сейчас такой призыв звучит еще более актуально.

### Литература

1. *Фейнман Р.* Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М. : Мир, 1978. – Вып. 3 и 4. – 496 с.
2. *Гейзенберг В.* Прорыв в новую землю / В. Гейзенберг // Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. – М. : Наука, 1989. – 400 с.
3. *Fuchs C. A.* Quantum Mechanics as Qquantum Information, Mostly / C. A. Fuchs. – Режим доступа: <http://perimeterinstitute.ca/personal/cfuchs/Oviedo.pdf> (дата обращения 22.07.2017)
4. *Мамчур Е. А.* Информационно-теоретический поворот в интерпретации квантовой механики : философско-методологический анализ / Е. А. Мамчур // Вопросы философии. – 2014. – № 1. – С. 57–71.
5. *Einstein A.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be considered complete? / A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen // Physical Review. – 1935.
6. *Mandel L.* Evidence for the Failure of Local Realism Based on the Hardy-Jordan Approach / L. Mandel // Experimental Metaphysics. Quantum Mechanical studies for Abner Shimony. – Vol. 1. – 261 p.

7. Марков М. А. О трех интерпретациях квантовой механики. Об образовании понятия объективной реальности в человеческой практике / М. А. Марков. – 2-е изд. – М. : Либроком, 2010. – 112 с.
8. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики / М. Джеммер. – М. : Наука, 1985. – 380 с.
9. Паули В. Влияние архетипических представлений на формирование естественнонаучных теорий у Кеплера / В. Паули // Паули В. Физические очерки : сб. статей. – М. : Наука, 1975. – 256 с.
10. Petersen A. The Philosophy of Niels Bohr / A. Petersen // Niels Bohr. A Centenary Volume. Cambridge, 1985. – 468 p.
11. 't Hooft G. Determinism beneath quantum mechanics / G. 't Hooft // Talk presented at 'Quo vadis quantum mechanics' conference, Temple University, Philadelphia, September, 2002. – Режим доступа: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/4641/16325.pdf?sequence=2> (дата обращения 28.08.2017).
12. Matson J. Quantum entanglement links 2 Diamonds / J. Matson // Scientific American, Dec. 2011/ 58. – Режим доступа: <http://www.physicscentral.com/explore/action/entangled-diamonds.cfm> (дата обращения 28.08.2017).
13. Wigner E. Remarks on the Mind-Body Question / E. Wigner // Wigner E. Symmetries and Reflections, Cambridge, Mass. : M.I.T. Press, 1970. – 223 p.
14. Менский М. Б. Квантовая механика : новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов / М. Б. Менский // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, № 6. – С. 631–648.
15. Shimony A. Reflections on the Philosophy of Bohr, Heisenberg, and Schrodinger / A. Shimony // A Portrait of Twenty-five Years, Boston Colloquium for the Philosophy of Science 1960–1985. Dordrecht/Boston/Lancaster, 1985. – 407 p.

*Институт философии РАН*  
 Мамчур Е. А., доктор философских наук, главный научный сотрудник  
 E-mail: emamchur839@yandex.ru  
 Тел.: 8 (495) 697-92-09

*Institute of Philosophy of Russian Academy of Sciences*  
 Mamchur E. A., Doctor of Philosophy, Leading Scientific Researcher  
 E-mail: emamchur839@yandex.ru  
 Tel.: 8 (495) 697-92-09

Е. А. Мамчур. Ненаблюдаемые сущности микромира как объекты...