

Миры в эвереттовской интерпретации

Дэвид Уоллес

Источник: [arXiv:quant-ph/0103092v1](https://arxiv.org/abs/quant-ph/0103092v1) 16 Mar 2001

Мы обсудим, как можно понимать мировоззрение, возникающее в результате эвереттовской интерпретации квантовой механики, и, в особенности, роль, которую играет в этой трактовке понятие «мир». Предлагаемый взгляд состоит в том, что мы имеем право использовать понятие «многомирие» и соответствующую терминологию, даже если теория не формализует понятия миров; это возможно посредством широкой аналогии с понятием «мгновение» или «момент времени» в теории относительности, где отсутствует выделенное понятие слоистости пространства-времени, что эквивалентно отсутствию предпочтительного базиса в квантовой теории. Обсуждаются последствия идентификации миров с помощью времени, а также для релятивистской квантовой механики.

Ключевые слова: Интерпретация квантовой механики; Эвереттовская интерпретация; Предпочтительный базис; Декогеренция; Слоистость пространства-времени.

1. Введение

Если мы серьезно относимся к стандартной квантовой механике по Эверетту (1957 г.), то возникает взгляд на реальность, в соответствии с которым классическая вселенная не единственна. Но является ли такой взгляд «многомировым» (в том смысле, как у Де-Витта (DeWitt (1970)) и Дойча (Deutsch (1985)))? Мы можем оппонировать этому взгляду, опираясь на различные основания: онтологическую экстравагантность, сложности с релятивистской ковариантностью, нарушение принципа идентичности неразличимого, необходимость поиска предпочтительного базиса и т.д. Но если мы отвергаем такой взгляд, то как понимать интерпретацию Эверетта – какую метафизическую картину она представляет?

С другой стороны, сторонники Эверетта сталкиваются с дилеммой: насколько серьезно мы должны эти миры воспринимать? Прежде всего, если понятие многомирия буквально внести в рамки нашего формального представления о мире, то мы столкнулись бы с фундаментальной проблемой

предпочтительного базиса. Декогеренция в этом случае нам не поможет, ибо здесь необходим точный мироопределяющий принцип, а не некий прагматический критерий. Более того, такое определение понятия «мир» представляется не релятивистски ковариантным, так как этот подход привел бы нас к тем же проблемам с относительностью, с которыми сталкиваются такие подходы, как теория волны-пилота (Бом (Bohm (1952)); Холланд(Holland (1993))) или теории редукции состояния (Джирарди, Римини и Вебер (Ghirardi, Rimini, and Weber (1986)); Пирл (Pearle (1989))). Но, если мы изгоняем эти миры из нашего формализма, мы должны ответить на критику о том, что наша теория – это лишь не интерпретированная математика, и объяснить, какой смысл может быть извлечен из универсального состояния.²

В этой статье я попытаюсь доказать три утверждения. Первое – сторонники теории Эверетта могут избежать этой дилеммы с помощью компромисса: они могут законно и обоснованно использовать терминологию теории множественности миров без формального представления этих миров. Второе утверждение состоит в том, что, скорее, взгляд Эверетта, а не внутренне противоречивая или патологически ограниченная квантовая механика, лучше подходит, чтобы описать то, что мы должны ожидать, интерпретируя теорию, которая изменяет наше понятие о том, что такое мир. Третье утверждение констатирует, что развитие такого взгляда на квантовую механику порождает ряд глубоких аналогий с другой физической теорией двадцатого столетия, коренным образом изменившей наше понятие о мире, а именно с теорией относительности.

Второе из этих утверждений обосновывается в разделе 2, где я буду доказывать, что всякую теорию, подвергающую пересмотру наши предыдущие представления о действительности, нужно, тем не менее, «привести в контакт» с этими предыдущими теориями, чтобы мы оказались способны понять новую теорию. Эти предыдущие пути ошибочны в некоторых отношениях (иначе мы не нуждались бы в новой теории!), поэтому их использование в интерпретации новой теории, возможно, является неполным или малопонятным, но, тем не менее, такое использование необходимо, если мы хотим, чтобы новая теория воспринималась как *физическая*. В конечном счете, мы можем надеяться, что поймем теорию без описания каких-то ее концепций, но мы не можем начать её построение без обзора сделанного ранее.

Конкретный пример такого процесса – классическая концепция релятивистского пространства-времени – приведен в разделе 3. Но главной причиной пространного обсуждения пространства-времени является «подготовка площадки» для обсуждения глубоких аналогий между пространством-временем (релятивизмом) и универсальным состоянием по Эверетту. Эти аналогии уже обсуждались, особенно и широко в работах Саймона Сондерса (Simon Saunders (1993, 1995, 1996b, 1997, 1998)), в контексте проблемы вероятности в интерпретации Эверетта.³ Мой подход – это дополнение к обсуждению Сондерса (и я упоминаю о вероятности только

мимолетно): если мы принимаем интерпретацию Эверетта, то можем использовать аналогию с пространством-временем, чтобы внести ясность в описание и понимание возникающего мировоззрения. (Пример обратной связи: если мы настаиваем, что интерпретация Эверетта является содержательной только с предпочтительным базисом, то мы вынуждены признать, что релятивистское пространство-время является содержательным только с предпочтительным расслоением).

В заключение я попытаюсь набросать в общих чертах, что осталось за рамками этого подхода, а также защитить мои первое и третье утверждения. Раздел 4 я посвящаю проблемам того, как мы осмысливаем эвереттовскую интерпретацию без точного предпочтительного базиса, раздел 5 – вопросу постоянства миров во времени, раздел 6 - роли наблюдателя в эвереттовской интерпретации и отличию моего подхода к этому вопросу от других многомировых подходов. В разделах 7-9 я рассматриваю, как мы должны понимать «(специально-) относительную квантовую теорию», и в разделах 10 и 11 я подвожу итог.

2. Интерпретация наших теорий

Что такое пространство-время? Математически мотивированный ответ (см., например, работу Валда (Wald (1984))) может быть дан так:

Пространство-время представляет собой (или, возможно, «является изоморфным к») множество $\{M, g, \varphi_1, \dots, \varphi_n\}$, где M - связное гладкое паракомпактное 4-многообразие, g - гладкий симметричный 2-тензор поля на TM , и φ_i – последующие тензорные поля на M .

Но, *давая* такое математическое описание, как нам понять, что такое пространство-время? Конечно, мы получили некое понимание, но без возможности использовать математику в качестве описательного инструмента мира, наша теория не будет иметь никакой предсказательной и объяснительной силы. Тогда предположим, что мы имеем вместо рассмотренного определения такое:

Пространство-время – это множество, содержащее точно шесть элементов, вместе с коммутативной группой операций над этим множеством элементов.

Чтобы ответить на возражение о том, что это не похоже на привычное понимание «пространства-времени», нужно понять, что фактически представляет собой понятие «пространство-время».

Это общее требование к математической физике. Для интерпретации математически сформулированной теории, как физической, нам нужно каким-то образом связать математический мир с физическим. По меньшей мере, для этого нужно определить наше собственное место в теории, т.е. мы должны иметь некоторую идею о том, как описываются математически объекты и понятия нашего повседневного мира. Мы должны согласиться, что в свете новых теорий не исключено, что эти объекты и понятия могут не быть в точности тем, чем они кажутся - и действительно, некоторые целиком могут быть иллюзорны, - но наша теория должна, как минимум, хорошо контактировать с этими объектами и понятиями, чтобы мы могли получить физику.

Однако важно помнить, что «наш повседневный мир» есть только то, к чему у нас есть прямой сенсорный доступ. Существование трехмерной протяженной вселенной, в которой присутствуют различные макроскопические объекты, в том числе и мы, и о которой мы узнаем через органы чувств, является скорее чрезвычайно эффективной теорией («теория повседневности»), объясняющей и унифицирующей наши наблюдения. Такая точка зрения известна по работам Квина (например, Quine (1966)).

Прежде всего, кажется, что при интерпретации физических теорий в поисках скрытого в них повседневного мира, мы вовлекаемся в бесконечный регресс, поскольку на каждом шаге от нас требуется интерпретировать «теорию повседневности» в терминах чего-то еще более общего. (В конце концов, как только мы приняли нечто как теорию, мы можем формализовать на математическом языке, какая ее часть неприемлема, а какую можно использовать для описания пространства-времени.⁴ Так, если мы требуем пояснить понятие «пространство-время», почему не сделать то же самое по отношению к нашей теории пространства?). Из этого следует, что мы поступим лучше, связав нашу новую теорию непосредственно с нашими наблюдениями; тогда, если новая теория есть усовершенствованная «теория повседневности», она также объяснит наши наблюдения, только лучше.

Проблема с этой идеей заключается в том, что наши наблюдения сами по себе неразрывно связаны с теорией повседневного мира. Если мы, для примера, возьмем информацию об окружающем мире, которую мы получаем с помощью зрения,⁵ то будет предельным упрощением полагать, что наше поле зрения есть просто область цветных лоскутов, подобно телеэкрану. Множество процессов обработки визуальных данных низкого уровня произойдет прежде, чем информация будет представлена высокоорганизованным подсистемам мозга и начнет воздействовать на наше поведение (можно сказать: «перед тем, как мы осознаем это»). Мы имеем два глаза, и вычисления параллакса дают нам расстояние до соседних объектов, поэтому эта стадия обработки справедливо является ранней. Сознательно мы не рассчитываем расстояния до объектов, мы просто осознаем это расстояние вдобавок к их угловым позициям. Далее происходит еще множество процессов обработки: идентификация объектов,

создание предположения об области визуального поля, которое не может наблюдаться (такого как «слепое пятно») и т.п. Вероятно, лучше описать поступающую информацию по такой схеме: «здесь полка с книгами, в направлении на 3 часа, дальность 4 метра - слишком далеко, чтобы оценить параллаксом, 5 полок, уйма разноцветных книг, все тридцатисантиметровой высоты». Это описание книжного шкафа и остальной части визуальной области подходит лучше, чем попиксельное.

