

С.И. Доронин

# Квантовая магия



## Предисловие

О чем эта книга? Трудно сказать одной фразой... Но если все-таки попробовать кратко сформулировать, то это моя попытка осмыслить очень важные для всех нас результаты, полученные квантовой механикой за последние годы. Важные не только в плане практической реализации невиданных технических устройств на волне грядущей «второй квантовой революции», но еще более значимые для нашего мировоззрения как шаг к качественно новому и более глубокому пониманию окружающего мира.

Видимо, требует некоторых пояснений и само название книги. Что же подразумевается под «квантовой магией»? Основное значение термина «магия» в этой книге мы определим следующим образом: это любые процессы или явления в окружающем мире, которые не имеют классического аналога. Проще говоря, это такие процессы, которые противоречат всем известным законам классической физики и выходят за рамки наших привычных представлений о реальности.

И все же слово «магия» в названии книги имеет ряд дополнительных оттенков. Это и очарование квантовой механики с ее невероятными возможностями, поистине «магическими» по сравнению с другими теориями. Здесь и намек на то, что квантовая теория — это инструмент не только для ученых, но и для каждого из нас, поскольку она дает возможность любому человеку существенно раздвинуть границы миропонимания и заглянуть в самые потаенные глубины Мироздания. И речь идет вовсе не о глубинах микромира, куда квантовая механика была нацелена прежде. Мы будем говорить именно об окружающем всех нас обычном мире — о макромире, в котором существуем мы сами, а вовсе не элементарные частицы. И попытаемся выяснить, почему последние достижения квантовой теории способны коренным образом изменить все наши привычные представления об окружающей реальности.

Чуть сложнее разъяснить понятие «квантовая», поскольку довольно часто встречается предубеждение, что квантовая механика описывает только микроскопические системы — субатомные частицы, атомы, молекулы, что это некая узкая теория, которая не имеет никакого отношения к окружающим нас объектам. Это не так. Более правильно было бы сказать, что без квантовой теории невозможно адекватно описать поведение микрочастиц, но ее законы являются всеобщими — в макромире они так же справедливы, как и в микромире. Другое дело, что для описания макрообъектов законы квантовой теории упрощаются, и обычно используют их классическое приближение, пренебрегая квантовыми эффектами.

Квантовую теорию очень часто недооценивают, хотя, например, без ее законов само существование макроскопических тел выглядело бы настоящим чудом, сверхъестественным и необъяснимым явлением. Их наличие можно было бы объяснить разве что «высшими силами», так как силы и законы, известные в классической физике, не могли объяснить замечательную стабильность атомов и молекул, которая лежит в основе всех физических и химических свойств вещества. Причем дело не в том, что квантовая теория проникла на микроуровень и, описав поведение атомов, смогла объяснить макроскопические свойства вещества. Кстати сказать, мнение, что знание самых малых «кирпичиков» материи (элементарных частиц) помогает нам полнее узнать природу вещества и физических полей, является довольно распространенным. Вовсе нет. Это как раз классическая точка зрения, которая предполагает, что, зная структуру и поведение отдельных частей системы, мы можем вывести законы поведения объекта как целого. Квантовая теория говорит об обратном — о том, что даже максимально возможное и полное знание частей принципиально не может дать нам понимания целого. Соотношение между частью и целым в квантовой механике гораздо более сложное, чем в классической физике.

Квантовый подход, прежде всего, предполагает рассмотрение выделенной системы как единого целого, в пределах которого могут проявляться те или иные свойства частей. При этом утверждается, что обратный путь — от части к целому — тупиковый, он не в состоянии привести к правильным результатам и приблизить нас к пониманию фундаментальных физических законов.

Все основные достижения квантовой механики базируются не только на познании микромира, а в большей степени — на принципиально ином подходе к описанию физической реальности. В отличие от классической физики, имеющей дело непосредственно с физическими характеристиками объектов, квантовая теория исходит из более фундаментального и первичного понятия «состояние системы». С этой точки зрения все физические величины, характеризующие

систему, являются лишь вторичными проявлениями, определяемые тем или иным ее состоянием. Речь идет о произвольных системах — больших и малых. Квантовая теория — это описание в терминах состояний любых объектов, независимо от того, велики они или малы. С одинаковым успехом методы квантовой теории могут применяться как к микрочастицам, так и ко всей Вселенной в целом.

Таким образом, термин «квантовый» не следует понимать слишком узко, как синоним чего-то очень мелкого и незначительного. Прежде всего, это определенный способ описания окружающей реальности, который исходит из понятия «состояние системы», и в книге данный термин используется чаще всего именно в этом смысле.

Что же касается самой книги, то написана она не только с целью ознакомить читателя с самыми последними достижениями квантовой механики, в частности, с чисто физическими результатами, полученными при разработке квантового компьютера, — одновременно это и моя попытка философского осмысления этих результатов.

Утверждение, что они имеют большое значение для каждого из нас, кому-то может показаться натянутым и чересчур преувеличенным. На это я замечу, что все мы строим свою жизнь, исходя из своего мировоззрения. Даже когда мы просто неосознанно «плывем по ее течению», то делаем это тоже в силу своих устоявшихся представлений об окружающей реальности. Причем миропонимание часто базируется на широко распространенных воззрениях классической физики о материальной основе окружающего нас мира. Многим представляется, что, помимо вещества и физических полей, во Вселенной ничего больше нет, что элементарные частицы являются ее исходным строительным материалом, своего рода «вечной и неуничтожимой» субстанцией Космоса.

Довольно часто именно такое ограниченное понимание мироустройства формирует систему жизненных ценностей человека, определяет его приоритеты, цели и стремления, лежит в основе его земного пути. Поэтому вполне естественно ожидать, что последние достижения квантовой теории будут иметь большое значение для каждого из нас, поскольку они не укладываются в рамки такого упрощенного взгляда на реальность. Они способны коренным образом изменить наше привычное мировоззрение и привести к существенному пересмотру всей системы жизненных ценностей и устремлений человека.

Основной вывод, к которому приходит квантовая теория, можно кратко сформулировать следующим образом: *материя, то есть вещество и все известные физические поля, не являются основой окружающего мира, а составляют лишь незначительную часть совокупной Квантовой Реальности.*

Но этот краткий вывод, как вы понимаете, таит в себе самые глубокие и далеко идущие последствия, которые сегодня невозможно даже представить.

В своей книге я попытался подробно осветить теоретические и экспериментальные результаты, полученные за последние годы в области физики квантовой информации, которые позволяют сделать этот значимый для всего естествознания вывод.

Надеюсь, что читатель сумеет отделить приведенные в книге факты и сами физические результаты от моей трактовки и моего личного мнения на этот счет. Естественно, я вовсе не претендую на то, что моя точка зрения является единственно верной. Но то, что сами факты заставляют о многом задуматься и позволяют взглянуть на окружающую нас реальность другими глазами, лично для меня очевидно.

# Глава 1

## Магия запутанных состояний

### 1.1. На пороге эры квантовых компьютеров

Сейчас каждый из нас хотя бы в самых общих чертах представляет, что такое обычный компьютер. А что вы скажете насчет компьютера, информационный ресурс которого превышает число частиц во Вселенной (по оценкам специалистов, оно равно  $10^{80}$ ), — компьютера, который по своей эффективности превосходил бы обычный ПК примерно во столько же раз, во сколько Вселенная превосходит один атом? Скажете, что это бред, что такое просто невысказано? И будете неправы! Поскольку в настоящее время работа над такими компьютерами идет полным ходом. Их назвали квантовыми компьютерами. Для этого устройства нужно не так уж много рабочих ячеек памяти, обрабатывающих информацию\*, — достаточно будет всего лишь нескольких сотен. Скажем, довольно 300 ячеек, чтобы информационный ресурс компьютера примерно на 10 порядков превысил число частиц во Вселенной ( $2^{300} = 10^{90}$ )\*\*. И весь этот гигантский массив информации будет согласованно изменяться за один рабочий такт. Столь поразительное различие между обычным и квантовым компьютерами объясняется тем, что эффективность последнего растет экспоненциально с увеличением числа его ячеек памяти.

\* Для обычного компьютера это объем оперативной памяти.

\*\* Каждая ячейка памяти может находиться в двух основных состояниях: 0 и 1 (один бит), общее число состояний для  $N$  ячеек равно  $2^N$ . Классический компьютер в каждый момент времени может реализовать лишь одну последовательность состояний из 0 и 1 для своих битов регистра памяти. Квантовый компьютер в один и тот же момент времени может реализовать все возможные варианты таких последовательностей.

Чтобы вы могли более наглядно представить себе, что такое экспоненциальный рост, напомню известную легенду о том, как индийский правитель решил отблагодарить изобретателя шахмат за новую интересную игру. Тот попросил выдать ему в качестве награды зерна пшеницы: на первую клетку шахматной доски следовало положить одно зернышко, на вторую — два, на третью — четыре, помещая на каждую следующую клетку в два раза больше зернышек, чем было на предыдущей. Царь удивился такой скромной просьбе, однако выполнить ее оказалось невозможно. Во всем мире не нашлось бы столько пшеницы. Таким количеством зерна можно было усыпать всю планету. Амбар, в котором бы поместилась вся эта пшеница, должен был быть высотой до Солнца.

С квантовым компьютером ситуация та же самая: добавление каждой новой ячейки памяти к уже существующему регистру вдвое увеличивает общую эффективность устройства.

Число различных состояний ячеек памяти у классического компьютера такое же, как у квантового. Так, классический компьютер с регистром из 300 бит может последовательно перебрать те же  $2^{300}$  состояний, но в каждый момент времени он может находиться лишь в одном из них. В то время как квантовый компьютер способен находиться одновременно во всех этих состояниях (в их суперпозиции\*). Если в классическом регистре изменяется один бит, то другие биты на это никак не реагируют — они не меняются. Когда же в квантовом компьютере изменяется один бит (он называется квантовым битом — кубитом), то вместе с ним согласованно меняются все остальные, и вся суперпозиция мгновенно перестраивается. За счет этого обеспечивается гигантское быстроедействие, и по оценкам специалистов получается, что вычислительные ресурсы квантового компьютера будут экспоненциально велики по сравнению с классическим. Для наглядного подтверждения того, насколько значительно преимущество квантового компьютера, можно привести еще один пример. Представьте, что у вас есть квантовый компакт-диск, который, в отличие от обычного, содержит информацию в кубитах, а не в битах. В квантовом CD имеет место суперпозиционное состояние кубитов, которое содержит в себе сразу все возможные дискретные последовательности из 0 и 1. Квантовый CD — это своего рода универсальная матрица, с которой можно «отштамповать» любой классический CD с любой информацией и последовательностью битов. Единственное ограничение — это невозможность превзойти объем исходного CD в битах. Таким образом, один квантовый CD содержит в себе одновременно все классические CD, которые были, есть или будут созданы, — с любой

информацией, осмысленной или нет, с любой двоичной последовательностью из 0 и 1. Далее мы подробнее поговорим о том, как именно можно с квантового CD «проявить» нужную информацию и «отштамповать» классический CD.

\* Более подробно см. главу 2, раздел 2.4.

С теоретической точки зрения, создание квантового компьютера особых сложностей не представляет — достаточно того, чтобы ячейки памяти (кубиты) взаимодействовали друг с другом, и мы умели бы целенаправленно манипулировать их состоянием. Однако на практике все оказывается гораздо сложнее — и об этом мы поговорим более подробно в одной из следующих глав.

А сейчас — немного о том, что предшествовало работе по созданию квантового компьютера. Одним из первых, кто обратил внимание на возможную перспективу создания таких компьютеров, был Ричард Фейнман\*.

\* *Feynman R. Simulating physics with computers // International Journal of Theoretical Physics. Vol. 21. No. 6/7. P. 467–488 (1982); Feynman R. Quantum mechanical computers // Foundations of Physics. Vol. 16. P. 507–531 (1986). (Originally appeared in Optics News, February 1985.)*

В 1982 году он задался вопросом, каким должен быть компьютер, позволяющий моделировать природу. Причем имелось в виду не простое моделирование, основанное на хорошо известных законах классической физики, которые отражают ограниченную часть реальности. Фейнман говорил о моделировании физики на фундаментальном уровне, «когда компьютер делает точно то же, что и природа», о более полном и глубоком описании реальности, при котором классическая реальность и ее законы получались бы в классическом приближении как предельный случай (упрощенный вариант квантового описания). Ученый пришел к выводу, что такой компьютер должен быть квантовым. Но речь шла не о том, что он должен работать по законам квантовой механики — на их основе сейчас и так разрабатывается вся электроника, а о том, что, если в настоящее время все современные приборы и компьютеры работают по квантовым законам, но в классическом режиме, то квантовый компьютер и работать должен в квантовом режиме. В этом случае в игру вступает основной принцип квантовой теории — принцип суперпозиции состояний. Компьютер получает возможность оперировать когерентными (согласованными) состояниями ячеек памяти. Такими квантово-когерентными устройствами, рабочим ресурсом которых являются суперпозиционные состояния, человечество никогда еще не располагало. Когда они начнут выходить из научных лабораторий в коммерческое производство и в нашу повседневную жизнь, это станет началом второй квантовой революции. По своим масштабам и последствиям она значительно превзойдет «скромные» результаты первой, которая «родила» атомную бомбу и практически все современные электронно-технические устройства.

Идеи Фейнмана были интересны, но в те годы они не вызвали особого резонанса в научной среде. Ситуация коренным образом изменилась в 1994 году, когда Питер Шор\* показал, что квантовый алгоритм способен свести задачу факторизации (разложения целого числа на простые множители) к полиномиальному классу сложности, в то время как обычный алгоритм экспоненциально зависит от входных данных.

\* *Shor P. W. In Proceedings of the 35th Annual Symposium on the Foundations of Computer Science, edited by S. Goldwasser (IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA). P. 124 (1994).*

Например, обычному компьютеру, выполняющему  $10^{10}$  операций в секунду, потребуется около года, чтобы разложить на простые множители число из 34 цифр, а время, необходимое для разложения числа из 60 цифр, уже превысит возраст Вселенной ( $10^{17}$  с). Используя же квантовый алгоритм, эту задачу можно решить достаточно быстро.

Результат, полученный П. Шором, с практической точки зрения означает, что квантовый компьютер способен за реальное время «взломать» шифры, используемые, например, в банковской сфере. Там как раз широко применяется криптосистема, основанная на невозможности разложения достаточно большого числа на простые множители за приемлемое для обычных компьютеров время. Осознав ситуацию и на наглядном примере убедившись в

возможностях квантового компьютера, финансовый мир, частные фирмы и государственные учреждения многих стран мира направили огромные средства на научные исследования в области квантовых вычислений. В эту же сферу устремились и многие научные коллективы, срочно переориентировав свою тематику. Квантовым вычислениям стало посвящаться наибольшее количество научных публикаций по сравнению с другими разделами физики. В отдельные годы число напечатанных в реферируемых журналах статей на эту тему превышало количество публикаций на все другие темы из области физики вместе взятые. Все это способствовало тому, что достаточно быстро были созданы реальные прототипы квантового компьютера, а теоретические основы, необходимые для его создания, получили очень мощный импульс к развитию. Прежде всего это касается теории запутанных состояний, теории декогеренции и квантовой теории информации.

Мы не будем касаться вычислительных возможностей квантовых компьютеров. А вывод Фейнмана относительно того, что квантовые компьютеры способны моделировать реальные процессы на фундаментальном уровне, обсудим подробно, но подойдем к этому вопросу с несколько другой стороны.

Дело в том, что в процессе работы над квантовым компьютером ученым пришлось глубоко вникнуть в эти фундаментальные законы. И это вполне естественно — практическая работа квантово-когерентных устройств на фундаментальном уровне реальности предполагает более глубокое понимание законов этого уровня. Фейнман говорил об этом так: «Если предположить, что мы знаем все физические законы в совершенстве, то, конечно, нам не надо уделять никакого внимания компьютерам. И все же, если задуматься, нам есть что узнать о физических законах, и, если уж быть совсем откровенным, я признаю, что мы многого не понимаем». И действительно, при работе над квантовым компьютером удалось узнать очень много нового о фундаментальных законах, о процессах, с которыми раньше физика никогда не имела дела — таких как декогеренция и рекогеренция, о которых мы еще будем говорить подробно. В результате в науке возникли новые прикладные направления: теория запутанных состояний, теория декогеренции, квантовая теория информации и другие современные разделы квантовой теории, которые часто объединяют под общим названием «физика квантовой информации».

Сейчас довольно часто можно услышать и о других теориях, претендующих на фундаментальность, например, о теории струн, М-теории и т. д. Следует отметить, что эти теории не имеют отношения к реальным физическим процессам в окружающем нас мире. Они никогда не были привязаны к физическим экспериментам и их объяснению. Скорее это красивые математические трюки, игры ума, далекие от реальности математические абстракции. В отличие от них, теория запутанных состояний и теория декогеренции развивались непосредственно в результате практической работы в физических лабораториях как теоретические модели, позволяющие описывать эксперименты. Адекватность этих моделей реальным физическим процессам проверяется в технических устройствах, которые разрабатываются на основе этих теорий. Думаю, понятно, что если бы модели были неадекватные, то и приборы бы не работали.

Вы спросите, а при чем здесь магия и «сверхъестественное»? Все очень просто. Те состояния и физические процессы, которыми вплотную пришлось заняться при работе над квантовыми компьютерами, не имеют классического аналога. Это нелокальные состояния, и процесс их «проявления» (декогеренция) в виде локальных элементов реальности, по сути — «материализация» объекта «из ничего». А обратный процесс «растворения» локальных объектов и их перехода в нелокальное состояние (рекогеренция) похож на то, что некоторые фантасты называют переходом в гиперпространство, «нуль-проколом» и т. п. Внешне это будет выглядеть как исчезновение объекта из нашей физической реальности — наподобие того, как, по свидетельствам очевидцев, иногда «растворяются» НЛО.

С точки зрения классической физики, эти процессы в прямом значении слова «сверхъестественные». И я полагаю, что они напрямую связаны с магией, понимаемой в самом широком смысле как любые «чудеса» с точки зрения классической физики и наших привычных представлений о физической реальности.

Классическая физика описывает «проявленную» реальность. Квантовая теория обосновывает существование более глубокой и фундаментальной реальности, «непроявленной», нелокальной. Квантовая теория вплотную подошла к количественному описанию нематериальных объектов и нелокальных корреляций, я бы сказал — к описанию Духа, или к чисто-квантовой

информации, и физика квантовой информации изучает законы ее «проявления» в виде локальных элементов реальности, своего рода манифестацию Духа.

Сейчас квантовой теории осталось сделать совсем небольшой шаг, причем даже не теоретический, а чисто психологический: немного изменить терминологию и более доступным языком рассказать о достигнутых результатах. В том числе о двойственной природе всех окружающих объектов — нелокальной (духовной, нетварной) и плотной (материальной, тварной). О том, что в основе классического мира лежит нелокальный квантовый источник реальности, который находится вне пространства и времени, который нематериален.

К теории запутанных состояний в какой-то мере близка голографическая теория, которая не является теорией в прямом смысле слова, так как не содержит количественного описания нелокальности, «голографичности». Это рассуждения (если утрировать) на уровне аквариума с рыбкой (известный пример Д. Бома), некие общие размышления о роли нелокальных корреляций и попытка наглядно себе представить, как они действуют. Отправной точкой рассуждений Д. Бома\* как раз и были запутанные состояния ЭПР-пары (Эйнштейна-Подольского-Розена), когда «сцепленные» частицы ведут себя строго взаимосогласованно, так что изменение состояния одной из них приводит к мгновенному изменению другой, сколь далеко бы она ни находилась от первой. Размышляя над этой загадкой, противоречащей не только здравому смыслу, но и эйнштейновской теории относительности, налагающей жесткие ограничения на скорость распространения взаимодействий, Бом пришел к выводу, что элементарные частицы взаимодействуют на любом расстоянии не потому, что они обмениваются таинственными сигналами между собой, а потому, что их «разделенность» есть иллюзия. Иными словами, на каком-то более глубоком уровне реальности запутанные частицы — это вовсе не отдельные объекты, а продолжения чего-то более фундаментального и цельного.

\* См., например, статью Киви Берда «Освоение реальности»:

<http://www.computerra.ru/offline/2002/440/17528/>.

Представим себе, говорит Бом, аквариум с рыбкой. Допустим, по какой-то причине мы не можем разглядывать эту систему непосредственно, а имеем лишь возможность смотреть в два телеэкрана на аквариум, снимаемый спереди и сбоку. Глядя на экраны, легко заключить, что две плавающие там рыбки — это отдельные объекты. Но, присмотревшись, можно выяснить, что между двумя рыбками на двух экранах существует какая-то отчетливая взаимосвязь. Если одна рыбка меняет положение, то одновременно приходит в движение и другая. Причем всегда оказывается, что если одну видно «анфас», то другую — непременно «в профиль». И не зная, что снимается один и тот же аквариум, внимательный наблюдатель скорее заключит, что рыбки неведомым образом мгновенно сообщаются друг с другом, нежели припишет это случайности.

Но это были всего лишь общие рассуждения. На основе такой «теории» не построишь технические устройства, работающие на нелокальных корреляциях. Голографическую парадигму можно рассматривать как один из вариантов иллюстрации теории запутанных состояний «на пальцах», но и эта иллюстрация будет неполной, поскольку в ней все равно остается много привычных представлений.

Помимо теории запутанных состояний, в настоящее время нет ни одной концепции или альтернативной теории (типа торсионной), в которой была бы введена **количественная мера\*** квантовой нелокальности. К тому же теория запутанных состояний входит в стандартную, общепринятую интерпретацию квантовой механики и не является альтернативной типа «многомировой» интерпретации Эверетта.

\* Более подробно см. главу 3, раздел 3.3.

Когда речь заходит о «сверхъестественном», то в этой связи иногда упоминают теорию торсионного поля Акимова-Шипова. Она тоже появилась как результат математических изысканий и никогда не была привязана к реальным физическим процессам. Многие понятия из теории торсионного поля могут быть выражены в терминах теории запутанных состояний. Например, то, что в теории Акимова-Шипова называется «первичным торсионным полем», в квантовой теории именуется «чистым запутанным состоянием», что, в отличие от первого термина, является общепринятым в научной среде, поэтому не вызывает лишних вопросов у

оппонентов. Как и у первичного торсионного поля, в чистом запутанном состоянии составляющие подсистемы не взаимодействуют между собой в привычном понимании. Между ними есть только квантовые нелокальные корреляции, когда в каждой части системы (подсистеме) содержится информация об остальных, и все они ведут себя согласованно: изменение одной мгновенно сказывается на других.

По моему мнению, торсионную теорию можно рассматривать как своеобразную интерпретацию отдельных положений теории запутанных состояний. В любом случае теории торсионного поля явно недостаточно для того, чтобы управлять нелокальными квантовыми корреляциями в системе (торсионными полями). В ней не формализовано описание динамических процессов перехода между классическими и квантовыми корреляциями, нет количественных характеристик для оценки квантовой запутанности в системе (степени близости к первичному торсионному полю) и т. д. В этом отношении у современной квантовой теории есть ряд очевидных преимуществ — она объясняет физическую природу нелокальных взаимодействий, имеет развитый теоретический аппарат для количественного описания нелокальных явлений, в том числе и информационных процессов в терминах квантовой информации.

Можно еще упомянуть о «теории эфира» и ее современных модификациях. Все рассуждения об эфире как о некой «пустоте», состоящей из «электрически нейтральной материи», на мой взгляд, являются упрощенными представлениями о нелокальных состояниях. Если представления квантовой теории о когерентных суперпозиционных состояниях попытаться выразить языком классической физики, то получатся фразы типа «тончайшая субстанция, без трения проникающая в физические тела». В некоторых современных концепциях теории эфира предполагается, что, воздействуя на него, можно добиться различной его концентрации. Управление эфиром, как я полагаю, это то же самое, что управление мерой квантовой запутанности (процессами декогеренции/рекогеренции). Более того, квантовая теория открывает возможность воздействовать на «абсолютную пустоту» в прямом смысле этого слова. На пустоту, в которой нет ни материи, ни вещества, ни поля — ничего с точки зрения классической физики.

Теории эфира, по моему мнению, не смогут ничего объяснить, если не сумеют выйти за рамки классического описания и не введут в рассмотрение суперпозиционные состояния. В лучшем случае они будут давать классическое приближение квантового описания реальности. Все теории эфира — это попытка описать в терминах классической физики отдельные стороны и особенности когерентных суперпозиционных состояний. Какие-то частные моменты в них схвачены, но до цельной, логичной картины реальности, которую дает квантовая теория, им очень далеко.

Подобная ситуация сложилась и с понятием физического вакуума, о котором в современных научных публикациях тоже все чаще говорят в терминах нелокальных суперпозиционных состояний.

## 1.2. Запутанные состояния

Одним из самых дерзких вызовов, который бросила квантовая физика своей классической предшественнице, является утверждение о наличии в окружающей нас реальности особого типа состояний с удивительными, прямо-таки «сверхъестественными» свойствами и возможностями. Квантовая теория говорит о том, что в природе существует широкий класс состояний, которые не имеют никакого классического аналога, поэтому они никак не могут быть поняты и описаны в рамках классической физики. Это «магические» состояния, которые выходят за все мыслимые рамки с точки зрения наших привычных представлений о реальности. Они получили название *запутанных состояний* (*entangled states*). Учет этих состояний, осознание того факта, что они являются неотъемлемой частью реальности, — все это способно коренным образом изменить наше привычное миропонимание и вывести его на качественно новый уровень. Окружающий мир в свете этого нового физического факта оказывается намного богаче того, что преподносит нам классическая физика. В нем происходят объективные процессы, которые и «не снились» в рамках старых представлений, они выходят за пределы даже самой буйной фантазии, встречающейся в фантастических романах.

И это не просто теоретический вывод — эти «фантастические» возможности квантовая теория научилась использовать на практике в технических устройствах. Некоторые из них уже

вышли из физических лабораторий и находятся на стадии коммерческого производства, например, квантово-криптографические устройства\*.

\* *Стикс Г.* Квантовая криптография прошла путь от теоретических исследований и лабораторных опытов до коммерческих изделий // В мире науки (Scientific American). 2005. № 4. Апрель.  
<http://www.sciam.ru/2005/4/innovation.shtml>; *Красавин В.* «Квантовая криптография»: <http://www.security.strongdisk.ru/i/42&all=1/>.

В частности, фирма «MagiQ» (<http://www.magiqtech.com/>) реализует квантово-криптографические системы, которые обеспечивают основанную на квантовой запутанности абсолютную защиту связи от подслушивания. Символично название этой фирмы — «MagiQ» образовано от слов «Magic» (магия) и первой буквы выражения «Quantum information processing» (обработка квантовой информации). Существуют уже небольшие сети из этих устройств. Так, полностью функциональная 12-мильная квантово-криптографическая сеть из 10 узлов была развернута в Бостоне в июне 2004 года совместными усилиями Бостонского университета, Гарварда и некоторых коммерческих компаний. В Вене установлена квантово-криптографическая система, связывающая Венский муниципалитет и штаб-квартиру Австрийского банка (на расстоянии 1,45 км).

Одна из ведущих компаний по производству квантово-криптографических систем «id Quantique»\* в апреле 2005 года выпустила на рынок уже второе поколение таких устройств, которые помогают корпорациям и правительственным агентствам защищать их сети передачи данных, используя фундаментальные законы квантовой физики. Компания «id Quantique» — лидер в области детектирования единичных фотонов и связанных лазерных источников.

\* <http://www.idquantique.com/products/overview.htm>.

Кратко перечислим основные достижения последних лет в области коммерческого производства и практического применения квантово-криптографических систем\*.

- id Quantique (Женева) — система посылает квантовые шифровальные ключи (запутанные фотоны) на десятки километров по оптоволокну.
- MagiQ Technologies (Нью-Йорк) — система с оптоволоком посылает квантовые шифровальные ключи на расстояние до 100 км. Предлагаются также аппаратные средства и программное обеспечение для интеграции в существующие сети.
- NEC (Токио) — в 2004 году удалось передать ключи на рекордные 150 км. Намечено выпустить систему с оптоволоком в начале 2006 года.
- QinetiQ (Фарнборо, Англия) — предлагает системы на контрактной основе, которые передают ключи через атмосферу на расстояния до 10 км. Поставила систему фирме BBN Technologies в Кеймбридже, штат Массачусетс.

\* Приводятся по указанной выше статье Гэри Стикса.

В квантово-криптографических системах основным рабочим ресурсом являются запутанные состояния фотонов, и их мгновенная нелокальная связь (квантовые корреляции) позволяет обеспечить абсолютную защиту информации от постороннего доступа. Связь между запутанными фотонами не просто «сверхсветовая», а именно бесконечная, мгновенная, но в данном случае она используется не для передачи информации, а для контроля безопасности канала связи — при доступе к передаваемой информации «со стороны» когерентность фотонов (квантовая запутанность) тут же нарушается.

В разрабатываемых квантовых компьютерах запутанность также является основным рабочим ресурсом. В отличие от обычного компьютера, ячейки памяти которого могут принимать лишь два возможных значения (например, ноль и единица) и содержат классический бит информации, квантовый компьютер использует квантовые биты — кубиты (*quantum bits, qubits*). За счет суперпозиции состояний кубитов, наличия комплексных амплитуд и фазовых множителей возможности квантовых компьютеров существенно (экспоненциально) превышают возможности обычных. Запутанность между кубитами — это необходимое условие для работы квантового

компьютера, это ключевой фактор, отвечающий за квантовый параллелизм и определяющий преимущество квантового компьютера над обычным.

Еще раз подчеркну, что квантовая запутанность — это не теоретическая абстракция, которую ввели физики-теоретики, а объективный факт окружающей реальности. Это то, что существует в природе независимо от наших представлений, собственно, поэтому она и может быть использована на практике.

В чем же заключаются удивительные особенности запутанных состояний? Почему они привлекают такое пристальное внимание исследователей? Суть в том, что они в прямом смысле являются запредельными, потусторонними, трансцендентными, как сказали бы философы, по отношению к материальному миру. Их свойства и возможности просто фантастические с точки зрения классической физики и наших привычных представлений о реальности. Поговорим об этом более подробно.

Квантовая запутанность возникает в системе, состоящей из двух и более взаимодействующих подсистем (или взаимодействовавших ранее, а затем разделенных), и представляет собой суперпозицию макроскопически различимых состояний. В таких системах флуктуации отдельных частей взаимосвязаны, но не посредством обычных классических взаимодействий, ограниченных, например, скоростью света, а посредством нелокальных квантовых корреляций. В этом случае изменение одной части системы в тот же момент времени сказывается на остальных ее частях (даже если они разделены в пространстве, вплоть до бесконечно больших расстояний). И это не просто теория. Как уже говорилось, «магические» свойства запутанных состояний подтверждены многочисленными физическими экспериментами, и именно эти «сверхъестественные» возможности лежат в основе работы квантового компьютера, когда все кубиты благодаря квантовой запутанности могут согласованно и мгновенно изменять свое состояние, даже если мы изменим состояние одного кубита.

Таким образом, запутанность — это особый тип взаимосвязи между составными частями системы, у которой нет аналога в классической физике. Эта связь противоестественна, невысказима с точки зрения классических представлений о реальности и выглядит магической в прямом смысле этого слова.

Квантовая запутанность — состояние неразрывной целостности, единства. Обычно дают такое определение: *запутанное состояние* — это состояние составной системы, которую нельзя разделить на отдельные, полностью самостоятельные и независимые части. Оно является *несепарабельным* (неразделимым). Запутанность и несепарабельность — тождественные понятия.

Когда квантовая теория обогатилась пониманием того, что квантовая запутанность — это обычная физическая величина, и с ней можно работать, как с другими физическими величинами, такими как энергия, масса и т. д., то возникла необходимость в ее количественном описании. Запутанные состояния нужно было охарактеризовать по величине (степени) запутанности. Одним из первых такую количественную характеристику, то есть *меру запутанности*, ввел в 1996 году Чарльз Беннетт (с соавторами)\*.

\* Bennett C. H., Bernstein H. J., Popescu S. and Schumacher B. Phys. Rev. A **53**, 2046 (1996).

В зависимости от величины квантовой запутанности (она изменяется от нуля до единицы) система может состоять из отделимых локальных частей, которые слабо связаны друг с другом. В этом случае мера запутанности близка к нулю. Если же система составляет единое неразделимое целое, то мера запутанности равна единице. Это нелокальное состояние, и тогда в системе нет никаких классических, «видимых» объектов (даже на тонких уровнях реальности).

Разделить на строго независимые части можно систему, части которой находятся в *сепарабельном* (незапутанном) состоянии (мера запутанности равна нулю). Такое разделение возможно только в том случае, если части системы никогда не взаимодействовали друг с другом.

Любой объект, который взаимодействует со своим окружением, находится с ним в запутанном состоянии. Особо подчеркну: речь идет о *любых* объектах, в том числе макроскопических. Например, взаимодействуя с окружением, мы связаны с ним нелокальными квантовыми корреляциями. Может возникнуть вопрос: почему же тогда мы не чувствуем эти корреляции, почему не ощущаем нашу квантовую запутанность? Но дело в том, что мы прекрасно

ее ощущаем, только не выделяем своим вниманием. Более того, у нас есть возможность сознательно и целенаправленно изменять меру запутанности. А это уже настоящая магия, и в дальнейшем нам предстоит поговорить об этом подробнее. Пока лишь отмечу, что существует большое количество самых различных типов взаимодействий макросистем с окружением, много каналов квантовой запутанности с различной мерой несепарабельности. По одним степеням свободы мы, например, локальны (наши тела разделены в пространстве), а по другим (в частности, можно говорить о наших чувствах или мыслях) — нелокальны, несепарабельны.

Величина запутанности зависит от интенсивности взаимодействия. Так, управляя взаимодействием с окружением, можно манипулировать мерой квантовой запутанности между составными частями системы. Например, замкнутая система может находиться в максимально запутанном состоянии и не будет иметь внутри себя локальных (классических) составных частей (подсистем). Но если она начинает взаимодействовать с окружением, то мера запутанности между ее подсистемами постепенно уменьшается, и они «проявляются» в виде локальных объектов. В качестве примера можно привести такую аналогию. Пусть у нас есть лист фотобумаги с непроявленным изображением — это своеобразное нелокальное состояние. Видимые формы объектов могут появиться только в том случае, если мы опустим фотобумагу в проявитель (взаимодействие с окружением). Ситуация с запутанностью лишь немного сложнее — там нет заранее отображенной «картинки» с негатива. Потенциальное изображение (и оно не одно!) как бы равномерно «размазано» по фотобумаге и поэтому невидимо. Все возможные элементы находятся в суперпозиционном состоянии, у них нет локальных форм. При наличии взаимодействия с окружением суперпозиция разрушается, и проявляется то или иное классическое состояние в зависимости от типа взаимодействий. Этот физический процесс называется декогеренцией. Другой стороной этого процесса является возрастание меры запутанности системы с окружением. Оно будто «растаскивает» в разные стороны части того, что раньше было единым целым, придает им определенную форму, и они становятся видимыми, различимыми с нашей привычной, классической точки зрения.

Существует и обратный процесс — запутанность можно «концентрировать», увеличивать. Этот процесс называется рекогеренцией, или дистилляцией запутанности. В нашем примере с фотографией это равносильно тому, что с помощью неких хитрых операций с полученным снимком и отработанным проявителем мы сумеем вновь сделать лист фотобумаги чистым, то есть сможем вернуться к исходному суперпозиционному состоянию непроявленных изображений.

Но запутанность — это не просто наложение различных состояний друг на друга и такое их переплетение, когда нет возможности «найти концы» и отделить одно от другого. Прежде всего, это наличие «потусторонней» связи между подсистемами, которая необъяснима с точки зрения известных физических полей и взаимодействий. Квантовые корреляции — это не просто взаимодействия, а скорее «телепатия», когда один объект непосредственно «ощущает» свое единство с другими телами, когда все внешние изменения мгновенно отзываются в нем самом, и, наоборот, изменения в объекте тут же сказываются на окружении. Здесь вся «игра» идет в пределах того, что принадлежит отдельным подсистемам в равной мере, в той составляющей, которая является общей для них, и эта общая часть изменяется как одно целое одновременно в различных объектах. Мера этого единства и степени взаимопроникновения одного тела в другое может быть разная, и она как раз характеризуется мерой квантовой запутанности. На первый взгляд, отдельные предметы, окружающие нас, могут выглядеть полностью самостоятельными и независимыми друг от друга. Но если они когда-то взаимодействовали (не только при прямом контакте, но и посредством физических полей), то мера квантовой запутанности между ними уже не будет равна нулю, и, пусть в самой незначительной своей части, эти объекты будут связаны квантовыми корреляциями.

Но у квантовой запутанности и абсолютной согласованности поведения отдельных частей системы есть и обратная сторона. В максимально запутанном состоянии подсистемы полностью лишены самостоятельности, у них как бы нет «свободы воли», они не могут изменяться независимо от других подсистем. Самое малое «шевеление» какой-то одной подсистемы сопровождается одновременным согласованным изменением всех остальных частей системы. У подсистем нет индивидуальной динамики, нет возможности провести границу между собой и окружением и «сказать»: здесь Я, а здесь не Я. Она не может «ощутить» свою индивидуальность и не способна эволюционировать в качестве отдельной самостоятельной «личности».

Кто-то из читателей может возразить, что все рассуждения о квантовой запутанности относятся исключительно к микрочастицам, и их нельзя распространять на макрообъекты, что все это не имеет отношения к окружающей нас реальности и никак в ней не проявляется. Однако сразу обращает на себя внимание тот факт, что удивительные свойства квантовой запутанности по своим проявлениям очень хорошо перекликаются с теми «сверхъестественными» возможностями человека, которые развивают в себе и широко практикуют представители различных эзотерических школ. В свете квантовой запутанности и процессов декогеренции/рекогеренции уже по-иному воспринимаются многочисленные свидетельства различных чудес и невероятных событий, о которых упоминается в мистической и религиозной литературе.

Здесь стоит отметить, что теория запутанных состояний — это не теория микрочастиц, как иногда ошибочно считают. Ее основные результаты формулируются в терминах систем и подсистем, то есть общие выводы справедливы и в отношении произвольных макросистем. Микрочастицы являются лишь наиболее удобными объектами для изучения и манипулирования квантовой запутанностью в физических исследованиях. Она у них проявляется особенно сильно, и ее уже невозможно игнорировать, как в случае с макрообъектами. Причем мера квантовой запутанности между частицами может контролироваться и целенаправленно изменяться в очень широких пределах — практически от нуля и вплоть до максимально запутанного, полностью нелокального состояния.

Мера квантовой запутанности непосредственно связана с информацией, содержащейся в системе, которая может быть выражена количественно, например, через энтропию фон Неймана\* для чистых состояний.

\* Более подробно см. главу 3, раздел 3.4.

Связь между квантовой информацией и запутанностью позволяет описывать систему в терминах информации. В этом случае физические процессы усиления и уменьшения квантовой запутанности между составными частями системы рассматриваются как процессы обмена информацией между системой и ее окружением. Если запутанность между подсистемами уменьшается, то можно сказать, что система теряет часть своей информации в окружении при взаимодействии с ним. Информация как бы «перетекает» из самой системы в ее внешнее окружение. Былое единство и неразрывная целостность подсистем нарушаются, они отделяются друг от друга, приобретают индивидуальные характеристики и видимую форму (локализируются в виде классических объектов). Квантовая информация, которая связывала раньше части системы в единое целое и позволяла общаться по квантовому каналу связи на телепатическом уровне, уходит в окружение. Части системы теряют согласованность поведения и возможность «прямого знания» друг о друге. Теряется ощущение взаимопроникновения и непосредственного восприятия своих «соседей» как самого себя. При взаимодействии с окружением прямая телепатическая связь между подсистемами заменяется косвенной связью, теперь уже через окружение, и чем больше окружение у нашей системы, тем сильнее «размывается» эффект «прямого знания».

При описании в терминах квантовой информации замкнутая система — единое информационное поле, которое содержит в себе данные о всех возможных реализациях внутренней структуры системы. Это как бы лист непроявленной фотобумаги, который, тем не менее, содержит вполне определенный набор потенциальных изображений, вся исходная информация там уже содержится.

В квантовой теории любая замкнутая система находится в нелокальном (непроявленном) состоянии из-за того, что нет внешнего окружения, некому осуществить редукцию. Это нематериальное состояние, о котором можно говорить в терминах квантовой информации, назвав его чистой информацией. А описать его в материальных терминах типа «совокупность большого числа элементарных частиц, физических полей» и т. п. невозможно, поскольку ничего этого просто не существует: это пустота, нелокальное состояние.

Может возникнуть вопрос: а как же законы сохранения массы, энергии и т. д., которые все мы изучали в школе? Как известно, законы сохранения справедливы для замкнутых систем. А в квантовой теории замкнутая система — это чистая квантовая информация. Поэтому все, о чем мы говорим, сводится к сохранению такой *первичной* информации. По сути дела, все, чем занимается

физика квантовой информации, — это изучение законов, по которым квантовая информация проявляется в локальных дискретных формах тварного мира (декогеренция), и обратного процесса растворения локальных форм, их перехода в нелокальное суперпозиционное состояние (рекогеренция). Квантовая теория, по сравнению с классической физикой, рассматривает более широкий круг явлений и процессов в окружающей реальности на самом фундаментальном уровне. Материальный мир с его законами сохранения — лишь небольшая часть совокупной Квантовой Реальности, и, соответственно, сфера применения законов сохранения материи, с точки зрения квантовой теории, ограничена классической реальностью.

### 1.3. Декогеренция

С понятием запутанного состояния неразрывно связано понятие декогеренции.

*Декогеренция* — процесс, при котором нарушается когерентность суперпозиционного состояния в результате взаимодействия системы с окружающей средой.

При этом уменьшается квантовая запутанность — распадается полное единство, и исчезает гармония, которая существовала в максимально запутанном состоянии. В результате подсистемы начинают обособливаться, отделяться друг от друга, вплоть до полной независимости (сепарабельности). При этом происходит их локализация — у каждой подсистемы появляются отдельная, видимая форма и «плотное тело».

Особо подчеркну, что декогеренция — объективный физический процесс, а не просто теория. Именно он создает много сложностей при разработке квантового компьютера, поскольку нарушает когерентную согласованную работу кубитов, лишает устройство его «магических», сверхъестественных способностей. Вследствие декогеренции, вместо внутренней запутанности между кубитами, которой компьютер может управлять и которая полностью ему подвластна, возникает запутанность с окружением. Работать с ней квантовый компьютер не в состоянии.

Декогеренция играет отрицательную роль на стадии вычислений, поскольку «вытаскивает» кубиты из «потусторонней» реальности в наш предметный мир. Однако она все равно нужна нам, внешним пользователям, если мы хотим увидеть, «проявить» результат работы квантового компьютера.

Если же посмотреть на процесс декогеренции чуть шире, то можно сказать, что у системы появляются классические черты, соответствующие информации, «записанной» в окружении. Система запутывается с окружением в процессе взаимодействия с ним. В итоге из начального запутанного состояния своих составных частей (когда кубиты когерентны) она переходит в незапутанное смешанное состояние, «дробится» на независимые подсистемы (кубиты становятся независимыми друг от друга, превращаются в обычные биты, как в простом компьютере). Суперпозиция состояний **внутри** системы исчезает, по крайней мере, не затрагивая окружения, ее невозможно увидеть. Чтобы вновь задействовать запутанность, нужно выйти за пределы системы и охватить окружение.

Следствием декогеренции является то, что предсказания квантовой теории для макроскопических состояний невозможно отличить от предсказаний классической теории, если не контролировать все степени свободы. Если ограничиться только «проявленными» плотными телами, мы не найдем запутанности.

С практической точки зрения декогеренция полностью объясняет, как происходит процесс взаимодействия с окружением, и как в результате этого возникают привычные объекты окружающей реальности. Но все это справедливо лишь в том случае, если мы готовы ограничиться рассмотрением отдельных систем, например, когда при исследовании некой подсистемы пренебрегаем ее связями с внешним окружением. Однако если рассматривать замкнутую систему, то необходимо будет учитывать суперпозицию состояний.

Таким образом, в рамках теории декогеренции удалось получить результат, который имеет большое концептуальное значение. Дело в том, что до недавнего времени считался справедливым так называемый постулат редукции волновой функции\*, который объяснял однозначный вид окружающей реальности и предполагал, что все остальные альтернативные члены суперпозиции исчезают. Проще говоря, вопрос сводился к тому, существует ли одновременно множество потенциальных «картин» реальности и мы, в принципе, способны переключаться с одной на другую, или все они «схлопываются» в одну, мы видим ее, а увидеть другие никогда не сможем.

Теория декогеренции отвечает на этот вопрос и доказывает, что никакой редукции не происходит, а также объясняет, почему постулат редукции приводит к правильным предсказаниям\*\*.

\* *Редукция* — это устоявшийся термин в сочетании с понятием «волновая функция», обозначающий ту же самую декогеренцию, более подробно см. главу 2, раздел 2.6.

\*\* См., например: *Менский М. Б.* Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001; *Менский М. Б.* УФН **168**, 1017 (1998).

Постулат редукции при этом не лишается смысла — меняется его статус. Редукция остается простым и изящным вычислительным приемом в том случае, если требуется рассчитать поведение системы, после того как произошло взаимодействие с окружением, и при этом «проявлен» один из возможных результатов этого взаимодействия. Другие потенциальные возможности никуда не исчезают и могут быть «проявлены» в любой момент.

Строго говоря, понятие редукции волновой функции (вектора состояния) вообще лишено смысла, поскольку для замкнутой системы по определению не существует окружения, которое может вступить с ней во взаимодействие. А если такое окружение все же есть, например, для открытой системы, то при взаимодействии ее уже нельзя описывать вектором состояния, а можно поставить в соответствие с ней лишь матрицу плотности\*. Таким образом, при измерении (взаимодействии) более корректно говорить о редуцированной матрице плотности для открытой системы. Сейчас в статьях по квантовой физике о редукции волновой функции упоминается все реже и реже. Обычно процесс декогеренции рассматривают, когда замкнутая система в результате взаимодействия ее составляющих «дробится» на части изнутри, либо наоборот — когда одна подсистема запутывается с другими подсистемами, образуя новую замкнутую систему. Описание подсистем при этом осуществляется при помощи матриц плотности.

\* О матрицах плотности см. главу 3.

О декогеренции можно говорить как о «свертывании» исходного пространства состояний в пространство состояний меньшего размера, когда исходный вектор состояния, с точки зрения некоторой выделенной подсистемы, делится на две части — на свои собственные (внутренние) и внешние степени свободы. И затем по внешним степеням свободы осуществляется усреднение, редукция, то есть используется «огрубленное» описание.

Сейчас уже стало понятно, что необратимость появляется только из-за того, что мы огрубляем описание системы, исключая из нашего рассмотрения то окружение, с которым происходит взаимодействие. Отсюда следует, что необратимость не является обязательным следствием декогеренции.

Такая «редукция» обратима, и подсистема может снова перейти в пространство состояний большей размерности. При этом, правда, необходимо уметь управлять как минимум взаимодействиями с ближайшим окружением, в пределах которого осуществляется декогеренция, и вместе с которым она составляет квазизамкнутую систему в некотором более широком пространстве событий. Текущий вариант реальности при таком переходе не «схлопывается», а продолжает существовать для других подсистем, которые по-прежнему находятся в том же пространстве событий. Происходит переход лишь нашего выделенного объекта с одного уровня реальности на другой. Это не просто «альтернативные» варианты привычной для нас реальности, а именно **другие уровни**. Это другие пространства состояний со своей пространственно-временной метрикой. Это более тонкие «призрачные» миры с более высокой мерой квантовой запутанности, со своими «тонкими» объектами и своими взаимодействиями между ними. Это пространства состояний, которые в нашем мире соответствует квантовым ореолам, окружающим плотные тела. И эти тонкие объекты не могут восприниматься классическими приборами (в том числе нашими обычными органами восприятия) и не могут быть описаны классической физикой, хотя они и существуют рядом с нами, точнее, они «пронизывают» наш мир.

Примером двухсоставной замкнутой системы являются человек и окружающая его Вселенная. Такая система уже не является смесью и пребывает в суперпозиционном состоянии, то есть каждый из нас находится в запутанном состоянии со всем окружающим миром. В этом состоянии, наряду с классическими корреляциями (ответственными за формирование

предметного мира), существуют квантовые корреляции (ответственные за «чудеса» в предметном мире), и возникает принципиальная, теоретически обоснованная возможность дистиллировать запутанность с помощью упомянутого выше процесса очищения (рекогеренции).

Кто-то может спросить: насколько велика будет ошибка, если мы пренебрегаем квантовыми эффектами при рассмотрении макрообъектов? Все зависит от того, какую задачу мы решаем. Если все, что нас интересует, — это описание плотного плана реальности (классическая физика), то мы можем не принимать во внимание эффекты квантовой запутанности макрообъектов (правда, при этом останутся необъяснимыми отдельные «сверхъестественные» явления). Ну, а если мы ведем речь о магии, о сверхъестественном, о взаимодействиях на тонких планах реальности (в квантовых ореолах), то, естественно, уже не можем пренебрегать квантовой запутанностью, поскольку, по моему мнению, она и лежит в основе этих эффектов. В последнем случае, наоборот, мы должны ставить во главу угла квантовую запутанность и уделять ей основное внимание.

Почему-то многие считают, что между макроскопическими телами не существует когерентных состояний, что в результате редукции (декогеренции) квантовая запутанность вообще исчезает. Это не так, и тут достаточно вспомнить один из фундаментальных принципов квантовой механики — *принцип несепарабельности\**, согласно которому, если взаимодействие между системами есть или было раньше (любыми системами, еще раз подчеркну), то эти системы будут несепарабельны. Напомню, что несепарабельность — это и есть квантовая запутанность.

\* Более подробно см. главу 2 раздел 2.8.

Таким образом, если между макроскопическими объектами есть взаимодействие, то между ними обязательно будут присутствовать квантовые корреляции. Видимо, некоторые полагают, что квантовая запутанность с окружением макроскопического тела — это что-то неестественное, типа «шредингеровского кота», который ни жив, ни мертв. Конечно же, это не так. Наоборот, такой «кот» может существовать только в случае изолированной системы, когда нет его взаимодействия с окружением. А квантовые корреляции с окружающими объектами — это как раз прямой результат взаимодействия с ними, это самое естественное состояние. Для любого макроскопического объекта не будет квантовой запутанности с другими объектами только в том случае, если между ними нет и не было взаимодействия. Квантовая запутанность с ее «волшебными» свойствами — магия, которая буквально разлита вокруг всех нас, ею пропитано все, она, как говорится, «на кончиках наших пальцев», нужны лишь желание ею воспользоваться и некоторые усилия.

Возникает также вопрос: почему же люди (по крайней мере, довольно значительная их часть), предпочитают видеть только классические корреляции и не пользуются «сверхъестественными» возможностями запутанных состояний? Ответить на этот вопрос несложно.

Во-первых, классические взаимодействия проще наблюдать — они самые сильные и «заглушают» квантовые корреляции. Они соответствуют информации, «записываемой» в нашем физическом теле, и сознание человека автоматически, с самого детства, начинает анализировать, прежде всего, эту «информацию тела». Мы сильнее реагируем на боль, голод и другие физиологические потребности организма, чем, скажем, на тонкие энергетические процессы, сопровождающие эмоциональный контакт с окружающими людьми.

Во-вторых, очищение запутанности — сложный процесс, требующий определенных навыков. Лишь немногие получают эту способность при случайной или целенаправленной инициации\*, для большинства же из нас овладение этим процессом в полном объеме связано со значительными усилиями (хотя начальные навыки даются довольно легко практически каждому).

\* От лат. *initio* — начинать, вводить (в курс дела), допускать (к чему-либо), посвящать (в тайну). Здесь: быстрое приобретение указанных навыков в результате стороннего воздействия. Классический пример — инициация Иисусом своих учеников. «И призвав двенадцать учеников Своих, Он дал им власть над нечистыми духами, чтобы изгонять их и врачевать всякую болезнь и всякую немощь». [Мф 10, 1]. Инициация адептов (часто многоуровневая) используется практически во всех эзотерических школах.

