

# ЖИЗНЬ В КВАНТОВОМ МИРЕ



Квантовая механика описывает не только поведение мельчайших частиц. Ее законы действуют в телах всех размеров: в птицах, растениях и, возможно, даже в человеке

Влатко Ведрал

Стандартные учебники физики утверждают, что квантовая механика – это теория микромира. Она описывает поведение частиц – атомов и молекул, но уступает место обычной классической физике в макроскопическом масштабе. Где-то в промежутке между молекулой и, скажем, грушей находится пограничная область, где исчезают странности квантового мира и начинают действовать знакомые законы классической физики. Мнение о том, что законы квантовой механики относятся исключительно к микромиру, общепринято. Классическая же физика, включающая в себя все неклассические теории, в том числе частную и общую теории относительности Альберта Эйнштейна, имеет дело с крупномасштабными объектами.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По общему мнению, квантовая механика – теория микромира: молекул, атомов, субатомных частиц.
- Почти все физики, тем не менее, убеждены, что это относится ко всем вещам, независимо от их размера. То, что отличительные особенности скрыты, – не простой вопрос масштаба.
- Эксперименты последних нескольких лет демонстрируют квантовые эффекты в растущем числе макроскопических систем.
- Наиболее существенный квантовый эффект, перепутанность, может иметь место в больших и теплых системах, включая живые организмы, даже при том что движение молекул может ее разрушить.





Однако такое привычное разделение мира по сути дела не более чем миф. Сейчас немногие физики считают, что классическая физика обладает тем же статусом, что и квантовая; на самом деле она представляет собой полезное приближение для описания мира, который при всех пространственных масштабах является квантовым. Проявление квантовых эффектов труд-

но наблюдать в макромире, но причина этого не в размерах, а в том, как квантовые системы взаимодействуют друг с другом. До прошлого десятилетия не было экспериментальных подтверждений того, что квантовые эффекты сохраняются и в макросистемах. Сегодня же наблюдения таких эффектов превратились в рутину, поскольку они оказались гораздо более широко

распространены, чем этого можно было ожидать. Например, они могут работать в клетках нашего тела. Даже те из нас, кто посвятил свою жизнь изучению данных эффектов, стараются понять, что же они могут сообщить нам о протекании процессов в природе. Квантовое поведение с трудом доступно визуализации и конфликтует со здравым смыслом. Это заставляет нас

## НАБЛЮДАЯ ЗА НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Идея о том, что квантовая механика применима ко всем объектам во Вселенной, включая и нас, людей, может привести к ряду странных заключений. Рассмотрим вариант канонического мысленного эксперимента с котом Шредингера, предложенный в 1961 г. нобелевским лауреатом Юджином Вигнером (Eugene P. Wigner) и усложненный Дэвидом Дойчем (David Deutsch) из Оксфордского университета в 1986 г.

Предположим, что очень искусный физик-экспериментатор Алиса помещает Боба в комнату вместе с котом, радиоактивным атомом и кошачьим ядом, активирующимся, если атом распался. Присутствие в комнате человека нужно для того, чтобы с ним можно было общаться (получить ответ от кота не так-то просто). С точки зрения Алисы, атом находится как в распавшемся, так и в нераспавшемся состоянии одновременно, и, соответственно, животное одновременно и живо и мертво. Однако Боб, непосредственно наблюдающий за котом, видит его в одном определенном состоянии из двух. Алиса просовывает под дверь листок бумаги с вопросом Бобу: находится ли животное в одном определенном состоянии, и Боб отвечает: «Да».

Заметьте, что Алиса не спрашивает Боба, жив кот или мертв. Для нее это означало бы предопределение результата, или, как выражаются физики, коллапс состояния. Ее удовлетворяет то, что ее друг видит животное либо живым, либо мертвым, и она не спрашивает, каким именно.

Поскольку Алиса не допустила коллапса состояния, то с точки зрения квантовой теории передача листка бумаги под дверь – обратимое действие. Она может снова пройти все стадии эксперимента. И если ранее кот был мертв, то теперь он будет жив, яд останется в сосуде, атом окажется нераспавшимся, а Боб не будет помнить о том, что он когда-то видел мертвую тушку.

Однако один след все же остается: листок бумаги. Алиса может воспроизвести эксперимент, но она не может изменить то, что было на нем написано. А на нем было написано, что Боб ранее видел кота в определенном состоянии: либо живым, либо мертвым.

И это приводит нас к удивительному заключению. Алиса могла обратить эксперимент, поскольку, с ее точки зрения, ей удалось избежать коллапса состояния; для нее Боб был в таком же неопределимом состоянии, что и кот. Но находившийся в комнате ее друг думал, что состояние было разрушено. Он наблюдал определенный исход эксперимента, что доказывается его запиской. Таким образом, эксперимент демонстрирует два очевидно исключающих друг друга принципа. Алиса думает, что квантовая механика приложима к макроскопическим объектам: не только коты, но и Бобы могут существовать в квантовом мире. Боб же считает, что они могут быть только живыми или мертвыми.

Такой эксперимент с человеческим существом может показаться противоестественным, однако физики могут сделать практически то же самое с более простыми системами. Антон Цайлингер (Anton Zeilinger) и его коллеги из Венского университета направили фотон на большое зеркало. Если фотон отражается от него, то зеркало получает импульс отдачи, если же фотон проходит через зеркало, то оно остается неподвижным. Фотон здесь играет роль распадающегося атома – он может существовать более чем в одном состоянии. Зеркало, состоящее из миллиардов атомов, действует и как кот, и как Боб. Процесс может быть обращен повторным отражением фотона от зеркала.

Разрабатывая эти хитроумные мысленные эксперименты, Вигнер и Дойч следовали за Эрвином Шредингером, Альбертом Эйнштейном и другими теоретиками, которые призывали физиков к более глубокому пониманию квантовой механики. Однако в течение многих десятилетий большинство физиков не были особенно озабочены этими фундаментальными проблемами, т.к. они мало влияли на практические приложения теории. Однако теперь, когда такие эксперименты могут быть реально осуществлены, задача глубокого понимания квантовой механики становится все более насущной.

переосмыслить наши взгляды на Вселенную и принять новую, непривычную картину нашего мира.

**Запутанная история**

Для ученого, занимающегося квантовой теорией, классическая физика рисует черно-белое изображение многоцветного мира. Классические категории не способны отобразить мир во всем богатстве его оттенков. Отдельные частицы ведут себя согласно квантовым законам, а *en masse* – классически. Первые указания на то, что размер системы – не определяющий фактор, были выявлены в знаменитом мысленном эксперименте с так называемым котом Шредингера.

Эрвин Шредингер предложил его в 1935 г., чтобы проиллюстрировать, как микро- и макромир взаимодействуют друг с другом, исключая произвольные связи между ними. Квантовая механика говорит, что радиоактивный атом в один и тот же момент времени может существовать как расщепленный и как нерасщепленный. Если такую частицу поместить в сосуд с ядом, который становится смертелен для кота в случае, если атом распался, то животное также оказывается в неопределенном состоянии – одновременно и живым и мертвым. Неопределенность одной системы передается другой. Загадка в том, почему владелец питомца увидит его в определенном состоянии: или живым, или мертвым.

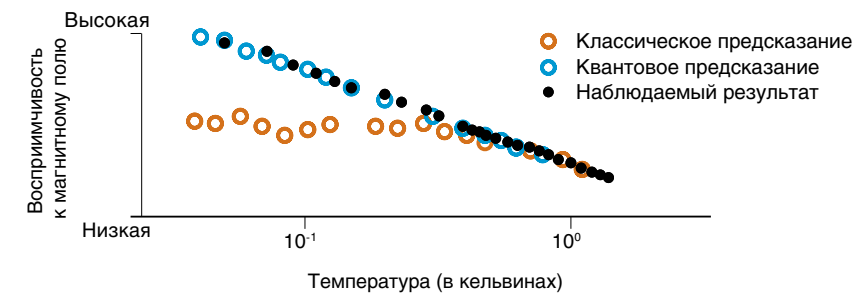
С современной точки зрения мир выглядит классическим, т.к. сложные взаимодействия квантового объекта с его окружением скрывают квантовые эффекты от нашего наблюдения. Например, информация о состоянии здоровья кота быстро распространяется в окружающей среде в форме фотонов и теплообмена. Такая утечка информации о квантовом состоянии лежит в основе процесса, известного как декогерентность, или распад суперпозиционных состояний.

Большие объекты более подвержены декогерентности, чем ма-

**КВАНТОВАЯ СОЛЬ**

Физики привыкли считать, что квантовые законы проявляются в чистом виде только на уровне отдельных частиц, а большие кластеры частиц ведут себя согласно классическим законам. Но эксперименты, выполненные в последнее время, противоречат этому представлению. Например, атомы (*точнее, векторы моментов количества движения атомов. – Прим. пер.*) в кристалле соли ориентированы хаотически (*внизу слева*), а при наложении внешнего магнитного поля выстраиваются вдоль него. Это выстраивание происходит быстрее, чем ожидается согласно предсказанию классической физики (*внизу в центре*). Очевидно, что их выстраиванию строго по направлению поля (*внизу справа*) способствует квантовое явление перепутывания – «загадочное действие», координирующее движения частиц, далеко отстоящих друг от друга. Роль перепутывания выявляется в измерениях магнитных свойств кристалла (*на графике*)

**КАК СОЛЬ ОБМАНЫВАЕТ КЛАССИЧЕСКИЕ ОЖИДАНИЯ**



лые, что объясняет, почему физики обычно рассматривают квантовую механику как теорию микромира. Однако во многих случаях утечку информации можно замедлить или даже остановить, и тогда квантовый мир проявляет себя во всем

своим блеске. Важнейший квантовый эффект – перепутанность или запутанность (*entanglement*) – термин, который Шредингер ввел в 1935 г., тогда же, когда представил миру своего кота. Он означает связывание индивидуальных частиц

SOURCE FOR GRAPH: "ENTANGLED QUANTUM STATE OF MAGNETIC DIPOLES," BY S. GHOSH ET AL., IN NATURE, VOL. 425, SEPTEMBER 4, 2003

в некоторое неразделимое целое. Классическая система всегда разделима, по крайней мере в принципе. Любые коллективные свойства, которыми она обладает, определяются свойствами ее компонентов, обладающими одинаковыми свойствами. Но связанная, или перепутанная, система не может быть разделена таким способом. Это явление приводит к странному последствием. Перепутанные частицы, даже находясь далеко друг от друга,

ведут себя как единое целое. Эту ситуацию Эйнштейн назвал «загадочным действием на расстоянии».

Обычно физики говорят о перепутывании пар элементарных частиц, таких как электроны. Их можно приближенно рассматривать как маленькие волчки, вращающиеся по часовой стрелке или против нее, с осью вращения, ориентированной произвольно: горизонтально, вертикально, под углом 45° и т.д. Чтобы опре-

делить спин частицы (в данном случае направление оси вращения. – Прим. пер.) вы должны выбрать направление и посмотреть, совпадает ли он с этим направлением.

Предположим, что электроны ведут себя как классические частицы. Вы можете сориентировать спин одного электрона горизонтально с вращением по часовой стрелке, а другого также горизонтально, но с вращением против часовой стрел-

## ПЕРЕПУТЫВАНИЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Квантовые эффекты не ограничены субатомными частицами. Они проявляются и в экспериментах с более крупными и нагретыми системами

ЧТО	КОГДА	ТЕМПЕРАТУРА	КТО
<b>Наблюдение интерференционной картины для бакиболов (фуллеренов), показывающее, что молекулы, как и элементарные частицы, ведут себя как волны</b>	1999	900-1000 К	Маркус Арндт (Markus Arndt), Антон Цайлингер (Anton Zeilinger) и др. Венский университет
<b>Проявление перепутывания для триллионов (или больше) атомов в магнитной восприимчивости карбоксилатов металлов</b>	2009	630 К	Алехандре Мартинс де Соуза (Alexandre Martins de Souza) и др. Бразильский центр физических исследований
<b>Обнаружено, что квантовые эффекты повышают фотосинтез для двух видов морских водорослей</b>	2010	294 К	Элизабета Коллини (Elisabetta Collini) и др. Торонтский университет, Университет Нового Южного Уэльса, Падуанский университет
<b>Установлен мировой рекорд наблюдения квантовых эффектов в гигантских молекулах</b>	2011	240–280 К	Стефан Герлих (Stefan Gerlich), Сандра Эйзенберггер (Sandra Eibenberger) и др. Венский университет
<b>Перепутывание трех квантовых битов в сверхпроводящей цепи – это может помочь в создании квантовых систем любого размера</b>	2010	0.1 К	Леонардо Ди Карло (Leonardo DiCarlo), Роберт Шелкопф (Robert J. Schoelkopf) и др. Йельский университет, Университет Вотерлу
<b>Упругую пластинку длиной 40 микрон (едва видимую невооруженным глазом) заставили колебаться одновременно на двух разных частотах</b>	2010	25 мК	Аарон О'Коннелл (Aaron O'Connell), Макс Хофхайнц (Max Hofheinz) и др. Калифорнийский университет в Санта-Барбаре
<b>Перепутывание в цепочках из восьми ионов кальция, удерживаемых в ионной ловушке. Сейчас это уже делается для 14 ионов</b>	2005	0,1 мК	Хартмут Хеффнер (Hartmut Haeffner), Райнер Блатт (Rainer Blatt) и др. Инсбрукский университет
<b>Перепутывание колебательных состояний (а не внутренних свойств, таких как спин) в ионах бериллия и марганца</b>	2009	0,1 мК	Джон Йост (John D. Jost), Дэвид Уайнленд (David J. Wineland) и др. Национальный институт стандартов и технологий



ки. В этом случае их полный спин (в данном случае полный момент количества движения. – Прим. пер.) равен нулю. Оси вращения электронов остаются фиксированными в пространстве, и если вы производите измерение, то его результат зависит от того, совпадает ли выбранная вами ось с осью вращения частиц. Если вы производите измерение в горизонтальном направлении, то вы видите, что они вращаются в противоположных направлениях; если вы производите измерение в вертикальном направлении, то уже не можете определить спин ни для одного из них.

Однако для квантовых электронов ситуация в корне отлична. Вы можете устроить так, что полный спин частиц будет равен нулю, даже если вы не знаете, каковы их индивидуальные спины. Если вы производите измерение с одной из частиц, то вы видите, что она произвольно меняет направление вращения, как если бы сама решала, в каком направлении ей вращаться. И, тем не менее, каю бы направление измерения вы ни выбрали, при условии, что оно одно и то же для обеих частиц, вы всегда увидите их вращающимися в противоположных направлениях – одну по часовой, а другую против часовой стрелки. И остается совершенной загадкой, как они узнают о том, как им надо поступить. Более того, если вы производите измерение с одной частицей в горизонтальном направлении, а с другой в вертикальном, то получите определенное значение спина для обеих, т.е. создается впечатление, что частицы не обладают фиксированной осью вращения. Результаты подобных измерений не могут быть поняты в рамках классической физики.

### Действуя заодно

В большинстве экспериментов, демонстрирующих явление перепутывания, участвует сравнительно небольшое число частиц. Большие коллективы частиц труднее изолировать от окружающей среды, и их участники получают возможность

перепутываться с чужими частицами, что скрывает их первоначальные связи. На языке декогерентности это означает, что слишком много информации утекает в окружение системы, и она начинает вести себя как классическая. Трудность сохранения первоначальных связей представляет собой главный вызов тем из нас, кто хотел бы использовать эти новые явления в практических целях, например для создания квантовых компьютеров. Выполненный в 2003 г. изящный эксперимент показал, что перепутывание может сохраняться и в более крупных системах, если удастся противодействовать утечке информации. Габриэль Эппли (Gabriel Aeppli) с коллегами из Университетского колледжа Лондона взяли кусочек фторида лития и поместили его во внешнее магнитное поле. Атомы этой соли можно рассматривать как маленькие вращающиеся магниты, которые стремятся выстроиться вдоль внешнего магнитного поля; данное их свойство известно как магнитная восприимчивость. Силы, с которыми атомы воздействуют друг на друга, заставляют их выстраиваться быстрее. Исследуя восприимчивость соли в зависимости от силы магнитного поля, авторы нашли, что атомы отвечали на изменение поля значительно быстрее, чем это следовало из рассчитанной силы их магнитного взаимодействия. Было очевидно, что существует некоторый дополнительный эффект, помогающий атомам действовать в унисон, и исследователи предположили, что перепутывание ответственно за это. Если это так, то 1020 атомов соли существовали в огромном едином перепутанном состоянии.

Чтобы избежать помех от хаотического теплового движения атомов, команда Эппли проводила эксперименты при крайне низких температурах в несколько милликельвинов. Однако затем Александре Мартинс де Соуза (Alexandre Martins de Sousa) с сотрудниками из Бразильского центра физических исследований

в Рио-де-Жанейро обнаружили явление макроскопического перепутывания в веществах, таких как углекислая медь, при температуре выше комнатной. В этих веществах взаимодействие между спинами частиц столь сильно, что способно противостоять тепловому хаосу. В других случаях тепловые эффекты удается подавить внешней силой. Физики наблюдали перепутывание в системах все больших размеров и при все более высоких температурах, от ионов, захваченных в электромагнитной ловушке, до сверхпроводящих квантовых ячеек памяти.

Такие системы подобны коту Шредингера. Рассмотрим атом железа. Его электроны могут находиться вблизи ядра или вдали от него, или и там и там одновременно. Этот электрон аналогичен радиоактивному атому, который может быть в одно и то же время в двух состояниях в мысленном эксперименте Шредингера. Вне зависимости от того, как ведет себя электрон, весь атом может двигаться, скажем, влево или вправо. Такая частица играет роль мертвого или живого кота. Используя лазер для управления атомом, физики могут связать два свойства. Если электрон находится вблизи ядра, мы можем заставить атом двигаться влево, а если вдали от него – вправо. Таким образом, состояние электрона связано с движением атома, подобно тому как от радиоактивного распада зависит, жив или мертв кот, только вместо пушистого млекопитающего – атом, который может одновременно двигаться влево и вправо.

В других экспериментах эта базовая идея распространяется на более крупные системы, когда состояния огромного числа атомов оказываются перепутанными, и система в целом оказывается в состоянии, непредставимом в рамках классической физики. И если можно осуществить перепутывание состояний в нагретых твердых телах большого размера, то естественно воз-



## ОБ АВТОРЕ

**Влатко Ведрал (Vlatko Vedral)** создал себе имя в науке разработкой новых способов квантования перепутывания и приложения их к макроскопическим физическим системам. Он окончил Королевский колледж в Лондоне и получил там ученую степень. С июня 2009 г. он находится в перепутанном состоянии должностей профессора Оксфордского университета и Национального университета Сингапура. Помимо физики Ведрал с удовольствием занимается со своими тремя детьми и увлекается игрой на электрогитаре.

никает вопрос, возможно ли это в таких больших и теплых системах особого типа, как живая ткань.

## Птицы Шредингера

Маленькие трудолюбивые птички, европейские малиновки, каждый год совершают перелет из Скандинавии к теплым равнинам Экваториальной Африки, а весной возвращаются обратно. И совершают они это путешествие в 13 тыс. км совершенно естественно и просто.

Людей издавна интересовала загадка, обладают ли птицы и другие животные встроенным компасом. Вольфганг и Росвита Вильчко (Wolfgang Wiltschko, Roswitha Wiltschko), супружеская пара из Франкфуртского университета в Германии, поймали несколько малиновок на их пути в Африку и поместили их во внешнее магнитное поле. К их удивлению, при изменении направления поля малиновки

не могли отличить направления на север и на юг. Птицы, однако, реагировали на магнитное наклонение, т.е. на угол, образуемый силовыми линиями поля с плоскостью горизонта. Следовательно, именно этот параметр обеспечивал ориентацию птиц в полете. Интересно, что пернатые, которых лишали возможности видеть, совершенно не реагировали на магнитное поле, т.е. птицы каким-то образом ощущали его глазами.

В 2000 г. Торстен Ритц (Thorsten Ritz) с коллегами из Университета Южной Флориды, увлеченные изучением перелетных птиц, предположили, что ключ к разгадке – перепутывание. По их гипотезе, основанной на работах Клауса Шультена (Klaus Schulten) из Университета штата Иллинойс, в глазах птицы имеются определенные молекулы, два электрона которых образуют перепутанную пару, полный спин которой равен нулю. Подобная ситуация не может быть представлена в рамках классической физики. Когда такая молекула поглощает видимый свет, его энергия передается электронам, они разделяются и становятся чувствительными к внешним воздействиям, включая магнитное поле. Наклонное магнитное поле по-разному воздействует на электроны пары, что создает дисбаланс, изменяющий химические реакции, в которые вступает молекула. Химические процессы в глазу преобразуют эти различия в нервные импульсы, создающие в мозгу птицы изображение магнитного поля.

Доказательства, предложенные Ритцем, конечно, нельзя считать прямыми, однако эксперименты, проведенные Кристофером Роджерсом (Cristofer T. Rogers) и Киминори Маэдой (Kiminori Maeda) из Оксфордского университета в условиях лаборатории (т.е. не на живом организме), показали, что эти молекулы действительно чувствительны к магнитному полю вследствие перепутывания электронных состояний. Согласно вычислениям, проде-

ланным мною с коллегами, квантовые эффекты сохраняются в глазу птицы в течение 100 пикосекунд, что в данном контексте – довольно большой промежуток времени. Рекорд для искусственно сконструированной электрон-спиновой системы – примерно 50 пикосекунд. Мы еще не знаем, как квантовые эффекты могут сохраняться столь долго в природных системах, но ответ на этот вопрос поможет нам выработать идеи, как защитить квантовые компьютеры от декогерентности.

Другой биологический процесс, в котором работает перепутывание, – фотосинтез, с помощью которого растения преобразуют солнечный свет в химическую энергию. Свет высвобождает внутри клетки электроны, стремящиеся найти путь в одно и то же место – центр химической реакции, где они отдадут свою энергию и запускают реакции, снабжающие энергией клетки растения. Классическая физика не в состоянии объяснить, как они делают это с почти стопроцентной эффективностью.

Эксперименты, проведенные несколькими группами, например Грэма Флеминга (Graham T. Fleming) и Мохана Саровара (Mohan Sarovar) с сотрудниками из Калифорнийского университета в Беркли, а также Грегори Скоулса (Gregory D. Scholes) из Университета Торонто, показали, что высокая эффективность процесса фотосинтеза определяется квантовомеханическими эффектами. В квантовом мире частица не обязана в данный момент времени двигаться по единственной траектории; она может двигаться одновременно по всем возможным путям. Электромагнитные поля, существующие внутри клетки растения, могут привести к тому, что некоторые из траекторий гасят друг друга, а другие взаимно усиливаются; тем самым уменьшается вероятность того, что электрон выберет бесполезную траекторию, и возрастает шанс его попадания непосредственно в реакционный центр.



В таком случае перепутывание сохраняется всего в течение малой доли секунды и охватывает молекулы, состоящие не более чем из 100 тыс. атомов. Существуют ли в природе примеры, когда перепутывание действует в объектах больших размеров и сохраняется более долго? Пока мы этого не знаем, но поиски ответа стимулируют развитие нового направления – квантовой биологии.

### Что все это значит?

Шредингеру вывод о том, что мог быть одновременно и живым и мертвым, представлялся абсурдным; любая теория, дававшая такое предсказание, несомненно была бы ущербной. Многие поколения физиков ощущали этот дискомфорт и полагали, что квантовая механика неприменима к большим объектам. В 1980-х гг. Роджер Пенроуз (Roger Penrose) из Оксфорда предположил, что квантовая механика уступает место классической физике для объектов тяжелее 20 мкг из-за действия гравитации, а трио итальянских физиков – Джанкарло Гирарди (Giancarlo Ghirardi) и Томазо Вебер (Tomaso Weber) из Университета Триеста, а также Альберто Римини (Alberto Rimini) из Университета Павии – предположило, что классическое поведение больших коллективов частиц возникает спонтанно. Однако новые эксперименты не согласуются с этой гипотезой. Оказывается, что различие между квантовым и классическим мирами не имеет фундаментального характера. Это всего лишь вопрос искусства эксперимента, и сейчас только немногие физики считают, что классическая физика сохраняется в каких бы то ни было масштабах. Во всяком случае, общее мнение таково: если место квантовой физики займет более глубокая теория, то мир предстанет еще более противоречащим интуиции, чем что-либо встречавшееся нам до сих пор.

Таким образом, тот факт, что квантовая механика работает во всех масштабах, ставит нас перед

лицом глубочайших тайн теории. Мы не можем просто отбросить возникающие проблемы как незначительные детали, важные лишь при самых малых размерах. Например, пространство и время – наиболее фундаментальные категории классической физики, однако в рамках квантовой механики они вторичны. Первичным оказывается перепутывание квантовых состояний. Оно устанавливает связи между квантовыми системами вне пространственно-временных рамок. Если бы между квантовым и классическим мирами существовала граница, то мы могли бы использовать пространство и время классического мира для системы координат при описании квантовых процессов. Но без такой границы – и, в действительности, без истинно классического мира – мы теряем эту систему координат. Тогда мы должны рассматривать пространство и время как категории, выводимые каким-то способом из фундаментальной беспространственной и безвременной физики.

Продвижение в этом направлении может, в свою очередь, примирить квантовую физику со вторым гигантским столпом физики – общей теорией относительности Эйнштейна, описывающей силы гравитации в понятиях геометрии пространства-времени. Согласно общей теории относительности, тела занимают в пространстве строго определенные положения и никогда не могут в одно и то же время находиться в разных позициях – в прямом противоречии с квантовой физикой. Многие физики считают, подобно Стивену Хокингу (Stephen Hawking) из Кембриджского университета, что теория относительности должна уступить место более глубокой теории, в которой пространство и время отсутствуют. При этом классическое пространство-время возникает из квантового перепутывания через процесс декогерентности.

Еще более интересной возможностью представляется то, что гра-

витация – не фундаментальная сила, а остаточный шум, возникающий за счет квантового размытия других сил, существующих во Вселенной. Эта идея «индуцированной гравитации» восходит к 1960-м гг., когда она была выдвинута советским физиком А.Д. Сахаровым. Если это так, то гравитация не только лишится своей фундаментальности, но и все попытки «квантования» гравитации окажутся бессмысленными. На квантовом уровне ее может вообще не существовать.

Следствия того, что макроскопические объекты, подобные нам с вами, существуют в квантовом мире, настолько поразительны, что мы, физики, пока находимся в перепутанном состоянии замешательства и удивления.■

Перевод: А.А. Сорокин

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Entangled Quantum State of Magnetic Dipoles. S. Ghosh et al. in Nature, Vol. 425, pages 48–51; September 4, 2003.
- Entanglement in Many-Body Systems. Luigi Amico, Rosario Fazio, Andreas Osterloh and Vlatko Vedral in Reviews of Modern Physics, Vol. 80, No. 2, pages 517–576; May 6, 2008. Доступно онлайн на: [arxiv.org/abs/quant-ph/0703044](http://arxiv.org/abs/quant-ph/0703044)
- Decoding Reality: The Universe as Quantum Information. Vlatko Vedral. Oxford University Press, 2010.