

*Лев Вайдман**

«Раздвоение сознания» у нейтрона, или Почему мы должны верить в многомировую интерпретацию квантовой теории**

Эта статья написана в поддержку многомировой интерпретации квантовой теории (ММИ). Необходимость вводить представление о существовании многих миров обосновывается путем анализа опыта по интерференции нейтронов. Вводится понятие «мера существования мира», и разрешаются некоторые трудности с проблемой вероятности в рамках ММИ.

Истина о физических объектах может быть странной. Она может быть недостижимой, но, если какой-либо философ верит, что он достиг ее, тот факт, что то, что он предлагает в качестве истины, является странным, не должен служить основанием для отрицания его мнения.

Бертран Рассел

1. Введение

Существует много интерпретаций квантовой механики, и продолжают появляться новые интерпретации. Я полагаю, что ММИ, выдвинутая в 1957 году Эвереттом, является наилучшим кандидатом на роль действительно адекватной интерпретации***. Моя уверенность зиждется не на философских преимуществах идеи множественности миров, как у Льюиса (1986), а на том, что трудности квантовой теории, исходящие

* Лев Вайдман — физик, работающий в области оснований квантовой механики. Вместе с Я. Аароновым и др. открыл несколько квантовых эффектов. Наиболее удивительный из них — «свободное от взаимодействий измерение», позволяющее «видеть объект в темноте». Работает в университете Тель-Авива (Израиль), Школа физики и астрономии.

** Авторизованный перевод Е.А. Мамчур.

*** Я сравниваю ММИ с другими интерпретациями в расширенном варианте этой статьи [1]. См. также обзор ММИ на сегодняшний день [2].

из предположения, что существует только один мир, тот, который мы видим, являются слишком серьезными.

ММИ не является теорией о множестве *объективных* «миров». Никакой математический формализм сам по себе не дает определения понятия «мир». «Мир» — это субъективное понятие сознающего (*sentient*) наблюдателя. Все (субъективные) миры содержатся в *одной* объективной Вселенной. Тем не менее название «многомировая интерпретация квантовой теории» представляет эту теорию весьма хорошо. Действительно, согласно ММИ (и в противовес стандартному подходу), существует множество миров того типа, который мы в обыденной жизни называем «миром». И хотя ММИ не является только интерпретацией квантовой теории, поскольку она отличается от стандартной квантовой механики в некоторых экспериментальных предсказаниях, интерпретация составляет существенную часть ММИ. Она объясняет тот огромный разрыв, который существует между тем, что мы воспринимаем как наш мир, и тем, что появляется в формализме, описывающем квантовое состояние Вселенной. Уравнение Шредингера (основное уравнение квантовой теории) очень точно предсказывает результаты экспериментов, осуществляемых на микроскопических системах; оно также приводит к существованию множества миров. Цель постулата о коллапсе волновой функции, существование которого отличает стандартную интерпретацию от ММИ, состоит в том, чтобы избежать следствия уравнения Шредингера о существовании множества миров.

В настоящее время уровень развития технологии не позволяет нам экспериментально проверить предположение о существовании «других» миров. Так что только Бог или «сверхчеловек» (т.е. человек, оснащенный супертехнологией) может воспользоваться преимуществами ММИ в полной мере. Однако мы вполне можем занять позицию Бога по отношению к нейтрону. Вот почему я обсуждаю, прежде всего, ситуацию с нейтронами. В целях ясности изложения я буду приписывать нейтрону способность «чувствовать», «помнить», «понимать». Но конечно же, обоснованность ММИ не зависит от того, способен ли нейтрон «сознавать».

Дальнейшее изложение будет идти по такому плану. Во втором и третьем параграфе я объясню действие нейтронного интерферометра и показываю, что ощущающий нейтрон, проходя через интерферометр, *должен* испытывать «раздвоение сознания». В параграфе 4 я ввожу ММИ нейтрона и показываю,

как она решает проблему «раздвоения сознания» у нейтрона. В параграфах 5–7 я продолжаю обсуждение ММИ на примере нейтронного интерферометра. Параграфы 8 и 9 посвящены центральному вопросу данной статьи — вопросу о вероятности в ММИ. В параграфе 10 я ввожу, а в параграфах 11–14 я обсуждаю ММИ Вселенной. И наконец, в параграфе 15 подытожены аргументы в пользу ММИ.

2. Расщепитель нейтронного пучка

Начнем с анализа простого эксперимента. Нейтрон проходит через расщепитель нейтронного пучка S по направлению к детекторам D_1 и D_2 (рис. 1). Результат этого эксперимента, как утверждают многочисленные экспериментаторы, будет состоять в следующем: одиночный нейтрон, проходящий через расщепитель пучка нейтронов, будет регистрироваться или детектором D_1 , или детектором D_2 . Естественный вывод, который можно сделать на основе этих результатов, состоит в том, что нейтрон движется или по траектории SD_1 или по траектории SD_2 , и, таким образом, экспериментатор отмечает срабатывание только одного из детекторов. Из двух имеющихся возможностей реализуется только одна.

До проведения эксперимента мы можем вообразить два различных мира, соответствующих двум возможным исходам эксперимента. Эти два мира различаются в отношении положения нейтрона, состояний детекторов, состояния сознания экспериментатора, записи в его записной книжке и т.д. Согласно стандартному подходу существует только *один* из этих миров. Согласно ММИ реализуются обе возможности. Срабатывают оба детектора, наблюдаются оба результата эксперимента, оба результата фиксируются в записной книжке наблюдателя и т.д. Когда экспериментатор докладывает мне, что нейтрон регистрируется детектором D_1 , я, Лев Вайдман (убежденный в справедливости ММИ), знаю, что имеется также мир, в котором Лев Вайдман получает сообщение о том, что нейтрон регистрируется детектором D_2 и что этот другой мир является не менее «реальным», чем первый. Вот что означает понятие «множественности миров». Имеется множество миров, подобных тому, в котором живем мы.

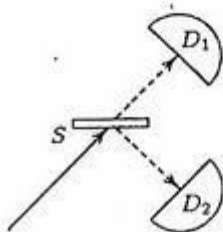


Рис. 1. Расщепитель пучка нейтронов

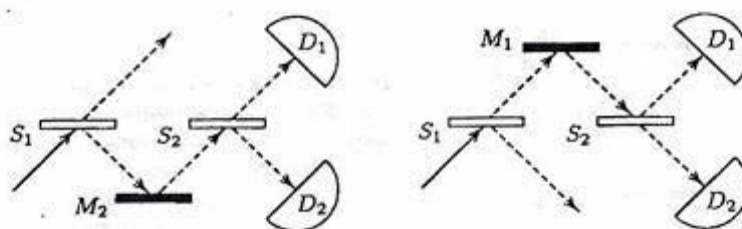


Рис. 2. Два варианта расположения расщепителей нейтронного пучка и нейтронного зеркала

Базируясь на результатах эксперимента, представленного на рис. 1, естественно допустить, что существует лишь один мир: нейтрон, проходящий через расщепитель пучка, либо отклоняется на некоторый данный угол, либо продолжает двигаться, не отклоняясь. Нейтрон имеет единственную траекторию. Наша уверенность в том, что существует единственная траектория, которая верно описывает эксперимент, укрепляется рассмотрением результатов экспериментов с зеркалом и двумя расщепителями в конфигурациях, показанных на рис. 2. Предсказание результатов этих экспериментов состоит в том, что в половине попыток нейтрон не регистрируется ни одним из детекторов (в случае, если он движется по траектории без зеркала), а в другой половине попыток он регистрируется случайным образом либо детектором D_1 , либо детектором D_2 . И экспериментальные результаты оказываются действительно такими, как они и предсказываются. Однако когда мы объединяем эти две системы, обнаруживается, что то, что являлось верным для каждой из систем по отдельности, больше не является верным: нейтроны не фиксируются случайным образом детекторами D_1 и D_2 . Эта комбинация из двух расщепителей и двух зеркал называется *нейтронным интерферометром*. Я обсужу его в следующем параграфе.

3. Нейтронный интерферометр

Нейтронный интерферометр — это экспериментальный прибор, который можно увидеть во многих научных лабораториях (подробный обзор см. [3]). Используя допущения предыдущего параграфа, оказывается невозможным объяснить результаты эксперимента по интерференции нейтрона. Как мы увидим, эти результаты вместе с допущением, что для нейтрона существует лишь один мир, вынуждают нейтрон испытывать «раздвоение сознания».

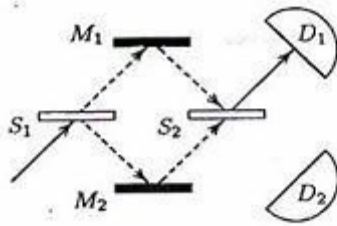


Рис. 3. Нейтронный интерферометр. Если интерферометр соответственно отлажен, две волны, идущие к D_2 , одна от зеркала M_1 , другая от M_2 , интерферируют деструктивно, и D_2 никогда не щелкнет

На рис. 3 дана схема экспериментального устройства для получения интерференции нейтронов. Оно состоит из источника нейтронов, расщепителя S_1 , двух зеркал M_1 и M_2 , другого расщепителя S_2 и двух детекторов D_1 и D_2 . Основываясь на нашем понимании процесса прохождения нейтрона через расщепитель, согласно которому нейтрон либо отклоняется на данный угол, либо проходит, не отклоняясь, по прямой, мы заключаем, что нейтрон идет по одной из четырех траекторий: $S_1 M_1 S_2 D_1$, $S_1 M_1 S_2 D_2$, $S_1 M_2 S_2 D_1$, $S_1 M_2 S_2 D_2$. Следовательно, нейтрон должен регистрироваться случайным образом либо первым, либо вторым детектором. Но результаты эксперимента (с соответственно отлаженным интерферометром) не подтверждают наших ожиданий: все нейтроны фиксируются только детектором D_1 .

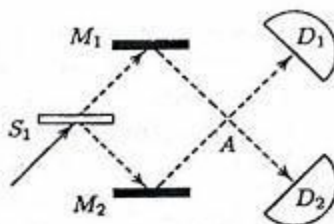
Мы не можем объяснить этот экспериментальный результат, основываясь на предположении о единственности траектории нейтрона. Мы вынуждены допустить, что в некотором смысле одиночный нейтрон проходит по двум траекториям: $S_1 M_1 S_2$ и $S_1 M_2 S_2$. Если бы нейтрон мог чувствовать, он бы ощущал себя находящимся сразу в двух местах и движущимся одновременно по двум различным направлениям. Следовательно, внутри интерферометра нейтрон должен «испытывать» «раздвоение сознания»^{*}.

4. Два нейтронных мира

Чтобы избежать представлений о нейтронах, испытывающих «раздвоение сознания», я делаю предположение, что в течение того времени, пока нейтрон находится внутри интерферометра, мир экспериментатора включает в себя два мира

^{*} Выражение «раздвоение сознания» («schizophrenic experiences» в оригинале. — Прим. перев.) не описывает точно ощущения нейтрона, но лучшего я не смог найти. Эти языковые трудности не удивительны, если учесть, что до открытия квантовой механики не было повода обсуждать такие ситуации.

Рис. 4. Нейтронный интерферометр без второго расщепителя пучка. Каждый из детекторов щелкает в 50% случаев. В окрестности A не наблюдается никакого рассеивания



нейтрона. В каждом из этих миров нейтрон имеет вполне определенную траекторию: $S_1M_1S_2$ для одного мира и $S_1M_2S_2$ — для другого. В каждом из миров существует причинная цепочка событий. Например, в одном из миров нейтрон проходит через расщепитель S_1 не отклоняясь, отражается зеркалом M_1 к расщепителю S_2 , отклоняется расщепителем по направлению к детектору D_1 и обнаруживается этим детектором. В каждом из миров существуют недвусмысленные ответы на вопросы: где в настоящий момент находится нейтрон? Каково направление его движения? От какого зеркала он отражается? Заметьте, что мое предположение о существовании двух миров нейтрона полезно и в том случае, если нейтроны не могут «сознавать». Это допущение позволяет мне ответить на перечисленные выше вопросы, которые, согласно стандартной интерпретации квантовой механики, являются незаконными.

Нейтрон в одном нейтронном мире не знает (если, конечно он не изучал квантовую теорию и не верит в многомировую интерпретацию этой теории) о существовании своего двойника в другом мире. Равно как и мы, в своем большинстве, не думаем, что вдобавок к тому миру, в котором мы существуем, в пространстве-времени существуют другие миры. Однако экспериментатор по отношению к нейтрону находится в положении Бога. Он может провести эксперимент, с помощью которого можно проверить, «знает» ли нейтрон одного мира о существовании нейтрона другого мира. С этой целью он модифицирует эксперимент, удалив расщепитель пучка нейтронов S_2 (рис. 4). Один нейтронный мир соответствует траектории $S_1M_1D_2$, другой — траектории $S_1M_2D_1$. Мы знаем, что эти два нейтрона встречаются в точке A , там, где раньше находился расщепитель S_2 . Они находятся в одном и том же месте, в одно и то же время, двигаясь при этом в разных направлениях. При нормальных условиях (когда существует лишь один мир) два нейтрона, столкнувшись, рассеялись бы, но в эксперименте, изображенном на рис. 4, никакого рассеяния не происходит: на интенсив-

ность регистрации нейтронов детекторами D_1 (D_2) не окажет никакого влияния то, что мы устраним нейтрон-двойник, поместив поглощающий экран перед зеркалом M_1 (M_2).

Давайте вновь обсудим эксперимент по интерференции нейтронов (см. рис. 3). Гипотеза о многих (в данном случае двух) мирах решает проблему «раздвоения сознания» нейтрона внутри интерферометра, но кажется, что мы остаемся с проблемой раздвоения *памяти* нейтрона. Эти два мира вновь становятся одним миром в расщепителе S_2 . Что «помнит» нейтрон после того, как он покинет S_2 ? Помнит ли он, с каким зеркалом он столкнулся? Как мы увидим в следующем параграфе, квантовая теория говорит нам, что нейтрон не может «помнить», по какой из траекторий он двигался (в каком мире он «жил»). Таким образом, квантовая механика действительно объясняет, почему нейтрон регистрируется детектором D_1 , но только в том случае, если нейтрон не имеет внутреннего параметра, который «помнит» (после того, как нейтрон покинул интерферометр), какую из траекторий нейтрон предпочел. Память нейтрона не исчезает полностью: нейтрон может «помнить» свою траекторию, пока он находится в интерферометре, но эта память стирается, когда нейтрон покидает второй расщепитель. В самом деле, существует физическая реализация эксперимента, в котором нейтрон «помнит», пока он находится в интерферометре, по какой траектории он движется. Одним из устройств, которое может служить в качестве расщепителя пучка, является специально сконструированный магнит (аппарат эксперимента Штерна–Герлаха). В этом случае траектория нейтрона коррелируется со значением внутренней переменной, именуемой спином, которая напоминает ему о том, по какой траектории он движется, находясь в интерферометре. Однако второй магнит, который заменяет второй расщепитель, стирает эту корреляцию и эту память, как только нейтрон покидает интерферометр (он должен уничтожить эту корреляцию для того, чтобы произошла интерференция). Нейтрон не может «знать» об объектах других миров, он не может «помнить», что он «жил» в двух мирах. Так есть ли какие-либо основания у нейтрона «верить» в существование других миров? Да, есть, те же основания, что и у нас: гипотеза о существовании других миров объясняет, почему после прохождения через интерферометр, нейтрон всегда заканчивает свой путь в детекторе D_1 . В следующем параграфе мы увидим, как многомировая интерпретация квантовой механики объясняет этот экспериментальный факт.

5. Квантовомеханическое объяснение

В стандартной квантовой механике частицы не имеют и не могут иметь траекторий. Частица описывается квантовым состоянием, изменяющимся во времени. Для нейтрона квантовое состояние представлено спиновой компонентой и пространственной волновой функцией. Согласно стандартной интерпретации, квадрат амплитуды волновой функции в данной точке дает вероятность для каждой единицы объема обнаружить там частицу. Часто волновая функция распространяется на значительную область в пространстве, и тогда невозможно ответить на вопрос, где находится частица. Тем не менее физики все же рассматривают траектории частиц. Когда они говорят, что тот или иной нейтрон имеет данную траекторию, они подразумевают, что пространственная волновая функция нейтрона представляет собой локализованный волновой пакет (ЛВП), центр которого движется по этой траектории. Внутри интерферометра волновая функция нейтрона не является ЛВП, и, следовательно, нейтрон не имеет траектории. Однако когда нейтрон покидает расщепитель S_2 , его волновая функция опять становится центром волнового пакета, который движется к детектору D_1 . Это и есть квантовомеханическое объяснение того, почему нейтрон никогда не регистрируется детектором D_2 .

Разрешите теперь продемонстрировать этот эффект квантовой интерференции, используя некоторые формулы. Обозначим через $|up\rangle$ и $|down\rangle$ состояния нейтрона, движущегося соответственно под углом 45° вверх и 45° вниз (см. рис. 1–4). После прохождения расщепителя, состояние нейтрона изменяется следующим образом:

$$\begin{aligned} |up\rangle &\rightarrow 1/\sqrt{2}(|up\rangle + |down\rangle); \\ |down\rangle &\rightarrow 1/\sqrt{2}(|up\rangle - |down\rangle). \end{aligned} \quad (1)$$

Действие зеркала M_1 можно представить как

$$|up\rangle \rightarrow |down\rangle, \quad (2)$$

а действие зеркала M_2 как

$$|down\rangle \rightarrow |up\rangle. \quad (3)$$

Зная действие компонент (1)–(3) и используя линейность квантовой механики, мы можем найти состояние нейтрона, по-

кидающего интерферометр:

$$\begin{aligned} |up\rangle &\rightarrow 1/\sqrt{2}(|up\rangle + |down\rangle) \rightarrow 1/\sqrt{2}(|down\rangle + |up\rangle) \\ &\rightarrow 1/2(|up\rangle - |down\rangle) + 1/2(|up\rangle + |down\rangle) = |up\rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

ЛВП нейтрона после того, как он покинул расщепитель S_2 , движется вверх и регистрируется детектором D_1 . Это объяснение настолько просто, что принимается всеми, несмотря на то что оно включает в себя промежуточное состояние нейтрона, движущегося одновременно и вверх, и вниз.

Мы можем также понять, почему эксперимент по интерференции нейтрона не может быть объяснен, если нейтрон «вспоминает», по какой траектории он движется. Если у него есть параметр памяти M_1 , регистрирующий, от какого зеркала он отразился, тогда две волны, достигающие детектор D_2 , являются различными и, следовательно, не интерферируют. Соответствующие компоненты квантового состояния нейтрона $-1/2|down, M_1\rangle$ и $+1/2|down, M_2\rangle$ не гасятся как компоненты квантового состояния $-1/2|down\rangle$ и $+1/2|down\rangle$ в уравнении (4).

Нейтрон внутри интерферометра описывается волновой функцией, являющейся суперпозицией двух волновых пакетов, различающихся направлением движения и местонахождением:

$$|\psi\rangle_{neutron} = 1/\sqrt{2}|up\rangle + 1/\sqrt{2}|down\rangle. \quad (5)$$

В стандартной интерпретации квантовой механики «сознающий» нейтрон будет неизменно испытывать «раздвоение сознания». Мое же предположение состоит в том, что в течение того времени, когда волновая функция нейтрона находится внутри интерферометра, *существуют два нейтронных мира*: один из них соответствует волновому пакету $|up\rangle$, а другой — волновому пакету $|down\rangle$. В каждом из этих миров имеется нейтрон со своей собственной траекторией. Мы можем наблюдать часть волновой функции нейтрона как «целый» нейтрон (в данном мире), потому что физические характеристики этого «частичного» нейтрона, такие, как масса, спин и т.д., являются точно такими же, как характеристики целого нейтрона. Траектория каждого волнового пакета (внутри интерферометра, где нет никаких расщеплений) является такой же, каковой бы была у целой волновой функции. Так что нейтрон в каждом из миров не может «знать» из непосредственного опыта, что он в некотором смысле является лишь «половинкой» целого нейтрона. В самом деле, любые физические измерения, произведе-

денные «половиной» нейтрона, движущейся в одном из плеч интерферометра, будут давать точно такие же результаты, как те же измерения, произведенные «целым» нейтроном, движущимся в том же плече.

6. Предпочтительный базис нейтронных миров

В предыдущем параграфе квантовое состояние нейтрона (5) было разложено на сумму двух ортогональных состояний, соответствующих двум различным нейтронным мирам. В формализме квантовой механики имеется много способов разложить это состояние на сумму двух ортогональных состояний. Почему тогда был выбран именно этот путь? Почему, например, не взять следующее альтернативное разложение этого состояния:

$$|\psi\rangle_{neutron} = 1/\sqrt{8}((1+i)|up\rangle + (1-i)|down\rangle) + 1/\sqrt{8}((1-i)|up\rangle + (1+i)|down\rangle). \quad (6)$$

Причина состоит в том, что два компонента в уравнении (6) не соответствуют «нейтронным» мирам. Возьмем, например, компонент $1/\sqrt{8}((1+i)|up\rangle + (1-i)|down\rangle)$. Он представляет собой суперпозицию двух волновых пакетов, разделенных макроскопическим расстоянием. Таким образом, в мире, соответствующем этому компоненту, нейтрон должен испытывать «раздвоение сознания», ощущая себя в двух местах одновременно. Я сделал допущение, что нейтрон подобен нам, т.е. сознающий нейтрон не обладает «раздвоением сознания», и это допущение исключает разложение на миры, соответствующее (6). Разложение (5) является, по существу, единственным, в котором нейтрон является волновым пакетом в течение всего периода времени и, таким образом, не страдает «раздвоением сознания» ни в какой момент времени. Однако каждую из величин в уравнении (5) можно разложить на более мелкие волновые пакеты, и если возможно различение между траекториями этих волновых пакетов, то разложение должно быть сделано на более чем два нейтронных мира.