Измененные состояния сознания нужны для того, чтобы выделить эти суперпозиционные состояния среди «шума» других более сильных взаимодействий, которые их заглушают. В случае успеха у сознания появляется возможность напрямую управлять корреляциями на тонких уровнях реальности — в этом и есть суть магии. Задача не простая — по уровню сложности она сопоставима с сооружением сложных физических установок, которые сейчас используются для экспериментального изучения нелокальных квантовых корреляций, то есть для выделения отдельных взаимодействий и целенаправленного манипулирования квантовой запутанностью. У макросистем существует большое число самых различных взаимодействий с окружением, много каналов декогеренции и квантовой запутанности. Сложные экспериментальные установки для того и нужны, чтобы суметь выделить и отследить отдельные каналы этих взаимодействий, причем нужно не просто управлять каким-то отдельным каналом, но и суметь теоретически описать выделенные взаимодействия и квантовые корреляции, которые являются их следствием.

Поскольку декогеренция — это нарушение квантовой суперпозиции состояний в результате взаимодействия с окружением, то любое такое взаимодействие может рассматриваться как канал декогеренции, как процесс, который ее осуществляет или сопровождает.

Проще говоря, декогеренция — процесс «проявления» тел из пустоты, из небытия, из нелокального квантового источника. В результате этого процесса появляются плотные локальные объекты окружающего мира, в том числе различные классические поля, например, электромагнитное или гравитационное.

Декогеренция и рекогеренция — самые фундаментальные физические процессы в окружающей реальности, известные науке к настоящему времени. Процесс декогеренции лежит в основе всех известных классических взаимодействий (гравитационного, электромагнитного и т. д.), которые можно считать лишь его следствием. Различные виды взаимодействий в этом плане рассматриваются как отдельные каналы декогеренции. Взаимодействия могут быть любые — все, которые сопровождаются изменением состояния системы.

В физических экспериментах можно изучать различные типы взаимодействий непосредственно в аспекте декогеренции. Это, например, делалось в экспериментах А. Цайлингера [Nature **427**, 711–714 (2004)], где исследовался процесс декогеренции по одному из каналов взаимодействия с окружением — за счет теплового излучения. Еще раз подчеркну, что эти процессы фундаментальные, и характерны они не только для микрочастиц, как иногда ошибочно считают, а для любых объектов, в том числе и для макроскопических тел. В подтверждение приведу цитату из этой статьи: «Декогеренция тепловым излучением — общий механизм, который относится ко **всем макроскопическим телам**» (Выделено мной. — С. Д.).

По большому счету, все взаимодействия являются «эффектом декогеренции». Более того, согласно теории декогеренции, весь классический мир — это «эффект декогеренции». Данный момент подчеркивается, например, в самом названии книги по теории декогеренции: E. Joos, H. D. Zeh, C. Kiefer, D. Giulini, J. Kupsch, and I. O. Stamatescu «Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory» (Springer, Heidelberg, 2003). Ссылка на эту работу идет первой в списке литературы статьи в Nature, о которой упоминалось выше. Это серьезный источник, и авторы — известные ученые.

На сайте первого автора этой книги — E. Joos-а <http://www.decoherence.de> — можно прочитать следующие утверждения (выделения сохранены).

«Декогеренция...

- объясняет, почему *кажется*, что макроскопические системы обладают привычными классическими свойствами;
- объясняет, почему некоторые объекты *кажутся* нам локализованными в пространстве;
- объясняет, почему появились ранее противоречивые уровни описания в физике (классический и квантовый).
- Никаких дополнительных классических концепций не требуется для самодостаточного квантового описания.
- Не существует никаких частиц.
- Не существует никакого времени на фундаментальном уровне.
- Существует всего лишь ОДИН основной каркас для всех физических теорий: квантовая теория».

Все эти выводы сделаны не на пустом месте. Они отражают и обобщают результаты многолетних научных исследований тысяч и тысяч ученых, подтвержденные многочисленными экспериментами. В последнее время в научных журналах ежегодно публикуется огромное количество экспериментальных и теоретических статей по декогеренции и квантовой запутанности. Подчеркну, что речь идет о стандартной квантовой теории, а не о различных новомодных «интерпретациях» квантовой механики. Теория декогеренции, квантовая теория информации, теория запутанных (несепарабельных) состояний — все это прикладные разделы *стандартной* квантовой теории, и на их основе разрабатываются технические устройства, основным рабочим ресурсом которых являются запутанные состояния.

Процессы декогеренции, наличие квантовой запутанности, возможность целенаправленно ее изменять — все это факты, которые сегодня нельзя игнорировать. Все это уже работает в технических устройствах.

Таким образом, во многом благодаря практическим нуждам, важнейшие фундаментальные физические процессы, происходящие в реальности, которые наука раньше не рассматривала, вошли в сферу внимания научного сообщества и стали объектом тщательного (как теоретического, так и экспериментального) исследования. Пришло понимание того, что мера квантовой запутанности системы, ее динамика и физические процессы, ведущие к усилению или уменьшению квантовой запутанности, — это *основополагающие* характеристики системы. А фундаментальность новых (для науки) физических процессов обусловлена тем, что они являются неотъемлемым свойством *любого* элемента реальности.

Ориентируясь на потребности общества в новых перспективных технологиях, наука была вынуждена сделать психологически трудный для нее шаг. Ей пришлось перейти от привычной полуклассической копенгагенской интерпретации квантовой механики, подразумевающей обязательное наличие классического наблюдателя (измерительного прибора), к чисто квантовому подходу, в котором уже не осталось места классическому «пережитку». И это был поистине революционный шаг.

В результате квантовый подход к описанию окружающей реальности стал самодостаточной согласованной теорией, построенной из единых общих принципов, логично включающей в себя классическую физику как частный случай квантового описания.

Другое дело, что при осмыслении квантовой запутанности и процессов декогеренции, при попытке увязать их с нашим мировоззрением и пониманием окружающей реальности возникает множество вопросов. Тут может быть очень широкий диапазон различных мнений и точек зрения.

Таким образом, от теоретических основ квантового компьютера мы постепенно подошли к фундаментальным вопросам естествознания, к тем существенным изменениям в научной картине мира, которые следуют из последних достижений современной теоретической физики.

## 1.4. Нелокальный источник реальности

Для начала давайте сформулируем основной вопрос, который мы хотим прояснить. Как известно, правильно поставленный вопрос — более половины ответа. Попробуем спросить: «*Действительно ли окружающий нас мир состоит из обособленных твердых объектов?*» Действительно ли мир ограничивается материей и различными физическими полями, которые мы можем воспринимать непосредственно или с помощью классических приборов, и кроме этого ничего не существует? Или все, что мы видим вокруг себя, — лишь незначительная часть более сложной совокупной реальности? На первый взгляд, вопрос может показаться абстрактным, «нефизичным», не имеющим однозначного ответа со стороны физики, которая бы подтверждала свои выводы экспериментами. Такие эксперименты проводились и проводятся, и мы еще будем о них говорить более подробно, и есть однозначные выводы, хотя не все готовы их принять. Но пока не будем торопиться и начнем издалека.

Практически каждый из нас что-то слышал о волнах де Бройля, о дуализме волна-частица. Тот, кто знаком с квантовой теорией, может вспомнить, что поля и частицы — это не разные объекты, а разные *способы описания* одного и того же объекта. Для микромира давно решен вопрос и о том, что мы будем наблюдать в эксперименте — волну или частицу. Решение это очень поучительное. Оказывается, все зависит от наблюдателя. Если он захочет увидеть исследуемый объект в виде частицы, то возьмет нужный измерительный прибор — и увидит ее

вполне твердой «на ощупь», а пожелает увидеть распределенным в пространстве (волну), возьмет другой прибор, и вся твердость куда-то исчезнет (частица проходит через две щели одновременно). Прибор играет роль своеобразного фильтра восприятия, отбирая и показывая нам лишь один из возможных способов описания материи. Как говорил Луи де Бройль\*, «этот прибор как раз и извлекает из состояния, которое существовало до измерения, одну из содержащихся в нем возможностей».

\* *Бройль Л. де.* Революция в физике (Новая физика и кванты). М.: Атомиздат, 1965.

Квантовая механика первой поставила под сомнение, казалось бы, очевидную предметность нашего мира и осознала, что немаловажная роль в процессе «опредмечивания» окружающей действительности принадлежит измерительному прибору и наблюдателю. До недавнего времени считалось, что такое необычное поведение материи характерно только для микрочастиц. Но классики уже в момент становления квантовой механики прекрасно понимали, какое огромное значение имеют эти выводы для общей картины окружающего мира, и что они выходят далеко за рамки микромира. Например, В. Гейзенберг\*, рассуждая на эту тему, говорил: «Идея реальности материи, вероятно, являлась самой сильной стороной жесткой системы понятий XIX века; эта идея в связи с новым опытом должна быть, по меньшей мере, модифицирована». Однако недостаток научных данных в то время позволял ученым лишь философствовать на эту тему.

\* *Гейзенберг В.* Физика и философия. М.: Наука, 1989.

Лишь в последние годы результаты, полученные теорией запутанных состояний и декогеренции, смогли пролить свет на ситуацию в макромире. Как уже упоминалось, одним из первых «пал» постулат редукции волновой функции, и был сделан вывод, что все составные части Вселенной, как замкнутой системы, должны находиться в когерентном запутанном состоянии. Окружающий мир оказался намного сложнее так хорошо всем знакомой картины реальности.

Дело в том, что одна из основных особенностей запутанных состояний — это их несепарабельность. То есть объекты, находящиеся в запутанном состоянии с окружением, в принципе не могут быть полностью описаны в предметном мире. Они не принадлежат целиком и полностью привычному для нас пространству-времени и могут не подчиняться причинно-следственным связям. В своем обычном режиме восприятия мы способны видеть лишь проекции этих состояний, и их поведение может противоречить всем известным законам предметного мира.

Вот одна из близких аналогий. При просмотре какого-либо художественного фильма многие из нас прекрасно понимают, что если на экране мы видим «чудо», то оно объясняется действиями, которые происходят «за кадром». Специалист способен даже определить последовательность этих действий. Современная теоретическая физика доказывает, что аналогичная ситуация происходит и в фильме под названием «Предметная жизнь физических тел».

С точки зрения квантовой теории проще всего анализировать замкнутые системы.

Единственным объектом, который можно назвать в полной мере замкнутой системой, является весь Универсум, Вселенная в целом. Она считается замкнутой системой (и, следовательно, чистым состоянием) по определению — нет ничего, что было бы вне ее. Все другие объекты уже не будут абсолютно замкнутыми, и речь в лучшем случае может идти о квазизамкнутых системах (псевдочистых состояниях) с различной степенью приближения к чистому состоянию. Такие открытые системы находятся в так называемом смешанном состоянии.

Первый концептуальный вывод, который следует практически сразу, — у Универсума нет внешнего окружения, следовательно, никто не может осуществить его редукцию. Декогеренция — это процесс перехода чистого состояния в смешанное. Процесс, который имеет место только для подсистем, для составных частей замкнутой системы. Универсум, как единая система, в любом случае будет оставаться в чистом состоянии, независимо от того, что происходит у него «внутри», на уровне подсистем. И чистое состояние может оставаться нелокальным независимо от того, какое «шевеление» происходит внутри Универсума. Во всей своей целостности он по-прежнему будет нелокальным, нетварным и по-прежнему будет оставаться вне времени и пространства.

Согласно космологической концепции теории декогеренции, весь классический мир со всеми объектами и взаимодействиями между ними возник из **нелокального источника реальности**. Сейчас уже никого не шокируют названия научных книг\* и статей\*\*, звучащие примерно так: «Декогеренция и появление классического мира в квантовой теории». При этом значение слова «appearance» (появление) имеет дополнительные оттенки: видимость, призрачное явление, нечто внешнее, противопоставленное «истинному», настоящему.

\* *Joos E., Zeh H. D., Kiefer C., Giulini D., Kupsch J. and Stamatescu I. O.* Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory, (Springer-Verlag 2003).

\*\* *Zurek W. H.* Decoherence, einselection and the quantum origins of the classical, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 715 (2003).  
Доступная версия этой статьи в архиве препринтов: <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0105127>.

Весь материальный классический мир, согласно квантовой теории, не является основой реальности. Совокупная квантовая реальность гораздо богаче и шире. Классический мир — это лишь «картинка», видимость, внешнее проявление одной из сторон квантовой реальности.

Нелокальный источник реальности, из которого «проецируется» наш плотный мир — это довольно глубокое понятие. Может ввести в заблуждение сам термин «нелокальный». Речь идет о квантовой нелокальности, которая не имеет отношения к волнам, полям, к классическим энергиям любого вида и типа. Квантовая нелокальность вообще не может быть описана классической физикой.

Нелокальный квантовый источник реальности — это мир, в котором вообще нет никакой массы и потоков энергии. Это пустота, которая, тем не менее, содержит в себе всю полноту классических (тварных) энергий в нелокальной суперпозиции. Все тварные энергии (в том числе на тонких уровнях) как бы компенсируют друг друга и в своей совокупности образуют Всеобъемлющую Пустоту. Пустоту лишь в том смысле, что этот мир невидим в своей целостности. На уровне Универсума остается только одна возможность — оперировать квантовой информацией, кроме которой там ничего больше и нет.

Нелокальный источник реальности не является материальным, поскольку в нем нет массы и энергии, и вообще в нем нет ничего, что имело бы отношение к классической физике. Можно условно назвать его единым информационным полем, которое содержит в себе информацию о внутренней структуре Универсума, а декогеренция — это своеобразное проявление этой информации в виде той или иной классической реальности (проекции) — проявление «картинки», которое сопровождается потоками тварных энергий (в том числе на тонких уровнях, где выше мера квантовой запутанности). Все эти проекции, «картинки», остаются внутри Универсума, и снаружи они все равно не видны, нет одной, общей для всех «сцены». Различные части системы «смотрят» (и участвуют в качестве декораций) в своих постановках, на различных «сценах», и все зрители распределяются по своим «интересам», по параметрам и энергетическим характеристикам в качестве локальных объектов-участников.

Нет общей классической реальности, общего мира, единого для всех частей (подсистем). Квантовая теория позволяет гораздо шире взглянуть на окружающую реальность, и, в отличие от классической физики, которая предполагает, что есть некий единый, общий для всех материальный мир, говорит о том, что могут существовать другие миры из тварных энергий различной плотности (различные по мере квантовой запутанности). В моей интерпретации декогеренция, как фундаментальный физический процесс, имеет место не только среди плотных энергий привычного нам мира классической реальности, но и других более «тонких» энергий. Там «собираются» уже другие «картинки», другие проекции реальности.

«Мы не умрем, но изменимся», — примерно так говорится во всех религиозных и мистических учениях, и наше изменение одновременно означает смену «декораций» окружающей нас реальности. В результате квантового перехода после смерти мы попадаем в другой мир, который станет для нас не менее реальным, чем нынешний, поскольку наше новое «тело» будет состоять из тех же энергий, что и энергии окружающих объектов, то есть процесс декогеренции пойдет уже в новом энергетическом диапазоне. Хотя с точки зрения классической физики эти «потусторонние» энергии вообще не существуют, и их нельзя зафиксировать и описать в классическом приближении. Это энергии на уровне того, что сейчас называется квантовыми ореолами, и они могут быть поняты и объяснены только в квантовой теории. Но такие энергии все

равно остаются тварными, поскольку являются результатом декогеренции, хотя для них мера квантовой запутанности (доля нетварных энергий) будет выше.

Классическая физика способна предложить концепцию лишь одного мира, общего для всех (пусть и с учетом теории относительности). Квантовая теория, в частности, теория декогеренции, в состоянии предложить более глубокую концепцию, согласно которой существует уже не один классический мир, а совокупность миров с разной мерой квантовой запутанности, с качественно различной энергией. Теория декогеренции может стать теорией относительных реальностей, когда для частей системы из различных классов состояний существуют свои реальности, свои процессы декогеренции, свои энергии и частицы, своя метрика пространства-времени.

Таким образом, материальный мир, который считался раньше первоосновой всего сущего, с точки зрения квантовой теории является вторичным образованием в пределах всеобъемлющего квантового источника реальности. Весь классический мир сам «погружен» в реальности более высоких квантовых уровней.

В свете квантовой парадигмы реальности приоткрывается завораживающая глубина, всеобъемлющая целостность и потрясающая красота законов мироустройства.

Говоря упрощенно, совокупную квантовую реальность можно представить в виде многоуровневой системы. Каждый ее энергетический уровень — своего рода отдельная реальность со своими объектами, энергетическими характеристиками, пространственно-временными метриками. А совокупная реальность — суперпозиция всех этих энергетических уровней. Причем между ними возможны квантовые переходы, но непосредственно изучать один уровень, находясь при этом на другом, невозможно. С одного уровня нельзя напрямую влиять на другой — энергии этих миров различны. Здесь может иметь место лишь косвенное влияние через нелокальные квантовые корреляции, поскольку все уровни объединены в когерентную суперпозицию, то есть находятся в запутанном состоянии между собой.

С нашим привычным миром, который еще недавно считался исчерпывающим, можно сопоставить лишь один энергетический уровень в сложной квантовой картине реальности. При этом другие реальности не удастся наблюдать непосредственно из нашего предметного мира. «Потусторонние» реальности не принадлежат ему, об их объективном физическом существовании мы в состоянии судить лишь по наличию эффектов квантовой запутанности в нашем мире, проявлению в нем «запредельных» реальностей в виде «чудес». Эффектов, которые не могут быть объяснены классической физикой, и которые с точки зрения привычных представлений об окружающем мире обладают «сверхъестественной» природой.

Именно этими необычными свойствами запутанных состояний можно объяснить практически все «необъяснимые» явления — от банального полтергейста до самых невероятных взаимодействий с различными объектами вне нашего предметного мира. К этому же классу относятся и явления, связанные с действиями шаманов, колдунов, экстрасенсов, магов, ясновидящих и т. д. и т. п., а также чудеса, о которых рассказывается в религиозной литературе. Все они находят научное объяснение в рамках теории запутанных состояний и теории декогеренции.

Однако большинство из нас предпочитает сосредотачивать все свое внимание на классических корреляциях со своим окружением. Как уже отмечалось, степень классичности окружения зависит от количества информации, «записываемой» в человеческом теле и отраженной в сознании, то есть той информации, над которой сознание может «манипулировать». Декогеренция человека окружением, потеря им «магических» свойств запутанных состояний и, как следствие, «опредмечивание» окружающего мира являются своеобразной расплатой за ясность сознания, развитие разума и мышления. Очевидно, что это был довольно длительный процесс в истории человечества, и такие выводы в рамках теории декогеренции хорошо согласуются со Священным Писанием. Когда говорят об Адаме и Еве, то иногда забывают, что перволюди были лишены плотного «дебелого» тела — они были подобны ангелам небесным, бесплотными духами, и лишь после своего падения люди получили плотное физическое тело. Святитель Игнатий Брянчанинов пишет\*:

\* Свят. Игнатий (Брянчанинов). Слово о чувственном и о духовном видении духов. Собр. соч. Т. 3. М.: Паломник, 2002. С. 12.

«До падения человека тело его было бессмертно, чуждо недугов, чуждо настоящей его дебелисти и тяжести, чуждо греховных и плотских ощущений, ныне ему свойственных

<...>

Богородяновенный писатель Бытейской книги говорит, что по падении первых человеков, Бог, произнесши приговор над ними, еще до изгнания их из рая, сотвори им ризы кожаны и облече их (Бытие 3,21). Ризы кожаныя, по объяснению святых Отцов (Святаго Иоанна Дамаскина. Точное изложение Православной веры, книга 3, глава 1), означают нашу грубую плоть, которая при падении изменилась: утратила свою тонкость и духовность, получила настоящую свою дебелисть».

Горек плод познания, поскольку он сопровождается декогеренцией, облачением в плотную телесную форму и изгнанием из «райского» существования в запутанном состоянии.

В макромире, так же как и в микромире, основная ответственность за результат наблюдения возлагается на «измерительный прибор», под которым можно понимать любую структуру, взаимодействующую со своим окружением. Естественно, что мир, который она «собирает» вокруг себя, зависит от ее внутренних свойств, от той информации, которая может в ней «записаться». Мы ограничимся наиболее «совершенной» структурой — сознанием человека с его инструментами — органами восприятия.

Окружающий нас мир содержит огромное количество информации, которую человек не способен анализировать одновременно. Механизм восприятия изучают такие науки, как психология и психофизиология восприятия. Эта научная область располагает большим количеством исследований и публикаций, огромным количеством накопленных фактов. Исследования ведутся на самых разных уровнях: морфофизиологическом, психофизическом, психологическом, теоретико-познавательном, клеточном, феноменологическом, фонографическом. Изучаются филогенез, онтогенез восприятия, функциональное развитие восприятия и процессы его восстановления. Используются самые разнообразные методы, процедуры, индикаторы. Начиная с самых первых теорий восприятия (Д. Бродбент — «модель с фильтрацией»\*), большинство ученых в этой области приходят к выводу, что восприятие — явление в значительной степени «элиминативное»\*\* (вытесняющее), а не продуцирующее.

\* *Модель с фильтрацией* — одна из первых концепций избирательного внимания, предложенная Д. Бродбентом, предполагающая ограниченность пропускной способности канала обработки сенсорной информации, поступающей параллельно по нескольким каналам. На определенном этапе обработки информации тот или иной сигнал оказывается в центре внимания, что и обуславливает его передачу через избирательный фильтр в «канал с ограниченной пропускной способностью», который находится между этапами обнаружения и распознавания сигналов. За счет этого фильтра происходит перемещение информации из кратковременной памяти в долговременную [Психологический словарь]. *Бродбент Д. Е. Установка на стимул и установка на ответ: два вида селективного внимания: Хрестоматия по вниманию / Под ред. А. Н. Леонтьева, А. А. Пузыря, В. Я. Романова. М.: Изд-во МГУ, 1976.*

\*\* От лат. *elimino* — выношу за порог, удаляю.

То есть основная функция мозга и нервной системы, как это ни парадоксально звучит, — не отражение окружающей действительности, а защита, своеобразный барьер, призванный оградить нас от огромного объема информации, поступающей извне, и оставить лишь весьма небольшой, специфически отобранный материал, который может пригодиться, прежде всего, для биологического выживания человека. Таким образом, теория восприятия также подтверждает, что развитие человека, в частности, его нервной системы, — это естественный процесс возведения все более прочного «барьера» между человеком и окружающей действительностью. Этот «экран» позволяет человеку наиболее эффективно действовать в окружающем мире за счет ограничения широты восприятия, располагая при этом более детальной информацией о процессах, происходящих в узкой области восприятия, выделенной его вниманием.

Человеческое тело (как результат эволюции) можно считать инструментом познания окружающей реальности. Оно «отвердевает» одновременно с окружающим миром по мере декогеренции, в результате чего становится возможным развитие индивидуального сознания. Происходит снижение степени запутанности, и непосредственное восприятие других слоев реальности, в том числе высших сущностей, все более и более затрудняется — человек «отпадает» от Бога. Однако, с другой стороны, «отпадая» от Бога, он получает свободу воли,

свободу быть самостоятельным существом, способным взрастить индивидуальное зерно духа и разума, обогащая тем самым мировой Разум. В раю, на тонких слоях реальности, это невозможно было сделать — там высокая мера квантовой запутанности, там человек несамостоятелен. Так, ангелы небесные не обладают свободой воли и не имеют необходимых условий и возможности для индивидуального творчества и развития самосознания.

Но погружение в плотный мир не означает, что сознание человека не в состоянии преодолеть ограничения, накладываемые на него физическим телом. Наиболее весомым подтверждением этого факта, а также справедливости наших рассуждений о роли запутанных состояний является широкое распространение различных магических и религиозных практик, неразрывно связанных со всей историей развития человечества. Даже самый поверхностный анализ показывает, что все основные методики расширенного восприятия связаны с умением управлять степенью запутанности своего сознания с окружающей реальностью. К их числу относятся остановка внутреннего диалога, медитация, созерцание, религиозные практики (например, искренняя молитва), техника перепросмотра своей жизни, даже такая относительно редкая техника, как стирание личной истории, и т. д. Все они имеют достаточно четкое научное объяснение в рамках теории запутанных состояний и могут быть описаны уже не только качественно, но и количественно — с помощью чисто физических величин, например, различных мер запутанности. Теория запутанных состояний и декогеренции способна предоставить исследователю теоретический аппарат для научного анализа магических практик.

Многообразие подобного рода методик и практик впечатляет, но суть у них одна — ослабить взаимодействие сознания с привычным предметным миром и перейти в запутанное состояние с окружающей реальностью, то есть осуществить процесс, обратный декогеренции (очищения запутанности, рекогеренции), предоставить сознанию возможность действовать вне привычных рамок пространства и времени. Более глубокий анализ этих техник с точки зрения теоретической физики вызывает лишь уважение к различным школам, разработавшим в мельчайших деталях практическую реализацию теории запутанных состояний сознания с окружающим миром.

Научный подход к указанным методикам позволяет обобщить, систематизировать и классифицировать эти знания, которые до сих пор оставались вне системы общепринятого мировоззрения. Мы получаем возможность ввести новые понятия в структуру нашего описания мира и сознательно их использовать.

Теперь самое время ответить на вопрос, поставленный в начале раздела: *«Действительно ли окружающий нас мир состоит из обособленных твердых объектов?»* Предметность окружающего мира, его «твердость» — не есть исходное, изначальное и неизменное состояние окружающей реальности, а лишь один из уровней более сложной квантовой реальности. С другой стороны, это один из возможных «способов описания» узкого слоя совокупной реальности наблюдателем (в самом широком смысле этого слова), который извлекает из окружающего мира одну из содержащихся в нем возможностей в соответствии с информацией, которая записывается, отражается в его внутренней структуре, «улавливается» ею. В частности, для каждого из нас предметность окружающего мира обусловлена декогеренцией человеческого тела, его органов восприятия со своим окружением и представляет собой одну из возможных картин, проекций многогранной реальности. Причем даже в ней мы в настоящее время воспринимаем лишь незначительную часть информации, только одну из сторон, один из «способов описания» в виде локальных твердых объектов (узкий диапазон восприятия, но с подробной информацией). Мы уже разучились воспринимать другой возможный «способ описания» в виде нелокальных полевых структур (широкий диапазон, но с менее детальной информацией).

Однако, с практической точки зрения, самый важный вывод заключается в том, что, управляя степенью запутанности своего сознания с окружением, мы в состоянии расширить свое восприятие. Во-первых, можно «размягчить» данный предметный мир и научиться воспринимать содержащуюся в нем дополнительную информацию. Для этого необходимо перейти в режим видения полевой энергетической структуры «твердых» объектов и даже структур, не имеющих предметного воплощения. Во-вторых, мы способны воспринимать и «проявлять» другие реально существующие проекции реальности, причем также в различных режимах, как в виде локального предметного мира, так и в виде нелокальных энергетических структур. И, в-третьих, наше сознание в состоянии создавать новые объекты реальности, ранее не существовавшие.

## 1.5. Нелокальность в окружающем мире. Экспериментальная проверка

Вопрос об обособленности объектов окружающей реальности, который мы рассматривали в предыдущем параграфе, достаточно четко может быть сформулирован в квантовой теории, и к настоящему времени осуществлена его экспериментальная проверка. Остановимся на этом более подробно.

Такие специфические черты квантовых систем\*, как нелокальность и квантовая запутанность, не имеют аналога в классической физике, и их проявления кажутся сверхъестественными для тех, кто привык иметь дело с классическим описанием окружающей реальности.

\* Термин «квантовая система» означает только то, что система описывается методами квантовой теории, то есть в терминах «вектор состояния», «матрица плотности» и т. д., при этом размер системы может быть любой, в том числе макроскопический.

Первым, кто обратил внимание на эти особенности квантовых систем, был Эйнштейн, который в 1935 году на примере запутанных состояний ЭПР-пары\* пытался доказать неполноту описания мира квантовой механикой. Возможность существования мгновенного действия на расстоянии ему казалась противоестественной, и в этом контексте он употреблял термин «телепатия»\*\*.

\* *Einstein A., Podolsky B. and Rosen N. Phys. Rev. 47, 777 (1935).* Оригинал статьи доступен на сайте <http://physmag.h1.ru/library.html>.

\*\* *Einstein A. In Albert Einstein, Philosopher-Scientist, edited by P. A. Schilpp (Library of Living Philosophers, Evanston, 1949). P. 85.*

Эйнштейн исходил из привычных представлений, и ему казалось правильным считать, что, если две системы *A* и *B* пространственно разделены, тогда при полном описании физической реальности действия, выполненные над системой *A*, не должны изменять свойства системы *B*. Этот принцип часто называют *принципом локальности Эйнштейна*.

В том, что для двух удаленных коррелированных частиц измерение проекции одного спина\* (вверх) заведомо определяет проекцию другого спина (вниз), нет пока ничего удивительного, квантового. В классической ситуации могут существовать аналогичные корреляции между результатами измерения. Например, если у нас было два детских кубика разного цвета — красный и синий, которые затерялись в комнате, то, найдя кубик красного цвета, можно без измерения второго кубика утверждать, что, когда мы его найдем, увидим синий кубик. Квантовая специфика оказывается более сложной и интересной. Анализ показывает, что спин, как внутренняя характеристика частицы, для некоторого типа состояний в качестве локального элемента реальности может не существовать вовсе до тех пор, пока его не измерят. Это как в нашем примере с кубиками — пока мы не возьмем в руки первый кубик, они вообще не имеют своего цвета в качестве индивидуальной локальной характеристики. Кубики «бесцветны», но, как только мы берем в руки один кубик, он тут же «окрашивается» в синий или красный цвет с равной вероятностью, и после этого второй кубик, который мы не видим, тоже приобретает свой цвет. До измерения «цвет» находится в нелокальном суперпозиционном состоянии, его нельзя распределить на два локальных объекта. Лишь при измерении в процессе декогеренции «цвета» локализуются, разделяются на независимые части.

\* *Спин* — внутренняя характеристика частицы, не связанная с ее движением в пространстве и не имеющая классического аналога. Иногда, для наглядности, спин представляют в виде «быстро вращающегося волчка», что не совсем корректно. Для частиц со спином  $1/2$  пространство состояний является двумерным, и в качестве базисных состояний принято выбрать спин-вверх и спин-вниз.

Примерно то же самое происходит со спином. Результаты квантовомеханических расчетов показывают, что если система находится в состоянии типа ЭПР-пары, то в этом случае оказывается несправедливым наше интуитивное предположение о том, что спин до измерения существует как реальная и объективная физическая характеристика частицы. В квантовой теории

делается и более общий вывод: если система исходно находилась в нелокальном суперпозиционном состоянии, то ее составные части, как локальные классические объекты, не существуют до тех пор, пока не произойдет декогеренция.

Здесь только нужно учитывать, что у сложной макроскопической системы обычно очень много степеней свободы, и по одним из степеней она может быть локальна, сепарабельна (разделима на независимые части), а по другим — несепарабельна, неразделима на части. Это легко пояснить на примере частиц, которые могут находиться в разных местах, то есть будут разделены по пространственным координатам, но в то же время по спиновым степеням свободы составлять единое целое.

Своим примером с ЭПР-парой Эйнштейн пытался доказать, что квантовая механика неполна и не способна однозначно описать реальность в принципе. Отсюда возникло предположение о скрытых параметрах, которые в состоянии спасти ситуацию и помогут вернуться к привычному, локальному описанию объектов. Однако конечный результат исследования этой проблемы оказался противоположным.

В итоге выяснилось, что более правильным является именно квантовомеханический подход. И результат такого подхода несовместим с предположением, что наблюдаемые свойства объекта (в общем случае) существуют до наблюдения как объективная самостоятельная внутренняя характеристика.

Первый реальный шаг к такому выводу сделал Белл в 1964 году, когда он, анализируя ситуацию со скрытыми параметрами, сформулировал свои знаменитые неравенства\*.

\* *Bell J. S. Physics* **1**, 195 (1964). Оригинал статьи доступен на сайте <http://physmag.h1.ru/library.html>.

Он ввел понятие «объективной локальной теории», которой придерживались Эйнштейн и сторонники скрытых параметров. В этой теории предполагается, что

- физические свойства системы существуют сами по себе, они объективны и не зависят от измерения;
- измерение одной системы не влияет на результат измерения другой системы;
- поведение не взаимодействующей с окружением системы зависит лишь от условий в более ранние моменты времени.

Это привычные для всех нас представления об окружающей реальности.

Теорема Белла утверждает, что «объективная локальная теория» и квантовая механика дают разные предсказания для результатов измерения. Естественно, возник вопрос, каким же на самом деле является реальный мир, и неравенства Белла помогли ответить на него непосредственно — на основании анализа результатов экспериментов. Такие эксперименты были проведены А. Аспектом\* и впоследствии многими другими исследователями. Их результаты показали, что окружающая нас реальность является квантовой в своей основе, и все вышеперечисленные предположения «объективной локальной теории» в общем случае несправедливы.

\* *Aspect A., Grangier Ph. and Roger G. Phys. Rev. Lett.* **49**, 91 (1982); *Aspect A., Dalibard J. and Roger G. Phys. Rev. Lett.* **49**, 1804 (1982).

Физических экспериментов по проверке локального реализма было проведено очень много\*, и все они опровергают положения «объективной локальной теории», свидетельствуя в пользу нелокальности окружающей нас реальности.

\* О первых экспериментах в этой области можно прочитать в статье: Абнер Шимони. Реальность квантового мира // В мире науки (Scientific American). 1988. № 3. С. 22. Статья доступна в Интернете на сайте «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.10950, 21.01.2004. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231/008a/02310009.htm>.

Я остановлюсь лишь на одном, наиболее ярком эксперименте, который не оставляет практически никаких шансов «локальным реалистам».

Результаты этого эксперимента были опубликованы в *Nature* в 2000 году\*.

\* *Pan J-W., Bouwmeester D., Daniell M., Weinfurter H. and Zeilinger A. Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement, Nature* **403**, 515 (2000).

В этом эксперименте\* исследовались трехчастичные запутанные состояния (так называемые ГХЦ-состояния — Гринбергера, Хорна, Цайлингера), которые позволяют дать достоверный, а не статистический результат по проверке локального реализма.

\* Описание эксперимента приводится по книге: *Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А.* Физика квантовой информации. М.: Постмаркет, 2002.

Гринбергер, Хорн и Цайлингер показали, что квантовомеханические предсказания некоторых результатов измерений трех запутанных частиц противоречат локальному реализму в случаях, когда квантовая теория дает достоверные, то есть нестатистические предсказания. В этом — отличие от экспериментов типа Эйнштейна-Подольского-Розена с двумя перепутанными частицами по проверке неравенства Белла, где противоречие с локальным реализмом возникает только для статистических предсказаний.

Применение эйнштейновского понятия локальности означает, что скорость распространения информации не может превышать скорость света. Соответственно результат измерения одного фотона не должен зависеть от того, проведено ли одновременно измерение двух других фотонов, а также от исхода этих измерений. Но как с точки зрения локального реализма объяснить полные корреляции между фотонами? Единственный способ — предположить, что значение величины меняется не в результате измерения, а просто вследствие ее стохастического (случайного) поведения. То есть она может принимать различные значения потому, что это особенность ее поведения — быть изменчивой без всяких причин. Например, как в рассматриваемом эксперименте: каждый фотон якобы содержит заранее все возможные результаты измерения в виде случайного набора, но все они не зависят от измерения других фотонов.

В этом эксперименте в качестве элементов реальности рассматривались циркулярные поляризации фотонов. Предположим, что элементы реальности существуют до того, как проведено измерение. Значит, мы можем определить все возможные исходы (в данном случае — четыре). Это конкретные математические выражения, полученные как следствие сделанного предположения. То есть «локальный реалист» утверждает, что в эксперименте будут получены именно эти результаты, один из четырех в каждом частном случае.

С другой стороны, можно записать аналогичные формулы для возможных исходов эксперимента, предсказанных квантовой теорией. И самое интересное, что последние прямо противоположны первым! Тут уж экспериментаторам трудно ошибиться. Всякий раз, когда локальный реализм предсказывает достоверный специфический результат измерения одного фотона (при данном результате измерения двух других), квантовая физика достоверно предсказывает прямо противоположный результат. Если в случае неравенства Белла для двух фотонов разница между локальным реализмом и квантовой физикой состоит в статистических предсказаниях теории, то здесь любая статистика возникает только благодаря неизбежным ошибкам в измерениях, свойственным и классической, и квантовой физике. Поэтому трехфотонные состояния ГХЦ находятся в большем противоречии с локальным реализмом, чем двухфотонные состояния, и это противоречие легче зафиксировать в физических экспериментах.

Эксперименты подтверждают, что поляризацию фотонов для ГХЦ-состояний нельзя разделить на части и сопоставить с отдельными элементами реальности. По спиновым степеням свободы система составляет единое целое. Утверждения локальной объективной теории оказываются несправедливыми. Выходит, что реальность является более сложной, чем это представляется локальным реалистам.

Эксперименты по квантовой нелокальности были проведены не только с состояниями, запутанными по поляризации, но также и по времени, по импульсам и т. д., и все они подтвердили наличие нелокальности на фундаментальном уровне реальности.

После того как Белл сформулировал свою теорему, стало очевидным, что квантовая механика несовместима с локальным реализмом. В настоящее время нарушение неравенства Белла (или его аналогов) считается одним из основных факторов, свидетельствующих о наличии значительных квантовых корреляций в системе и, как следствие, невозможности описания такой системы в рамках классического подхода. Наличие запутанности в системе является необходимым условием для нарушения неравенства Белла.

Параллельно с проведением экспериментов по проверке локального реализма большая работа проводилась и физиками-теоретиками. В том числе их внимание было направлено на теоретическое изучение различных типов запутанных состояний в плане их нарушения неравенств Белла, а также на их систематизацию и классификацию. Для тех, кто хочет более подробно ознакомиться с этой информацией, я перечислю некоторые основные работы в этом направлении.

В 1991–1992 годах Н. Гизин и А. Перес\* показали, что любая двусоставная система, находящаяся в чистом запутанном состоянии, нарушает неравенство Белла.

\* *Gisin N. Phys. Lett. A* **154**, 201 (1991); *Gisin N. and Peres A. Phys. Lett. A* **162**, 15 (1992).

Почти сразу же этот результат был обобщен С. Попеску и Д. Рорлихом\* и распространен на многосоставные системы, состоящие из произвольного числа подсистем. Таким образом, для чистого запутанного состояния вопрос был в основном решен: *любое чистое запутанное состояние нарушает неравенство Белла*, и описание такой системы невозможно в рамках локального реализма.

\* *Popescu S. and Rohrlich D. Phys. Lett. A* **166**, 293 (1992).

Со смешанными запутанными состояниями ситуация более сложная, хотя на практике, из-за декогеренции, приходится иметь дело именно с ними.

С точки зрения практического применения нелокальных свойств запутанных состояний наиболее эффективны чистые запутанные состояния, как обладающие максимальным нелокальным ресурсом. В связи с чем возникает вопрос, можно ли перевести систему из смешанного запутанного состояния в чистое? Первый шаг в этом направлении сделал Ч. Беннетт (с соавторами)\* в 1996 году. Ими была описана процедура дистилляции запутанности к полезной форме синглета, то есть к максимально запутанному состоянию типа ЭПР-пары.

\* *Bennett C. H., Brassard G., Popescu S., Schumacher B., Smolin J. and Wootters W. K. Phys. Rev. Lett.* **76**, 722 (1996); *Bennett C. H., Brassard G., Popescu S., Schumacher B. Phys. Rev. A* **53**, 2046 (1996).

Впоследствии было показано\*, что любое несепарабельное (запутанное) смешанное состояние двусоставной системы в двухмерном гильбертовом пространстве (система  $2 \times 2$ ), имеющее сколь угодно малые квантовые корреляции, может быть дистиллировано к синглетной форме.

\* *Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. Phys. Rev. Lett.* **78**, 574 (1997).

Поначалу предполагалось, что такая процедура возможна и для больших систем. Однако вскоре выяснилось\*, что, начиная с  $2 \times 3$  систем, квантовая механика подразумевает существование двух качественно различных видов смешанной запутанности. И кроме «свободной» запутанности, которая может быть всегда дистиллирована, существует «связанная» запутанность (*bound entanglement*), которую невозможно привести к синглетной форме.

\* *Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. Phys. Rev. Lett.* **80**, 5239 (1998).

Оказалось, что нарушение неравенства Белла, то есть несепарабельность (наличие запутанности) не является достаточным условием для дистиллируемости. Встал также вопрос, нарушают ли *связанные* запутанные состояния локальный реализм. В связи с этим особенный интерес представляют многосоставные системы, и вопросы здесь остаются, хотя уже много сделано и в этом направлении. Так, Ч. Беннетт (с соавторами)\* показали, что трехсоставная  $2 \times 2 \times 2$  система, находящаяся в смешанном запутанном состоянии, не является запутанной, если рассматривать ее как двусоставную (три варианта)  $2 \times 4$  систему.

\* *Bennett C. H., DiVincenzo D. P., Mor T., Shor P. W., Smolin J. A. and Terhal B. M. Phys. Rev. Lett.* **82**, 5385 (1999).

В последние годы внимание теоретиков к нарушению неравенства Белла различными типами запутанных состояний несколько ослабло. Ситуация стала более-менее понятной, да и прошел бум экспериментальных исследований в этой области. В настоящее время считается, что вопрос проверки локального реализма окончательно решен в пользу квантовой теории, и фундаментальный вывод о нелокальности окружающей реальности полностью подтвержден физическими экспериментами.

Сейчас акценты, как экспериментаторов, так и теоретиков, сместились в сторону прикладных исследований и технического применения нелокальных квантовых корреляций. Значительные усилия в последнее время были направлены на то, чтобы понять роль запутанных состояний в природе, на возможность их практического применения в качестве принципиально нового нелокального ресурса в технических устройствах.

Экспериментаторы работают сейчас над созданием квантового компьютера, квантово-криптографических систем и других квантово-когерентных устройств. А теоретики, основываясь на этих экспериментах, ищут наиболее удобные способы количественного описания квантовой запутанности и процессов декогеренции/рекогеренции. В частности, идет интенсивный поиск наиболее удобной в практическом применении меры квантовой запутанности, и к этому вопросу мы еще вернемся, когда будем говорить о матрице плотности.

## **1.6. Может ли скорость обмена информацией превышать скорость света?**

Довольно часто приходится слышать, что эксперименты по проверке неравенств Белла, опровергающие локальный реализм, подтверждают наличие сверхсветовых сигналов. Это говорит о том, что информация способна мгновенно передаваться от одного объекта к другому, удаленному даже на большое расстояние. Невозможность сверхсветовой передачи информации обычно связывают с эйнштейновской локальностью. И, казалось бы, вполне логично заключить, что если локальности нет (что подтверждается экспериментами), то скорость распространения информации может превышать скорость света.

Однако здесь есть некоторые тонкости. Полагаю, что сами термины «передача сигнала» или «передача информации» в данном случае не очень удачны — ничто никуда здесь не передается и не перемещается из одного места в другое. Более правильным является представление, что система по одним степеням свободы может быть сепарабельна (например, по пространственным координатам) и разделена на части, находящиеся в разных пространственных областях, а по другим (спиновым) — нет. В последнем случае система будет составлять единое целое, и спины станут изменяться согласованно. При этом никакие сигналы никуда не передаются. Спины частиц в случае запутанного состояния не разнесены в пространстве и не существуют самостоятельно в качестве отдельных элементов реальности, они как бы находятся в одном месте. Поэтому о каком-либо перемещении информации говорить бессмысленно. Недоразумения здесь возникают в силу наших укоренившихся предубеждений, когда мы по привычке начинаем рассуждать, как «локальные реалисты», о том, что если два объекта отделены друг от друга, то каждый из них несет в себе все свои внутренние характеристики. На самом деле это далеко не так. В какой-то своей части, по отдельным степеням свободы, объекты могут оставаться неразделенными, что со всей убедительностью подтверждается физическими экспериментами.

Сигналы, связанные с классическими носителями информации (частицами, волнами и т. д.), не могут распространяться быстрее света. Однако полагаю, что есть и другое решение вопроса сверхсветовых перемещений. Например, я не вижу принципиальных теоретических запретов на возможность перевести объект в нелокальное суперпозиционное состояние по всем его внутренним степеням свободы, то есть полностью «растворить» в бесконечности. А после этого вновь декогерировать и перевести в локальное состояние в другом месте (полная телепортация). Иными словами: объект исчезает в одном месте и появляется в другом. С формальной точки зрения, такое «перемещение» объекта можно рассматривать как сверхсветовое «распространение сигнала», но оно не будет связано с непосредственным движением объекта (носителя сигнала) в нашем пространственно-временном континууме.

Часто во многих публикациях по квантовой механике встречается утверждение, что, используя одни только квантовые корреляции, вообще невозможно передать информацию: нужен как минимум еще классический канал связи.

Как я понимаю, противоречие здесь скрывается в самой постановке вопроса, например, когда речь идет о передаче информации при помощи квантовых корреляций. Квантовые корреляции — это те степени свободы, которые являются общими для всей системы. Это та часть системы, которая объединяет ее, те степени свободы, которые меняются как одно целое. Поэтому говорить о передаче информации при помощи квантовых корреляций, на мой взгляд, не совсем корректно: никакой «передачи», по сути дела, здесь нет, поскольку квантовые корреляции не разделены на отдельно отстоящие части.

Попытаюсь пояснить. Давайте зададимся сходным, но более простым вопросом: с какой скоростью обмениваются между собой информацией кубиты в квантовом компьютере, и нужен ли для такого обмена классический канал связи? Очевидно, что классический канал не нужен — он только нарушит корреляции. Очевидно и то, что скорость обмена информацией бесконечна и так называемая «передача информации» между кубитами совершается мгновенно, поскольку все они ведут себя как единое целое. Изменяя состояние одного кубита, мы меняем сразу всю систему целиком. Лучше сказать, что ни передачи, ни обмена информацией между кубитами нет, а есть лишь их согласованное поведение. Замечу, что кубиты могут быть разнесены в пространстве. Неважно, на каком расстоянии друг от друга они находятся — необходимо только, чтобы между ними сохранялись корреляции по спиновым степеням свободы (если на них работает квантовый компьютер). Но в соответствии с нашими привычными представлениями — особенно когда кубиты разнесены в пространстве — можно, конечно, говорить и о передаче, об обмене информацией между кубитами, поскольку изменение состояния одного из них мгновенно передается другим, а работа квантового компьютера как раз и заключается в обмене информацией между ними, в их согласованном поведении.

Поэтому нельзя сказать, что сверхсветовая передача информации невозможна. По моему мнению, проблемы и «логические парадоксы» возникают здесь из-за некорректных формулировок. Например, когда мы говорим о телепатии, то есть о передаче информации от одного человека к другому по квантовому каналу связи, то подразумеваем использование эзотерических практик восприятия на тонких уровнях реальности. На этих уровнях высока мера запутанности, и при этом внешние объекты едины с нашим энергетическим телом, связаны с ним нелокальными квантовыми корреляциями. Поэтому сознание имеет принципиальную возможность прямого доступа (по квантовому каналу связи) к внешним объектам как к части, к внешнему «продолжению» своего собственного энергетического тела. Однако для осознанного восприятия этих корреляций наше сознание должно обладать практическим навыком индивидуальной активности на тонких уровнях реальности.

А вот если рассматривать технические решения с квантовым каналом связи, то есть с передающим устройством, приемником и т. п., то тут и возникают различные проблемы и парадоксы. Квантовый канал связи, по сути, лишь объединяет источник и приемник информации в единое целое по отдельным степеням свободы. Опять-таки — о передаче информации между ними можно говорить лишь условно. А объединить две человеческие головы, которые должны обмениваться информацией, в единое целое (как при эзотерической практике) технические квантовые каналы, которые сейчас обычно предлагаются, пока не в состоянии. Поэтому люди вынуждены дополнительно использовать классические каналы связи.

Предположим, что «наблюдатель 1» и «наблюдатель 2» разделены между собой пространством-временем на отдельные части, при этом оба они способны влиять на состояние единой квантовой системы (по квантовому каналу) и наблюдать результаты этого влияния. Почему же тогда квантовая система не может являться для обыденного сознания наблюдателей информационным мостом между ними? На этот вопрос я бы ответил так: необходимо, чтобы наблюдатели могли видеть и изменять результаты этого влияния в той части, которая их объединяет, а не разделяет. Обыденное сознание направлено на разделяющую часть, а она не имеет дела напрямую с квантовым каналом. Чтобы воспользоваться квантовым каналом связи, сознание наблюдателей должно непосредственно отслеживать процессы, происходящие со степенями свободы, которые реализуют квантовый канал. Одно из прямых решений, используемое в эзотерической практике, — смена состояния сознания и расширенное восприятие

реальности, непосредственное «общение» на уровне квантовых ореолов. Думаю, что этого можно достигнуть при помощи технических средств.

Физики обычно осторожны в высказываниях о том, что может быть реализовано, а что нет. В данный момент ведутся эксперименты по плотной кодировке информации, в которых при помощи квантового канала связи удастся передать два бита информации, используя одну частицу (в классическом случае она несет один бит). Пока что для реализации этих экспериментов необходим классический канал связи. Тем не менее я считаю: нельзя делать вывод о том, что наличие классического канала связи необходимо в любом случае.

Одна из проблем мне видится в том, что, пользуясь запутанными состояниями, отправитель не может по своему усмотрению задать строго определенную последовательность сигналов. Он не может по аналогии с морзянкой «отстучать» строго определенную последовательность «точек» и «тире». У него есть суперпозиция этих «знаков», и при каждом нажатии на «ключ» с равной вероятностью «выпадает» либо «точка», либо «тире». Поэтому для получателя это будет выглядеть как случайный набор «знаков», которые, тем не менее, однозначно связаны со «знаками», случайно «выпавшими» у отправителя. То есть имеется корреляция, связь между «значками» с той и с другой стороны, но как воспользоваться этой корреляцией для передачи информации, пока неясно.

В целом я оптимист и думаю, что будут найдены технические решения, позволяющие обмениваться информацией по одному квантовому каналу. Надеюсь, решения эти будут неожиданные, принципиально новые, очень далекие от существующих схем и даже представлений.

## 1.7. Квантовая теория и телепатия. Квантовая логика

В современной квантовой теории есть еще одно интересное и, я бы сказал, занимательное направление, связанное с коммуникацией и мгновенной передачей информации по квантовому каналу связи на основе квантовой запутанности\*. Это направление занимается играми, точнее, выигрышными стратегиями при наличии квантового канала, например, между двумя игроками, в то время как другая пара игроков связана обычным классическим каналом.

\* Первые публикации, положившие начало этому направлению: Meyer D. Quantum strategies, Phys. Rev. Lett. **82**, 1052 (1999) <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9804010>; Eisert J., Wilkens M. and Lewenstein M. Quantum Games and Quantum Strategies, Phys. Rev. Lett. **83**, 3077 (1999) <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9806088>.

Неплохой обзор научных публикаций, посвященных этому направлению квантовой теории, — G. Brassard, A. Broadbent, A. Tapp, Quantum Pseudo-Telepathy, arXiv: quant-ph/0407221 (22 Nov., 2004) <http://ru.arxiv.org/abs/quant-ph/0407221>.

Я остановлюсь на нем чуть подробнее.

Авторы называют квантовый канал связи между двумя игроками «псевдотелепатией». В аннотации они пишут: «*Псевдотелепатия* — удивительное приложение квантово-информационных технологий к коммуникации. Благодаря запутанности, возможно, самой неклассической манифестации квантовой механики, два или более квантовых игроков могут выполнять распределенную задачу без потребности в связи вообще, что было бы невозможным подвигом для классических игроков».

Как осторожно замечают авторы, вспоминая при этом эзотерику: «В этом случае телепатия, казалось бы, была не хуже, чем любое другое эзотерическое „объяснение“, не так ли?» И чуть далее: «Этот феномен мы называем „псевдотелепатией“, потому что он показался бы столь же магическим, как „истинная“ телепатия, классическому физику, но все же он имеет полностью научное объяснение — квантовую механику».

То, что раньше казалось «сверхъестественным» с точки зрения классической физики\*, в рамках квантовой теории получает естественное объяснение, и, более того, квантовая механика предоставляет инструменты для количественного описания этих явлений.

\* См. например, статью в журнале «Квантовая магия»: Романовский М. К. «Телепатия в советские годы», <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL142004/p4369.html>.

Авторы обзора подчеркивают, что основной целью анализа псевдотелепатических игр является их экспериментальное приложение к изучению нелокальной природы окружающего мира и телепатии как одного из проявлений квантовой нелокальности.

Раздел 1.3 статьи называется «Какие убедительные эксперименты могут быть проведены?» Здесь говорится: «Основная мотивация для изучения игр псевдотелепатии заключается в том, что их физическая реализация обеспечивает наиболее убедительные и свободные от обходов демонстрации того, что физический мир не является локально-реалистическим».

Авторы подробно останавливаются на тех условиях, которые необходимо выполнить (обеспечить), чтобы исключить сомнения в правильности результатов экспериментов по телепатии. Речь идет о том, как убедить «заядлого любителя детерминизма», что классическая физика «is wrong» — ущербна, увечна, что ей нельзя доверять, что она является отклонением от истины, упрощением и искажением нелокальной основы реальности.

Во втором разделе статьи авторы делают обзор наиболее широко известных к настоящему времени псевдотелепатических игр. Они начинают с известной статьи Кохена и Шпекера\*, которую часто называют одной из ключевых работ в процессе становления квантовой логики. Кохен и Шпекер пытались с помощью скрытых переменных свести квантовую логику к классической, то есть делали попытку перевести язык квантовой логики на язык классических теорий — булеву алгебру. Они показали, что это невозможно сделать, построив свой знаменитый контрпример — граф из 117 точек.

\* *Kochen S. and Specker E. P. The problem of hidden variables in quantum mechanics // Journal of Mathematics and Mechanics 17:59–87, 1967.*

Таким образом, квантовая логика тесно переплетается с телепатическими играми квантовой теории.

Привычная для нас классическая логика является лишь частным случаем квантовой и справедлива для незначительной части реальности, описываемой классической физикой. Моментом зарождения квантовой логики как самостоятельного направления в квантовой теории можно считать 1936 год, когда Бирхгоф и фон Нейман опубликовали статью «Логика квантовой механики»\*.

\* *Birkhoff G., Neuman J. Annals of Math 37, 823, (1936).*

Хотя чуть раньше, в 1932 году, фон Нейман в своей знаменитой книге «Математические основы квантовой механики»\* уже обратил внимание на возможность существования особой квантовой логики, обобщающей логику классическую: «Наряду с физическими величинами  $R$  существует еще нечто, являющееся предметом физики: именно альтернативные свойства системы  $L$ ». То есть предметом физики являются не только некоторые конкретные физические величины, полученные при измерении, но и вся совокупность «непроявленных» результатов — тех, которые могли иметь место, но в данном случае не были реализованы.

\* *Нейман И. фон. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.*

Основное отличие квантовой логики от классической заключается в том, что в ней состояния физической системы определяются не только конкретными значениями связанных с системой наблюдаемых, но и всей совокупностью альтернативных свойств системы (суперпозицией состояний).

Квантовая логика существенно отличается от булевой. Например, не выполняется закон дистрибутивности в его общей форме. Дистрибутивность операций имеет место лишь для некоторых отдельных множеств, заданных на так называемых совместимых подпространствах гильбертова пространства. Дистрибутивный закон справедлив для попарно совместимых подпространств. С набором совместимых подпространств можно связать проекционные операторы и построить наблюдаемые, которые будут попарно коммутировать, и их можно представить как функцию одного оператора, то есть им соответствуют одновременно измеряемые величины\*.

\* Более подробно см.: Белокуров В. В., Тимофеевская О. Д., Хрусталеv О. А. Квантовая телепортация — обыкновенное чудо. Ижевск, 2000. С. 239–249. Сокращенный вариант книги доступен по ссылке <http://www.cryptography.ru/db/msg.html?mid=1169218&s=>.

Квантовая логика сейчас еще только разрабатывается, и пока трудно оценить все возможные последствия нового мышления, но одно несомненно — они будут очень значительны.

В этом отношении многое делается математиками, которые сейчас интенсивно работают над квантовыми алгоритмами и программами для квантового компьютера. Им в какой-то мере проще — не надо думать о физических ограничениях «на железо». Как только появится квантовый компьютер «в железе», у математиков уже будет в запасе большое количество готовых квантовых алгоритмов и программ.

Для реализации квантовых алгоритмов нужно небольшое число логических квантовых операторов (гейтов): однокубитные — NOT (логическое «Не»), преобразование Адамара (перевод кубита в нелокальное суперпозиционное состояние); двухкубитные — CNOT (контролируемое «Не»), SWAP (обмен состояниями) — и этого будет достаточно. С их помощью можно реализовать любые алгоритмы — не только классические, но и квантовые, которые реализуют квантовую логику.

## 1.8. Телепортация и обращение времени

С квантовой нелокальностью и мгновенной передачей информации тесно связаны вопросы телепортации и обращения времени. В 1993 году появилась статья, опубликованная Ч. Беннеттом с соавторами\*, которая имела весьма необычное название для научной публикации в солидном физическом журнале: уже в самом заголовке употреблялся непривычный для физиков термин «телепортация» — «Телепортация неизвестных квантовых состояний через двойной, классический и ЭПР-канал» («Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels»). Эта работа иногда считается отправной точкой современного прикладного этапа в развитии квантовой механики, в частности, теории запутанных состояний и квантовой теории информации.

\* Bennett C. H., Brassard G., Crépeau C., Jozsa R., Peres A., Wootters W. K. Phys. Rev. Lett. **70**, 1895 (1993).

К настоящему времени проведено очень много экспериментов по квантовой телепортации. Из последних работ в этой области можно упомянуть эксперимент группы А. Цайлингера по реализации квантовой телепортации через Дунай, то есть на довольно большом расстоянии (600 м). Его результаты опубликованы в Nature\*.

\* Ursin R., Jennewein T., Aspelmeyer M., Kaltenbaek R., Lindenthal M., Ph. Walther & A. Zeilinger. Quantum Teleportation across the Danube // Nature **430**, 849 (2004).

Как пишут авторы: «Наш результат — шаг к построению квантового повторителя, который даст возможность чистой запутанности быть разделенной между отдаленными сторонами в окружающей среде».

Суть экспериментов по телепортации несложная. Если описать ее упрощенно, она будет выглядеть так: допустим, у нас есть частица 1 и запутанная пара частиц 2–3 (типа ЭПР-пары). Объединяя частицы 1 и 2 (измеряя в белловском базисе), то есть переводя пару 1–2 в максимально запутанное состояние типа того, которое было раньше у пары 2–3, состояние 3 становится таким, каким было раньше состояние 1, поскольку общее состояние трех частиц не меняется. Таким образом, частица 1 как бы телепортируется на место частицы 3, другими словами, частица 3 приобретает свойства частицы 1.

Сейчас проводятся все более сложные эксперименты по телепортации. Используется метод, который называется «телепортация запутанности», или «обмен запутанностью». Суть его в том, что две некоррелированные системы можно связать квантовым каналом связи (запутать между собой) при помощи дополнительной вспомогательной системы (ancilla), состоящей из запутанной пары. Когда эти коррелированные части анциллы передаются каждой из двух

независимых систем, то последние становятся тоже запутанными, хотя раньше классически не взаимодействовали друг с другом. Такие эксперименты тоже были выполнены\*.

\* *Pan J.-W., Bouwmester D., Weinfurter H. and Zeilinger A. Phys. Rev. Lett. 80, 3891 (1998).*

Такой обмен квантовой запутанностью предполагается использовать при ее пересылке в определенное место. Если доступный канал передачи имеет ограниченное качество («зашумленность»), то при прохождении через него запутанных состояний корреляции нарушаются из-за декогеренции. В такой ситуации метод квантового повторителя позволяет разделить квантовый канал на короткие участки, которые очищаются известными методами дистилляции запутанности, а затем объединяются методами обмена запутанностью.

Обмен запутанностью может быть использован и для ряда других практических целей: для построения квантового коммутатора, для увеличения скорости распределения запутанных пар между удаленными пользователями, для построения запутанных состояний, охватывающих большое число частиц, и т. д. Сейчас предложено уже довольно большое количество различных схем применения этого метода.

Так, при построении квантового коммутатора предполагается наличие определенного числа ( $N$ ) пользователей и центрального коммутатора, с которым все они соединены квантовым каналом связи. Принципиальную схему работы такого коммутатора можно объяснить следующим образом. Пусть у каждого пользователя есть (в простейшем случае) одна максимально запутанная пара. Они отдают одну частицу из своей пары на центральный коммутатор, в котором происходит их объединение. В этом случае все оставшиеся у пользователей частицы оказываются квантово-запутанными. Все  $N$  частиц, которые по-прежнему у них остаются, становятся квантово-коррелированными, то есть все пользователи объединены квантовыми корреляциями, они как бы «включены» в единую квантовую сеть и могут «телепатически» общаться друг с другом. Такая схема может использоваться для генерации любых многочастичных запутанных состояний типа «шредингеровских кошек».

Таким образом, сейчас телепортация вышла на инженерный уровень, и разрабатываются довольно сложные схемы ее практического применения, проектируются принципиально новые коммуникационные каналы квантовой связи, использующие в качестве рабочего ресурса квантовые корреляции.

Поскольку мы говорим не только о физике, но и о магии в самом широком смысле этого слова, замечу, что квантовый коммутатор, описанный выше, можно считать простейшей физической моделью, иллюстрирующей работу эгрегоров (эзотерический термин) и демонов (в религиозной традиции). Когда мы отдаем «в общее пользование» свои мысли и эмоции, то тем самым оказываемся «включенными» в различные «квантовые коммутаторы» в соответствии с направленностью своих мыслей и чувств. Чтобы эгрегор (демон) «заработал» в качестве квантового коммутатора и начал свое существование как объективный элемент реальности («энергетический сгусток» в квантовом ореоле Земли), достаточно того, чтобы «психические выделения» у нескольких человек были одинаковы (или близки). В целом, чтобы между различными системами было взаимодействие, они должны иметь одинаковые состояния. Тогда переходы между этими состояниями и, как следствие, генерация и поглощение энергии будут приводить к взаимодействию и корреляциям. Одинаковые энергии будут способны к взаимодействию. Причем чем меньше разность энергии между уровнями, чем слабее классические взаимодействия, тем больше в этом случае относительная величина квантовых корреляций. Например, мы все имеем примерно одинаковые наборы базисных эмоциональных и ментальных состояний, поэтому однонаправленные мысли и эмоции (то есть переход нескольких людей в определенное ментальное или эмоциональное состояние) автоматически ведут к генерации близких энергетических потоков и к взаимодействию на этих уровнях. Другими словами — к образованию новых или подпитке уже существующих «квантовых коммутаторов» — эгрегоров (демонов). Эмоции при этом содержат больше энергии, но меньше квантовой информации, мысли — наоборот, меньше энергии, но больше квантовой информации (мера запутанности выше).

Наряду с телепортацией объекта (отдельных его степеней свободы) между двумя пространственными точками, можно рассматривать и перемещение во времени.

Такие физические эксперименты по обращению времени на макроуровне широко известны в ядерном магнитном резонансе (ЯМР), например, в процессе кросс-поляризации\*. В многочисленных экспериментах по многоквантовому ЯМР в твердых телах (тоже макроуровень) одной из обязательных стадий является обращение времени спиновой динамики, и это реализуется заданной последовательностью радиочастотных импульсов.

\* *Ernst M., Meier B. H., Tomaselli M., Pines A.* Time-reversal of cross-polarization in nuclear magnetic resonance, *J. Chem. Phys.* **108**, № 23, 9611 (1998).

Эти эксперименты возможны потому, что спиновые степени свободы достаточно хорошо изолированы от других. В настоящее время существуют вполне реальные приборы, «перекидывающие» из настоящего в прошлое или будущее и обратно, но эти изменения относятся к спиновой динамике, то есть во времени «путешествуют» спины (магнитные моменты).

Если говорить об обращении времени в широком смысле, как о возможной унитарной динамике всех степеней свободы некоторой произвольной системы, то общий принцип тот же самый — нужно уметь выделять из окружения и целенаправленно изменять все степени свободы выделенного объекта, иными словами — управлять его вектором состояния.

С теоретической точки зрения здесь есть следующие возможности.

1. Изолировать систему от окружения. В этом случае появится возможность унитарной эволюции этой системы, в том числе и обращение времени для всех ее внутренних степеней свободы. Но это придется делать «изнутри» системы, поскольку предполагается, что она является изолированной. Причем действовать нужно будет из наибольшего пространства состояний этой системы, то есть изменяя вектор ее состояния в целом. Полностью изолировать систему трудно, легче получить квазизамкнутую систему (псевдочистое состояние), но тогда действовать придется на ограниченных временах (петли времени будут поменьше).

2. Наоборот, перевести объект в максимально запутанное состояние с окружением. Опять же, в этом случае придется действовать уже из пространства состояния всего окружения — всей замкнутой (квазизамкнутой) системы, составной частью которой был наш объект.

А теперь позвольте немного пофантазировать. Сначала насчет того, как перевести макроскопический объект в нелокальное состояние по всем его степеням свободы. Я считаю, что это можно сделать, создав достаточно большой градиент энергии в теле (во всем энергетическом диапазоне, по всем энергиям). Более подробно мы поговорим об этом в последней главе. Внешне это будет выглядеть, как «растворение» объекта.

Но перевести объект в максимально запутанное (нелокальное) состояние мало, нужно еще суметь «проявить» его в выбранном локальном пространстве событий (например, в прошлом или будущем, на этой или на другой планете).

Здесь можно говорить о технических устройствах, которые, думаю, будут включать в себя квантовый компьютер, способный сохранить работоспособность в нелокальном состоянии (поскольку он и так работает на нелокальных корреляциях). Тогда он будет управлять этим процессом. Таким образом, я вижу две основные части такого технического устройства: силовую установку, создающую градиент энергии, и квантовый компьютер, который управляет распределением энергии в заданном объеме, а значит — управляет процессом «растворения» и «проявления».

Отмечу еще такой момент. Если мы хотим «путешествовать» в прошлом-будущем в пределах нашей планеты, то сойдет и относительно «слабенький» квантовый компьютер, оперирующий в пространстве состояний нашей планеты как квазизамкнутой системы. Чтобы «полетать» в пределах Солнечной системы — квантовый компьютер нужен помощнее. И так далее... Чем больше корреляционная сфера, в пределах которой мы хотим перемещаться, тем мощнее должен быть компьютер, то есть он должен оперировать в пространстве состояний большей размерности.

Если перейти к эзотерической практике, то человек имеет все необходимое, чтобы самостоятельно, без всяких дополнительных устройств реализовать все то, о чем я написал выше. И многие люди, как сейчас, так и в прежние времена, в той или иной мере могут и могли это делать. Более того, я считаю, что возможностей у человеческого сознания больше, чем у технического устройства. Единственная проблема — что может не хватить времени жизни в

плотном физическом теле, чтобы «проагрейтить» сознание до высокого уровня и воспользоваться всеми его преимуществами. Вот тут и могут пригодиться технические устройства.

Что касается индивидуального сознания, то здесь я вижу два основных момента:

- необходимо поэтапно развивать сознание, постепенно расширяя корреляционную сферу (квантовый ореол), в которой оно может работать. То есть увеличивать размерность пространства состояний, в котором сознание способно к индивидуальной самостоятельной деятельности. В эзотерике это соответствует постепенному «освоению» нашим сознанием эфирного, астрального, ментального, каузального, буддхического и атманического уровней реальности;

- индивидуальное сознание должно уметь целенаправленно оперировать в том пространстве состояний, до которого оно добралось (изменять вектор состояния на достигнутом уровне). Умение изменять весь вектор состояния на каком-то уровне реальности дает возможность менять ее на всех более низких (плотных) уровнях. Практически это означает, что сознание умеет нужным образом перераспределять энергию, управляя энергетическими потоками. Замечу, что изменение состояния — это и есть изменение энергии, поскольку в квантовой механике она является функцией состояния.

Сознание должно уметь отдавать «команды» (потоки энергии) на достигнутом уровне и понимать, какие последствия будут у этой команды на низших уровнях. Это похоже на то, что у Кастанеды называется «намерением», когда команда человеческого сознания становится «командой Орла». По-видимому, это относится к проблескам индивидуального сознания на буддхи-плане. В эзотерике считается, что для индивидуального буддхи-сознания уже не существует локального пространственно-временного континуума как минимум для нашей планеты (возможно, и для Солнечной системы). Другими словами — сознание в этом случае находится в пространстве состояния планеты как квазизамкнутой системы. Вся наша Земля является в этом пространстве состояний нелокальным объектом, а поэтому, умеючи, можно «проявиться» на ней в различные моменты прошлого или будущего (целенаправленная реинкарнация). Правда, интервал этот может быть ограничен, поскольку система не полностью изолирована, а находится лишь в псевдочистом состоянии.

## Глава 2

### Понятие «состояние»

#### 2.1. Состояние как философская категория

Основополагающим понятием квантовой теории является «состояние». Фактически, квантовая теория и есть *наука о состояниях*, их количественном описании. Поэтому имеет смысл ознакомиться с трактовкой этого понятия как одной из основных философских категорий.

Философами написано много работ на эту тему. Я остановлюсь на монографии А. Л. Симанова «Понятие „состояние“ как философская категория»\* и попытаюсь сделать ее краткий обзор, уделяя особое внимание позиции философов в отношении данного понятия в квантовой теории.

\* Симанов А. Л. Понятие «состояние» как философская категория. Новосибирск: Наука, 1982.

<http://www.philosophy.nsc.ru/PUBLICATION/SIMANOV/ST/SIMANOV.htm>.

Книга написана еще в советские годы и отдает положенную дань марксизму-ленинизму, но все же достаточно глубоко раскрывает тему.

Во введении автор выделяет несколько основных подходов к понятию «состояние». Он отмечает, что в некоторых из них состояние отождествляется с его характеристиками, а состояние тела — с самим телом. Он справедливо считает, что прежде чем вводить различные характеристики состояния, необходимо определить само это понятие, так как именно состояние объекта определяет характеристики, а не наоборот.

Отмечается также подход, согласно которому объективность состояния полностью отрицается. Здесь упоминается В. Гейзенберг: «Анализируя со своих философских позиций развитие физических понятий, в частности, понятия „состояние“, он утверждает, что потеря простоты классической картины мира и простоты классического понятия состояния есть отказ от объективного характера понятия „состояние“ в квантовой механике».

Анализируя процесс становления данного понятия, автор говорит, что оно происходило вследствие выхода научной мысли за пределы представлений о мире как о нераздельном целом. Далее следует интересное, на мой взгляд, соответствующее парадигме квантовой механики утверждение, что *выделить состояние вещи из совокупности всех существующих свойств и качеств можно только на основе введения понятия «изолированная система»*. В более ранние периоды такой вывод невозможно было сделать, поскольку господствовало мнение, наиболее явно отраженное в древней восточной философии (Индия, Китай, Япония), согласно которому не существует самостоятельного «я», равно как и обособленного от него мира, нет ни самостоятельных «предметов», ни обособленной жизни, все это — неразрывные корреляты, отделимые друг от друга только в абстракции и обусловленные наличием некоторых первоначал. Подобных же взглядов придерживались и древнегреческие философы.

Обращаю особое внимание на то, что понятие «состояние» неразрывно связано с понятием «изолированная система». Именно такая ситуация имеет место в квантовой теории, поскольку вектор состояния можно сопоставить только замкнутой системе, не взаимодействующей со своим окружением. Такие состояния называются в квантовой механике *чистыми состояниями*.

Поначалу понятие «состояние» было фактически равнозначно понятиям «качество» и «свойство», а поэтому позволяло лишь отличать бытие многообразных вещей от первоначал как совокупности всех существующих свойств, качеств и т. д.

Первым философом, который дал определение данному понятию, считается Аристотель, но и он называл состояние видом качеств, которые, правда, сами претерпевают изменения. Аристотель уже отличал состояние вещи от ее свойств. Кроме того, он считал, что всякое состояние предмета проявляется лишь в определенных отношениях и вне этих отношений судить о наличии того или иного состояния невозможно. Но количественных характеристик этих изменений и отношений он не дал и дать не мог.

Такое положение дел отражает сам процесс развития человеческого познания, идущий от изучения качественной стороны явлений к их количественным характеристикам и количественной формулировке законов.

О «состоянии» Аристотель писал в своей работе «Категории». В ней мое внимание привлекла такая фраза: «...Особенность сущности — это то, что, будучи тождественной и одной по числу, она способна принимать противоположности в силу собственной перемены».

Это высказывание Аристотеля явственно пересекается с квантовой теорией, которая сейчас все чаще исходит из разложения единицы (одного состояния, «единой сущности») в ортогональном базисе (на совокупность противоположностей), и система «способна принимать противоположности» именно в силу «собственной перемены», поскольку вектор состояния можно сопоставить только замкнутой системе.

Довольно много философы пишут о том, как трактовали «состояние» Кант и Гегель. И. Кант\* понимает под состоянием конкретные формы проявления бытия субстанции (и объектов): покой и изменение, равновесие в движение и т. д.

\* Кант И. Критика чистого разума // Соч.: В 6-ти т. Т. 3. М., 1964. Гл. 2.  
[http://www.philosophy.ru/library/kant/01/2\\_4.html](http://www.philosophy.ru/library/kant/01/2_4.html).

По Канту, «изменение есть способ существования, следующий за другим способом существования того же самого предмета», следовательно, то, что изменяется, сохраняется, и сменяются только его состояния. Таким образом, Кант противопоставляет состояние, как непрерывно изменяющееся, тому, что в предмете относительно устойчиво. Этим относительно устойчивым является субстанция. Всякое изменение, как совершенно справедливо замечает Кант, есть возникновение нового состояния.

Рассматривая вопрос смены состояний, Кант пишет: «Всякий переход из одного состояния в другое совершается во времени, заключенном между двумя мгновениями, причем первое из этих мгновений определяет состояние, из которого выходит вещь, а второе — состояние, к

которому она приходит. Следовательно, оба мгновения суть границы времени того или иного изменения, то есть границы промежуточного состояния между двумя состояниями, и как таковые они относятся ко всему изменению». Словом, смена состояний непрерывна: ни время, ни явления во времени не состоят из частей, которые были бы наименьшими. И, тем не менее, в процессе изменения состояния вещь проходит через все эти части как элементы к своему второму состоянию, значит, новое состояние вырастает из первого состояния, в котором его не было, проходя через бесконечный ряд ступеней.

Источник изменения состояний И. Кант видит в изначальном противоречии материи: «Первоначальному состоянию материи, которая существует как туманность, было изначальное присуще противоречие — борьба сил притяжения и отталкивания».

Из противоречия между мгновенностью смены состояний и их непрерывностью, а также из идеи борьбы противоречий как источника всех изменений можно было бы сделать диалектический вывод о существовании скачкообразных переходов из одного состояния в другое. Но Кант этого вывода не сделал, поскольку исходил лишь из признания эволюционного развития. И, отрывая далее сущность от явления, пришел к выводу о возможности познания только чувственного, внешнего состояния, считая внутренние состояния «вещью в себе». Эволюция философии И. Канта в сторону субъективного идеализма привела его к отрицанию реального бытия в категориях. Поэтому в «критический период» И. Кант сводил понятие «состояние» к сфере рассудочной деятельности, отрицая его онтологическую наполненность: состояния «существуют не как нечто находящееся вне нас, но только в качестве представлений внутри нас».

Наиболее полно диалектика понятия «состояние» раскрывается у Г. Гегеля\*. Рассматривая первый этап развития абсолютного духа как последовательную смену категорий «качество», «количество», «мера» в сфере бытия, Гегель определяет понятие «состояние» как форму проявления бытия изменяющегося субстрата — мирового духа, то есть так же, как и категории качества, количества и меры.

\* Гегель Г. В. Ф. Наука логики // Соч. Т. 1. М.; Л., 1930. <http://www.philosophy.ru/library/hegel/logic.html>.

Другими словами, понятие «состояние» у Гегеля — такая же философская категория, что и перечисленные выше. Это большой шаг вперед по сравнению с Аристотелем, отождествлявшим состояние с видами качеств.

Гегель связывает понятие «состояние» с категорией «мера», представляя его как снятую меру. Рассматривая категории качества и количества в их связи и определяя количество как «снятое» качество, Гегель делает вывод, что благодаря двойному переходу — сначала качества в количество, а затем количества в качество, возникает качественное количество — мера. Свое учение о мере Гегель обосновывает ссылками на естественные науки. Опираясь на атомистическую концепцию, он вводит понятие «узловая линия мер», отражающее развитие, в котором постепенность прерывается скачками. «Узловая линия мер» у Гегеля является в определенном отношении переходом из одного состояния в другое. Таким образом, он приходит к выводу: «Меры и положенные с ними самостоятельности низводятся до состояний». Следовательно, состояние можно рассматривать также в виде конкретизированной меры. Но в таком случае понятие «состояние», пройдя эволюцию от философской категории, представляющей собой форму проявления бытия изменяющегося субстрата, к понятию, отражающему «снятую» меру, превращается в общенаучное.

Обобщая существующие к настоящему времени представления и точки зрения относительно понятия «состояние», философы обычно дают такое определение: «Состояние — это философская категория, отражающая специфическую форму реализации бытия, фиксирующая момент устойчивости в изменении, развитии, движении материальных объектов в некоторый данный момент времени при определенных условиях» (А. Л. Симанов).

Определения такого рода меня не очень устраивают — тут же возникает ряд вопросов: изменяет ли наше сознание свое состояние? Почему речь идет только о состоянии материальных объектов? Разве наше сознание не развивается? Возможно, философы рассматривали и эти вопросы, но мы пока вернемся к нашей теме — квантовой теории.

## 2.2. Философский анализ понятия «состояние» в квантовой теории

Что же думают философы насчет категории «состояние» в квантовой физике? Это понятие и его толкование во многом определяют отношение исследователей к квантовой механике. «Состояние» — фактически одно из ключевых понятий, с помощью которых постигается физический смысл квантовой механики. В этом его методологическое и логическое значение.

Сложившийся на основе механистических представлений идеал понимания требовал назвать точные и однозначные характеристики состояния системы в каждый момент времени. Однако в квантовой механике этот идеал был перечеркнут.

Отсутствие ясного философского осмысления понятия «состояние», его философской интерпретации и подмена ее частными научными представлениями поставили перед естествоиспытателями вопрос: что такое «состояние» в квантовой механике, что такое «состояние» вообще?

Первоначально понятие «состояние» применительно к микромиру пытались определить на основе классических методологических требований, используя привычный механистический подход, что оказалось невозможным. Опираясь на классические представления о состоянии, Л. де Бройль пытался объяснить состояние микрообъектов движением волны с «привязанной» к ней частицей (теория «волны-пилота»). Согласно этой теории,  $\psi$ -волны рассматриваются как распределенное в пространстве реальное поле. Однако, как стало ясно после появления работ Э. Шредингера, попытка интерпретировать  $\psi$ -функцию как некое реальное поле оказалась несостоятельной. В методологическом плане эту несостоятельность определило стремление перенести наглядность классического понятия «состояние», отождествляемого с понятием тела, и его описания в область неклассических представлений. Ошибочность концепции «волны-пилота» была подтверждена и экспериментальными данными.

Существует несколько точек зрения на трактовку квантовомеханического состояния. Об одной из них — точке зрения де Бройля, в которой квантовое состояние интерпретируется как некая реальная волна, мы уже упомянули и отметили ее физическую и методологическую несостоятельность.

Согласно другой точке зрения (Д. Бом, И. фон Нейман), квантовомеханическое состояние — символ, математический прием, не более. Д. Бом\* отмечает, что состояние «рассматривается в принципе лишь как промежуточный и чисто математический символ, которым можно манипулировать по определенным предписанным правилам так, что это позволяет правильно вычислять вероятности экспериментальных результатов различного рода».

\* *Бом Д.* Причинность и случайность в современной физике. М., 1959. С. 153.

И. фон Нейман\* пишет следующее: «Строго говоря, состояние — это лишь теоретические конструкции, в действительности в нашем распоряжении оказываются лишь результаты измерений...». С этой концепцией нельзя согласиться хотя бы потому, что в ней совершенно не ясно, почему этот чистый символ — понятие «состояние» — играет весьма важную роль в квантовой механике, и  $\psi$ -функция, как характеристика состояния, описывает результаты, согласующиеся с экспериментом.

\* *Нейман И. фон.* Математические основы квантовой механики. М., 1964. С. 250.

К подобной концепции можно подойти только на основе отождествления математического символа —  $\psi$ -функции, с реальным состоянием микрообъекта. Корни подобного отождествления уходят в классическую механику, где, как сказано выше, понятие «состояние» отождествлялось с его описанием. Подобное отождествление до сих пор широко распространено и среди физиков, и среди философов. Если же считать, что квантовый объект реален, то мы должны прийти к выводу, что его состояние реально и определяет характеристики, в частности  $\psi$ -функцию. Действительно, сама  $\psi$ -функция — лишь математический символ, продукт человеческого сознания, и поэтому имеет под собой вполне реальную, материальную основу;  $\psi$ -функция связана с реальными процессами через понятия, отражающие внешние свойства микрообъектов. Таким образом, для выяснения физического смысла  $\psi$ -функции необходимо установить связь этого понятия с другими понятиями физики, а также с философскими категориями. Это позволит определить место и роль понятия « $\psi$ -функция» в структуре и развитии квантовой механики. На основе подобного анализа

можно найти природный аналог  $\psi$ -функции. Но анализ этот имеет смысл начинать с анализа понятия «состояние». Физический смысл  $\psi$ -функции прояснится лишь тогда, когда оно будет четко определено в квантовой механике.

Как отмечают философы (в частности, А. Л. Симанов), следующая ошибка рассматриваемого толкования понятия «состояние» в квантовой механике — противопоставление общего и единичного. Открытым остается вопрос о природе состояния квантовомеханического объекта и в интерпретации Эйнштейна-Мандельштама-Блохинцева, согласно которой квантовая механика изучает поведение не индивидуальной микрочастицы, а совокупности большого числа этих частиц и совокупности систем частиц. А. Эйнштейн\* писал, что  $\psi$ -функция «ни в коем случае не описывает состояние, свойственное одной-единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, то есть к „ансамблю систем“».

\* Эйнштейн А. Физика и реальность. М., 1965. С. 55. <http://artema.fopf.mipt.ru/lib/phil/einstein1.html>.

Иначе говоря,  $\psi$ -функция является характеристикой состояния большого числа однотипных независимых микрообъектов, находящихся в определенных условиях, то есть квантовая механика — это статистическая теория ансамбля микрообъектов.

Философы считают, что подобная концепция весьма ограничена и абсолютизирует опосредованный подход к анализу квантового состояния. Она не лишена также определенных логических недостатков. Согласно ей, квантовый ансамбль является первичным объектом изучения в квантовой механике. Но определение, даваемое  $\psi$ -функцией, относит ее к микрочастице, и понятие «квантовый ансамбль» в него не входит. Кроме того,  $\psi$ -функция определяется внешними макроусловиями, независимо от ансамбля. Следовательно, квантовый ансамбль — это вторичный объект.

Из утверждения — квантовый ансамбль составляют изолированные частицы — неясно, каковы специфические свойства ансамбля, которые отличают его от классических статистических ансамблей. Очевидно, специфичность квантового ансамбля обусловлена особенностями (специфичностью) составляющих его микрочастиц. Мы возвращаемся к тому, что на первичном уровне (и опять-таки первичный уровень) — микрочастица.

Следствием подобных представлений явилось неправильное толкование и определение понятия «квантовомеханическое состояние». «...Состояние частицы или системы, характеризующееся волновой функцией, — подчеркивает Д. И. Блохинцев\*, — следует понимать как принадлежность частицы или системы к определенному чистому квантовому ансамблю. Именно в этом смысле и будут употребляться в дальнейшем слова: „состояние частицы“, „состояние квантовой системы“ и т. д.».

\* Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М., 1961. С. 53.

Таким образом, понятие «квантовый ансамбль» определяется через понятие «состояние частицы», а понятие «состояние» — через понятие «квантовый ансамбль». К тому же данное определение фактически сводит сущность квантовомеханического состояния к принадлежности частицы к ансамблю. Очевидно, что подобное толкование неудовлетворительно.

Квантовая механика требует создания системы идеализации, базирующейся на понятии реального состояния индивидуального объекта. В этом смысле определенный интерес вызывает концепция квантового состояния, предложенная В. А. Фоком\*. Он, в основном, опирается на реальность квантовомеханического состояния отдельного микрообъекта. В. А. Фок считает, что  $\psi$ -функция относится не к ансамблю частиц, а к отдельной частице, характеризуя вероятность того или иного состояния микрообъекта при данных условиях. Он вводит в описание состояния микрообъекта «...существенно новый элемент — понятие вероятности, а тем самым и понятие потенциальной возможности». И далее пишет: «...Введение их отражает не неполноту условий, а объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности».

\* Фок В. А. Квантовая физика и строение материи. Л., 1965. С. 12–13 (цитируется по книге А. Л. Симанова).

Следовательно,  $\psi$ -функция характеризует возможные состояния микрообъекта при определенном макроскопическом окружении. Эти возможные состояния представляют собой

ансамбль. В действительность превращается одна из возможностей этого ансамбля. Таким образом, по В. А. Фоку, понятие «квантовомеханическое состояние» отражает присущие микрочастицам объективные возможности обнаружения определенных значений физических величин.

Как замечает А. Л. Симанов, подобное толкование наиболее тесно смыкается с философской интерпретацией понятия «состояние» как отражающего определенные формы бытия материальных объектов. Но и здесь виден ряд недостатков. Действительно, такое толкование отражает лишь одну сторону реального квантовомеханического состояния, а именно — возможность его проявления, и ничего не говорит о сущности самого состояния. В интерпретации В. А. Фока заметно влияние классических представлений, в которых состояние объекта отождествлялось с его характеристиками. Нельзя также трактовать это понятие в отрыве от других философских категорий. Обоснование и толкование этого понятия осуществимы лишь в системе других понятий и представлений, что можно сделать только на основе соотнесения новых данных с общими представлениями о структурной организации материи и с теорией познания.

Далее А. Л. Симанов анализирует взгляды различных философов и делает некоторые выводы, например, следующий: состояние объекта обусловлено внешними и внутренними взаимодействиями и формируется ими, то есть состояние обусловлено как внешним окружением, так и внутренним миром. Еще один вывод: не состояние объекта задается характеристиками, а характеристики определяются его состоянием. Точнее, в процессе изучения объекта выделяется то или иное его состояние, которое описывается выбираемым нами набором характеристик, а величины их определяются состоянием объекта. И так далее...

Пожалуй, довольно о философии. Я понимаю, что нелегко разобраться во всех этих философских рассуждениях, но, думаю, мне удалось донести мысль, что с понятием «состояние» в квантовой теории все не так просто. Почему же нет единого мнения о «состоянии» среди квантовых физиков? Почему в классической физике не существует проблем с понятием «состояние», а вот в квантовой теории сложности возникают? На этот вопрос я постараюсь ответить ниже, пока же скажу кратко. Все очень просто — единого мнения нет потому, что квантовая теория существенно расширяет пространство возможных состояний, в которых может находиться система, и оказывается, что есть такие состояния объектов, которые «ни в какие ворота не лезут» с точки зрения наших привычных представлений о реальности. Например, нелокальные запутанные состояния, которые являются просто «мистическими» для классической физики. Отсюда и различные попытки избавиться от этой «мистики» и вернуться в область привычных представлений о реальности, но нужно ли это делать? Не правильнее ли будет принимать мир таким, какой он есть, и не подстраивать его под свои представления? Может быть, и не нужно пытаться изо всех сил втиснуть квантовую теорию в тесные рамки видимой нами реальности. Может быть, лучше честно признаться в том, что окружающая Реальность гораздо шире, полнее и глубже не только классической физики, но и вообще любых наших теоретических моделей и представлений о Реальности.

Есть два основных способа, с помощью которых физики пытаются вернуть квантовые состояния в лоно привычных классических представлений. Первый — вообще закрыть глаза на то, что вектор состояния имеет под собой реальную физическую основу, и считать его всего лишь математическим символом, который только помогает описывать реальность. И второй — это ансамблевая (статистическая) интерпретация квантовой механики. Но ни тот, ни другой способ не проходит элементарной проверки с точки зрения диалектической логики и философского анализа. Противоречия снимаются лишь в одном случае — когда состояния системы имеют под собой реальную физическую основу, и это именно состояния одной системы, а не какого-то там искусственного ансамбля. Лишь при таком условии удастся свести концы с концами в философском плане, но при этом мы вынуждены будем признать, что любая система может находиться в «сверхъестественных», трансцендентных (запредельных, потусторонних) состояниях — немислимых с классической точки зрения.

### **2.3. Реальны ли «сверхъестественные» состояния?**

До недавнего времени квантовой механике удавалось избегать различных «мистических» состояний типа ЭПР-пары или «кота Шредингера». Это делалось, например, за счет той же

статистической (ансамблевой) интерпретации. В рамках последней предполагалось, что состояния такого типа возможны лишь для ансамбля частиц, то есть одна частица никак не может находиться в нелокальной суперпозиции, а есть набор обычных частиц в различных состояниях.

Но что делать теперь, когда такие «сверхъестественные» состояния научились реализовывать для отдельных частиц, например, кубитов в квантовом компьютеринге? Более того, такие «магические» состояния уже начали работать в технических устройствах.

На сегодняшний день в квантовой теории и в науке в целом сложилась парадоксальная ситуация. Физики обычно реалистично смотрят на мир и предполагают, что все физические понятия и величины, в том числе и вектор состояния, имеют под собой объективную основу. Но, занимая такую позицию, они вынуждены признать объективное наличие в окружающей реальности и всех следствий такого сопоставления. Иными словами — физики должны согласиться с объективным существованием нелокальных эффектов, «телепатии», как выражался Эйнштейн. Некоторые ученые не могут с этим смириться, и вынуждены тогда заявлять, что вектор состояния — это лишь математическое выражение, которое не имеет под собой реальной физической основы.

Парадокс ситуации заключается в том, что «материалисты», которые считают, что вектор состояния имеет под собой объективную основу, должны в итоге признать «магическую» (в широком смысле слова) природу реальности, с «телепатией» и другими нелокальными особенностями, непривычными для классических представлений. А тот, кто отстаивает неизбежность классических представлений, в которых нет места «магии», должен в итоге стать «идеалистом» и принять точку зрения, согласно которой вектор состояния — это лишь продукт нашего ума, не имеющий под собой реальной физической основы.

На какую позицию встать, каждый ученый решает индивидуально. Я придерживаюсь «материалистической» позиции с ее «магическим» следствием. И таких, как я, по всей видимости, немало. Другие же отстаивают «идеалистическую» позицию. Например, хорошо известный специалист по квантовой механике и уважаемый мною за его работы А. Перес. Он практически одновременно с Городецки предложил один из наиболее широко известных критериев квантовой запутанности — так называемый Перес-Городецки-критерий\*, который часто еще называют РРТ-критерий (positive partial transpose).

\* *Peres A. Phys. Rev. Lett.* **77**, 1413 (1996); *Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. Phys. Lett A* **223**, 1 (1996).

С философской точки зрения показательна его обзорная статья — A. Peres and D. R. Terno. *Quantum information and relativity theory, Rev. Mod. Phys.* Vol. 76. No. 1. January 2004. P. 93–123. В ней он честно пишет: «Многие физики, возможно, большая часть, имеют интуитивный, реалистичный взгляд на мир и рассматривают квантовое состояние как физический объект. Его значение не может быть известно, но, в принципе, квантовое состояние физической системы было бы хорошо определено. <...> В этом обзоре мы твердо придерживаемся представления, что  $\rho$  [матрица плотности] — только математическое выражение, которое кодирует информацию относительно потенциальных результатов наших экспериментальных вмешательств. Последние обычно называются „измерениями“ — неудачный термин, который создает впечатление, что в реальном мире существует некое неизвестное свойство, которое мы измеряем».

Этот обзор интересен в свете обсуждаемых нами философских вопросов, поскольку в нем затрагиваются онтологические проблемы относительно понятия «состояние».

Уже из названия обзора следует, что А. Перес пытается сопоставить квантовую механику с классической физикой (в частности, с теорией относительности, то есть разделом классической физики). Он делает выбор в пользу классической физики и теории относительности, но при этом должен отказаться от того, что вектор состояния (матрица плотности) соответствует реальному объекту. Причем А. Перес справедливо отмечает, что объединение теории относительности и квантовой теории невозможно в принципе, как он пишет: «Онтологии этих теорий радикально различны». В итоге автор приходит к выводу, что «волновая функция — не физический объект. Это — только инструмент для вычисления вероятностей объективных макроскопических событий». То есть мнение А. Переса близко позиции И. фон Неймана. Причем, замечу еще раз, он честно говорит о том, что большинство физиков думают иначе. Я тоже отношу себя к последним,

считая, что вектор состояния соответствует реальному физическому объекту со всеми вытекающими отсюда «сверхъестественными» последствиями (нелокальностями).

Другая распространенная позиция, основанная на статистической интерпретации квантовой механики, сейчас тоже сильно зашаталась. О каком ансамбле может идти речь, если сейчас научились создавать когерентные суперпозиционные состояния для отдельных частиц?

Если рассмотреть, как в квантовой механике формировалось представление о статистической (ансамблевой) интерпретации, то следует отметить, что в качестве отдельного состояния квантовая теория допускает суперпозицию различных альтернатив (нелокальное состояние, в котором нет какой-то конкретной локальной характеристики объекта). Это допущение противоречило классическим представлениям, и отсюда, по моему мнению, возникли ансамблевая интерпретация и статистический подход к вектору состояния. Здесь были задействованы хорошо известные представления Больцмана и Гиббса о статистическом ансамбле. Напомню, что в свое время для вычисления средних значений физических величин они, вместо временного усреднения в рамках одной системы, предложили рассматривать среднее по ансамблю, по совокупности большого числа соответствующим образом разупорядоченных систем. Они предложили *мысленную конструкцию* из совокупности систем, когда каждое допустимое состояние данной (одной) системы представлено в ансамбле отдельной системой, находящейся в стационарном состоянии. Каждая система из ансамбля является мысленной копией реальной системы в одном из допустимых ее состояний. Такое представление выглядит очень правдоподобно, однако к настоящему времени никто не знает, как сформулировать необходимые и достаточные условия строгой эквивалентности средних по ансамблю и временных средних.

Поскольку многим физикам мысль о том, что нелокальная система (суперпозиционное состояние) может реально существовать, казалась противоестественной, вспомнили о статистическом ансамбле, который *по определению* представляет собой *мысленную конструкцию*. То есть квантовую нелокальную суперпозицию состояний для данной системы заменили мысленным набором всех ее возможных классических состояний с данными вероятностями. Формально (количественно) результаты совпадают, но от реального физического объекта, единого и нелокального, перешли к мысленной конструкции, к ансамблю классических состояний. Какое-то время это помогало продержаться полуклассическим представлениям в квантовой механике. При этом многие абсолютизировали понятие «ансамбля» и предпочитали понимать под ним не мысленную конструкцию, а уже набор из реально существующих состояний.

Мое представление об ансамбле состояний ближе к точке зрения В. А. Фока, которая отражена в упоминавшейся ранее цитате из книги А. Л. Симанова: «В. А. Фок считает, что  $\psi$ -функция относится не к ансамблю частиц, а к отдельной частице, характеризуя вероятность того или иного состояния микрообъекта при данных условиях. Он вводит в описание состояния микрообъекта существенно новый элемент — понятие вероятности, а тем самым и понятие потенциальной возможности». И далее: «...Введение их отражает не неполноту условий, а объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности». Следовательно,  $\psi$ -функция характеризует возможные состояния микрообъекта при определенном макроскопическом окружении. Эти возможные состояния представляют собой ансамбль. В действительность превращается одна из возможностей этого ансамбля».

Однако В. А. Фок продолжал оставаться в рамках полуклассических представлений о «состоянии». Например, в предисловии к книге Дирака «Принципы квантовой механики» он пишет: «Само понятие состояния трактуется по всей книге так, как если бы оно принадлежало атомному объекту самому по себе, в отрыве от средств наблюдения. Такая абсолютизация понятия „квантовое состояние“ приводит, как известно, к парадоксам. Эти парадоксы были разъяснены Нильсом Бором на основе представления о том, что необходимым посредником при изучении атомных объектов являются средства наблюдения (приборы), которые должны описываться классически».

Сейчас квантовая теория стала уже самостоятельной дисциплиной. В настоящее время она замкнута, и для нее нет никакой необходимости привлекать классические приборы. Наоборот, если мы вводим в рассмотрение классические объекты, то квантовая теория уже не может считаться по-настоящему квантовой, а становится лишь полуклассическим приближением.

Поэтому широко известную копенгагенскую интерпретацию квантовой механики в лучшем случае можно рассматривать как полуклассический подход.

Если же вернуться к ансамблевой интерпретации, то она представляется мне одной из последних соломинок, за которую цепляются сторонники классической реальности. Она хоть как-то помогает держаться им в рамках привычных представлений об окружающем мире. Если убрать эту «зацепку», они рискуют «утонуть» в квантовой парадигме, что, видимо, не входит в их планы, поэтому они лелеют и оберегают свою «соломинку» от всяких посягательств, придумывая все новые аргументы «за». С моей точки зрения, ансамблевая интерпретация уже давно изжила себя, и нужно с этим смириться, а не тормозить науку, штопая «старые мехи», которые расползаются от брожения «молодого вина».

Квантовая теория имеет возможность количественно описывать физические процессы, объективно существующие в окружающей нас реальности, которые невозможно изучать в рамках классической физики. Это один из основных моментов, который я бы хотел подчеркнуть: независимо от интерпретаций квантовая теория имеет дело с реальными физическими процессами, которые не могут быть описаны классической физикой.

Квантовая теория расширяет наш взгляд на окружающую реальность, показывая, что системы, помимо известного нам предметного состояния, могут находиться в состояниях «противоестественных», невозможных с точки зрения классической физики, попросту нематериальных. И такие состояния — вовсе не плод воображения, не теоретические абстракции, не математические символы. Это вполне реальные объективные элементы реальности, и в последнее время ими научились манипулировать, управлять, получая привычный для нас «материальный» вид этих объектов лишь как частный случай, как одну из возможностей. Но объективность другой, запредельной стороны реальности, более широкое пространство ее возможных состояний от этого не исчезают.

Поэтому под объективной физической реальностью я понимаю нечто большее, чем привычная для нас реальность. Я включаю в это понятие и системы, находящиеся в нелокальном состоянии. В этом случае объективная реальность значительно расширяется и, как мне представляется, охватывает многое из того, что принято относить к магии, эзотерике, религии и т. д. Например, в этом представлении телепатия, телекинез, материализация и дематериализация, ясновидение, религиозные таинства, действие молитвы, эзотерические практики и т. п. становятся элементами объективной реальности, связанными с физическими процессами.

К объективным физическим процессам относится также деятельность сознания (не только человека) и возможность его функционирования на различных уровнях реальности. Сознание, с точки зрения квантовой механики, становится элементом физического мира, поскольку его деятельность непосредственно связана с изменением состояния системы, обладающей сознанием. Феномен сознания связан с последовательностью различных внутренних состояний системы, а если состояние никогда не меняется, то можно говорить о полном отсутствии сознания. Другими словами, смена состояний — необходимое условие для наличия сознания в любой системе. Таким образом, имеется принципиальная возможность сопоставить с сознанием вектор состояния в некотором выбранном представлении и описывать его методами квантовой теории. Одновременно при таком подходе сознание становится элементом «энергетического мира», поскольку энергия в квантовой механике является функцией состояния. Соответственно деятельность сознания может быть описана в энергетических терминах и сведена к процессам, изменяющим распределение энергии в системе. Эта энергия не является таковой согласно классическим представлениям, поскольку ее градиент (сила) не может непосредственно совершить, например, работу над плотными телами. Но для тонких уровней реальности — это объективно существующая энергия, градиент которой способен совершить работу в отношении других объектов данного уровня. При этом существенную роль играет наличие нелокальности, квантовой запутанности на тонких уровнях реальности, в результате чего внешние объекты в какой-то своей части становятся едины с нашим энергетическим телом, связаны с ним квантовыми корреляциями. Поэтому сознание имеет принципиальную возможность изменять распределение энергии во внешних объектах как во внешнем «продолжении» своего энергетического тела, к которому сознание имеет прямой доступ. Однако для осознанного управления этим процессом наше сознание должно обладать практическим опытом индивидуальной активности на этих уровнях реальности.

Если посмотреть чуть шире на философские проблемы, которые ставит перед нами современная квантовая теория, то следует отметить, что ее выводы способны нанести сокрушительный удар по мировоззрению людей, ориентированных на ценности материального мира, — людей, составляющих основу так называемого общества потребления. Возможен нешуточный конфликт в умах добропорядочных граждан, озабоченных своим преуспеванием в нашем брэнном мире. Постепенно назревает противоречие.

С одной стороны — есть стремление к материальным благам и новым диковинным техническим устройствам, которые обладают невиданными доселе, прямо-таки фантастическими возможностями. И этот прагматизм, интересы потребительского рынка стимулируют все более интенсивные научные исследования в этом направлении.

С другой стороны — создание таких устройств предполагает более глубокий и пристальный взгляд на окружающую реальность, который проникает в запредельные, «потусторонние» для материального мира области, подтверждает его ограниченность и свидетельствует о наличии более широкой «неклассической» реальности. Согласно такому видению, все стремления человека к материальным благам, богатству, власти, карьере и т. п. ничего не стоят, их не возьмешь с собой после смерти физического тела в ту, иную реальность, которая сейчас открывается нашему взору. Более того, чрезмерное внимание человека к мирским ценностям может только усложнить его дальнейший путь и судьбу на квантовых уровнях Реальности.

## 2.4. Суперпозиция состояний

Наличие в окружающем нас мире «противоестественных» (с классической точки зрения) состояний, объективность их существования подтверждены физическими экспериментами, и этот факт является прямым следствием одного из самых фундаментальных принципов квантовой механики — *принципа суперпозиции состояний*. Или лучше сказать наоборот: это неотъемлемое свойство природы нашло свое отражение в основном теоретическом принципе квантовой механики. Сформулировать его можно следующим образом.

**Принцип суперпозиции состояний:** если система может находиться в различных состояниях, то она способна находиться в состояниях, которые получаются в результате одновременного «наложения» друг на друга двух или более состояний из этого набора.

В квантовой теории есть два качественно различных вида суперпозиции в соответствии с тем, что чистые состояния могут описываться вектором состояния, а смешанные — матрицами плотности. Поэтому и накладываться друг на друга могут либо векторы состояния, либо матрицы плотности. Мы пока будем говорить о суперпозиции чистых состояний, чтобы подчеркнуть это обстоятельство, обычно используют выражения «когерентная суперпозиция», «когерентные состояния».

В классической физике понятие суперпозиции тоже широко используется. Все мы рисовали в школе стрелочки векторов для сил, приложенных к телу, и по правилу параллелограмма (треугольника) находили результирующий вектор силы. Мы пользовались при этом принципом суперпозиции классической физики, суть которого в том, что результирующий эффект от нескольких независимых воздействий представляет собой сумму эффектов, вызываемых каждым воздействием в отдельности. Он справедлив для систем или физических полей, описываемых линейными уравнениями.

Но в классической физике принцип суперпозиции является приближенным, а не универсальным, фундаментальным. Это скорее следствие линейности уравнений движения соответствующих систем и служит достаточно хорошим приближением, когда нелинейные эффекты незначительны.

Иная ситуация — в квантовой механике. В ней принцип суперпозиции является фундаментальным, одним из основных постулатов, определяющих структуру математического аппарата теории. Из него следует, например, что состояния квантовомеханической системы должны изображаться векторами линейного пространства, что операторы физических величин должны быть линейными и т. д.

Но основное отличие не в этом. Давайте вчитаемся еще раз более внимательно в формулировку этого принципа: если система может находиться в различных состояниях, то она

может *одновременно* находиться сразу в двух (и более) состояниях! Например, если в качестве отдельных состояний системы взять пространственные координаты ее центра масс, и наша система способна принимать различные положения в пространстве, то из принципа суперпозиции следует, что она в состоянии находиться одновременно сразу во всех точках пространства — то есть быть полностью «размазанной» во всем пространственно-временном континууме. И это будет вполне естественное состояние с точки зрения квантовой теории! Для практической реализации такого необычного состояния системы нет принципиальных теоретических запретов. Разве это не удивительно? Не противоречит нашим привычным представлениям о реальности? Именно это явное противоречие «здравому смыслу» приводит в отчаяние уже не одно поколение физиков. Положение усугубляется тем, что никаких ограничений в квантовой теории на этот принцип не накладывается — он в равной степени применим и к макроскопическим объектам, и к микрочастицам.

Основное отличие принципа суперпозиции в квантовой теории от его классического аналога в том, что состояния, которые «накладываются» друг на друга в квантовой теории, — это альтернативные, взаимоисключающие состояния, когда одно из них полностью отрицает другое. Если мы находимся где-то в одном месте, значит, в другом месте нас нет — это подсказывает здравый смысл. Но в квантовой теории складываются именно такие взаимоисключающие состояния, и система может находиться в таких состояниях одновременно!

В классической физике, если взять те же силы, они вовсе не противоречат друг другу. Одна может спокойно действовать наряду с другой, и они вполне мирно «уживаются» друг с другом, а при их сложении мы получаем такую же обычную силу, которая не хуже и не лучше других сил. Только если мы сложим две противоположные и одинаковые по модулю силы, их равнодействующая будет равна нулю. Силы тогда взаимно компенсируются, они как бы «уничтожают» друг друга, и на тело вообще никакие силы действовать не будут.

А что получается в квантовой теории? Там все состояния несовместимы друг с другом. Но если мы сложим, например, два таких взаимоисключающих состояния, то уже не сможем сказать, что система при этом «уничтожится». Система при квантовом подходе может «исчезнуть» только в одном случае — если у нее нет вообще никаких состояний, а в случае суперпозиции мы имеем как минимум два. Отсутствие системы как элемента реальности в квантовой теории возможно лишь тогда, когда мы вообще не можем сопоставить с системой никаких состояний. Если такие состояния есть, значит, есть и система. Но вот что она из себя представляет, когда находится в суперпозиции двух взаимоисключающих состояний? Что происходит со спином, когда на состояние «спин-вверх» накладывается состояние «спин-вниз»? Это все равно что человек стоит одновременно «на ногах» и в то же самое время «вверх ногами». Как такое может быть, как это понимать? «Хороший вопрос», который может свести с ума, если подходить к нему с точки зрения наших привычных представлений о реальности.

Хотя и здесь может помочь аналогия с классическими представлениями. Если мы продолжим рассуждать о нашем примере с двумя противоположными силами, то придем к выводу, что ситуация в квантовой теории отдаленно ее напоминает. Итак, мы имеем равнодействующую двух сил, которая равна нулю, — что это означает? Можно сказать, что такой физической величины, как сила, для нашей системы в явном виде практически не существует. Две уравновешивающие силы находятся как бы в скрытом состоянии, они не проявлены, недоступны для восприятия и непосредственного наблюдения за результатами действия каждой из этих сил в отдельности. Лишь когда мы уберем одну из этих сил, то сможем явно убедиться в наличии второй, например, по ускорению, которое приобретет тело под действием оставшейся силы.

Что-то похожее происходит и в квантовой теории. Для простоты мы будем говорить о суперпозиции состояний с равными весами. Когда система пребывает в суперпозиции двух (и более) состояний, то в явном виде они не существуют — система не имеет характерных особенностей ни того, ни другого состояния. Так, если человек может находиться в двух состояниях — «на ногах» и «на голове» — то, когда он пребывает в суперпозиции этих состояний, мы, глядя со стороны, не увидим ни одного из них. На «языке» квантовой теории это означает, что система в этом случае находится в нелокальном состоянии — нет такого локального элемента реальности, который являлся бы «носителем» этих двух состояний. Человека в нашем примере вообще нет в качестве локального объекта, иными словами — «в своем физическом теле», и это вполне логично, поскольку ситуацию, когда мы видим его стоящим одновременно и «на ногах», и

«на голове», действительно трудно себе вообразить. Но это не говорит о том, что наша система исчезла, перестала существовать. Так же, как и силы в классическом примере вовсе не исчезают от того, что одна из них уравнивает другую. Они продолжают существовать, и в их наличии можно убедиться, нарушив равновесие этих сил, то есть каким-то образом воздействовав на систему.

В случае суперпозиции состояний похожая ситуация. Система имеет два различных состояния в качестве потенциально возможных локальных своих проявлений. Это те состояния, которые мы можем явно наблюдать и зафиксировать, но, чтобы их «проявить», нам необходимо с системой каким-то образом «проконтактировать». Здесь есть два принципиально различных варианта: во-первых, произвести прямое измерение системы, то есть осуществить взаимодействие с измерительным прибором (окружением). В этом случае мы просто разрушаем суперпозицию состояний и «проявляем» одно из потенциальных состояний системы в его локальном, привычном для нас материальном облике. Этот физический процесс, как нам уже известно, называется декогеренцией. Второй вариант: «проявлять» то или иное локальное состояние при помощи так называемых унитарных (обратимых) операций. В этом случае сохраняется возможность снова перевести систему в суперпозиционное состояние. В этом заключается принципиальное отличие от первого варианта, где такая возможность утрачивается. Точнее, реализовать ее можно было только в том случае, если бы мы умели управлять состоянием всей объединенной системы, в состав которой вошла наша исходная система при взаимодействии. Такие унитарные операции сейчас применяются для манипулирования кубитами в квантовом компьютеринге.

Необычную особенность квантовой суперпозиции — нелокальность и непроявленный потенциальный характер такого состояния, можно пояснить еще следующим образом. В отличие от классической суперпозиции, в квантовом случае мы никогда не получим промежуточное значение между состояниями, участвующими в суперпозиции. Например, классическая суперпозиция двух цветов, черного и белого, дает в результате серый цвет, но квантовая суперпозиция никакой серый цвет дать не в состоянии, никакого цвета вообще не будет — лишь при декогеренции, при взаимодействии (измерении) можно получить один из цветов — либо черный, либо белый.

Столь необычные состояния объектов, которые находятся в нелокальной суперпозиции, будоражат умы физиков уже многие десятилетия. Что будет, если мы совместим несовместимое? Что будет, если «наложим» друг на друга добро и зло, жизнь и смерть? В последнем случае часто вспоминают «кота Шредингера», которого физики приводят в качестве примера, поясняющего всю необычность состояний, существующих в окружающем мире, если не ограничиваться привычными рамками классической реальности. Такие состояния имеют место, когда мы готовы выйти за пределы предметного мира и хотим «заглянуть» в реальность более высокого уровня, более широкую, содержащую весь материальный мир в качестве своей составной части.

При квантовой суперпозиции живого и мертвого кота он не может находиться в некоем промежуточном полуживом (полумертвом) состоянии, как это могло иметь место в классическом варианте. Он именно одновременно и жив, и мертв, находится сразу в двух этих состояниях. Но вся парадоксальность такой ситуации в квантовой теории легко снимается, поскольку в этом случае кота просто нет в качестве локального объекта нашего материального мира. Можно сказать как угодно — что кот находится в потустороннем мире, в информационной сфере, в квантовом домене совокупной реальности и т. п. Но самое главное, что как обычного кота, которого можно погладить, — его просто нет. В своем физическом теле, в привычном облике кота, то есть в качестве локального объекта нашего материального мира он просто не существует. Он находится в состоянии более общего типа, а локальное состояние — только один из частных случаев, один из возможных вариантов бытия нашего кота. Он может проявиться из нелокальной суперпозиции в процессе декогеренции. Лишь тогда мы можем увидеть его, и уже не в каком-то парадоксальном сочетании жизни и смерти, а только в одном из этих состояний. Но такое объяснение квантовой теории, этот вывод, этот результат не всех устраивает. Ведь если система может находиться в таких «противоестественных» состояниях, то придется признать наличие более глубокой и всеобъемлющей реальности. Весь привычный для нас мир материи (вещества и физических полей) оказывается тогда лишь незначительной частью совокупной квантовой реальности. По сути, признание этого факта означает крушение основы мировоззрения большинства из нас. Поэтому многие не готовы принять эти выводы квантовой теории.

Но, может быть, принцип суперпозиции — это выдумка физиков-теоретиков? Возможно, это лишь математические манипуляции, которые не имеют под собой никакой реальной физики? Конечно же, нет, этот принцип не был «взят с потолка», уместно сказать, что он был выстрадан при становлении квантовой механики. Только с помощью этого принципа удалось объяснить многие физические эксперименты, которые не укладывались в рамки классического описания. Это сама реальность при более пристальном взгляде на нее «подсказывала» тот способ, который позволял адекватно ее описывать, сама природа помогала найти тот теоретический метод, благодаря которому получались правильные количественные значения величин и удавалось точно предсказывать результаты физических экспериментов.

Стоило «копнуть» законы природы чуть глубже, как оказалось, что окружающий нас мир — лишь часть чего-то более емкого, всеобъемлющего. Квантовая теория раздвинула границы реальности, показав, что материальный мир и классические состояния — это далеко не все, что нас окружает. Принцип суперпозиции существенно расширил сферу состояний и оставил на долю классического мира только незначительную часть в пределах совокупной квантовой реальности.

Сама природа подсказала, что когерентные суперпозиционные состояния — вовсе не абстракция, а неотъемлемый элемент окружающей реальности. Собственно говоря, для объяснения физических процессов и явлений они и были введены. Но понадобилось достаточно много времени, прежде чем пришло понимание, почему в одних случаях суперпозиционные состояния имеют место, а в других нет, по каким законам они «живут», какие процессы нелокальную суперпозицию разрушают, а какие восстанавливают. И основная роль в том, что понимание этих процессов стало возможно, опять-таки принадлежит самой природе, поскольку ответы на эти вопросы исследователи стали получать в результате интенсивной практической работы над реальными физическими системами, позволяющими использовать когерентную суперпозицию в качестве рабочего ресурса для квантового компьютера и других технических устройств. Во многом благодаря непосредственной работе с когерентными состояниями, манипуляции ими в физических лабораториях, покров таинственности с нелокальных состояний стал спадать — они начали раскрывать свои поразительные свойства, удивительные особенности и небывалые, по сравнению с классическими состояниями, возможности.

Когерентные состояния очень чувствительны к внешним воздействиям. Они возможны для чистых состояний, то есть для замкнутых (изолированных) систем, либо для псевдо-чистых состояний (квазизамкнутых систем) в промежутках времени, которые меньше периода декогеренции. Может возникнуть вопрос: что толку в этих состояниях, если когерентная суперпозиция не наблюдаема, если любые попытки измерения (наблюдения) такую суперпозицию разрушают, приводят к декогеренции? Да, суперпозиция не наблюдаема, это нелокальное состояние. Наблюдать в виде локальных форм можно только результат декогеренции этого состояния. И, тем не менее, когерентные состояния научились использовать на практике. Когерентность по отдельным степеням свободы системы можно сохранять на временах, меньших времени декогеренции окружением, ее можно восстанавливать, поддерживать, ею можно манипулировать. При этом, как уже говорилось, когерентность не нарушают унитарные преобразования системы, и их сейчас широко используют для управления когерентными состояниями, например, в квантовом компьютеринге.

Такие состояния обладают необычными свойствами. Наличие нелокальных корреляций между подсистемами (кубитами) обеспечивает согласованное их поведение, когда все кубиты ведут себя как единое целое, мгновенно реагируя на любые изменения состояния хотя бы одного из них. Все это оправдывает затраченные усилия, поскольку ресурс квантового компьютера в этом случае возрастает экспоненциально по сравнению с обычным. Квантовый компьютер все вычисления выполняет как бы в «потустороннем мире», за пределами материального мира локальных форм — там, где когерентная суперпозиция не нарушена. А результаты этих вычислений мы уже можем увидеть в привычной дискретной форме, «проявив» его при помощи процесса декогеренции.

Если говорить о теоретическом описании суперпозиционных состояний, о математическом формализме, то представление состояния в виде результата суперпозиции некоторого числа других состояний — это математическая процедура, которая всегда возможна и не имеет отношения к физике. Она аналогична разложению волны на компоненты Фурье. Имеет ли такое

разложение физического смысла, будет ли оно полезно, зависит от конкретной задачи, от конкретных физических условий и тех величин, которые нас интересуют.

Вместе с тем, расширение класса состояний, изучение физики когерентных суперпозиционных состояний определяют некоторые специфические особенности в структуре математического аппарата квантовой теории. Как я пытался показать выше, принцип суперпозиции состояний — это что-то вроде операции суммирования. Суперпозиция означает, что состояния можно каким-то образом складывать, получая при этом новые состояния системы. Поэтому состояния необходимо связать с какими-либо математическими объектами, которые допускают сложение, и получаются математические объекты того же типа. Из наиболее простых математических структур, удовлетворяющих этим условиям, нам известны векторы, которые и сопоставляются различным состояниям системы. Такие векторы называются в квантовой теории *векторами состояния* — к их рассмотрению мы сейчас и перейдем.

## 2.5. Вектор состояния

Согласно аксиоматике квантовой механики, *состояние* — это полное описание замкнутой системы в выбранном базисе, которое формализуется лучом в гильбертовом пространстве (*вектором состояния*).

Что такое гильбертово пространство, понять довольно просто — это пространство состояний системы, некоторое множество ее возможных состояний. Оно задается набором собственных (базисных, основных) состояний системы, которые нас интересуют в каком-то конкретном случае.

При этом в зависимости от поставленной задачи мы можем выбирать тот или иной набор базисных состояний и записывать различные векторы состояния для одной и той же системы. Например, нас может интересовать, как изменяются пространственные координаты частицы, и тогда выбирается бесконечномерное гильбертово пространство, поскольку координата — непрерывная величина, и с каждой точкой сопоставимо отдельное состояние частицы. Но нас может интересовать иная задача — как у той же частицы ведет себя спин. Тогда можно будет записать уже другой вектор состояния, выбирая в качестве базиса, скажем, два состояния спина, которые возможны для нашей частицы: спин-вверх и спин-вниз. И в том, и в другом случае это будут полные описания, поскольку охватываются все возможные координаты или ситуации со спином. Полнота описания в квантовой теории заключается не в том, что одновременно описывается все, что только возможно для данной системы. Речь о том, что мы имеем полное описание в рамках определенного набора состояний, которые нас интересуют.

Записывая вектор состояния системы в различных базисах, мы как бы анализируем систему с различных сторон, рассматриваем разные стороны ее проявления. При этом можно выбирать самые различные наборы состояний, записывая векторы состояний в любом базисе. Другой вопрос, нужно ли это делать? Что толку, если мы выберем набор базисных состояний, но система, которую нам хочется описать, эти состояния не принимает? Тогда вектор состояния, записанный для нашей системы, не будет иметь под собой никакой объективной основы — он не будет описывать выбранный нами элемент реальности. Другое дело, что не так-то просто бывает сказать, какие состояния существуют у данной системы. Например, нелегко догадаться, что у частиц могут быть спиновые степени свободы.

В этом плане интересна ситуация с системами, обладающими сознанием. Казалось бы, и так всем понятно, что работа сознания связана с различными состояниями. И этот момент у всех на виду — это не спины у частиц, поди еще, догадайся о них, да научись эти спины мерить. Что же мешает количественно описывать сознание методами квантовой теории? Если у человека есть вполне определенные состояния, связанные с работой сознания, и довольно легко можно выбрать состояния базисные — тогда есть все необходимое для того, чтобы использовать математический формализм квантовой теории. Скажем, для описания ментальной сферы деятельности сознания в качестве базисных состояний тогда вполне подойдет ограниченный набор слов — ведь мы постоянно произносим вслух или про себя какие-то слова. И их чередование — это смена нашего состояния. Таким образом, работу сознания можно описывать в терминах вектора состояния. И такое описание будет вполне естественным, будет иметь под собой реальную основу — объективные состояния системы. Это будет описание не каких-то чужеродных, не собственных

разумной системе состояний, а наоборот, самой важной ее характеристики — сознательной деятельности.

Что может дать такое описание? На мой взгляд — очень многое. Например, здесь открывается путь к количественному описанию, то есть к научной методологии и практической технологии «магии сознания». Скажем, ОВД (остановка внутреннего диалога) — прямой аналог нелокального суперпозиционного состояния, когда у нас нет никакого конкретного состояния сознания (определенного слова, чувства и т. д.), но мы можем «проявить» одно из них в «локальной» форме. А как говорил дон Хуан в книгах К. Кастанеды, ОВД — это ключ к магии. Здесь явная аналогия с квантовой теорией, где нелокальные суперпозиционные состояния — ключ ко всем «сверхъестественным» физическим проявлениям типа телепортации-телепатии.

Мы еще будем периодически возвращаться к этим вопросам, но пока я продолжу разговор об основных понятиях квантовой теории, связанных с вектором состояния.

Как уже говорилось, в квантовой теории принято различать чистые и смешанные состояния. Приведем определения.

**Чистым состоянием** (ЧС) называется такое состояние системы, которое может быть описано одним вектором состояния.

**Смешанным состоянием** называется такое состояние системы, которое не может быть описано одним вектором состояния, а может быть представлено только матрицей плотности.

Ключевой момент в понимании ЧС состоит в том, что система *в принципе*, пусть даже практически это сделать нереально, но *может* быть описана одной волновой функцией (вектором состояния, волновым вектором). И основное различие между чистым и смешанным состоянием в этом и заключается — существует или нет *принципиальная возможность* полностью описать состояние системы одним вектором состояния. Если это можно сделать — состояние чистое, если нет — смешанное.

Очевидно, что мы можем описать систему одним вектором состояния только в том случае, если она замкнута\*, изолирована. Замкнутость — необходимое условие для ЧС. В противном случае система будет взаимодействовать с окружением и не может быть полностью описана одним лишь вектором состояния — придется учитывать волновые векторы окружения. Замкнутость — это также и достаточное условие для ЧС, поскольку вся информация, необходимая для полного описания системы, находится в ней самой, и ее достаточно для принципиальной возможности записать вектор состояния всей системы.

\* Под замкнутостью понимается отсутствие любых корреляций системы с окружением, как классических, так и нелокальных квантовых.

В квантовой механике понятие чистого состояния и понятие замкнутой системы тождественны. Если квантовая система может быть описана одним вектором состояния, говорят, что она находится в чистом состоянии. Для замкнутых систем такая ситуация имеет место по определению.

Остановимся чуть более подробно на замкнутой системе и зададимся вопросом: «В каком состоянии должны находиться подсистемы, и какие корреляции между ними возможны, чтобы состояние всей системы оставалось замкнутым, то есть ЧС?»

Здесь возможны два варианта. Самый простой — когда вся система состоит из подсистем, каждая из которых, в свою очередь, сама является замкнутой. В данном случае каждая подсистема находится в ЧС, обладая при этом своим независимым вектором состояния в пространстве с размерностью меньшей, чем размерность всей системы (речь идет о гильбертовом пространстве). При таком условии вся система может быть разложена по независимым подсистемам. Вектор состояния всей системы (и размерность ее гильбертова пространства) будет равен тензорному\* произведению векторов состояния подсистем. Такое состояние системы называется **сепарабельным** (разделимым).

\* В отличие от обычного произведения матриц (строка на столбец), при тензорном умножении каждый элемент первой матрицы умножается на всю вторую матрицу. Это же относится к векторам как частному случаю матриц.

Это то, на чем стоит вся классическая физика. Если бы не существовало такого варианта чистого состояния, то не было бы и классической физики. Другой вариант ЧС — когда система находится в когерентной суперпозиции состояний всех ее подсистем.

Обычно именно этот вариант вызывает наибольшие трудности в понимании. Вероятно, потому, что мы не можем непосредственно увидеть и «пощупать» это состояние в окружающем мире, хотя на протяжении всей человеческой истории о нем говорится постоянно. Так что некоторые представления об этом состоянии замкнутой системы мы все же имеем. Например, для Вселенной, как замкнутой системы, — это Единый Источник классической реальности, Бог, Абсолют и т. п.

В терминах квантовой физики этот случай соответствует ЧС системы, в которой существуют лишь нелокальные квантовые корреляции. Такое состояние в квантовой физике называется чистым запутанным состоянием (ЧЗС).

И самое интересное, что классических корреляций в ЧС нет и быть не может.

Таким образом, ЧС бывают либо сепарабельными, либо ЧЗС. Третьего, как говорится, не дано.

И это не мои домыслы и предположения. Это строгий результат, следующий из основ квантовой теории. Например, об этом достаточно четко сказано в работе «Запутанные квантовые состояния атомных систем»\*. В разделе 2.2 читаем: «Итак, чистые квантовые состояния бывают либо квантово-коррелированными (запутанными), либо вообще некоррелированными». Далее, в разделе 2.4 еще раз: «Как уже отмечалось, в случае чистых состояний любые корреляции являются квантовыми, то есть соответствуют запутанным состояниям».

\* Баргатин И. В., Гришанин Б. А., Задков В. Н. Запутанные квантовые состояния атомных систем. УФН 171 (6), 625 (2001).

Напомню, что некоррелированность, то есть отсутствие вообще каких-либо корреляций, как классических, так и квантовых, — это сепарабельные состояния.

Итак, непосредственно из основ квантовой физики следует, что:

- замкнутая система находится в чистом состоянии;
- в замкнутой системе корреляции (и классические, и квантовые) между подсистемами могут отсутствовать вовсе (в случае не взаимодействующих подсистем, то есть сепарабельного состояния);

• а корреляции между подсистемами могут быть только нелокальными квантовыми (для взаимодействующих подсистем);

- в замкнутой системе отсутствуют классические корреляции между ее подсистемами.

Напомню, что речь идет о произвольных замкнутых системах. И в полной мере эти выводы справедливы только для всего Универсума, как единственной системы, которая является по-настоящему замкнутой.

Здесь у многих сразу же может возникнуть вопрос: как же так, мы, вместе с окружающими нас объектами, являемся частью Вселенной, при этом классически взаимодействуем с окружением и вовсе не находимся в нелокальном состоянии. Как это сопоставить с тем, что было сказано выше? Никакого противоречия здесь нет, и квантовая механика также отвечает на этот вопрос. Кстати, отвечая на него, ученые вывели количественную характеристику запутанности. Все дело в том, что мы, вместе с окружающими нас объектами, являемся именно частью системы, а классические корреляции отсутствуют во всей системе целиком. То есть в пространстве состояний (гильбертовом пространстве) с максимальной размерностью, соответствующем всей системе, классических корреляций нет, но они могут быть между подсистемами в пространствах состояний меньшей размерности. Данное обстоятельство можно пояснить еще следующим образом: гипотетический внешний наблюдатель, который смотрит на замкнутую систему снаружи, не увидит перед собой никаких классических объектов и не обнаружит взаимодействий между ними. Перед ним будет пустота — уточню: это в том случае, если наблюдатель охватывает взглядом сразу всю систему. Если же у него есть что-то наподобие «подзорной трубы», и через нее он станет смотреть на отдельную подсистему, «вырезая» из поля зрения все остальное

окружение, тогда он уже сможет увидеть выделенную подсистему как классический локальный объект.

Если обратиться к математическому формализму квантовой теории, то для записи вектора состояния обычно используют дираковские обозначения. В самом простом случае двухуровневой системы (например, кубита), вектор состояния имеет вид:

$$|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle, \quad (2.1)$$

где  $a$  и  $b$  — комплексные числа, которые могут принимать любые значения, удовлетворяющие условию нормировки  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ . Можно сказать, что кубит с вероятностью  $|a|^2$  находится в состоянии  $|0\rangle$  и с вероятностью  $|b|^2$  — в состоянии  $|1\rangle$ . Это обобщение классического бита, который является предельным случаем кубита при  $|a|^2 = 1$ , либо  $|b|^2 = 1$ .

Состояние  $|0\rangle = |\uparrow\rangle = (1, 0)^T$  — это вектор-столбец (спин-вверх); состояние  $|1\rangle = |\downarrow\rangle = (0, 1)^T$  тоже вектор-столбец, но спин-вниз.

## 2.6. Волновая функция

Довольно часто в качестве синонима словосочетания «вектор состояния» используют термин «волновая функция». Но различие между ними есть, и я хочу немного пояснить этот момент. Термин «волновая функция» я стараюсь не употреблять, поскольку под ним обычно подразумевается, что вектор состояния является функцией координат и времени. То есть предполагается, что, по умолчанию, в качестве «абсолюта» нам задан пространственно-временной континуум. Лично я считаю, что описание в терминах волновой функции — это не квантовая теория, а классическая, в лучшем случае — полуклассическая с незначительными элементами квантового формализма. В аксиоматике квантовой теории просто нет такого понятия, как пространственно-временные координаты, и в самодостаточной квантовой теории различные пространственно-временные континуумы получаются лишь как естественное следствие процесса декогеренции нелокального источника реальности.

Я предпочитаю использовать термин «вектор состояния» как функции *внутренних степеней свободы* системы. Использовать для описания системы не внутренние, а внешние ее характеристики относительно какой-либо выбранной системы отсчета я считаю, мягко говоря, некорректным. Тем более что для замкнутой системы, описываемой вектором состояния (волновой функцией), просто по определению не может существовать никакой внешней системы отсчета, так как, строго говоря, в случае чистого состояния (замкнутой системы) нет никакого внешнего тела, с которым можно было бы ее связать. Кстати, часто именно при таком некорректном подходе возникают так называемые «парадоксы» квантовой теории, типа парадокса ЭПР-пары, когда смешивают внешние и внутренние степени свободы системы (координаты и спин). Естественно, что внутренние степени свободы в данном случае не зависят от внешних (спин не зависит от координат), и можно по внешним степеням свободы систему усреднить. При этом получается «парадоксальный» на первый взгляд результат, согласно которому спиновые степени свободы скоррелированы независимо от расстояния между составными частями системы.

Ничего удивительного здесь нет. Если вы хотите разрешить парадокс, то будьте добры забыть о том, что замкнутая система имеет внешние координаты, и описывайте процесс ее «деления» на части как внутренних. Лишь тогда возникают локальные пространственно-временные координаты как внутренние характеристики самой системы, точнее, характеристики взаимодействия ее подсистем, когда с какой-либо одной из них связывается система отсчета. И внешние степени свободы здесь действительно не имеют значения, с небольшим уточнением — до тех пор, пока мы рассматриваем нашу систему как замкнутую, пока она не начнет «чувствовать», что она не одна в этом мире.

В макроскопическом мире спиновые степени свободы достаточно хорошо изолированы от других, поэтому они довольно долго «живут» в своем локальном «параллельном» пространстве-времени, пока оно не пересечется и не «схлопнется» с окружением. Для спиновой системы между

ее составными частями может и не быть никакого дальнего действия — это будет обычное взаимодействие, но *в своем пространстве-времени*. Если внутренние степени свободы системы не находятся в максимально запутанном состоянии, то они будут хотя бы частично локализованы, и сформируется локальный пространственно-временной континуум. Но для нас это все равно будет выглядеть как дальнее действие, как следствие существенного различия в метриках пространства-времени для спиновой системы и нашего мира.

Таким образом, описание в терминах волновой функции само по себе уже является полуклассическим. Например, в шредингеровском представлении предполагается наличие канонических координат и импульсов. Обычно так и пишут: «Рассмотрим динамическую систему с  $n$  степенями свободы, *имеющую классический аналог* (выделено мной. — С. Д.) и, следовательно, описываемую каноническими координатами и импульсами»\*.

\* Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М., 1960. С. 131.

Полноценное квантовое описание и несепарабельные состояния не имеют классического аналога. Волновая функция — это частный случай, лишь одно из возможных представлений вектора состояния, максимально приближенное к классическому описанию системы (частицы) в терминах сепарабельных состояний. Это представление, которое предполагает «отделимость», например, по координатам в шредингеровском представлении.

Естественно, что такое сепарабельное представление волновой функции создает сложности в описании и понимании физических состояний, которые могут находиться в нелокальном состоянии. Частица может быть «размазанной» в нашем трехмерном пространстве или расщеплена на несколько когерентных пучков (например, в случае с фотонами), и, если мы хотим приписать ей какую-то конкретную координату (траекторию), несложно сообразить, что сделать это невозможно. Например, частица проходит через две щели одновременно, причем, если мы начнем следить, через какую щель она прошла, то нарушим когерентность, частица локализуется (произойдет редукция волновой функции), но после этого интерференция наблюдаться уже не будет.

Поэтому ученым приходилось считать, что волновая функция характеризует лишь вероятности обнаружения частицы в той или иной точке пространства. Предполагалось, что волновая функция (волновой пакет) распределена во всем пространстве (иначе как учесть нелокальность), но описывает она не координаты самой частицы (которой и нет в нелокальном случае), а вероятность ее «проявления» в том или ином месте.

Отсюда так называемый корпускулярно-волновой дуализм, истоки которого в том, что частица может находиться в нелокальном состоянии, а в зависимости от ситуации (от наших приборов) вести себя и как частица, и как волна. Сложность понимания дуализма связана с тем, что частица действительно «распылена» во всем нашем пространстве-времени, точнее, ее просто нет в нашем классическом мире — ни в виде материи, ни в виде поля. Она может «проявиться» в том или ином виде лишь при декогеренции (редукции волновой функции), при взаимодействии с окружением (приборами). Таким образом мы ее буквально «вытаскиваем с того света» (из квантового домена реальности) в наш предметный мир. А до этого она нелокальна и находится в мире «потустороннем», за пределами относительно материального мира, и это ее вполне нормальное физическое состояние наряду с локальным, которое нам более привычно. Многим физикам такое необычное состояние казалось противоестественным, непривычным, поэтому они стремились хотя бы при ее описании вернуть частицу из «потустороннего мира» в привычный мир материальных объектов.

Вероятностное истолкование волновой функции решало еще одну проблему. В случае, когда система при декогеренции скачком переходит в новое состояние, то волновая функция мгновенно перестраивается в соответствии с этим переходом. Такая редукция приводила бы к противоречиям с требованиями теории относительности, если бы волновые функции представляли собой обычные материальные волны, например электромагнитные. Действительно, в этом случае редукция волновой функции означала бы существование сверхсветовых (мгновенных) сигналов. Вероятностное истолкование снимало это затруднение.

Подчеркну еще раз, что волновая функция дает сведения о вероятности нахождения *одной* частицы в данном месте, а не о вероятностном числе частиц в этом месте. Только такая точка

зрения позволяет адекватно описать физические эксперименты, например, по интерференции, причем каждая частица (например, фотон) интерферирует лишь сама с собой. Интерференции между двумя разными фотонами никогда не происходит\*.

\* См., например: Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М., 1960. С 25. В последние годы физики-экспериментаторы научились получать когерентные частицы, способные к интерференции, от различных источников. Результаты совсем недавних экспериментов опубликованы в Nature: *Beugnon J. et al.* Nature, **440**, 779 (6 April 2006), см. комментарий: [http://www.qd.ru/pletner/news.asp?id\\_msg=61122](http://www.qd.ru/pletner/news.asp?id_msg=61122).

## 2.7. Представления вектора состояния

Как уже было сказано, в аксиоматике квантовой механики нет таких понятий, как координата и время. Они могут появиться в одном из представлений, когда мы переходим к нему (например, шредингеровскому) от теоретических абстрактных понятий квантовой механики: вектора состояния, линейных операторов и т. д. Но одно из представлений — это далеко не вся квантовая теория. На мой взгляд, об этом неплохо пишет Дирак в «Принципах квантовой механики» в главе III, которая так и называется «Представления».

Он говорит примерно следующее: после того, как введены основные понятия квантовой механики — вектор состояния, линейный оператор и т. д., встает вопрос о выборе наиболее удобного способа «манипулирования» этими теоретическими, абстрактными объектами. Обычно с этими абстрактными величинами бывает удобно сопоставить числа или совокупность чисел и далее работать уже с этой совокупностью чисел.

Такой переход аналогичен введению в геометрии координат, которые позволяют использовать для решения геометрических задач мощные математические методы.

Естественно, что способ, согласно которому абстрактные величины заменяются числами, не является единственным, подобно тому, как в геометрии можно выбрать много различных координатных систем. В квантовой теории каждый такой способ называется *представлением*, а совокупность чисел, заменяющих абстрактную величину, — *представителем* этой абстрактной величины в данном представлении. Таким образом, представитель, например, вектора состояния аналогичен координатам геометрического объекта. Если нужно решить какую-то конкретную квантовую задачу, то можно облегчить работу, выбрав представление так, чтобы представители существенных для данной задачи абстрактных величин имели наиболее простой вид.

Далее Дирак говорит о волновой функции как об одном из представлений вектора состояния, как функции отдельных наблюдаемых. В IV главе (п. 22) он рассуждает о шредингеровском представлении, в котором сделано *предположение*, что все координаты являются наблюдаемыми и имеют сплошной спектр собственных значений. В этом представлении все координаты диагональны (предполагается их сепарабельность) и составляют полный набор коммутирующих наблюдаемых для данной динамической системы.

При решении каких-то отдельных простых задач такое представление будет оправдано, но для других задач, более сложных, оно может работать плохо, поскольку изначально была введена классичность системы, ее сепарабельность (отделимость) по координатам. Фейнман, например, попытался обойти этот момент, вводя интегралы по путям\*, но он боролся со следствием «кривой» изначально сепарабельной предпосылки, а не с причиной. В моем понимании это тоже полуклассический подход. Если изначально, волевым усилием, «с потолка» вводится сепарабельность (например, по координатам), то этот подход нельзя считать чисто квантовым. Он аналогичен ансамблевой интерпретации, когда одно квантовое суперпозиционное состояние заменяется набором классических состояний. Так же и в этом случае эволюция одного квантового состояния заменяется набором классических эволюций, интегралом по всем возможным классическим траекториям между двумя точками в конфигурационном пространстве. Поскольку сепарабельность координат волновой функции заложена изначально, то, чтобы описать квантовую эволюцию состояния, приходится заменять координаты хотя бы их классической смесью. Иногда это срабатывает, но в таких случаях нужно понимать, что мы делаем и с какой целью. По аналогии с многомировой интерпретацией можно, наверное, сказать, что интегралы по путям Фейнмана — это «многокоординатная» интерпретация квантовой механики для волновой функции.

\* *Feynman R. P. Rev. Mod. Phys.* **20**, 367, (1948). Подробнее см.: *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968.

С математической точки зрения на квантовую теорию сейчас все чаще смотрят как на разложение единицы (ортогональное или неортогональное) в гильбертовом пространстве состояний *самой системы* в каком-либо базисе. С использованием супероператоров POVM (positive operator value measure) такое разложение возможно не только для чистого состояния (замкнутой системы), но и для открытых систем, взаимодействующих со своим окружением. Базис для разложения вектора состояния может быть выбран любой, в общем случае необязательно даже, чтобы базисные векторы были независимы и ортогональны. Существует бесконечное число различных представлений вектора состояний, и базис из пространственных координат не всегда является лучшим выбором. Выбор базиса зависит от конкретной задачи. Во многих случаях можно ограничиться другими представлениями вектора состояния, например, спиновым представлением, что обычно сейчас и делается при решении многих задач.

Замечу, что спин является внутренней характеристикой самой системы, в то время как пространственные координаты — характеристика внешняя, не имеющая отношения к самому объекту (его внутренним степеням свободы). В спиновом представлении несепарабельность спиновых состояний — обычное дело, и здесь не нужны никакие полуклассические «извращения». И я считаю, что, по возможности, желательно иметь дело с внутренними степенями свободы системы, особенно в случае чистого состояния.

## 2.8. Сепарабельные и несепарабельные состояния

Но если описание в терминах волновых функций отнести к классической физике, то что же тогда физика квантовая? Где тот водораздел, который четко и однозначно позволяет отделить классическое описание от квантового? Естественно, это не наличие в уравнениях постоянной Планка, не дуализм волна/частица и т. д. Но что тогда? Ответ на этот вопрос сейчас известен уже не только физикам, но и философам. Я могу сослаться на философскую статью\*, которая, как я считаю, неплохо поясняет, в чем суть основного отличия классической физики от квантовой.

\* *Karakostas V. Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences // Journal for General Philosophy of Science.* 2004. 35. P. 283–312. <http://ru.arxiv.org/abs/quant-ph/0502099>.

Даже философы начинают понимать, что принципиальное отличие квантовой физики от классической заключается в том, что в квантовой теории учитываются несепарабельные состояния. Автор довольно четко проводит границу между квантовой и классической физикой, совершенно справедливо связывая последнюю с сепарабельными состояниями, относя к ней и все полевые теории, в которых изначально предусмотрено наличие внешних пространственно-временных координат. Все теории физического вакуума и т. д. — это классическая физика, поскольку в них предполагается, что физический вакуум существует в некоем пространственно-временном континууме. Иными словами — классический принцип сепарабельности, «отделимости» различных областей физического вакуума заложен в само это понятие изначально. Я бы сказал больше: даже если бы была разработана некая всеобъемлющая Единая Теория Поля, которая, однако, исходила бы из предположения, что это Поле существует в некоем внешнем, «абсолютном» пространственно-временном континууме, — то это все равно была бы классическая физика, и до квантовой теории ей было бы далеко.

В. Каракостас сразу указывает на известный фундаментальный принцип, на котором держится вся классическая физика. Суть его такова: любая составная физическая система классической реальности может быть представлена, как состоящая из сепарабельных (отделимых) индивидуальных частей, взаимодействующих посредством сил, которые «закодированы» в гамильтоновой функции полной системы. И, если полный гамильтониан известен, то максимальное знание физических количественных величин, имеющих отношение к каждой из этих частей, приводит к исчерпывающему знанию целой составной системы. Другими словами, классическая физика подчиняется принципу сепарабельности (отделимости), который может быть сформулирован следующим образом.

**Принцип сепарабельности:** состояния любых сепарабельных (отделимых) по пространству и времени подсистем  $S_1, S_2, \dots, S_N$  составной системы  $S$  индивидуально хорошо определены, так же и состояния составной системы целиком и полностью определены ее подсистемами и их физическими взаимодействиями, включая их пространственно-временные отношения\*.

\* См.: Howard D.: 1989, Holism, Separability and the Metaphysical Implications of the Bell Experiments, in Cushing J. and McMullin E. (eds.), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bell's Theorem*, Notre Dame, Indiana, University of Notre Dame Press. P. 224–253; Healey, R.: 1991, Holism and Nonseparability, *The Journal of Philosophy* LXXXVIII, 393–321.

Относительно теоретико-полевых точек зрения, включая общую теорию относительности, В. Каракостас также отмечает, что все эти теории удовлетворяют вышеупомянутому принципу сепарабельности. Неотъемлемой особенностью любой полевой теории, независимо от ее физического содержания и используемого математического формализма, является то, что значения фундаментальных параметров поля однозначно определены в каждой точке (см. Einstein, A.: 1971, *The Born-Einstein Letters*, New York, Macmillan. P. 170–171). Например, исчерпывающее знание 10 независимых компонентов метрического тензора в каждой точке в пределах данной области пространственно-временного континуума полностью определяет поле тяготения в этой области. В этом случае полное описание поля в данной области содержится в ее частях, а именно — в ее точках. Таким образом, неотъемлемым свойством физической реальности, согласно полевой теории, является предположение, что физическое состояние приписано каждой точке пространственно-временного континуума, и это состояние определяет локальные свойства этой точечной системы. Кроме того, составное состояние любого набора таких точечных систем полностью определено индивидуальными состояниями его элементов. Следовательно, принцип сепарабельности включен в саму структуру полевых теорий. Другими словами, классические полевые теории обязательно удовлетворяют принципу отделимости.

В отличие от классической физики, стандартная квантовая механика систематически нарушает концепцию сепарабельности.

Настоящая квантовая теория начинается там, где появляются несепарабельные состояния. Причем речь идет не о каких-то «интерпретациях», в которых эта несепарабельность (квантовая запутанность) вводится с некой «хитрой» целью, а о стандартной квантовой теории, и наличие несепарабельных состояний — это естественное следствие основного принципа квантовой механики — принципа суперпозиции состояний.

В начале раздела 4 В. Каракостас пишет: «Ввиду радикальности понятия несепарабельного состояния возникает вопрос, можно ли, задавая статистические состояния подсистем, представленные неидемпотентными операторами плотности\*, восстановить понятие сепарабельности в квантовой теории? Ответ на этот вопрос, вопреки еще недавно распространенным представлениям, — строго отрицательный».

То есть несепарабельные состояния отдельной системы никакими ухищрениями типа статистической (ансамблевой) интерпретации невозможно свести к привычным классическим представлениям и сепарабельным состояниям. Сейчас это уже неопровержимо доказано.

\* Идемпотентной называется матрица, для которой выполняется условие  $A^2 = A$ , если оно не выполняется — матрица неидемпотентная. В случае чистого состояния соответствующая матрица (оператор) плотности всегда является идемпотентной, в случае смешанного состояния — неидемпотентной. Открытая система, взаимодействующая со своим окружением, то есть находящаяся с ним в запутанном состоянии, описывается неидемпотентными матрицами плотности.

Таким образом, различные описания, основанные на принципе сепарабельности, на представлениях о физическом вакууме, на волновых функциях, все полевые теории и т. п., по моему мнению, в лучшем случае «застряли» где-то между классической и квантовой физикой. Чисто квантовые физические процессы, связанные с несепарабельностью, такие как декогеренция и рекогеренция, не имеют никакого классического аналога, поэтому остаются недоступны такому описанию.

В квантовой теории в противовес принципу сепарабельности хорошо известен свой принцип *несепарабельности*. Я приведу его формулировку из книги К. Блума\*.

**Принцип несепарабельности:** если две системы взаимодействовали в прошлом, то в общем случае невозможно приписать один вектор состояния любой из двух подсистем\*\*.

\* Блум К. Теория матрицы плотности и ее приложения. М.: Мир, 1983. С 80.

\*\* Первоисточник: d'Espagnat B. (1976), *Conceptual Foundation of Quantum Mechanics*. — Reading: Benjamin.

Этот принцип является прямым следствием общих правил квантовой механики. Принцип является всеобщим, и взаимодействия могут быть любого рода, между любыми системами. Например, уважаемый читатель, читая эти строки, вы взаимодействуете со мной на ментальном уровне, и между нами протянулись невидимые нити квантовых корреляций — в какой-то самой незначительной нашей части, на уровне квантовых ореолов, мы уже пересеклись и составляем единое целое. Мы с вами находимся в суперпозиционном состоянии на ментальном уровне, но практически невозможно выделить эти суперпозиционные состояния среди «шума» других более сильных взаимодействий, которые их заглушают. Чтобы их отследить, нужны достаточно большое мастерство и практический опыт расширенного восприятия реальности, нужна магия.

Принцип несепарабельности — самый общий, и обычно мы имеем дело с целым набором самых различных взаимодействий с окружением, при этом отдельным взаимодействиям соответствует своя степень квантовой запутанности (несепарабельности). Вот почему в «игру» вступают относительные величины квантовой запутанности. Для сильных классических взаимодействий сепарабельность выше, поэтому хорошо работает приближение, не принимающее во внимание квантовую запутанность в классической физике. Однако подсистемы могут находиться в практически сепарабельном состоянии по одним степеням свободы, но несепарабельны по другим. Например, мы сепарабельны (разделены) в своих физических телах, но в какой-то мере несепарабельны по чувствам и еще более — по мыслям.

Иногда можно услышать мнение, что распространение принципа несепарабельности на макроскопические объекты неправомерно, что нужно отдельно оговаривать условия применимости этого принципа, что, мол, на микроуровне он применим, а на макроуровне — нет.

На это я могу сказать, что такая точка зрения довольно поверхностна. Замечу, что в формулировке принципа несепарабельности, приведенной выше, нет даже слова «квантовая» в отношении систем, о которых идет речь. Довольно часто, особенно в старых учебниках по квантовой механике, термин «квантовый» служил синонимом слова «микроуровень». Отсутствие этого термина неслучайно — в определениях такого рода взвешивается и продумывается каждое слово. Речь идет именно о любых системах и о любых взаимодействиях. Никаких ограничений на действие этого принципа нет. Накладывая ограничения в отношении макросистем, мы тем самым будем утверждать, что квантовая теория ущербна, ограничена, что она неверно описывает реальность. Оговаривая условия применимости принципа несепарабельности, мы тем самым делаем заявления еще более крамольные, чем все слова о магии несепарабельных состояний — ставим под сомнение справедливость самой квантовой теории. Как известно, классическая физика — это лишь частный случай квантовой теории, это приближенное описание, которое исходит из квантовой физики. Поэтому, когда речь идет о макросистемах, в лучшем случае можно говорить лишь о том, что при их рассмотрении мы в отдельных задачах пренебрегаем эффектами, связанными с несепарабельностью. Но поставить под сомнение само существование квантовой запутанности (несепарабельности) между макросистемами невозможно. Для этого придется опровергнуть всю квантовую теорию.

В настоящее время под «квантовой системой» в общем случае понимается любая система, описываемая в терминах состояний, то есть посредством «вектора состояния», «матрицы плотности» и т. д. Это наиболее полное описание. А классическая физика для макросистем — лишь частный случай квантового описания, предельный случай, когда мы пренебрегаем несепарабельностью. Вся классическая физика — это сепарабельное описание.

Макросистемы отличаются от микрочастиц только в одном плане — на микроуровне эффекты несепарабельности выражены наиболее явно, для микрочастиц квантовые корреляции сравнимы с классическими взаимодействиями, поэтому без запутанности тут уже не обойтись.

Если кому-то кажется, что для описания макроскопического мира достаточно классической физики, и он не стремится понять и описать магию (в широком смысле слова), которая в этом мире вполне реальна, — тогда, пожалуйста, квантовой запутанностью можно пренебречь.

Естественно, многое зависит от ситуации, от тех вопросов и задач, которые ставятся при рассмотрении систем и подсистем. Например, мы можем отделить кирпич от стены дома и рассматривать его как самостоятельный сепарабельный объект в тех случаях, когда нас не интересуют его квантовые корреляции, а мы хотим его использовать для другой постройки. Классическая физика так и поступает. Но когда задача ставится иначе, например, когда нам хочется узнать, какую квантовую информацию содержит кирпич об обитателях дома и произошедших там событиях, — основное внимание мы будем уделять квантовым корреляциям, содержащимся в кирпиче. Наверное, многие слышали, что стены старых домов способны многое «рассказать» о своих обитателях. И сильные эзотерики могут «считывать» фрагменты информации такого рода. Можно считать все это фантастикой, но принцип несепарабельности говорит о том, что ничего необычного в этом нет, наоборот, это самая естественная ситуация, что кирпич в нелокальных корреляциях хранит информацию обо всех взаимодействиях, в том числе о «психических выделениях» жителей дома, особенно о наиболее ярких их проявлениях. Вот только «снять» эту информацию не так-то просто, хотя с физической точки зрения это в принципе возможно.

«Вычеркнуть» запутанность очень просто — достаточно ею пренебречь и не принимать во внимание. Но вот как объяснить те сверхъестественные (аномальные) явления, в которых она принимает участие, в том числе эзотерические практики, не прибегая к самой этой запутанности, трудно представить.

Замечу еще раз, что несепарабельные (запутанные) состояния не имеют никакого аналога в классической физике. Они никак не могут быть ею объяснены и описаны. Для классической физики — это в прямом смысле «сверхъестественные», «потусторонние» проявления, выходящие за рамки классических представлений о реальности.

«В терминах матрицы плотности классическая физика является предельным случаем квантовой механики, когда матрица плотности строго диагональна в одном и том же фиксированном базисе, и полностью положительное отображение становится тогда стохастическим отображением. Из этого следует, что квантовая эволюция системы имеет гораздо более сложный характер по сравнению с ее классическим поведением, и достаточно проанализировать характеристики квантовых систем, чтобы из этих результатов, как частный случай, получить классические характеристики систем, если ограничиться рассмотрением только диагональных элементов матрицы плотности».

В этом абзаце я дословно процитировал статью V. Vedral, Phys. Rev. Lett. 90, 050401 (2003).

Нужно хорошо понимать одну очень простую вещь: вся классическая физика со всеми ее законами для макроскопических тел и физических полей — частный случай квантовой теории. Это упрощение, пренебрежение несепарабельностью в том числе. Но если мы ее отбрасываем в уравнениях классической физики, это не значит, что в объективной реальности она исчезает. Мы просто ею пренебрегаем в тех задачах, где она нас не интересует. Хотя до сих пор не прекращаются попытки найти классическое объяснение квантовой запутанности. Но любое классическое объяснение будет лишь упрощением, лишь частным случаем квантового. Например, при «разнесении систем» мы можем пренебречь несепарабельностью, но она, как объективный физический факт, никуда не исчезнет, поэтому и существует возможность использовать запутанность в технических устройствах.

Достоинство квантовой механики в том, что она способна рассматривать как сепарабельные состояния, так и несепарабельные. Сепарабельные являются ее частным случаем, когда матрица плотности диагональна в выбранном представлении. О несепарабельности допустимо говорить лишь при наличии взаимодействующих систем, при этом абсолютная делимость имеет место только при полном отсутствии взаимодействий. По большому счету, чистых сепарабельных состояний вокруг нас нет — все когда-то образовалось из единого источника, однако методами квантовой теории можно описывать неотделимые состояния как делимые, пренебрегая запутанностью, обнуляя недиагональные элементы в матрице плотности. Так и получается классическая физика...

Убрать магию из физики достаточно просто — нужно лишь закрыть на нее глаза и пренебречь несепарабельностью, но нас интересует как раз обратное.

Сложность описания зависит от того, какую задачу мы решаем и в каком представлении записываем вектор состояния (или матрицу плотности). Но в квантовой теории есть и более общий подход — непосредственно оперировать абстрактными векторами состояния, не переходя к какому-то конкретному представлению. Это полная теоретическая абстракция, идеал, но он легко реализуем, и из этого общего описания следует несепарабельность любой системы с окружающими его объектами при наличии взаимодействия, пусть даже в прошлом.

Для описания в терминах абстрактных векторов состояния никакого различия между макро- и микросистемой не существует. Это описание справедливо для любых систем, правда, из-за его общности и результаты мы можем получить только общие, не количественные, а качественные, но они неоспоримы, например, вывод о наличии той же несепарабельности.

Обычно в научных статьях примерно так и пишут.

Рассмотрим самую общую ситуацию. Предположим,  $A$  и  $B$  — две системы, и  $A$  описана в гильбертовом пространстве  $H_A$  конечной размерностью  $d_1$ , система  $B$  — в гильбертовом пространстве  $H_B$  размерностью  $d_2$ . Первоначально системы были изолированы, затем пришли во взаимодействие, и образовалась единая система в гильбертовом пространстве  $H_{AB}$ , размерностью  $d_1 \times d_2$  и т. д.

Затем, исходя только из первооснов квантовой механики, которые и составляют фундамент ее математического формализма, делается вывод о несепарабельности  $A$  и  $B$ . Еще раз подчеркну, что речь идет о любых системах — любой размерности, любой природы — и о любых взаимодействиях. Но следствия принципа несепарабельности носят качественный характер — о количественной оценке квантовой запутанности он сам по себе ничего не говорит. Это отдельная тема.

Количественно проще всего описывать микрочастицы, поскольку для них легко записать в явном виде вектор состояния, например, в спиновом представлении, и тогда можно количественно оценить меру квантовой запутанности. Но качественные выводы о наличии несепарабельности для произвольных взаимодействующих систем, в том числе макроскопических, опровергнуть нельзя, поскольку эти выводы делаются на фундаментальном уровне квантовой теории, только на основе ее математического формализма. Если эти выводы опровергаются, то тем самым опровергается сама теоретическая основа квантовой теории, ее формализм.

Таким образом, связка — взаимодействие посредством энергий + нелокальные корреляции (которые неотделимы от взаимодействия) — позволяет на более высоком научном уровне говорить об энергоинформационном обмене, в том числе и живых систем с внешней средой (или между собой). Нелокальные корреляции характеризуют обычно в информационных терминах, и мера квантовой запутанности (несепарабельности) рассматривается как мера информационного единства. Никакие материальные физические величины, связанные с веществом или полями, для характеристики нелокальных корреляций неприменимы, но, тем не менее, наличие этих корреляций в окружающей реальности — объективный факт. Об энергоинформационных процессах часто говорят, но общими словами, без конкретной физики. Термин «энергоинформационный обмен» при квантовом подходе наполняется конкретным физическим содержанием, а способность квантовой теории количественно описывать как сепарабельные энергетические процессы, так и несепарабельную квантовую запутанность, позволяет в едином ключе рассматривать физику энергоинформационных процессов.

Можно еще рассмотреть вопрос о полной несепарабельности системы. Полная несепарабельность — это максимальная запутанность с окружением по всем степеням свободы, что означает полную нелокальность объекта. Если объекты локализованы, значит, по каким-то степеням свободы мы можем записать сепарабельный вектор состояния (диагональную матрицу плотности), взяв в качестве базисных векторов сепарабельные собственные состояния. Например, запутанную по спинам пару частиц можно описать двумя различными векторами состояния: один вектор — в координатном представлении — тогда частицы будут сепарабельны по координатам, и с каждой частицей сопоставляется свой вектор состояния (тоже в координатном базисе). С другой стороны, мы можем записать вектор состояния этой пары частиц в спиновом представлении, в базисе по спиновым степеням свободы. Тогда система будет несепарабельна по

этим степеням свободы, и мы уже не сможем записать свои векторы состояния для каждой частицы в этом базисе.

Почему я так много внимания уделяю несепарабельности? Ответ прост: одного этого принципа достаточно, чтобы объяснить наличие и физическую причину всего «сверхъестественного» в нашем предметном мире. Его одного достаточно, чтобы принять магию как неотъемлемую часть реальности. Пока это объяснение будет качественное, физикам-теоретикам не так-то легко подобрать удобную для практических целей количественную характеристику несепарабельности (меру квантовой запутанности). Трудность состоит в том, что для макроскопических тел характерно большое число качественно различных степеней свободы и различных взаимодействий с окружением — очень много каналов квантовой запутанности с окружением. Однако такая работа ведется, и уже предлагаются меры квантовой запутанности для систем произвольной размерности, о чем более подробно мы будем говорить в следующей главе.

Но для большинства из нас достаточно и качественного объяснения. Количественное описание нужно для практического применения квантовой запутанности в технических устройствах. Ведь мало кто из нас знает количественные законы, которым подчиняется ток в электрических цепях, но в общих чертах все мы представляем, что такое электричество. Количественное описание электрического тока необходимо для создания электротехники. Так же и с квантовой запутанностью (нелокальными квантовыми корреляциями): необязательно знать ее количественные законы — достаточно иметь качественное понимание основных ее особенностей. А количественное описание запутанности пусть используется при создании тех же квантовых компьютеров, квантово-криптографических систем и т. д. Другое дело, что вывод о наличии несепарабельности везде и всюду, даже на качественном уровне понимания, выходит далеко за рамки наших привычных, узких представлений о реальности, ограниченных «миром вещей», и многие могут быть не готовы его принять. Но сами нелокальные корреляции, как неотъемлемая часть объективной реальности, от этого не исчезнут, можно лишь как страус засунуть голову в песок и делать вид, что квантовой запутанности не существует.

На несепарабельность можно взглянуть еще с одной стороны: существует ли механизм образования замкнутой подсистемы с независимым вектором состояния, если изначально замкнутости подсистемы не было? Этот вопрос связан с другим: может ли человек при своей жизни в плотном теле оторваться от Бога и создать себе проблемы после смерти физического тела? Ведь всеобщность принципа несепарабельности предполагает его выполнимость не только в плотном классическом мире, но и на тонких планах реальности (на уровнях квантового ореола), которые не описываются классической физикой, но доступны для описания в квантовой теории.

Я полагаю, что такие ситуации возможны, и назову несколько их вариантов. Например, при ограниченном взаимодействии с окружением подсистему можно рассматривать как псевдочистое (квазизамкнутое) состояние в некоторых промежутках времени, порой даже больших. То есть в предельном случае человек может «замкнуться» на самого себя и после смерти физического тела довольно длительный срок будет иметь дело лишь с собственными «тараканами» и заморочками.

Другой вариант — опять-таки выделить различные степени свободы и рассматривать сепарабельность по одним из них и несепарабельность по другим. То есть на тонких планах человек будет «привязан» к отдельным своим страстям и порокам, но у него остается шанс после «чистилища», после освобождения от них приблизиться к Богу.

Есть еще один возможный исход. Когда в выделенной подсистеме есть сильное взаимодействие между ее внутренними составными частями, то связь с остальным окружением становится слабой (относительно внутренних связей), и внешняя запутанность «теряется» на фоне сильных взаимодействий внутри подсистемы. Это близко к тому, что происходит в плотном мире, когда сильные взаимодействия «забывают» нелокальные связи. Аналогична ситуация с тонкими структурами типа эгрегоров, у которых внутренние связи тоже сильнее внешних, и они существуют в виде относительно самостоятельных (сепарабельных) квазизамкнутых структур. Среди них есть и демонические структуры, в которые попадает человек после смерти физического тела, если он в своей жизни руководствовался сугубо материальными, плотскими интересами. Например, тот, для кого при жизни в плотном теле были исключительно важны деньги, будет являться частью энергетического тела денежного эгрегора — одной из самых сильных

демонических структур, щедро подпитываемой нашими «психическими выделениями» с плотного плана реальности.

## 2.9. Состояния, энергия, энтропия

На Вселенную иногда смотрят как на скопление энергетических полей. Такой взгляд хорошо соответствует представлениям квантовой теории, в которой доказывается, что «все есть энергия», что энергия — это основная величина, определяющая состояние системы (любого размера, вплоть до Универсума), и, исходя из энергетической характеристики объекта, можно определить среднее значение других физических величин, характеризующих систему. Более того, квантовая теория сегодня способна количественно описать, как возникают все эти «скопления энергетических полей», как появляются локальные энергетические объекты с различной плотностью энергии, в том числе и наш плотный предметный мир, из нелокального квантового источника, в котором изначально нет никаких энергетических неоднородностей. Квантовая теория способна описывать как переходы объекта из менее плотного энергетического состояния в более плотное, так и обратный процесс.

В квантовой механике нет таких проблем с понятием «энергия», как в классической физике, где нет четкого и однозначного ее определения. В квантовой теории эта величина вводится непосредственно из аксиоматики квантовой механики, исходя из основополагающего понятия «состояние». Каждому состоянию в квантовой теории соответствует определенное значение энергии, то есть энергия квантуется в соответствии с различными состояниями системы.

Можно сказать, что энергия в квантовой теории — это обобщение всех известных (и неизвестных) энергий в классической физике, и она связана лишь с состоянием системы. В квантовой теории просто не может быть никаких неизвестных энергий, поскольку в качестве энергии мы можем задать любую (разумную, подходящую) функцию состояния системы. Можно задать и целый набор таких функций, то есть рассматривать совокупность энергий тварного и нетварного мира. Любое изменение состояния системы, например, любая наша мысль, чувство, желание и т. п., с точки зрения квантовой теории, связаны с изменением ее энергии, поскольку последняя — это функция состояния системы, и если меняется состояние — меняется и энергия.

Понятие «состояние» в квантовой механике непосредственно не связано с привычными классическими характеристиками системы (массой, скоростью и т. д.). Эти величины вторичны, и для нелокальных состояний они просто неприменимы. Энергия в этом отношении — более универсальная величина, ее можно использовать во всех случаях. Для физических объектов (если мы не рассматриваем, например, в терминах квантовой теории текстовое сообщение) состояние системы может быть описано в терминах одной ее характеристики — энергии. Обычно предполагается, что энергия должна быть определена в некотором заданном интервале. Все наблюдаемые физические величины, в том числе классические, можно получить из матрицы плотности. В случае замкнутой системы матрица плотности записывается через вектор состояния в виде проектора. Таким образом, матрица плотности в энергетическом представлении (и вектор состояния для замкнутой системы) отражает реальное, объективное состояние системы с определенным энергетическим спектром.

В целом, можно сказать, что квантовая теория изучает физические законы, которым подчиняются любые энергетические структуры (независимо от их размера и типа энергии). В настоящее время квантовая механика приступила к изучению физических процессов, в результате которых энергетические структуры возникают из нелокального состояния и уплотняются (декогеренция), а также обратных процессов — разуплотнения энергетических структур, перехода их в менее плотное состояние (возрастание квантовой запутанности), вплоть до полного «растворения» и потери своей внутренней структуры — чистого нелокального состояния. Особо подчеркну, что это не просто теоретизирование. То, что эти процессы действительно существуют в окружающем мире, подтверждается многочисленными физическими экспериментами, которые показывают адекватное соответствие теоретическим предсказаниям. Более того, эти процессы применяются на практике в технических устройствах, о чем уже неоднократно упоминалось.

Квантовая теория информации устанавливает связь между мерой квантовой запутанности и информацией. Это позволяет рассмотреть декогеренцию как процесс перехода Слова в его осязаемую форму. В терминах Кастанеды это относится и к физическому процессу, при котором

наша мысль, команда, точнее, наше «намерение» становится «командой Орла» и реализуется в плотном мире. Кроме того, связь между энергией и квантовой информацией дает возможность сделать еще один вывод: все энергетические процессы связаны с процессами информационными, и на фундаментальном уровне Универсума, в нелокальном (нетварном) источнике Реальности все энергетические процессы в подсистемах сводятся к информационным. На фундаментальном уровне нет ничего, кроме квантовой информации, которая в процессе декогеренции проявляется в пространствах меньшей размерности в виде локальных объектов и тварных энергий.

Поскольку термин «энергия» будет часто встречаться в последующих главах, я попытаюсь пояснить, что же подразумевается под этим понятием в контексте этой книги. Тем, кто желает более подробно узнать, как из самых простых соображений в квантовой теории вводится понятие «энергия», могу порекомендовать прочесть первые главы курса «Статистической термодинамики» Ч. Киттеля. Этот курс интересен тем, что вся термодинамика здесь очень легко и достаточно строго выводится из простейшей квантовомеханической модели из (не взаимодействующих!) элементарных магнетиков с двумя ориентациями магнитного момента (вверх/вниз).

Но для начала — несколько слов об основах квантового подхода к описанию *макроскопических* процессов.

Как пишет Киттель в предисловии\*: «Статистическая термодинамика представляется удивительно легким предметом, если при ее изучении придерживаться последовательной *квантовомеханической точки зрения, в основе которой лежит понятие состояний всей системы, независимо от того, велика она или мала*».

\* Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977. С. 9.

И далее, в начале первой главы: «В настоящее время мы знаем, что статистическую термодинамику легче изучать с позиций квантовой механики, чем на основе классической механики времен Гиббса. Это обстоятельство не удивительно, поскольку квантовая механика дает правильное описание природы, тогда как на атомном уровне описание в рамках классической механики является неполным. Только переведя принципы Гиббса на язык квантовой механики, мы приходим к ясному, последовательному и простому физическому обоснованию как термодинамики, так и статистической механики. В процессе такого перевода существенно использование только одного-единственного понятия квантовой механики, а именно — понятия о стационарном квантовом состоянии системы частиц».

В простейшей квантовомеханической модели из элементарных магнетиков состояние системы определяется заданием ориентации (вверх или вниз) каждого из них. И энергия системы определяется достаточно просто, исходя из ее состояния. Энергия выражается через следующую разность, которая в данном случае называется спиновым избытком:

(число спинов вверх) – (число спинов вниз) = спиновый избыток.

Например, состояние, в котором число спинов «вверх» равно числу спинов «вниз», имеет нулевую энергию (равномерное распределение энергии). Два состояния, в котором все спины направлены вверх (вниз), имеют максимальную энергию из всех возможных для данной системы.

Таким образом, энергия системы — это величина, которая характеризует отклонение системы от равновесного состояния. Отсюда — связь с классической физикой и всевозможными определениями энергии, которые в ней используются. Все они в основе своей содержат квантовомеханическое определение энергии и с классической точки зрения характеризуют работу, которую может совершить система при ее переходе к равновесному состоянию. Здесь мы видим естественный переход к понятию силы (градиента энергии), который совершает эту работу.

Отмечу, что вся классическая термодинамика выводится из простейшей квантовомеханической модели невзаимодействующих спинов, и остается возможность дальнейшего совершенствования этой модели. Очевидным становится то основное упрощение, следствием которого являются законы классической термодинамики. Поскольку не учитываются взаимодействия между частицами, из рассмотрения убираются несепарабельные состояния и нелокальные квантовые корреляции.

Курс статистической термодинамики Киттеля хорош еще и тем, что он на конкретном примере показывает высокую эффективность подхода квантовой механики к объяснению физических процессов в окружающей реальности. Замечу — любых процессов, в том числе макроскопических, поскольку в основе квантовомеханической точки зрения «лежит понятие состояний всей системы, независимо от того, велика она или мала».

Задать энергию как функцию состояния можно и без привязки к физике, а, скажем, для характеристики информационных процессов. К примеру, выразить ее через аналог «спинового избытка» (удобнее брать удвоенную разность между числом нулей и единиц в векторе состояния в двоичном базисе). Можно еще проще — как число единиц в векторе состояния. В частности, состояние из всех нулей  $|000\dots00\rangle$  принять за минимальное значение энергии, тогда ортогональное ему состояние из всех единиц — состояние с максимальным значением энергии. А энергию для всех промежуточных состояний определять числом единиц, то есть энергия состояния  $|01100\rangle$  равна 2, для состояния  $|10110\rangle$  равна 3 и т. д. Здесь можно подумать о нормировке, о том, как удобнее ввести энергию, но суть остается — нужно как-то связать число нулей и единиц в векторе состояний с количественным значением энергии.

Такое определение энергии имеет и некоторый физический смысл: например, в случае передачи информации по каналу с шумом для «переворота» (искажения) одного символа требуется меньше энергии внешнего воздействия (шума), чем для «переворота» двух и более символов.

После этого можно говорить о градиенте энергии. Так, если есть два локальных объекта в исходном состоянии:  $|000\dots00\rangle$  (один из них) и  $|111\dots11\rangle$  — другой (каждое из этих состояний сепарабельное), и они приходят во взаимодействие, то градиент энергии между ними будет максимальный (перепад энергии максимально возможный, так как одна подсистема находится в состоянии с минимальной энергией, а другая — с максимально возможной энергией). Возникает поток энергии, который приводит всю систему в равновесие, и она перейдет, например, в суперпозиционное состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\dots00\rangle + |111\dots11\rangle)$  — несепарабельное, максимально запутанное и нелокальное. В квантовой теории оно называется кэт-состояние в память о шредингеровском коте, который находится в состоянии «ни жив, ни мертв».

Несколько слов об энтропии. Энтропия и энергия в физике неразрывно связаны друг с другом. При формальном определении энергии, скажем, как числа единиц в двоичном базисе можно эту связь установить для любых состояний (не только физических).

**Энтропия** по своему фундаментальному определению (в терминах состояний) — это логарифм от числа допустимых состояний системы.

Как говорит Киттель: «Это определение ошеломляет своей простотой: энтропия есть логарифм числа допустимых состояний системы. <...> Говорят, что энтропия служит мерой беспорядка в системе. Такое утверждение точно соответствует определению. Чем больше у системы допустимых состояний, тем больше энтропия».

Как известно, статистическая физика исходит из следующего основного предположения (иногда это утверждение называют основной гипотезой статистической физики): замкнутая система с равной вероятностью может находиться в любом допустимом для нее состоянии. Состояние считается допустимым, если оно удовлетворяет наложенным на систему ограничениям. Основные ограничения — это ограничения по энергии и по числу подсистем (определяется размерностью гильбертова пространства).

Число допустимых состояний, в свою очередь, зависит от энергии. Поясню этот момент на примере системы из 10 двухуровневых подсистем (в двоичном базисе). Для состояния с максимальной энергией, то есть  $1111111111$ , есть только одно допустимое состояние. Для состояния с чуть меньшей энергией, например, с одним нулем — уже 10 допустимых состояний, скажем,  $1101111111$ , то есть 10 различных вариантов размещения 0. Это степень вырождения для данного значения энергии. Для состояния с двумя нулями число допустимых состояний (степень вырождения) равно 45 и т. д. Максимальное число допустимых состояний (252) имеет место для состояний из 5 единиц и 5 нулей, то есть состояний типа  $1101011000$ . Здесь работает комбинаторика, и в целом мы имеем гауссово распределение для числа допустимых состояний.

Таким образом, энтропия (логарифм от числа допустимых состояний)\* является функцией энергии (числа единиц в нашем случае), то есть:

$$\sigma(m) = \ln g(m),$$

где  $m$  — энергия (число единичек);  $g(m)$  — степень вырождения для данного значения энергии (число допустимых состояний, соответствующих этой энергии).

\* Общепринятое термодинамическое определение энтропии отличается только наличием множителя  $k_b$  — постоянной Больцмана, равной  $1,381 \cdot 10^{-16}$  эрг/К.

Минимальная энтропия будет равна нулю (одно состояние) для состояний 1111111111 и 0000000000 (для состояний с максимальной и минимальной энергией), а максимальное значение энтропии в нашем примере равно 5,53 ( $\ln 252$ ).

Такая схема позволяет ввести формальное понятие энергии для любой нефизической системы, состояния которой заданы в двоичном базисе, и оно будет согласовано с понятием энтропии.

Можно также достаточно просто показать, почему при взаимодействиях (при обмене энергией) возникают суперпозиционные состояния и квантовая запутанность.

Согласно статистической физике, при взаимодействии двух подсистем энергия перераспределяется таким образом, чтобы объединенная система имела максимальное число допустимых состояний (энтропия была максимальна). Объединенная система стремится к равновесию, к наиболее вероятностной конфигурации (к вершине «колокола» на гауссовой кривой).

Суммарная энергия  $m = m_1 + m_2$  при этом остается постоянной, а меняются значения энергии подсистем  $m_1$  и  $m_2$  (энергия перераспределяется). Обозначим эти новые значения  $m'_1$  и  $m'_2$ . Система стремится к равновесному состоянию, при котором относительные энергии равны, то есть выполняется условие\*

$$m'_1/N_1 = m'_2/N_2 = m/N,$$

где  $N_{1(2)}$  и  $N$  — размерность подсистем и объединенной системы (число двоичных позиций),  $N = N_1 + N_2$ .

\* См.: Куттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977. С. 44.

Например, пусть начинают взаимодействовать две подсистемы 00000 и 11111 с энергией  $m_1 = 0$  и  $m_2 = 5$ , размерностью  $N_1 = 5$ ,  $N_2 = 5$ , и образуется объединенная система размерностью  $N = 10$  (как в нашем предыдущем примере). Мы будем иметь  $m/N = 1/2$ , то есть значения  $m'_1$  и  $m'_2$ , согласно условию равновесия, должны быть равны 2,5, что невозможно реализовать без суперпозиционных состояний, то есть состояния каждой из наших подсистем должны быть равны  $1/2(00000 + 11111)$ , а это максимально-запутанное *cat*-состояние.

Можно даже предположить, что здесь справедлив и более общий вывод: при объединении двух систем (одинаковой размерности) с минимальной и максимальной энергией объединенная система стремится к максимально запутанному *cat*-состоянию.

В нашем примере «на бумаге» можно иногда обойтись без суперпозиции состояний, скажем, когда объединяются подсистемы четной размерности. Но условие равновесия должно работать во всех случаях, и без суперпозиции состояний здесь не обойтись — этот вариант работает всегда.

Такую общую схему, связывающую состояния и энергию, можно рассматривать в самых разных задачах, в том числе при количественном описании деятельности сознания. Наличие сознания неизменно связано со сменой внутреннего состояния системы, обладающей им. Всегда можно сопоставить с сознанием вектор состояния в некотором заданном базисе из эмоциональных и (или) ментальных собственных состояний и применять методы квантовой теории. Одновременно с этим сознание будет пониматься как элемент «энергетического мира», поскольку изменение состояния сопровождается изменением энергии системы. И что самое

интересное — при таком подходе получается, что эти «психические выделения» энергии, сопровождающие деятельность сознания, являются объективно существующими «энергетическими сгустками». Это не есть что-то идеальное, существующее только в нашей голове, — это объективные энергетические потоки в окружающей нас реальности. Если мы соглашаемся с тем, что наше состояние при активной деятельности сознания изменяется, что из одного состояния мы переходим в другое, и одна мысль (эмоция) сменяет другую, то отсюда неизбежно следует вывод, что мы генерируем или поглощаем энергию, так как различным состояниям соответствуют разные энергии.

Таким образом, когда артисты, например, говорят об энергетике зрительского зала, то речь идет не о каких-то чисто субъективных внутренних переживаниях, а о вполне реальных физических процессах взаимодействия и обмена энергией, влияющих на состояние взаимодействующих субъектов. Естественно, что эти энергетические процессы не могут иметь место в рамках классической физики, но квантовая теория в состоянии их объяснить и количественно описать.

## 2.10. Психические состояния

В заключение нашего разговора о состояниях хочу остановиться на психологии. Недавно мне на глаза попала статья В. Е. Лёвкина «Психические состояния и общее состояние человека» (из серии «Аспекты философии психологии»)\*.

\* [http://levkin.nm.ru/new\\_05.htm](http://levkin.nm.ru/new_05.htm).

В статье приводится следующее определение: «Психология — это наука о психических процессах, состояниях и свойствах личности». Но «наука о состояниях» — это же и есть квантовая теория! Психологию можно рассматривать как ее частный случай, когда в качестве системы рассматривается личность человека. В квантовой теории системы могут быть произвольными, единственное необходимое условие — чтобы у них существовал набор различных состояний.

Некоторые моменты в этой статье показались мне интересными, к примеру, тот факт, что в психологии существует «энергетический» подход к состояниям. Автор ссылается на А. О. Прохорова, который градуирует состояния по энергетической шкале. В основу такой градации он положил континуум активации Д. Линдсли и шкалу уровней психической активности В. А. Ганзена, В. Н. Юрченко. Такой подход позволил выделить три уровня психической активности с соответствующими им состояниями (психической активности):

- состояние повышенной психической активности (счастье, восторг, экстаз, тревога, страх и т. д.);
- состояния средней (оптимальной) психической активности (спокойствие, симпатия, готовность, заинтересованность и т. д.);
- состояния пониженной психической активности (грезы, грусть, утомление, рассеянность, кризисное состояние и т. д.).

Первый и третий уровни Прохоров предлагает понимать как неравновесные, а средний — как условно равновесный, при этом важная особенность неравновесных состояний в том, что они являются звеном, предшествующим возникновению новообразований в структуре личности, обуславливая возникновение последних. Впоследствии новообразования закрепляются в виде свойств, черт и т. д.

Помимо этого в психологии выделяют набор базисных состояний, и более 40 из них подробно описаны в отечественной литературе.

Чем не квантовая механика! Есть базисные состояния, с которыми можно сопоставить энергетические уровни (по градации А. О. Прохорова), — то есть все исходные основания, чтобы попытаться применить аппарат квантовой механики. Таким образом, удастся подойти к количественному описанию в психологии. Термин «квантовая психология» наполнится тогда конкретным содержанием.

Квантовая теория помогает понять суть таких необычных для классической психологии состояний личности, как «медитация на пустоту» (внутреннее безмолвие). Это нелокальное суперпозиционное состояние сознания, когда нет никаких его классических характеристик (нет «проявленной» личности — локальных эмоций, мыслей и т. д.). И одновременно это состояние — ключ к магическим, сверхъестественным возможностям человека.

Квантовомеханические модели позволяют количественно описывать психофизические состояния с учетом принципа суперпозиции, и можно анализировать, в частности, динамику квантовой запутанности при взаимодействии «субъектов». Попытаюсь пояснить, что я имею в виду. Можно начать с самой простой двухуровневой системы — например, в качестве базисных взять два ортогональных состояния «хорошо» и «плохо», сопоставить им векторы состояний  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , задав из каких-то разумных соображений закон взаимодействия между различными «субъектами», каждый из которых способен находиться в двух состояниях. Ввести аналог внешнего поля, внешней среды, которая стремится «повернуть» субъекты «по полю» в одно из двух допустимых состояний. То есть записать некий аналог гамильтониана для системы взаимодействующих «субъектов» во внешнем поле. И тогда можно анализировать динамику психологических состояний, в том числе динамику запутанных состояний.

На первый взгляд может показаться, что это модель примитивная и мало что может дать для психологии, но следует заметить, что на таких простых моделях основана практически вся наука. Здесь главное — сам подход, а дальше идет уже чисто техническая «накрутка» и усложнение модели — простое наращивание «мяса».

Да и при анализе двухуровневой модели, думаю, психологи могут сделать для себя достаточно много новых, неожиданных и интересных выводов.

Замечу, кстати, что вектор состояния двухуровневой системы «хорошо/плохо» охватывает бесконечно большое число промежуточных психических состояний. Наглядно это можно представить как множество точек на сфере Блоха\* (непрерывный диапазон состояний от «плохо» к «хорошо»).

\* Подробнее о сфере Блоха см. раздел 3.5. в главе 3.

В этом проявляется двойственный характер квантовомеханического описания, которое совмещает в себе аналоговость (непрерывность) и дискретность. Таким образом, можно описывать личность с двух сторон. С одной стороны — это бесконечное число оттенков между основными психическими состояниями, с другой — конечное число базисных состояний. То есть описание психической сферы можно вести в рамках конечного пространства состояний (гильбертова пространства) определенной размерности. Личность как бы ограничена числом допустимых для нее состояний. В ней есть только потенциал, возможность для расширения своего пространства состояний, для своего развития. Она создана лишь «по образу и подобию», но не тождественна Богу.

Наряду с эмоциональными психическими состояниями, можно рассматривать и ментальные состояния сознания. Внутренняя свобода на ментальном уровне будет ограничена, например, словарным запасом и ментальными конструкциями, которыми оперирует личность.

Воля личности, облаченной в тело, в энергетическую структуру, ограничена тварными энергиями и физическими законами, которым эти энергии подчиняются.

В целом, такое количественное описание психических состояний человека с использованием математического аппарата квантовой теории мне представляется довольно перспективным.

## **Глава 3**

### **Главная Матрица. Загрузка**

#### **3.1. Матрица плотности как основной инструмент квантовой теории**

В этой главе я хочу немного «загрузить» вас математическим формализмом, поскольку мы будем говорить о количественном описании нелокальных корреляций. Не беспокойтесь — ничего

сложного, постараюсь дать лишь ключевые моменты, для понимания которых вполне достаточно самых элементарных представлений о матрицах и об основных математических операциях над ними. Если у кого-то возникнут трудности с пониманием математических «закорючек», можно их просто игнорировать. Надеюсь, в этой главе вы найдете что-то интересное и кроме них.

Количественное описание нелокальных корреляций, мера квантовой информации и все остальные физические величины вводятся в квантовой теории на основе одного из самых фундаментальных ее понятий — *матрицы плотности*. Чтобы вы смогли как-то прочувствовать всю значимость этого основного инструмента квантовой теории, проведу параллель с известным фильмом «Матрица». После его выхода на широкий экран этот термин стал довольно популярным, и у многих на слуху. Напомню, что в основе картины лежит фантастический сюжет о борьбе с машинами, которые захватили власть на Земле. Людям кажется, что они живут полноценной жизнью в реальном мире, хотя их физические тела при этом неподвижно лежат в капсулах, а сознание просто «вмонтировано» в гигантский суперкомпьютер. Источником «реальности» для них является Матрица.

Мысль о том, что наше восприятие и наши ощущения отражают далеко не то, что есть на самом деле, — вовсе не нова. Об этом давно говорят все религиозные и мистические учения. Степень достоверности восприятия и наша «обманутость» предметным миром в различных учениях трактуются по-разному, вплоть до утверждения о полной иллюзорности материального мира. Но суть примерно одинакова — все учения свидетельствуют о том, что мир, который мы видим вокруг себя, вовсе не является физической основой реальности, помимо него есть нечто более емкое и всеохватывающее, откуда лишь «генерируются» предметные тела нашего привычного мира в виде некой проекции.

Кроме того, фильм «Матрица» имеет некий философский подтекст, затрагивает вопросы творения и бытия. Символическое значение несут даже имена персонажей, например, Тринити (Trinity) — это Троица, один из основных христианских символов. Одна из серьезных тем, которые поднимаются в фильме, — тема освобождения от привычных иллюзий нашего восприятия. Но мы пока не будем касаться этого вопроса. Остановимся лишь на том, что Матрица в фильме рассматривается в качестве источника воспринимаемой реальности. В более широком смысле слова под «матрицей» сейчас обычно понимают некую фундаментальную структуру, в рамках которой проявляются те или иные свойства системы. Так вот, самое интересное, что этот основной тезис — «всё из Матрицы» — имеет в квантовой теории не переносный, а самый прямой смысл — «всё из матрицы плотности». Матрица плотности — это та самая фундаментальная структура, которая содержит в себе все возможные проявления системы. Матрица плотности любой системы, вплоть до Всеобъемлющей Матрицы Универсума, заключает в себе весь потенциал этой системы. В ней — всё, на что способна система, все «программы», которые могут быть в ней запущены и выполнены, всё, что она может продемонстрировать. Можно сказать кратко — матрица плотности содержит всю информацию о системе. И что для нас немаловажно — информацию о корреляциях системы с окружением. В общем, говоря о значимости матрицы плотности, я бы сопоставил ее с Матрицей из фильма, и тот, кому интересно, как она работает, может открыть для себя много нового, поближе познакомившись с этим понятием квантовой теории.

Может возникнуть закономерный вопрос: что толку в наших теоретических рассуждениях, если мы рассматриваем большую систему типа Универсума? Ведь мы все равно не сможем записать для него матрицу плотности в явном виде, а значит, будем не в состоянии ничего толком о нем сказать. Это не совсем так, и здесь на первый план выходит количественное описание. Имея количественную теорию, можно многое сказать о любых системах независимо от их размера. Количественные законы справедливы всегда (в границах их применимости), как для небольших систем, так и для любых других, иначе они бы не были законами. Поэтому и существует возможность устанавливать общие закономерности на самых примитивных теоретических моделях, что обычно и делается. Многие физические теории построены именно таким образом — на основе теоретического анализа простейших систем. В нашем случае, когда речь идет о фундаментальных физических процессах, связанных с нелокальностью и квантовыми корреляциями, основные закономерности тоже устанавливаются посредством анализа небольших систем. Этим сейчас и занимаются физики-теоретики, используя матрицу плотности в качестве

основного теоретического инструмента. Причем эти результаты проходят проверку в экспериментальных исследованиях и практическом применении квантовой запутанности.

А теперь давайте поговорим о матрице плотности более подробно. Для начала напомним одно из основных положений квантовой теории (см. главу 2, раздел 2.5): открытая система, взаимодействующая со своим окружением, не может быть описана вектором состояния, такой системе (это смешанное состояние) можно сопоставить лишь матрицу плотности.

Понимание этого фундаментального обстоятельства пришло не сразу. Несмотря на то что понятие о матрице плотности было сформулировано фон Нейманом\* в 1927 году, осознать исключительно важную ее роль в квантовой теории удалось значительно позднее.

\* Neumann J. von, Gött. Nach. 1–15. P. 245–272 (1927), статья поступила в редакцию 11 ноября 1927 года. Более подробно прочитать об этом можно в книге: Белокуров В. В., Тимофеевская О. Д., Хрусталева О. А. Квантовая телепортация — обыкновенное чудо. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000. С. 155.

Так, когда в 1935 году Эйнштейн сформулировал свой знаменитый ЭПР-парадокс, он еще не понимал, что волновую функцию не всегда можно сопоставить с отдельными частями системы. В работе «Физика и реальность»\* он пишет:

«Рассмотрим механическую систему, состоящую из двух отдельных систем  $A$  и  $B$ , взаимодействующих только в течение ограниченного времени. Пусть задана функция  $\psi$  до взаимодействия. Тогда уравнение Шредингера даст функцию  $\psi$  после взаимодействия. Определим теперь физическое состояние подсистемы  $A$  настолько полно, насколько это допускается измерениями. Тогда квантовая механика позволяет нам определить функцию  $\psi$  для подсистемы  $B$  по сделанным измерениям и функцию  $\psi$  для всей системы. Это определение, однако, дает результат, который зависит от того, какие определяющие величины, характеризующие состояние  $A$ , измерялись (например, координаты или количества движения). Поскольку после взаимодействия для  $B$  может существовать только одно физическое состояние, которое нельзя себе разумно представить зависящим от отдельных измерений, произведенных над системой  $A$ , отделенной от  $B$ , можно заключить, что функции  $\psi$  нельзя однозначно сопоставить физическое состояние. Это сопоставление нескольких функций  $\psi$  одному и тому же физическому состоянию системы  $B$  вновь показывает, что функция не может интерпретироваться как описание (полное) физического состояния одной отдельной системы. Здесь также все трудности исчезают, если функция  $\psi$  сопоставляется ансамблю систем».

\* Эйнштейн А. Физика и реальность. М., 1965. С. 55. <http://artema.fopf.mipt.ru/lib/phil/einstein1.html>.

Элементарная ошибка содержится уже в самом начале этих рассуждений. Авторы ЭПР исходят из очевидного (на их взгляд) утверждения, что каждой подсистеме при заданном состоянии всей системы можно сопоставить волновую функцию. Но это утверждение в общем случае неверно. Такая возможность есть лишь при условии, что между  $A$  и  $B$  нет и не было взаимодействия (они находятся в сепарабельном состоянии). Каждой из взаимодействовавших в прошлом подсистем  $A$  и  $B$  в общем случае сопоставить отдельные векторы состояния (волновые функции) нельзя, для них можно записать лишь матрицы плотности. Но вот что делать с несепарабельным исходным состоянием, то есть когда подсистемы действительно взаимодействовали друг с другом?

Уместно сказать, что Эйнштейн придумывал «парадоксы» на пустом месте, — никаких парадоксов нет, если не делать ошибок в рассуждениях и правильно подходить к анализу двух подсистем в единой общей системе. Если вся система замкнута, то ей, как целому, можно сопоставить вектор состояния, но каждой из подсистем не всегда удается сопоставить отдельный вектор. Состояния подсистем тогда описываются матрицами плотности, и она — своя у каждой из них. В этом случае невозможно однозначно восстановить матрицу плотности общей системы по матрицам отдельных подсистем, это допустимо лишь для сепарабельных состояний. Если же состояния несепарабельны, полное описание возможно лишь для всей системы целиком. И это не следствие неполноты квантовой механики, как пытался подать данное обстоятельство Эйнштейн. Наоборот, это результат более полного и глубокого описания окружающей реальности, естественное физическое следствие взаимодействия подсистем. При этом общую систему нельзя разделить на два полностью независимых локальных объекта — всегда будет существовать

некоторая часть системы, которая принадлежит обоим объектам в равной степени. Подсистемы переплетены, запутаны между собой подобно сиамам близнецам и составляют единое целое, пусть даже в какой-то самой незначительной своей части.

Парадокс при этом снимается, но квантовая запутанность (несепарабельность) остается. Она является естественным следствием более полного квантового описания, в котором объект может быть единым целым или разделенным на отдельные части, но при этом учитываются даже самые незначительные квантовые корреляции между частями системы, которыми пренебрегает классическая физика.

Не исключено, что у кого-то сложится обманчивое впечатление, что, поскольку квантовые корреляции в нашем макроскопическом мире незначительны, ими можно полностью пренебречь. Классическая физика так и поступает. Но при этом не учитывается одно существенное обстоятельство — свойства этих корреляций столь необычны, удивительны и всеобъемлющи, что легко могут «перевесить» самые сильные классические корреляции. Пренебрегая квантовыми корреляциями, классическая физика в результате резко ограничивает свои возможности при описании физической реальности, сводя ее практически к бесконечно малой части всей *совокупной квантовой реальности*. Отсюда — неспособность классической физики описать огромное количество «сверхъестественных» явлений.

Эйнштейн, как я понимаю, так и не смог смириться с квантовой запутанностью (телепатией) в квантовой теории и пытался всеми силами втиснуть ее в тесные рамки классической реальности, в том числе, и своими «шуточками» относительно ансамблевой интерпретации\*. Думаю, его авторитет сыграл немаловажную роль в том печальном обстоятельстве, что в существующих учебниках по квантовой механике практически не упоминаются несепарабельные состояния и их необычные особенности. Ситуация стала меняться только в последнее время, после того, как физические эксперименты подтвердили объективность существования необычных состояний в окружающей реальности, и ученые приступили к практическому применению запутанных состояний в качестве рабочего ресурса в технических устройствах. Тут уж нет смысла спорить о том, существуют они на самом деле или нет: они уже *работают*, и их специфические свойства полностью соответствуют теоретическим предсказаниям квантовой теории.

\* См. главу 2, раздел 2.3.

Но вернемся к матрице плотности. Именно это понятие позволило говорить о состоянии системы в полном смысле этого слова, поскольку появилась возможность учитывать не только внутренние, но и внешние условия, в которых она находится. Ранее, на основе вектора состояния (волновой функции), сделать это было нельзя, так как данные понятия были применимы только для замкнутых систем, которые не взаимодействовали со своим окружением. Применение волновых функций к скоррелированным подсистемам приводило к парадоксам. Лишь матрица плотности позволяла приблизиться к тому пониманию состояния, которое было ближе всего к реальной ситуации, а также к философскому толкованию этой категории. Матрица плотности не только отражала внутренние характеристики системы, но и давала возможность учитывать ее взаимодействие с окружением.

Несмотря на то, что матрица плотности в настоящее время является основным теоретическим инструментом в квантовой механике, ее роль и значение неспециалисты часто недооценивают и по старинке продолжают рассуждать в терминах волновой функции даже тогда, когда нельзя пренебречь корреляциями системы с окружением. Пси-функция (волновая функция) с легкой руки Шредингера оказалась настолько «взедливой», что даже те, кто искренне пытается понять квантовую теорию, но все же далеки от нее, не осознают все значение матрицы плотности. Например, Р. Пенроуз в своей замечательной книге «Новый ум короля» после рассуждений о коте Шредингера (что он также по старинке делает в терминах пси-функции) лишь вскользь упоминает\* о матрице плотности. Он посвящает ей один маленький абзац странного содержания, свидетельствующий о полном непонимании значения матрицы плотности и той исключительно важной роли, которую она играет в квантовой механике. Пенроуз пишет:

«Иногда высказывают мнение, что сложные системы должны в действительности описываться не „состояниями“, а их обобщением, получившим название матриц плотности (фон

Нейман [1955]). Последние включают в себя и классические вероятности, и квантовые амплитуды. В этом случае для описания реальности берется много квантовых состояний. Матрицы плотности полезны, но сами по себе они не решают глубоко проблематичные вопросы квантового измерения».

\* Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Едиториал УРСС, 2003. С. 239.

Оставлю этот абзац без комментариев. Замечу только, что даже дата введения в квантовую механику понятия «матрица плотности» названа неправильно — 1955 год вместо 1927-го.

Если бы в квантовой теории не было матриц плотности, то вообще невозможно было бы описывать открытые системы и говорить о частях составной системы, когда они взаимодействуют друг с другом. Именно в матрице плотности содержится информация о корреляциях с окружением — в векторе состояния (пси-функции) такой информации нет.

Итак, любая система, взаимодействующая со своим окружением, описывается матрицей плотности и не может быть описана вектором состояния. В свою очередь, любое чистое состояние, описываемое волновой функцией, также можно описать и матрицей плотности. Она получается из вектора состояния в виде проектора  $|\Psi\rangle\langle\Psi|$ , то есть вектор-столбец нужно умножить на вектор-строку (комплексно сопряженную), и мы получим матрицу плотности чистого состояния. Таким образом, в терминах матрицы плотности можно описывать как чистые, так и смешанные состояния, как замкнутые системы, так и системы, взаимодействующие со своим окружением. Поэтому матрица плотности является общим инструментом для квантового описания в терминах состояний. Она работает даже там, где нельзя применить вектор состояния (волновую функцию).

Когда мы говорим о матрице плотности, сразу возникает вопрос: о какой плотности идет речь? Здесь имеется в виду плотность распределения вероятности различных состояний рассматриваемой системы. Данный термин идет еще от классической механики и статистической физики, когда классическое состояние задается точкой в фазовом пространстве. При этом предполагается, что конкретное состояние неизвестно, а известна лишь вероятность того, что система находится в том или ином состоянии из некоторого множества допустимых. Система тогда рассматривается подобно жидкости в фазовом пространстве. В этом случае ее масса в произвольном объеме фазового пространства считается равной полной вероятности того, что система пребывает в каком-либо из состояний, соответствующих точкам данного объема. Затем вводится плотность этой жидкости в данной точке, равная вероятности (на единицу объема фазового пространства) того, что система будет близка к данному состоянию. Отсюда и пошло это название.

Матрица плотности содержит *вероятности* состояний. Если речь идет о физике, то из вектора состояния (матрицы плотности) можно получить все физические величины (динамические переменные), которые используются при классическом описании системы (энергию, координаты, импульсы, моменты импульсов и т. д.). Причем величины не только скалярные, но и векторные, а также функции от этих величин. В квантовой механике динамическим переменным системы (физическим величинам) ставятся в соответствие линейные самосопряженные операторы. Это один из основных постулатов квантовой теории — соответствие «оператор–физическая величина».

Вектор состояния и матрица плотности могут применяться для квантового описания (в терминах состояний) и в более общем случае, когда мы имеем дело не с физикой, а, скажем, с текстовыми сообщениями (и любой другой информацией). Этот подход широко применяется сейчас в квантовой теории информации.

Часто используется стандартный базис — из чисел в двоичной системе: 0...00, 0...01, 0...10, 0...11 и т. д. Так делается в компьютерах, где любая информация записывается в двоичном базисе.

Этот базис применяется и в физике: например, в случае спиновых степеней свободы каждая позиция соответствует двум возможным состояниям одного спина во внешнем магнитном поле (0-спин-вверх, 1-спин-вниз).

Сумма диагональных элементов, то есть *след* матрицы плотности равен единице. Так, в квантовой теории информации, когда пересылается какое-либо сообщение, возможны искажения, и получателю может прийти не то, что было послано: к примеру, вместо одной буквы — другая.

Набор основных состояний системы (диагональные элементы матрицы плотности) характеризует все возможные варианты таких искажений (их вероятности), а «приемник» прочитает только один из них. То есть будет реализован один из искаженных вариантов с соответствующей вероятностью, а сумма вероятностей (след матрицы плотности) должен быть равен единице.

Еще одно важное свойство матрицы плотности — это ее *эрмитовость*. Попросту говоря, любая матрица плотности должна быть симметричной (в вещественном случае), ее недиагональные элементы расположены парами симметрично относительно главной диагонали. В комплексном случае эти пары будут комплексно сопряженными — это и есть эрмитова матрица. Такая симметричная структура матрицы плотности является следствием того, что корреляции в системе всегда выступают парами: если одна подсистема взаимодействует с другой, то и вторая коррелирует с первой — это одно и то же взаимодействие. Только, когда речь идет о матрице плотности, более правильно говорить о наборе различных основных состояний системы (диагональные элементы) и о корреляциях между ними (недиагональные элементы). По диагонали матрицы плотности стоят вероятности «проявления» дискретных состояний при декогеренции (в случае исходного нелокального состояния). Например, у кубита два локальных состояния 0 и 1, их вероятности — это  $|a|^2$  и  $|b|^2$ , то есть существует бесконечное число различных вариантов весовых соотношений при наложении (суперпозиции) этих двух состояний. А недиагональные элементы характеризуют корреляции между данными основными состояниями, в случае кубита — это  $ab^*$  и  $ba^*$ , звездочка здесь — знак комплексного сопряжения. Пространство состояний для матрицы плотности — не только набор всех дискретных (базисных) состояний, это и все возможные корреляции между ними. Полный набор возможных локальных состояний — лишь диагональные элементы матрицы плотности. Из-за того, что учитываются все возможные связи между состояниями, число элементов в матрице плотности увеличивается экспоненциально с числом кубитов  $N$  и равно  $2^N \times 2^N$ .

Другое свойство любой матрицы плотности — ее *положительная полуопределенность*. Все собственные значения матрицы плотности вещественны (нет комплексных чисел) и неотрицательны (больше нуля или равны ему). Для матрицы плотности всегда существует унитарное преобразование, которое приводит ее к диагональной форме, и по диагонали будут стоять неотрицательные вещественные числа. В случае чистых состояний ситуация еще проще — матрица плотности такого состояния имеет только одно ненулевое собственное значение (равное единице), а все остальные равны нулю.

На простом примере я попытаюсь показать, как строится матрица плотности. Рассмотрим систему, состоящую из двух частей ( $A$  и  $B$ ), каждая из которых может находиться в двух состояниях 0 и 1. Вектор типа  $|01\rangle$  означает, что подсистема  $A$  находится в состоянии 0 (пусть она стоит на первой позиции), а подсистема  $B$  — в состоянии 1.

Если система замкнута (чистое состояние), то мы можем записать для нее вектор состояния, например, в стандартном базисе:

$$|\Psi\rangle = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle, \quad (3.1)$$

где  $a, b, c, d$  — в общем случае комплексные числа (амплитуды) и выполняется условие нормировки  $|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 = 1$ .

Вектор состояния (3.1) описывает все возможные состояния системы, и их бесконечное число, поскольку амплитуды заданы на множестве комплексных чисел. То есть  $a, b, c, d$  могут быть любыми числами (удовлетворяющими условию нормировки), как вещественными, так и комплексными, и таких чисел бесконечно много.

Матрица плотности для чистого состояния записывается как проектор  $|\Psi\rangle\langle\Psi|$  (вектор-столбец (3.1) нужно умножить на комплексно сопряженную строку). Это матрица  $4 \times 4$  и по диагонали в ней стоят  $|a|^2, |b|^2, |c|^2, |d|^2$  — это вероятности нахождения системы в каждом из четырех возможных собственных состояний  $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$  соответственно. Сумма вероятностей этих состояний (след матрицы плотности) равна 1 (условие нормировки). Недиагональные элементы характеризуют корреляции (взаимодействия) между четырьмя различными состояниями системы, в них содержится информация о градиентах энергии, возникающих в ней.

Состояние (3.1) может быть максимально запутанным, например, одно из них:

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (3.2)$$

Матрица плотности в этом случае равна:

$$r = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

То есть система с равной вероятностью  $1/2$  находится в состояниях  $|00\rangle$  и  $|11\rangle$  («кот ни жив, ни мертв») — это диагональные элементы. И корреляции между этими состояниями максимальны (недиагональные элементы). Мы видим, что недиагональные элементы равны друг другу и расположены симметрично, как и должно быть для любой матрицы плотности.

При измерении этого нелокального состояния (при декогеренции) мы получим одно из двух классических локальных (сепарабельных) состояний  $|00\rangle$  или  $|11\rangle$  с равной вероятностью.

Существует простой способ проверить, относится ли какая-либо матрица плотности к чистому состоянию или нет. Если умножить матрицу саму на себя, и она при этом не изменится (получится та же самая матрица), то есть если выполняется равенство  $\rho^2 = \rho$ , то можно сразу сказать, что данная матрица плотности описывает чистое состояние, и для него может быть записан вектор состояния. Такие матрицы, которые не меняются при умножении самой на себя, называются идемпотентными. Таким образом, любая матрица плотности чистого состояния — идемпотентная.

Если система незамкнутая (открытая), то это смешанное состояние, и тогда она не описывается вектором состояния, но ее по-прежнему можно описать матрицей плотности. Например, максимально смешанное состояние:

$$r = \begin{pmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{pmatrix}. \quad (3.4)$$

Его уже нельзя записать в виде вектора состояния (3.1). В этом случае нет корреляций между состояниями  $|00\rangle$   $|01\rangle$   $|10\rangle$   $|11\rangle$ , и при измерении можно получить любое из этих состояний с равной вероятностью  $1/4$ .

Замечу, что матрица плотности такого вида получается, если мы хотим описать состояние одной из подсистем, например  $A$ , в случае максимально запутанного состояния типа (3.2). Так, если мы возьмем частичный след по подсистеме  $B$  и получим частичную матрицу плотности размерностью  $2 \times 2$ , которая описывает подсистему  $A$ , то эта матрица плотности будет соответствовать максимально смешанному состоянию и иметь вид:

$$r_A = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Подсистема  $A$  с равной вероятностью  $1/2$  может находиться в состоянии  $|0\rangle$  или  $|1\rangle$ .

Нужно еще иметь в виду, что, когда мы говорим «состояние системы», то смысл этого выражения обычно зависит от контекста. Речь может идти о состоянии, полученном в результате измерения (декогеренции), то есть об одном из реализованных *собственных* состояний системы (об одном из диагональных состояний матрицы плотности). Или имеется в виду исходное состояние, то есть сам вектор состояния (вся матрица плотности), тогда по ее структуре можно судить о квантовой запутанности и о корреляциях (в частности, о градиентах энергии). В простых случаях, например, для матрицы плотности типа (3.3) (когда  $1/2$  стоят по четырем углам, а остальные нули), сразу можно сказать, что это максимально запутанное *cat*-состояние.

Понятие матрицы плотности исключительно важно в квантовой теории. Только в терминах матриц плотности можно рассматривать части взаимодействующей системы. Рассуждать об «ЭПР-парадоксе» в терминах пси-функции вообще не имеет смысла. Матрица плотности содержит информацию двоякого рода: во-первых — о корреляциях между частями самой системы; во-вторых — о корреляциях системы с окружением (которых может и не быть в случае чистого состояния). Речь идет, прежде всего, о нелокальных корреляциях, поскольку классические корреляции (сепарабельные состояния) и раньше с успехом описывались теми же пси-функциями. Но только на основе матриц плотности стало возможным описание квантовых корреляций (несепарабельных состояний). Только с их помощью квантовая теория стала по-настоящему квантовой, способной охватить ее основную специфику, отличающую ее от классической физики — несепарабельные (запутанные) состояния.

На основе матриц плотности стало возможным ввести количественные характеристики квантовой запутанности, и этот момент, как я считаю, стал поворотным для квантовой теории. По своей значимости данное событие стоит в ряду самых выдающихся достижений не только квантовой механики, но и всей науки в целом. Появилась возможность количественно описывать новую, неизведанную сферу реальности. Я бы сравнил этот момент с отрывом науки от грешной земли и ее выходом в безбрежный «космос», в «царство небесное» нелокальных состояний.

### 3.2. Количественное описание квантовых корреляций

Мера квантовой запутанности — это количественная характеристика несепарабельности, числовое значение величины квантовых корреляций и степени нелокальности объекта. По моему мнению, до того, как квантовая теория стала количественно описывать запутанные состояния, она и не была квантовой. Как и классическая физика, она ограничивалась описанием сепарабельных состояний. Можно сказать, что «микроскопом забивали гвозди»: тонкий теоретический инструмент, который позволял заглянуть в самые глубины мироздания, приблизить понимание нелокальных уровней реальности, использовался не по назначению. Я бы сказал, что в прошлом веке квантовая механика «тренировалась», отрабатывала и совершенствовала свои методы на плотной материи, «разминалась» перед прыжком в Тонкий мир. Причем уже в процессе этой своеобразной разминки ее результаты перекрыли все достижения классической физики вместе взятые.

Иногда можно услышать упрек, что квантовая механика все равно не в состоянии дать полное количественное описание какого-нибудь сложного атома или молекулы, поскольку это «неподъемная» задача даже для современных суперкомпьютеров\*. Здесь опять проскальзывает полуклассический взгляд на квантовую механику как на вспомогательный инструмент для некоторых более тонких расчетов при решении обычной классической многочастичной задачи. Собственно, это упрек, адресованный самой классической физике, которая не может решить эквивалентную (такой же размерности) классическую задачу о системе взаимодействующих тел. Однако авторитет классической физики от этого вовсе не уменьшается.

\* Что такое численное решение сложной многочастичной задачи, я знаю не понаслышке. Коллективу нашей научной лаборатории принадлежит своеобразный рекорд в суперкомпьютерном анализе многоквантовой спиновой динамики системы из 15 взаимодействующих ядерных спинов: *Doronin S. I., Fel'dman E. B., Guinzbourg I. Ya. and Maximov I. I. Chem. Phys. Lett.* 341, 144 (2001); *Doronin S. I., Fel'dman E. B., Maximov I. I. J. Magn. Reson.* 171, 37 (2004). Чтобы в общих чертах представить и оценить сложность этой задачи, напомним, что состояние системы из  $N$  спинов описывается матрицей плотности размерностью  $2^N \times 2^N$ . В данном случае системы из 15 спинов матрицы, которыми приходится оперировать, имеют  $2^{30} \approx 1,07 \cdot 10^9$  элементов (более одного миллиарда) и занимают на компьютере около 16 Гб памяти для комплексных чисел с двойной точностью. Расчеты выполнялись в Межведомственном Суперкомпьютерном Центре на самом мощном у нас в России суперкомпьютере: <http://www.jscc.ru>.

Дело совсем не в том, может ли квантовая физика что-то посчитать, а в том, что в рамках этой теории удалось понять, изучить и описать огромное количество физических процессов и явлений, которые не могли быть объяснены с точки зрения классической физики, и это количественное описание позволило использовать их на практике. Я не сильно преувеличу, если скажу, что прогресс и все основные достижения прошлого века стали плодом квантовой теории. И теперь она начинает осваивать обширное и совершенно «непаханое» поле деятельности в описании принципиально новых физических процессов, которые вообще не имеют аналога в

классической физике. По сути дела, речь идет о количественном описании тонких уровней реальности, выходящих за пределы материального мира, не существующих с классической точки зрения. И простые количественные модели, описывающие системы из нескольких кубитов и имеющие точные решения, способны дать понимание общих фундаментальных физических законов этих тонких (квантовых) уровней реальности — законов, которые справедливы уже для любых систем, больших и малых, в том числе и для всего Универсума.

Я не случайно подчеркиваю, что речь идет именно о *количественном* описании. Описание основных качественных особенностей этих тонких планов хорошо известно в религиозных и мистических учениях. Многие люди имеют и практический опыт в этой сфере. Но это всего лишь эмпирический, нижний уровень познания реальности, который основан на чувственном и духовном опыте. Я же пытаюсь сказать о возможностях более высокого теоретического уровня познания.

Думаю, многие представляют, в чем заключаются преимущества и достоинства количественного описания изучаемого явления или процесса по сравнению с качественным. По сути, только с появлением количественного описания любая сфера деятельности и начинает по-настоящему развиваться, а не топчется на месте, как это происходит с мистическими практиками, которые в течение столетий и тысячелетий используют один и тот же ограниченный набор методов и практик с незначительными вариациями. Да, пока квантовая теория делает лишь первые шаги в количественном описании тонких слоев реальности, но это дело времени...

Тот, кто занимается эзотерической практикой, часто смотрит на теорию свысока, хотя до настоящего времени не появилось еще ни одной количественной теории, объясняющей эти процессы. Были лишь теологические, философские и мистические рассуждения, которые теперь «переводятся» на современный сленг, и такие «переводы» иногда многозначительно именуется наукой. Практически все эзотерические «новоделы» сейчас пытаются прикрыться наукой (пусть даже такой, как психология), эксплуатируя высокий авторитет научного знания. Они позиционируют себя как некие «науки третьего тысячелетия», хотя ни в одной из них не идет речь о количественном описании квантово-информационных процессов.

К термину «наука» у меня все же несколько иное отношение. Те тексты и материалы, которые выдаются за науку, объясняющую непознанное, я бы в лучшем случае назвал некими философскими размышлениями о мироздании, которых много было с самых древних времен и много еще будет. Но наукой это назвать нельзя. Под наукой (я говорю о естествознании) понимают, прежде всего, количественное описание физических процессов и явлений в окружающем мире. Причем не просто формальные математические выражения, а проверку адекватности такого описания, соответствие его реальным процессам, что позволяет предсказывать результаты и создавать технические устройства.

Если говорить о научном объяснении мироустройства, то в настоящее время к нему есть два основных подхода — классическая физика и квантовая теория, хотя сейчас первая все чаще рассматривается как частный случай второй. Я пытаюсь показать, что квантовая теория в состоянии описать и объяснить многое из того, что называют «сверхъестественным», а также то, что говорилось в отношении мироздания в мифологии, в различных религиозных и мистических учениях. Теософских и философских размышлений на этот счет много, даже слишком много — все их даже невозможно охватить. Конечно, можно и дальше «плодить» такого рода измышления, но что толку-то — одним больше, одним меньше... Это имело смысл делать раньше, когда не было возможности говорить об этом на настоящем научном языке.

Немного поясню, что я имею в виду. Как бы вы, уважаемый читатель, отнеслись к сочинению, в котором описывается процесс падения тела на землю, и при этом объяснение дается в каких-либо экзотических терминах? Например, вводится понятие неких «флюидов», которые невидимы и действуют между телом и Землей, связывая их между собой и притягивая друг к другу. Нужны ли сегодня такие сочинения, когда хорошо известны количественные законы притяжения?

Примерно та же ситуация с тонкими энергоинформационными процессами и фундаментальными законами, известными в квантовой теории, которые описывают эти «нематериальные» процессы. Зачем сегодня говорить о соотношениях материального и духовного в терминах «флюидов», когда можно использовать нормальные научные представления и понятия: когерентная суперпозиция, нелокальные состояния, квантовая запутанность,

декогеренция и т. д.? Да и понимание любых процессов становится более глубоким и близким к реальности, если использовать хотя бы самый простой принцип квантовой теории о суперпозиции состояний.

От тех, кто имеет опыт сверхчувственного восприятия квантовых уровней реальности, также иногда можно услышать, что теория здесь особо и не нужна, что лишь практика в состоянии дать глубокое понимание этих процессов. Я считаю, что это не так, и попытаюсь высказать свое мнение на этот счет.

Практика никогда не давала и никогда не сможет дать *глубинного* понимания любых процессов, какие бы они ни были. В нашем случае это особенно очевидно, поскольку мы сталкиваемся с утверждением, что все «завязано» на индивидуальных ощущениях, а не на реальных физических процессах. Даже в плотном мире практика (практическая работа, например, с веществом) никогда не давала глубокого понимания процессов. Это нижний эмпирический уровень познания реальности. Что уж тут говорить о понимании процессов на тонких уровнях реальности, где выше мера квантовой запутанности, и нет такой локализации объектов, как в плотном мире, поэтому и поиск закономерностей становится еще более сложным делом.

О первых проблесках понимания можно говорить лишь тогда, когда появляются первые теоретические модели — количественное описание основных закономерностей изучаемых процессов и явлений. Что касается тонких уровней реальности, то здесь уместно вести речь об описании их в рамках физики квантовой информации. Практика может дать только исходные данные для построения количественных теоретических моделей и служит критерием для их проверки.

Количественные закономерности не зависят от чьих-либо ощущений, от того, что думает человек о своем практическом опыте (или опыте многих людей), и как он себе его объясняет. Количественные теоретические модели описывают объективные процессы в окружающей реальности такими, «какие они есть на самом деле» (в границах их применимости).

Утверждение, что практика ведет к пониманию процессов, неверно в принципе. Без количественных теорий все разговоры о «понимании», и тем более «глубоком понимании», просто бессмысленны. В самом лучшем случае практический опыт, наши ощущения могут дать лишь очень отдаленные намеки на закономерности происходящих процессов. При этом понимание процессов будет чрезвычайно далеко от реальности. Например, было бы глупо утверждать, что наш палец, указывающий на Луну, дает понимание того, что такое Луна.

Я иногда удивляюсь тем приверженцам К. Кастанеды, которые исходят из того, что видящие непосредственно «видели» тонкие энергии. Отсюда они делают вывод, что такие люди лучше других понимали суть происходящих процессов на тонких уровнях реальности, и поэтому безоговорочно принимают то, что написано в книгах Кастанеды. Это глубокое заблуждение. Даже если это так, и они *видели* энергетические структуры так же хорошо, как мы — объекты плотного мира, то до понимания сути происходящих процессов им еще очень далеко... Какой толк в том, что наши предки в течение тысячелетий прекрасно видели, например, как горит огонь, дует ветер или сверкают молнии? Они сочинили много красивых мифов и сказок, пытаюсь понять и объяснить эти явления, и даже научились использовать их в своих целях: «приручили» ветер (ветряные мельницы, паруса), огонь и т. д. Но это ничуть не приблизило их даже к самому поверхностному, не говоря уже о глубоком, пониманию сути этих процессов и явлений. И только в последние столетия, с появлением первых количественных моделей, стало приходить реальное понимание этих процессов.

Еще раз подчеркну: без количественных теорий никакое понимание сути происходящих процессов в окружающей реальности невозможно в принципе, это необходимое условие для постижения объективных закономерностей. Без количественной теории любая практика может родить лишь очередной миф, далекий от реальности. Будет построена очередная «ветряная мельница», использующая силу ветра, но не приближающая к пониманию объективных законов, которым он подчиняется.

Поэтому мое личное мнение таково: тот, кто действительно хочет понять суть происходящих процессов на тонких уровнях реальности, должен начинать с поиска количественных моделей, способных описать эти явления. Надеяться на то, что тут помогут практика и личный опыт, — дело пустое и безнадежное. Здесь напрашивается следующая аналогия: глупо совать руку в огонь, гоняться за ветром или молнией и подставлять себя под удар

стихии в надежде на то, что поймешь, в чем суть явления. Можно при этом получить какие-то ощущения, но говорить о том, что познал суть огня, потому что он греет и обжигает и его можно использовать для обогрева жилища и приготовления пищи, — все же довольно наивно. Настоящее понимание — на уровне основных количественных закономерностей — позволяет человеку использовать тот же огонь в своих целях бесконечным количеством самых различных способов.

Тот, кто практикует эзотерические техники и методики, обычно говорит: «Я практик и описываю то, чем занимаюсь практически, — не домыслы, не плоды долгих рассуждений, а именно реальную практику». При этом многие наивно полагают, что их ощущения помогают им познавать реальность и дают понимание происходящих процессов. Приведу еще такой пример: человек может долго и настойчиво совать пальцы в розетку и описывать свои ощущения — свою так называемую «практику». Но без домыслов-предположений, без долгих рассуждений, без теоретических моделей он несколько не приблизится к пониманию того, что такое электрический ток. Ведь эзотерическая практика существует уже многие тысячелетия, но это ничуть не приблизило нас к пониманию процессов, которые при этом происходят. Все результаты данной практики сводятся к описаниям (если вернуться к примеру с электричеством) типа того, что происходит при ударе электрическим током: одни говорят, что тело при этом дергается, другие — что возможен ожог, третьи — что может вообще убить... И еще много мелких подробностей и ощущений, но на этом все и заканчивается.

Без серьезной теории, причем теории количественной, мы так и не сдвинемся с места в понимании процессов, происходящих на тонких уровнях реальности. И уж никакая личная практика и ощущения не смогут нам сказать, что происходит, когда, например, один эгрегор взаимодействует с другим, или когда взаимодействуют другие тонкие сущности. А теория может это сделать, поскольку общие теоретические законы справедливы для любых объектов, и они не зависят от чьих-либо ощущений.

У К. Кастанеды есть хорошая фраза, которую произносит дон Хуан: «Понимание — это методика». Я полагаю, что без понимания невозможен не только прогресс в магии, но даже и сама магия. В лучшем случае можно стать лишь магическим инструментом в чужих руках или игрушкой эгрегоров. Но без количественной теории настоящего понимания нет и не будет. Магическая картина мира, которая привлекает многих последователей Кастанеды, и другие аналогичные «теории» таковыми вовсе не являются по простой причине — ни одна из них не является *количественной* теорией. Это все что угодно — мифы, сказки (о Силе), откровения и т. д., но только не теории в прямом смысле этого слова, которые изучают количественные закономерности.

Причем многие это понимают, справедливо считая, что на тонких уровнях должны действовать объективные законы, подобные тем, по которым тело падает вниз, шарик с гелием взлетает вверх, а вода при охлаждении замерзает. Законы, которые объединяет главная черта — неизменность их выполнения. Часто именно исследовательский интерес к квантовой стороне реальности, здоровое любопытство и стремление на собственном опыте убедиться в наличии тех удивительных возможностей, о которых говорится в эзотерической литературе, приводят человека в эзотерику. Не все пытаются с помощью магии «прогнуть» мир под себя и хотят «как по волшебству» решать свои мирские проблемы. Есть и такие, кто искренне стремится использовать эзотерические техники в исследовательских целях, те, кто направляет свои усилия на изучение реальности и стремится познать ее законы. Возникают Интернет-группы таких энтузиастов, осуществляются совместные проекты, например, в области осознанных сновидений и т. д. Эти люди уверены, что делают нужное, важное и полезное дело, восполняют пробел официальной науки, обходящей стороной эти грани реальности, что они прикасаются к сокровенным тайнам мироздания и познают его самые глубинные законы, что они отважные исследователи непознанного. Но это заблуждение, это всего лишь прикосновение к квантовой стороне реальности, а не познание ее законов. Почему-то обычно забывается самый важный момент, что законы — это именно количественные соотношения, и, собственно, поэтому они и называются законами, а не чьими-то отвлеченными рассуждениями об «архитектуре мироздания».

Можно выслушивать самые разнообразные измышления, иногда даже очень умные и красивые, о том, почему тело падает вниз, а шарик летит вверх, но весь этот ворох слов и представлений не заменит одной строчки количественных соотношений, связывающих

физические величины, с указанием границ их применимости. Справедливость адекватных теоретических моделей, то есть законов в прямом смысле слова, не зависит от того, кто какие «сказки» рассказывает об этих процессах. Обычно же имеет место подмена понятий, и речь идет не о законах, а о «сказках о Силе». Хотя, как говорится, «сказка — ложь, да в ней намек...» В лучшем случае здесь можно говорить о некоторых «намёках» на законы мироздания, а не о самих законах.

Квантовая теория — пока единственная теория, которая, исходя из физических экспериментов, дает количественное описание (законы) самых фундаментальных физических процессов мироздания, известных к настоящему времени, таких как декогеренция/рекогеренция. Фундаментальность их определяется тем, что они справедливы (неизменны в выполнении) для любых объектов как Тонкого, так и плотного мира. Данные процессы «работают», например, в сновидениях, при любом взаимодействии и плотных, и тонких энергетических структур и т. д. Именно эти физические процессы помогают понять основные законы мироустройства, в том числе и законы сновиденного мира. Это то, к чему обычно так стремятся «маги», справедливо полагая, что если они будут знать, как устроен мир и какие законы им управляют, то смогут манипулировать окружающей нас реальностью.

Но до сих пор существовали лишь полуэмпирические представления о тонких планах реальности, только намекающие на настоящие законы. Нетрудно вообразить, к какому прогрессу может привести понимание самих законов квантовых уровней мироздания, а не отдаленные представления о них. Это будет уже не просто «прогресс в магии», а качественно новый ее уровень.

За многотысячелетнюю историю эзотерических практик в них не было никакого прогресса — современные маги используют примерно те же методы, что и маги глубокой древности. Иными словами — и те, и другие лишь на разные лады рассказывали и рассказывают одни и те же «сказки» о мироздании, и до сих пор дело никогда не доходило до понимания настоящих законов — количественных (неизменных) фундаментальных законов Бытия.

Но если такое знание придет, то оно будет открывать глаза и на всю пагубность использования магии в личных корыстных целях, когда она направлена на удовлетворение мирских потребностей и плотских желаний. Будет ясно виден неумолимый в своих действиях Жезл Закона, перед которым придется держать ответ за все мысли, слова и поступки.

Старые мистические представления о тонких энергоинформационных потоках, связывающих людей в единое целое, то есть о нелокальных квантовых корреляциях между нами, сейчас стало модно подавать в форме Сетевого разума Земли. В соответствии с такой «подачей» все, что нас окружает, и мы сами являемся частью Сети. То есть маги, говоря современным языком, изучают свойства Сети, законы, по которым она функционирует, при этом все ее проявления, или происходящие вокруг нас события, воспринимаются не как случайные капризы судьбы, а как следствие вовлечения в тот или иной поток — квантовый канал связи. Но опять-таки, когда говорится о том, что нужно изучать свойства Сети и ее законы, под законами понимается что-то другое, не имеющее отношения к количественным теориям. Хотя сегодня есть возможность познать настоящие законы — количественные соотношения, характеризующие квантовые корреляции, лежащие в основе Сети. В этом отношении простейшая теоретическая модель квантового коммутатора, о которой говорилось в первой главе, может дать гораздо больше для понимания законов функционирования Сети, чем все досужие рассуждения и практический опыт вместе взятые.

Понять огромную роль и всю значимость количественных теорий довольно просто — нужно лишь оглянуться вокруг себя. Все творения рук человеческих, которые нас окружают, обязаны своим существованием именно этим теориям, и без понимания количественных закономерностей мы бы по-прежнему сидели у костра и довольствовались тем, что нам удалось «приручить» огонь для обогрева жилища и приготовления пищи.

Можно заметить, что только с появлением количественных теорий человек начинает широко применять те или иные процессы на практике. И прогресс в любой области просто невозможен без количественного описания. Переход от качественного описания явлений к количественному означает гигантский прорыв, настоящий скачок в практическом применении процессов. Это относится и к тонким уровням реальности. Только с появлением первых количественных теорий в данной области можно начинать говорить о какой-то серьезной

практической деятельности по освоению тонких уровней реальности. Как в примере с огнем — не качественное описание на уровне греет/жжет, а лишь количественное описание физико-химических процессов, сопровождающих процесс горения, открывает путь к широкому применению человеком огня в самых различных сферах деятельности.

Сложность в описании тонких уровней реальности и тот долгий путь, который проделала наука, подходя к нему, объясняются тем, что на этих квантовых уровнях относительно высокая мера квантовой запутанности. Попросту говоря, там нет реальности, единой для всех. Сюжет, декорации и «картинки» восприятия могут быть разные — они зависят от сложившейся у человека системы интерпретаций и привычных установок. Но в основе любого сюжета всегда будут лежать объективные энергоинформационные процессы на тонких уровнях реальности. Например, все эти восприятия Тонкого мира могут быть «окрашены» религиозными мотивами, или это будут современные фантастические сюжеты с «инопланетянами» или «неорганами» в главной роли и т. п. При такой ситуации создавалось впечатление, что за этими «картинками» нет объективных элементов реальности, нет физической основы. С одной стороны, это ставило под сомнение мистический опыт, а с другой — сильно затрудняло поиск общих закономерностей. Но все же наука приблизилась к пониманию этих вопросов при изучении фундаментальных процессов в квантовом домене реальности — процессов, связанных с физикой квантовой информации. И основная роль здесь принадлежит количественному описанию несепарабельных состояний. Этот шаг квантовой теории я считаю очень существенным — таким, который имеет все основания стать самым важным и значимым достижением науки за всю ее историю.

### 3.3. Мера квантовой запутанности

Когда речь заходит о количественном описании квантовой запутанности, на первый план выходит понятие матрицы плотности. Первой была введена мера квантовой запутанности для самого простого случая — двухчастичной системы в чистом состоянии [типа (3.1)], то есть мера запутанности между двухуровневыми подсистемами  $A$  и  $B$ , когда вся система замкнута (находится в чистом состоянии). Основывается эта мера на понятии частичной матрицы плотности и выражается в терминах энтропии фон Неймана:

$$E(\rho_A) = -\text{Tr}[\rho_A \log_2(\rho_A)]. \quad (3.6)$$

Здесь  $\rho_A$  — частичная (редуцированная) матрица плотности подсистемы  $A$ . Получается она взятием частичного следа\* по  $B$ . С физической точки зрения, взятие частичного следа и получение редуцированной матрицы плотности — это усреднение по всем внешним степеням свободы выделенной подсистемы (по ее внешнему окружению). В некотором отношении это проведение границы между подсистемой и ее окружением, когда подсистема может рассматриваться независимо от него. Мы как бы «вырезаем» нашу подсистему из более сложной структуры и рассматриваем ее в качестве самостоятельного объекта. В результате этой операции пространство допустимых состояний подсистемы уменьшается, частичная матрица плотности имеет меньшую размерность, чем исходная система, например, из матрицы  $4 \times 4$  получается матрица  $2 \times 2$ , как было показано выше, когда из матрицы (3.3) получалась (3.5).

\* Более подробно, с примерами, см. мою статью: *Доронин С.И.* Мера квантовой запутанности чистых состояний // Квант. Маг. 1, 1123 (2004), <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL112004/abs1123.html>.

Эта мера запутанности была предложена Чарльзом Беннеттом (Charles H. Bennett) с соавторами\* в 1996 году.

\* *Bennett C. H., Bernstein H. J., Popescu S. and Schumacher B.* Phys. Rev. A **53**, 2046 (1996).

Затем Вуттерс\* ввел более общую количественную характеристику запутанности двусоставной системы — не только для чистого, но и для смешанного состояния. Называется она *concurrence* (согласованность, гармония)\*\*. Она была введена достаточно сложно, с использованием «спин-флип» преобразования.

\* Hill S. and Wootters W. K. Phys. Rev. Lett. **78**, 5022 (1997).

\*\* Эту меру запутанности я, например, использовал в работе: Doronin S. I. Phys. Rev. A **68**, 052306 (2003), где анализировалась динамика квантовой запутанности в системе взаимодействующих ядерных спинов.

Впоследствии было найдено\* более удобное и общее выражение для вычисления согласованности уже в многосоставных системах:

$$C = \{2[1 - \text{Tr}(\rho_A^2)]\}^{1/2}.$$

\* Rungta P, Buzek V, Caves C. M, Hillery M. and Milburn G. J. Phys. Rev. A **64**, 042315 (2001).

Оно справедливо для произвольных замкнутых систем и характеризует меру квантовой запутанности подсистемы  $A$  (любой размерности) со всем ее окружением (также любой размерности).

Согласованность в качестве меры квантовой запутанности использовалась в широко известном эксперименте по макроскопической запутанности\*.

\* Ghosh S. et al. Nature, **425**, 48 (2003). См. обзор этой экспериментальной статьи (на русском языке): [http://perst.isssp.ras.ru/Control/Inform/perst/2003/3\\_19/perst.htm#D19](http://perst.isssp.ras.ru/Control/Inform/perst/2003/3_19/perst.htm#D19).

В целом, наличие квантовой запутанности в макроскопических системах трудно подвергнуть сомнению, поскольку есть «железное» утверждение (принцип несепарабельности) — если системы взаимодействуют друг с другом, то они квантово запутаны между собой (связаны нелокальными квантовыми корреляциями). Наличие любого взаимодействия — достаточное условие для квантовой запутанности (несепарабельности) взаимодействующих объектов. Но одно дело — это понимать и декларировать, а другое — уметь количественно описывать эту запутанность и сопоставлять адекватность теоретического описания с результатами физических экспериментов.

Были предложены и другие меры квантовой запутанности, постоянно ведется поиск наиболее удобных в практическом применении. Из них наиболее известны следующие.

1. Перес-Городецки, или PPT (positive partial transpose) критерий сепарабельности:

Peres. Phys. Rev. Lett. **77**, 1413 (1996); Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. Phys. Lett A **223**, 1 (1996).

2. Основанная на PPT-критерии мера запутанности — отрицательность (negativity):

Życzkowski K., Horodecki P., Sanpera A. and Lewenstein M. Phys. Rev. A **58**, 883 (1998); Vidal G. and Werner R. F. Phys. Rev. A **65**, 032314 (2002).

3. Относительная энтропия запутанности (relative entropy of entanglement):

Vedral V., Plenio M. B., Jacobs K. and Knight P. L. Phys. Rev. A **56**, 4452 (1997).

4. CCN (computable cross-norm) критерий:

Rudolph O. Phys. Rev. A, **67**, 032312 (2003).

5. Мера, основанная на ранге Шмидта:

Eisert J. and Briegel H. J. Phys. Rev. A **64**, 022306 (2001).

6. Мера запутанности, основанная на метрике гильбертова пространства (расстоянии Гильберта-Шмидта), эту меру можно рассматривать как информационное расстояние между двумя состояниями:

Lee J., Kim M. S., Bruker Ćaslav. Phys. Rev. Lett. **91**, 087902 (2003) и некоторые другие.

В наиболее явном виде связь между квантовой запутанностью и квантовой информацией устанавливает мера запутанности, основанная на метрике гильбертова пространства (расстоянии Гильберта-Шмидта). Приведу небольшую цитату из указанной выше работы: «Математические формулировки всех фундаментальных физических теорий основаны на концепции абстрактного пространства. Структура пространства и теорий определена его метрикой. Например, метрика Минковского определяет математическую структуру специальной теории относительности, и метрика Римана определяет структуру общей теории относительности. В квантовой механике расстояние Гильберта-Шмидта (Hilbert-Schmidt distance) является естественной метрикой гильбертова пространства».

В настоящее время расстояние Гильберта-Шмидта довольно часто рассматривается в качестве меры, показывающей, насколько близки друг к другу два данных состояния. Эта близость, прежде всего, информационная, например, в указанной выше работе авторы вводят операторную меру, которая «...эквивалентна расстоянию Гильберта-Шмидта  $\langle \dots \rangle$  и может интерпретироваться как информационное расстояние между двумя квантовыми состояниями. Кроме того, тот факт, что операторная мера является эквивалентной расстоянию Гильберта-Шмидта, говорит о том, что внутренняя структура Гильбертова пространства отражает теоретико-информационные основы квантовой теории».

Таким образом, расстояние Гильберта-Шмидта определяет структуру пространства состояний (гильбертова пространства) в квантовой теории, и эта структура имеет *чисто информационную* природу.

Здесь мы подошли к очередному важному вопросу — что же такое информация в квантовой теории? О ней мы часто упоминали, но до сих пор это были лишь общие слова. Теперь поговорим об этом более подробно.

### 3.4. Физика информации

«Информация физична» — эти слова сейчас часто можно услышать из уст физиков, и они стали своеобразным девизом исследователей, работающих в физике квантовой информации. И это не тривиальное утверждение — «носителем информации являются физические системы». Эти слова нужно понимать в прямом смысле — информация сама по себе является объективной физической величиной в ряду других — таких как масса, энергия, импульс и т. д. Подчеркну: именно объективной величиной, которая не зависит от того, что мы думаем об этой информации, измеряем ее или нет, и как измеряем, — система все равно будет содержать определенное количество информации, так же как, например, объект материального мира обладает некоторой массой.

В квантовой теории информация — это количественная величина, характеризующая систему. Это не те сведения, которые мы можем получить о системе, измеряя какие-то другие характеристики объекта, скажем, его массу, скорость и т. д. В квантовой теории речь идет не о любой характеристике, а о конкретной, имеющей строгое и однозначное определение. В этом случае об информации говорят как об обычной физической величине, которая может принимать различные значения при изменении состояния системы. Подобно тому, как масса тела увеличивается (уменьшается) при наличии массообмена со средой, так и количество информации изменяется, если система взаимодействует с окружением — и все это объективные процессы, которые не зависят от нашего субъективного мнения. Именно в этом отношении «информация физична». Информационные процессы — это часть физики, точно так же, как и другие процессы, приводящие к изменению той или иной физической величины. Причем, как мы увидим ниже, информационным процессам отводится особая роль в силу специфических особенностей понятия «информация» в квантовой физике. Мера информации (ее количественная характеристика) вводится на основе фундаментальных принципов квантовой теории в терминах матрицы плотности. Суть квантовой информации и одновременно ее исключительная особенность — в том, что эта физическая величина как нельзя лучше подходит на роль «первичной субстанции всего сущего». О самом определении мы поговорим чуть позже, а сейчас — еще несколько слов о векторе развития науки, точнее, об общих тенденциях и трансформации взглядов ученых на окружающую реальность, а также на ту роль, которую играют в ней те или иные физические процессы. Вот как пишет об этом Б. Киви в статье «Инфо-космо-логия»\*:

«Все больше теоретиков считают, что ключевой идеей, ведущей к „великому объединению“ гравитации и квантовой теории, может стать переформулирование взглядов на природу не в терминах материи и энергии, а в терминах информации».

Одним из первых об этом заговорил патриарх американской физики, великий Джон Арчибалд Уилер (подаривший миру, среди прочего, любопытный термин «черная дыра»). Вот как он пишет в своей автобиографии о роли информации [*John Archibald Wheeler, Geons, Black Holes & Quantum Foam: A Life in Physics. New York, W. W. Norton & Company, 1998. P. 63–64*], опубликованной несколько лет назад:

«Моя жизнь в физике представляется мне разделенной на три периода. В первый из них, растянувшийся с начала моей карьеры и до начала 1950-х годов, я был захвачен идеей, что „всё — это частицы“. Я искал способы выстроить все базовые элементы материи (нейтроны, протоны, мезоны и т. д.) из самых легких, наиболее фундаментальных частиц — электронов и фотонов.

Второй период я называю „всё — это поля“. С тех пор, как я влюбился в общую теорию относительности и гравитацию в 1952 году, и вплоть до недавнего времени, я придерживался взгляда на мир, как на состоящий из полей. Мир, в котором то, что представляется нам частицами — это в действительности проявления электрических и магнитных полей, гравитационных полей и самого пространства-времени.

Теперь же я захвачен новой идеей: „Всё — это информация“. Чем больше я размышляю о квантовых тайнах и о нашей странной способности постигать тот мир, в котором мы живем, тем больше вижу, вероятно, фундаментальное значение логики и информации как основы физической теории».

\* Источник «Компьютера» <http://offline.computerra.ru/2004/544/33769/index.html>.

Неплохо сказал об этом П. Дэвис в своей статье\*: «Обычно мы думаем о мире, как о составленном из простых, подобных сгусткам, материальных частицах, и под информацией понимаем производную характеристику объекта восприятия, относящуюся к особому рода организованным состояниям вещества. Но возможно, что все наоборот: похоже, что Вселенная на самом деле — шалость первичной информации, а материальные объекты являются ее сложным вторичным проявлением».

\* *Davies P.* Bit before it? (1999), *New Scientist*, 161 (2171), p. 3.

Материальный мир как «шалость первичной информации» — хорошо сказано! Действительно, в квантовой теории весь классический домен составляет лишь незначительную часть совокупной Квантовой Реальности, далеко не самую главную и значимую. Материальный мир вовсе не является основой реальности, и его вполне можно считать результатом «шалости» информационных процессов, происходящих на фундаментальном уровне в нелокальном источнике реальности.

Свою статью П. Дэвис заканчивает словами: «Если информация действительно должна заменить материю как самая первейшая субстанция Космоса, то нас может ожидать еще большая награда. <...> С современной точки зрения, мозги (материя) рождают мысли (ментальную информацию). <...> Но если материя является формой организованной информации, то тогда и сознание уже не так таинственно, как нам казалось»\*.

\* Цит. по книге: *Лем С.* Мегабитовая бомба // Компьютера. 2001. № 18 (395).  
<http://old.computerra.ru/online/firstpage/bl/9423/>.

Замечу, что в настоящее время уже есть понимание физических процессов (декогеренции), в результате которых появляется материя как «форма организованной информации».

Я хочу подчеркнуть, что в этой книге под информацией понимается именно «первичная информация». А точнее, квантовая информация как физическая величина, характеризующая систему на ее фундаментальном уровне. Неважно, о какой системе идет речь — о микрочастице или об Универсуме, — квантовая информация и в том, и в другом случае вводится одинаково, согласно общему определению для произвольной системы.

Когда речь идет о квантовой теории, о количественном описании в терминах состояний, то информация — это одна из количественных характеристик системы. Можно попытаться провести аналогию со знакомыми нам мерами классической информации, которыми мы пользуемся, когда работаем на обычном компьютере. Тогда мы говорим о битах, байтах, а сейчас все больше о мегабайтах и гигабайтах информации, содержащейся в том или ином файле или на диске. Работа компьютера основана, прежде всего, на количественной теории информации, на битах, на определенном количестве ячеек памяти. Нашему компьютеру все равно, какая информация содержится в том или ином файле, когда он создается, копируется или удаляется. Для компьютера важно лишь общее количество битов, которыми мы манипулируем, и состояние каждого бита,

когда файл сохраняется на диске. Способы обработки файлов и ячеек памяти, своеобразные «фундаментальные законы», согласно которым наш компьютер манипулирует информацией, не зависят от того, какие именно данные там содержатся. Например, любой файл копируется по одному и тому же «закону», независимо от того, какая в нем есть информация.

Так же и в квантовой теории — только здесь на первый план выходят не биты, а кубиты (квантовые биты). Причем не только тогда, когда мы говорим о квантовом компьютере, но и в более широком смысле, когда речь идет о любой системе, описываемой в терминах состояний. Такое обобщение возможно потому, что кубит — это вектор состояния произвольной двухуровневой системы, и любую более сложную систему можно рассматривать как совокупность кубитов. Обычно в квантовой теории, описывая какую-либо систему в терминах состояний, мы рассматриваем ее, как состоящую из элементарных «кирпичиков», кубитов — элементарных двухуровневых состояний.

Таким образом, любые системы в окружающей реальности можно рассматривать в терминах кубитов, как совокупность ячеек памяти квантового компьютера. Тогда и весь Универсум представляется в виде глобального и единого для всей реальности Квантового Компьютера с большой буквы, своеобразной всеобъемлющей Матрицей (он описывается матрицей плотности). Поэтому Р. Фейнман и говорил об исключительно важной роли квантовых компьютеров в постижении законов природы (о чем упоминалось в самом начале книги). Понимание фундаментальных принципов работы квантового компьютера, в отличие от обычного, уже не ограничивается одним только «железом», конкретными техническими устройствами. Это и будет означать более глубокое понимание фундаментальных законов окружающей реальности, согласно которым «функционирует» весь наш Универсум. Процессы декогеренции/рекогеренции, то есть перехода нелокального (чисто информационного) состояния в локальное и обратно, манипулирование квантовой запутанностью кубитов и т. д. — все это физические процессы, которые происходят в окружающей нас реальности, причем на самом фундаментальном ее уровне.

Если продолжить сравнение с обычным компьютером, то наше представление о привычном материальном мире — все равно что знакомство с одной программой, запущенной на Компьютере, и некоторая способность ориентироваться в ее пределах. При этом мы могли видеть лишь один результат его работы — в виде классической реальности, и изучали законы, которые справедливы в рамках лишь одной этой программы. Но теперь мы начинаем понимать Законы, по которым работают любые программы, принцип действия самого Компьютера и его операционной системы. Это законы, по которым Матрица транслирует нам то или иное восприятие. Мы выходим за рамки привычной локальной программы и замечаем множество других программ (уровней реальности), которые загружены в оперативную память вместе с нашей. Мы начинаем понимать взаимосвязь всех этих различных программ-уровней и можем более надежно прогнозировать результат перехода с одного на другой — например, то, в какую реальность попадем после смерти физического тела.

Имея дело с классической информацией, мы разделяем саму информацию и физический носитель. В результате чего можем лишь приспособить какой-либо материальный объект для хранения (передачи) определенного количества «классической» информации. Получается, что без материального носителя информация не может существовать. Поэтому и возникают иногда вопросы, где содержится квантовая информация, и что является ее носителем? В квантовой теории с этим как раз все просто и ясно: поскольку информация здесь — это физическая величина, характеризующая систему, то сама система и является носителем квантовой информации. Это все равно что спросить: а где содержится масса физического тела? Да в нем самом эта масса и содержится, поскольку является одной из количественных характеристик данного тела.

Не стоит забывать, что квантовое описание на сегодняшний день — это самое полное теоретическое описание из всех известных. И в случае чистого состояния, когда мы описываем замкнутую систему, то на вопрос, где содержится информация об этой системе, следует очевидный ответ: информация содержится в самой системе, это одна из ее количественных характеристик.

Информации в квантовой теории отводится особая роль. Как мы знаем, системы при квантовом подходе могут находиться в нелокальном состоянии, когда сам объект является

попросту нематериальным, в нем нет вещества, нет никаких физических полей, его невозможно описать с помощью количественных величин, используемых классической физикой. А вот в терминах количества информации, содержащейся в такой нелокальной системе, описать можно!

Мера информации в квантовой теории определяется на основе понятия матрицы плотности. Узнать во всех подробностях, как это делается, можно из статьи Фано\*, опубликованной в журнале *Reviews of Modern Physics* в 1957 году.

\* *Fano U.* Description of States in Quantum Mechanics by Density Matrix and Operator Techniques, *Rev. Mod. Phys.* 29, 74, 1957.

Эта статья довольно известна. Например, А. Мессиа в своем двухтомнике по квантовой механике, когда пишет о матрице плотности\*, указывает в качестве основного источника именно эту статью Фано, правда, речь у него идет не об информации, а лишь о матрицах плотности.

\* *Мессиа А.* Квантовая механика. Т. 1. М.: Наука, 1978. С. 321.

Не уверен, что мера информации была введена именно в этой работе Фано, но ссылок на более ранние статьи я там не увидел. Раздел 8 данной статьи так и называется — «Мера информации», и изначально эта мера вводится очень просто: количество информации  $I$  в системе численно равно следу квадрата матрицы плотности, то есть

$$I = \text{Tr}(\rho^2). \quad (3.7)$$

Это определение легко объясняется с физической точки зрения. Согласно обычным правилам квантовой механики, любой физической величине, которую мы хотим использовать в качестве количественной характеристики системы, ставится в соответствие линейный самосопряженный оператор  $Q$ . И численное значение этой физической величины получается из выражения:

$$\langle Q \rangle = \text{Tr}(\rho Q). \quad (3.8)$$

Сравнивая с предыдущим выражением, мы видим, что меру информации можно рассматривать как количественную характеристику системы, когда физической величиной является сама система, точнее, матрица плотности, выступающая в данном случае в качестве оператора физической величины, то есть

$$I = \langle \rho \rangle = \text{Tr}(\rho \rho).$$

Из этого следует, что квантовая информация является самой фундаментальной количественной характеристикой системы, поскольку для ее определения нет необходимости вводить дополнительные соображения о том, какие еще физические величины (операторы) характерны для данной системы. Квантовая информация как мера существует всегда, если есть система, независимо от того, в каком состоянии она находится. Информация сама по себе является физической сущностью и существует даже тогда, когда система находится в нелокальном состоянии, поэтому ее можно считать «первичной субстанцией», из которой в процессе декогеренции могут «проявляться» локальные объекты. «Информация физична» в прямом смысле — она является источником всех других физических процессов и материальных проявлений, которые могут иметь место в системе.

Отсюда и более высокий статус квантовой информации относительно других физических величин, которые мы могли бы дополнительно привлечь для описания системы. А поэтому выше и значимость закона сохранения квантовой информации по сравнению с другими законами сохранения (массы, энергии, импульса и т. д.), о чем уже говорилось в первой главе (заключительная часть раздела 1.2).

Мы рассмотрели, каким образом вводится мера информации, исходя из основополагающих принципов квантовой теории. При таком определении для любого чистого состояния (замкнутой системы)

мера информации равна 1 (следствие нормировки амплитуд вектора состояния). Это максимальное значение — то есть для любой изолированной системы информация максимальна и равна единице. Для смешанных состояний (открытых систем) информация меньше единицы, и минимальное ее значение достигается для максимально смешанных состояний и равно  $1/d$ , где  $d = 2^N$  — размерность гильбертова пространства ( $N$  — число двухуровневых подсистем). Таким образом, количество информации, содержащейся в системе, изменяется от  $1/2^N$  для максимально смешанных состояний до 1 для чистых состояний (изолированных систем). С физической точки зрения это легко объяснить. В замкнутой системе вся информация содержится в ней самой, и нормированная ее величина равна 1. Для смешанных состояний, то есть для систем, взаимодействующих со своим окружением, часть информации о системе теряется в ее окружении. И минимум информации, который может остаться в самой системе (случай максимально смешанного состояния), определяется числом локализованных структур в системе в процессе декогеренции (напомню, что взаимодействие с окружением сопровождается декогеренцией, то есть локализацией системы и ее составных частей из изначально нелокального информационного состояния).

Однако определение (3.7) не совсем удобно в практическом плане. Для нас привычнее иметь дело с аддитивными величинами, когда информация составной системы равняется сумме частичных информаций. А согласно определению (3.7), информация не суммируется, а перемножается. Так, для двусоставной системы (в случае некоррелированного, то есть сепарабельного состояния):

$$I_{AB} = \text{Tr}(\rho_{AB})^2 = \text{Tr}(\rho_A)^2 \text{Tr}(\rho_B)^2 = I_A I_B.$$

Поэтому удобнее оказалось перейти к логарифму от этой величины. Поскольку логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей, получалась аддитивность. При этом  $\ln[\text{Tr}(\rho^2)]$  изменяется в пределах от  $-\ln d$  до 0.

Из статистической механики известно, что на больших временах энтропия системы соответствует среднему значению  $-k \ln \rho$ , где  $k$  — постоянная Больцмана, так что согласно (3.8) имеем:

$$\langle -k \ln \rho \rangle = -k \text{Tr}(\rho \ln \rho)$$

Отсюда связь между количеством информации в системе и энтропией  $\text{Tr}(\rho \ln \rho) = \langle \ln \rho \rangle$ , которая называется *энтропией фон Неймана* и чаще всего используется сейчас в качестве меры квантовой информации. Она и была введена в качестве первой меры квантовой запутанности, которая определяется выражением (3.6). Различие между натуральным логарифмом и логарифмом по основанию 2 в данном случае не принципиально.

Заметим, что  $\text{Tr}(\rho \ln \rho)$  и  $\ln[\text{Tr}(\rho^2)]$  изменяются в одних и тех же пределах и никогда сильно не отличаются друг от друга. Однако при использовании этой меры, чтобы получить положительное число, приходится в выражениях ставить знак минус, как в (3.6). При этом иногда забывается, что при переходе к логарифму с информацией произошел своеобразный «перевертыш»: там, где был минимум информации, — теперь стал максимум, а максимум информации (единица для чистого состояния) обратился в нуль. Хотя и эту ситуацию можно трактовать так, что, с точки зрения внешнего наблюдателя, о чистом состоянии он ничего не может сказать, поскольку это замкнутая система, которую наблюдатель еще не «потревожил» своим измерением.

Квантовая теория информации таким образом непосредственно связывает информацию с энергией через энтропию фон Неймана, которую можно считать основной физической характеристикой энергоинформационного процесса. Изменение информации сопровождается изменением энергии, а обмен информацией напрямую связан с обменом энергией (справедливо и обратное) — это еще один важный вывод, который сделан в физике квантовой информации.

Есть и отдельные строгие результаты, связывающие информацию, энергию и энтропию. В частности, теорема Марголюса-Левитина\* утверждает, что число элементарных логических операций, которые физическая система может выполнить в единицу времени, ограничено энергией системы, а количество информации, которую система может зарегистрировать (воспринять), ограничено ее собственной максимальной энтропией\*\*.

\* Margolus N. and Levitin L. B., in *PhysComp96, Proceedings of the Fourth Workshop on Physics and Computation*, edited by Toffoli T., Biafore M., and Leão J. (New England Complex Systems Institute, Boston, 1996); *Physica* (Amsterdam) 120D, 188–195 (1998).

\*\* Lloyd S. *Nature* (London) 406, 1047–1054 (2000); Landauer R. *Nature* (London) 335, 779–784 (1988).

Прямая связь между энергией и выполняемыми логическими операциями (информационными процессами) позволяет перекинуть мостик к физическим процессам, сопровождающим работу сознания, поскольку она непосредственно связана с логическими операциями.

Информация в терминах энтропии фон Неймана позволяет описывать запутанные состояния. Одна из основных особенностей этого понятия состоит в том, что об объекте, находящемся в чистом запутанном состоянии ( $\rho = \rho^2$ ), невозможно получить никакой информации, поскольку в этом случае из (3.6) следует  $E(\rho) = 0$ . Энтропия фон Неймана и квантовая запутанность может быть отлична от нуля только для подсистем, которые взаимодействуют со своим окружением, и поэтому находятся в несепарабельном состоянии.

Довольно часто для простоты количество квантовой информации определяется просто как число кубитов в системе.

Исходная величина  $\text{Tr}(\rho^2)$  сейчас тоже широко используется в физике квантовой информации, но уже не в качестве меры информации, а как характеристика степени чистоты состояния (*purity*), которая показывает, насколько близко данное состояние к чистому, для последнего  $\text{Tr}(\rho^2) = 1$ .

### 3.5. Кубит и сфера Блоха

Кубиту в нашей книге отведена исключительно важная роль, поэтому вернемся к нему еще раз — теперь уже с привлечением матрицы плотности, которая помогает глубже понять, что такое кубит, и более подробно его описывает.

Пространство двух состояний, когда система может переходить из одного состояния в другое (двухуровневая система), является простейшим гильбертовым пространством. Когда система имеет одно состояние, и оно не меняется, то вообще не имеет смысла говорить о применении методов квантовой теории к такой системе и об описании ее в терминах состояний.

Если базисные векторы такого элементарного двухмерного пространства состояний обозначить\*  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , то в самом общем виде вектор состояния двухуровневой системы может быть записан в виде:

$$|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle, \quad (3.9)$$

где  $a$  и  $b$  — комплексные числа (амплитуды), удовлетворяющие условию нормировки  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ .

\* См. раздел «Вектор состояния» в предыдущей главе. Напомню, состояние  $|0\rangle = |\uparrow\rangle = (1, 0)^T$  — это вектор-столбец (спин «вверх»); состояние  $|1\rangle = |\downarrow\rangle = (0, 1)^T$  — тоже вектор-столбец, но спин «вниз».

Тогда, исходя из основных понятий квантовой механики, определение кубита звучит достаточно просто: **кубит** — это вектор состояния двухуровневой системы.

Таким образом, кубит — это минимально возможный (элементарный) вектор состояния. Любой вектор состояния может быть представлен как совокупность таких элементарных векторов, поэтому кубит — первооснова, исходный «кирпичик» для всех других векторов состояния любой размерности.

Подобно тому, как за единицу классической информации принимается бит (0 и 1), так в физике квантовой информации кубит определяется как единица квантовой информации.

Одним из сложных для восприятия квантовой механики моментов является отсутствие наглядных представлений, когда приходится иметь дело с векторами состояний и матрицами плотности. Как можно сопоставить вектор гильбертова пространства с привычными для нас трехмерными объектами? Один из наиболее простых вариантов такого сопоставления хорошо известен. Это так называемая сфера Блоха. Попытаемся разобраться, что она собой представляет.

В простейшем случае для системы, которая может находиться в двух состояниях (например, «вверх» и «вниз»), матрица плотности имеет размер  $2 \times 2$  и для чистого состояния (3.9) она имеет вид:

$$\mathbf{r} = |\Psi\rangle\langle\Psi| = \begin{pmatrix} |a|^2 & ab^* \\ ba^* & |b|^2 \end{pmatrix}. \quad (3.10)$$

Существует и более общее выражение для матрицы плотности кубита, не только для того случая, когда он находится в чистом состоянии, как (3.10), но и для смешанного состояния, когда кубит взаимодействует со своим внешним окружением:

$$\mathbf{r} = \frac{1}{2}(E + \mathbf{P} \cdot \mathbf{S}) = \frac{1}{2}(E + P_x \mathbf{S}_x + P_y \mathbf{S}_y + P_z \mathbf{S}_z) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + P_z & P_x - iP_y \\ P_x + iP_y & 1 - P_z \end{pmatrix}, \quad (3.11)$$

где  $E$  — единичная матрица,  $\mathbf{P} = (P_x, P_y, P_z)$  — вектор Блоха (вектор поляризации), а  $\mathbf{S} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$  — вектор, компонентами которого являются матрицы Паули:

$$\mathbf{S}_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S}_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (3.12)$$

Компоненты вектора Блоха определяются как средние значения матриц Паули по обычному правилу (3.8)  $P_j \equiv \langle \sigma_j \rangle = \text{Tr}(\rho \sigma_j)$ ;  $j = x, y, z$ .

Три проекции вектора поляризации  $P_x, P_y, P_z$ , согласно (3.11), полностью определяют матрицу плотности кубита. В случае чистого состояния длина вектора поляризации равна 1, то есть  $|\mathbf{P}|^2 = 1$ , и этот вектор описывает сферу единичного радиуса, которая называется сферой Блоха (рис. 1). В этом случае компоненты вектора Блоха равны:

$$\begin{aligned} P_x &= \sin\theta \cos\varphi, \\ P_y &= \sin\theta \sin\varphi, \\ P_z &= \cos\theta, \end{aligned}$$

и два вещественных параметра (углы  $\theta$  и  $\varphi$ ) однозначно задают вектор состояния (матрицу плотности) кубита.

В случае смешанного состояния длина вектора поляризации становится меньше единицы, то есть  $0 < |\mathbf{P}|^2 < 1$ , и он будет расположен внутри сферы.

Итак, матрица плотности кубита может быть представлена точкой в нашем привычном трехмерном пространстве. То есть существует взаимно однозначное соответствие между матрицей плотности и точкой шара единичного радиуса. Для чистого состояния (замкнутой системы) — это точка сферы.

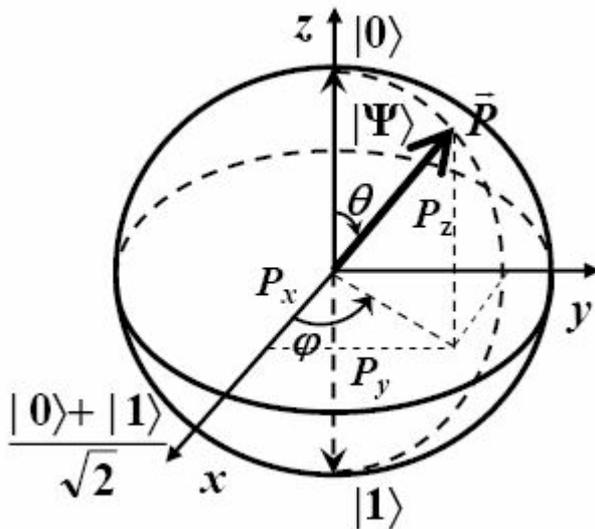


Рис. 1. Сфера Блоха

Чистые состояния, описываемые одним вектором состояния, соответствуют точкам поверхности сферы Блоха, а смешанные состояния, описываемые матрицей плотности, — точкам внутри шара. При взаимодействии с окружением (при декогеренции), в случае смешанного состояния, вектор состояния как бы погружается внутрь сферы Блоха и будет описывать уже не окружность, а, например эллипс, что-то похожее на форму яйца. А в самом предельном случае, когда состояние кубита становится максимально смешанным, весь шар, все пространство допустимых состояний, сжимается до отрезка на оси квантования между значениями  $1/2$  и  $-1/2$ . Этот отрезок — тот минимум, который может остаться от кубита, скажем, в самом худшем (или лучшем?) случае.

Такая ситуация, например, имеет место при максимально запутанном состоянии с другим кубитом. Тогда, как уже говорилось выше [см. выражение (3.5)], матрица плотности одного кубита является максимально смешанной.

В этом проявляется двойственный характер декогеренции: с одной стороны, она приводит к локализации системы, нарушению когерентного состояния, но с другой — взаимодействие с окружением ведет к квантовой запутанности с этим окружением. Можно еще сказать и так: предельно возможная декогеренция окружением совпадает с максимальной запутанностью с этим окружением. И реализуется эта ситуация при наличии максимально возможного взаимодействия между кубитами (как в нашем случае), когда они составляют единое целое (максимально запутанное состояние).

Можно задать вопрос: а какое количество информации содержит один кубит? Если с каждой точкой на сфере Блоха, с каждым положением вектора состояния сопоставить определенную информацию, то, как это ни парадоксально звучит, кубит содержит бесконечный объем информации, и эта информация аналоговая, непрерывная. Кубит, двигаясь по поверхности сферы Блоха, непрерывно изменяет свое состояние, изменяя при этом информацию. Но информация, содержащаяся в кубите, — квантовая. «Считать» с кубита можно только один бит классической информации — либо 0, либо 1.

Одно из хорошо известных достоинств квантовой теории заключается в том, что она может одновременно, в едином ключе, описывать как дискретные, так и непрерывные характеристики системы. Так же и в случае кубита. Имея два основных состояния, мы можем описать бесконечное число «оттенков» между этими двумя пограничными состояниями.

Управлять состоянием кубита — значит, управлять амплитудами  $a$  и  $b$  в векторе состояния, эти величины непрерывные, аналоговые, поэтому квантовый компьютер иногда называют компьютером с аналоговым управлением\*. В настоящее время такое управление кубитами научились реализовывать унитарными (обратимыми) операциями. Попросту говоря, научились вращать вектор состояния кубита по сфере Блоха, переводя его в нужное состояние, в том числе в нелокальное суперпозиционное или в запутанное с другими кубитами.

\* *Валиев К. А.* Квантовые компьютеры и квантовые вычисления. УФН 175 (1), 3 (2005).

При этом привычные для нас классические состояния кубита составляют бесконечно малую часть его совокупного пространства состояний. В терминах коэффициентов  $a$  и  $b$  — из бесконечного их числа только два значения соответствуют чистым классическим (локальным) состояниям, когда либо  $b = 0$ , либо  $a = 0$  (в этом случае нет суперпозиции состояний, и у нас  $|\Psi\rangle = |0\rangle$  или  $|\Psi\rangle = |1\rangle$ ). На сфере Блоха — это только две точки (полюсы) из бесконечного числа других точек сферы. Максимально запутанные состояния — точки экватора, это уже линия, а не две точки.

То же самое можно сказать и о любых объектах окружающей реальности. Их допустимое пространство состояний гораздо шире классических состояний. Классический домен составляет лишь незначительную (бесконечно малую) часть совокупной квантовой реальности окружающего мира.

В частных случаях, как я уже отмечал, состояниями кубитов можно управлять и целенаправленно получать любые состояния. Именно практическая работа над созданием квантовых компьютеров многое дала для понимания соотношений между различными состояниями и привела к реализации таких переходов. Например, ученые научились переводить кубиты из классического локального состояния в нелокальную суперпозицию (преобразование Адамара):

$$|0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \quad \text{или} \quad |1\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle) \quad (3.13)$$

Можно назвать этот процесс рекогеренцией. Обратное преобразование (справа налево) — это декогеренция. И все эти «вращения» вектора состояния кубита по сфере Блоха можно делать при помощи унитарных преобразований, обратимых на временах, меньших времени декогеренции кубита внешним окружением.

Еще раз подчеркну, нелокальные суперпозиционные состояния и квантовую запутанность научились создавать для отдельных кубитов. Такие «сверхъестественные» состояния уже невозможно объяснить ансамблевой интерпретацией, как это делал Эйнштейн, пытаюсь уйти от «телепатии». Теперь эта «телепатия» между кубитами выходит на первый план и становится основным рабочим ресурсом в квантовой информатике.

### 3.6. Кубит Инь/Ян

Квантовая теория помогает глубже проникнуть в смысл некоторых хорошо известных понятий, которыми оперируют эзотерическая литература и восточная философия. Это относится, например, к понятию Инь/Ян, которое тщетно пытается охватить западный рациональный ум с целью вписать в рамки классических представлений, в то время как в терминах квантовой теории эта неуловимая двойственность выражается очень просто: Инь/Ян — это когерентная суперпозиция двух альтернативных состояний.

Очень многое свидетельствует в пользу того, что Инь/Ян соответствуют простейшему случаю двухуровневой системы в квантовой механике, то есть системы с двумя ортогональными состояниями (например, с максимальной и минимальной энергией). Это и есть описание в терминах кубита (как вектора состояния двухуровневой системы) в виде суперпозиции двух взаимоисключающих состояний. С одной стороны, Инь/Ян составляют единое целое, и одно из них невозможно выразить через другое. Но, с другой стороны, можно говорить об их корреляциях, о возможности их перераспределения в системе, о переходах между уровнями, о «шевелении» коэффициентами-амплитудами в векторе состояния, то есть о движении вектора состояния кубита по сфере Блоха.

Когда говорят, что «Инь существует в Ян», а «Ян существует в Инь», то имеется в виду их неразделимая целостность, когерентная суперпозиция. В «Каноне Перемен» сказано: «То, чем является Инь и Ян, — это Дао, это основание, это родители перемен, начало и сущность жизни и смерти, сокровищница духа и света, это основа» (Лао-Цзы).

Иногда считают, что вся теория перемен (И Цзин) построена на одном постулате: Инь + Ян = Дао. Но только это не простая сумма, а суперпозиция состояний — отсюда и сложности в понимании при классическом подходе. По сути дела, речь идет о том, что в квантовой теории называется нелокальным источником реальности. Причем в терминах Инь/Ян вектор состояния Дао рассматривается в самом простейшем базисе из двух ортогональных состояний Универсума. Но даже при такой простейшей модели вектора состояния двухуровневой системы (кубита) можно много чего понять.

Инь обычно сопоставляют с состоянием более высокой энергии, то есть его можно сопоставить с  $|1\rangle$ , а Ян — с  $|0\rangle$ . В простейшем случае динамического равновесия переходы между уровнями равновероятны, иными словами, система периодически излучает энергию, переходя из Инь в Ян (с уровня  $|1\rangle$  на  $|0\rangle$ ), и сама тут же ее поглощает на следующем цикле (осуществляя обратный переход  $|0\rangle$  в  $|1\rangle$ ).

Согласно воззрениям древних китайских философов, эти две силы — Инь и Ян — главные в природе. Даосские мудрецы полагали, что во Вселенной идет бесконечный процесс взаимодействия и трансформации этих двух начал. «То Инь, то Ян — таков путь Вселенной», — говорится в «Книге Перемен», и этот круговорот универсален, он происходит в больших и малых системах.

По сути, это означает, что описание большой системы (Дао) можно осуществлять точно таким же образом, как и маленькой (кубита). При этом считается, что такая двойственность отношений Инь/Ян является главным звеном в эволюции систем любой природы. И если за эту ниточку-«кубиточку» потянуть, то можно распутать самую сложную цепочку отношений-взаимодействий в составной системе.

Такой системный подход к описанию легко реализуется в терминах кубитов, поскольку любую систему можно рассматривать в простейшем базисе из двух собственных состояний и в то же время — как состоящую из других кубитов.

Несколько слов можно сказать и об энергии Ци, которая в китайской философии считается первоосновой Вселенной, тем связующим звеном, который скрепляет ее здание. Ци — понятие, с одной стороны, философское, духовное, но одновременно и материальное, конкретное. Ци — один из древних иероглифов, которым китайцы обозначали пар, воздух, дыхание. Иногда Ци понимается как «дыхание Вселенной». В более широком смысле энергия Ци есть проявление всех известных и неизвестных полей, действующих на всех планах реальности.

В терминах энергии Ци и «изначального дыхания» энергетически более плотное состояние соответствует Инь (покой и сгущение), а менее плотное (но с большей квантовой информацией), рассеянное и подвижное — Ян. Переходы между уровнями описывается следующим образом: плотное Инь в результате движения потока энергии (из-за наличия градиента энергии) превращается в менее плотное Ян, что сопровождается рождением и ростом (Инь как женское начало). А обратный переход ведет к наполнению Инь содержанием (структурной квантовой информацией), что соответствует высаживанию нелокальных «зерен», в том числе «зерен Духа», в плотную энергетическую «почву» (прерогатива Ян как мужского начала). Таким образом, энергия Ци — это потоки энергии, которые возникают при переходе между уровнями в двухуровневой системе (кубите) или, лучше сказать иначе, — любая энергия Ци (их много всяких разных) может моделироваться на кубитной модели.

В китайской философии принято считать, что источником тварного мира является состояние У Ци («беспредельное, то, что предшествует возникновению Вселенной»).

Об У Ци, например, писал Ван Цзунь юэ, живший во времена династии Цин, в книге «Теория Тайци-цюаня»\*: «Тай Ци родилось от У Ци, или предельного „ничто“. Это источник динамичных и статичных состояний, Мать Инь и Ян. Если они движутся — они разделяются. Если они неподвижны — они сочетаются».

\* Цит. по книге: Цзунхуа Чжоу. Дао Тайци-цюаня — путь к омоложению. К.: София, 1995; [http://daonews.narod.ru/taichi\\_1.htm](http://daonews.narod.ru/taichi_1.htm).

Как пишет здесь же Чжоу Цзунхуа: «Безграничную пустоту, существовавшую до сотворения мира, из которой образовалась Вселенная, древнекитайские философы называли У Ци, или предельное „ничто“. Сказано, что до творения нет ничего, но в то же время что-то,

безусловно, есть. Мы не знаем, ни что это такое, ни откуда это „что-то“ берется, но оно определенно есть. Это „что-то“ не может быть объяснено рационально; его существование только предполагается, как существование какого-то объекта, смутно вырисовывающегося в густом тумане. Древнекитайские философы описывали это как „наличие отсутствия“ или „невещественную вещь“ (уу чжи у). Можно сказать, что оно имеет форму, но бесформенно, имеет плотность и неосязуемо. Это беспорядочная неопределенность. Вы стоите перед ним, но у него нет переда. Вы идете сзади него, но у него нет задней стороны. Это явление не вещиности — источник движения и неподвижности. Считается, что все во Вселенной, включая Инь и Ян, развивается постоянно из этого непостижимого источника. Лао Цзы называл его „Дао“, И Цзин называет его „Тай Цзи“».

Об У Цзи много материала в Интернете, приведу, например, такой фрагмент: «Согласно даосской космологии, до начала существующей Вселенной было состояние полной пустоты. В этом изначальном состоянии не было ни малейшего шевеления. Концепцию относительного времени нельзя применять к состоянию изначальной пустоты, потому что не существовало ничего, относительно чего можно было бы измерить время. Все было пусто. Древние даосы дали имя этому состоянию — они назвали его У Цзи (Wu Chi). „У“ означает отсутствие, отрицание, пустоту. „Цзи“ в этом слове (несмотря на то что его можно читать и как Ци — жизненная энергия) означает наивысший, максимальный. И, таким образом, У Цзи означает наивысшее состояние пустоты»\*.

\* Симончик Д. Что такое Даосизм. <http://www.thebridge.ru/docs/314.html>.

Итак, это понятие по своим характеристикам практически полностью соответствует понятию «нелокального источника реальности» в современной квантовой теории. Это нелокальное, нетварное состояние, из которого возникает все, что есть в Мире, как на плотном, так и на всех тонких уровнях реальности. Оно предшествует тварным энергетическим потокам всех видов и нашему пространству-времени. И одновременно, в виде аналоговой квантовой информации, это трансцендентное, «запредельное» состояние содержит в себе замысел, потенцию всего «проявленного». Единственной характеристикой У Цзи является набор допустимых состояний, которые находятся в когерентной суперпозиции и могут проявиться лишь в результате декогеренции, в результате взаимодействия подсистем, то есть в результате *изменчивости* состояний подсистем. Как утверждали древние китайский философы, без изменения состояний ничто не способно выйти из лона У Цзи. Оно так и оставалось бы чистой потенцией.

Таким образом, вследствие изменения и потоков энергии Ци из У Цзи рождается то, что получило название Тай Цзи, — Великий Предел, который, фактически, означает весь тварный мир, всю Вселенную со всем ее содержимым, включая и самого человека.

Всем известен символ Тай Цзи — черно-белые капли Инь/Ян, которые символизируют полярную дуальность мира. Точки обозначают «зародыши» одного начала в другом — способность к трансформации друг в друга.

Даосы говорят, что Тай Цзи коренится в У Цзи, а его обычно изображают как пустой круг, своего рода всепорождающую Пустоту. Иногда его помещают в центр традиционного символа Тай Цзи в виде круга белого цвета, что символизирует философский аспект порождения Тай Цзи из У Цзи. Этот дополнительный элемент (иногда его окрашивают в другой цвет, например желтый) — чисто условный. В то же время его цель — показать, что процесс Тай Цзи приводит к новому качеству энергии Ци с каждым циклом трансформации Тай Цзи и возвращением к У Цзи в новом качестве. То есть состояние энергии Ци до Тао и после Тао уже другое — изменяется ее информационная основа.

Обычно считается, что, когда появляется Тай Цзи, состояние У Цзи исчезает, поэтому нет особого смысла его изображать. И более популярен традиционный символ без дополнительного круга в центре, а с кругом в центре — это для «продвинутых», тех, кто хорошо понимает смысл трансформации при взаимодействии Инь/Ян в Тай Цзи. Круг в символе изображает состояние У Цзи, порождаемое Тай Цзи после достижения своего предела, при этом У Цзи прежденебесное не равно У Цзи посленебесному.

Иногда встречается мнение, что понятия «Дао» и «У Цзи» совпадают, но бывает, что между ними проводят различие. Так, подразумевается, что, когда пустота У Цзи приходит в

движение, то происходит ее трансформация в Тай Ци, и она прекращает свое существование, проявляя себя как энергия Ци через изначальную полярность Инь и Ян. В отличие от этого Дао, согласно Лао-Цзы, есть всегда, оно не исчезает в процессе «проявления» локальных форм, и в этом отношении понятие «Дао» ближе к квантовому понятию нелокального источника реальности, в который лишь «погружен» весь тварный мир.

Согласно космологической концепции квантовой теории, нелокальный источник реальности проявляет тварный мир как бы «внутри себя», сам он никуда при этом не исчезает. Он продолжает охватывать все многообразие локальных форм и элементов реальности, по-прежнему оставаясь во всей своей совокупности нелокальным, нетварным и трансцендентным по отношению ко всем тварным энергиям. Такая точка зрения ближе к христианской доктрине, согласно которой, Бог-Отец, сотворив мир, никуда при этом не исчезает, оставаясь вне пределов тварных форм и охватывая, тем не менее, все сущее.

### 3.7. Определение сознания. Кубит как элементарное сознание

Мы уже неоднократно касались понятия «сознание», и я высказывал предположение, что этот феномен можно попытаться описать методами квантовой теории. Для этого необходимо сформулировать несколько конструктивных определений. Конструктивных в том плане, что они должны формулироваться в физических терминах (в терминах состояний), чтобы была возможность ввести их в общую физическую модель.

Квантовая теория — это инструмент. И можно ли применить его, определяет одно условие — есть ли различные *состояния* у рассматриваемого объекта, поскольку квантовая механика оперирует состояниями и хорошо под них «заточена». Если мы готовы признать, что одной из характеристик сознания являются различные его состояния, то этого достаточно, чтобы попытаться применить теоретические методы квантовой механики. Сможем ли мы узнать для себя что-то новое, если подойдем к сознанию с точки зрения квантового описания? Вопросом, возможно ли при этом «постичь смысл» сознания, пока задаваться не стоит. Естественно, что квантовая механика, как и любая другая теория, ограничена и не может показать «истинное положение вещей». Но на то, что квантовомеханический подход способен дать какие-то новые дополнительные штрихи для более глубокого понимания особенностей и закономерностей функционирования сознания, надеяться можно.

Для начала давайте попытаемся определить сознание в терминах состояний. При этом мы не будем задаваться целью понять, что представляет собой сознание «на самом деле», поскольку такими вопросами просто загоним себя в угол. Попытаемся выделить отдельные особенности и характеристики сознания, подпадающие под квантовомеханическое описание, и перечислим те основные *операции над состояниями системы*, которые являются неотъемлемой частью работы сознания.

Предлагаю взять за основное следующее определение.

**Определение 1.** *Сознание* — внутреннее свойство системы (открытой или замкнутой), которое заключается в ее способности *различать* и *реализовывать* отдельные допустимые для нее состояния.

С одной стороны, как я полагаю, это определение способно охватить все другие определения, которые только могут быть сформулированы в самых различных науках (философии, психологии и т. д.), а с другой стороны — оно вполне физично и допускает количественное описание, о чем я буду говорить чуть ниже.

Набор различных допустимых состояний системы и их реализация (переходы между состояниями) не выходят за рамки квантовомеханического описания. Мне кажется, что этих двух основных характеристик может оказаться вполне достаточно, чтобы ответить на вопрос, есть ли сознание у того или иного объекта. Поскольку, например, в окружающем мире они сразу показывают качественное отличие объектов неживой природы, которые не имеют возможности выбрать допустимое состояние по своему усмотрению, от живых существ, имеющих перед собой некий набор возможных решений.

Согласно *определению 1*, будет справедливо следующее утверждение.

**Утверждение 1.** Необходимым и достаточным условием для наличия сознания в произвольной системе является ее способность различать и реализовывать свои допустимые состояния.

**Определение 2.** *Элементарным сознанием* называется сознание односоставной двухуровневой системы, способное различать два основных своих состояния и реализовать любое из них.

То есть элементарное сознание — это «сознательный» кубит, способность системы, описываемой выражением (3.9), «изнутри» нарушить суперпозицию состояний и перейти в одно из двух основных своих состояний:  $|\Psi\rangle = |0\rangle$  или  $|\Psi\rangle = |1\rangle$ . Элементарное сознание — способность системы «шевелить» амплитудами  $a$  и  $b$  в векторе состояния (3.9).

Термин «различать» можно трактовать таким образом: сознание имеет в своем распоряжении набор потенциально возможных состояний, отличающихся, например, по энергии. Система «видит» набор состояний, в которые она может перейти, и эти состояния не вырождены, не равноценны, различны по какой-либо характеристике. Сознание как бы имеет «свободу выбора» между этими состояниями. Самый простой пример можно привести для «элементарного сознания» — кубита. В суперпозиционном состоянии для кубита одновременно существуют два потенциально возможных состояния, в которые он может перейти: 0 и 1.

Реализация состояния — это переход системы в то или иное состояние.

Допустимые состояния — те, которые удовлетворяют наложенным на систему ограничениям. Наиболее очевидное ограничение — по энергии системы, поскольку энергия состояния должна лежать в пределах возможного изменения энергии системы. Можно различать внутренние и внешние ограничения. Внутренние ограничения — когда сознание «видит» свои потенциально возможные состояния, но некоторые из них не будет реализовывать из-за своих внутренних убеждений. Это своего рода квантовомеханическое определение нравственности. А внешние ограничения — те, что налагаются на систему внешним окружением.

Согласно первому определению, сознание — это и есть то внутреннее свойство системы, которое может осуществить «редукцию волновой функции». Нет сознания — окружение будет диктовать свою волю, и состояние будет редуцировано в какое-либо одно из набора других допустимых состояний. Но сознание способно «подкорректировать» этот процесс и перейти в то состояние, которое ему (сознанию) представляется наиболее «выгодным».

Хочу отметить, что в определении предполагается, с одной стороны, возможность сознания осуществить «коллапс волновой функции», поскольку реализация допустимого состояния — это и есть редукция (полная или частичная) вектора состояния. С другой стороны, возможность обратного процесса — перехода от редуцированного состояния к полной суперпозиции состояний, так как последнее тоже является одним из допустимых состояний системы. Можно сказать, что это преобразование квантовой информации в классическую и обратно. Квантовая информация — это то, чем оперирует, манипулирует сознание.

Еще один момент, на который я бы хотел обратить внимание: нужно различать, за счет чего происходит редукция состояния. Обычно в квантовой механике предполагается, что декогеренция (редукция) осуществляется за счет взаимодействия с окружением. Я же полагаю, что феномен сознания необходимо связать с редукцией, осуществляемой самой системой «изнутри». Поэтому я и определил сознание как «внутреннее свойство системы». В случае открытой системы окружение накладывает ограничение на число допустимых состояний, но если есть сознание в открытой системе, то все равно остается огромное число вариантов различных состояний и «свобода воли» — пожалуйста, делай, что хочешь, но опять-таки в рамках допустимых состояний.

Нет необходимости подчеркивать, что сознание — это нематериальная часть системы, поскольку мы и так рассматриваем самый общий случай в терминах состояний, которые могут быть нелокальными (нематериальными). Например, любая наша мысль — это уже реализация одного из наших допустимых состояний. Что касается человека, то к ним относятся не только различные состояния нашего физического тела, но и любые эмоциональные, ментальные состояния, в том числе медитации, нирваны, «не ума» и др. Другое дело, умеет ли человек

различать и реализовывать эти состояния. То, какие состояния рассматриваются в каждом конкретном случае, определяется набором базисных состояний, в которых записывается вектор состояния.

Предлагаю также ввести некоторые количественные характеристики сознания.

**Определение 3.** *Мера сознания* определяется числом допустимых состояний системы, которые она способна различить.

То есть вводится характеристика, количественно описывающая первую особенность сознания — способность различать состояния.

Поскольку *мера сознания* связана с числом состояний, она может быть выражена в терминах количества информации, которой способна оперировать система. *Элементарное сознание*, например, оперирует одним битом классической информации или одним кубитом квантовой информации (и способно перевести квантовую информацию в классическую и обратно).

Для количественной характеристики второй особенности сознания — способности реализовывать, то есть переходить в одно из допустимых состояний, которые система сумела различить, можно ввести другое определение.

**Определение 4.** *Воля* называется количественная характеристика сознания, равная числу состояний, которые могут быть реализованы самой системой.

Предполагается, что самостоятельно система способна реализовать только те состояния, какие она сумела различить. Максимальная (абсолютная) воля при этом равна *мере сознания*, когда система может самостоятельно перейти в любое из состояний, которое смогла различить. Нулевое значение воли соответствует такой системе, которая, несмотря на то что сумела выделить некоторое число допустимых для нее состояний, не способна изменить свое текущее состояние и перейти в новое состояние.

Иметь потенциальную возможность реализации какого-либо состояния мало. Необходимо еще уметь перейти в него. Попытаюсь пояснить этот момент в терминах энергии. Поскольку при квантовомеханическом описании энергия является функцией состояния, то переход из одного состояния в другое связан с умением системы манипулировать и управлять потоками энергии на различных уровнях. И «воля» в моем понимании — это не просто инструмент поиска и выбора оптимального состояния системы, а характеристика «личной силы» системы, то есть ее способности перераспределить энергетические потоки таким образом, чтобы достигнуть определенного допустимого состояния. Свои ограничения здесь накладывает окружение, и понятие «воля» имеет отношение к внешним воздействиям. Реализация определенного состояния в случае открытой системы и есть управляемое взаимодействие с окружением. Но этот термин справедлив и в случае замкнутой системы. Такое выражение, как «Воля Творца», тоже вполне уместно.

Теперь еще несколько дополнительных определений.

**Определение 5.** *Вниманием* называется способность сознания выделять из общего числа различимых состояний системы отдельные классы состояний, качественно различные по своим характеристикам.

**Определение 6.** *Классом состояний* называются состояния, принадлежащие гильбертову пространству в некотором заданном диапазоне размерностей. В наиболее простом случае минимально узкого диапазона класс состояний принадлежит гильбертову пространству одной размерности.

В последнем случае, например, для системы  $A$  состояния типа  $(AB)$ ,  $(AC)$ ,  $(AD)$ ... принадлежат одному классу, состояния  $(ABC)$ ,  $(ACD)$ ,  $(ABD)$ ... — другому классу и т. д.

**Определение 7а.** *Степень развития сознания* определяется количеством различных классов состояний, которые система способна выделить своим вниманием.

**Определение 7б.** *Уровень сознания* характеризуется тем классом состояний, на который сознание направляет свое текущее внимание.

**Определение 8.** *Самосознание* — способность системы различать и реализовывать отдельные, допустимые для нее состояния на *верхнем уровне сознания* совокупной замкнутой системы.

Сознание самой замкнутой системы, таким образом, совпадает с самосознанием, поскольку оно способно непосредственно оперировать состояниями на верхнем уровне. В случае открытой системы эти два понятия различаются. Подсистема должна еще «дорости» до возможности «произносить слова» (хотя бы мысленно), вносящие свои (порой самые незначительные) изменения на верхнем уровне сознания.

Комплекс определений может быть расширен, но все они будут являться следствием основного определения. Например, эмоции, мышление, самосознание, наличие памяти можно связать с различными классами допустимых состояний и взаимными переходами между ними (мысль способна породить эмоцию или привести в действие физическое тело, и наоборот).

Если говорить о возможности развития сознания, то уместно предположить, что для этого достаточно возникновения в замкнутой системе одного *элементарного сознания*, чтобы запустился лавинообразный процесс развития сознания. Представим это следующим образом. Возьмем линейный гармонический осциллятор, описываемый вектором состояния (3.9), амплитуды которого изменяются по гармоническому закону (одна — по синусу, другая — по косинусу, сумма их квадратов как раз равна единице). При наличии сознания он может заметить разницу в своем внутреннем состоянии, когда будет находиться в своих крайних положениях. Эта «ощутимая» разница между двумя основными состояниями будет существовать, поскольку каждое из них по-своему нарушает их исходную суперпозицию и получит свой «отклик» со стороны окружения. Осциллятору достаточно будет выбрать и зафиксировать одно из понравившихся ему состояний, чтобы нарушить исходное несепарабельное состояние и на некоторое время «продлить себе удовольствие» — пока возникающие потоки энергии вновь не выправят ситуацию и не заставят его снова производить гармонические колебания. При этом все остальные подсистемы будут «ощущать» незнакомые для себя «переживания». Память об этой маленькой «радости» у нашего осциллятора может остаться, и он будет пытаться воспроизвести это состояние снова, постепенно объединяясь в своем стремлении с другими подсистемами, то есть сознание будет «разрастаться», увеличивая число степеней свободы. Я понимаю, что такое объяснение слишком примитивно и «ненаучно». Но у меня есть некоторые подозрения, что его можно обосновать и в физических терминах. Например, так: два различных состояния осциллятора обладают различной энергией, поскольку при отклонении от равновесия он будет находиться во внешнем поле, создаваемом окружением, и станет стремиться к состоянию с наименьшим значением энергии.

Расширение набора допустимых состояний происходит в результате эволюции системы. Для открытой системы — это эволюция во внешней среде, в определенном пространственно-временном континууме (например, когда человек взрослеет, у него увеличивается набор допустимых состояний), для замкнутой системы — это эволюция в собственном субъективном времени (она может являться следствием локальной эволюции ее подсистем).

Если сознание развивается, то увеличивается и число допустимых состояний системы, и размерность пространства состояний (гильбертова пространства), в котором функционирует сознание. Моделировать этот процесс можно увеличением числа взаимодействующих кубитов.

Может возникнуть такой вопрос: почему бы не исходить из предположения, что сознание — это нечто абсолютно фундаментальное для всего остального. А все остальное само по себе сознанием не обладает и является проявлением некоего всеобщего «метасознания», что есть только одно сверхсознание, и незачем дробить его на части, вводить дополнительные понятия, такие как «элементарное сознание».

В качестве контраргумента я приведу такие доводы. Пусть нелокальный источник реальности — это некий гипотетический квантовый компьютер, который имеет огромное число кубитов, и, предположим, что это в этой системе реализуется «метасознание». Вопрос: можем ли мы считать, что половина этих кубитов, третья часть или четвертая не обладают сознанием? Ведь они остаются теми же самыми квантовыми компьютерами, только имеют меньшую информационную емкость (меньше кубитов), оперируют меньшими объемами информации и каким-то образом задействованы в общую нелокальную «сеть».

Здесь срабатывает системный подход в отношении кубитов, когда большая система из многих кубитов практически ничем не отличается от малой, и даже однокубитная модель адекватно отражает некоторые основные особенности любой, даже самой большой, многокубитной системы. Поэтому анализ удобнее начинать с небольших теоретических моделей, которые имеют точные решения и позволяют «нащупать» общие закономерности, которые будут справедливы уже для систем произвольной размерности.

В любом случае для объяснения и понимания сознания как феномена, как неотъемлемой части объективной реальности, необходимо вводить количественную меру сознания.

Человек способен различать огромное, практически бесконечное, число состояний. Можно взять логарифм от числа таких состояний, как это делается, например, для энтропии. В этом случае мера элементарного сознания (два состояния) как раз будет равна единице.

Теоретический анализ проще всего начать с самых простых квантово-теоретических моделей сознания. Я уже начинал разговор об этом в конце второй главы, и теперь самое время его продолжить. Набросаю общую схему, как можно подойти к построению таких моделей, используя современные методы квантовой теории.

Возьмем за основу известный метод, обобщающий понятие квантового измерения, который базируется на технике супероператоров ПОМ (положительной операторной меры, POVM — positive operator-valued measure). Он исходит из разложения единицы в гильбертовом пространстве системы, которая взаимодействует со своим окружением. В качестве собственных состояний, по которым проводится разложение единицы на сумму неотрицательных операторов (супероператор), можно выбирать различные наборы парных альтернативных состояний. Например, в простейшем случае это может быть пара состояний хорошо/плохо: человек «наделяется» элементарным сознанием, позволяющим ему различать два этих состояния. Замечу, что уже в этом базисе квантовая механика позволяет описать бесконечно большое число всех промежуточных состояний — от состояния «совсем плохо» (при смерти) до «абсолютной благодати». Пару состояний хорошо/плохо можно рассматривать как аналог двух классических состояний  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ . В рамках квантовой теории начинает работать суперпозиция этих состояний, и возможно, например, максимально запутанное состояние — «ни хорошо ни плохо», то есть «никак». В зависимости от значения амплитуд суперпозиции доступен весь диапазон состояний в этом базисе. Наглядное представление об этом дает сфера Блоха.

Далее можно увеличивать точность описания, наращивая размерность гильбертова пространства, то есть добавляя другие пары альтернативных состояний — здоровый/больной, весело/грустно, безопасно/страшно, добрый/злой и т. д. При этом набор таких состояний мы можем разделить на несколько частей, характеризующих качественно различные классы состояний сознания и соответствующие:

- физическому состоянию (здоровый/больной, сильный/слабый, сытый/голодный, тепло/холодно...);
- эмоциональному состоянию (весело/грустно, безопасно/страшно, добрый/злой, любовь/ненависть...);
- ментальному состоянию, для которого следует ввести набор хотя бы основных мыслей (или их категорий). Мысли не обязательно брать парными, поскольку любые четкие мысли альтернативны, то есть «в классическом» состоянии не накладываются друг на друга, и любой набор слов подойдет в качестве базиса ментального состояния сознания.

Тут можно найти пересечение с известными разработками в области психологии, об одной из которых я упоминал во второй главе. Существует еще такая психолингвистическая экспертная система, как «ВААЛ»\*. Согласно этой системе, в основе оценки эмоционального воздействия фонетики слова и текста на русском языке на подсознание человека лежат результаты докторской

диссертации А. П. Журавлева. Они нашли отражение в его книгах «Фонетическое значение» (ЛГУ, 1974) и «Звук и смысл» (М., 1981).

\* <http://www.vaal.ru/prog/free.php>.

В этом случае для оценки фоносемантического воздействия в русском языке используются 24 шкалы, представленные парами антонимичных прилагательных: хороший–плохой, красивый–отталкивающий, радостный–печальный, светлый–темный, легкий–тяжелый, безопасный–страшный, добрый–злой, простой–сложный, гладкий–шероховатый, округлый–угловатый, большой–маленький, грубый–нежный, мужественный–женственный, сильный–слабый, холодный–горячий, величественный–низменный, громкий–тихий, могучий–хилый, веселый–грустный, яркий–тусклый, подвижный–медлительный, быстрый–медленный, активный–пассивный.

Эти 24 шкалы можно рассматривать как один из возможных базисов вектора состояния сознания.

И все же я не думаю, что сознание можно полностью алгоритмизировать. Понятие допустимых состояний — очень широкое. К нему относятся не только состояния физического тела, но и наше настроение, наши мысли и чувства, все наши ощущения в их непрерывном изменении — все это реализации наших различных допустимых состояний. Я не представляю, как это можно полностью «просчитать». Хотя какие-то оценки реальны: например, если мы не ели три дня, можно с некоторой вероятностью предсказать, какие изменения в физическом теле происходят, и какие ощущения, мысли и чувства будут у нас преобладать.

Но в любом случае даже самые простые количественные модели, описывающие работу сознания, могут очень многое дать для понимания самого этого феномена.

### **3.8. Двуетная природа мира. Духовная монада**

Наша Матрица, о которой мы так много говорим в этой главе (матрица плотности), помогает найти ответ на еще один извечный вопрос, который занимал умы людей на протяжении всей истории человечества. Представление о двуетной природе человека широко распространено в религиозных и эзотерических учениях. Человек дуален и, помимо тварного, тленного тела, имеет также и вечный бессмертный дух. Часто также приходится сталкиваться с мнением, что двуетвенна природа всех окружающих тел, что все объекты имеют некий «шаблон» — наряду с их плотной составляющей существуют «идеальные формы», или «идеи», «образы» тех или иных тел. Можно ли эту двуетвенную природу всех систем увидеть в квантовомеханическом описании? Оказывается, можно, и довольно просто.

В терминах квантовой теории эта задача формулируется следующим образом: можно ли произвольную матрицу плотности разложить на две составляющие, одна из которых постоянна и не зависима ни от каких параметров (вечная и неизменная), а вторая — динамическая составляющая, зависящая от параметров.

И, действительно, такое разложение хорошо известно в квантовой теории. Я напомним, что в терминах матрицы плотности описываются любые системы, как замкнутые (чистые состояния), так и открытые, взаимодействующие со своим окружением (смешанные состояния). Так вот, математически доказано, что любая матрица плотности всегда может быть представлена в виде суммы двух матриц: одна соответствует максимально-смешанному состоянию, а вторая — имеет нулевой след (подробности см. в конце раздела).

Матрица максимально-смешанного состояния — это диагональная матрица с одинаковыми диагональными элементами. Такие матрицы называются скалярными. В начале главы мы уже говорили о них [см. выражения (3.4) и (3.5)]. С физической точки зрения, матрица максимально смешанного состояния — это набор потенциальных состояний, которые система может реализовать, «проявить» в виде объективных элементов реальности, в виде наблюдаемых, «тварных» величин. Эта составляющая любой матрицы плотности всегда постоянна, она не зависит от времени и любых других параметров.

А если взять вторую матрицу из разложения (с нулевым следом), то это динамическая часть матрицы плотности. Она может зависеть от времени, то есть это она отвечает за сам процесс

«проявления» локальных форм и вообще за все изменения, которые могут происходить с системой.

Первая часть матрицы плотности (максимально смешанное состояние) — это основа, «главная ось» любой системы, то, без чего системы вообще не существует. Любая система, любая матрица плотности ее имеет, а на эту «ось» уже может «накручиваться» все остальное содержание системы. В самом простом случае, если рассматривать кубит в качестве элементарного сознания, то эта диагональная его составляющая [см. выражение (3.20) ниже] является своего рода *духовной монадой* — неизменной и неуничтожимой частью сознания, которая может лишь «укутываться» некой динамической оболочкой, в которой и отражаются все изменения, происходящие с системой.

Для Универсума максимально смешанное состояние составляет «Ось Мира», а динамическая часть матрицы плотности — это «Мировое Яйцо», то, что окружает ось мира.

Из квантовой теории следует еще один важный вывод. В начале главы уже говорилось, что максимально смешанное состояние не может иметь место для замкнутых систем. Другими словами, «Ось Мира», например, не может быть «голой» — она обязательно будет укутана «шубой» квантового ореола. Это же относится к духовной монаде — она не способна в своем чистом виде существовать как замкнутая система. В чистом виде она может находиться только в составе более сложной системы, причем в максимально запутанном состоянии, то есть в состоянии полного единства со всей системой. Но в данном случае у нее нет самостоятельности, нет свободы воли, нет собственной динамики, нет возможности независимого развития. Любая самостоятельность сопровождается «отпадением» от исходного нелокального состояния системы, при этом духовная монада «укутывается» индивидуальной динамической составляющей, она локализуется и проявляется, становится более плотной. Иными словами, это нелокальный источник наделяет подсистемы духовными монадами, чтобы они могли индивидуально развиваться и тем самым обогащали своим опытом уже всю систему.

Итак, из простого анализа матрицы плотности произвольной системы следует, что любая система может быть представлена как состоящая из двух качественно различных составляющих. Одна часть — это вечное, неуничтожимое «ядро», существующее вне времени и пространства, а другая часть — ее плотное «тело», оболочка, посредством которой система реализует то или иное потенциальное состояние своего ядра, своего духа, а при наличии окружения может с ним взаимодействовать, что также сказывается на состоянии ядра.

Динамическая часть матрицы плотности отвечает за наличие квантовой оболочки, формирование пространственно-временного континуума и энергетических потоков вокруг неуничтожимого духовного ядра, описываемого нормированной скалярной матрицей.

Квантовая теория позволяет увидеть единство двух качественно различных составляющих системы, ее двойственную природу. Если говорить о сознании — это единство духа и тела в системе, обладающей сознанием. Одновременно, это и сотворение деятельным сознанием «тварной» реальности.

Мы еще не говорили о «несознательных» объектах. Что такое для них «вечная» часть состояния, описываемая матрицей плотности максимально смешанного состояния? Я полагаю, что это и есть то, что называется «идеей», «идеальным образом» объекта. Становится понятным, почему физике, в том числе и классической, удается правильно описывать окружающий мир (в рамках применимости теорий). Ответ, согласно предыдущим рассуждениям, получается очень интересный — потому что практически вся физика имеет дело исключительно с «идеями» реальных объектов! То есть она оперирует вечными и неизменными категориями объектов. Как известно, с точки зрения квантовой теории вся классическая физика имеет дело с диагональными матрицами плотности. То же самое относится к понятию статистического ансамбля и вероятностной интерпретации квантовой механики. Как я уже говорил в предыдущей главе (см. раздел 2.3), в свое время, для вычисления средних значений физических величин, Гиббс и Больцман предложили рассматривать — вместо временного усреднения в рамках одной системы — среднее по ансамблю, среднее по совокупности большого числа соответствующим образом разупорядоченных систем. Они предложили *мысленную конструкцию* из совокупности систем, когда каждое допустимое состояние данной (одной) системы представлено в ансамбле отдельной системой, находящейся в стационарном состоянии. Каждая система из ансамбля является мысленной копией реальной системы в одном из допустимых ее состояний.

То есть ансамбль — это и есть в прямом смысле мысленная конструкция, идея объекта, когда вместо реальной системы рассматривается ее идеальный прообраз как набор всех потенциально-допустимых состояний системы. А это и есть «ось мира» самой системы, матрица максимально смешанного состояния.

И если системы, обладающие сознанием, на фундаментальном уровне в нелокальном состоянии могут существовать только как частички Духа (Мирового Разума), то объекты, не обладающие сознанием, — только как «идеи». В общем, опять все сводится к квантовой информации, той «первичной субстанции», которая содержится в нелокальном источнике реальности.

Состояния, описываемые матрицами плотности, не обязательно должны быть материальными с точки зрения классической физики. Например, такими состояниями являются все наши потенциальные мысли и эмоции. И реализация одного из этих допустимых состояний (появление у нас какой-то конкретной мысли или чувства) сопровождается возникновением объективных элементов реальности, соответствующих этим мыслям и чувствам. Данные элементы реальности классические приборы не могут «увидеть», тем не менее, они объективно существуют и могут взаимодействовать с аналогичными структурами, эманациями, «сгенерированными» другими людьми.

Можно затронуть еще один вопрос — каким образом развивается сознание? Способно ли, например, элементарное сознание, рассматриваемое как чистое состояние, как замкнутая система, без внешнего окружения развивать свое сознание «изнутри». Я считаю, что может. Как показывает разложение матрицы плотности, о котором мы говорим, элементарное сознание в качестве «зародышей» содержит в себе сознание двух других подсистем — уже есть два других «ядра», потенциальных центров сознания. Каждое из них, в свою очередь, может разделиться на два и т. д. То есть элементарное сознание, в принципе, может изнутри «делиться» до бесконечности, наращивая свое пространство состояний. Я попытался изобразить такое разложение кубита на два «ядра» в виде схемы (рис. 2).

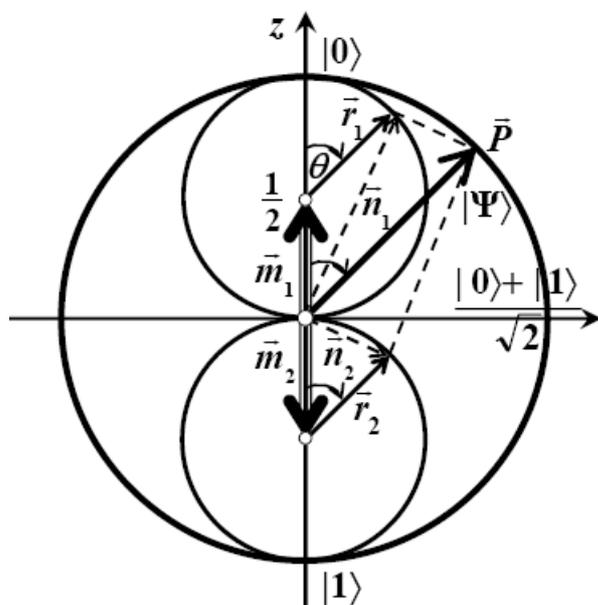


Рис. 2. Разложение матрицы плотности говорит о том, что и вектор состояния кубита (вектор поляризации  $\vec{P}$ ) можно разложить на два динамических вектора, вращающихся уже вокруг двух других центров, — это векторы  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$  на рисунке — и два постоянных неизменных вектора  $\vec{m}_1$ ,  $\vec{m}_2$ , лежащих на оси квантования.  $\vec{P} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 = (\vec{m}_1 + \vec{r}_1) + (\vec{m}_2 + \vec{r}_2)$ .

Кубитной модели элементарного сознания может еще помочь теория квантовых вычислений. Сейчас уже определен набор основных логических операций, с помощью которых можно реализовать любые квантовые вычисления. Умение выполнять эти операции делает квантовый компьютер «разумным». Это те операции над кубитами, которые позволяют квантовому компьютеру выполнять «осмысленные» действия, в частности, использовать

запутанные состояния для выполнения вычислений. По сути, все логические операции сводятся к вращению вектора состояния кубита, его движению по сфере Блоха. То есть для того, чтобы наше элементарное сознание (наш кубит) стал «умным», он должен уметь выполнять несколько основных логических операций, с помощью которых можно реализовать любую последовательность «рассуждений». Поскольку сознание ранее было определено как способность воплощать допустимые состояния, кубит будет считаться «разумным», обладающим элементарным сознанием, если он в состоянии реализовать последовательности основных логических операций (может вращать по своему усмотрению вектор состояния по сфере Блоха).

Более подробное рассмотрение основного разложения матрицы плотности целесообразно начать с самого простого случая двухуровневой системы (кубита). Напомню также, что все матрицы плотности — эрмитовы.

В матричном анализе доказывается утверждение, что всякую эрмитову матрицу  $2 \times 2$  можно однозначно записать в виде вещественной линейной комбинации единичной матрицы и трех матриц с нулевым следом, так называемых матриц Паули, в частности, любая матрица плотности  $2 \times 2$  представляется в виде:

$$\rho = 1/2 (E + \alpha\sigma_x + \beta\sigma_y + \gamma\sigma_z),$$

где  $E$  — единичная матрица,  $\alpha, \beta, \gamma$  — вещественные числа, а  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\sigma_z$  — матрицы Паули [см. (3.12)]. Мы уже пользовались такой формой записи в выражении (3.11).

Этот результат для матриц  $2 \times 2$  является частным случаем хорошо известного в квантовой теории общего утверждения, что любая матрица плотности произвольной размерности может быть записана в виде\*:

$$\rho_\varepsilon = (1 - \varepsilon) M_d + \varepsilon\rho_1, \quad (3.14)$$

где  $d = 2^N$  — размерность гильбертова пространства системы, состоящей из  $N$  подсистем;  $M_d = \mathbf{1}_d/d$  — максимально смешанное состояние (нормализованная единичная матрица плотности, след которой равен 1);  $\mathbf{1}_d$  — единичная матрица размерностью  $d$ ;  $\rho_1$  — произвольная матрица плотности;  $\varepsilon$  — вещественный параметр ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ).

\* *Braunstein S. L. et al. Phys. Rev. Lett. 83, 1054 (1999).*

В форме (3.14) часто анализируют псевдочистые состояния\*, когда  $\rho_1 = |\psi\rangle\langle\psi|$ .

$$\rho_\varepsilon = (1 - \varepsilon)M_d + \varepsilon|\psi\rangle\langle\psi|.$$

\* *Linden N. and Popescu S. Phys. Rev. Lett. 87, 047901 (2001).*

Выражение (3.14) можно переписать в виде:

$$\rho_\varepsilon = M_d + \varepsilon(\rho_1 - M_d). \quad (3.15)$$

То есть любая матрица плотности может быть представлена в виде суммы матрицы максимально смешанного состояния  $M_d$  (с единичным следом) и матрицы с нулевым следом ( $\rho_1 - M_d$ ), напомню, что след у  $\rho_1$  тоже равен единице.

Таким образом, состояние произвольной системы имеет двуединую природу, содержит в своей структуре две качественно различные составляющие: одна часть неизменная, вечная (максимально смешанное состояние), и вторая часть динамическая (если система динамическая, параметр  $\varepsilon$  может быть, например, функцией времени).

Рассмотрим более детально, что такое максимально смешанное состояние. Наверное, это будет легче понять на примере кубита. Только для начала мы запишем вектор состояния кубита  $|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$  в виде нужной матрицы плотности. Этот вектор состояния зависит от четырех вещественных параметров ( $a$  и  $b$  — комплексные числа). Число параметров можно уменьшить до двух, воспользовавшись двумя дополнительными условиями, налагаемыми на вектор состояния, — условием нормировки  $|a|^2 + |b|^2 = 1$  и одним из постулатов квантовой механики, согласно которому состояния не меняются, если их умножить на

фазовый множитель  $\exp(\pm i\varphi)$ . То есть например, состояния  $|0\rangle$  и  $\exp(i\varphi)|0\rangle$  тождественны. Это следствие того факта, что модуль комплексной экспоненты равен единице.

Следовательно, необходимы лишь два независимых вещественных параметра, чтобы однозначно задать вектор состояния кубита. Обычно в качестве таких параметров выбирают два угла  $\theta$  и  $\varphi$ , которые однозначно определяют точку на сфере Блоха (см. рис. 1). В этом случае

$$\begin{aligned} a &= \exp(-i\varphi/2) \cos(\theta/2) \\ b &= \exp(i\varphi/2) \sin(\theta/2), \end{aligned}$$

а вектор состояния записывается в виде:

$$|\psi\rangle = \exp(-i\varphi/2)\cos(\theta/2)|0\rangle + \exp(i\varphi/2)\sin(\theta/2)|1\rangle. \quad (3.16)$$

Матрица плотности  $\rho$  тогда равна сумме двух матриц  $\rho_1$  и  $\rho_2$ :

$$r = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix} + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos q & e^{-ij} \sin q \\ e^{ij} \sin q & -\cos q \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

Нам еще пригодится вектор состояния

$$|\psi\rangle = \cos(\theta/2)|0\rangle + \sin(\theta/2)|1\rangle, \quad (3.18)$$

и соответствующая ему матрица плотности:

$$r = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix} + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos q & \sin q \\ \sin q & -\cos q \end{pmatrix}. \quad (3.19)$$

Можно заметить, что (3.16) получается из (3.18) унитарным преобразованием

$$U = \begin{pmatrix} e^{-ij/2} & 0 \\ 0 & e^{ij/2} \end{pmatrix},$$

то есть чистым вращением вектора состояния (3.18), которое характеризуется параметром  $\varphi$ . Несложно определить, в чем состоит физическое отличие векторов состояния (3.16) и (3.18). Они связаны соотношением  $|\psi\rangle^{rot} = U|\psi\rangle$ , которое означает переход между неподвижной и вращающейся системой координат. То есть вектор (3.18) мы записали для внутреннего состояния системы — он описывает то, что происходит с точки зрения самой системы. Система «чувствует», что она переходит из одного состояния в другое, и никаких других изменений для нее не существует. Это вид «изнутри» системы. В этом случае ее вектор состояния характеризуется лишь одним вещественным параметром  $\theta$ . Можно предположить, что это собственное внутреннее время системы, то есть параметр, с которым меняется ее внутреннее состояние.

А состояние (3.16) описывает эволюцию системы в лабораторной (неподвижной) системе координат, связанной с внешним наблюдателем. Это вид «снаружи». Можно пояснить данный момент еще следующим образом. При эволюции системы вектор состояния при любом его положении остается для самой системы осью квантования. Но для внешнего наблюдателя, со своей системой отсчета и выбранной уже им осью квантования (обычно за нее принимают ось  $Z$ ), вектор состояния будет перемещаться по сфере Блоха и поворачиваться на угол  $\varphi$ .

Максимально смешанное состояние [первая матрица в правой части выражений (3.17) или (3.19)] определяет две важные характеристики системы. Во-первых — центр сферы Блоха, то есть точку, равную сумме диаметрально противоположных точек, в которых вектор состояния «протыкает» сферу Блоха в любом из своих положений\*, — это ядро, центр системы, из которого выходит сам вектор состояния. Во-вторых, максимально смешанное состояние задает ось квантования, поскольку составляет на этой оси постоянный и неизменный отрезок между двумя (для кубита) точками. Переходя в систему отсчета, связанную с вектором состояния (во вращающуюся систему координат), этот вектор становится осью внутреннего мира системы, на которую с равной вероятностью, с равной возможностью реализации «нанизаны» все допустимые состояния системы. В нашем простейшем случае это два допустимых состояния, которые всегда остаются в распоряжении системы, в каком бы положении ни находился вектор

состояния. Но они существуют только как потенциальные возможности, а конкретная реализация той или иной альтернативы зависит уже от динамической части матрицы плотности.

\* Preskill J. Lecture Notes, <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph219/#lecture>, chapter 2, p. 29.

Если рассматривать кубит в качестве элементарного сознания, то его внутреннюю «ось мира», то есть матрицу плотности

$$r_1 = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix}, \quad (3.20)$$

можно назвать простейшей духовной монадой элементарного сознания, поскольку это «неуничтожимая» часть сознания.

Замечу, что ядром духовной структуры, монадой, может «наделить» только система, находящаяся в пространстве состояний большей размерности. Так, матрица плотности (3.20) получается, если мы берем частичный след [см. выражение (3.5)] по одной из подсистем максимально запутанного двусоставного чистого состояния (любого из четырех так называемых белловских состояний). Можно сказать, что подсистемы получают «дары Духа», набор своих допустимых состояний, от большей системы, частью которой они являются. Подсистемы «по образу и подобию» исходной системы наделяются допустимыми состояниями в пространстве состояний меньшей размерности.

Или, если сказать несколько иначе, матрица плотности (3.20) не является чистым состоянием, она не способна существовать в виде замкнутой системы, а может быть только частью большой системы, причем находиться с этой системой в нелокальном максимально запутанном состоянии.

Стоит отметить, что любое чистое состояние всегда имеет только одно ненулевое собственное значение, равное единице. Ни одна замкнутая система не может иметь других собственных значений, и единица здесь означает само существование системы как Единицы.

В этом отношении собственное значение, равное минус единице — нечто неприемлемое, «мерзкое» для системы. Это отрицание ее духовной сути, это посягательство на самое ценное — духовное ядро системы, на пространство ее возможных состояний. Да и не может замкнутая система, как единое целое, иметь отрицательное собственное значение — как было оно положительной Единицей, так и останется. А вот для структурных частей системы такая возможность появляется. Динамическая часть матрицы плотности (3.19), то есть матрица

$$r_2 = \begin{pmatrix} \cos q & \sin q \\ \sin q & -\cos q \end{pmatrix}, \quad (3.21)$$

характеризуется именно этим свойством, она имеет два собственных значения: +1 и -1.

Наличие двух собственных значений, одно из которых равно минус единице, означает, что матрица описывает состояние, которое имеет двойственную природу, единство и борьбу противоположностей, поскольку отрицательное собственное значение — это не просто что-то плохое, негативное, а абсолютная противоположность, несовместимость с исходным состоянием, его полное отрицание. Таким образом, по поводу сознания, о котором мы ведем речь, можно сказать, что формирование материальной оболочки системы сопровождается появлением двух нравственных начал, лежащих в основе тварного мира — добра и зла.

Что такое «зло», можно попытаться понять на более простом примере. Предположим, у нас есть чисто классическое стационарное состояние, описываемое вектором  $|\psi\rangle = |0\rangle$ . Ему соответствует матрица плотности

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

которая, как и все остальные, может быть представлена в виде суммы матрицы, пропорциональной единичной, и матрицы с нулевым следом:

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix} + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Одно из собственных значений второй матрицы, равное минус единице, «уничтожает» одно из допустимых состояний «ядра» системы. При этом как бы обедняется «душа» системы, часть ее — в данном случае половина — уничтожается, а вторая половина «огрубляется» до материального, «телесного», классического состояния. Если бы в последней матрице было два таких отрицательных собственных значения, то получился бы тождественный нуль, исходное состояние вообще перестало бы существовать, системы бы просто не было как таковой.

В матрице (3.21) собственные значения (+1 и -1) периодически меняются местами, то есть периодически «уничтожается» то или другое потенциальное состояние «ядра» системы, а второе — переходит в классическое «тварное» состояние.

### 3.9. Декогеренция на сфере Блоха

Сфера Блоха позволяет более наглядно представить, каким образом наш материальный мир оказывается «вложенным» во всеохватывающую квантовую реальность и то, как объясняет современная физика процесс возникновения классической реальности в результате декогеренции.

Войцех Зурек в своей статье\* иллюстрирует этот момент следующим образом (см. рис. 3 в статье и поясняющий текст).

\* Zurek W. H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, Rev. Mod. Phys. **75**, 715 (2003).  
В свободном доступе: <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0105127>.

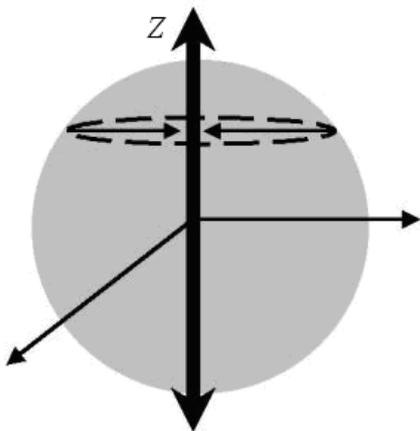


Рис. 3. Схематическое представление эффекта декогеренции на сфере Блоха (Fig. 3 из статьи В. Зурека)

Пусть наша система принимает два возможных значения (положения) — «вверх» и «вниз» вдоль вертикальной оси  $Z$ . Точки на этой оси в пределах сферы — совокупность классических состояний, которые могут быть проявлены в результате декогеренции. Это «классический домен», который составляет небольшую часть из всех возможных состояний системы. Вся остальная часть объема сферы Блоха — это квантовый домен.

Весь классический мир, со всей своей материей, веществом и физическими полями — всего лишь одна малюсенькая и совсем незначительная точка на оси  $Z$ . Все, что многие считают основой мироздания и единственно существующей объективной реальностью, в квантовой теории — всего лишь проекция, «бледная тень», падающая от вектора состояния на ось квантования при эволюции более сложной совокупной квантовой реальности, при повороте вектора состояния и его движении по поверхности сферы Блоха.

Точки на поверхности сферы соответствуют чистому состоянию (замкнутой системе). В этом случае, поскольку взаимодействия с окружением нет, конкретное положение точки будет определяться только внутренними характеристиками системы. И здесь возможны два качественно различных результата, соответствующих точкам полюса и остальным точкам сферы. Точки полюса — там, где вертикальная ось классического домена «протыкает» сферу Блоха, — две

единственные точки из всей совокупности точек сферы, которые соответствуют классическому состоянию системы, остальные точки отвечают квантовым состояниям.

Точки полюса — это чистые классические состояния. Если система находится в одном из этих состояний — значит, она не взаимодействует с окружением, несмотря на то что она классическая. Если рядом находится еще одна система в таком же состоянии, то совокупная система из этих двух уже подсистем будет сепарабельной (разделимой), и в любой момент ее можно без проблем разложить на две независимые части и рассматривать каждую из них по отдельности.

Замечу, что только для точек полюса есть классический локальный объект — во всех остальных случаях (для других точек сферы) физическая система как локальный объект не существует, это состояния чисто квантовые (информационные). Такие системы можно объединять с другими, находящимися в таком же состоянии, и опять совокупная система будет находиться в сепарабельном состоянии. Подсистемы, несмотря на то что они нелокальные, не будут запутываться друг с другом. Для этого необходимо наличие взаимодействия между ними, а подсистемы находятся в чистом состоянии (они замкнутые).

Из нелокальных чистых состояний можно выделить те, что соответствуют точкам экватора. Эти состояния в некотором отношении противоположны локальным состояниям «на полюсе». Чтобы немного прояснить этот момент, вспомним, что состояние замкнутой системы определяется ее внутренними процессами. И внутренняя эволюция любой многосоставной системы будет, по аналогии с простейшим случаем, соответствовать движению конечной точки вектора состояния по поверхности многомерной сферы. Для простоты можно положить, что точка движется вдоль меридиана — от одного полюса к другому, проходя через экватор. При этом на полюсах вся система в целом имеет определенное макросостояние («вверх» или «вниз»), которое постепенно «размывается изнутри». А на экваторе система приходит в состояние ни «вверх», ни «вниз» (вероятность обоих состояний одинакова, имеет место когерентная суперпозиция состояний), то есть все внутренние части системы находятся в максимально запутанном нелокальном состоянии. При приближении точки, например, к верхнему полюсу, система вновь начинает приобретать определенное макросостояние. Запутанность между ее подсистемами уменьшается, они постепенно локализуются (вероятность макросостояния «вниз» снижается), и на полюсе все подсистемы становятся замкнутыми, а система в целом переходит в макросостояние «вверх».

Это наглядное геометрическое представление способно пояснить такое понятие из индуизма, как «сутки Брахмы». Движение от полюса к экватору — Праляйя — это период растворения классической реальности (переход в нелокальное состояние). Манвантара — период проявления локальных объектов — движение от экватора к полюсу.

Мы рассмотрели случай замкнутой системы (чистого состояния), когда точка, соответствующая лучу двумерного гильбертова пространства, движется по поверхности сферы единичного радиуса в обычном Евклидовом пространстве.

Что будет происходить, когда открытая система взаимодействует с окружением? Открытая система описывается матрицей плотности, и наша точка «уходит» со сферы, смещаясь во внутреннюю часть шара. Насколько глубоко она зайдет «внутрь», зависит от интенсивности взаимодействия. Вместо сферы чистого состояния мы получаем некий эллипсоид — типа «кокона» или «яйца».

Вначале рассмотрим одиночный случай взаимодействия (измерения) с внешним классическим измерительным прибором (наблюдателем). В этом случае точка смещается в плоскости, перпендикулярной оси  $Z$  и оказывается на самой оси, попадая на классический домен (см. рис. 3). Классический прибор (наблюдатель) фиксирует одно из возможных значений («вверх» или «вниз») с соответствующей вероятностью в зависимости от того, где находилась точка, через которую проведена плоскость сечения. Это предельный случай декогеренции.

Данный пример дает возможность наглядно представить и более общий процесс декогеренции. Если внешний наблюдатель уже не классический (менее «плотный») и взаимодействует с меньшей интенсивностью, то наша точка не доходит до оси  $Z$  и остается в некотором промежуточном положении, которое зависит от интенсивности взаимодействия (плотности энергии «наблюдателя»). Чем слабее внешнее воздействие, тем меньше точка смещается к оси  $Z$  от первоначального ее положения на поверхности сферы.

Точнее говоря, точки при этом не остаются неподвижными — они вращаются вокруг оси  $Z$  с частотами, которые определяются разностью между собственными значениями гамильтониана взаимодействия.

Если внешних наблюдателей много (окружение), и они имеют различную «плотность» (различаются по энергии взаимодействия), то все они совместными усилиями в результате декогеренции смещают точку на разные расстояния. Все эти смещенные точки, вращаясь, «вырисовывают» на сфере Блоха диск. Это своеобразная «плоскость восприятия», в которой окружение «видит» данный объект, и, следовательно, сам объект «видит» окружение на соответствующем уровне энергии.

Таким образом, классический домен (вся наша классическая реальность) — это точки на оси  $Z$  на рисунке 3, то есть он составляет незначительную часть совокупной квантовой реальности (квантового домена). При этом любой проявленный (декогерированный) классический объект материального мира (точка на оси  $Z$ ) окружен квантовым ореолом или «квантовым гало», как результат частичной и неполной декогеренции. Чем дальше от оси, тем больше квантовая нелокальность, тем слабее «проявленность» объекта.

Зурек пишет, что строгий запрет на существование таких состояний снимается. Можно количественно измерять степень неклассичности состояний, определяя их расстояния от классического домена. Классические проявленные состояния будут тогда окружены «квантовым гало», и его необычные квантовые свойства (типа «шредингеровского кота») будут возрастать при удалении от оси  $Z$  к поверхности сферы.

По словам Зурека, такой простой пример декогеренции на сфере Блоха позволяет геометрически наглядно представить три основных момента декогеренции. На схеме можно увидеть:

- (i) классические чистые состояния (два состояния «вверх» и «вниз» в нашем случае) — точки полюсов;
- (ii) классический домен, состоящий из всех целевых состояний и их смесей, на рисунке это отрезок  $[-1, +1]$  на оси  $Z$ ;
- (iii) квантовый домен — остальная часть объема сферы Блоха, который соответствует матрицам плотности более общего вида.

Наглядное представление декомпозиции гильбертова пространства, вызываемой декогеренцией, возможно только в данном простом случае. Но и в общем случае, говорит Зурек, когда декогеренция ведет к классичности, это «проявление» имеет сходные черты, и ожидается выполнение пунктов, подобных пунктам (i)–(iii).

Теперь подытожим вышесказанное и попытаемся более четко сформулировать основные выводы, которые следуют из квантовой теории в отношении Реальности.

Понять, что происходит при эволюции Универсума, помогают общие фундаментальные принципы квантовой теории и простые геометрические модели типа сферы Блоха. Из условия изолированности Универсума сразу же следует вывод о его нелокальности и когерентном состоянии, отсюда и название — «нелокальный источник реальности». На сфере Блоха это видно наглядно — все точки на поверхности шара (то есть на сфере), которые соответствуют замкнутой системе, являются нелокальными состояниями (с разной мерой запутанности между внутренними составными частями системы — отсюда различные классические вероятности). Максимальная запутанность (полная внутренняя нелокальность) — это точки экватора на сфере Блоха.

Замкнутая система может быть полностью локальна только в двух точках на сфере — точках полюса, но в них система сепарабельна — взаимодействия между ее подсистемами нет. Таким образом, если есть взаимодействие между составными частями замкнутой системы — она всегда будет нелокальна, а ее подсистемы будут квантово запутаны между собой. Этот вывод в той или иной формулировке часто встречается в научных публикациях, и ранее я приводил соответствующие цитаты (см. главу 2, раздел 2.5): в случае чистых состояний любые корреляции являются квантовыми — и это строгий результат, следующий из основ квантовой теории. Такое состояние Универсума я иногда называю ЧЗСУ (чистое запутанное состояние Универсума).

Весь Мир в своей совокупности (ЧЗСУ) нелокален — это Пустота, его количественную характеристику можно описать только в терминах квантовой информации (кроме нее, в этом состоянии ничего нет). Никакие физические величины здесь не помогут: в данном состоянии нет ни частиц, ни физических полей и т. д. Пустота здесь своеобразная — это не вакуум, или пустое

место, которое занимает некоторый объем. Нет самого объема, нет даже пространства-времени как неких внешних, якобы абсолютных категорий Бытия. Все эти привычные для нас физические представления существуют только в классическом домене (на оси  $Z$ ) и имеют смысл лишь с точки зрения подсистем, взаимодействие которых сопровождается декогеренцией. Причем классическая реальность и материальный мир могут полностью «раствориться». Если вектор состояния Универсума находится на экваторе сферы Блоха, то он проецируется в нуль, в точку начала координат. Это значит, что в этом состоянии материального мира вообще не существует — есть одна только «первичная информация». При движении вектора от экватора к полюсу классический мир возникает как бы «из ничего» — для классических объектов это будет выглядеть, как переход через точку сингулярности, они возникают «из небытия».

Квантовая теория красиво решает проблему «запредельных» состояний Вселенной в известной концепции Большого Взрыва, когда встает вопрос о том, что же было с материей до этого момента. Над ним давно ломают голову классические физики, пытающиеся представить, что было с реальностью до начала Большого Взрыва, в досингулярном состоянии Вселенной. В квантовой теории такого вопроса не возникает — никаких «досингулярных» состояний просто нет, эволюция вектора состояния Универсума непрерывна. Я бы сказал, что ЧЗСУ — это состояние надсингулярное. Сингулярности возможны для подсистем: например, возникновение классической реальности будет являться сингулярностью с точки зрения классических тел, но для ЧЗСУ это будет лишь небольшое «шевеление» амплитуд в его векторе состояния.

Простой пример — двусоставная система (две подсистемы  $A$  и  $B$ ). Если взять ее вектор состояния в самом общем виде  $|\Psi\rangle = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$  с обычным условием нормировки для амплитуд  $|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 = 1$ , то непрерывное изменение этих амплитуд (для наглядности их можно задать тригонометрическими функциями) будет приводить к сингулярностям с точки зрения подсистем. Подсистемы  $A$  и  $B$  будут периодически проявляться при взаимной декогеренции в локальном виде (как бы появляются объекты классической реальности) и «исчезать» (рекогеренция) в нелокальном состоянии. Когда одна из амплитуд равна единице (остальные нули), подсистемы будут иметь максимальную проявленность и не будут зависеть друг от друга. Затем они снова «растворяются» в нелокальном состоянии и полностью перестают существовать в виде локальных элементов, например, когда  $a = d = 1/\sqrt{2}$  ( $b = c = 0$ ) и квантовая запутанность при этом максимальна.

Как показал Вуттерс\*, в такой системе запутанность между подсистемами  $A$  и  $B$  отлична от нуля в любом случае, если нарушается равенство  $ad = bc$  и мера квантовой запутанности (в терминах *concurrence*, введенной, как я уже говорил, самим Вуттерсом, и сейчас наиболее широко используемой) равна  $C = 2|ad - bc|$ .

\* Wootters W. K. Contemporary Mathematics 305, 299, (2002). В свободном доступе: <http://ru.arxiv.org/abs/quant-ph/0001114>.

В тот момент, когда подсистемы начинают локализовываться, то есть проявляются из нелокального состояния, для них это выглядит как переход через точку сингулярности, поскольку они возникают «из ничего». Для них это что-то типа «большого взрыва», нечто запредельное — если на ситуацию будет смотреть одна из подсистем и примется рассуждать, откуда она появилась в своем плотном состоянии. Подсистема никогда не сможет объяснить, откуда взялось ее локальное тварное тело и материальная оболочка, если она ничего не знает о наличии исходного нелокального состояния.

Примерно то же самое происходит в случае эволюции любой многосоставной системы, а также и самой большой из всех возможных систем — нелокального источника реальности.

Я бы еще сказал так: ЧЗСУ — источник всего сущего — при этом трансцендентен (запределен, потусторонен) для всего классического мира. Маленький (по размерности) вектор состояния классической реальности не имеет никакой возможности непосредственно «увидеть» большой вектор состояния ЧЗСУ — для классической реальности он трансцендентен. Более правильно говорить только о редуцированной матрице плотности классического домена. У него есть только одна возможность «почувствовать» существование ЧЗСУ — за счет наличия нелокальных квантовых корреляций, охватывающих все подсистемы.

Один из самых главных выводов, который следует из космологической концепции теории декогеренции, я бы сформулировал следующим образом: классический домен и весь наш материальный мир составляет незначительную часть объективной Реальности. Он как бы

«погружен» во всеобъемлющий Квантовый Мир и «укутан» последовательными слоями все более тонких уровней с возрастающей мерой квантовой запутанности.

## Глава 4

# Квантовые компьютеры. Практическая реализация

### 4.1. Квантовый процессор

Теперь, когда вы достаточно хорошо представляете себе, что такое кубиты, рассмотрим, каким же образом они реализуются в физических системах и, прежде всего, в качестве ячеек памяти (регистров) квантового компьютера. В этом разделе я сделаю краткий обзор научных публикаций, касающихся практической реализации квантового компьютера, и приведу мнение ученых насчет того, когда же можно ожидать его воплощения «в железе», и когда будет налажено его коммерческое производство.

Основные работы над аппаратным обеспечением (hardware) квантового компьютера продвигаются в следующих направлениях:

- создание квантового процессора;
- создание устройств для хранения квантовой информации (квантовая память);
- разработка квантовой шины для обмена информацией.

Сразу стоит отметить, что это лишь аналоги соответствующих устройств классического компьютера, которые будут существенно от них отличаться.

Наибольшие усилия и средства в настоящее время направлены на решение первого вопроса, и здесь достигнуты значительные успехи. При разработке квантового процессора необходимо, прежде всего, выбрать физическую систему, физическую основу процессора, которая бы отвечала следующим требованиям.

- Физическая система, представляющая собой квантовый процессор, должна содержать достаточно большое число  $N > 100$  хорошо различаемых кубитов для выполнения соответствующих квантовых операций.

- Необходимо обеспечить условие для приготовления входного регистра в исходном основном базисном состоянии. То есть должна существовать достаточно легко реализуемая возможность инициализации (зануления) регистра и перевода кубитов в чистое состояние. Точнее, в псевдопустое, поскольку, как нам уже известно, никто пока не знает, как реализовать чистое состояние. Вполне вероятно, что здесь работает гипотеза об определяющей роли градиента энергии, реализуемого в системе (более подробно об этом см. в главе 5). Кстати, частный случай этого общего принципа как раз и используется в настоящее время и считается пока наилучшим — это метод Кори (предложен в 1996–1997 годы). Другие его названия — метод пространственного усреднения и метод градиентного поля.

- Необходимо ограничить процесс декогеренции квантовых состояний, обусловленный взаимодействием системы кубитов с окружающей средой, что приводит к разрушению суперпозиций квантовых состояний и делает невозможным выполнение квантовых алгоритмов. Время декогеренции должно, по крайней мере, в  $10^4$  раз превышать время выполнения основных квантовых операций (время такта). Для этого система кубитов должна достаточно слабо взаимодействовать с окружением.

- Необходимо обеспечить за время такта выполнение требуемой совокупности квантовых логических операций, определяющей унитарное преобразование. Дело в том, что любую математическую операцию, как арифметическую (сложение, вычитание, умножение, деление и т. д.), так и логическую («и», «или» и т. д.), можно свести к ограниченному числу логических операций. Из них основные всего лишь три: операция CNOT (контролируемое НЕ, Controlled NOT, аналог исключаящего ИЛИ в классических компьютерах) — это двухкубитная операция, а также две однокубитные операции — операция НЕ и преобразование Адамара (см. предыдущую главу, выражение 3.13). Умея выполнять эти операции над кубитами, можно реализовать любую программу для квантового компьютера.

- Необходимо уметь воздействовать на каждый кубит по отдельности, а также иметь возможность измерить состояния квантовой системы на выходе, то есть при выводе результата. Одним словом, выбор физической основы квантового процессора должен быть согласован с достаточно простым устройством ввода-вывода информации.

В настоящее время ведутся работы над следующими основными вариантами физической основы (элементной базы) квантового процессора.

- Использование в качестве квантового процессора *пробирки с органической жидкостью*, где кубитами являются ядра отдельных атомов со спинами  $1/2$ , связанные косвенными спин-спиновыми взаимодействиями. Органическая жидкость в пробирке ведет себя как одна молекула этого вещества, точнее, все молекулы ведут себя одинаково в тех взаимодействиях, которые нам необходимы. Таким образом появляется возможность применить к макроскопическим объемам жидкости отработанные методики и техники ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Индивидуальное обращение к отдельным кубитам заменяется одновременным обращением к соответствующим кубитам одновременно во всех молекулах большого ансамбля. Логические операции над кубитами (с помощью радиочастотных импульсов) и вывод результата осуществляется стандартными методами ЯМР. Компьютер такого рода получил название ансамблевого (bulk-ensemble quantum computer) квантового компьютера. Он может работать и при комнатной температуре. Время декогеренции квантовых состояний ядерных спинов в жидкости достаточно велико и может составлять несколько секунд. Именно при использовании этой элементной базы в настоящее время достигнут самый значительный успех в практической реализации квантовых вычислений. Лидером здесь является группа Исаака Чуанга. В 1998 году впервые в мире ею создан 2-кубитный квантовый компьютер; в 1999 году — 3-кубитный, который с использованием алгоритма Гровера совершал поиск в базе данных; в 2000 году — 5-кубитный. Последнее достижение этой группы — 7-кубитный квантовый компьютер\*. 7 кубитов оказалось достаточно, чтобы на практике осуществить реализацию квантового алгоритма П. Шора по разложению на простые множители числа 15, были получены 3 и 5.

\* *Vandersypen L. M. K., Steffen M., Breyta G., Yannoni C. S., Sherwood M. H., Chuang I. L.* Nature **414**, 883 (2001).

Как выглядит такой компьютер можно посмотреть на сайте IBM Research:

<http://domino.research.ibm.com/comm/pr.nsf/pages/rsc.quantum.html>.

На первый взгляд, достижения скромные, однако не стоит забывать, что  $N$  кубитов заменяет  $2^N$  обычных битов, то есть зависимость здесь экспоненциальная — добавление одного кубита увеличивает возможности квантового компьютера в два раза. Если 7 кубитов — это всего лишь 128 классических битов, то, например, 30 кубитов — уже  $10^9$  классических единиц информации, а 100 кубитов заменят  $10^{30}$  обычных битов — просто гигантское число. На сайте Los Alamos National Laboratory (LANL)\* можно прочитать, что 30-кубитный квантовый компьютер был бы, по грубым прикидкам, эквивалентен обычному компьютеру, выполняющему 10 триллионов операций в секунду. Такое быстрое действие сопоставимо с производительностью самых мощных суперкомпьютеров, состоящих из тысяч процессоров.

\* <http://www.lanl.gov/news/releases/archive/00-041.shtml>.

Однако, несмотря на все преимущества квантового процессора в «пробирке», его потенциал практически исчерпан, поскольку измеряемый на выходе сигнал экспоненциально убывает с ростом числа кубитов. Оценки показывают, что предельным значением, когда еще можно что-то измерить, является 10–13 кубитов. Но, кроме этого технического, существуют и чисто физические ограничения. Дело в том, что косвенные спин-спиновые взаимодействия, необходимые для организации основных логических операций, сами по себе очень слабые. В результате время выполнения логических операций оказывается чрезвычайно большим, а создаваемый компьютер имеет небольшое быстроедействие. В этом случае более перспективными оказываются твердотельные квантовые компьютеры на основе ЯМР, поскольку диполь-дипольные взаимодействия ядерных спинов в несколько тысяч раз превосходят косвенные спин-спиновые взаимодействия. Мы рассмотрим этот случай чуть ниже. А пока назовем другие экспериментальные реализации квантового компьютера.

- Использование в качестве кубитов уровней энергии ионов, захваченных *ионными ловушками*, создаваемыми в вакууме определенной конфигурацией электрического поля в условиях их лазерного охлаждения до микрокельвиновых температур. Взаимодействие между заряженными ионами в одномерной цепочке этих ловушек осуществляется посредством возбуждения их коллективного движения, а индивидуальное управление ими — с помощью лазеров инфракрасного диапазона. Первый прототип квантового компьютера, соответствующий этим принципам, был предложен австрийскими физиками И. Цираком и П. Цоллером в 1995 году. В настоящее время интенсивные экспериментальные работы ведутся в LANL и в Национальном Институте стандартов и технологии (National Institute of Standards and Technology — NIST) в США. Преимущество такого подхода заключается в сравнительно простом индивидуальном управлении отдельными кубитами. Основными же недостатками этого типа квантовых компьютеров являются необходимость создания сверхнизких температур, обеспечение устойчивости состояний ионов в цепочке, а также ограниченность возможного числа кубитов значением  $N < 40$ . На сегодняшний день установлен практически полный контроль над квантовым состоянием единичного иона в ловушке, и внимание экспериментаторов переключилось на системы из нескольких ионов с хорошо контролируруемыми взаимодействиями между ними. Действие квантовых логических схем основано в данном случае на квантовой запутанности внутренних степеней свободы ионов (электронные возбуждения) и коллективного движения (колебательного возбуждения) запертых в ловушке ионов.

- Использование в качестве кубитов *зарядовых состояний куперовских пар* в квантовых точках\*, связанных переходами Джозефсона, предложенное Д. В. Авериным в 1998 году. Первый твердотельный кубит на основе этих принципов был создан в NEC Fund. Res. Lab. в Японии в 1999 году. Предполагается, что перспективность этого направления заключается в возможности создавать электронные квантовые устройства высокой степени интеграции на одном кристалле, при этом для управления кубитами не потребуются громоздкие лазерные или ЯМР-установки. Однако создание квантовых компьютеров по-прежнему сопряжено со многими трудностями — не решенным остается ряд важных проблем, в частности, устойчивости состояний кубитов и декогеренции.

\* Что такое «квантовые точки», можно прочитать на сайте Scientific.ru:

<http://www.scientific.ru/journal/news/0203/n120203.html>.

- В 2002 году появилось сообщение\*, что исследователи из Висконсинского Университета в Мадисоне создали первую в мире симуляцию архитектуры квантового компьютера, применив кремниевую технологию изготовления. Эта архитектура, в которой используется горизонтальное и вертикальное туннелирование через двойные верхние и нижние ворота, занимает на чипе 50 кв. нанометров. Группа исследователей пришла к выводу, что современное оборудование для кремниевого производства пригодно и для производства квантовых чипов, хотя они пока работают со скоростью 1 МГц из-за больших требований к импульсному генератору. В качестве квантового бита были выбраны направления спина электрона 1 — вверх, 0 — вниз. В ходе эксперимента проведены простейшие вычисления, для чего было объединено несколько квантовых точек. Однако для того, чтобы производить действительно «полезные» вычисления, в компьютер понадобится добавить еще около 1 миллиона квантовых точек.

\* <http://www.cnews.ru/newtop/index.shtml?2002/08/07/134303>.

Подробное описание (со схемами, рисунками и пояснениями) некоторых наиболее ярких экспериментальных работ, опубликованных в Nature и других ведущих журналах, можно прочитать на русском языке на сайте Scientific.ru:

Schrader D., Dotsenko I., Khudaverdyan M., Miroshnichenko Y., Rauschenbeutel A., and Meschede D., Phys. Rev. Lett. **93**, 150501 (2004),

<http://www.scientific.ru/journal/news/1004/n211004.html>;

Achermann M., Petruska M. A., Kos S., Smith D. L., Koleske D. D., Klimov V. I., Nature **429**, 642 (2004), <http://www.scientific.ru/journal/news/0804/n260804.html>;

Elzerman J. M., Hanson R., Willems van Beveren L. H., Witkamp B., Vandersypen L. M. K., Kouwenhoven L. P., Nature, **431**, 431 (2004), <http://www.scientific.ru/journal/news/0904/n030904.html>.

В начале 2005 года в журнале «Успехи физических наук» (УФН) была опубликована большая обзорная статья академика К. А. Валиева «Квантовые компьютеры и квантовые вычисления», УФН **175** (1), 3 (2005), в которой упоминаются следующие основные направления реализации квантовых вычислений (помимо ЯМР):

1. На ионах в одномерном ионном кристалле в ловушке Пауля.
2. В полупроводниковых кристаллах бесспинового моноизотопного кристалла кремния  $^{28}\text{Si}$ , в котором атомы фосфора  $^{31}\text{P}$  (кубиты) расположены в линейной цепочке (модель Кейна). Темп развития этого направления, признаваемого всеми весьма перспективным, определяется темпом нанотехнологических разработок, необходимых для создания структур с нужными параметрами.
3. Кубиты на электронах в полупроводниковых квантовых точках. В качестве кубитов исследуются орбитальные или спиновые состояния одиночного электрона в квантовой точке.
4. Кубиты на сверхпроводниковых мезоструктурах. Здесь существуют два варианта: в первом — квантовая информация кодируется числом сверхпроводящих пар в квантовой точке, во втором — направлением сверхпроводящего тока в скивде.
5. На одиночных атомах в микрорезонаторах. Двухуровневая система (атом-кубит), связанная с осциллятором-фотоном в одной из мод колебаний резонатора. Этот метод предполагается использовать при разработке способов транспортировки атомных и фотонных кубитов, а также при передаче квантовой информации от атомных кубитов к фотонным и обратно (атом-фотонный квантовый интерфейс).
6. С помощью линейных оптических элементов (оптический квантовый компьютер).

Все эти методы в той или иной мере уже реализованы экспериментально.

Есть также ряд перспективных идей:

1. Двумерный электронный кристалл в потенциальной ловушке (яме) вблизи поверхности жидкого гелия.
2. Двумерная решетка атомов в оптической ловушке, образованной стоячей волной интерферирующих лазерных пучков.
3. Анионы в двумерном электронном газе в полупроводниках в условиях дробного квантового эффекта Холла.
4. Квантовые клеточные автоматы в ферромагнитных (антиферромагнитных) структурах в кристаллах.

К наиболее существенным достижениям последнего времени можно отнести результаты двух экспериментальных работ в этой области, одновременно опубликованные в Nature (1 декабря 2005 года)\*. Двум конкурирующим командам физиков из США и Австрии почти одновременно удалось запутать рекордное число индивидуальных частиц. Дитрих Лейбфрид с коллегами из NIST в Колорадо запутали 6 ионов бериллия, в то время как Гартмут Хеффнер с сотрудниками из университета Инсбрука — 8 ионов кальция.

\* Leibfried D. et al., Creation of a six-atom “Schrodinger cat” state, Nature **438**, 639–642 (2005); Häffner H. et al., Scalable multiparticle entanglement of trapped ions, Nature **438**, 643–646 (2005).

В первой статье сообщается о реализации *cat*-состояния четырех-, пяти- и шестиатомных кубитов. Пространство состояний каждого кубита определено двумя сверхтонкими основными состояниями иона бериллия. *Cat*-состояние соответствует запутанной равновесной суперпозиции всех атомов в одном сверхтонком состоянии и одновременно всех атомов в другом сверхтонком состоянии. Это состояние типа  $1/\sqrt{2}(|000000\rangle + |111111\rangle)$ . Для наглядности это можно представить так, что все ионы вращаются одновременно и по часовой стрелке, и против нее. В этих экспериментах *cat*-состояния приготавливались в процессе трех последовательных шагов независимо от числа запутанных атомов.

Во второй статье речь идет об экспериментальной реализации четырех-, пяти-, шести-, семи- и восьми запутанных частиц в состоянии типа  $W$  в ионных ловушках. Авторы демонстрируют, как получить максимально возможную информацию об этих состояниях, выполняя полное определение параметров посредством так называемой томографии состояния\*, используя индивидуальный контроль и детектирование ионов. Детальный анализ подтверждает, что запутанность является подлинной. Возможность приготовления таких многочастичных запутанных состояний вместе с полной информацией в форме матрицы плотности создает испытательный полигон для более глубоких теоретических исследований многочастичной запутанности.

\* См., например, White A. G., James D. F. V., Eberhard Ph. H. and Kwiat P. G. Phys. Rev. Lett. **83**, 3103 (1999); James D. F. V., Kwiat P. G., Munro W. J. and White A. G. Phys. Rev. A **64**, 052312 (2001), в свободном доступе: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0103121>; Thew R. T., Nemoto K., White A. G., Munro W. J. Phys. Rev. A **66**, 012303 (2002), в свободном доступе: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0201052>.

Интересно, что в обеих статьях речь идет о реализации двух различных типов максимально запутанного состояния. Если в первой говорится о  $cat$ -состояниях, частным случаем которых являются хорошо известные ГХЦ-состояния ( $GHZ$  — Greenberger-Horne-Zeilinger\*) для трех частиц, то во второй работе — о так называемых  $W$ -состояниях. Это суперпозиционное состояние типа  $|00\dots01\rangle + |00\dots10\rangle + \dots + |01\dots00\rangle + |10\dots00\rangle$  с равными весами, то есть когда есть одна единица, а все остальные — нули, либо симметричное ему состояние: один нуль, остальные — единички. Мне встречалась версия, согласно которой свое название « $W$ -состояния» они получили по имени Wolfgang (W. Dür), это обозначение было введено в статье\*\*.

\* Greenberger D. M., Horne M. A., and Zeilinger A., in *Bell's Theorem, Quantum Theory, and Conceptions of the Universe*, edited by M. Kafatos (Kluwer, Dordrecht, 1989). P. 69.

\*\* Dür W., Vidal G. and Cirac J. I. Phys. Rev. A **62**, 062314, (2000).

Состояния  $cat$ - и  $W$ -типа являются основными классами состояний, на которых отрабатываются теоретические методы анализа квантовой запутанности. Их характеристики хорошо изучены, и основное различие между ними состоит в том, что  $cat$ -состояния более чувствительны к таким внешним манипуляциям, как измерение. Например, в случае ГХЦ-состояния (трехчастичное  $cat$ -состояние), если удалить любую из трех подсистем, то оставшиеся две будут не запутаны, классически коррелированы. Другими словами, парные корреляции — классические, но в то же время корреляции одной частицы с двумя другими — чисто квантовые, и, как целое, это состояние максимально запутанное. Таким образом,  $cat$ -состояние (произвольной размерности) служит примером максимально запутанного, когда вся большая система находится в нелокальном состоянии, но на уровне подсистем (в пространствах состояний меньшей размерности) существуют локальные объекты. Шредингеровские коты вовсе не обязаны быть на уровне подсистем, там можно найти и вполне обычных «котов», несмотря на то что исходная система, «самый большой кот» — шредингеровский. Глядя «изнутри»  $cat$ -состояния, когда одна подсистема «смотрит» на своих соседей, она будет видеть каждого из них по отдельности в виде локальных объектов.

Когерентность на уровне замкнутой системы вовсе не означает полную когерентность на уровне подсистем — там могут быть самые различные ситуации, в том числе сепарабельные состояния в различных сочетаниях.

Другой класс —  $W$ -состояния, основная особенность которых в том, что при удалении одной частицы запутанность между другими сохраняется, не разрушается. В этом их отличие от  $cat$ -состояний.

Таким образом, экспериментаторы научились не просто приготавливать многочастичные запутанные состояния, но и реализовать тот или иной тип запутанности в системе. Различные классы запутанных состояний предполагается использовать в зависимости от их особенностей. Авторы первой статьи, сумевшие получить 6-частичное  $cat$ -состояние, говорят о том, что их метод можно использовать, например, в квантовой криптографии, где нужна большая чувствительность — при попытке «подслушать» квантовый канал связи запутанность должна тут

же разрушаться. Авторы второй статьи, реализовавшие 8-частичное  $W$ -состояние, предполагают, что состояния такого типа больше подходят для квантовых вычислений.

А теперь в качестве небольшого отступления рассмотрим известную топологическую структуру, которая называется «кольца Борромео», что поможет вам более наглядно представить, что такое ГХЦ-состояние. Это три кольца (рис. 4), попарно не сцепленные, но в совокупной целостности разъединить их не удастся. Кольца соединены таким способом, при котором любые два кольца скрепляются посредством третьего. Такие кольца были изображены на фамильном гербе знаменитого в эпоху Возрождения итальянского семейства Борромео, откуда они и получили свое название.

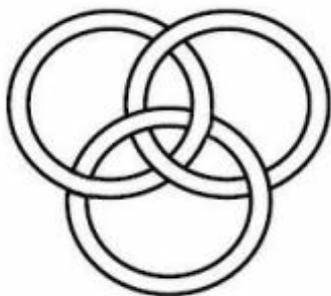


Рис. 4. Кольца Борромео

Если подразумевать под кольцами физические подсистемы, то их характерной особенностью является то, что если одно кольцо убрать, то два оставшихся не будут связаны квантовыми корреляциями. Они станут сепарабельными (разделимыми), то есть их запутанность распадается с удалением любого кольца. В этом — их полная аналогия с ГХЦ-состояниями. Эта особенность была замечена практически сразу, как только были проанализированы запутанные состояний ГХЦ-типа, и П. К. Аравинд инициировал новое направление по изучению топологии запутанности, опубликовав в 1997 году статью «Борромео запутанность ГХЦ-состояний»\*. Данное направление сейчас активно развивается, что подтверждается некоторыми интересными публикациями\*\*.

\* Aravind P. K., Borromean entanglement of the GHZ state, *Quantum Potentiality, Entanglement and Passion-at-a-Distance: Essays for Abner Shimony*, eds. R. S. Cohen, M. Horne and J. Stachel, Kluwer, Dordrecht, 1997. P. 53–59.

\*\* Kauffman L. H. and Lomonaco S. J. Quantum entanglement and topological entanglement, *New J. Physics* **4**. P. 73.1–73.18 (2002).

Кольца Борромео как топологическая структура используются в качестве символа христианской Троицы. Ранее нередко встречались такие символы, как равносторонний треугольник, круг и некоторые другие, но сейчас все чаще Троицу изображают в виде колец Борромео. Одним из самых ранних источников, где было приведено такое символическое изображение Пресвятой Троицы, считается рукопись тринадцатого столетия, которая хранилась в муниципальной библиотеке г. Шартр (Chartres) во Франции. К сожалению, рукопись погибла в огне в 1944 году. Копия рисунка из этой рукописи (рис. 5.) воспроизведена из «Христианской иконографии»\* наряду с описанием трех других диаграмм (рис. 6).

\* Didron M. and Didron A. N., *Christian Iconography, or the History of Christian Art in the Middle Ages*, George Bell and Sons, London, 1886. Источник: <http://www.liv.ac.uk/~spmr02/rings/trinity.html>.

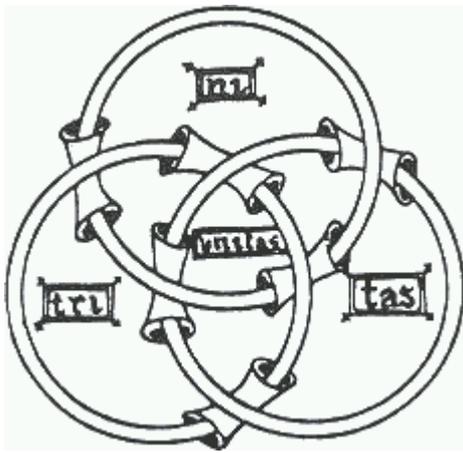


Рис. 5. Символическое изображение Пресвятой Троицы. Надпись в центре «unitas» — один (единение, единство). Три слога «tri-ni-tas» — три (трое), распределены во внешних секторах

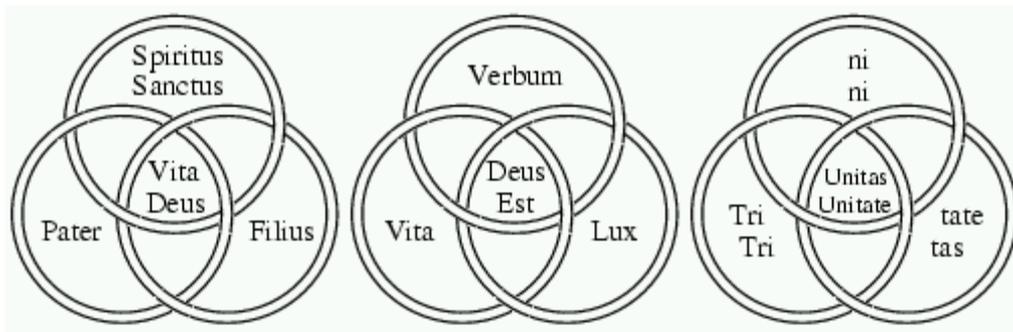


Рис. 6. Другие варианты надписей:

- а) Бог есть Жизнь (Vita Deus), окруженная Отцом (Pater), Сыном (Filius) и Духом Святым (Spiritus Sanctus);
- б) Deus Est — Бог есть, является: Словом (Verbum), Светом (Lux) и Жизнью (Vita);
- в) на последней диаграмме фразы: «Trinitas Unitate» (Три в Одним) и «Unitas Trinitate» (Один в Трех)

Ближе к магии древний скандинавский символ, который имеет точно такую же топологию, как и кольца Боррмео, — это треугольники Одина (рис. 7.).



Рис. 7. Треугольники Одина (Валькнут)

В рунической магии он называется Валькнут. Переплетение трех треугольников ГХЦ-типа — это символ Одина и связанной с ним магии, символ переходов (мостов) между мирами. Валькнут часто встречается при археологических раскопках на древних рунических камнях (как правило, поминальных) рядом с изображениями Одина или павших воинов (рис. 8.). Его иногда так и называют — Узел Павших или Узел Избранных. Три переплетенных треугольника символизируют три мира: мир богов (Асгард), мир людей (Мидгард) и мир мертвых (Хель). Как говорит А. Платов\*: «Три мира переплетены в этом символе Отца Магии; следует видеть в этом

знак того, что маг черпает Силу и мудрость из всех трех миров, взаимопроникающих и пересекающихся чаще, чем об этом думают. Валькнут — своего рода Северная Мандала... Созерцание такого глубокого магического символа, как Валькнут, и размышление о его сути — возможно, это одна из тех многих тропок, что могут вести к самотрансформации...»

\* Платов А., Дарт А. ван. Практический курс рунического искусства. К.: София, 2000.

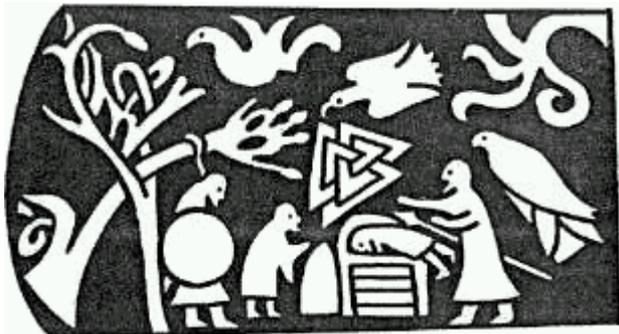


Рис. 8. Изображение Валькнута на одном из скандинавских поминальных камней (рис. с сайта <http://www.liv.ac.uk/~smp02/rings/vikings.html>).

Как нам уже известно, описание в терминах вектора состояния — полное, поэтому можно утверждать, что модель трехкубитной Вселенной способна полностью описать (количественно!) руническую магию Одина. Чтобы получить что-то новое, мы можем расширять модель, рассматривать четырех-, пяти- и т. д. кубитные модели. Если не просто созерцать этот «глубокий магический символ» и размышлять о его сути, как пишет А. Платов, но еще и уметь количественно его описывать, то это будет не просто путь к самотрансформации, а нечто несоизмеримо большее.

В рунической магии пытаются использовать некий примитивный аналог количественного описания. Рассматривают 8 положений Валькнута (замечу, что для трехсоставной системы полный базис состоит как раз из 8 собственных состояний —  $2^3 = 8$ ), круг из 24 рун — и каждому положению Валькнута соответствует свой набор рун, управляющих перераспределением энергии между мирами (градиентами энергии). По сравнению с этим, количественное описание в трехкубитной модели будет полным, охватывающим все ситуации, хотя какие-то подсказки из рунической магии или сопоставления с ней здесь могут быть интересны.

Руны, расположенные по кругу, образуют рунический круг, и, согласно древней скандинавской традиции, эволюция Мира происходит циклически. Исходной является руна Феху как предшественница всего тварного (нелокальный источник реальности), как творческий замысел, содержащий опыт (квантовую информацию), накопленный в предыдущих циклах. Далее идет руна Уруз как сила (градиент энергии), способная воплотить замысел и оформить его в виде локальных структур. Следующая Турисаз — руна, организующая и направляющая слепую «силу быка» предыдущей руны в нужное русло... и т. д. по руническому кругу до Дагаз. Руна Дагаз — плодотворное завершение тварного периода существования локальных форм с сохранением опыта для последующих циклов. После этого снова следует руна Феху как конец и начало следующего периода. Считается, что такие рунические циклы характерны как для глобальных процессов во Вселенной, так и для незначительных локальных. Обычно руне Феху ставят в соответствие 1-ю и 64-ю гексаграммы из «Книги Перемен», другим рунам тоже соответствуют свои гексаграммы. Замечу, что описание в терминах гексаграмм ближе к квантовомеханическому описанию, поскольку матрица плотности трехсоставной системы содержит как раз 64 элемента — столько же, сколько гексаграмм.

Заметны параллели и с другими традициями, в частности, с восточными (см. об Инь/Ян в предыдущей главе), которые аналогично описывают эволюцию Вселенной. И здесь опять динамику Универсума можно свести к однокубитной модели, поскольку ГХЦ-состояния (треугольники Одина) и их обобщение — *cat*-состояния произвольной размерности, имеют всего два основных базисных состояния и описываются эволюцией однокубитного вектора состояния при его движении по сфере Блоха.

Я просмотрел в Интернете несколько русскоязычных ресурсов по рунам, и меня несколько удивило то обстоятельство, что все, кто занимается рунической магией, не видят главной топологической особенности Валькнута, этого основного символа Одина — скандинавского «отца магии». Упоминание о треугольниках Одина, как о примере ГХЦ-состояний (наряду с кольцами Борромео), я прочитал в физической статье. Именно физики обращают внимание магов на их основополагающие символы и поясняют, в чем заключается их основная «сила» — в суперпозиционных состояниях и нелокальных квантовых корреляциях.

Никто из рунических магов почему-то не комментирует и не обсуждает особый вид переплетения треугольников на изображении Валькнута. Треугольники попарно не сцеплены, не соединены, как, например, мир богов и наш срединный мир, но тем не менее расцепить их невозможно — они составляют единое целое. Это означает, что все связи между тремя мирами осуществляются не через некие мифические, непонятные «перемычки» или «мосты», а только посредством нелокальных квантовых корреляций. И эти нелокальные корреляции легко объясняются и описываются на простых моделях в квантовой теории. Думаю, последователи рунической магии открыли бы для себя много новых удивительных практик, если бы немного познакомились с физикой квантовой информации. Впрочем, это относится и ко всем другим «магиям» и эзотерическим практикам. Все последствия перехода от мифов и сказок к количественному описанию магических практик я не могу себе представить. Могу только сказать, что эти последствия будут очень значительными, может быть, просто катастрофическими, а может, наоборот, спасительными...

Однако пора уже вернуться «к нашим баранам» и продолжить разговор о физической реализации запутанных состояний.

В середине 2005 года в журнале «Physical Review Letters» была опубликована статья об экспериментальной реализации многофотонной запутанности оптическими методами\*.

\* O'Sullivan-Hale M. N., Ali Khan I., Boyd R. W. and Howell J. C. Phys. Rev. Lett. **94** 220501 (2005).

Сотрудники Университета Рочестера (США) продемонстрировали простой экспериментальный метод создания запутанных кубитов. Используя поперечный импульс и запутанность положения фотонов, испускаемых в процессе спонтанного параметрического преобразования (частоты) вниз (SPDC — spontaneous parametric down-conversion)\*, авторы получили запутанность между дискретными областями пространства, то есть пикселями. Каждый фотон отображался на 6 пикселей — каждый пиксель представлял один уровень состояния кубита. Этот метод легко обобщить для создания запутанных состояний более высокой размерности. Таким образом, возможна реализация процесса квантовой обработки информации в системах произвольно высокой размерности.

\* В русскоязычной литературе этот процесс известен под названием «спонтанное параметрическое рассеяние (СПР) света». См., например: Клышко Д. Н. Фотоны и нелинейная оптика. М: Наука, 1980. Применительно к запутанным состояниям см.: Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. М.: Постмаркет, 2002. С. 80.

В этом эксперименте ультрафиолетовый лазерный луч направлялся на кристалл с нелинейными оптическими свойствами ( $\beta$ -борат бария), который спонтанно расщепляет ультрафиолетовый фотон на пару запутанных инфракрасных фотонов. Рочестерская команда фактически запутывает импульсы фотонов, это означает, что их положения в реальном месте (координаты), как показывает детектор, также запутаны.

Эти исследования демонстрируют, что фотоны могут занять любой из шести импульсов или пикселей (положений состояния). Хотя запутанные кубиты к настоящему времени получают самыми различными способами, авторы утверждают, что их метод привлекателен из-за сравнительной простоты в реализации. Как сказал руководитель группы сотрудникам редакции «PhysicsWeb»\*: «Мы работаем с простой, имеющейся в наличии оптикой, без потребности в голограммах или интерференционной стабильности, как в предыдущих экспериментах». Теперь команда планирует продемонстрировать запутанность пикселей в квантово-криптографических системах. «Мы также хотели бы использовать наши идеи, чтобы создать высокоразмерные

запутанные состояния, используя другие переменные, типа энергии и времени», — добавляет О'Салливан-Хэйл.

\* <http://physicsweb.org/articles/news/9/6/11>.

Лабораторные эксперименты в области квантового компьютеринга все ближе подходят к реальным технологиям. Группа исследователей компании Хитачи, работающая в Кембриджском университете в Великобритании, в августе 2005 года сообщила\* о разработке кремниевого кубитного чипа — первом шаге в развитии квантового компьютера, основанного на обычной кремниевой технологии.

\* Сообщение на сайте Хитачи: <http://www.hitachi.com/New/cnews/050819.html>, опубликовано: *Gorman J., Hasko D. G. and Williams D. A. Phys. Rev. Lett.* **95**, 090502 (2005).

Ранее кубиты уже создавались на основе арсенида галлия, но время декогеренции, в течение которого сохраняется когерентность состояния кубита, было очень малым. Ученые компании Хитачи продемонстрировали, что изолированная двойная квантовая точка (наноскопическая пространственная неоднородность), созданная на кремниевом кристалле, проявляет себя как кубит со временем декогеренции, в 100 раз большим, чем предыдущая реализация в арсениде галлия. Методика создания квантовых точек уже отработана и может быть использована в стандартных КМОП-процессах (CMOS, complimentary metal oxide semiconductor — полупроводниковая технология, применяемая при изготовлении всех логических микросхем, включая микропроцессоры и чипсеты). Одного лишь создания кубита для построения квантового компьютера недостаточно, и кембриджская команда Хитачи произвела все базовые операции: инициализации; манипуляции — с помощью электронных гейтов; измерения — с использованием одноэлектронных транзисторов. Предложенная схема обладает гибкостью, так как кубиты могут быть объединены в разнообразные двумерные цепи, как в обычных микропроцессорах. Это дает возможность наращивать число кубитов до большой квантовой схемы, что необходимо для создания полноценного квантового компьютера.

В начале 2006 года ученые из Университета Мичигана (США) сообщили\* о том, что для создания кубита им удалось воспользоваться технологией MEMS, которая сейчас все шире применяется в промышленном производстве.

\* *Stick D., Hensinger W. K., Olmschenk S., Madsen M. J., Schwab K. and Monroe C. Ion trap in a semiconductor chip, Nature Physics* **2**, 36 (2006).

Технология MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) позволяет формировать на поверхности подложки микроэлектромеханические структуры различного функционального назначения. По этой технологии изготавливаются интегральные акселерометры (датчики ускорения), микромоторы, селективные фильтры для биотехнологий и модуляторы света. Микроэлектромеханические системы создаются посредством комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общей кремниевой основе с использованием технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия — микросхемы на кремниевой пластине, причем выпускать их можно сразу десятками или сотнями. При этом в основе лежит уже апробированная традиционная технология производства полупроводниковых интегральных микросхем.

В MEMS используют обычно два различных вида микрообработки: объемную и поверхностную. Объемная микрообработка включает технологию глубинного объемного травления. При использовании такого процесса объемная структура получается внутри подложки благодаря ее анизотропным свойствам, то есть различной скорости травления кристалла в зависимости от направления кристаллографических осей. Объемная структура может наращиваться, что и происходит, когда несколько подложек сплавляются и образуют вертикальные связи на атомарном уровне. При поверхностной микромеханической обработке трехмерная структура создается последовательным наложением основных тонких пленок и удалением вспомогательных слоев согласно требуемой топологии. Преимущество данной технологии заключается в возможности многократного удаления (растворения) вспомогательных

слоев без повреждения взаимосвязей базовых слоев. Ее главная особенность в том, что она совместима с полупроводниковой технологией, поскольку для микрообработки используется обычный КМОП-процесс.

Так вот, ученые из Мичигана продемонстрировали, что ионные ловушки, которые сейчас широко используются в квантовом копьютинге, можно создавать не вручную, а с использованием промышленной MEMS-технологии. Они создали ионную ловушку из четырех последовательных слоев алюмогаллиевого арсенида на подложке из арсенида галлия, используя молекулярно-лучевую эпитаксию. Ученые проделали отверстие в чипе и сформировали ряд консольных электродов с помощью методов, обычно применяемых при изготовлении микроэлектромеханических систем (MEMS). Они установили чип в вакуумное гнездо и через отверстие ввели газ атомов кадмия, используя импульсный лазер. Тщательно регулируя такие параметры, как напряжение электрода и длина волны лазера, ученые смогли получить в ловушке единственный ион  $^{111}\text{Cd}^+$  и научились управлять его квантовым состоянием. Авторы сообщают, что такие ловушки обладают высокой надежностью и обеспечивают высокий уровень контроля и манипулирования отдельными состояниями. Как они пишут, метод «предоставляет беспрецедентный контроль на уровне единственного атома». В качестве примера практического применения упоминаются прежде всего крупномасштабные квантовые процессоры, поскольку с помощью этого метода можно изготавливать большое количество кубитов.

Таким образом, научные исследования в сфере разработки квантового процессора уже вплотную подошли к промышленным технологиям.

К числу интересных, но пока нереализованных идей можно отнести предложение применять для квантовых вычислений так называемые квантовые проволоки и новейшие достижения спинтроники. Еще несколько лет назад ученые из Кембриджского университета предложили использовать распространение электронных волн по квантовым нитям для проведения квантовых вычислений. Для создания кубита использовали управляемое туннелирование волн из одного канала в другой, а для организации двухкубитных операций — кулоновское взаимодействие электронов, находящихся в соседних каналах. Сейчас предлагается\* распространить эту идею на спины, поскольку время декогеренции спиновых степеней свободы гораздо выше. За это время электрон пролетает большие расстояния, а значит, сама структура будет крупнее и, следовательно, проще в изготовлении. Для осуществления универсальных квантовых гейтов (логических операций) здесь можно использовать обменное и спин-орбитальное взаимодействие кубитов. Инициализация и измерение могут быть выполнены любой спиновой инъекцией из/в ферромагнетиков (и) или с использованием спиновых фильтров и мезоскопических спин-поляризующих светоделителей. Авторы (A. E. Popescu, R. Ionicioiu) также оценивают пригодность различных материалов, используемых в настоящее время в нанотехнологиях, для физической реализации своей модели.

\* Popescu A. E. and Ionicioiu R. Phys. Rev. B **69**, 245422 (2004).

Существует и много других интересных предложений, которые пока не реализованы. Одно из них мы рассмотрим подробнее, поскольку чуть далее я укажу на интригующую связь этого варианта реализации квантового компьютера с эзотерикой, точнее, с возможной локализацией квантового компьютера в нашем головном мозге.

Речь идет о твердотельном квантовом компьютере, где в качестве квантового процессора используются *кристаллы гидроксипатита кальция*  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , или его аналоги (фторapatит и др.). Эти монокристаллы считаются очень перспективными кандидатами\* на роль физической основы твердотельного квантового компьютера, который можно реализовать методами ЯМР.

\* Ladd T. D., Goldman J. R., Dana A., Yamaguchi F. and Yamamoto Y. arXive e-print quant-ph/0009122, (2001), <http://xxx.itp.ru/abs/quant-ph/0009122>.

Природа, словно по заказу, создала материал, идеально подходящий для реализации квантового компьютера. Микроструктура кристалла представляет собой плоскости, перпендикулярные одномерным цепочкам протонов гидроксильных групп. Каждая цепочка окружена 6 аналогичными, и существенно то, что расстояние между отдельными «нитями» почти в три раза больше, чем расстояние между протонами в самой цепочке (рис. 9). Поскольку диполь-

дипольное взаимодействие (ДДВ) ядерных спинов убывает с расстоянием как  $1/r^3$ , константа ДДВ между ближайшими ядрами в одной цепочке в десятки раз больше максимальной константы ДДВ спинов в соседних «нитях». Поэтому можно считать, что отдельные цепочки ядерных спинов слабо взаимодействуют между собой. В некотором приближении можно рассматривать структуру гидроксиапатита как квазиодномерную (линейную). Это позволяет оперировать целыми плоскостями протонов так, как будто это одиночные линейно расположенные ядерные спины.

В одной из статей\* предлагается создать твердотельный квантовый компьютер методами ