

УДК 530.1

ВИТТГЕНШТАЙНОВСКАЯ ДЕМИСТИФИКАЦИЯ ЭВЕРЕТТОВСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ (ЧАСТЬ 1)

Прись Игорь Евгеньевич

канд. физ.-мат. наук, канд. филос. наук
Технический университет Дортмунда, Дортмунд (Германия)

author@apriori-journal.ru

Аннотация. Можно аргументировать, что классический метафизический реализм и классическая логика вынуждают нас принять интерпретацию квантовой механики вроде той, которая была предложена Хью Эвереттом (Hugh Everett), то есть интерпретацию, которая вводит в рассмотрение «много миров». Такая интерпретация имеет как свои философские, так и собственно научные проблемы. Классический метафизический реализм, однако, может быть модифицирован. Мы высказываем некоторые соображения в пользу демистифицированной версии эвереттовской интерпретации квантовой механики в рамках неметафизического контекстуалистского реализма виттгенштайновского типа. Квантовая теория рассматривается как виттгенштайновское правило/концепт. «Провал» между теорией (правилом) и её применением – конкретным результатом измерения – закрывается прагматически (то есть проблема измерения «растворяется»). Эвереттовские ветви-миры суть возможные (а не актуальные) применения теории-правила. Предложенный вывод правила Борна из детерминистской части квантовой механики, общих принципов рациональности и симметрии говорит, на наш взгляд, в пользу того, что в известном смысле правило Борна имплицитно в формализме квантовой механики, рассматриваемом в его применении. Развиваемая, в частности, Дэвидом Валласом сложная теория эвереттовской интерпретации есть та цена, которую приходится платить за отказ от модификации доктрины метафизического реализма.

Ключевые слова: квантовая механика; проблема измерения; интерпретация Эверетта; реализм; прагматизм; контекстуализм; вероятность; рациональный выбор; правило Борна; правило/концепт; Виттгенштайн.

A WITTGENSTEINIAN DEMYSTIFICATION OF AN EVERETTIAN INTERPRETATION OF QUANTUM MECHANICS (PART 1)

Pris François-Igor

candidate of physical and mathematical sciences
candidate of philosophical sciences
TU Dortmund University, Dortmund (Germany)

Abstract. It can be argued that if we commit ourselves to classical realism and classical logic we are forced to adopt an Everettian interpretation of quantum mechanics. But we cannot adopt it without substantial philosophical and physical qualifications. Nevertheless the classical metaphysical realism can be modified. We suggest an interpretation of quantum mechanics within a Wittgensteinian contextualist non-metaphysical realism, which is indeed a demystified version of the Everett interpretation. The quantum theory is a Wittgensteinian rule. The «gap» between this rule and a concrete result of measurement is closed pragmatically (the measurement problem is dissolved). The Everettian branches-worlds are possible (not actual) applications of the theory-rule. The suggested deduction of the Born rule from the deterministic part of quantum mechanics, the most general principles of rationality and the symmetry principles, in our view, means that in a sense the Born rule is implicit in the formalism of quantum mechanics taken in its application. A complicated theory of the Everettian interpretation of quantum mechanics, developed by David Wallace, is the price to pay for refusing to modify the doctrine of metaphysical realism.

Key words: quantum mechanics; measurement problem; Everett interpretation; realism; pragmatism; contextualism; probability; rational choice; Born's rule; rule/concept; Wittgenstein.

1. *Аксиомы квантовой механики*

Различные авторы формулируют основные положения квантовой механики в виде различного числа аксиом. Я выделяю (достаточно условно) следующие четыре аксиомы, которые я формулирую в определённом философском контексте.

Аксиома 1. Состояние квантовой системы *представляется волновой функцией* ψ , которая *есть* нормированный вектор (*представляется* нормированным вектором) в гильбертовом пространстве. В более простых терминах: квантовое состояние ψ *есть* нормированный вектор в гильбертовом пространстве.

Поскольку пространство Гильберта есть линейное пространство, следствием аксиомы 1 является следующий *принцип суперпозиции*: квантовая система может находиться в состоянии, которое есть линейная суперпозиция её состояний. То есть, образно говоря, она как бы может одновременно находиться в различных своих состояниях. Например, говорят, что квантовая частица может одновременно находиться в разных (или даже во всех) точках пространства.

Отметим, что формулировка аксиомы 1 имеет дело с утверждениями тождества и, в частности, тождества между величиной ψ , представляющей в рамках физической теории реальное состояние реальной квантовой системы, и математической величиной (нормированным вектором в пространстве Гильберта). Последний хорошо определён без упоминания квантовой системы или квантовой теории, представляющей квантовую систему. Напротив, определение волновой функции ψ предполагает, помимо всего прочего, ссылку на соответствующую математическую величину. В этом смысле её семантика и, в более общем плане, семантика любой физической теории двумерна: она подразумевает как чисто математическое измерение, так и собственно физическое измерение, хотя последнее не может быть чётко отделено от первого (но не *vice versa*).

Дополнительный физический смысл физической теории определяется её связями с опытом/экспериментом, другими физическими теориями, научной практикой и обыденной жизнью.

Аксиома 2. Квантовые физические наблюдаемые *суть* самосопряжённые операторы (*представляются* самосопряжёнными операторами) в пространстве Гильберта волновых функций квантовой системы. Клас-

сической физической величине A соответствует квантовая физическая величина \underline{A} . (Например, классической координате x соответствует квантовая координата \underline{x} , которая (в координатном представлении) есть оператор умножения волновой функции на функцию « x », а классической проекции импульса на ось x , p_x , соответствует оператор $-\ i\hbar \partial_x$)

Это опять же утверждение тождества. Математическая часть его играет существенную роль в определении физической наблюдаемой в рамках квантовой механики и, следовательно, в идентификации соответствующей реальной физической величины.

Вышеупомянутые тождества не представляют (описывают) полностью независимую от квантовой теории хорошо определённую реальность в смысле классического репрезентационализма (изнанкой которого является классический метафизический реализм). Следует, скорее говорить об *укоренённости* квантовой теории и её математической структуры в научной практике, которую она не только «представляет», но и которой она управляет (как правило/концепт в виттгенштайновском смысле).

Каноническое квантование классической механики, при котором в результате «гештальт-скачка» классические наблюдаемые (координаты, импульс и так далее) превращаются в соответствующие самосопряжённые операторы, есть в то же время установление связи между классической и квантовой механикой: первая вносит свой вклад в придание смысла квантовым наблюдаемым.

Аксиома 2 также говорит, что собственные значения представляющих физические наблюдаемые самосопряжённых операторов являются получаемыми в результате измерения возможными значениями этих наблюдаемых. Если квантовое состояние описывается собственной функцией представляющего наблюдаемую самосопряжённого оператора, результат измерения этой наблюдаемой (и, *prima facie*, в этом и только этом смысле и сама наблюдаемая) имеет определённое значение, совпадающее с со-

ответствующим собственным значением оператора. Квантовая система содержит, таким образом, детерминистскую часть.

Квантовая механика однозначно предсказывает определённое значение физической величины лишь в том случае, когда квантовая система находится в одном из её собственных состояний. Для суперпозиций собственных состояний физической величины, она предсказывает лишь вероятности получения при измерении того или иного её значения (см. аксиому 4 ниже).

Дэвид Льюис [69] отмечает, что общее понятие суперпозиции не является специфически квантовомеханическим.

Спутывание состояний – следствие принципа суперпозиции и принципа, что состояние составной системы имеет структуру тензорного произведения. Спутывание исключает возможность введения классических скрытых параметров. Неклассические (нелокальные или контекстуалистские) скрытые параметры могут быть введены. [64]

Замечание.

Предположим, что все коэффициенты в некоторой суперпозиции собственных волновых функций физической величины, за исключением одного, очень малы. Тогда было бы естественным рассматривать собственное значение, соответствующее «большому» слагаемому в суперпозиции, как приближённо являющееся детерминированным и преддетерминированным. Но согласно стандартной аксиоме полноты это невозможно. Следовательно, либо в известном смысле, квантовой системе можно приписать некоторые преддетерминированные значения наблюдаемой даже в случае суперпозиции её собственных состояний, либо даже в том случае, когда система находится в собственном состоянии, соответствующее собственное значение не может рассматриваться как преддетерминированное. В обоих случаях стандартная формулировка полноты квантовой механики неудовлетворительна. В последнем случае квантовая механика не нуждается в аксиоме полноты вообще; она будет

неполна в том смысле, что она даже не поднимает вопрос о существовании преддетерминированных значений наблюдаемых. В первом случае она не будет полной в соответствии с некоторой модифицированной аксиомой полноты, поскольку в случае суперпозиций она ничего не говорит о значениях наблюдаемых до измерения.

Аксиома 3 (динамическая аксиома). Эволюция квантовой системы унитарна и определяется её гамильтонианом, то есть самосопряжённым оператором энергии. Это требование приводит к уравнению Шрёдингера для волновой функции. Такая эволюция является непрерывной и детерминистской. (В этом смысле квантовая механика – детерминистская теория).

Аксиома 4 (вероятностная аксиома). Вероятность получения определённого значения наблюдаемой равна квадрату модуля соответствующего коэффициента в разложении волновой функции системы по базису собственных функций наблюдаемой. Это так называемое правило Борна.

Обобщённое правило Борна использует неортонормированные системы волновых функций (или, альтернативно, систему положительных операторов вместо системы проекторов)

Аксиома вероятности рассматривается как дополнительное «эмпирическое» правило, устанавливающее связь между теорией и экспериментом (очевидно, однако, что вторая аксиома и в меньшей степени первая и третья тоже играют определённую роль в установлении такой связи). Она не является частью хорошо определённой теории.

Аксиома вероятности также придаёт дополнительный смысловой (вероятностный) нюанс детерминистской части квантовой теории: Физическая наблюдаемая имеет определённое значение в своём собственном состоянии в том смысле, что вероятность получения этого значения в процессе измерения равна 1. (В соответствии с аксиомой 2 наблюдаемая имеет определённое значение в своём собственном состоянии в том смысле, что результат измерения является (предо)определённым.)

Чтобы лучше понять смысл вероятностной аксиомы, необходимо лучше понять концепт вероятности, в введении которого нет необходимости для понимания детерминистской части квантовой механики. Мы не обязаны интерпретировать детерминистское событие как имеющее вероятность 1. Напротив, как мы увидим ниже, можно попытаться понять вероятность и вероятностную часть квантовой механики на основе понимания её детерминистской части и наиболее общих принципов рациональности и симметрии (см. пункт 8.)

Можно, таким образом, предположить, что сама квантовая механика вносит вклад в определение понятия квантовой вероятности, как это имеет место с квантовыми наблюдаемыми.

Так называемая проблема измерения в квантовой механике может рассматриваться как проблема понимания аксиомы вероятности в рамках стандартной квантовой механики, если это возможно, или в рамках модифицированной или более общей квантовой теории.

2. Проблема с аксиомой вероятности

Очевидная проблема с аксиомой вероятности (аксиомой 4) состоит в том, что, по всей видимости, аксиома противоречит утверждению о детерминистской и непрерывной эволюции волновой функции (аксиоме 3). В соответствии с аксиомой 4 в общем случае в результате измерения волновая функция системы изменяется скачкообразным и недетерминистским образом. В результате измерения наблюдаемой исходная суперпозиция её собственных волновых функций преобразуется вероятностным образом в ту или иную её собственную волновую функцию. Такое преобразование не описывается уравнением Шрёдингера.

Акт измерения предполагает наличие макроскопического инструмента измерения и наблюдателя.

Замечание. Иногда понятие наблюдателя включается в понятие инструмента наблюдения или же наоборот. Я определяю связь между

квантовой системой, инструментом наблюдения и наблюдателем следующим образом: наблюдатель *употребляет* инструмент для «измерения» квантовой наблюдаемой. Термин «употребляет» указывает на необходимость принятия во внимание прагматики, то есть, как правило, неартикулированной (бэкграундной) научной практики, которая в свою очередь неотделима от практики употребления обыденного языка.

Имеет место следующая трилемма: либо квантовая теория не применима к макроскопическому миру и, в частности, к инструменту измерения и наблюдателю (тогда она не универсальна), и в этом случае аксиома 4 устанавливает связь между микромиром и не относящимся к компетенции квантовой механики макроскопическим миром классической механики, либо скачкообразное и недетерминистское изменение волновой функции есть специфический вид эволюции в рамках квантовой теории (в этом случае имеет место дуализм законов квантовой эволюции), либо «процесс измерения» не является физическим процессом. Каждая опция имеет свои «за» и «против».

Замечание. Мы не наблюдаем макроскопические объекты в суперпозиции их состояний. Это является эмпирическим аргументом против применения квантовой механики к макроскопическому миру. *Теория декогерентности* объясняет видимое отсутствие макроскопических суперпозиций взаимодействием физической системы с внешней средой, в результате которого всякая исходная суперпозиция очень быстро преобразуется в состояние с определённым значением наблюдаемой. «Кот Шрёдингера», помещённый в абсолютно герметический ящик, был бы одновременно живым и мёртвым (то есть он находился бы в суперпозиции этих двух состояний). Проблема в том, что мы не могли бы его наблюдать, так как при открытии ящика в результате спутывания квантового состояния кота с состоянием внешней среды исходная суперпозиция очень быстро преобразовалась бы либо в состояние «живой», либо в состояние «мёртвый».

В данной статье я делаю выбор в пользу опции 3: скачкообразное изменение волновой функции не является реальным пространственно-временным физическим процессом (см. демистификацию эвереттовской интерпретации ниже).

В то же время, как известно, квантовая механика успешно применяется для исследования самого процесса измерения. Но в этом случае «процесс измерения» играет другую роль. В этом случае субъект не является непосредственным участником процесса измерения (точка зрения первого лица), а, напротив, «наблюдает» процесс измерения со стороны (точка зрения третьего лица), не вмешиваясь в него.

Точка зрения третьего лица приводит к бесконечному регрессу, который, конечно, всегда можно остановить, но только за счёт перехода к точке зрения первого лица.

Решение проблемы измерения, постулирующие, что скачкообразное и недетерминистское изменение волновой функции – коллапс (термины «редукция» и «проекция» также употребляются) – не есть физический процесс, было предложено фон Нойманом (von Neumann).

Решение фон Ноймана позволяет не только устранить противоречие между постулатами 3 и 4, но также и противоречие между квантовой механикой и специальной теорией относительности. Простой мысленный эксперимент показывает, что введение в квантовую механику мгновенного коллапса волновой функции как физического процесса не совместим с обращением временного порядка событий, разделённых пространственно-подобным интервалом, в специальной теории относительности. Но если коллапс не является пространственно-временным процессом, мысленный эксперимент не корректен.

Интерпретация фон Ноймана, вводящая в рассмотрение коллапс, – разновидность инструменталистской интерпретации квантовой теории, когда последняя рассматривается лишь как предсказательный инстру-

мент, лишённый онтологического и объяснительного смысла. Взгляд фон Ноймана на процесс измерения – это взгляд со стороны.

Я предлагаю рассматривать проблему измерения с точки зрения первого лица. В этом отличие моего подхода от подхода фон Ноймана. С точки зрения первого лица измерение есть прагматический акт, в котором принимают участие субъект, инструмент измерения и теория, а не процедура для получения того или иного результата. При этом квантовая теория играет роль правила/концепта в виттгенштайновском смысле (см. также ниже). В результате акта измерения первоначальный «провал» между теорией и результатом конкретного измерения (в рамках своего прагматического «растворения» проблемы измерения Бахтольд [6] говорит о «разрыве» между теорией, которая описывает *потенциальные* результаты измерения и *актуальным* результатом измерения) устраняется (точнее говоря, в акте измерения он просто отсутствует). Теория-правило содержит в себе некоторые потенциальные возможности своего применения. Конкретное применение теории реализует/актуализирует одну из этих возможностей. «Процесс» применения теории-правила, или акт измерения, есть виттгенштайновская «языковая игра», то есть нормативная практика. Не имеет смысла говорить о применимости к ней квантовой механики. В то же время в результате акта измерения возникает новое состояние квантовой системы, которое описывается квантовой механикой.

3. *Спутывание квантовых состояний и концепт «относительного состояния» Эверетта*

Возьмём квантовую систему со спином $\frac{1}{2}$ (например, электрон). Предположим, что (нормированная) волновая функция системы – суперпозиция двух её (нормированных) состояний: состояния, в котором проекция спина на ось z равна $\frac{1}{2}$, и состояния, в котором проекция спина на ось z равна $-\frac{1}{2}$. Тогда вероятности получения при измерении проекции спина на ось z

значений $\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$ совпадают с квадратами модулей соответствующих коэффициентов в (разложении) волновой функции системы.

Примем теперь во внимание наличие инструмента измерения и наблюдателя, которые взаимодействуют с квантовой системой. В результате измерения проекции спина на ось z инструмент показывает либо значение $\frac{1}{2}$ либо $-\frac{1}{2}$, и наблюдатель наблюдает либо значение $\frac{1}{2}$ либо $-\frac{1}{2}$, соответственно. Таким образом, в соответствии с законом унитарной эволюции в процессе измерения исходное тензорное произведение трёх волновых функций (система) \otimes (инструмент) \otimes (наблюдатель), где (система) есть волновая функция спиновой системы, (инструмент) есть волновая функция инструмента и (наблюдатель) есть волновая функция наблюдателя, а символ ' \otimes ' обозначает тензорное произведение, преобразуется в суперпозицию тензорных произведений

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (\text{система спин } + \frac{1}{2}) \otimes (\text{инструмент спин } + \frac{1}{2}) \otimes (\text{наблюдатель спин } + \frac{1}{2}) + \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$(\text{система спин } - \frac{1}{2}) \otimes (\text{инструмент спин } - \frac{1}{2}) \otimes (\text{наблюдатель спин } - \frac{1}{2}), \text{ (#)}$$

в котором, например, (наблюдатель спин $+\frac{1}{2}$) есть волновая функция наблюдателя, наблюдающего результат $\frac{1}{2}$, и так далее (предполагается, таким образом, что квантовая механика универсальна, то есть применима и к макроскопическим инструменту и наблюдателю). Структура этой суперпозиции сохраняется во времени.

Вышеуказанное состояние (#) позволяет проиллюстрировать концепт «относительного состояния», введённый Эвреттом [30]:

«A constituent subsystem cannot be said to be in any single well-defined state, independently of the remainder of the composite system. To any arbitrarily chosen state for one system there will correspond a unique relative state for the remainder of the composite system. <...> Such correlations between systems arise whenever systems interact» (Нельзя сказать, что составляющая квантовую систему под-система находится в каком-то одном хорошо определённом состоянии, независимо от остальной части составной системы. Каждому произвольно выбранному состоянию одной

системы будет соответствовать единственное относительное состояние оставшейся части составной системы. <...> Такие корреляции между системами возникают всякий раз, когда системы взаимодействуют. – *Перевод автора*). «It is meaningless to ask the absolute state of a subsystem – one can only ask the state relative to a given state of the remainder of the subsystem» (Бессмысленно спрашивать об абсолютном состоянии подсистемы – можно лишь спрашивать об её относительном состоянии по отношению к данному состоянию остатка системы. – *Перевод автора*). «The discontinuous «jump» into an eigenstate is thus only a relative proposition, dependent upon the mode of decomposition of the total wave function into the superposition, and relative to a particular chosen apparatus-coordinate value. So far as the complete theory is concerned all elements of the superposition exist simultaneously, and the entire process is quite continuous» (Дискретный «скачок» в собственное состояние является, таким образом, лишь относительным утверждением, зависящим от способа разложения полной волновой функции в суперпозицию, и относительным по отношению к конкретно выбранному аппарат-координатному значению. Что касается полной теории, все элементы суперпозиции существуют одновременно, и весь процесс целиком является совершенно непрерывным. – *Перевод автора*).

В (#) состояния (система спин + $\frac{1}{2}$), (инструмент спин + $\frac{1}{2}$) и (наблюдатель спин + $\frac{1}{2}$) являются относительными по отношению друг к другу, также как взаимно относительными являются состояния (система спин – $\frac{1}{2}$), (инструмент спин – $\frac{1}{2}$) и (наблюдатель спин – $\frac{1}{2}$).

Эвереттовская интерпретация (в широком смысле. Подробнее см. ниже) говорит, что в одном «мире» наблюдатель наблюдает (инструмент показывает, система имеет) спин $1/2$, а в другом – $(-1/2)$. Расщепление на два мира происходит в момент измерения.

4. Реализм

В контексте квантовой механики (но это справедливо и в общем случае) Жослин Бенуаст (см., например, [9]) характеризует метафизический реализм как философскую позицию, принимающую следующие два основных положения: (1) имеется независимая от субъекта (объективная) реальность; (2) эта реальность есть реальность (хорошо определённых) объектов, расположенных, так сказать, напротив субъекта.

Метафизический реализм, таким образом, подразумевает возможность неангажированного «взгляда со стороны».

Бенуаст принимает (1), но отвергает (2). Для него подлинная реальность есть реальность взаимодействия между субъектом и миром. *Последняя онтология* не является онтологией метафизического реализма.

Я принимаю здесь предложенную Жослином Бенуастом разновидность виттгенштайновского контекстуализма – позицию, которую он называет *чувствительной онтологией* (sensitive ontology): «The question of what it is to be an F comes out as inseparable from the fact that *we already take some a or b to be F's in some definite way*» (вопрос о том, что означает быть F неотделим от факта, что мы уже считаем, что некоторые a или b есть F в некотором определённом смысле. – *Перевод автора*) [12, с. 424]. Используя введённый Жослином Бенуастом технический термин «адекватный концепт» (см. ниже), я бы сказал так: объект x вида F существует (реален) тогда и только тогда, когда концепт F применим к нему *адекватным* образом, Fx.

Жослин Бенуаст вводит два условия на концепты: *подходящность* и *адекватность*. Последнее условие является более сильным. Подходящий концепт соответствует области реальности, которую он предназначен описывать (представлять). «Адекватный концепт» связан с реальностью интимным образом. Это подходящий концепт, который укоренён в реальности, питается её, отражает её во всей её полноте (проблема, конечно, состоит в том, чтобы понять эту интимную связь между концеп-

тами и реальностью). *Эпистемологический провал* между адекватным концептом и реальностью отсутствует [10-12].

Можно аргументировать, что принятие классического (метафизического) реализма в квантовой механике, то есть реализма волновой функции (ψ -реализм), а также классической логики требует принятия эвереттовской интерпретации [64], которая вводит в рассмотрение много миров (см. ниже).

Я предлагаю интерпретировать квантовый формализм как виттгенштайновское правило/концепт и утверждаю, что замена метафизического реализма неметафизическим контекстуалистским виттгенштайновским реализмом/натурализмом языковых игр позволяет демистифицировать эвереттовскую интерпретацию. Квантовое «взаимодействие» между субъектом и миром есть применение теории-правила-концепта, то есть виттгенштайновская «языковая игра», или нормативная практика.

Замечания. 1. Понятие виттгенштайновского правила/концепта может быть сделано эксплицитным, исходя из философии позднего Виттгенштейна. Предельно кратко: правило определяется «формой жизни», то есть областью своих устоявшихся применений, между которыми имеется отношение семейного сходства. 2. То, что поздний Виттгенштайн может быть понят как натуралистический нормативный прагматист, или «нормативный натуралист», и реалист не является общепринятой позицией. Некоторые последователи философии Виттгенштейна вообще отказываются классифицировать его позднюю философию как некоторый «изм», делая упор на виттгенштайновском «терапевтическом методе» (см., например, [70]). В то же время, например, нормативный прагматизм [71] и аналитический прагматизм [25] Роберта Брэндома вдохновляются идеями позднего Виттгенштейна. 3. Термин «прагматический натурализм» по отношению к философии Вильфрида Селларса (Wilfrid Sellars) и позднего Виттгенштейна употребляет Брэндом [71]. Термин *нормативный натурализм* употребляет Мередит Уильямс в [73].) Относящийся-

ся к *употреблению* языка прагматический натурализм является «субъект-натурализмом» (subject naturalism). Различие между субъект-натурализмом – натурализмом вовлечённых в дискурсивные практики субъектов – и объект-натурализмом (object naturalism) – репрезентационным семантическим натурализмом объектов и их свойств – ввёл Хью Прайс (Huw Price) (см. [52]) и ссылки на философию Прайса в ([72]).

Я употребляю термин «эвереттовская интерпретация», отсылая не к оригинальной интерпретации Эверетта (существует проблема выяснения оригинального намерения самого Эверетта), а к современным интерпретациям, которые близки по духу к интерпретации Эверетта.

Обычно интерпретация Эверетта рассматривается как *чистая интерпретация*, которая не модифицирует физическую теорию и не вводит метафизических понятий. Сам Эверетт говорит о своей интерпретации как о «метатеории», или «базовой (underlying) теории», в рамках которой может быть прояснена и исследована природа, непротиворечивость и область применимости «старой теории», то есть квантовой механики [6].

В данной статье, в частности, рассматривается интерпретация Даниэла Валласа (Daniel Wallace), который также считает свою интерпретацию квантовой механики «чистой интерпретацией» (см., например, [64] и цитируемую литературу). При этом Валлас существенно использует явление декогерентности (см. ниже). Эвереттовские миры не вводятся в квантовую механику как дополнительная конструкция, а они возникают на более высоком (макроскопическом) уровне функционального описания на базе микромира.

Интерпретации, вдохновляемые интерпретацией Эверетта, но модифицирующие квантовую механику или вводящие в рассмотрение дополнительные метафизические гипотезы как, например, «много-миров» или «много-сознаний» интерпретации, были отвергнуты большинством философов.

«Много-миров» интерпретация вводит в рассмотрение онтологию многих физических миров и в то же время модифицируют квантовую теорию, вводя в неё индекс, отсылающий к тому или иному миру. Модифицированная квантовая механика применяется к системе всех миров. Проблема измерения при этом решается: в каждом мире имеется свой результат измерения. Вероятность находиться в том или ином мире есть вероятность получить тот или иной результат измерения.

Очевидной физической проблемой в рамках такой интерпретации является нарушение закона сохранения энергии в момент измерения, когда происходит расщепление мира на много миров. Кроме того, проблема измерения преобразуется в проблему понимания внезапного расщепления мира на множество почти идентичных и не взаимодействующих друг с другом миров.

«Много-сознаний» интерпретация, напротив, вместо расщепления мира на множество миров вводит расщепление сознания на множество сознаний. Это дуалистическая позиция (см. детали, например, в [64]). Поэтому она отвергается на тех же основаниях, что и любая дуалистическая позиция.

5. Идея расщепления мира в момент квантово-механического измерения

Вернёмся к нашей квантовой системе со спином $\frac{1}{2}$ (см. пункт 3). Возьмём, например, электрон. Возможные результаты измерения проекции спина свободного электрона на ось z суть $+\frac{1}{2}$ (с вероятностью $\frac{1}{2}$) и $-\frac{1}{2}$ (с вероятностью $\frac{1}{2}$).

С точки зрения классического реализма (на самом деле традиционного „метафизического реализма“) волновая функция

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\text{система спин } + \frac{1}{2}) \otimes (\text{инструмент спин } + \frac{1}{2}) \otimes (\text{наблюдатель спин } + \frac{1}{2}) + \frac{1}{\sqrt{2}}(\text{система спин } - \frac{1}{2}) \otimes (\text{инструмент спин } - \frac{1}{2}) \otimes (\text{наблюдатель спин } - \frac{1}{2}) \quad (\#)$$

описывает два различных мира, или две ветви мира, расщепляющегося в момент измерения. Единственное различие между этими ветвями-мирами состоит в том, что результаты измерения в них различны. В одном мире наблюдатель наблюдает (инструмент измеряет, и система находится в состоянии s) проекцию спина на ось z равную $\frac{1}{2}$. В другом мире – ($-\frac{1}{2}$).

В соответствии с линейным уравнением Шрёдингера эволюция волновой функции (ψ) такова, что её структура сохраняется во времени. То есть две ветви-мира как бы существуют сами по себе, не оказывая друг на друга никакого влияния. (В рамках теории декогерентности (см. ниже) это результат обобщается.)

Такова основная идея эвереттовской интерпретации.

Сторонники этой интерпретации считают, что (i) в её рамках решается проблема измерения; она (ii) она совместима со специальной теорией относительности, и (iii) удовлетворяет условию онтологической экономии (см., например, Greaves 2007).

В то же время эвереттовская интерпретация имеет две принципиальные проблемы: проблема предпочтительного базиса и проблема вероятности.

Проблема вероятности подразделяется на качественную проблему придания смысла понятиям возможности и вероятности в мире, в котором все возможные (с точки зрения стандартной интерпретации квантовой механики) исходы актуальны, и количественную проблему вывода правила Борна (см. ниже).

Проблема предпочтительного базиса (см. детали, например, в [64]) есть проблема выбора базиса разложения волновой функции.

Функция (ψ) есть вектор в гильбертовом пространстве, и она может быть разложена различным образом на различные чистые компоненты. Поэтому возникает вопрос о том, какие из соответствующих бесконечному числу разложений многоветвевых миров/вселенных, следует рассматривать как «реальные».

Если предположить, что выбор базиса определяется процедурой измерения, то есть тем, какие величины наблюдатель намеревается измерять, то этот выбор (и, следовательно, ветвящийся мир (вселенная)) будет полностью субъективным и внешним по отношению к квантовой системе. Следовательно, он не будет вписываться в рамки глобального подхода Эверетта. Любой наблюдатель оказался бы способным произвести расщепление целой вселенной или генерировать некоторое число квази-идентичных вселенных.

Теория декогерентности, описывающая взаимодействие квантовой системы со средой, $\psi_{\text{sys}} \otimes \psi_{\text{env}}$, претендует на то, что она способна решить проблему предпочтительного базиса. Предпочтительный базис квантовой системы есть такой базис, в котором квантовая система представляется как континуум квази-классических траекторий. При этом среда считывает свойства квантовой системы (относительно этого базиса), не возмущая её. Функционально это создаёт некоторое число очень слабо взаимодействующих между собой квази-классических ветвей-миров Эверетта (Соответствующая часть среды играет роль классического наблюдателя для каждого мира).

Дэвид Валлас является одним из сторонников такого подхода (см. детали в [64]). При этом он принимает функционализм в духе Деннетта (см., например, Dennett, 1991), в соответствии с которым, например, некоторое число атомов инстанцирует тигра благодаря их «тигровой» функциональной роли, то есть роли, совпадающей с функциональной ролью тигра. При этом природа атомов не играет никакой роли; важна лишь их совокупная функция.

Таким образом, дополнительная онтология не вводится, квантовая теория не модифицируется. «Миры» возникают на более высоком – функциональном – уровне (Заметим, что в рамках стандартной интерпретации квантовой механики теория декогерентности не решает про-

блему измерения, то есть проблему выбора той или иной квазиклассической траектории).

Проблема с явлением декогерентности состоит в том, что оно является существенно приближённым и, как следствие, существенно неопределённым. При больших масштабах декогерентность является более отчётливой (и число декогерентных крупномасштабных ветвей-миров меньше), а при меньших масштабах – менее отчётливой (и число декогерентных мелкомасштабных ветвей-миров больше). Валлас [60] полагает, однако, что эта неопределённость не играет никакой роли, поскольку является неопределённостью в описании. Для него глубинная квантовая реальность не зависит от выбора масштаба рассмотрения явления декогерентности.

Валлас пишет: «Branching structure is not fundamental, but emerges from some underlying physical reality» (ветвящаяся структура не фундаментальна, а возникает из некоторой базовой физической реальности. *Перевод мой*) [60, § 10]. В духе позиции Деннетта (Dennett, 1991) он также пишет: «The branching <...> emerges from the underlying system as a higher-level approximate description – rather as higher-level ontology in general emerges from lower-level descriptions» (Скорее ветвление <...> возникает из базовой системы как приближённое описание более высокого уровня – а не онтология более высокого уровня возникает из описаний более низкого уровня. – *Перевод автора*) [60, § 8].

В рамках эвереттовской интерпретации ветвям-мирам приписываются веса, равные квадратам модулей соответствующих в разложении волновой функции коэффициентам. Этот шаг, однако, должен быть обоснован. Сам Эверетт обосновывает его тем, что такие веса определяют меру Лебега на многоветвевом мире/вселенной (В частности, такая мера аддитивна).

Дойч (Deutsch) и Валлас (Wallace) выводят те же самые веса из некоторых общих принципов рациональности (теории игр) (см. ниже). Пра-

вило Борна, формально, определяется этими весами на многоветвевом мире/вселенной Эверетта.

Основная проблема, однако, в том, что принципы рациональности сами по себе не содержат понятие вероятности, которое не может быть просто добавлено *ad hoc*.

Многоветвевая эвереттовская интерпретация является детерминистской. Поэтому неясно, каким образом в её рамках можно придать смысл понятию вероятности, то есть каким образом можно установить связь между этой интерпретацией и нашим обычным вероятностным восприятием квантового опыта.

Тем не менее некоторые сторонники многоветвевой эвереттовской интерпретации утверждают, что именно в её рамках понятие вероятности приобретает подлинный смысл. Для них аксиома вероятности может быть объяснена или, по крайней мере, сделана излишней.

В частности, в рамках эвереттовской интерпретации Саундерс (Saunders 1998) пытается придать смысл понятию субъективной вероятности.

При этом субъективная недостоверность (вероятность) может быть введена двумя способами.

Можно заметить, что *после* измерения, когда субъект ещё не знает каков его результат, то есть не знает где (на какой ветви-мире) он находится, он будет в той или иной степени верить, что он находится в том или ином мире.

Другой способ введения понятия вероятности состоит в следующем. До выполнения акта измерения субъект знает, что он расщепится на множество субъектов, имеющих разные опыты. Субъект также знает, что после выполнения акта измерения он не будет испытывать все эти опыты одновременно, и в то же время он знает, что он не будет лишён вообще какого-либо опыта. Субъект не может сказать (и он знает об этом), что он будет иметь такой-то и такой-то определённый опыт. Следовательно, с субъективной точки зрения, или с точки зрения первого лица,

переход от «до» к «после» оказывается неопределённым. Агент не знает, что ожидать, так как он ожидает, что он будет одним из своих будущих «я», но он не знает каким.

Предположение этого рассуждения состоит в том, что субъект сохраняет свою персональную идентичность. Но чисто экстерналистский критерий (причинная связь) сохранения персональной идентичности, недостаточен.

В то же время очевидно, что в рассматриваемой ситуации картезианское понятие персональной идентичности также неприменимо.

Парфит [51] заменяет понятие персональной идентичности понятием персонального выживания. Согласно этому понятию я поступаю разумно, если я забочусь о моих будущих наследниках, даже если у меня нет какого либо конкретного взгляда на то, являются ли они *мною* или нет (см., например, [63]).

Возможно, Парфит идёт слишком далеко в своих выводах. Верно, однако, что понятие персональной идентичности должно быть обобщено.

Гривз [35-37] аргументирует, что понятие вероятности не имеет смысла в рамках детерминистской эвереттовской интерпретации. Её возражение состоит в том, что понятие неопределённости (или субъективной вероятности) имеет смысл только в том случае, если имеются некоторые факты, которые субъекту неизвестны. В случае эвереттовской интерпретации у субъекта имеется знание о всех фактах.

Валлас полагает, что Гривз указывает на возможность нарушения нашего концепта персональной идентичности. Он пишет [63]:

«I think that Greaves is best read as sharing this view: according to her version of the Everett interpretation, I should replace any notion of becoming a post-splitting version of myself simply with the notion of caring about the future versions of myself, and should treat 'I expect experience X' simply as synonymous with 'a future version of myself has experience X'» (Я думаю, что Гривз наилучшим образом может быть понята как придерживающаяся следую-

щей точки зрения: в соответствии с её версией интерпретации Эверетта я должен заменить любое понятие становления пост-расщеплённой версии меня самого понятием заботы о будущих версиях меня самого, и я должен трактовать «Я ожидаю опыт X» просто как синоним «Будущая версия меня самого имеет опыт X». – *Перевод автора*).

Сама Гривз говорит, что в случае эвереттовского расщепления, идентичность есть просто выживание.

Валлас предлагает альтернативный подход к обоснованию субъективной неопределённости в [61]. Он анализирует употребление языка «жителями» многоветвевой эвереттовской вселенной/мира. Согласно его анализу высказывание «могло бы быть A» (it might be A) истинно тогда и только тогда, когда A истинно на некоторых ветвях (см. ниже пункт 9).

Валлас [62] также предлагает доказательство вероятностного аналога теоремы Дойча (Deutsch) (см. ниже).

Список использованных источников

1. Ackrill J.K. Aristotle's Categories and De Interpretatione. Oxford: Clarendon Press, 1963.
2. Bacciagaluppi G. The Role of Decoherence in Quantum Mechanics. // The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2012 Edition) / ed. Edward N. Zalta, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/qm-decoherence>
3. Bacciagaluppi G. «Worlds Galore?». Long review of Saunders et al. 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://philsci-archive.pitt.edu/9801>
4. Bacciagaluppi G. The Many Facets of Everett's Many Worlds. Short review of Saunders et al. 2010 // Metascience. published online 13 February 2013. DOI:10.1007/s11016-013-9747-9.
5. Bacciagaluppi G. The Everett Interpretation of Quantum Mechanics // Collected Works 1955-1980 with Commentary. Hugh Everett III / ed. by Jeffrey A. Barrett, Peter Byrne. Princeton: Princeton University Press.
6. Bachtold M. L'interprétation de la mécanique quantique. Paris: Hermann, 2009.
7. Barrau Aurélien. Physics in the Multiverse // CERN Courier December, 2007.

8. Barrau Aurélien. Des univers multiples. Paris: Dunod, 2014.
9. Benoist J. Qu'est ce qu'une théorie réaliste de la perception? // Доклад, сделанный на коллоквиуме по философии квантовой механики, Париж, Эколь нормаль сьюперьёр, 27 сентября 2005.
10. Benoist J. Concepts. Paris: Les éditions CERF, 2010/2011.
11. Benoist J. Eléments de philosophie réaliste. Paris: Vrin, 2011.
12. Benoist J. Making Ontology Sensitive. // Cont. Philos. Rev. Published online. 04 August 2012.
13. Bitbol M. Perspectival realism and quantum mechanics // Lahti P., Mittelstaedt P. Symposium on the foundations of modern physics 1990. World Scientific, 1991.
14. Bitbol M. Physique et philosophie de l'esprit. Paris, Flammarion, 2000.
15. Bitbol M. Mécanique quantique, une introduction philosophique, Paris, Flammarion, 1996.
16. Bitbol M. L'aveuglante proximité du réel, anti-réalisme et quasi-réalisme en physique, Paris, Flammarion, 1998.
17. Bitbol M. La mécanique quantique comme théorie des probabilités généralisée // Klein E. et Sacquin Y. éd. Prédiction et probabilité dans les sciences, Gif-sur-Yvette: Éditions Frontières, 1998.
18. Bitbol M. Some Steps towards a Transcendental Deduction of Quantum Mechanics. // Philosophia Naturalis, 1998. 35. C. 253-280.
19. Bitbol M. Physique et philosophie de l'esprit, Paris: Flammarion, 2000.
20. Bitbol M. Relations, synthèses, arrière-plans, sur la philosophie transcendantale et la physique moderne // Archives de Philosophie, 2000. 63. C. 595-620.
21. Bitbol M. Arguments transcendants en physique moderne // Chauvier, S. et Capeillères, F. éd., La querelle des arguments transcendants, Revue philosophique de l'Université de Caen, 2001. C. 81-101.
22. Bitbol M. et Laugier S. éd. Physique et réalité (un débat avec Bernard d'Espagnat). Paris: Diderot, 1998.
23. Bitbol M. L'aveuglante proximité du réel. Champs-Flammarion, 1998.
24. Block N. Functional Reduction. 2007.
25. Brandom R. Between Saying and Doing. OUP, 2008.
26. Dennett D. Are we explaining consciousness yet // Cognition, 2001. 79. C. 221-237.
27. Dennett D. Real Patterns // Journal of Philosophy. 1991. 87. C. 27-51.
28. Deutsch D. Quantum theory of probability and decisions // Proceedings of the Royal Society of London, 1999. A455. C. 3129-3137. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/9906015>
29. Everett H. The Many Worlds Interpretation of Quantum Mechanics. Dissertation.
30. Everett H. «Relative State» Formulation of Quantum Mechanics // Reviews of Modern Physics. 1957. 29. № 3. C. 454-462.

31. Fitting M., Mendelsohn R.L. First-order Modal Logic. London: Kluwer Academic Publishers, 1998.
32. Friedrich S. Re-thinking local causality // Synthese. 2014. DOI 10.1007/s11229-014-0563-6.
33. Friederich S. Interpreting Quantum Theory. Palgrave Macmillian, 2015.
34. Fuchs C.A. Quantum Mechanics as Quantum Information. 2002.
35. Greaves H. Understanding Deutsch's probability in a deterministic multiverse // Studies in History and Philosophy of Modern Physics. 2004. 35. С. 423-56. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/0312136>, <http://philsciarchive.pitt.edu/archive/00001742>
36. Greaves H. Probability in the Everett interpretation // Philosophy Compass. 2007. 2/1. С. 109-128.
37. Greaves H. On the Everettian epistemic problem // Studies in History and Philosophy of Modern Physics. 2007. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://philsciarchive.pitt.edu/archive/00002953>
38. Hagar Amit. Notre dame reviw. Review of (eds.) Simon Saunders, Jonathan Barrett, Adrian Kent, David Wallace // Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality / eds. S. Saunders, J. Barrett, A. Kent, D. Wallace. Oxford University Press, 2010.
39. Healey R. Quantum Theory: A Pragmatist Approach // British J. for the Philosophy of Science. 2012. 63. С. 729-771.
40. Lewis D. A subjectivist's guide to objective chance // Studies in Inductive Logic and Probability. V. II / ed. R.C. Jeffrey. Berkeley: University of California Press. Reprinted in David Lewis, Philosophical Papers, V. II (Oxford University Press, Oxford, 1986), 1980.
41. Lewis D. On Plurality of Worlds. Oxford: Blackwell, 1986.
42. Lewis D. How many lives has Schrodinger's Cat? // Australasian J. of Philosophy. 2004. 82 (1). С. 3-22.
43. Lewis P. What is it Like to be Schrödinger's Cat? // Analysis. 2000. 60. С. 22-9.
44. Lewis J. Peter. Deutsch on quantum decision theory // PhilSci Archive. Internet, 2003.
45. Lewis J. Peter. Probability in Everettian quantum mechanics // PhilSci Archive. Internet. 2005. 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002716>
46. Lewis Peter J. Quantum sleeping beauty. 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://philsciarchive.pitt.edu/archive/00002715>
47. Lewis J. Peter. Probability in Everettian quantum mechanics // Manuscripto. 2010. 33. С. 285-306.
48. Lewis Peter J. Notre dame review of (David Wallace, The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation, Oxford University Press, 2012). 2013.
49. Maudlin Tim. Quantum Non-Locality and Relativity. Oxford: Blackwell, 1994.

50. Papineau David. David Lewis and Schrödinger's Cat // Australasian J. of Philosophy, 2004. 82(1). С.153-69.
51. Parfit D. Reasons and Persons. Oxford: OUP, 1984.
52. Price Hew. Expressivism, Pragmatism and Representationalism. Cambridge: CUP, 2013.
53. Прись И.Е. Квантовая феноменология Хайдеггера // NB: Философские исследования. 2014. № 4. С. 46-67. DOI: 10.7256/2306-0174.2014.4.11625. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://e-notabene.ru/fr/article_11625.html
54. Прись И.Е. Философия физики Вернера Гайзенберга и его понятие замкнутой теории в свете позднего Виттгенштайна // Философская мысль. 2014. № 8. С. 25-71. DOI: 10.7256/2306-0174.2014.8.12782. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://e-notabene.ru/fr/article_12782.html
55. Saunders S. A dissolution of the problem of locality // Proceedings of the Philosophy of Science Association. 1997. 2. С. 88-98.
56. Saunder S. What is probability? // Quo Vadis Quantum Mechanics? / eds. A. Elitzur, S. Dolev, N. Kolenda. Springer-Verlag, Berlin, 2005.
57. Saunders S. Chance in the Everett Interpretation // Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality / eds. S. Saunders, J. Barrett, A. Kent, D. Wallace. Oxford, 2010.
58. Stalnaker R.C. Ways a World Might Be. Oxford: OUP, 2003.
59. Vaidman L. REVIEW: David Wallace, The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation. Preprint, 2014.
60. Wallace D. Three kinds of branching universe, 2005. Wallace's Homepage.
61. Wallace D. Language use in a branching universe // Forthcoming. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://philsci-archive.pitt.edu>
62. Wallace D. Quantum Probability from Subjective Likelihood: improving on Deutsch's proof of the probability // Studies in History and Philosophy of Modern Physics. 2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0312157>, <http://philsci-archive.pitt.edu>
63. Wallace D. Epistemology Quantized: circumstances in which we should come to believe in the Everett interpretation // British J. for the Philosophy of Science. 2006. 57. С. 655-689.
64. Wallace D. The Quantum Measurement Problem: State of Play, 2007. Wallace's Homepage.
65. Wallace D. Decoherence and Ontology (or: How I learned to stop worrying and love FAPP), 2009.
66. Wallace D. A formal proof of the born rule from decision-theoretic assumptions [aka: How to Prove the Born Rule] // Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality / eds. S. Saunders, J. Barrett, A. Kent, D. Wallace. Oxford University Press, 2010.
67. Wallace D. The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation, Oxford University Press, 2012.

68. Meacham C. J.C. Representation theorems and the foundations of decision theory. *Australasian Journal of Philosophy*. 1994.
69. Lewis D. How many Lives has Schrödinger's Cat? // The Jack Smart Lecture, Canberra, 27 June 2001.
70. Horwich P. Wittgenstein's Metaphilosophy. Clarendon Press, 2012.
71. Brandom R. Making It Explicit: Reasoning, Representing, and Discursive Commitment. Harvard UP, 1994.
72. Brandom R. Categories and Noumena: Two Kantian Axes of Sellars's Thought. // Homepage. 2013.
73. Williams M. Normative Naturalism. // *Int. J. of Philosophical Studies*, 2011. 18 (3). C. 335-375.