7. Постулат коллапса и почему мы не нуждаемся в нем

Все, что я сделал до сих пор, может быть названо многомировой (в данном случае двухмировой) *интерпретацией*

эксперимента по интерференции нейтронов. Я ввел необычный язык, но что касается уравнений и результатов эксперимента, то я не вышел за рамки стандартного подхода. Тем не менее многомировая интерпретация квантовой теории (ММИ), несмотря на свое название, является не просто интерпретацией, она является другой *теорией*. Стандартный подход к квантовой механике включает в себя все аксиомы многомировой интерпретации и вводит еще один постулат: это *постулат о коллапсе* квантового состояния в процессе измерения. Существование коллапса волновой функции имеет физические следствия, которые, в принципе, могут быть проверены экспериментально, хотя технологии, которыми мы обладаем в настоящее время, очень далеки от того, чтобы позволить осуществить решающий эксперимент.

Коллапс происходит, когда осуществляется измерение. Никакого коллапса состояния нейтрона, пока он находится внутри интерферометра, нет, так что пока мои рассуждения совпадают со стандартным подходом. Чтобы продемонстрировать различие между ММИ и стандартным подходом, давайте рассмотрим, как нейтрон проходит через расщепитель пучка и затем регистрируется детекторами D_1 и D_2 (см. рис. 1). Для нейтрона, проходящего через расщепитель, описанный в уравнении (1), существуют равные вероятности того, чтобы находиться в состояниях $|up\rangle$ и $|down\rangle$. Другие расщепители не обеспечивают равных вероятностей для этих двух возможных результатов. Общая форма действия расщепителя может быть представлена в таком виде:

$$|up\rangle \rightarrow \alpha|up\rangle + \beta|down\rangle. \quad (7)$$

Тогда, согласно ММИ, описание всего процесса может быть записано так:

$$\begin{aligned} |up\rangle |r\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} &\rightarrow (\alpha|up\rangle + \beta|down\rangle) |r\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} \\ &\rightarrow \alpha|in D_1\rangle |in\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} + \beta|in D_2\rangle |r\rangle_{D_1} |in\rangle_{D_2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $|r\rangle_{D_1}$ означает состояние детектора D_1 , готового регистрировать нейтрон; $|in D_1\rangle$ означает состояние нейтрона, когда он регистрируется детектором D_1 ; $|in\rangle_{D_1}$ означает состояние детектора D_1 , когда «нейтрон в детекторе D_1 », и т.д. Благодаря коллапсовому постулату конечное состояние (8) немедленно преобразуется (с соответствующей вероятностью) в состояние с

некоторым определенным результатом эксперимента:

$$\begin{aligned} & \alpha |inD_1\rangle |in\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} + \beta |inD_2\rangle |r\rangle_{D_1} |in\rangle_{D_2} \rightarrow \\ & \rightarrow |inD_1\rangle |in\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} \quad (\text{вероятность } |\alpha|^2) \text{ или} \quad (9) \\ & \rightarrow |inD_2\rangle |r\rangle_{D_1} |in\rangle_{D_2} \quad (\text{вероятность } |\beta|^2). \end{aligned}$$

Мотивация для такого шага очевидна. Правая часть (8) обозначает, что в конце измерения детектор D_1 регистрирует «in», и детектор D_2 — регистрирует «in» (и, также, оба детектора показывают «r»). Однако эксперимент всегда показывает, что только один детектор регистрирует «in».

Может показаться, что для объяснения этого экспериментального результата необходим коллапсовый постулат. Однако это не так. Квантовая механика без коллапсового постулата также объясняет результат этого эксперимента. Действительно, разрешите мне рассмотреть и экспериментатора как квантовую систему. Квантовая механика описывает процесс наблюдения (когда состояние нейтрона и детектора описывается уравнением (8)) таким образом:

$$\begin{aligned} & (\alpha |inD_1\rangle |in\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} + \beta |inD_2\rangle |r\rangle_{D_1} |in\rangle_{D_2}) |r\rangle_E \rightarrow \\ & \rightarrow \alpha |inD_1\rangle |in\rangle_{D_1} |r\rangle_{D_2} |seeD_1\langle in\rangle, D_2\langle r\rangle\rangle_E + \quad (10) \\ & \beta |inD_2\rangle |r\rangle_{D_1} |in\rangle_{D_2} |seeD_1\langle r\rangle, D_2\langle in\rangle\rangle_E, \end{aligned}$$

где $|seeD_1\langle in\rangle, D_2\langle r\rangle\rangle_E$ означает состояние экспериментатора, видящего регистрацию детектором D_1 и готовность детектора D_2 , и т.д. В квантовой механике без коллапса не существует экспериментатора, наблюдающего регистрацию нейтрона обоими детекторами. Вместо этого имеются два экспериментатора: один видит, что нейтрон регистрируется детектором D_1 и не регистрируется D_2 , другой — что нейтрон регистрируется детектором D_2 и не регистрируется D_1 . Почему мы никогда не испытываем затруднений, получая такую противоречивую информацию? Потому что мы, в свою очередь, получая эту информацию, также расщепляемся. Так же, как и любой другой экспериментатор, который наблюдает за детекторами. После эксперимента существует два мира: в одном из них все согласны с тем, что нейтрон находится в детекторе D_1 , и другой, в котором все считают, что нейтрон находится в детекторе D_2 .

В параграфе (9) я введу понятие «меры существования мира» и покажу, что мера существования мира с нейтроном в детекторе D_1 является, вообще говоря, отличной от меры суще-

ствования мира с нейтроном в D_2 , т.е. в каком-то смысле имеется «больше» одного мира, чем другого. Я совсем не хочу сказать при этом, что один из миров более реален, чем другой. Нет никаких оснований считать, что мера существования того мира, в котором вы читаете сейчас данную статью, является максимальной по сравнению с другими мирами. Однако этот мир является настолько реальным, насколько он может быть таковым.

8. Понятие вероятности в рамках ММИ

Позвольте мне вернуться к мысленному эксперименту с «сознающим» нейтроном. Я буду обсуждать «ощущения» нейтрона, когда он проходит через расщепитель. Это тот процесс, в котором один нейтронный мир превращается в два мира. Нейтрону «кажется», что он реализует одну из двух возможностей: он или рассеивается или нет. Если допустить, что нейтрон «не знает» ММИ, то у него нет оснований считать, что реализуется и другая возможность. Нейтрон, который проходит через многие расщепители пучков нейтронов, «развивает» понятие *вероятности*. Для сознающего нейтрона ситуация будет такой же, как и для экспериментатора, который наблюдает результаты эксперимента, представленные на рис. 1. Нейтрон «обнаруживает» себя в детекторе D_1 или детекторе D_2 , также и экспериментатор обнаруживает, что срабатывает, соответственно, или детектор D_1 или D_2 . Таким образом, мы можем отождествить понятие вероятности у экспериментатора с понятием вероятности нейтрона. Нейтрон, проходящий через расщепитель пучка, описанный выше в уравнении (7), имеет вероятность $|\alpha|^2$ оказаться в D_1 и вероятность $|\beta|^2$ быть обнаруженным в D_2 (см. уравнение 9).

Значительно труднее определить понятие вероятности для тех экспериментаторов и тех нейтронов, которые знают ММИ. Они знают, что «убеждение» нейтрона (возможно, более корректно было бы сказать «убеждения обоих нейтронов») в том, что существует только один мир, является иллюзией. Существуют два параллельных мира: один с нейтроном в состоянии $|up\rangle$ и другой — в состоянии $|down\rangle$. Так что, выражение «вероятность для нейтрона быть обнаруженным в D_1 » оказывается бессмысленным. В самом деле, неясно, что означает слово «нейтрон» в этом выражении, и кажется, что, какой бы из

нейтронов мы ни рассматривали, мы не можем получить для вероятности значение $|\alpha|^2$. Для нейтрона, проходящего через расщепитель пучка, вероятность оказаться в D_1 , а не в D_2 бессмысленна, поскольку этот нейтрон превращается в два нейтрона. Новые нейтроны непосредственно связаны со старым нейтроном: нейтрон, регистрируемый D_1 , и нейтрон, регистрируемый D_2 , *оба* вошли в расщепитель. Новые нейтроны не имеют проблем с идентификацией; например, нейтрон в D_1 имеет непосредственный опыт бытия в D_1 , и он не находится в D_2 в противоположность второму нейтрону. Однако вероятность для этого нейтрона быть в D_1 равна 1. Подобно этому, нейтрон в D_2 имеет вероятность быть в D_1 , равную 0, и ни один из них не имеет вероятности быть в D_1 равной $|\alpha|^2$.

Я полагаю, что решение этой загадки в том, что, хотя мы не можем дать значение этой вероятности, *нейтрон* — может. Я объясню это решение посредством интуитивного мысленного эксперимента, а затем дам формальное определение. Для того чтобы увидеть, как нейтрон может приписать квантовую вероятность в данном случае, предположим, что нейтрон до входа в расщепитель принимает снотворное и спит, пока не достигнет детектора. Если нейтрон проснется внутри детектора, то до того, как он откроет глаза, он (нейтрон является экспертом в квантовой механике) может сказать: «Вероятность того, что я нахожусь в детекторе D_1 , равна $|\alpha|^2$ ».

Это вероятность «неосведомленности». Мы, подобно любой внешней системе, не можем быть неосведомленными относительно местоположения нейтрона, поскольку мы идентифицируем его, основываясь на его местоположении, в то время как «сознающий» нейтрон не нуждается в подобной информации, чтобы идентифицировать себя*. Второй новый нейтрон, тот, который находится в детекторе D_2 , перед тем как открыть глаза, думает так же: «Вероятность того, что я нахожусь в D_1 , равна $|\alpha|^2$ ». Оба «потомка» нейтрона, проходящего через расщепитель пучка, имеют одно и то же представление о вероятности. Это позволяет нам ассоциировать вероятность того, что нейтрон, проходящий через расщепитель пучка, окажется в детекторе D_1 , с вероятностью его потомков оказаться там.

* Альберт [4] указал на другую интересную «привилегию» наблюдателя по сравнению с внешними системами: только он может знать некоторые факты о себе.

Мысленный эксперимент со снотворным объясняет, как понятие вероятности может быть введено в многомировую интерпретацию. Мы можем применить эту идею к любому квантовому эксперименту с несколькими возможными результатами. Экспериментатор может ассоциировать вероятность для различных результатов как вероятность неосведомленности каждого из потомков в мирах с определенными результатами этого эксперимента. И снотворное едва ли необходимо, поскольку в типичном эксперименте суперпозиция макроскопически различных состояний появляется до того, как наблюдатель (наблюдатели) оказывается осведомленным о результате эксперимента.

9. Мера существования мира

Сторонник ММИ может определить меру существования того или иного мира, которая обеспечивает субъективное понятие вероятности. Мера существования мира представляет собой квадрат величины коэффициента этого мира при разложении состояния Вселенной на сумму ортогональных состояний (миров). *Постулат вероятности* ММИ состоит в следующем: если мир с мерой существования μ распадается на отдельные миры, то вероятность (в вышеприведенном смысле) для сознающего существа обнаружить себя в мире i , с мерой существования μ_i равна μ_i/μ . Локвуд [5, р. 230–232] дает наглядное объяснение этого правила. Рассмотрим, например, некоторый мир с мерой существования μ , в котором нейтрон входит в расщепитель, показанный на рис. 1. Предположим, что операция, осуществляемая этим расщепителем, описывается уравнением (7). Тогда мера существования мира, в котором нейтрон достигает детектора D_1 , равна $\mu|\alpha|^2$, и, следовательно, вероятность для нейтрона обнаружить себя в D_1 равна $\mu|\alpha|^2$.

В течение периода времени, когда нейтрон ведет себя как единый волновой пакет, его мера существования не имеет физического проявления. Все физические параметры, такие, как масса, спин, магнитный момент и т.д., являются независимыми от меры существования. Нейтрон, имеющий очень малую меру существования, ведет себя так же, как и нейтрон, у которого эта мера равна 1. Мера существования проявляет себя только в процессах, в которых имеет место расщепление миров (в стандартной интерпретации квантовой механики это соответствует ситуации, когда происходит коллапс волновой функции). Относительные меры существования миров, на которые расщепляется мир, определяют вероятности соответствующих результатов.

По моему мнению, уже приведенный выше аргумент, который объясняет, каким образом понятие меры существования *будущих* миров дает концепцию вероятности, достаточен, чтобы оправдать введение понятия «меры существования». Однако даже мера существования уже *существующих* миров имеет физический смысл. Каковы «преимущества» бытия в мире с большой мерой существования? Пока нейтрон (т.е. ЛВП) не расщепляется, другие миры не могут оказывать никакого влияния. Когда он расщепляется на два нейтрона, другие миры обычно также не оказывают влияния, но их влияние возможно! Рассмотрим нейтрон, движущийся в верхнем плече интерферометра (рис. 3), и допустим, что его мера существования равна $1/2$. Не будучи осведомленным о существовании своего «двойника» в нижнем плече интерферометра, он предсказывает равные вероятности для достижения им детекторов D_1 и D_2 . Но нейтронный Бог, т.е. экспериментатор, использует мир второго нейтрона и совершенно *меняет* значения вероятностей. Он организует деструктивную интерференцию нейтронных волн, идущих к детектору D_2 (см. рис. 3). Если, однако, нейтрон в верхнем плече имеет меру существования $\mu \approx 1$ (т.е. если расщепитель S_1 будет заменен расщепителем, который пропускает большую часть волны), тогда никто, даже Бог, не может значительно изменить квантовую вероятность, потому что амплитуда волны, соответствующая другому миру, слишком мала. Говоря более общо, можно сказать, что, если мера существования меньше или равна $1/2$, Бог может изменить вероятность будущего расщепления полностью; если она больше, чем $1/2$, то только частично; если же она равна 1, то Бог вообще не может изменить эту вероятность. Конечно, даже для нейтронов экспериментатор должен сильно потрудиться, чтобы изменить такие вероятности. Такой эксперимент, вовлекающий человеческое существо (подобный эксперимент будет обсужден в следующем параграфе), будет астрономически трудным. У нас нет никаких указаний на то, что какой бы то ни было Бог (или сверхинтеллект с другой планеты) играет с нами в такие игры.

10. Многомировая интерпретация как универсальная теория

Согласно ММИ, Вселенная, т.е. все, что существует, характеризуется единственным квантовым состоянием (Состоянием с большой буквы). Эволюция во времени этого Состо-

яния является всецело детерминистической (описываемой уравнением Шредингера). Вселенная является этим Состоянием. Мир, как мы обычно понимаем его посредством нашего опыта, соответствует лишь крошечной части этого Состояния, а мы соответствуем некоторому фрагменту этой части. То, что специфицирует и определяет нас, это конфигурация, форма фрагмента состояния, соответствующего нашему миру.

Состояние $|\psi\rangle$ может быть разложено на суперпозицию ортогональных состояний $|\psi_i\rangle$ соответствующих различным мирам:

$$|\psi\rangle = \sum \alpha_i |\psi_i\rangle. \quad (11)$$

Разложение Вселенной (11) определяется требованием, согласно которому индивидуальные компоненты $|\psi_i\rangle$ соответствуют мирам, как их понимают сознательные существа. Сознание субъектов, которые пытаются описать эту Вселенную, определяет это разложение. Хотелось бы подчеркнуть, что выбор разложения не имеет никакого влияния на эволюцию Вселенной во времени. Понятие мира в ММИ — это не часть математической теории, а субъективное понятие, связанное с восприятием наблюдателя (например, ощущающего нейтрона), так что это соответствует для человеческих существ нашему обычному понятию мира. В этом контексте можно истолковать спекулятивное предположение Вигнера [6] о том, что причиной коллапса является сознание наблюдателя. Слова Вигнера, таким образом, следует понимать не в буквальном смысле, будто сознание воздействует на физический процесс, а в том смысле, что сознанием наблюдателя определяется разложение Вселенной на различные миры. Таким образом, мир экспериментатора включает в себя два нейтронных мира. Я буду анализировать такое разложение Вселенной по наблюдателю в параграфе 13.

Коэффициенты уравнения (11) дают меры существования различных миров. Мера существования мира $|\psi_i\rangle$ равна $|\alpha_i|^2$. Хотя мы и не ощущаем эту меру непосредственно, я могу, как это было сделано выше, указать на два проявления ее существования. Первое проявление — для будущих миров. Каждый раз, когда мир расщепляется, для приверженца ММИ важно знать относительную меру существования расщепленных миров. Будучи спрошенным, он будет держать пари согласно этим числам. В частности, для эксперимента, представленного на рис. 1, на котором нейтрон проходит через 10–90%-й расщепитель, он будет держать пари 1 против 9, что нейтрон достиг-

нет соответствующего детектора. Он понимает, что у него есть иллюзия соответствующих вероятностей, так как во Вселенной нет никаких случайных процессов. Фактически это поведение приверженца ММИ будет идентичным нормальному поведению сторонника существования коллапса, следующему вероятностным правилам Борна.

Второе проявление, которое может быть увидено только посредством мысленного эксперимента, — для мер существования настоящих миров. Я покажу, что в некоторой ситуации мы можем вести себя различно — только из-за различных значений меры существования соответствующих миров. Давайте предположим, что завтра на Землю высадится некий «супермен». Предположим, что он значительно больше нас продвинут в технологии и что он демонстрирует нам, что может осуществить интерференционные эксперименты с макроскопическими телами. Он воскрешает шредингеровских котов, «аннулирует» измерения, подобные тем, которые будут описаны ниже в параграфе 11 (показывая, что не существует никакого коллапса и что ММИ верна), и т.д. Он также убеждает нас, что мы можем положить на его слово. Затем он предлагает мне пари, скажем, 1:1, что нейтрон, который проходит через 10-90%-й расщепитель, как он описан выше, заканчивает свой путь в детекторе D_1 (что соответствует 10% вероятности, вычисленной наивно). Он обещает не трогать *этот* нейтрон, т.е. нейтрон, идущий под углом 45° вверх. Теперь, чтобы решить, принять или отвергнуть пари, мне важно знать меру моего настоящего существования. Я вспоминаю, что после приземления супермена я провел некий квантовый эксперимент и получил очень маловероятный результат. Это означает, что мера существования моего мира очень мала по отношению к мере существования другого мира, в котором имеется другой Лев Вайдман, к которому супермен со своей сверттехнологией также имеет доступ. Так что супермен, в принципе, может изменить состояние моего двойника в этом другом мире (включая память этого двойника), сделав его идентичным моему миру, и послать в этом другом мире нейтрон под углом 45° сверху, обеспечив посредством интерференции этих двух миров нулевую вероятность для обнаружения нейтрона детектором D_2 (которая без вмешательства супермена равнялась бы 90%). Так что в этом случае я не должен заключать пари. Если, однако, я знаю, что моя мера существования больше, чем мера существования моего двойника, с которым мог манипулировать супермен, я могу заключать с ним пари, поскольку

супермен, несмотря на свою неограниченную технологическую мощь, не может значительно изменить вероятности результатов измерения (мер существования соответствующих миров).

11. Проверка ММИ

Широко распространенное ошибочное мнение относительно ММИ состоит в том, что ее предсказания абсолютно идентичны предсказаниям стандартного подхода (см., например, [7]). Разрешите мне представить здесь описание эксперимента, который позволяет различить между ММИ и стандартным (коллапсовым) подходом (см. также [8; 5, p. 223]). Процесс измерения в эксперименте, проиллюстрированный на рис. 1, включая наблюдения его результатов экспериментатором, может быть описан (если ММИ является правильной теорией) уравнением Шредингера с некоторым определенным гамильтонианом. Некий «супермен» может построить прибор с «обращенным во времени» гамильтонианом, который мог бы актуализировать сделанное измерение. «Обращенный в t времени» гамильтониан сотрет память экспериментатора, вернет детекторы к «готовому» состоянию, а нейтрон — к своему первоначальному месту, т.е. к источнику нейтронов. На этой стадии мы замещаем источник нейтронов детектором. Если коллапса не происходит, детектор должен регистрировать нейтрон с вероятностью 1. Нейтрон в своем «обратном» движении прибывает на расщепитель по двум направлениям и, как и в эксперименте с интерференцией нейтрона (рис. 3), продолжает двигаться по единственному пути по направлению к детектору. Если, однако, на некоторой стадии эксперимента происходит коллапс, тогда нейтрон в своем «обратном» движении приходит на расщепитель только по одному направлению. Следовательно, он выходит из расщепителя в двух направлениях (см. уравнение (1)). В этом случае вероятность детектирования нейтрона равна $1/2$. Таким образом, ММИ может считаться подтвержденной, если нейтрон всегда регистрируется детектором, и она может считаться опровергнутой, если нейтрон регистрируется только в половине попыток.

Поскольку общепризнано, что коллапс происходит, когда нейтрон регистрируется макроскопическим детектором, эксперимент, не включающий человеческого наблюдателя, также является вполне разумной проверкой ММИ. По мере развития технологии мы сможем приближаться все ближе и ближе к решающему эксперименту.

12. Как много миров?

Хели [9] и многие другие стали оппонентами ММИ, будучи поставленными в тупик вопросом о том, как много миров существует. Число миров огромно, и неясно, как можно его точно определить. Но я не вижу здесь особой проблемы, поскольку число миров не является физическим параметром в теории. Физическая теория — это теория о Вселенной — единственной Вселенной. Мир — это субъективное понятия наблюдателя, соответствующее «разумной» картине. Мир может быть охарактеризован значениями ряда переменных. Если Состояние Вселенной известно, можно высчитать ожидаемую величину проекции оператора, соответствующего этим значениям переменных. Она равна мере существования этого мира. Если эта мера равна нулю — данный мир не существует. Я не знаю Состояния Вселенной. Следовательно, я не знаю, существует ли мир, описанный определенным образом. Я знаю, что мир, в котором я пишу эту статью, существует. Если я знаю о квантовых экспериментах, с различными возможными выходами, которые были осуществлены в прошлом, то я также знаю, что существуют другие миры. И миры продолжают множиться. Совершая квантовые эксперименты с неизвестными априори результатами, я уверен, что я увеличиваю количество миров. (Я оставляю в стороне невероятную ситуацию, в которой миры рекомбинируются.) Я склонен верить, что даже без специальных проектов проведения экспериментов квантового типа существует множество процессов, в которых миры расщепляются. Этот вопрос может быть разрешен путем тщательного анализа стандартного подхода. Каждый раз, когда мы встречаемся с ситуацией, когда согласно стандартному подходу имеет место коллапс, согласно ММИ имеет место расщепление миров. И связанная со стадией коллапса неоднозначность соответствует субъективной природе понятия мира. В то время как эта двусмысленность является серьезной концептуальной трудностью коллапсовой теории, для ММИ она не является серьезной проблемой. Коллапс как физический процесс не должен быть определен неясно и неопределенно, в то время как неопределенность понятия сознающего существа является скорее преимуществом, нежели проблемой.

В 1996 году Лесли [10] анализировал еще одну трудность, касающуюся подсчета миров. Он приложил «аргумент судного дня» Картера [11] к наивной версии ММИ и указал, что «все, кроме исчезающе малой пропорции возможных миров любого

наблюдателя, должны прийти к существованию в момент, предшествующий его смерти, и это перевесит все наблюдения, свидетельствующие о том, что смерть не приходит ко всем сейчас». Выход из этого парадокса состоит в приписывании больших вероятностей мирам, соответствующим большим квантовым амплитудам. Лесли полагает, что тот факт, что все эвереттовские миры являются «равно реальными», запрещает этот путь (но он заметил, что это, возможно, неверно). Мне кажется, что мой анализ «меры существования мира» обеспечивает точное разрешение картеровского парадокса.

13. Локальность предпочтительного базиса

Разрешите мне очертить гипотезу об эволюции наблюдателей, обладающих локальным сознанием, таким, каким обладаем мы. Сознание — это собрание мыслей. Мысли — это репрезентация причинной цепи событий. События описываемы в терминах ощущений наблюдателя. Эти ощущения приобретаются посредством органов чувств в процессах, объясняемых посредством физических взаимодействий. Физические взаимодействия носят локальный характер. Это является доводом, почему причинные цепи, представленные нашими мыслями, состоят из локальных событий. Если применить эту гипотезу к нашему примеру, то нейтрон, «имеющий человеческий образ», может понимать локальные события, такие, как удар о зеркало, но не может понять, как можно существовать в двух местах одновременно. Другими словами, нейтрон может различить между локальными мирами, задаваемыми уравнениями (5), но не может различить между ортогональными нелокальными состояниями, такими, как в уравнении (6). Физика объясняет, почему наблюдатель, который «мыслит» в понятиях нелокальных суперпозиций, не поддерживается эволюцией. Вообразим наблюдателя, который может отличить друг от друга два нелокальных ортогональных состояния некоторой макроскопической системы. Он «думает» в терминах нелокальных суперпозиций и действует различно в соответствии с нелокальными ортогональными состояниями. Например, если состояние нейтрона и детекторов в эксперименте на рис. 1 является

$$1/\sqrt{2}(|inD_1\rangle|in\rangle_{D_1}|r\rangle_{D_2} + |inD_2\rangle|r\rangle_{D_1}|in\rangle_{D_2}), \quad (12a)$$

он делает пометку «+» в своей записной книжке, а если состояние является

$$1/\sqrt{2}(|inD_1\rangle|in\rangle_{D1}|r\rangle_{D2} - |inD_2\rangle|r\rangle_{D1}|in\rangle_{D2}), \quad (12в)$$

он делает запись «-». Однако эти записи не будут полезными, поскольку посредством локальных взаимодействий с окружением система, состоящая из нейтрона и двух детекторов, в обоих случаях вскоре перестанет находиться в некотором чистом квантовом состоянии. Она будет описываться смесью равновероятных состояний (12а) и (12в). Сравним это с наблюдателем, который делает локальное измерение, позволяющее различать между состояниями

$$|inD_1\rangle|in\rangle_{D1}|r\rangle_{D2} \quad (13а)$$

и

$$|inD_2\rangle|r\rangle_{D1}|in\rangle_{D2}. \quad (13в)$$

Запись последнего будет точной, даже после взаимодействия с окружением. Таким образом, сознательное существо, которое мыслит в терминах локальных свойств, имеет эволюционные преимущества благодаря стабильности локальных состояний (таких, как (13а) и (13в)). Я думаю, что разложение Вселенной на воображимые миры (11), в сущности, является единственным. Это разложение, конечно, может несколько различаться в зависимости от более грубого или более точного описания миров, но наличие существенно различных разложений означало бы существование картины всей Вселенной эшеровского типа, в которой одновременно происходит эволюция нескольких множеств параллельных миров.

14. Бог не играет в кости

Утверждение, что «Бог не играет в кости», является, возможно, наиболее знаменитым возражением Эйнштейна против квантовой теории. Квантовая теория с коллапсом вводит новый тип вероятности, которая не представляет собой некую эффективную вероятность, возникающую из-за нашего незнания точных деталей состояния до измерения, но является вероятностью истинно непредсказуемых результатов измерения. Квантовые измерения являются такими, что даже Бог (или бесконечно развитая технология) не может предсказать их результатов. При условии, что Бог не обладает некоторыми

нелокальными свойствами, которые находятся в конфликте с еще более священным эйнштейновским принципом, Бог не может предсказать результаты некоторых квантовых измерений, произведенных на простой системе из двух спин-1/2 частиц.

ММИ решает проблему истинно случайной Вселенной. Бог действительно не играет в кости. Все подчиняется детерминистическим законам — с точки зрения Бога. Все эволюционирует во времени соответственно уравнению Шредингера. В то же время ММИ объясняет, почему для нас существует истинная непредсказуемость некоторых квантовых измерений. Правда, Белинфанте [12] утверждает, что Бог играет в кости даже в рамках ММИ. Он играет в кости, когда приписывает «меня», которого я знаю, к некоторому определенному миру. Однако, по крайней мере в моей версии ММИ, Бог не делает и не может делать этого. Я нахожусь в привилегированной позиции по отношению к внешнему наблюдателю, включая и Бога, в моей способности идентифицировать себя без того, чтобы специфицировать тот мир, в котором я существую. Бог может идентифицировать меня только посредством идентифицирования мира, в котором я нахожусь. Таким образом, Бог не может приписать «меня», которого я знаю, к некоторому данному миру, и Он не может определить объективную вероятность для «меня», которого я знаю, оказаться в этом особом мире. Сравните это с дискуссией эксперимента с нейтроном, произведенного экспериментатором, принимающим спотворное, в параграфе 8.

Понятие вероятности в ММИ очень отличается от нашей обычной вероятности. Раньше мы всегда использовали понятие вероятности, когда должна была реализоваться одна из нескольких возможностей. Но, согласно ММИ, все возможности реализуются во Вселенной. Мне кажется, однако, что мне удалось ввести понятие субъективной вероятности для сознательного существа в каждом отдельном мире, оставив Вселенную как целое всецело детерминистичной. Постулат вероятности — вероятность пропорциональна мере существования мира — объясняет то единственное, что нуждается в объяснении: экспериментальный факт совместимости частот результатов квантовых измерений (осуществляемых в нашем мире) со статистическими предсказаниями стандартной квантовой теории. В самом деле, сумма мер существования всех таких миров в подавляющей степени превышает сумму мер существования миров, в которых частоты квантовых измерений значительно отличаются от тех, которые предсказываются стандартной квантовой теорией.

15. Почему ММИ?

Решающий аргумент в пользу ММИ заключается в том, что в этой теории не существует коллапса, который требует объяснения. Отрицательные моменты, порождаемые понятием коллапса, не должны недооцениваться. Замечание Готфрида [13] о том, что «постулат коллапса (редукции) является уродливым шрамом на том, что было бы красивой теорией, если бы он мог быть удален», отражает мнение многих физиков. Нет указания на то, когда именно коллапс происходит. Если он действительно происходит, представляется невозможным избежать противоречий со специальной теорией относительности. Несмотря на упорные попытки, предпринятые в последние полстолетия, удовлетворительного физического объяснения коллапса не существует.

Для меня важной положительной чертой ММИ является то, что она элиминирует концептуально непредсказуемые явления из фундаментальной теории Вселенной (Бог не играет в кости). Хотелось бы думать, что, по крайней мере в принципе, наука может объяснить все.

Многие физики из тех, кто поддерживают ММИ, делают это, потому что она позволяет им рассматривать квантовое состояние Вселенной, которое является основным понятием квантовой космологии. Стандартный подход требует внешнего наблюдателя для системы в квантовом состоянии, и, таким образом, в его рамках невозможно рассматривать квантовое состояние всей Вселенной.

По-видимому, ММИ может быть расширена до того, чтобы включить релятивистскую область, поскольку все парадоксы, связанные со сверхсветовыми скоростями, исчезают с удалением из теории коллапса. (По поводу дискуссии относительно квантовой нелокальности в рамках ММИ см. [14].) ММИ создает новую основу для исследования взаимоотношения между сознанием и материей. Согласно ММИ человек — это волновая функция, которая является частью квантового состояния, представляющего собой мир, который, в свою очередь, является одной из компонент суперпозиции многих квантовых состояний, образующих то состояние, которое является Вселенной.

Несмотря на то что не обязательно верить в ММИ, чтобы спроектировать машину, которая использует квантовую интерференцию на макроскопическом уровне, тем не менее ясно, что более естественно обсуждать эти возможности, когда можно не

беспокоиться о неких «чудотворных» коллапсах, а следует думать только о квантовых корреляциях, описываемых уравнением Шредингера. Это отнюдь не простое совпадение, что пионер в разработке квантовых вычислительных машин Дойч [15] является вместе с тем и горячим приверженцем ММИ. Хотя пытаться достигнуть «других» миров, которые уже откололись от «нашего» мира, — предприятие безнадежное, осторожно расщепить наш мир на несколько миров, с тем чтобы потом вновь объединить их — задача более реальная. Это и является предметом интенсивных исследований по созданию квантового компьютера, который «расщепляется», с тем чтобы сделать параллельно множество различных вычислений, а затем вновь объединяется, чтобы выдать окончательный результат.

У меня есть еще одна причина быть энтузиастом ММИ. Она помогает мне увидеть и понять многие новые отличительные черты квантовой механики. Анализ в терминах ММИ был особенно плодотворным в недавней работе, выполненной мною и Элицуром [16].

Благодарности

Я благодарен многим друзьям и коллегам за их терпение в ходе бесконечных дискуссий, результатом которых явилась эта статья. Особую признательность я выражаю Ferdy Schoeman, которому я посвящаю эту работу. Частично работа над этой статьей оказалась возможной благодаря гранту 614/95 Израильского Научного Фонда.

Литература

1. *Vaidman L.* On Schizophrenic Experiences of the Neutron, or Why we should Believe in the Many-Worlds Interpretation of Quantum Theory, e-print, 1996. <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609006>.
2. *Vaidman L.* The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics // Stanford Encyclopedia of Philosophy, Ed. E.N. Zalta. 2002. <http://plato.stanford.edu/qm-manyworlds/>.
3. *Greenberger D.M.* The Neutron Interferometer as a Device for Illustrating the Strange Behavior of Quantum Systems // *Reviews of Modern Physics*. 1983. V. 55. P. 875–905.
4. *Albert D.* A Quantum-Mechanical Automaton // *Philosophy of Science*. 1987. V. 54. P. 577–585.
5. *Lockwood M.* Mind, Brain & the Quantum. Oxford, and Cambridge, MA: Basil Blackwell, 1989.
6. *Wigner E.P.* Remarks on the Mind-Body Problem // *The Scientist Speculates*. Ed. by I.J. Good. L.: Heinemann, 1962. P. 284–302.

7. *Witt de B.S.* Quantum Mechanics and Reality // *Physics Today*. 1970. V. 23. P. 30-35.
8. *Deutsch D.* Quantum Theory, the Church-Turing Hypothesis, and Universal Quantum Computers // *Proceedings of Royal Society of London*. 1985. V. 400. P. 97-117.
9. *Healey R.A.* How Many Worlds? // *Nous*. 1984. V. 18. P. 591-616.
10. *Leslie J.* A Difficulty for Everett's Many-Worlds Theory // *International Studies in the Philosophy of Science*. 1996. V. 10. P. 239-246.
11. *Carter B.* The Anthropic Principle and its Implications for Biological Evolution // *Philosophical Transactions of the Royal Society. L.*, 1983. V. A310. P. 347-363.
12. *Belifante F.G.* Measurements and Time Reversal in Objective Quantum Theory. Oxford: Pergamon Press, 1975. P. 50-51.
13. *Gottfried K.* Does Quantum Mechanics Describe the «Collapse» of the Wave Function? // *Contribution to the Erice School: 62 Years of Uncertainty*, 1989 (unpublished).
14. *Vaidman L.* On the Paradoxical Aspects of New Quantum Experiments // *Philosophy of Science Association*. 1994. P. 211-217.
15. *Deutsch D.* Three Connections between Everett's Interpretation and Experiment // *R. Penrose and C.J. Isham (eds), Quantum Concepts of Space and Time* Oxford: Caledonia Press, 1986. P. 215-228.
16. *Elitzur A., Vaidman L.* Interaction-Free Quantum Measurements // *Foundation of Physics*. 1993. V. 23. P. 987-997.
17. *Everett H.* Relative State Formulation of Quantum Mechanics // *Review of Modern Physics*. 1957. V. 29. P. 454-462.
18. *Lewis D.* On the Plurality of Worlds. Oxford, N.Y.: Basil Blackwell, 1986.