Так что нет никаких теоретически нейтральных наблюдений: скорее существует теория, в терминах которой автоматически интерпретируются наши наблюдения, и которую мы должны принять в качестве исходного пункта для интерпретации физических теорий.⁶ Не должно казаться какой-либо неожиданностью то, что мы способны к постижению *этой* теории непосредственно, ибо мы приспособлены к жизни во вселенной, достаточно хорошо описываемой ею, и это закреплено в нашем мозге. Новые физические теории не имеют этого преимущества: возможно, проделав длинный путь, мы придем к тому, что сможем иметь такое же прямое их понимание (вместо того, чтобы понимать их только через существующую теорию), но это может и не произойти вообще, и, конечно же, может оказаться невозможным, когда мы впервые сталкиваемся с новыми теориями.

Подведем итог: наша программа для интерпретации новой теории неизбежно зависит от существующей теории, интерпретацию которой мы уже приняли для понимания (существующая теория окажется или нашей ежедневной теорией тел, или будет интерпретирована в смысле такой теории). Нужно потребовать, чтобы определенные части новой теории были «приблизительно изоморфными» уже существующей теории.⁷ Изоморфизм может быть неполным, выявляющим ошибки в каких-то частях нашей старой теории, преобразовывающим наше понимание старой теории, но в новой теории должен существовать узнаваемый след старой теории, чтобы новая теория была чем-то большим, чем только математика.

(Вследствие ограниченности объема статьи я не могу развивать связи между этим материалом и близко связанными с ним вопросами о том, как мы должны понимать изменение теории и в какой смысле одна теория может содержаться в пределах другой. Принятый здесь подход, однако, имеет много общего со структуралистской программой в философия науки (см. Уоррал (Worrall 1989); Псилос (Psillos (1995); Ледиман (Ladyman (1998))).

3. Релятивистское пространство-время и интерпретация «множества мгновений»

Для иллюстрации этого взгляда на теории вернемся к вопросу, поднятому в начале предыдущего раздела: как мы истолковываем пространство-время Минковского? ⁸ Единственным, по сути, естественным

способом сделать это, является использование понятий пространства и времени, изначально считающихся отдельными. Можно сказать о любом данном событии, что оно произошло в данном месте в данное время: первое может быть представлено точкой в трехмерном пространстве, последнее – единственным числом. Затем, пользуясь математикой, мы можем сконструировать четырехмерное «пространство», (используя это понятие в его математическом смысле), которое содержит все точки пространства в любой момент времени. Это пространство представляет собой стопку различных пространств, каждое из которых, как мы обычно понимаем это, существует в заданное время. Это может быть названо интерпретацией «множества мгновений» пространства-времени: пространство-время - совокупность всех мгновений времени, вместе с метрической структурой, соединяющей их, и представляющей время, проходящее между мгновениями.

Но, лучше разобравшись в этой метрической структуре – в частности, осознав её Лоренцеву симметрию, – мы видим, что это описание пространства-времени не поясняет его природу во многих отношениях. Для начала ясно, что любой данный путь квантования пространства-времени произволен, и что можно было сделать другие выборы одновременности. (На более математическом языке мы говорим, что данное релятивистское пространство-время можно представить глобально расслоенным, но с произвольно выбранным расслоением). Хуже, когда мы начинаем интерпретировать одновременность в духе общей теории относительности: в этом случае она становится совершенно искусственной конструкцией. Но затем мы понимаем, что это просто множество пространственных ломтиков, идентичных друг другу в нашей окрестности, но отличающихся, когда они расположены на большом расстоянии.

Ситуация ещё более ухудшается, когда мы вспоминаем теоретическую природу нашего понятия пространства. В конце концов, то внешнее, что мы воспринимаем глазами, не пространство вообще: это – прошлое светового конуса, концептуально не схожее с нашим обычным понятием пространства (в частности, оно имеет совершенно иную причинную структуру). И к тому же, наше повседневное понимание «пространства» возникает с пониманием, что мы находимся в нем, и наше сознательное мышление происходит в некоторой области пространства. Но, за исключением радикального дуализма, считается, что наши мысли, по-видимому, должны иметь причиной какие-то процессы в нашем мозге, и эти процессы протекают за конечное время и в конечном пространстве. ⁹ Следовательно, наши мысли протекают в некоторой области пространства-времени, поэтому, если мы рассматриваем пространство-время как собрание мгновений, нам придется смириться с фактом, что единственная сознательная мысль проистекает из множества одновременностей («много моментов времени»), а не из одного-единственного.

Итак, описание пространства-времени с помощью интерпретации многих мгновений оставляет желать лучшего: содержит произвольность,

затемняет конструктивные детали, и мы ничего не можем сказать о существовании чего-либо в любом данном единичном мгновении. И, тем не менее, это описание имеет достоинства. В частности, это - завершённое описание: как только мы получаем все содержимое всех мгновений времени и временные отношения между мгновениями, мы имеем полное пространство-время. Далее, у нас возникает интуитивное ощущение того, что такое мгновение, и мы можем извлечь из этого пользу, т.е. некоторое понимание того, что это за объект - пространство-время. Этого понимания достаточно, чтобы связать наш опыт с формализмом теории относительности, что даёт теории предсказательную и объяснительную силу.

К тому же, для каждодневных целей (т.е., когда мы ограничиваем себя областью умеренных размеров и умеренных скоростей) прагматично предпочесть расслоение и рассматривать пространство-время как собрание мгновений: это расслоение, следующее из ограничений Лоренца, определяет наше текущее состояние движения. Это неуместно, когда на больших расстояниях мы пытаемся получить расслоения, отклоняющиеся от лоренцовского выбора; представляется также, что, если мы рассматриваем достаточно близкие события, нам нужно будет сделать произвольный выбор относительно того, какая скорость входит в преобразование Лоренца: скорость движения Оксфорда или скорость полета самолета над ним. Для каждодневных целей предпочитаемое расслоение эффективно определено. Это то расслоение, в элементах которого мы находим нечто реально существующее, приблизительно изоморфное к трехмерным интервалам нашего повседневного взгляда на мир.

Отметим здесь, насколько важно то, что мы идентифицируем наш ежедневный взгляд на мир как теорию: если мы видим себя имеющими прямой доступ к миру, мы будем чертить его карту на части прошлого светового конуса, а не на какой-то пространственной гиперповерхности. Это так, но в нашей новой теории, которая говорит нам, как описать вселенную, которую мы наблюдаем, и как найти место наблюдателя в этой теории, мы можем это пространство приблизительно идентифицировать как обычное пространство.

Сказать, что пространство-время –

это такая-то сущность, математическое описание которой может быть мыслимо как собрание всех мгновенных пространств вместе с метрическими отношениями между ними, и неважно, что оно может быть получено с помощью самых различных способов его разделения на отдельные мгновения

- было бы неэлегантным его описанием. Но такое описание является точным, и так как Природы и нашего прошлого развития недостаточно, чтобы мы могли интуитивно уловить мысль о том, что же такое пространство-время, значит, мы должны начать с таких неэлегантных путей его понимания. Идеально было бы,

если бы мы могли, разрабатывая концепцию пространства-времени, развивать её в направлении понимания того, каким образом избавиться от этой ступенчатости его структуры. Но я сомневаюсь, что у нас это получилось бы достаточно эффективно и легко.

4. Квантовая теория

Нужно прояснить связь с Эвереттом. Основопологающий постулат Эверетта состоит в том, что квантовое состояние и его единичная эволюция универсальны; но это приводит нас к ещё одному отталкивающему неинтуитивному математическому описанию (Хааг (Haag (1996))):

Универсальное состояние – это множество $\{H, M, \varphi_1, \dots, \varphi_n, \rho\}$, где H является сепарабельным Гильбертовым пространством, M - пространство-время, φ_i есть дистрибутивные отображения из M в алгебру связанных операторов на H , и ρ есть самосопряженный связанный оператор на H следа единичной матрицы.

Ясно, что без некоторой идеи о том, как интерпретировать этот объект, мы не можем относиться к нему, как к физическому.

В попытке понять, что имеет в виду интерпретация Эверетта, мы обычно начинаем с середины, полагая уже известными различные понятия. Мы можем, например, начать с кота Шредингера, т.е. предположить существование некоторой подсистемы вселенной, описываемой Гильбертовым пространством H , которое является тензорным продуктом пространств, описывающих радиоактивный атом, счетчик Гейгера, кота и некоторый вспомогательный аппарат (коробка, убивающее кота устройство и т.п.). Мы также предполагаем, что имеются некоторые системы, в компонентах пространств которых представлены определенно распавшиеся или не распавшиеся атомы, запущенные или не запущенные счетчики, мертвые или живые коты и так далее.

Отметим, как широко мы используем понятия нашей предыдущей теории. В частности, мы предполагаем, будто знаем, что подразумевается под живым или мертвым котом, запущенным или незапущенным счетчиком. Это суперпозиции систем в таких состояниях, которые мы хотим понять.

Следуя за шагами мысленного эксперимента Шредингера, мы знаем, что унитарная динамика приведет нас к такой эволюции: 10

|Нераспавшийся атом> |незапущенный счетчик> |ампула с ядом цела> |кот жив> $1/\sqrt{2}(|$ Распавшийся атом> |запущенный счетчик> |разбитая ампула> |

кот мертв> + |Нераспавшийся атом> |все еще незапущенный счетчик> |
 ампула с ядом все еще цела> |кот все еще жив>)
 (1)

Далее, наши доквантовые теории дают нам адекватное понимание процессов:

|Нераспавшийся атом> |незапущенный счетчик> |ампула с ядом цела> |кот жив>
 |Нераспавшийся атом> |все еще незапущенный счетчик> |ампула с ядом все еще цела>
 |кот все еще жив>

а также

|Нераспавшийся атом> |незапущенный счетчик> |ампула с ядом цела> |кот жив>
 |Распавшийся атом> |запущенный счетчик> |разбитая ампула> |кот мертв>

Соблазнительно интерпретировать (1) как описание эволюции двух (или двух идентичных множеств) параллельных миров, которые, в основном, эволюционируют по классическому пути, но иногда интерферируют друг с другом. Это искушение усиливается, когда мы погружаемся в формализм: человеческий наблюдатель кота перепутывается с ним, и универсальное состояние становится суперпозицией определенных наблюдений.

