

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2005 году исполняется 100 лет с того момента, когда была написана важнейшая статья Эйнштейна по основаниям квантовой механики, в которой он ввел понятие фотона. В связи с этим ЮНЕСКО объявило 2005 год годом физики. Интерес к квантовой механике сейчас чрезвычайно высок, причем не только среди специалистов, но и в широкой публике. Сама квантовая механика находится в стадии очень быстрого развития и в связи с новыми ее приложениями в технике, и в связи с углублением интереса к концептуальным проблемам этой науки. Интерес в значительной степени подогревается тем, что эти знаменитые концептуальные проблемы, или парадоксы квантовой механики, по-видимому, напрямую связаны со странными и до сих пор необъясненными феноменами, происходящими в человеческом сознании.

Вот об этом и пойдет речь в этой книге: начиная с того, как родилась эта странная квантовая механика, и кончая тем, как она может «объяснить» странные возможности, тающиеся в сознании. Сначала — о том, как Человек познал Квантовый Мир, потом — о том, как особенности Квантового Мира помогают познать самого Человека, да и вообще Феномен Жизни.

Несмотря на то, что мною в последние годы опубликовано несколько книг и статей по квантовой механике, в том чис-

ле некоторые — по общим вопросам квантовой механики, было трудно решиться писать на эту тему книгу, рассчитанную на более широкий круг читателей. Нелегко было также выбрать уровень изложения в такой книге. Объективная трудность этого проекта состоит в том, чтобы свести к минимуму использование математического формализма, не переходя все же к чисто беллетристическому стилю изложения.

В конце концов был выбран такой подход, при котором в первых, в разных частях книги уровень «математизации» выбирается по-разному, а во вторых, эти части в значительной степени независимы друг от друга. В результате читатель может опустить материал, который покажется для него слишком трудным. В частности, читатели с «гуманитарными» наклонностями могут опустить часть I и сразу перейти к части II. При этом они не будут полностью освобождены от математики, однако математика будет сведена к минимуму. Если смириться с некоторыми логическими пробелами, то можно даже читать часть II, начиная с главы 5 и попытаться познакомиться с идеями «квантового сознания», при этом практически полностью обойдя математический формализм.

На самом деле, конечно, глубокое понимание даже чисто «гуманитарных» или, точнее, концептуальных аспектов квантовой механики, требует математики. Если не использовать математические формулы, то можно назвать проблемы, но нельзя сделать ясным их реальное содержание. Поэтому тому, кто интересуется этими проблемами всерьез, можно порекомендовать все же разобраться (пусть не при первом, а при втором чтении) в тех простых формулах, которые имеются в части II. Надеюсь, что те трудности, которые должен преодолеть при этом читатель-непрофессионал, окупятся тем, что он познакомится с одним из самых интригующих вопросов в науке, который, по словам Вигнера, «возможно, является самым фундаментальным вопросом из всех».

М.Б.Менский
Москва, июль 2005

**Предисловие главного редактора
журнала «Успехи физических наук»
академика В. Л. Гинзбурга
к статье М. Б. Менского
«Концепция сознания
в контексте квантовой механики»
УФН, № 4, 2005**

При советской власти лишь диалектический материализм считался научной философией. Поэтому в условиях существования цензуры было фактически невозможно публиковать статьи, в которых высказывались и защищались взгляды, отличные от декларируемых философами-марксистами. Между тем в демократических странах такие взгляды широко обсуждались и обсуждаются. Если говорить о физике, то сказанное особенно относится к обсуждению методологических вопросов, связанных с квантовой механикой. В современной России, где объявлена свобода слова и нет цензуры, положение радикально изменилось. Поэтому редакция УФН с целью вернуть сообщество российских физиков к обсуждению актуальных вопросов квантовой физики (достаточно упомянуть хотя бы о внимании к квантовым компьютерам) опубликовала статью М. Б. Менского [1]. Затем появился целый ряд писем на эту тему [2], которые даже не рецензировались, чтобы дать возможность отразить различные взгляды на квантовую механику, в том числе взгляды, с которыми многие члены редколлегии (в частности, и я) совершенно не согласны. После этого были опубликованы также некоторые другие заметки на ту же тему [3, 4] и в тех же условиях. Наконец, ниже публикуется большая новая статья М. Б. Менского, посвященная

