

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МИКРОФИЗИКИ

Р.А. Смородинов

Рассмотрены некоторые философские концептуальные проблемы квантовой механики и их теоретический статус. В частности, обсуждены парадокс альтернативных онтологий, известный парадокс шредингеровского кота и ЭПР-парадокс, а также значение теоремы Белла. Рассмотрено предложение фон Неймана, Лондона, Бауэра, Вигнера и др. о том, что сознание наблюдателя должно быть включено в теорию квантового измерения. Выявлены ошибки сциентистов относительно детерминированности и индетерминированности.

Ключевые слова: квантовая механика, ЭПР-парадокс, измерение, детерминизм.

Парадокс альтернативных онтологий

Р. Карнап, отстаивая позиции неопозитивизма, придерживается мнения, что теории ничего не говорят о «реальности». Они якобы представляют собой просто языковое средство для упорядочения наблюдаемых в эксперименте явлений в определенного рода схему, которая будет эффективно функционировать при предсказании новых наблюдаемых. «Теоретические термины, – утверждает Карнап, – являются удобными символами. Постулаты, содержащие их, принимаются не потому, что они “истинны”, а потому, что полезны. Они не имеют никакого дополнительного значения, кроме способа функционирования в системе. Бессмысленно говорить о “реальном” электроне или “реальном” электромагнитном поле» [1].

Таким образом, неопозитивизм «устраняет» те неизбежные трудности, когда под электроном подразумевалось нечто онтологически реальное. Действительно, согласно принципу *соотношения неопределенностей* невозможно одновременно точно определить координату и импульс частицы, поэтому состояние микрообъекта определяется волновой функцией, а результаты экспериментов по определению, например, координаты, имеют вероятностный характер.

Не будем забывать, что в классической электродинамике электрон ведет себя как частица, движение которой подчиняется уравнениям Лоренца – Максвелла, которая имеет массу и даже класси-

ческий радиус. Согласно же принципу *дополнительности*, сформулированному Н. Бором, объектам квантовой механики присущи как корпускулярные, так и волновые свойства, однако они проявляются в различных, несовместимых экспериментальных условиях (например, классическая физика эмпирически неприменима для описания излучения связанных в атомах электронов). Таким образом, «устраняя» те неизбежные трудности, когда под электроном подразумевалось нечто реальное, и *рассматривая* – в эмпирическом восприятии и теоретическом содержании – электрон то как частицу, то как волну, неопозитивизм элиминирует вопрос о реальной сущности электрона, считая его *только* теоретическим объектом вполне конкретной научной модели.

Сциентисты, однако, не понимают этой тонкости и в попытке онтологизации научной модели совершенно упускают из виду следующее: из положения о том, что в науке мы не можем одновременно определить координаты и импульс частицы, а потому вынуждены описывать квантово-механические процессы через ψ -функцию, имеющую вероятностный характер, еще никак не следует, что сама частица превращается в нечто математическое и вероятностное, так же как из принципа дополнительной отнюдь не следует, что реальный электрон в зависимости от эксперимента превращается то в частицу, то в волну. Именно ни на чем не основанное отождествление знаний и бытия, гносеологии и онтологии, ведет к *парадоксу альтернативных онтологий*.

Копенгагенская интерпретация

Неопозитивисты считают вопрос о реальной сущности микрообъекта метафизическим, а значит, не имеющим смысла. Копенгагенская школа, к представителям которой в первую очередь следует отнести Н. Бора, В. Гейзенберга и К.Ф. фон Вайцзеккера, отрицает существование скрытых параметров и утверждает, что нельзя приписывать каким-то элементам природы некий реальный смысл сам по себе, независимо от контекста их наблюдения.

Вайцзеккер утверждает, что онтология, являющаяся основой классической физики, сегодня уже неприемлема. В статье «Классическое и квантовое описания» он отмечает, что квантовая механика допускает два способа изменения волновой функции: (а) непрерыв-

ный согласно закону движения и (б) прерывный согласно изменению знания. Первый способ соответствует ее изменению по уравнению Шредингера, второй – редукции волновой функции. Если бы, продолжает Вайцеккер, имело место только изменение (а), то тогда можно было бы сказать, что волновая функция относится к свойствам вещей. Если бы имело место только изменение (б), то вектор состояния (т.е. волновую функцию) можно было бы квалифицировать как выражение нашего знания. Однако в действительности квантовая механика не может освободиться ни от (а), ни от (б) и принимает оба этих способа изменения волновой функции. Поэтому волновая функция в разных ситуациях имеет различное содержание [2].

Вайцеккер также полагает, что единственная «форма реальности», с которой имеет дело квантовая механика, – это факты. Исходя из этой позитивистской позиции он формулирует «золотое правило» копенгагенской интерпретации квантовой механики (golden Copenhagen rule): «квантовая теория есть теория о вероятностной связи фактов» [3]. Бор, неразрывно связывая «квантовое явление» как «физическую реальность» с экспериментальной установкой, утверждает, что «взаимодействие между измерительными приборами и исследуемыми физическими системами составляет неотъемлемую часть квантовых явлений» [4] и что условия определения «физически реального» «должны рассматриваться как неотъемлемая часть всякого явления, к которому с определенностью может быть применен термин “физическая реальность”» [5].

По мнению Г. Рейхенбаха, «физическая реальность допускает класс эквивалентных описаний; мы выбираем одно из них ради удобства, и этот выбор покоится исключительно на конвенции, т.е. на свободном решении» [6]. Но нетрудно заметить, что парадокс альтернативных онтологий возникает как раз при одновременном допущении следующих двух посылок: 1) так называемые эквивалентные описания полностью тождественны; 2) соответствующие им онтологии обладают реальными референтами, т.е. явления, обозначаемые символической единицей в описаниях, имеют реальное бытие само по себе вне контекста их наблюдения. Эти посылки несовместимы. С одной стороны, признание реальности референтов приводит к выводу, что так называемые эквивалентные описания не тождественны, ибо они описывают различные аспекты бытия. С другой стороны, признание тождественности так называемых эквивалентных описаний возможно только при условии отрицания реальности их референтов. Короче говоря, если электрон

может быть описан и как волна, и как частица и такие описания полностью тождественны, то никакого реально-сущностного электрона просто не может быть. И нет ничего удивительного в том, что квантовая механика, опираясь на первую посылку, в конце концов была вынуждена отказаться от второй.

Эмпиризм или рационализм?

В противовес копенгагенской позиции, сторонники диалектического материализма в лице Э.М. Чудинова *метафизически* полагают, что «реальный мир – это не совокупность единичных явлений, а система явлений *вместе с их сущностной основой*» [7]. Сущность, признает Чудинов, не задана человеку непосредственно и не может быть отображена в чувственно-наглядной форме. Важнейшей ее особенностью является ненаблюдаемость [8]. Утверждение, что некоторая реальная сущность, принципиально недоступная чувственному опыту, может познаваться только логически, т.е. умозрительно, есть не что иное, как открытое признание метафизичности диалектического материализма. Но и это еще не все. По мнению сторонников диамата, сущность не только ненаблюдаема, – она, как правило, не может быть выделена из единичных явлений путем простого абстрагирования. «Единственно возможным способом ее познания – особенно это ясно для таких наук, как физика, – выступает конструктивная деятельность мышления. Эта деятельность состоит в том, что ученый на основе ряда исходных предпосылок создает систему теоретических объектов и схем, при помощи которых он угадывает сущность явлений» [9].

По мнению Чудинова, теоретизированный мир перестал бы быть гносеологически необходимым компонентом познавательной деятельности, если бы выполнялось одно из двух условий: 1) сущность представляет собой реальный аспект объективного мира, но может быть постигнута лишь интуитивно; 2) мир лишен сущности и сводится к совокупности единичных явлений. В первом случае отсутствует необходимость теоретического отображения сущностных аспектов природы; второе условие приводит если и не к полному отрицанию, то к серьезному ограничению ценности теоретизированного мира. Первая точка зрения характерна для интуитивистских концепций, вторая – для номинализма. Неопозитивистская философия принимает номиналистическую концепцию мира. «Она, – пишет Чудинов, – отрица-

ет объективный характер сущности, рассматривая законы науки в кантовском духе как теоретические схемы, при помощи которых человек упорядочивает явления чувственного опыта. Хотя неопозитивисты и признают познавательное значение теоретических конструкций, а следовательно, и теоретизированного мира, отрицание объективного референта этих конструкций приводит к умалению их роли» [10].

Д. Бом, также выступая против копенгагенской позиции, полагает, что каузальные законы внутренне присущи Природе самой по себе, и резюмирует свой философский принцип следующим образом: «Существенной характеристикой научного исследования является то, что изучая относительное в его различии и неисчерпаемом разнообразии, оно нацелено на познание абсолюта» [11]. Бом выдвинул теорию, основанную на представлении о скрытых параметрах, т.е. точных значениях самих по себе. На это Гейзенберг ответил так: «Бом считает себя вправе утверждать, что мы не должны отказываться от точного, рационального и объективного описания единичных систем в рамках квантовой теории. Однако само это объективное описание оказывается лишь некой “идеологической суперструктурой”, имеющей мало общего с непосредственной реальностью» [12].

ЭПР-парадокс

Как известно, А. Эйнштейн был неудовлетворен квантовой теорией, поскольку она не отвечала его требованиям в отношении полноты, не вскрывала содержание «реальных физических состояний». Как справедливо отмечает А. Файн, «причинность и независимость от наблюдателя – первичные свойства эйнштейновского реализма» [13]. Эйнштейн же, справедливо указывая Гейзенбергу, что теория сама решает, какие величины наблюдаемы, а какие ненаблюдаемы, ссылался на «веру в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта» [14].

В 1935 г. А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен опубликовали статью «Можно ли считать квантово-механическое описание физической реальности полным?», где была предпринята попытка доказать неполноту квантовой механики (так называемый ЭПР-парадокс) [15]. По мнению Эйнштейна, для того чтобы теория считалась полной, «каждый элемент физической реальности должен иметь отражение в физической теории» [16]. Причем «физическую реальность» Эйнштейн определял следующим образом: «Если мы можем без како-

го бы то ни было возмущения системы предсказать с достоверностью (т.е. с вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине» [17].

В ответ на это Бор признал, что Эйнштейн и его коллеги были правы, если бы все возмущения были только механическими, но именно это и проблематично. Согласно Бору, существуют и другие виды возмущений. Поэтому из примера, предложенного Эйнштейном и его коллегами в статье «Можно ли считать квантово-механическое описание физической реальности полным?», Бор делает иные выводы. По его мнению, формулировка предложенного Эйнштейном, Подольским и Розеном критерия «физической реальности» содержит двусмысленность в выражении «без какого бы то ни было возмущения системы», поскольку применительно к последнему критическому этапу процесса измерения речь должна идти не о механическом возмущении, а о возмущении в смысле *влияния на самые условия, определяющие возможные типы предсказаний будущего поведения системы* [18]. То есть Бор не признавал эйнштейновский критерий «реальности», ибо считал условия измерений составным элементом физических явлений.

Прежде всего оспаривалась позиция Эйнштейна относительно того, что значение величины после измерения такое же, как и до измерения. Поскольку координаты частицы нельзя точно измерить, когда измеряется импульс этой же частицы, и наоборот, постольку, стало быть, значения физических величин, которые мы пытаемся предсказать, оказываются напрямую зависимыми от измерений, но не по механическим причинам, а из-за необходимости выполнения определенных условий, без чего определение этих значений просто невозможно [19].

Шредингеровский кот

В том же году, когда Эйнштейн, Подольский и Розен опубликовали свою статью, Э. Шредингер выпустил знаменитый очерк «Современное положение в квантовой механике» [20], где описал мысленный эксперимент, получивший известность под названием «шредингеровский кот».

Предположим, пишет Шредингер, что продукт распада (например, радиоактивный атом) детектируется счетчиком Гейгера, а выход счет-

чика подключен к реле, которое включает макроустройство. Для того чтобы драматизировать ситуацию и тем самым усилить убедительность рассуждения, Шредингер предположил, что атом вместе со счетчиком Гейгера помещен в ящик, где кроме этого находятся кот, ампула с ядом и устройство, которое может эту ампулу разбить. При распаде атома и срабатывании счетчика включается устройство, разбивающее ампулу с ядом, и кот умирает. Все ясно после того, как пройдет период, намного превышающий период полураспада атома: кот будет заведомо мертв. Однако в момент времени, сравнимый с периодом полураспада, атом находится в состоянии суперпозиции нераспавшегося и распавшегося атома. Но это значит, что кот в данный момент находится в состоянии суперпозиции живого и мертвого кота!.. Таким образом, налицо парадоксальная ситуация: если для микросистем суперпозиции состояний возможны, то кот может быть либо живым, либо мертвым, а значит, квантовая механика неполна.

Однако состояние кота можно считать неопределенным только в той мере, в какой оно зависит от радиоактивного атома. Напротив, кот действительно либо жив, либо мертв – в соответствии с показаниями каких-либо медицинских приборов, регистрирующих, например, частоту пульса и т.п. Следует понимать, что, согласно копенгагенской интерпретации, нет никаких состояний самих по себе, но существуют лишь состояния, относительные к чему-либо. Стало быть, аргументация Шредингера основана на двусмысленности, ибо, согласно копенгагенской интерпретации, «реально» существуют два совершенно различных друг от друга отношения: «кот – медицинский прибор» и «кот – радиоактивный атом». И нет ничего парадоксального в том, что одно из этих отношений может быть вполне определенным, а другое может таковым не быть. С классической же точки зрения, кот действительно либо жив, либо мертв, и относительность его состояния к каким-либо иным объектам (медицинским приборам или радиоактивному веществу) вообще не имеет значения.

Таким образом, пример с котом не приближает к решению проблем ни критиков квантовой механики, ни ее сторонников. Фигурирующая в основах их рассуждений аксиома может быть интерпретирована как одними, так и другими [21].

Теорема Белла

Противостояние эйнштейновского реализма и копенгагенского инструментализма особенно наглядно в контексте обсуждения тео-

ремы Дж.Ст. Белла. Оказывается, эйнштейновский реализм вряд ли может быть универсальной доктриной в физике, ибо, как показывает анализ теоремы Белла и ее приложений, «реальные физические состояния» отнюдь не всегда являются сепарабельными, т.е. пространственно разделенные системы далеко не всегда обладают отдельными «реальными» состояниями [22]. Но это отнюдь не означает, что «Бог действительно играет в кости», как стало модным писать в научных и околонучных рефератах. Это означает, что проблема не поддается разрешению. Ведь экспериментальная проверка неравенств Белла [23], а значит, и решение вопроса о вероятности квантовой механики, осуществляется в пределах опять же вероятностной точности измерений.

По мнению Д. Бома, экспериментальная проверка Белловых неравенств, проведенная в 1980 г. Э.Э. Аспектом, ослабила позиции идеи локальных скрытых переменных, но поддержала концепцию нелокальных скрытых переменных. Впрочем, нельзя сказать, что и вопрос относительно локального реализма окончательно решен [24]. Кроме того, Дж. Баб отметил, что теорема Белла «исключает классическое представление квантовой статистики – на базе очевидно неприемлемой посылки о соответствии квантовых статистических состояний мерам их представления на пространстве вероятности. В частности, этот аргумент не имеет ничего общего с локальностью». По мнению Баба, результат Белла тривиален, а эксперименты по проверке его неравенств «не доказывают ничего интересного для теоретика» [25].

Действительно, экспериментальная проверка неравенств Белла касается интерпретации квантовой механики, а не самой реальности, как думают сциентисты. Экспериментально подтвержденное нарушение неравенств связано с тем, что поворот одного прибора, регистрирующего частицу, согласно опять же квантовой механике, меняет информацию о системе и, стало быть, определенным образом влияет на вероятность регистрации частицы другим прибором, несмотря на то что никакого материального носителя этого влияния не существует. Как известно, это связано с тем, что при измерении в квантовой механике происходит неизбежная редукция волнового пакета. То есть речь, собственно, идет о свойствах, характеризующих не сам объект, а отношения объекта к прибору, с помощью которого наблюдается это свойство.

Стало быть, в экспериментах априорно рассматривается копенгагенская, а не эйнштейновская «реальность» – отношение физических субстанций, а не сами физические субстанции. А так как

один принцип не может быть опровергнут другим принципом, для опровержения позиции «скрытых параметров» необходимо исходить из классической трактовки «реальности», а это как раз и невозможно в эксперименте. То есть мы лишний раз убеждаемся в правоте М. Борна, что «эксперимент вообще ничего не значит, пока он не интерпретирован теорией» [26].

Противоположность философских принципов

Саму сущность проблемы верно определил А. Файн: «Эйнштейн был прав в своих обвинениях в адрес инструменталистов копенгагенской школы в том, что они ведут рискованную игру с реальностью. Но было бы ошибкой полагать, что реалист, выходят за пределы квантовой теории для построения своей интерпретации, делает нечто иное, нежели играет. Его игра тоже рискованна, ибо ее правила свободны от ограничений текущей научной практики» [27].

Наблюдая за развитием дискуссии, мы видим, что подоплекой данного спора является противоположность философских принципов. Отнюдь не случайно Эйнштейн в письме Шредингеру от 31 мая 1928 г. отметил: «Философия успокоения Гейзенберга – Бора – или религия? – так тонко придумана, что предоставляет верующему до поры до времени мягкую подушку, с которой не так легко спугнуть его. Пусть спит» [28]. Спустя четверть века, 12 октября 1953 г., в письме Борну Эйнштейн продолжал сетовать: «Нам всем, видимо, суждено отвечать за свои мыльные пузыри. Именно этот “не играющий в кости Бог” предопределил, что на меня обижены не только “квантовые теоретики”, но и верующие *атеистической церкви*» [29].

Чем же не удовлетворяла автора теории относительности позиция Бора? «В аргументации подобного рода, – пишет Эйнштейн, – мне не нравится несостоятельная, на мой взгляд, основная позитивистская установка, которая, как мне кажется, совпадает с принципом Беркли *esse est percipi*» [30]. Как известно, первоначальное, феноменилистичное, решение вопроса «что такое бытие?» у Дж. Беркли гласило: «*esse est percipi*» («бытие есть воспринимаемое»); и это решение вело к исчезновению различия между содержанием восприятия и воспринимаемой реальностью: это одно и то же. Не будем углубляться в вопрос, насколько позиции Беркли и Бора совпадают (уже хотя бы потому, что сам Бор публично не придавал своей позиции онтологической значимости, а говорил только о квантово-

механических методах), но нельзя не признать, что согласно принципу Бора, «реальность», по существу, выступает как отношение между физическими субстанциями, а измерение раскрывает некоторое внутренне присущее этой «реальности» состояние. Другими словами, Бор понимал измерение как то, что конституирует «реальность». Эйнштейн, напротив, полагал, что «реальность» состоит из физических субстанций, свойства которых не зависят от отношений между отдельными субстанциями. Эти общие философские положения лежат в основании так и не разрешенного спора, ибо ни Бору, ни Эйнштейну не удалось доказать истинность своих позиций исходя из приводимых ими примеров, как, впрочем, не удалось и опровергнуть противоположные позиции. По сути, каждый из них не обосновывал свой принцип, а лишь *интерпретировал* его.

Английский физик П. Дирак, сам один из основателей квантовой механики, признавал: «Я думаю, вполне возможно, что в конечном счете правым окажется Эйнштейн, ибо существующую ныне форму квантовой механики не следует рассматривать как окончательную» [31]. Небезынтересно также утверждение М. Борна о том, что «взгляды Эйнштейна представляют собой философское убеждение, которое не может быть ни доказано, ни опровергнуто физическими аргументами. Единственное, что можно сделать в плане возражения этой точке зрения, – это сформулировать другое понятие реальности» [32]. Эйнштейн исходя из своего критерия «реальности» считал квантовую механику неполной, а Бор исходя из совершенно другого принципа не опроверг позицию Эйнштейна и его сторонников, а только показал, что при соответствующей интерпретации данного примера полнота квантовой механики не может быть оспорена.

Нетрудно убедиться, что обсуждаемые вопросы не могут быть ограничены рамками одной только физики. Напротив, стремясь уйти от философской аргументации, опереться только на опыт или только на методологию, мы в конце концов приходим к тому, от чего уходили, – к философии [33].

Идеализм, материализм или позитивизм?

Здесь следует рассмотреть еще один вопрос, который касается не столько самой квантовой механики, сколько проблемы определения. Вопрос этот особенно актуален на постсоветском пространстве, где материализм еще имеет большое количество поклонников, хотя трак-

туется как угодно. Этот вопрос заключается в следующем: к какой философской системе следует отнести современную интерпретацию квантовой механики – к идеализму, материализму или позитивизму?

Показательно, что советскому физика В.А. Фоку в 1938 г. буквально грозили репрессии только за то, что в дискуссии Бора и Эйнштейна он поддержал точку зрения Бора. Фок сожалел, что «философы-материалисты» или полностью отрицают квантовую механику, или признают большинство ее выводов, делая исключение лишь для принципа дополнительности [34].

Примерно до 70-х годов XX в. представители диалектического материализма считали копенгагенскую школу идеалистической. В Кратком философском словаре, изданном в 1954 г. под редакцией М. Розенталя и П. Юдина, говорилось: «Придерживаясь субъективно-идеалистических философских взглядов, буржуазные физики (в том числе Гейзенберг, Бор, Шредингер, внесшие значительный вклад в создание квантовой механики) представляют ее в превратном виде. Идеалисты, рассматривая электроны (и другие микрочастицы) как частицы в старом смысле этого слова, объявляют особые законы их движения, в действительности обусловленные их природой, принципиально необъяснимыми. Они утверждают, что физические величины, характеризующие движение микрочастиц, являются якобы макроскопическими, неадекватными природе микрообъектов... Идеалисты доходят до отрицания причинности в микропроцессах, до признания “свободы воли” электрона и прочей мистики» [35].

Однако впоследствии диамат стал признавать копенгагенскую интерпретацию не идеалистической, а, как и Эйнштейн, позитивистской, позитивизм же с его антиметафизической установкой нельзя считать идеализмом: «Вокруг... философских проблем квантовой механики развернулась острая полемика. Они стали... предметом различного рода антинаучных, в том числе позитивистских, спекуляций, в известной степени связанных с высказываниями некоторых сторонников так называемой копенгагенской интерпретации квантовой механики. Ошибочное истолкование специфики микромира исключительно как следствия особенностей процесса познания и измерения приводило к преувеличению роли “наблюдателя”, к утверждению о “неконтролируемом возмущении”, “крахе причинности”, “свободе воли” электрона и т.п. Отказ от подобных утверждений, эволюция взглядов ряда создателей квантовой механики, как и в целом ситуация в современной физике, свидетельствуют о том, что

“материалистический основной дух физики” (Ленин) побеждает» [36]. Как мы сегодня видим, в квантовой механике победил якобы «антинаучный» дух копенгагенской школы.

Впрочем, Гейзенберг подчеркивал: «Копенгагенская интерпретация квантовой теории ни в коем случае не является позитивистской. В то время как позитивизм исходит из чувственных восприятий элементов бытия, копенгагенская интерпретация рассматривает описываемые в классических понятиях объекты и процессы, то есть фактическое, в качестве основы всякого физического объяснения. Вместе с тем признается, что статистичность природы законов микрофизики устранена быть не может, так как всякое знание “фактического” в силу квантово-механических законов природы является знанием неполным» [37]. Однако невозможно не согласиться, что копенгагенской интерпретации как нельзя более соответствуют именно позитивистские принципы эмпиризма и инструментализма. Кроме того, не будем забывать о широко известном высказывании, приписываемом Н. Бору, которое отнюдь не согласуется с утверждением Гейзенберга, а именно: «Ничто не существует, пока оно не измерено» («Nothing exists until it is measured»). В то же самое время, по словам Гейзенберга, «онтология материализма основывалась на иллюзии», что в область микромира можно экстраполировать элементы и вообще способ существования макромира, хотя «эта экстраполяция невозможна» [38].

Теория декогеренции

Как бы то ни было, в сфере практического применения возоблудала копенгагенская интерпретация квантовой механики. Абстрактный инструментализм заслонила собой классические интуиции. Но это еще не все. Сегодня квантовая механика сделала очередной шаг к абстрагированию и перешла от полуклассической копенгагенской интерпретации квантовой механики, подразумевающей обязательное наличие классического субъекта (измерительного прибора), к чисто квантовому подходу, который прежде всего касается *запутанных состояний* (entangled states). Такая форма корреляций составных систем, как *запутанность*, возникает в системе, состоящей из двух и более взаимодействующих подсистем (или взаимодействовавших ранее, а затем разделенных), и представляет собой суперпозицию альтернативных состояний, которая не может быть реализована в классической физике.

В новой системе решающее значение имеет физический процесс, получивший название «decoherence». Этот процесс сопровождается уменьшением квантовой запутанности, т.е. потерей когерентности квантовых суперпозиций в результате взаимодействия системы с окружением [39].

Наиболее радикально настроенные исследователи полагают, что *теория декогеренции* решает известные квантово-механические проблемы. Как утверждает Э. Джус [40], теория декогеренции объясняет, почему *кажется*, что макроскопические системы обладают привычными классическими свойствами, и почему некоторые объекты *кажутся* нам локализованными в пространстве. Кроме того, теория декогеренции предполагает, что для самодостаточного квантового описания никаких дополнительных классических концепций не требуется, ибо не существует никаких частиц и не существует никакого времени на фундаментальном уровне, а есть только один каркас для всех физических теорий – квантовая теория.

Нарастающая идеализация научных теорий, безусловно, повлечет за собой свои трудности. Отказ от классических интуиций рано или поздно потребует также отказа от языка *кажущихся* категорий (например, *объект, система, подсистема, процесс, локальность, корреляция*), иначе классические категории, аподиктично подразумевающие субъект познания, неминуемо будут приводить к внутренним противоречиям. Для того чтобы квантовая информация *per se* обрела онтологический бессубъектный смысл (чего хотят от нее наиболее радикальные адепты), она *per se* еще должна обрести трансцендентальную субъектность или быть скоррелированной абсолютной идеей. Как бы то ни было, парадокс альтернативных онтологий так и не нашел убедительного объяснения, а значит, пока перед нами одна из множества метатеорий, ничего не говорящая о бытии.

«Абстрактное Я» в квантовой механике

Хотя явление декогеренции объясняет, почему возникают различные альтернативные результаты измерения, каждая со своей вероятностью, но хотелось бы иметь теорию, которая описывала бы, как происходит выбор (селекция) одной из альтернатив. Действительно, даже если декогеренция превращает суперпозицию чистых состояний в их смесь, один из компонентов этой смеси все еще должен быть каким-то образом выбран, и только после этого появляется конкретный резуль-

тат измерения, тогда как в смешанном состоянии присутствуют все возможные результаты с соответствующими им вероятностями. Проблема селекции так и не решена. Одни исследователи полагают, что при объяснении квантового измерения следует так или иначе включать в рассмотрение сознание наблюдателя. Другие считают, что функция сознания (осознание) сама по себе есть один из этапов квантового измерения, представляющий собой собственно выбор альтернативы; стало быть, сознание не нужно включать в теорию измерения, ибо оно уже включено в нее: нужно лишь узнать в одном из элементов теории измерения (этим элементом является селекция) то, что в другом контексте называется осознанием [41].

А ведь вопрос о месте наблюдателя, или «абстрактного Я», в квантовой механике был поднят уже давно. Конечно, с учетом распространенности тенденций мизософии среди современных физиков появление в физической статье ссылки на «абстрактное Я» может вызвать негативную реакцию, но не будем забывать, что создатели квантовой теории в свое время получали более основательное гуманитарное, и в частности философское, образование, нежели современные физики. Из воспоминаний Гейзенберга хорошо известно, какое огромное влияние оказали на него диалоги Платона. Шредингер в 1948 г. написал статью под названием «2400 лет квантовой теории» [42], в которой исследовал связь квантовой теории с атомистическим учением Левкиппа и Демокрита. У нас нет сведений об особой привязанности Дж. фон Неймана к древнегреческой философии, но есть соблазн связать его схему измерений с именем Анаксагора, который впервые установил тесную взаимосвязь материи и ума: *παντα χρηματα ην ομοι ετα νους ελθων αυτα διεκοσμησεν* («Все вещи были смешаны, потом ум пришел [и] их упорядочил») [43].

Так что идеи связать ум с чисто физическими явлениями имеют долгую историю, а потому обращение фон Неймана к «абстрактному Я» его современников не смутило. Мало того, в 1939 г. вышла книга Ф. Лондона и Э. Бауэра [44], посвященная «непротиворечивому и простому изложению теории фон Неймана». Авторы книги одинаково хорошо ориентировались как в физике, так и в философии. И чтобы исключить не слишком убедительные обращения в последнюю минуту к «абстрактному Я», они предложили последовательно рассматривать составную систему, включающую в себя *объект* (x), *измерительный аппарат* (y) и *наблюдателя* (z).

Состояния такой системы Бауэр и Лондон представили волновой функцией

$$\psi(x, y, z) = \sum \psi_k u_k(x) v_k(y) w_k(z),$$

где функции w_k описывают состояния наблюдателя. Авторы утверждали, что входящий в рассматриваемую триаду наблюдатель обладает не свойственной приборам «способностью интроспекции». Он может мгновенно оценить свое собственное состояние и в силу присущего ему «имманентного сознания» создает свой собственный «объективный мир». Иначе говоря, существует некий внутренний голос, говорящий: «Ты находишься в состоянии w_k », – после чего наблюдатель может сделать следующее заключение: «Я вижу, что величина G , связанная с аппаратом, принимает значение g_k , поэтому значение характеризующей объект величины F равно f_k ».

Таким образом, вовсе не таинственное взаимодействие между прибором и объектом порождает новую «реальность», которая приводит при измерении к новой волновой функции системы, а это всего лишь мое собственное сознание расстается со старой функцией $\psi(x, y, z)$ и порождает на основании своих сознательных наблюдений «новую реальность», приписав системе новую волновую функцию $u_k(x)$ [45]. При этом можно ответить на известное утверждение Эйнштейна так: «Да, Бог не играет в кости. В кости само с собой играет сознание каждого наблюдателя».

Детерминизм или индетерминизм?

А действительно ли «Он не играет в кости» («*He is not playing dice*»)? Прежде всего отметим, что Гейзенберг определял принцип причинности следующим образом: «Если точно знать настоящее, можно предсказать будущее» [46]. По его мнению, в этой формулировке «неверна предпосылка, а не заключение. Мы в принципе *не можем узнать* настоящее во всех деталях» [47]. Причиной этой непознаваемости является соотношение неопределенностей в квантовой механике. Можно точно измерить либо пространственные координаты, либо импульс частицы, но не то и другое одновременно. Таким образом, если квантовая механика заставляет признать «предпосылку» принципа причинности ложной и в то же время все эксперименты говорят в пользу квантовой механики, то, по Гейзенбергу,

из этого следует, что «нарушение принципа причинности можно считать твердо установленным» [48].

Это замечание, высказанное знаменитым ученым в весьма авторитетном журнале, нашло затем поддержку у сторонников индетерминизма. Однако если строго подойти к словам Гейзенберга, придется признать, что его тезис логически несостоятелен. Принцип причинности у Гейзенберга приобретает форму импликации, а согласно правилам логики импликация не становится ложной из-за ложности антецедента (импликация ложна лишь в случае истинности антецедента и ложности консеквента). Кроме того, нетрудно увидеть, что такая формулировка принципа причинности не имеет никакой онтологической значимости. Она была бы значима, если бы мы действительно в точности знали настоящее, но как раз это, согласно Гейзенбергу, невозможно. Очевидно, таким образом, что индетерминисты, ссылаясь на приведенное выше замечание Гейзенберга, смешивают истинность принципа причинности с его применимостью, а это не одно и то же.

По этому поводу представители диалектического материализма А.А. Детлафа и Б.М. Яворский пишут: «Одним из идеалистических выводов из соотношений неопределенностей является утверждение о том, что из этих соотношений вытекает неприменимость к явлениям, протекающим в микромире, принципа причинности... Поскольку координаты и скорости микрообъектов одновременно могут быть найдены лишь в рамках соотношений неопределенностей, то и в начальный момент времени t_0 состояние системы не может быть точно определено, а поэтому и последующие состояния системы непредсказуемы, т.е. нарушается принцип причинности. В действительности дело обстоит иначе. В квантовой механике само понятие о состоянии системы приобретает иной смысл, чем в классической физике. Для определения этого состояния нужен иной подход. Максимально точным заданием состояния микрообъекта в квантовой механике является задание его ψ -функции, которая удовлетворяет некоторому дифференциальному уравнению, содержащему первую производную функции ψ по времени. Это значит, что задание ψ -функции для момента времени t_0 определяет ее значение для момента $t > t_0$. Другими словами, в квантовой механике в соответствии с требованием принципа причинности состояние микрообъекта в некоторый момент времени t_0 однозначно предопределяет его дальнейшие состояния» [49].

Итак, у физиков-диаматчиков есть некое «требование» соблюдать принцип причинности. Ну и чем, спрашивается, такое предопределение отличается от классического лапласовского? Только заданием состояния, но отнюдь не однозначностью. Только субъективностью метода определения, но отнюдь не онтологичностью предопределения. Однозначность предопределения постулируется как в лапласовском, так и в диаматовском детерминизме. Причем *любой* детерминизм ведет к фатальности.

Сегодня, впрочем, после детального ознакомления физиков с доказательством теоремы Белла и ее экспериментальным подтверждением, сделанным Э. Аспектом, на постсоветском пространстве найдется мало физиков, которые будут отстаивать принципы детерминизма (хотя приведенные выше рассуждения Детлафа и Яровского изложены в «Курсе физики» не советского периода, а 1999 года!). Однако в квантовой механике, как и вообще в физике, часто наблюдается подмена понятий. Рассуждая о *статистической закономерности*, которая имеет только гносеологический характер, физики часто делают вывод в отношении детерминизма или индетерминизма, которые по определению имеют статус онтологический. Короче говоря, принципиальная невозможность точного предсказания последующих состояний системы исходя из первоначальных условий отнюдь не говорит об отсутствии жесткой предопределенности развития событий в данной системе, ибо, как заметил еще Спиноза, *ignorantia non est argumentum*: наше незнание не может быть аргументом ни в каком теоретически позитивном построении относительно бытия.

На вопрос о том, разрешима ли проблема концепций детерминизма и индетерминизма научными методами, с уверенностью можно ответить: нет. Истинность концепции детерминизма не может быть доказана как минимум из-за проблемы индукции, а с другой стороны, ее нельзя и опровергнуть как минимум из-за проблемы тождества (последнее относится также к любой возможной формулировке принципа причинности). И никакие эксперименты (например, связанные с неравенствами Белла) не смогут дать нам ответа на этот счет, поскольку исходят из положенного в их основу принципа и только *интерпретируют* его. И даже широко известный двухщелевой эксперимент Юнга по интерференции света зиждется на допущении о существовании вполне определенных объектов, не имеющих, вообще говоря, отношения к процессу измерения и потому называемых *интерференomenами*. Действительно, подобные допущения

приводят к признанию некоторых «каузальных аномалий», которые, однако, нельзя ни верифицировать, ни фальсифицировать, ни использовать для предсказаний [50].

Но самое главное, что необходимо подчеркнуть: так называемый принцип причинности в научной методологии *не имеет* никакой онтологической значимости. Как справедливо отмечает Хюбнер, в науке «принцип причинности, в какой бы формулировке он ни выступал, вообще не является теоретическим высказыванием; он не претендует на то, чтобы быть выражением эмпирических фактов», ни априорно необходимого порядка бытия, а потому нельзя говорить, что принцип причинности в науке является или истинным, или ложным, из него вытекает только *требование* для каждого явления *допускать* и *искать* причину, но из бытия не вытекает *требования* самого принципа причинности. Таким образом, принцип причинности в науке является *практическим постулатом* и, соответственно, «находит оправдание только в тех целях, которым он служит». А потому детерминизм в науке теряет смысл, ибо форма выражения принципа причинности определяется уже не реальным, а желаемым. В науке «принцип причинности не имеет теоретического содержания, он не содержит вообще знаний о мире (поэтому его так часто принимают за тавтологию)», а только «представляет собой методологический постулат» [51]. И говорить, что квантовая механика подтвердила или опровергла детерминизм, нельзя, ибо детерминизм по определению имеет онтологическую значимость и утверждает всеобщий характер причинности вне зависимости от познающего субъекта.

В то же самое время научные теории являются только моделями, которые строятся по определенным правилам, т.е. представляют собой только *возможные* интерпретации, в основе которых лежат практические постулаты. И только нескритичность, увы, присущая человеку, устремляет его выдавать за онтологическую структуру мира то, что, по сути своей, порождено его собственной проективностью, и смешивать произвольные конструкции с онтологической реальностью.

«Детерминизм» и «причинность» суть понятия метафизические, т.е. наукой не подтверждаемые и не опровергаемые. Сама наука имеет дело со специфическими, т.е. неполными, причинами, тогда как следствие с необходимостью вызывает только причина полная, включающая в себя специфические причины (непосредственные причины) и условия (опосредованные причины). А потому, в принципе не имея возможности учесть бесконечное количество причин и условий (не

будем забывать о вероятностном характере квантовой механики), наука не в силах разрешить данный метафизический вопрос.

* * *

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы.

Во-первых, учитывая вероятностный характер квантовой механики и неразрешимость проблем тождества и индукции, мы ни в коем случае не имеем права сциентически онтологизировать квантовую механику и делать какие-либо выводы относительно концепций детерминизма или индетерминизма.

Во-вторых, не исключено, что в конечном счете возобладает реалистический взгляд на квантово-механические проблемы, ибо существующую ныне форму квантовой механики не следует рассматривать как абсолютную и окончательную. С философской точки зрения давнее противостояние реализма и инструментализма в квантовой механике актуально и поныне. Причем догматическое мнение сциентистов об истинности научных теорий, и в частности квантовой механики, следует считать обскурантизмом, ибо нет ничего более убедительного, чем то, что знание подлежит постоянному пересмотру.

В-третьих, несмотря на мизософские тенденции, распространенные среди физиков, дальнейшее развитие квантовой механики будет, по-видимому, проходить в тесной связи с философией. Во всяком случае, анализ показывает, что проблема селекции в теории декогеренции лежит вне физики. По всей вероятности, в будущем эксперименты по квантовой механике включают в себя также эксперименты, касающиеся работы мозга и сознания, что может привести к теории сознания, тесно связанной не только с философией, но и с физикой, а это, в свою очередь, приведет к радикальному расширению предмета самой физики.

Примечания

1. Карнан Р. Философские основания физики: Введение в философию науки. – М.: Прогресс, 1971. – С. 337.
2. См.: Weizsäcker C.F. von. Classical and quantum descriptions // The Physicist's Conception of Nature. – Dordrecht; Boston: Reidel, 1973. – P. 656.
3. Ibid.
4. Бор Н. Избранные научные труды: В 2 т. – М.: Наука, 1971. – Т. 2. – С. 488.
5. Там же. – С. 179.

6. Цит. по: *Чудинов Э.М.* Природа научной истины. – М.: Политиздат, 1977. – С. 248.
7. *Чудинов Э.М.* Природа научной истины. – С. 223.
8. Там же. – С. 222.
9. Там же. – С. 222–223.
10. Там же. – С. 223–224.
11. *Bohm D.* Causality and chance in modern physics. – L.: Routledge and Kegan Paul, 1958. – P. 170.
12. *Heisenberg W.* The development of the interpretation of the quantum theory // Niels Bohr and the Development of Physics. – L., 1955. – P. 18.
13. *Fine A.* The shaky game: Einstein, realism, and the quantum theory. – Chicago: Chicago Univ. Press, 1986. – P. 103. См. также: *Панченко А.И.* Теорема Белла и реалистические интерпретации квантовой теории // Философские проблемы физики элементарных частиц (тридцать лет спустя). – М.: ИФ РАН, 1994. – С. 293.
14. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов: В 4 т. – М.: Наука, 1967. – Т. 4. – С. 136.
15. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов в 4 т. – М.: Наука, 1966. – Т. 3. – С. 604–611.
16. Там же. – С. 605.
17. Там же.
18. *Бор Н.* Избранные научные труды: В 2 т. – Т. 2. – С. 187–188.
19. См.: *Хьюбнер К.* Критика научного разума. – М.: ИФ РАН, 1994. – С. 112–116.
20. См.: *Шредингер Э.* Современное положение в квантовой механике // Шредингер Э. Новые пути в физике. – М.: Наука, 1971. – С. 66–106.
21. См.: *Хьюбнер К.* Критика научного разума. – С. 119–120.
22. См.: *Murdoch D.* Niels Bohr's philosophy of physics. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. – P. 183; *Bell J.S.* Speakable and unspeakable in quantum mechanics: Collected papers on quantum philosophy. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987.
23. См.: *Clauser J.F., Shimony A.* Bell's theorem: experimental tests and implications // Report on Progress in Physics. – 1978. – V. 41. – P. 1881–1927; *Aspect A., Grangier P., Roger G.* Experimental test of realistic local theories via Bell's theorem // Physical Review Letters. – 1981. – V. 47. – P. 460–467; *Aspect A., Grangier P., Roger G.* Experimental realization of Einstein–Podolsky–Rosen–Bohm Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities // Physical Review Letters. – 1982. – V. 48. – P. 91–94; *Aspect A., Dalibard J., Roger G.* Experimental tests of Bell's inequalities using time-varying analyzers // Physical Review Letters. – 1982. – V. 49. – P. 1804–1807.
24. См.: *Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А.* Физика квантовой информации. – М.: Постмаркет, 2002. – С. 30–31.
25. *Bub J.* The interpretation of quantum mechanics. – Dordrecht; Boston: Reidel, 1974. – P. 83; См. также: *Панченко А.И.* Теорема Белла и реалистические интерпретации квантовой теории. – С. 274.
26. Цит. по: *Клайн М.* Математика: Поиск истины. – М.: Мир, 1988. – С. 205.
27. *Fine A.* The shaky game: Einstein, realism, and the quantum theory. – P. 171.
28. Цит. по: *Белокуров В.В., Тимофеевская О.Д., Хрусталева О.А.* Квантовая телепортация – обыкновенное чудо. // Регулярная и хаотическая динамика. – Ижевск, 2000. – С. 65.
29. Там же. – С. 53.
30. *Einstein A.* Philosopher-scientist. – Evanston, Illinois, 1949. – P. 669.
31. Цит. по: *Клайн М.* Математика: Поиск истины. – С. 272.
32. *Борн М.* Размышления и воспоминания физика. – М.: Наука, 1977. – С. 170.
33. См.: *Хьюбнер К.* Критика научного разума. – С. 112–116.

34. См.: Белокуров В.В., Тимофеевская О.Д., Хрусталеv О.А. Квантовая телепортация – обыкновенное чудо. – С. 92.
35. Краткий философский словарь. – М.: Гос. изд-во полит. лит., 1954. – С. 235–236.
36. Философский словарь. – М.: Политиздат, 1991. – С. 188–189.
37. Гейзенберг В. Физика и философия. – М.: Иностран. лит., 1963. – С. 89.
38. Там же.
39. См.: Blanchard Ph., Giulini D., Joos E. et al. Decoherence: theoretical, experimental, and conceptual problems. – Berlin: Springer, 2000; Joos E., Zeh H.D., Kiefer C. et al. Decoherence and the appearance of a classical world in quantum theory. – Heidelberg: Springer, 2003.
40. <http://www.decoherence.de>
41. См.: Менский М.Б. Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, № 6. – С. 641–646.
42. См.: Schrödinger E. 2400 Jahre Quantentheorie // Annalen der Physik. 1948. – Bd. 3 (438/1). – S. 43–48.
43. Цит. по: Diogenes Laertius. Vitae philosophorum, II, 6 // Die Fragmente der Vorsokratiker. – Bd. 2. – Berlin: Weidmann, 1952. – S. 5.
44. См.: London F., Bauer E. La theorie de l'observation en mecanique quantique. – Paris: Hermann et Cie, 1939.
45. См.: Белокуров В.В., Тимофеевская О.Д., Хрусталеv О.А. Квантовая телепортация – обыкновенное чудо. – С. 197–199.
46. Heisenberg W. Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik // Zeitschrift für Physik. 1927. – Bd. 43. – S. 197.
47. Ibid.
48. Ibid.
49. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1999. – С. 514–515.
50. См.: Reichenbach H. Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik. – Basel: Birkhäuser, 1949. – S. 7–8, 25–27.
51. См.: Хюбнер К. Критика научного разума. – С. 52.

Волгоградский государственный
технический университет, Волгоград
E-mail: barnascha@yandex.ru

Smorodinov, R.A. Philosophical problems of microphysics

The paper discusses some philosophical conceptual problems of quantum mechanics and their theoretical status. In particular, it analyses the paradox of alternative ontologies, the well-known Schrödinger's cat paradox and the EPR one as well as philosophical value of Bell's theorem. The suggestion advanced by von Neumann, London, Bauer, Wigner and other authors that it is necessary to include an observer's consciousness in quantum measurement theory is discussed too. Scientist's errors concerning determinacy and indeterminacy are found.

Keywords: quantum mechanics, EPR- paradox, measurement, determinism.