Как было отмечено во Введении, существуют серьезные проблемы с принятием точки зрения о существовании параллельных миров в буквальном смысле. Рассмотрим это более детально. Самая большая трудность, вероятно, заключается в необходимости конкретизировать, какие состояния описывают одиночные миры, а какие – их суперпозиции. Единственный способ ответить на этот вопрос (если мы считаем индивидуальные миры онтологически первичными) – это конкретизировать «предпочтительный базис» (скажем, $\{|i\rangle\}$) для универсального Гильбертова пространства. Тогда любое состояние $|\psi\rangle$ можно выразить в терминах этого базиса:

$$|\psi\rangle = \sum_i \alpha_i |i\rangle$$

и интерпретировать как множество параллельных миров (индексированных i), каждый из которых имеет вес α_i .

Здесь возникают четыре проблемы. Во-первых, что мы подразумеваем во фразе «каждый из которых имеет вес α_i »? Недостаточно считать это понятие как подразумевающее, что часть мира i в коллективе равна $|\alpha_i|^2$, поскольку это отбрасывает за ненадобностью относительные фазы составляющих миров, а они играют важную роль в теории.

Во-вторых, как этот $\{|i\rangle\}$ базис выбран? Чтобы защитить рассуждения, приводящие нас к идеям Эверетта, это должен быть базис, компоненты которого не являются состояниями, описывающими макроскопические объекты как локализованные, но этого ограничения еще далеко не достаточно, чтобы конкретизировать предпочтительный базис. Любой выбор, сделанный с помощью этого указания, трудно мотивировать: пространственно-конфигурированный базис является одним из очевидных вариантов, но нарушает релятивистскую ковариантность требованием предпочтительных эталонных структур. ■

Третья и четвертая проблемы касаются факта, что эти «миры» не обладают всеми свойствами миров в «доквантовом» смысле. Третья наша проблема заключается в том, что они мгновенны: мы можем анализировать универсальное состояние миров в некоторое данное мгновение времени, но мы не можем отслеживать индивидуальные миры, когда сами развиваемся во времени по любому приемлемому пути. Все, что мы можем сказать, например: мир 14 увеличивает вес, в то время как миры 15 и 16 уменьшают, мир 17 изменяет фазу и т.п., - но мы не имеем никакого классического представления о едином множестве определенных свойств, переходящем в другое. (Чтобы увидеть это, предположим, что состояние $|\psi\rangle$ эволюционировало за время t в новое состояние

$$|\psi'\rangle = \sum_i \alpha'_i |i\rangle;$$

и если каждый $|i\rangle$ представляет собой мир, который эволюционирует во времени, то нам нужно какое-то понятие о том, что мир $|i\rangle$ через некоторое время t изменился и стал миром $|i'\rangle$, но формализм квантовой механики не даст нам его – он только отслеживает изменение в статистическом весе инвариантных по отношению ко времени состояний $|i\rangle$. Для получения такого понятия о мире (как утверждал Барретт (Barrett (1999))), нам потребуется ввести в унитарную квантовую механику не только предпочтительный базис, но и некоторые вспомогательные динамические правила, но с этим шагом мы удалимся от интерпретации Эверетта *как таковой*.)

Четвертая проблема состоит в том, что наши мысли не протекают в отдельных мирах, тем более - в отдельные моменты времени: если мы идентифицируем объекты зависимого взаимоотношения материи и сознания, как состояния или процессы мозга, то проекция на (неврологически) функционально идентичные состояния мозга должна быть очень многомерной – иначе какое отношение к неврологии может иметь определенный электрон в моей лобной доле, имеющий размер 10^{-15} метров? Несомненно, что состояния сознания для всего богатства человеческого опыта не могут достаточно четко

соответствовать ортогональным состояниям, соответствующим работающему мозгу; я утверждаю, что если мы считаем себя функционалистами, это вынуждает нас идентифицировать мысли, как объекты, фактически порождаемые некоторой областью большого числа подобных, но неидентичных миров.¹²

Почему мы нуждаемся в такой идентификации? Если миры не взаимодействуют вообще, то мы можем избежать этого, но, по крайней мере, наивно полагать, что существует много отдельных не взаимодействующих миров, содержащих много отдельных, но функционально идентичных моих копий.¹³ Проблема в том, что для любого простого выбора предпочтительного базиса, интерференция между различными способами выражения базиса жизненно необходима для динамики процессов в моем мозге (или, на самом деле, в любом макроскопическом объекте). Если, скажем, мы выбираем некоторую конфигурацию базиса, как предпочтительную, мы можем разложить определенное состояние мозга (описывающее мой мозг в определенной конфигурации) в конфигурацию собственных состояний и предположить, что каждая конфигурация – отдельный сознательный объект. Но если каждое такое собственное состояние было бы изолировано от остальных (если бы, например, внешний наблюдатель определил конфигурации всех составных частей мозга), тогда каждое состояние быстро эволюционировало бы в органический суп, и, конечно, функционирующий мозг прекратил бы существование.¹⁴ Следовательно, если ментальные факты неразрывно связаны с фактами конфигураций мозга в одиночных мирах, то каждый из нас остается мыслящим объектом, только благодаря постоянной интерференции частиц бесчисленных мозгов наших неврологически идентичных параллельно-мировых копий. Это, возможно, не лишенный доказательности взгляд (до тех пор, пока мы считаем идею многомирия основополагающей), но мне он кажется непривлекательным. (Единственный путь избежать этой проблемы мог бы заключаться в том, что для мозга, в котором случайная интерференция между различными частями незначительна, предпочтительный базис считался бы декогерентным (см. раздел 5) - но это требует использования биохимических и нейрофизиологических критериев для конкретизации, что считать базисом, который предпочтителен на уровне онтологии, но даже в этом случае интерференционные элементы не могут быть полностью исключены.)

Это ничего не говорит о том, что лежит за пределами моего черепа - но если некоторый объект на расстоянии многих световых лет находится в суперпозиции с двумя предпочтительными базисами, то принятие многомирия буквально подразумевает, что есть два множества параллельных миров с копиями моего мозга в каждом множестве, идентичными друг другу. Считать ли в этой ситуации, что существуют две идентичные версии меня, или я должен полагать мои мысли, как «сопротекающие» одновременно в обоих случаях? Очевидно, не будет никакой существенной разницы между этими двумя

точками зрения, однако в первом случае отдаленный объект будет определен, но неизвестен, а во втором его состояние не будет определено.

Вообще говоря, современные интерпретации Эверетта решают эту проблему следующим образом: они оставляют в стороне идею точного определения предпочтительного базиса, а затем, в зависимости от состояния и развития ситуации, возвращаются к этой идее (приблизительно или прагматически) по тем или иным соображениям. При этом обычно применяют (и мы приняли здесь) теорию декогеренции (Зурек (Zurek 1991); Сондерс (Saunders (1995)), согласно которой подсистемы мира будут иметь «состояния» (т.е. редуцированные операторы плотности), диагонализированные согласно определенному базису, и попытка привести эти подсистемы к состояниям, не принадлежащим этому базису, будет фактически невозможна. Однако, определенный таким образом базис является лишь приблизительным: свойствам декогеренции удовлетворяют много альтернативных базисов, но, например, выбор базиса для спина данного электрона неуместен, если спин этого электрона перепутан с некоторой макроскопической системой (как, например, в опыте Штерна-Герлаха).¹⁵

Но, исключая вообще идею миров, как онтологически первичную, мы вернулись к проблеме, сформулированной в начале этого раздела: если состояние фундаментально, то как мы понимаем это? Многообещающие параллели с пространством-временем ясны: мы должны понимать универсальное состояние как

объект с таким-то математическим описанием, который может быть мыслим как собрание мгновенных миров в совокупности с их амплитудами в пространстве Гилберта, не учитывая факта, что это собрание может быть получено многими различными способами.

Как и с мгновениями пространства-времени, дело не в том, что мы непосредственно воспринимаем миры, определяя положения частиц при помощи наших органов чувств (на самом деле мы их или не воспринимаем, или воспринимаем неточно), и не в том, что мы живем в одном таком мире (мы не живем в нем), но что у нас есть концептуальное понимание идеи таких миров. Мы можем рассматривать универсальное состояние, как составленное из миров и их амплитуд так же, как мы можем рассматривать пространство-время, как составленное из мгновений и их метрических отношений: ни одно описание реально не дает правильную симметрию описываемого объекта, но в совокупности предоставляют достаточно данных для конкретизации объекта и вместе дают нам концептуальное понимание того, что представляет собой объект.

Таким образом, аналогия с пространством-временем и представлением о многих мгновениях позволяет сторонникам Эверетта ответить на обвинение в том, что без некоторого определенного предпочтительного базиса мировоззрение просто не имеет смысла (внятный вопрос, например: «обосновано ли оно эмпирически?»). Идея универсального состояния, рассмотренная как онтологически приоритетная в многомирии, придает ему смысла не больше и не меньше, чем идея пространства-времени, как онтологически приоритетная по отношению ко времени, поэтому, если мы настаиваем, что для смысловой интерпретации Эверетта нужен предпочтительный базис, то мы должны настаивать также, что для релятивистских теорий необходимо предпочтительное расслоение.¹⁶

5. Последовательные истории и постоянство миров

Рассмотрим понятие "эффективного предпочтительного базиса" более тщательно. Базис $\{|i\rangle\}$ может быть эквивалентно выражен как часть множества

$$\hat{1} = \sum_i \hat{P}_i$$

где \hat{P}_i – проекции на одномерное подпространство, содержащееся в $|i\rangle$. Мы можем охарактеризовать такие части как собрание проекций, которое обладает свойствами:

1. сумма проекций равна единице;
2. они взаимно ортогональны, $\hat{P}_i \hat{P}_j = 0$ для $i \neq j$;
3. проецирование происходит на одномерные подпространства.

Мы можем затем толковать идею "приближенных базисов", упомянутую выше, пренебрегая третьим из этих требований. Декогеренция определяется как собрание проекций, и это - приближенный базис в том смысле, что любой точный базис, при рассмотрении разложения исходного единства состояний, является дроблением¹⁷ этого единства состояний и будет содержать состояния, которые стабильны по отношению к процессу декогеренции. Поэтому мы считаем, что даже если в течение некоторого времени состояние (выраженное как оператор плотности) и не является блочно-диагонализируемым посредством декорегерентной проекции, не блочно-диагональные матричные элементы оператора разрушатся за промежуток времени, исчезающее малый по сравнению с временным промежутком, на котором эволюционируют блочно-диагональные матричные элементы.

Информация, закодированная в недиагональных состояниях, преобразуется в перепутанность между состояниями макроскопических систем и фактически недоступна.

Как хорошо известно, формализм последовательных историй – Гриффитс (Griffiths (1984)); Гелл-Манн и Хартль (Gell-Mann and Hartle (1990)); Кент (Kent (1998)) – исключает это требование и освобождает рассмотрение от прямой ссылки к подсистемам и к процессу декогеренции. Последовательная история пространства, грубо говоря, это собрание крупнозернистых базисов (причем собрание, индексированное временем, таким образом, что для каждого момента времени имеется один базис ¹⁸). Условие последовательности гарантирует, что мы можем применить классическую вероятность к событиям, описанным проекциями в этом базисе (в том смысле, что каждой истории соответствует некоторая вероятность, и если история A есть конгломерат историй B_1, \dots, B_n , то вероятность истории A равна сумме вероятностей составляющих её историй).

Проблема, возникающая в результате такого абстрагирования, состоит в том, что существует много выборов последовательной истории пространства, но, если мы следуем за Эвереттом и сохраняем состояние как фундаментальное, то нет никакой проблемы. Только так же, как наш выбор разложения мира (т.е. мелкозернистый базис) сделан не из фундаментальных соображений, а, скорее, для простоты описания, так и наш выбор пространства истории сделан только для того, чтобы дать удобное описание квантового универса. Фактически при этом будет получено подмножество пространств истории, которое гораздо более удобно: мы являемся информационно-обрабатывающими системами, и может быть показано, что всякая подобная система выбирает последовательную историю пространства (Сондерс (Saunders (1993))). (Если вернуться к описанию подсистемы, данному раньше, видно, в частности, что такой системе нужно запоминать информацию, и если она выбирает шифрование информации в состояния, не диагональные в декогерентном базисе, они не сохраняются долго (Халливелл (Halliwell (1993)); Зурек (Zurek (1991))). По крайней мере, для описания события в нашем окружении, как правило, предпочтительный выбор существует. Как и с упомянутыми прагматично предпочитаемыми границами релятивистского пространства-времени, предпочтение является только приблизительным и действительно простирается только в нашей пространственной близости: если мы желаем выбрать истинно глобальный мелкозернистый базис, то выбор будет произволен.

Давайте теперь ещё раз рассмотрим четыре проблемы многомирия, идентифицированные в предыдущем разделе. Из них три имеют близкие аналоги с описанием многих мгновений пространства-времени: в описании реальности там также есть уникальное лучшее множество из мгновений, но не миров; мы не можем восстановить пространство-время из его мгновений без их временных отношений, как не можем восстановить универсальное состояние из

миров без их амплитуд; и ментальные сущности возникают также не в единственное мгновение и не в единственном мире. Поэтому теперь, если мы, невзирая ни на что, принимаем описание многих мгновений пространства-времени, нет никаких проблем, мешающих нам принять интерпретацию Эверетта всерьез и объяснить ее (с соответствующей осторожностью) в терминах миров.

Однако остается третья проблема, обозначенная в секции 4: (мелкозернистые) миры в суперпозиции мгновенны, и мы еще не переходили к вопросу о том, как мы можем (и можем ли) отслеживать данный мир от момента к моменту. Но эта ситуация должна быть знакома нам из физики пространства-времени: там понятие постоянного объекта тоже непосредственно не присутствует в формализме. Однако данное понятие может появиться, как только выбрано пространство-время: мы можем выбрать «мировые трубы» устойчивой материальной конфигурации и объявить различные трехмерные слои такой трубы одними и теми же объектами, но в различные времена. Это понятие, возможно, не является определенным с произвольной точностью (сколько раз допускается изменить объект, чтобы считать, что это все еще тот же объект?) и не будет применимо, если пространство-время не выбирается так, чтобы существовали постоянные мировые трубы; тем не менее, это полезно.

Мы можем использовать ту же прагматическую концепцию продолжительности для того, чтобы придать смысл (в определенных обстоятельствах) идее идентификации миров через время. Например, в нейтронном интерферометре мы имеем нейтрон в линейной суперпозиции двух пространственно разделенных волновых пакетов. Пока они не сведены вместе, эти пакеты не перекрываются, и эволюция пространственного положения каждого пакета может трактоваться независимо, без учета интерференции между обоими, и мы можем разумно описать нейтрон, как находящийся в суперпозиции двух историй, каждая из которых хорошо определена. Это дает возможность говорить о двух сохраняющихся мирах, каждый из которых описывает один нейтрон. (Для детального рассмотрения нейтронного интерферометра в Эвереттовской интерпретации с подобной точки зрения см. Вайдман (Vaidman (1998))). Конечно, жизненно важно помнить, что этот язык не описывает все, что угодно фундаментальное в теории, и что он будет неудачен в определенных обстоятельствах (в нашем примере он будет неудачен, когда два нейтронных потока совмещаются снова таким образом, что происходит интерференция между двумя мирами), или при слишком близком рассмотрении (в примере мы можем говорить о двух сохраняющихся мирах, но миры крупнозернистые). Тем не менее, понятие постоянства миров может быть полезно в определенных объяснительных контекстах (скорее подобно понятию «живого существа» в биологии, или «звезды» в астрофизике, ни одно из которых не имеет однозначного определения и не вписывается непосредственно в формализм¹⁹).

В этом контексте мы видим формализм последовательных историй с другой точки зрения: последовательность дает критерий для (крупнозернистых) миров, для которых существует здоровое понятие постоянства. Под «здоровым» я подразумеваю, что, хотя мы должны упомянуть о расщеплении миров ²⁰ и (в термодинамически неправдоподобных обстоятельствах) их рекомбинации, нам не придется иметь дела с интерференцией миров, что, вообще делает постоянство бессмысленным.

6. Статус наблюдателя

Как было установлено в предыдущем разделе, если в момент времени t мы имеем базис последовательной истории $\{Q_i(t)\}$, то это заставляет нас принять, что наши «мыслительные машины» (как информационные процессоры) осуществляют эту обработку в таком базисе. Тогда я могу идентифицировать множество проецирующих лучей $\{R_j\}$, являющееся грубым измельчением $\{Q_i(t)\}$, которые и создают проекции на функционально ясных состояниях моего мозга. ²¹ Это множество проецирующих лучей - не разложение идентичности на составные части, так как должно быть заявлено, что мой мозг существует с вероятностью единица; к тому же он очень крупнозернистый по сравнению с $\{Q_i(t)\}$. В конце концов, конкретизация множества лучей, проецирующих на состояния моего мозга, не включает в себя представление всей информации об остальном универсе.

Теперь мы имеем трехуровневое описание квантового состояния.

На самом низком уровне мы имеем описание в терминах миров Эверетта, т.е. с помощью мелкозернистой основы. Это уровень, на котором мы даем *полное* описание состояния; тем не менее, здесь миры являются мгновенными объектами с непротслеживаемыми историями, и выбор базиса в высшей степени произволен. ²²

Однако, произвольность здесь не полная, так как, чтобы быть практически полезным, этот базис должен быть мелкозернистым дроблением некоторого декогерентного базиса, который, в свою очередь, будет дан некоторым выбором пространства последовательной истории. На этом уровне описания мы можем с пользой говорить об историях, описывая ветвление (и, иногда, в принципе, но не на практике, рекомбинацию) множества миров. Это уровень, на котором мы получаем практичный классический предел. Однако описание мира на этом уровне не полно, т.к. крупнозернистая природа декогерентного базиса означает, что информация потеряна.

Кроме того, выбор пространства последовательной истории мотивирован антропностью рассмотрения: мы являемся информационно-обрабатывающими системами и как таковые должны быть запечатлены в том пространстве последовательной истории, в котором производится эта информационная обработка (Халливелл (Halliwell (1993); Сондерс (Saunders

(1993)). В качестве подходящего пространства последовательной истории должен быть сделан выбор мелкозернистого базиса функционально ясных состояний мозга (для каждого момента времени, или для каждого небольшого промежутка времени, если мы хотим размышлять о ментальных сущностях, порождаемых процессами, а не состояниями). На этом уровне наше описание состояния чрезвычайно неполно. Однако, как минимум с эпистемологической точки зрения, если универсальное состояние есть $|\psi\rangle$, и состояние моего мозга есть j (с проецирующим лучом R_j), то я должен рассматривать состояние универса относительно меня, как $R_j |\psi\rangle$, заданное с точностью до нормализации.

Отметим контраст между способом, каким возвращают наблюдателей в унитарную квантовую механику в этой разновидности подхода (и в близком подходе, например, Сондерс (Saunders (1996a)), Зурек (Zurek (1991)), Гелл-Манн и Хартль (Gell-Mann and Hartle (1990)), и подходом, принятым сторонниками интерпретации «многих разумов», подобно Локвуду (Lockwood (1989, 1996a)) или Дональду (Donald (1995, 1997, 1999)).²³ В последнем подходе проецирующие лучи R_j введены с самого начала, и интерпретация сконструирована в их терминах; в первом работа физики заключается в том, чтобы восстановить квазиклассическую область, а проблемы сознания тогда передадутся другим дисциплинам.

Причины для применения одной или другой схемы, в некоторой степени вызваны различными мнениями о том, насколько удачно будут определены естественнонаучная или философская программы, поэтому подходы, основанные на декогеренции, рассчитывают на успех программы декогеренции в формальном восстановлении приблизительно классической физики, в то время как теоретики «многих разумов» могут пренебрегать этой программой, зато определять абсолютно строгие физические или философские представления о сознании (так, подход Локвуда требует, чтобы был поставлен вопрос: какие физические системы обладают сознательным базисом,²⁴ в то время, как Дональд (Donald (1995)) сконструировал явные модели наблюдателей и считает, что это необходимая часть интерпретации Эверетта).²⁵

Очевидно, что слишком рано говорить о том, каким образом окончатся эти продолжительные дискуссии; однако раздел 2, как нам кажется, создает некоторую поддержку подходу декогеренций: не сознание ли наводит порядок в том, что является существенным в интерпретации квантовой механики? Нам приходится *так или иначе* вернуть псевдоклассическую область, чтобы получить связь с существующими теориями, и, таким образом, интерпретировать квантовую теорию как физическую. Если нет никаких теоретически нейтральных наблюдений, то сохранение наблюдаемых явлений требует от нас сохранения чего-то приблизительно изоморфного к теории.

Попутно я скажу о двусмысленности нашего выбора R_j . Эти проецирующие лучи созданы для того, чтобы убрать *мой* мозг, но как это должно быть сделано? По-видимому, мои ментальные объекты могут быть

воспроизведены во многих различных физических средах; поскольку они могут существовать во многих различных пространственных локализациях и быть составлены из различных атомов, требование, чтобы они проецировались на данную подсистему Гильбертова пространства, неправдоподобно. По-видимому, мне придется обратиться к некоторым внутренним структурным особенностям, но существует неопределенность относительно того, насколько большое личностное изменение наблюдателя может быть допущено прежде, чем данный проектор можно было бы фактически считать проецирующим на *чьей-либо* иное состояние мозга. Это, конечно, старая проблема персональной идентичности в облике квантовой механики.

7. Ковариантная квантовая механика

До сих пор мы строили аналогию между пространством-временем и квантовым состоянием *в данное время*. Однако разговор о мирах в данное время, очевидно, подразумевает выбор рассматриваемой системы и отсутствие ковариантности, тогда как одно из главных побуждений принятия подхода Эверетта - его заявка на обеспечение интерпретации квантовой механики, которая будет совместима с относительностью. Соответственно, мы сейчас вернемся к проблеме понимания релятивистской квантовой теории.

Математическая структура, данная для квантовой теории поля в начале раздела 4, полностью ковариантна, так как она вписывается в формализм Гейзенберга таким образом, что ее состояния независимы от времени. Теперь мы имеем неинтерпретированный объект - состояние ρ , - обладающий требуемыми свойствами. Чтобы описать этот объект, мы можем считать описания многих миров и многих мгновений:

Универсальное состояние - объект с таким именно математическим описанием, которое может быть дано как собрание множеств миров, вместе с временными метрическими отношениями между этими множествами и амплитудами индивидуальных миров внутри каждого множества, без обсуждения вопроса о том, что универсальное состояние может быть проанализировано в таком собрании многими разными способами.

Дойч (Deutsch (1997, p. 277)) попытался иллюстрировать эту точку зрения, хотя эта иллюстрация создает впечатление, что индивидуальные миры имеют истории (т.е. возможно сказать, что *этот* мир в *этом* мгновенном собрании из миров есть будущая версия *этого* мира в *этом* собрании). Это согласуется с введением предпочтительного базиса Дойч (Deutsch, (1985)) и с «континуальными сознаниями» Альберта и Лёвера (Albert and Loewer (1988)) (в

обоих случаях существует постоянство объектов - будь они сознаниями или мирами, - которые стохастически разделены в процессе эволюции волновой функции), но находится в противоречии с излагаемым здесь взглядом, согласно которому сохранность миров - приблизительное и производное понятие. (Очевидно, мы могли бы оправдать такое описание в этой системе взглядов, работая на уровне последовательных историй, но тогда мы перестали бы иметь полное описание всего собрания мгновений). Дойч также делает спекулятивное предположение (инспирированное канонической квантовой гравитацией и работой Пэйджа и Вуттерса (Page and Wootters (1983)), а также Барбура (Barbour (1999))), что это двуосное собрание миров может быть сколлапсировано в единственное собрание - другими словами, различные мгновения могут пониматься как различные эвереттовские миры, - но это предположение остается спорным и лежит за рамками обсуждения в данной статье.

Следует признать, что наше описание универсального состояния, представленное в терминах глобальных мгновений времени и миров, определенных в этих мгновениях, несколько неэстетично. В следующих двух разделах я буду развивать отчасти модифицированную версию, которая лучше отражает релятивистскую ковариантность, а затем рассмотрю важные преимущества сложившегося у меня описания.

8. Пространство-время как множество событий

Один частный метод освобождения физики СТО от языка моментальных пространств – рассматривать её как множество событий и пространственно-временных отношений между ними.²⁶ Этот подход заслуживает упоминания, поскольку добивается частичного успеха, прямо выражая интуицию релятивистского пространства-времени, при этом опираясь во многих отношениях еще и на нашу повседневную интуицию.

Легче всего увидеть это при близком рассмотрении понятия «события», под которым мы подразумеваем нечто, происходящее в данном месте в данное время (взрыв, скажем, или вспышка света, или совпадение стрелок на часах). Но это описание уже интенсивно использует дорелятивистские понятия, прямо говоря на языке пространства и времени и ссылаясь на физические объекты. Мы можем, конечно, определить события, как точки пересечения мировых линий, но тогда мы должны или объяснять, что представляют собой мировые линии (что, несомненно, невозможно без использования нашего предотносительного языка), или вернуться к неинтерпретированной математике («мировая линия – гладкое отображение реальной линии в четырехмерии, такое, что метрическое расстояние между любыми двумя точками в отображении положительно», и т.п.).²⁷

Это обсуждение напоминает нам об одной вещи - использование нами дорелятивистской интуиции не требует *глобального* понятия пространства. Мы не можем сказать, что мы подразумеваем под событием без какого-то обращения к расщеплению пространства/времени, но мы можем описать его, обращаясь к пространству и времени только в окрестности этого события.

Как таковое мы можем понять релятивистское пространство-время посредством

1. разделения его на маленькие области;
2. описания каждой области в терминах (очень неуникального) расщепления пространства-времени - т.е. локальной версии «многих мгновений»;
3. представления пространственно-временных отношений между областями.

Точка зрения «чистого события» может пониматься как предельный случай этой интерпретационной схемы, хотя в пределе мы теряем способность понимать теорию (как было показано в разделе 3).

Этот метод понимания релятивистского пространства-времени имеет ряд преимуществ перед использованием глобально определенных мгновений: в частности, такое использование выявляет произвольность нашего выбора пространственного слоя на больших расстояниях и неуместность этого выбора при описании локальных явлений, и делает более ясным то обстоятельство, что не существует ответа на вопрос, что происходит *сейчас* в отдаленных регионах пространства. Однако невозможно дать более «правильное» описание пространства-времени – лучшее, что мы можем сказать, состоит в том, что более практичное описание бытия, которое полностью описывается, как физическая система, лежит (как минимум, в данный момент) за пределами нашей способности непосредственного постижения.

Описание множества событий пространства-времени может быть похожим и в случае квантовой механики. «Событие» (мгновенное) в квантовой теории определяется (по Гейзенбергу) проекцией (линейным преобразованием на состояния, для которых в данное время событие возможно, делая его определенно происходящим). Если события A и B описываются проекциями Гейзенберга P_A , P_B соответственно, то вероятность осуществления события B, если осуществится событие A, равна

$$\frac{\text{Tr}(\hat{P}_A \hat{P}_B \rho \hat{P}_B \hat{P}_A)}{\text{Tr}(\hat{P}_B \rho \hat{P}_B)}$$

Теперь мы имеем возможность рассматривать квантовое состояние, как описанное через собрание событий вместе с пространственно-временными и вероятностными взаимоотношениями между ними.

Этот релятивистский взгляд Эверетта недавно был поддержан Сондерсом (Saunders (1993, 1995, 1996, 1997, 1998)). Как и классическое описание пространства-времени через события и пространственно-временные отношения между ними, такое описание во многих отношениях менее произвольно, чем использование глобальных «мгновений» и «миров», но все еще зависит (в классическом, «предотнositельном» смысле) от понятия того, что такое событие. При этом существенным понятием, которое мы импортируем из наших предыдущих теорий, является «локальный мир», т.е. небольшой пространственный регион, взятый в единственное время, в котором некоторые наблюдаемые величины имеют определенные значения (отметим явную необходимость в выборе локального соглашения об одновременности, чтобы самосогласованные линейные преобразования могли применяться к событиям, протяженным в пространстве, но не во времени).²⁸

9. Действительная динамическая история

Казалось бы, данное в предыдущем разделе «локальное» описание, в котором лучше зафиксированы понятия ковариантности и локальности, являющиеся центральными в релятивизме, имеет значительные преимущества перед приближением многих мгновений. Должны ли мы поэтому оставить описание многих мгновений раздела 7 в пользу локального описания?

Почему такой отказ был бы неблагоприятен, видно из рассмотрения результата динамики. И в классической, и в квантовой физике, если мы хотим обсуждать пространство-время как динамичную систему, и, в частности, если намерены обсуждать проблемы детерминизма, нам необходимо понятие глобального расслоения пространства-времени. Глобально заданное мгновение, вместе с классическим или Шредингеровским состоянием в это мгновение, включает важную особенность наших предрелятивистских теорий, которая делает локальное описание менее ясным: а именно, в любой данный момент времени мы можем определить содержимое пространства везде, не беспокоясь по поводу того, что одна область причинно влияет на другую, и это возможно, поскольку содержимое пространства в более поздние моменты времени определит динамика.

При обсуждении динамики в теории относительности нам снова нужно идти этим путём: определить распределение вещества и показатель его изменения на пространственноподобной поверхности, которая простирается через всю интересующую нас область (в принципе, через всю Вселенную), т.е. выбрать мгновение, а затем развивать это пространственноподобие во времени (Валд (Wald (1984))). Конечно, есть огромное число различных способов,

которыми мы можем конкретизировать эту эволюцию во времени. Каждый из этих способов порождается различным выбором пространственно-временных расслоений и, следовательно, различными описаниями «многих мгновений» пространства-времени (это «многовекторное время» (Мизнер, Торн и Уиллер (Misner, Thorne and Wheeler (1973))).

Ковариация теории относительности, непосредственно проявляющаяся в нашей способности описать динамический процесс, равно правомерна во многих различных расслоениях. Однако только в самых условных динамических процессах классической или квантовой относительности мы можем дать такое явно ковариантное описание, не использующее расслоение: ²⁹ сами понятия «процесс» и «динамика» зависят от понятия, используемого вместо изменения времени, и потому не могут быть даны без обращения ко времени.

По существу, если мы хотим описать причинные или динамические процессы в данной области, мы должны разделить пространство/время, которое глобально, как минимум, в этой области. Так, например, описывая эволюцию жизни на Земле, мы можем ограничить наше расслоение окрестностями Солнечной системы и, более того, - окрестностями земной поверхности. Только когда мы имеем дело с космологией, нужно расслаивать пространство-время в целом.

Насколько свободен выбор нашего расслоения и наш набор миров? Для большого класса динамических процессов (по существу, для всех, протекающих в нашей локальной окрестности в макроскопических масштабах и при низких скоростях) локально существует объективно определенный «лучший выбор» расслоения и базиса, общего для всех членов класса: расслоение, выбранное Лоренцом, ограничивается рамками совместного движения с Землей, а базис выбирается декогеренцией. Многие другие процессы, не разделяя эти выборы, очевидно, все же представляют «лучший» выбор: в классической теории относительности это рассмотрение физики звездных атмосфер, движущихся с релятивистскими скоростями относительно нас; в квантовой физике это рассмотрение нейтронной интерферометрии с ее действительно хорошо определенными отдельными историями. Другие процессы не могут быть поняты должным образом, пока мы не увидим их описание в некотором четком базисе или расслоении. Обсудим:

- столкновение ударных волн, которое нужно рассмотреть как с точки зрения центра масс, так и с точки зрения наблюдателя, двигающегося с ударной волной;
- гравитационный коллапс (Мизнер, Торн, Уиллер (Misner, Thorne, Wheeler (1973))), где оба описания важны для понимания: с точки зрения поверхности, перемещающейся с коллапсирующей звездой, и с точки зрения далекого наблюдателя;

- двухщелевой эксперимент, в котором свет не может полностью пониматься ни как частица, ни как волна;
- некоторые алгоритмы в квантовом вычислении (Дойч, Экерт и Лупаччини (Deutsch, Ekert, и Lupacchini 1999) (на самом деле, с определенной точки зрения – любой алгоритм квантовых вычислений, поскольку квантовые компьютеры опережают классические отчасти потому, что не должны работать в фиксированном базисе).

Мораль состоит в том, что мы не должны рассматривать как конкурирующие «локальное» описание и описание «многих мгновений» классической или квантовой физики: скорее, они высвечивают различные аспекты (классической или квантовой) вселенной, и их использование будет зависеть от специфики ситуации.

10. Итог: сравнение точек зрения

Богатые аналогии между пространством-временем и интерпретацией Эверетта ясно выделены в следующей таблице:

Релятивизм	Эверетт
Вселенная может быть полностью описана как собрание мгновений и их темпоральных отношений. Такое описание произвольно и не в состоянии отразить полную структуру пространства-времени.	Вселенная может быть полностью описана как собрание (мелкозернистых) миров и их «относительных весов». Такое описание произвольно и не в состоянии отразить полную структуру мультиверса.
Мгновения – теоретические конструкции, и наши мысли не возникают в отдельные мгновения. Тем не менее, наше знакомство с дорелятивистскими теориями дает концептуальное понимание идеи «сейчас» и идеи мгновения, которое позволяет понимать, что описывается пространством-временем.	Миры - теоретические конструкции, и наши мысли не возникают в отдельных мирах. Тем не менее, наше знакомство с доквантовыми теориями дает нам концептуальное понимание идеи мира, которое позволяет понимать, что описывается квантовой теорией.
Определения только собрания мгновений без определения	Определения только собрания миров без предоставления амплитуд каждого

<p>временных отношений между ними недостаточно, чтобы говорить нам о пространстве-времени.³⁰</p> <p>Мы знаем математически, как обращаться с пространственно-временными отношениями, и у нас есть практическое понимание темпоральной длительности и изменчивости, но эти понятия философски проблематичны.</p> <p>Мы можем говорить о «моментах времени» и о числе моментов времени («следующий момент» и т.п.), но это только метафора для темпоральной длительности, которая не может быть интерпретирована буквально.</p>	<p>из них недостаточно, чтобы говорить нам о состоянии.</p> <p>Мы знаем математически, как обращаться с амплитудами, и у нас есть практическое понимание вероятности, но эти понятия философски проблематичны.</p> <p>Мы можем говорить о «числе миров», но это только метафора для «относительного веса» данного мира, который не может быть интерпретирован буквально.</p>
<p>Теория определена таким образом, что прямо нигде не ссылается на наблюдателей, но, чтобы понимать, почему Вселенная представлена такой, как мы ее воспринимаем, <i>нам</i> нужно обратиться к определенным проблемам, связанным с наблюдателем – прежде всего, понять наше восприятие течения времени.³¹</p>	<p>Теория определена таким образом, что прямо нигде не ссылается на наблюдателей, но, чтобы понимать, почему Вселенная представлена такой, как мы ее воспринимаем, <i>нам</i> нужно обратиться к определенным проблемам, связанным с наблюдателем – прежде всего, нам нужно понять наше восприятие вероятности.</p>
<p>В каждодневных обстоятельствах существует естественный выбор пространственно-временных расщеплений.</p> <p>Детали этого расщепления произвольны как в случае исследования близких, так и относительно удаленных пространственных областей.</p> <p>При описании динамики системы в общем случае нам необходимо дать</p>	<p>В каждодневных обстоятельствах существует естественный выбор базиса.</p> <p>Детали этого базиса произвольны как в случае исследования близких, так и относительно удаленных пространственных областей.</p> <p>При описании динамики системы в общем случае нам необходимо дать</p>

<p>описание в терминах некоторого выбранного расщепления (т.е. мгновений).</p> <p>Для некоторых процессов (таких, как, например, заседание Совета директоров или динамика Солнечной Системы) существует приблизительно определенный «лучший» выбор расщепления; для других (как, например, гравитационный коллапс) различные выборы могут дать различные понимания процессов.</p>	<p>описание в терминах некоторого выбранного базиса (т.е. миров).</p> <p>Для некоторых процессов (таких, как, например, нейтронная интерферометрия, или эксперимент с котом Шредингера, или (возможно) создание ощущения контрафактуальных причин^{**}) существует приблизительно определенный «лучший» выбор миров; для других (как например квантовые вычисления) различные выборы могут дать различные понимания процессов.</p>
<p>Не существует никакого фундаментального понятия постоянства объекта во времени; все, что мы имеем - структурные сходства между областями пространства в различные моменты времени.³²</p> <p>Однако в определенных ситуациях из этих структурных деталей возможно восстановить (прагматическое, приблизительно определенное) понятие постоянства объектов.³²</p>	<p>Не существует никакого фундаментального понятия постоянства миров во времени; все, что мы имеем - структурные сходства между частями состояния в различные моменты времени.</p> <p>Однако в определенных ситуациях из этих структурных деталей возможно восстановить (прагматическое, приблизительно определенное) понятие постоянства миров.</p>
<p>Мы можем описать классическое пространство-время как сеть событий, связанных пространственно-временными отношениями.</p> <p>Описываем ли мы пространство-время в терминах многих глобальных мгновений или в терминах более локализованных событий, мы в значительной мере используем наше интуитивное понятие локальной пространственной области - не в</p>	<p>Мы можем описать квантовое пространство-время как сеть событий, связанных пространственно-временными и вероятностными отношениями.</p> <p>Описываем ли мы квантовый универс в терминах многих глобальных миров или в терминах более локализованных событий, мы непременно используем наше интуитивное понятие локальной и количественно-определенной (для некоторых наблюдаемых величин)</p>

<p>математической формулировке теории, но в получении концептуального понимания пространства-времени и осознания нашего собственного места в нём.</p>	<p>пространственной области - не в математической формулировке теории, но в получении концептуального понимания квантового универса и осознания нашего собственного места в нём.</p>
---	--

11. Заключение

Реальны ли миры? Да, в том же смысле, как реальны мгновения времени: они могут не присутствовать непосредственно в формализме, но пока мы не ввели это понятие, мы можем лишь с трудом понять, что говорит нам формализм, и без использования этого понятия невозможно раскрыть важные причинно-следственные свойства мира. Более того, описание в терминах миров (или мгновений времени) не является *неполным*, ибо мы можем восстановить из него универсальное состояние; мы только жалуемся, что это несколько произвольно.

Действительно ли реальны последовательные истории, и миры, которые сохраняются во времени? Да, в том смысле, в каком реальны реки, или животные, или постоянные объекты: подобно мирам или мгновениям, они непосредственно не присутствуют в формализме, и, в отличие от миров или мгновений, они только приблизительно определяемы, но это не причина, почему нельзя считать их законными объектами или не использовать в наших объяснениях (больше того, мы должны быть способны описать зоологию любым практическим или объяснительным методом, используя только язык квантовой теории поля).

Мы, несомненно, лучше воспринимаем пространство-время Минковского, чем универсальное состояние. Отчасти это может быть связано с тем, что мы работали с этим понятием в физике дольше, но важнее то, что мы долго использовали идею о том, что в определенном смысле существует повторяющееся время – нововведение теории относительности заключается в унификации этих мгновений в целом и в идентификации мгновений, как вторичных понятий. Эверетт призывает нас сделать сразу два шага: признать, что существует много миров³³, а затем соединить их в целое и принять, что миры только вторичны. Ясно, что это важный концептуальный скачок; однако, если мы хотим принять существование многих миров и при этом согласны сделать шаг от многих времен к пространству-времени, то нет никакой причины избегать подобного шага в случае квантовой теории.

Благодарности.

Я очень благодарен за подробные обсуждения, предложения и комментарии к этой работе Ханнаху Барлоу (Hannah Barlow), Кэтрин Брединг (Katherine Brading), Гарвею Брауну (Harvey Brown), Джереми Баттерфилду (Jeremy Butterfield), Крис Фуку (Chris Fuchs), Клер Хорсман (Clare Horsman), Льву Вайдману (Lev Vaidman), и, особенно, Саймону Сондерсу (Simon Saunders), работа которого по Эверетту оказала большое влияние на эту статью. Я также благодарен Дэвиду Дойчу (David Deutsch) за многочисленные обсуждения интерпретации Эверетта.

Примечания

¹ См. Барретт (Barrett (1999)) с более детальным изложением этой критики.

² В любом случае, конечно, мы должны объяснить, как понимать вероятность. Но эта проблема лежит вне предмета рассмотрения данной статьи.

³ Возникающая здесь проблема (по крайней мере, частично) состоит в том, что делать в отсутствие критерия, посредством которого мы могли бы индивидуализировать миры и идентифицировать их изменения во времени, или, другими словами, как обеспечить единственность, если это оказывается обязательным. Сондерс (Saunders(2000a)) и Таппенден (Tappenden (2000a, 2000b)) утверждают, что в таком критерии нет необходимости, и эта точка зрения будет принята здесь. (Однако, для последующего обсуждения см. Барретт (Barrett (1999)) и Баттерфилд (Butterfield (1996)), которые имеют иную точку зрения).

⁴ “Обычное пространство является гладким три-многообразием с гладким симметричным два-тензором g , который единственным образом объединяет метрически-совместимые симметричные связи, имеющие нулевую голономию...”.

⁵ Это обсуждение основано на материалах, взятых из работы Деннетта (Dennett (1991b)).

⁶ Это совсем не новый взгляд; например, подобную точку зрения рассматривал Эйнштейн (сообщено Гейзенбергом (Heisenberg (1971, pages 63 -64))): Крайне ошибочно пытаться построить теорию только на наблюдаемых величинах. В действительности случаются прямо противоположные результаты. Это теория решает, что мы можем наблюдать. Нужно понимать,

что наблюдение – очень сложный процесс. Наблюдаемый феномен порождается в определенном смысле нашим измерительным прибором.

В результате, дальнейшие процессы происходят в аппаратуре, которая, в конечном счете, сложным образом воздействует на чувства и помогает нам зафиксировать эффекты в нашем сознании. И по всему этому пути - от явления до его фиксации в нашем сознании - мы должны быть способны сказать, как функционирует природа, должны знать законы природы как минимум в практических понятиях, прежде чем сможем утверждать, что наблюдали что-либо вообще. Только теория, то есть знание законов природы, позволяет нам вывести основные явления из наших ощущений. Когда мы утверждаем, что можем наблюдать нечто новое, в действительности мы должны говорить, что, хотя мы собираемся сформулировать новые законы природы, которые не соответствуют старым, мы, тем не менее, полагаем, что существующие законы – в целом описывающие путь от явления к нашей познавательной способности – работают на этом пути так, что мы можем доверять им и, следовательно, говорить о «наблюдении».

7 Читатель, если пожелает, может интерпретировать сказанное в том смысле, что модели существующей теории должны быть приблизительно изоморфны частям моделей новой теории.

8 Всюду в этой статье «пространство-время» означает пространство-время Минковского, хотя большая часть того, что я должен сказать, относится к любому релятивистскому пространству-времени. Тем не менее, даже тогда, когда будет обсуждаться квантовая теория поля, пространственно-временная метрика будет считаться фиксированной и классической: квантовая гравитация обсуждаться не будет.

9 Я расцениваю этот пункт как неопровержимый. Я не утверждаю, что эта конечная протяженность (как объект зависимого взаимоотношения, *supervenience*) наших мыслей является последовательностью «кажущихся реальными текущих мгновений» – было бы хорошо, если бы «конечный промежуток времени» этих процессов оказался измеряемым в наносекундах – но если мы хотим придерживаться хоть какого-то вида представлений о функциональности мозга, тогда мы должны разобраться с конечной длительностью.

Учитывая наше ограниченное понимание природы сознания, я считаю возможным предположить, что наши мысли фактически порождаются мгновенными состояниями мозга, а не какими-то процессами. Но это кажется очень неправдоподобным: все-таки мозг имеет отличную от нуля пространственную протяженность и, таким образом, объекты зависимого взаимоотношения (*supervenience*) должны были бы быть специфическими трехлепестковыми объектами мировой линии мозга. Трудно представить

правдоподобный метод для точного предписания того, какой слой выбрать – в конечном счете, любой метод, основанный, скажем, на ограничениях Лоренца, должен будет сделать произвольный выбор именно того, что мы определили как мозг, и в любом случае окажется трудно мотивировать такое точное правило.

Может быть, правдоподобнее это делать для объектов зависимого взаимоотношения (supervenience), которые определены только приблизительно, в этом случае они вполне могли бы быть состояниями мозга – в конце концов, невропатологи прекрасно говорят о «текущем состоянии мозга», не волнуясь о трудностях определения точного выбора гиперповерхности одновременности, которую они желают использовать, – но в определенном смысле мы все ещё опирались бы на многомгновенность в целом. Если же мы хотим защитить требование зависимого взаимоотношения (supervenience) на мгновении, то потребуются существенный метафизический пакет – такой, какой развивал Барбур (Barbour (1999)).

10 Причина для различения «незапущенного счетчика» и «счетчика, пока не запущенного» (так же для кота и ампулы с ядом), несколько педантична: будучи макроскопическими системами, эти объекты неизбежно некоторым образом эволюционируют через какое-то время (кошка усвоит пищу, например). Строго говоря, это не совсем корректно даже с точки зрения этих макроскопических объектов, как чистых состояний: на самом деле они будут значительно перепутаны и с окружающей средой и друг с другом.

11 Есть также немного более тонкая проблема с этим выбором: будучи обобщённым на теорию поля, «позиционный» базис становится базисом определенных полевых конфигураций. Но такой базис не в состоянии описать макроскопические объекты должным образом, поскольку они составлены из частиц, которые являются определенными суперпозициями полевой конфигурации собственных состояний. Выбор базиса определенных локализаций частицы в квантовой теории поля также проблематичен (Сондерс (Saunders (1992))), поскольку (i) понятие локализации является только приблизительным для релятивистских частиц; (ii) то, какие состояния описывают частицы при перенормировке масс, зависит от энергии, в которой мы их наблюдаем; (iii) в общих пространственно-временных моделях базис частицы не может быть точно определен даже для свободных квантовых полей.

12 В пользу такой идентификации ранее привел доводы Дональд (Donald (1997)):

«В пределах того, насколько *идентичен* набор восприятий, я связал бы их с одним и тем же разумом». [Курсив Дональда]

¹³ Фактически, эта точка зрения проповедуется модальными реалистами, такими как Льюис (Lewis (1986)).

¹⁴ В случае, если это не очевидно, рассмотрите связи, скрепляющие молекулы мозга: каждая состоит из различных электронов в чрезвычайно делокализованных состояниях. Таким образом, локализация электрона является для данной пары атомов суперпозицией связанного и не связанного состояний. Вероятно, разрушение существенной доли связей в каждой сложной молекуле мозга не является единственным вредным эффектом определения конфигурации базисного состояния. Но именно с этого всё и началось бы.

¹⁵ Более того, возможно, что это является до некоторой степени антропоцентристским ограничением: для функциональных систем, подобных нам, невозможно подготовить подсистемы в состояниях, не принадлежащих базису. Но остается бездоказательным то, что другие, сильно отличные от нас системы, стояли бы перед тем же самым ограничением. Я благодарен Саймону Сондерсу за эту мысль.

¹⁶ Можно было бы утверждать, что Барбур (Barbour (1999)) требует обоих: его метафизика (по причинам, связанным с релятивизмом пространства-времени и квантовой гравитацией), включает и предпочтительное расслоение, и выбор конфигурационного пространства, как предпочтительного базиса.

¹⁷ Если у нас есть два разложения идентичности $\{\hat{Q}_i\}$ и $\{\hat{P}_j\}$, то последний является дроблением первого, если каждый \hat{Q}_i есть сумма некоторых \hat{P}_j .

¹⁸ Действительно, на практике мы часто используем дискретное время вместо того, чтобы использовать континуум.

¹⁹ См. Дойч (Deutsch (1997)) и Деннетт (Dennett (1991a)) для дальнейшего обсуждения этой проблемы.

²⁰ Идея расщепления миров неизбежно приводит к идее многозначного критерия для идентификации времени как для миров, так и для макроскопических объектов в этих мирах. Хотя на такие критерии есть возражения, особенно в отношении интерпретации вероятности (см., напр., Барретт (Barrett (1999))), они были обсуждены подробно в другом месте (в особенности Сондерсом (Saunders (1998)) и Таппенденом (Tappenden (2000b))) и не будут обсуждаться здесь далее.

²¹ Если нас интересуют вопросы связи мышления и материи, то, может быть, и хорошо, что ментальные сущности порождаются именно процессами, а не состояниями. В этом случае мы могли бы рассматривать крупнозернистые последовательности.

²² Как показал Мермин (Mermin (1998)), мы можем дать очень хорошее описание этого уровня в терминах локальных событий и корреляций между ними: всякое данное разложение системы на подсистемы и осознание корреляций между наблюдаемыми в подсистемах, дают нам достаточно информации для восстановления состояния.

²³ Альберт и Лёвер (Albert and Loewer (1988)), хотя они тоже защищают многоАзумную теорию, отличаются от Локвуда и Дональда тем, что добавляют специальную дополнительную структуру в форме континуального сознания.

²⁴ Сравните с Локвудом (Lockwood (1996b)):

Я рассматриваю как реальный факт то, что кошки или (что более спорно) креветки, могут быть разумны. Таким образом, как я вижу, это не вопрос о том, как мы даем определение нашим словам, но, скорее, о том, «что есть общего» у кошек или креветок.

[. . .]

Если действительно правильная теория сознания состоит в том, чтобы включать минимум бескомпромиссных – «все или ничего» – вопросов (напр. Деннетт (Dennett (1996)):

кажется, особенности [животного сознания], которые мы рассмотрели, делают их появление не только постепенным, но и в несинхронизированных, непоследовательных и фрагментарных формах, как в эволюционной истории, так и в развитии индивидуальных организмов.

Подход Деннета по-видимому, дал бы импульс развитию теории Локвуда.

²⁵ Сравните Дональд (Donald (1997)):

[. . .] надлежащая задача анализа квантовой теории состоит в том, чтобы дать точное определение возможных физических проявлений наблюдателя.

²⁶ Определение этих пространственно-временных отношений крайне важно: без них у нас нет никакого способа отличить друг от друга нумерологически различные, но идентичные события (такие, как две идентичных вспышки света

в различных местах). В этом (скорее Лейбницеvском) смысле событие - действительно глобальное понятие — чтобы конкретизировать его, нам нужно конкретизировать его отношения со всеми другими событиями.

²⁷ Тонкости определения пространственно и темпорально протяженных событий были осознаны Эйнштейном (1905), который при изначальном обсуждении специальной теории относительности обратил внимание на неточность, свойственную понятию одновременности двух событий, происходящих приблизительно в одном месте. Эта неточность должна быть преодолена с помощью абстракции.

Проблема обсуждается далее Сондерсом (Saunders (1997)).

²⁸ Недавняя работа Дойча и Хэйдена (Deutsch and Hayden (1999)) по Гейзенберговскому представлению в квантовых вычислениях дала некоторый намек на другой, полностью локальный, но решительно неклассический, способ понять унитарную квантовую механику, но эта работа остается в зачаточном состоянии.

²⁹ Сопоставьте столкновение двух тел, или, иными словами, свободных частиц (адекватно описанное в терминах мировых линий) с компьютерными моделями сверхновых звезд (Арнетт (Arnett 1996)), или (общеизвестный «пунктик»), теорию рассеивания асимптотически свободных релятивистских квантовых частиц с намного более тяжелым моделированием решетки, используемым для анализа невозмущенной квантовой теории поля (см. Каку (Kaku (1993)) для введения).

³⁰ Однако, для более углубленного обсуждения этой точки зрения с позиций Маха см. работы Барбура и Бертоtti (Barbour and Bertotti (1977, 1982)) и Барбура (Barbour (1999)).

³¹ Этот вопрос обсуждается подробнее в работе Штейна (Stein (1991)).

³² Похоже, что это понятие применимо к нашей концепции персональной идентичности точно также, как и к физическим объектам; см. работу Парфита (Parfit (1984)), отстаивающего это.

³³ Конечно, это не совершенно новое понятие: независимо от того, что мы можем думать о метафизическом статусе возможных миров, мы обычно именно их и описываем, когда используем нечто, не основанное на фактах.

* С этим утверждением автора трудно согласиться. Почему склейки, а речь здесь идет именно о них – Уоллес просто не знает этого термина - обязательно термодинамически редки? В современной эвретике понятие склеек

плодотворно используется в широком диапазоне вероятностей их возникновения. (Прим. ред. перевода)

✳️ ✳️ Контрафактуальные (противофактические, противоречивые) причины – термин, используемый при описании БИЭВ – бесконтактных измерений Элицура-Вайдмана. (Прим. ред. перевода)

ИСТОЧНИКИ

- Albert, D. and B. Loewer (1988). Interpreting the many worlds interpretation. *Synthese* 77, 195–213.
- Arnett, W. D. (1996). *Supernovae and nucleosyntheses: an investigation of the history of matter, from the Big Bang to the present*. Princeton: Princeton University Press.
- Barbour, J. (1999). *The end of time*. London: Weidenfeld and Nicholson.
- Barbour, J. and B. Bertotti (1977). Gravity and Inertia in a Machian framework. *Nuovo Cimento* 38B, 1–27.
- Barbour, J. and B. Bertotti (1982). Mach's principle and the structure of dynamical theories. *Proceedings of the Royal Society of London* 382, 295–306.
- Barrett, J. (1999). *The quantum mechanics of minds and worlds*. Oxford: Oxford University Press.
- Bohm, D. (1952). A suggested interpretation of quantum theory in terms of "hidden" variables. *Physical Review* 85, 166–193.
- Butterfield, J. (1996). Whither the minds? *British Journal for the Philosophy of Science* 47, 200–221.
- Dennett, D. (1991a). Real patterns. *Journal of Philosophy* 87, 27–51. Reprinted in *Brainchildren*, D. Dennett, Penguin, 1998, pp. 95–120.
- Dennett, D. (1996). *Kinds of Minds: towards an understanding of consciousness*. London: Phoenix.
- Dennett, D. C. (1991b). *Consciousness Explained*. London: Penguin.
- Deutsch, D. (1985). Quantum Theory as a Universal Physical Theory. *International Journal of Theoretical Physics* 24(1), 1–41.
- Deutsch, D. (1997). *The Fabric of Reality*. London: Penguin.
- Deutsch, D., A. Ekert, and R. Lupacchini (1999). Machines, Logic and Quantum Physics. Available at <http://www.arxiv.org/abs/math.HO/9911150>.
- Deutsch, D. and P. Hayden (1999). Information Flow in Entangled Quantum Systems. Available at <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/9906007>.
- DeWitt, B. (1970). Quantum Mechanics and Reality. *Physics Today* 23(9), 30–35. Reprinted in (DeWitt and Graham 1973).
- DeWitt, B. and N. Graham (Eds.) (1973). *The many-worlds interpretation of quantum mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- Donald, M. (1995). A Mathematical Characterisation of the Physical Structure

- of Observers. *Foundations of Physics* 25, 529–571.
- Donald, M. (1997). On Many-Minds Interpretations of Quantum Theory. Available at <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/9703008>.
- Donald, M. (1999). Progress in a Many-Minds interpretation of quantum theory. Available at <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/9904001>.
- Einstein, A. (1905). Zur elektrodynamik bewegter k.orper. *Annalen der Physik*, 891–921. Translated in *The Collected Papers of Albert Einstein*, volume 2, J. Stachel (Ed.), Princeton, 1989.
- Everett III, H. (1957). Relative State Formulation of Quantum Mechanics. *Review of Modern Physics* 29, 454–462. Reprinted in (DeWitt and Graham 1973).
- Gell-Mann, M. and J. B. Hartle (1990). Quantum Mechanics in the light of Quantum Cosmology. In W. Zurek (Ed.), *Complexity, Entropy and the Physics of Information*, pp. 425–459. Redwood City, California: Addison-Wesley.
- Ghirardi, G., A. Rimini, and T. Weber (1986). Unified dynamics for micro and macro systems. *Physical Review D* 34, 470.
- Griffiths, R. (1984). Consistent Histories and the Interpretation of Quantum Mechanics. *Journal of Statistical Physics* 36, 219–272.
- Haag, R. (1996). *Local Quantum Theory: Fields, Particles, Algebras*. Berlin: Springer-Verlag.
- Halliwell, J. J. (1993). Aspects of the Decoherent Histories approach to quantum mechanics. In L. Di.osi and B. Luk.acs (Eds.), *Stochastic Evolution of Quantum States in Open Systems and in Measurement Processes*, pp. 54–68. Singapore: World Scientific.
- Heisenberg, W. (1971). *Physics and beyond: Encounters and Conversations*. New York: Harper & Row. Translated by A. J. Pomerans.
- Holland, P. (1993). *The Quantum Theory of Motion*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kaku, M. (1993). *Quantum Field Theory: a Modern Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Kent, A. (1998). Quantum Histories. *Physica Scripta T76*, 78–84. Available at <http://www.arxiv.org/abs/gr-qc/9809026>.
- Ladyman, J. (1998). What is Structural Realism. *Studies in the History and Philosophy of Science* 29, 409–424.
- Lewis, D. (1986). *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Basil Blackwell.
- Lockwood, M. (1989). *Mind, Brain and the Quantum: the compound 'I'*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Lockwood, M. (1996a). 'Many Minds' Interpretations of Quantum Mechanics. *British Journal for the Philosophy of Science* 47, 159–188.
- Lockwood, M. (1996b). 'Many Minds' Interpretations of Quantum Mechanics: Replies to Replies. *British Journal for the Philosophy of Science* 47, 445–461.

- Mermin, N. D. (1998). What is quantum mechanics trying to tell us? *American Journal of Physics* 66, 753–767.
- Misner, C. W., K. S. Thorne, and J. A. Wheeler (1973). *Gravitation*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Page, D. N. and W. K. Wootters (1983). Evolution without Evolution: Dynamics described by Stationary Observables. *Physical Review D* 27, 2885–2892.
- Parfit, D. (1984). *Reasons and Persons*. Oxford: Oxford University Press.
- Pearle, P. (1989). Combining stochastic dynamical state-vector reduction with spontaneous localization. *Physical Review A* 39(5), 2277–2289.
- Psillos, S. (1995). Is Structural Realism the Best of Both Worlds? *Dialectica* 49, 15–46.
- Quine, W. v. O. (1966). Posits and reality. In *The Ways of Paradox and other essays*, pp. 246–254. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Saunders, S. (1992). Locality, Complex Numbers and Relativistic Quantum Theory. *Philosophy of Science Association 1992* 1, 365–380.
- Saunders, S. (1993). Decoherence, Relative States, and Evolutionary Adaptation. *Foundations of Physics* 23, 1553–1585.
- Saunders, S. (1995). Time, Decoherence and Quantum Mechanics. *Synthese* 102, 235–266.
- Saunders, S. (1996a). Comment on Lockwood. *British Journal for the Philosophy of Science* 47, 241–248.
- Saunders, S. (1996b). Time, Quantum Mechanics and Tense. *Synthese* 107, 19–53.
- Saunders, S. (1997). Naturalizing Metaphysics. *The Monist* 80(1), 44–69.
- Saunders, S. (1998). Time, Quantum Mechanics, and Probability. *Synthese* 114, 373–404.
- Stein, H. (1991). On relativity theory and openness of the future. *Philosophy of Science* 58, 147–167.
- Tappenden, P. (2000a). Everett, Deutsch, doppelgangers and superposition. Forthcoming.
- Tappenden, P. (2000b). Identity and Probability in Everett’s multiverse. *British Journal for the Philosophy of Science*, 99–114.
- Vaidman, L. (1998). On Schizophrenic Experiences of the Neutron or Why We Should Believe in the Many-Worlds Interpretation of Quantum Theory. *International Studies in Philosophy of Science* 12, 245–261. Available at <http://www.arxiv.org/abs/quant-ph/9609006>.
- Wald, R. M. (1984). *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press.
- Worrall, J. (1989). Structural Realism: the Best of Both Worlds. *Dialectica* 43, 99–124. Reprinted in *The Philosophy of Science*, D. Papineau (Ed.), Oxford University Press, 1996, pp. 139–165.
- Zurek, W. H. (1991). Decoherence and the Transition from Quantum to Classical. *Physics Today*, 36–44.

Перевод Александра Башкатова, МГТУ им.Н.Э.Баумана.
Редакторы перевода Ю.А.Лебедев и П.Р.Амнуэль.

Поступила 31.03.10 г.