интерпретации квантовой механики, причем внимание сконцентрировано на возможной, по мнению автора (и не только его), связи квантовой теории измерений с сознанием наблюдателя. Ниже я еще сделаю на этот счет замечания по существу. Сейчас же подчеркну, что статья М.Б. Менского публикуется здесь в известной мере в порядке исключения. Дело в том, что УФН это журнал, предназначенный для освещения успехов в области физики и близких научных направлений. Разумеется, эта линия не может быть строго проведена, мы печатаем иногда также методические заметки и другие материалы. Но мы не можем и не будем широко предоставлять наши страницы для обсуждения философских проблем и, в частности, связи квантовой теории с теорией познания, психологией и т. д. Кстати, и сам М. Б. Менский развивает эту тему в другом месте [5].

Позволю себе теперь, как уже было упомянуто выше, сделать замечание по существу вопросов, обсуждаемых М. Б. Менским. Как известно, идеализм и, в частности, солипсизм нельзя опровергнуть чисто логическими рассуждениями, для выбора между материалистической и идеалистической точками зрения необходимо опираться еще на интуитивное суждение (усмотрение) [6]. Насколько я могу судить, позиция Вигнера, о которой М. Б. Менский пишет в начале своей статьи, это солипсизм, идеализм. Материалисты же, к которым я принадлежу, опираются на иное интуитивное суждение. В конкретном плане не понимаю, почему так называемая редукция волновой функции как-то связана с сознанием наблюдателя. Например, в известном дифракционном опыте электрон проходит через щели и затем на экране (фотопластинке) появляется «точка», т. е. становится известно, куда попал электрон. Появление «точки» есть, очевидно, результат взаимодействия падающего электрона с материалом фотопластинки. Главная особенность квантовой механики заключается в том, что она предсказывает, вообще говоря, лишь вероятность событий. Конкретно, в дифракционном опыте кванто-

вая механика предсказывает распределение «точек» на экране или вероятность попадания электрона (т. е. появления «точки») в любое место экрана. Такая ситуация является отражением корпускулярно-волнового дуализма, т. е. того факта, что электрон (или, конечно, какая-нибудь другая микрочастица) это не «материальная точка» классической физики, движущаяся по какой-то определенной траектории. Если описывать состояние электрона после его взаимодействия с атомами в фотопластинке с помощью волновой функции, то эта функция будет, очевидно, отлична от первоначальной и, скажем, локализована в «точке» на экране. Это и называют обычно редукцией волновой функции. Разумеется, «точки» на экране наблюдатель увидит и на следующий день после осуществления опыта, и при чем здесь какая-то особая роль его сознания, мне непонятно.

Подобное толкование квантовой механики как указывающей вероятность наблюдаемых событий и есть, упрощенно говоря, ее «обычная» или, как иногда говорят, копенгагенская интерпретация (см., например, [9]). Во всяком случае, я понимаю ситуацию именно так. Однако существуют другие мнения, и вопрос об измерении в квантовой механике не элементарен и дискутируется, как это ясно уже из статьи М. Б. Менского. При этом М. Б. Менский и ряд других, безусловно квалифицированных физиков, придерживаются точки зрения, отличной от «обычной» интерпретации, что и отражено в публикуемой статье. Насколько я понимаю, это не просто солипсизм, который я усматриваю в аргументации Вигнера, а нечто более сложное. Далее, как известно, происхождение жизни и сознания еще не выяснено, проблема не решена (см., например, [10]). Поэтому просто отмахнуться от обсуждения происхождения человеческого сознания и какой-то связи этого вопроса с квантовой механикой было бы ошибкой. В такой ситуации опубликование статьи М. Б. Менского представляется оправданным и она, как можно думать, вызовет интерес. А это и нужно, ибо без дальнейшего анализа прогресс

в области интерпретации квантовой теории измерений невозможен. Может при этом оказаться, что здесь и так все ясно, например, «обычная» интерпретация окончательно победит. Такое заключение также явилось бы успехом. Разумеется, если в обсуждаемой области будут получены достаточно убедительные новые результаты, они найдут отражение и в УФН.

В. Л. Гинзбург

Список литературы

1. Менский М. Б. УФН **170** 631 (2000).
2. Менский М. Б. УФН **171** 459 (2001).
3. Белинский А. В. УФН **173** 905 (2003).
4. Попов М. А. УФН **173** 1382 (2003).
5. Менский М. Б. Вопросы философии (6) 64 (2004).
6. Фейнберг Е. Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. 3-е изд. (Фрязино: «Век 2», 2004).
7. Ландау Л. Д. Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория (М.: Наука. 1989).
8. Кадомцев Б. Б. УФН **173** 1221 (2003); Динамика и информация (М.: Ред. журн. «УФН», 1999).
9. Bohr A, Motte1son V. R., Ulfbeck O. Phys. Today 57 (10) 15 (2004).
10. Гинзбург В. Л. О науке, о себе и о других. 3-е изд. (М.: Физматлит. 2003) с. 56.

Прежде, чем начать систематическое обсуждение такого сложного предмета, каким является предмет этой книги, мы, по возможности кратко, во-первых, охарактеризуем этот предмет, а во-вторых — содержание книги. Это введение должно служить путеводителем по книге. В данном случае путеводитель не кажется лишним, потому что читатель, ознакомившись с ним, сможет найти самое интересное именно для него и не тратить время и силы на то, что ему менее интересно.

0.1. О чем эта книга

О чем эта книга? Какие это отношения между Человеком и Квантовым Миром имеются в виду? Да и вообще, что такое квантовый мир и имеет ли он отношение к тому, что важно для человека?

Конечно, многие слышали, что микроскопические объекты, такие как атом, подчиняются очень странным закономерностям. Например, атом (или электрон, или протон ...) — это, конечно, частица, но в то же время — это волна. Есть люди, которым это интересно, и они хотели бы понять не только что все это значит, но и то, как Человеку (сиречь, ученым) уда-

лось понять этот странный Квантовый Мир, проникнуть в его закономерности. Это одна сторона вопроса.

Есть, однако, и вторая, еще более интригующая и интересная для более широкого круга людей. Оказывается, Квантовый Мир, его странные закономерности помогают понять, как устроен сам Человек. И если обычная всем нам известная, то есть классическая, механика может объяснить, как функционирует тело человека, его руки и ноги, то квантовая механика проливает свет на гораздо более важное и несоизмеримо более таинственное и волнующее в человеке — на его сознание.

Конечно, о сознании известно очень много. Не только потому, что его специальными методами исследуют ученые (психологи, физиологи и другие), но и потому, что каждый из нас каждую минуту использует его в обычной жизни. Да и жизнь эту мы воспринимаем только через сознание. И, несмотря на все это, никто пока не знает, что же такое сознание. Вот эта глубочайшая тайна может приоткрыться, если подойти к ней со стороны квантовой механики, имея в виду закономерности квантового мира.

Более того, понятнее могут стать не только обычные свойства сознания, с которыми знаком каждый, но и те, о которых мы с удивлением слышим время от времени, которые воспринимаем с недоверием, но которые с каждым днем все труднее отрицать.

Может ли человек не просто догадываться о будущем, но предвидеть его? Может ли он, не предпринимая никаких действий, всего лишь усилием воли направить ход событий в том или ином направлении? Может ли он силой мысли вылечить себя или своего ближнего от тяжелой болезни? Может ли он совершать чудеса? Очевидный ответ на эти и другие подобные вопросы — нет, не может. Но все чаще и все убедительнее звучит другое мнение — да, может. Все чаще такое мнение основывается на хорошо документированных фактах. Возможно, тайны квантового мира помогут объяснить, как и почему это оказывается возможным.

Итак, о чем же эта книга?

Во-первых, о том, как человек постигал секреты квантовой механики и в чем они состоят (часть I, «Квантовая механика»). Во-вторых, о том, как квантовая механика помогает человеку проникнуть в секрет его собственного сознания и в тайну жизни (часть II, «Квантовая механика и сознание»). Эти две темы существенно разнятся и рассчитаны на различные категории читателей. Поэтому части I и II можно читать независимо друг от друга.

Часть I адресована тем, кто интересуется самой квантовой механикой (ее историей и современным состоянием). Математический аппарат используется при этом минимальным образом. Даже если пропустить все встречающиеся формулы, некоторое общее представление о предмете читатель получит. Для тех же, кто хочет познакомиться с квантовой механикой на более адекватном для нее языке, написано Приложение, которое содержит некоторую выборку из математического аппарата квантовой механики, рассчитанную прежде всего на изложение квантовой теории измерений и основных идей квантовой информатики.

В отличие от этого часть II написана и для этих читателей тоже, но также и для тех «гуманитариев», которым интересны лишь вопросы духовной жизни человека. Они увидят, что самые интересные и волнующие феномены этой духовной жизни (такие, как особые состояния сознания и происходящие в этих состояниях «чудеса») на самом деле непосредственно связаны с феноменами, которые изучает квантовая механика. Феномены сознания в некотором смысле получают свое объяснение или, говоря более осторожно, некоторое подобие научного обоснования, в квантовой механике. Часть II написана таким образом, чтобы используемые в ней формулы были самыми простыми, хотя избежать их вовсе все же нельзя. Для более легкого понимания одни и те же формулы встречаются несколько раз с небольшими изменениями, но комментируются при этом с разных точек зрения, разными словами.

Квантовая механика — это, пожалуй, самая удивительная область физики. В этом плане конкурировать с ней может, видимо, лишь теория гравитации. Однако в отличие от гравитации квантовая механика имеет множество технических приложений. Современные технологии в значительной степени базируются на закономерностях квантовой механики.

Мы попытаемся, не слишком вдаваясь в технические (точнее, математические) детали, показать, в чем существенное различие между квантовой и классической механикой и почему открытие и формулировка квантовомеханических закономерностей потребовали такой длительной и напряженной работы многих блестящих исследователей.

Период возникновения квантовой механики неоднократно освещался в литературе. Об этом периоде имеется большое число книг и историко-научного, и биографического характера, в том числе написанных самими участниками событий или непосредственными свидетелями их работы. Для того, чтобы получить живое представление о том, как все это происходило, следует обратиться к этой литературе. Мы же ограничимся тем, что проследим за «историей идей», за тем, как в трудной борьбе со старыми, классическими представлениями рождались основные принципы квантовой механики. Это будет содержанием части I.

Проблемы, обсуждаемые в части II, вырастают из той части квантовой механики, которая описывает наблюдение квантовых систем и называется квантовой теорией измерений. В части II сначала дается некоторое понятие о парадоксах, связанных с квантовым измерением, потом — о попытках разрешить эти парадоксы, и наконец — о том, как из этого вырастет новая теория сознания.

Несмотря на существенный прогресс, достигнутый в квантовой теории измерений в последние десятилетия, эта теория не может считаться завершенной до сих пор. Примирение между квантовым характером измеряемой системы и чисто классическим поведением измерительного прибора (и наблю-

дателя) достигается в ней лишь на прагматическом уровне. Этого вполне достаточно для расчетов, поэтому квантовая теория измерений удовлетворяет практическим требованиям квантовой механики. Однако отношения между квантовым характером измеряемой системы и классическим характером информации о системе, доступной наблюдателю, нельзя считать до конца ясными с теоретической точки зрения.

Это проявляется в том, что именно в квантовой теории измерений наиболее отчетливо видны парадоксальные черты квантовой механики, которые порождаются контринтуитивным поведением микроскопических систем. Можно сказать, что в квантовой теории измерений концентрируются концептуальные проблемы квантовой механики. Эти проблемы обсуждаются в части II без сколько-нибудь сложного математического формализма. Упор делается на понимании сути проблем, а главное — на следствиях, которые вытекают из этого понимания.

Уже то, что квантовая механика привела к серьезному техническому прогрессу, означает, что эта область науки давно вышла из стадии становления и стала надежным рабочим инструментом. Ее законы не подвергаются сомнению, так как не обнаружено никаких экспериментальных фактов, противоречащих им. Тем более удивительно, что со времени возникновения квантовой механики она вызывала вопросы, на которые не удавалось и до сих пор не удается ответить вполне удовлетворительно. Обычно эти трудности формулируются как «проблема измерения». Общепринятого решения квантово-механической проблемы измерения не существует до сих пор.

Такое положение в науке уникально. Теория существует уже более ста лет, получила полное подтверждение и отлично работает, позволяя решать сложнейшие практические задачи. И тем не менее в ней есть концептуальные проблемы, возникшие с самого начала и не решенные до сих пор.

Вот это странное положение и является главным предметом обсуждения во второй части книги. Осветив некоторые

положения квантовой механики, отличающие ее от классической физики и ведущие в конечном счете к «проблеме измерения», мы обсудим так называемую *многомировую интерпретацию* квантовой механики, которая предложена в 1957 году Эвереттом и является наиболее перспективным направлением в поисках решения проблемы измерения.

Вывод, следующий из этого обсуждения, является еще более удивительным, чем тот путь, который к нему приводит. Оказывается, концептуальные трудности квантовой механики можно надеяться преодолеть только в том случае, если квантовая теория измерений, кроме измеряемой системы и измерительной аппаратуры, будет непосредственно включать также сознание наблюдателя (экспериментатора).

А за этим следует нечто еще более удивительное. При включении сознания наблюдателя в квантовую теорию возникает возможность по-новому взглянуть на само сознание. Хотя эту возможность нельзя считать уже реализованной, можно тем не менее проследить некоторые главные следствия, к которым может привести этот шаг.

Можно надеяться, что теория сознания, учитывающая выводы квантовой теории измерений, поможет понять необычные свойства сознания, которые проявляются, когда человек находится в особом состоянии, похожем на сон или транс, на границе между сознательным и бессознательным. Если такое понимание действительно будет достигнуто, то это приведет к непосредственному контакту между физикой и психологией и даст шанс преодолеть барьер, существующий между естественными науками и гуманитарными методами познания действительности.

0.2. Квантовая механика (часть I)

Что такое *квантовая механика*? Чем она отличается от классической? Известно, что это теория, которой подчиняются *микроскопические системы*, например, атомы. Многие зна-

ют также об одной характерной черте квантовой механики, которая запечатлелась в ее названии: согласно квантовой механике, в некоторых физических системах *энергия квантуется*, то есть может быть равна одному из некоторого predetermined дискретного множества чисел (скажем, E_1, E_2, \dots), но не может иметь никакого иного значения (например, не может иметь значение между E_1 и E_2). Множество разрешенных значений энергии называется спектром энергий данной системы.

Сказанное относится, например, к атому водорода.¹ Энергия атома водорода не может быть любой. Она может принимать лишь значения из некоторого дискретного множества. Другими словами, спектр энергий атома водорода является дискретным, состоит из отдельных изолированных точек, называемых *уровнями энергии* и обозначаемых обычно E_k (предположение Нильса Бора о дискретности «разрешенных» уровней энергии послужило отправной точкой для построения в 1913 году его квантовой модели атома). Любые значения энергии между этими точками (уровнями) запрещены. Если в каком-то процессе энергия атома водорода, например, увеличивается, то это увеличение происходит не непрерывно, а конечными порциями или квантами. Атом, находящийся на уровне E_k , получает сразу конечную энергию, равную $\Delta E = E_{k'} - E_k$, переходя при этом на другой энергетический уровень, имеющий энергию $E_{k'} = E_k + \Delta E$.

С этим связана другая особенность квантовой механики. В отличие от классической, она утверждает, что свет (то есть электромагнитное поле) состоит из отдельных неделимых порций, называемых *квантами света* или *фотонами*. Фотоны во многом похожи на элементарные частицы, но движутся всегда с одной и той же скоростью c , называемой скоростью света. Любая другая частица движется всегда со скоростью, меньшей скорости света: $v < c$. Исключением являются

¹На самом деле и к любому другому атому, но спектр атома водорода устроен наиболее просто, и мы о нем будем специально говорить.

частицы нулевой массы, такие, как нейтрино. Они, как и фотоны, движутся со скоростью света c .

При переходе с одного уровня на другой атом водорода поглощает или излучает квант света (фотон), имеющий энергию, в точности равную разности энергий между уровнями. Если энергия атома увеличилась на ΔE , то это значит, что он поглотил фотон, энергия которого равна $E_{\text{photon}} = \Delta E$. Если энергия атома уменьшается (то есть он переходит с более высокого энергетического уровня на более низкий), то атом, наоборот, излучает фотон соответствующей энергии.

Квантовая механика утверждает, что *энергия фотона жестко* связана с его *частотой* ν , а именно, $E_{\text{photon}} = h\nu$. Здесь появляется ключевая для квантовой механики величина $h = 6,59 \cdot 10^{-27}$ эрг-сек, которая называется *постоянной Планка*.² Из предыдущих формул следует, что $\nu = \Delta E/h$. Таким образом, частота света, поглощенного (или излученного) атомом, целиком определяется тем, насколько изменилась энергия атома при переходе с одного уровня на другой, то есть тем, на каком энергетическом уровне атом находился до этого события и на каком он будет находиться после него.

Косвенно с этим связана также еще одна удивительная черта квантовой механики. Свет, представлявшийся в классической физике как электромагнитная волна, оказался в квантовой физике совокупностью фотонов, подобных частицам. Но и наоборот, частицы, такие как электроны, обнаруживают свойства, характерные для волны: они *интерферируют* друг с другом и *дифрагируют* на препятствиях (то есть огибают их). Это свойство частиц дало основание в первые годы называть описывающую их теорию *волновой механикой*, и лишь впоследствии утвердилось название «квантовая механика».

²Вместо h часто используют величину $\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-27}$ эрг-сек, которая также называется константой Планка. В большинстве случаев более удобно пользоваться константой \hbar . Например, через угловую частоту фотона $\omega = 2\pi\nu$ его энергия выражается как $E_{\text{photon}} = \hbar\omega$.

В квантовой механике не только фотон, но и любая элементарная частица проявляет волновые свойства. Квантовая частица является и корпускулой, и волной, тогда как в классической физике эти два типа объектов казались взаимно исключаящими. В этом заключается *корпускулярно-волновой дуализм*, одна из ключевых черт квантовой механики. С ним неразрывно связан и широко известный *принцип неопределенности Гейзенберга*: положение частицы q и ее импульс p не могут быть одновременно точно известны. Погрешности, с которыми они могут быть известны, связаны неравенством $\Delta q \cdot \Delta p \geq \hbar/2$.

В период, когда квантовая механика возникла и делала свои первые шаги, перечисленные только что черты этой удивительной теории утверждались одна за другой. Каждая из них рождалась как предположение, которое было необходимо либо для того, чтобы объяснить известные экспериментальные факты, либо для того, чтобы связать различные части теории в логически стройное целое. Каждое из этих предположений настолько не соответствовало тому, что физики знали в момент открытия, было настолько неожиданным, что его мог сделать лишь великий ученый, обладавший незаурядной фантазией и научной смелостью. Тем не менее каждый раз обнаруживалось, что странные черты, которыми приходилось наделять материю, необходимы для объяснения экспериментальных фактов, а те предсказания, которые из них следовали, неизменно подтверждались новыми опытами.

Постепенно, усилиями многих ученых, был создан *математический аппарат квантовой механики*, центральными понятиями в котором стали пространство состояний квантовой системы (его элементами являются векторы состояния или, эквивалентно, волновые функции системы) и уравнение Шредингера, описывающее эволюцию состояния системы с течением времени.

В качестве следствий этот математический аппарат приводил к перечисленным чертам квантовой механики, но кроме

того позволял рассчитать любой процесс, в котором участвуют квантовые системы. Теория оказалась способной не только объяснить те экспериментальные факты, которые были известны к моменту ее возникновения, но и те, которые были открыты позднее. А факты эти, как правило, были сами по себе удивительны: например, сверхтекучесть (течение жидкости через капилляры без трения о стенки) или сверхпроводимость (протекание тока без сопротивления).

В наше время многие из типично квантовых явлений стали элементами технологии, привели к созданию приборов (таких, как лазеры, в том числе, полупроводниковые), которые окружают нас в повседневной жизни. Сейчас буквально на наших глазах рождается новая технология, основанная на квантовомеханических закономерностях, называемая квантовой информатикой. Квантовые компьютеры, о которых много писали, — это пример квантово-информационной технологии. Однако кроме этого есть еще квантовая криптография (возможность строить абсолютно секретные линии связи) и квантовая телепортация (пересылка состояния квантовой системы из одной точки в другую).

0.3. Квантовая теория измерений (главы 3 и 4 и приложение А)

Ввиду того, что поведение квантовых систем существенно отличается от привычного для нас поведения классических систем, связь квантовой механики с опытом сама по себе нетривиальна. Корректное описание этой связи оказалось непростой задачей и в конце концов породило отдельную ветвь квантовой механики, названную *квантовой теорией измерений*. В этой теории формулируются закономерности квантовых измерений, то есть измерений при которых сказываются квантовые эффекты, квантовые свойства систем, над которыми производятся измерения. Отличительной чертой квантовой теории измерений является то, что она позволя-

ет дать лишь *вероятностные предсказания* для исхода любого измерения, даже в том случае, если состояние измеряемой системы перед измерением известно абсолютно точно.

Квантовая теория измерений позволяет предсказать результат измерения (точнее — распределение вероятностей по различным результатам измерения), а также состояние, в котором измеряемая система окажется после измерения. Рецепты, позволяющие сделать такие предсказания для любого измерения, были сформулированы еще в 20-е годы XX века, и этим достижением здание квантовой механики было в основном завершено. Однако именно та часть этого здания, которая имела отношение к измерениям, долго еще вызывала чувство неудовлетворенности.

Прежде всего, не так-то легко было привыкнуть к вероятностному характеру предсказаний, которые дает квантовая теория измерений. В течение многих лет продолжались попытки построить теорию (так называемую теорию со *скрытыми параметрами*), которая описывала бы микроскопический мир детерминистически, то есть давала бы точные предсказания. В конце концов было доказано, что теория со скрытыми параметрами, которая бы так же правильно описывала мир, как квантовая механика, существовать не может.

Кроме того, рецепты, ведущие к предсказанию результата измерения, были феноменологическими и оставляли в стороне вопрос о том, что же «на самом деле» происходит, когда микроскопическая измеряемая система приходит в соприкосновение с измерительным прибором. Квантовая теория измерений предписывала считать измеряемую систему квантовой, а прибор — классическим. Предполагалось, что при соприкосновении с классическим прибором квантовая система перестает подчиняться обычному квантовому закону эволюции, описываемому уравнением Шредингера, а меняется скачком согласно особым предписаниям теории измерений. Этот скачок называется редукцией состояния (или коллапсом волновой функции).

Неудовлетворенность таким описанием измерения связана с тем, что прибор, хотя и является макроскопическим, однако состоит из микроскопических атомов, а значит, и сам является, хотя и очень сложной и больших размеров, но все же квантовой системой. Поэтому взаимодействие измеряемой квантовой системы с измерительным прибором должно, казалось бы, подчиняться все тем же законам квантовой механики, в том числе и уравнению Шредингера. Казалось непонятным, как при этом может возникнуть редукция состояния.

В последние десятилетия XX века произошел сдвиг в понимании того, как взаимодействие прибора с измеряемой системой может приводить к тому, что формально описывается феноменологической квантовой теорией измерений. Было показано, что при взаимодействии измеряемой системы с прибором, даже если это взаимодействие рассматривать по обычным законам квантовой механики, то есть с помощью уравнения Шредингера, измеряемая система частично теряет свои специфические квантовые свойства. Такой процесс называли декогеренцией. Если по обычным квантовомеханическим правилам (не включающим постулат редукции) описывать результат декогеренции, то предсказания получатся именно те, которые описываются феноменологической квантовой теорией измерений. Тем самым рецепты, содержащиеся в феноменологической теории, получили объяснение.³

Теория декогеренции означала существенный прогресс в понимании физической природы квантового измерения. И тем не менее, даже с учетом декогеренции квантовая теория измерений вызывала (и вызывает до сих пор) вопросы. Дело в том, что в квантовой механике с момента ее возникновения возникали *парадоксы*, которые не находили в ней своего разрешения, и все они были связаны с описанием измерений. Теория декогеренции объяснила вероятностный харак-

³Основные идеи теории декогеренции были понятны уже отцам-основателям квантовой механики, но не были в достаточной мере восприняты научной общественностью вплоть до последних десятилетий XX века.

тер предсказаний, которые дает квантовая теория измерений, но не объяснила квантово-механические парадоксы. Об этих неразрешенных вопросах квантовой теории измерений говорят обычно как о *проблеме измерения*.

Парадоксальность квантовых измерений связана с тем, что к ним неприменимо обычное классическое понимание реальности. Это было наглядно продемонстрировано *неравенствами Белла*. Они выводятся в предположении, что справедливо классическое понимание реальности, а именно: при измерении, проведенном над системой, мы получаем *информацию* о свойствах состояния этой системы, но сами эти свойства *реальны*, то есть существовали уже до измерения. Если предположить это, то для вероятностей различных результатов измерений можно вывести некоторые неравенства, названные неравенствами Белла. Однако эти неравенства опровергаются прямыми экспериментами. Это значит, что классическое понимание реальности неприменимо к квантовым (микроскопическим) системам.

Попытки решить проблему измерения привели к тому, что были предложены различные *интерпретации квантовой механики*, которые по-разному связывали между собой теорию и эксперимент. Однако проблема измерения не может считаться решенной до сих пор. При этом надежды на ее решение связаны с тем, чтобы включить сознание наблюдателя непосредственно в описание измерения.

0.4. Роль сознания в квантовом измерении (главы 5, 6 и Заключение)

Наиболее радикальная (и на наш взгляд — наиболее интересная и перспективная) попытка решения проблемы измерения — это *многомировая интерпретация* квантовой механики, предложенная в 1957 году Эвереттом. В этой интерпретации делается попытка решить концептуальные трудности

квантовой механики радикальным образом, изменив привычные взгляды на результат измерения и на понятие *реальности*.

В интерпретации Эверетта предполагается, что при измерении не происходит выбора одного из всех возможных результатов измерения и отбрасывания остальных. Все альтернативные результаты измерения, предсказываемые квантовой механикой, остаются равноправными, но каждый из них реализуется в своем классическом мире, одном из множества параллельно существующих миров (отсюда название — «многомировая интерпретация»). При этом в сознании наблюдателя возникает картина лишь одного из этих миров, или, другими словами, лишь одной из многих классических реальностей. Наблюдатель живет в одном из эвереттовских миров и непосредственно не воспринимает остальные миры. Однако в каждом из миров (в каждой из классических реальностей) живет как бы «двойник» этого наблюдателя. Правильнее сказать, что сознание наблюдателя «разделяется» между эвереттовскими мирами (классическими реальностями).

В чисто техническом плане интерпретация Эверетта ничего не добавляет к квантовой механике, рецепты предсказаний остаются старыми (потому-то это всего лишь новая интерпретация, но не новая квантовая механика). Однако в концептуальном плане эта интерпретация дает новое качество, связывая понятие классической реальности с сознанием наблюдателя и на этой основе решая концептуальные проблемы квантовой механики.

Многое указывает на то, что для решения проблемы измерения необходимо включить в теорию *сознание наблюдателя*. К этому выводу разные исследователи приходили в рамках различных концепций, но особенно естественным этот вывод оказывается в рамках многомировой интерпретации.

Подчеркнем, что хотя выбор конкретных решений проблемы измерения (скажем, интерпретации Эверетта или одного из возможных ее вариантов) содержит некоторый произвол, но общий вывод о необходимости непосредственно включить

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru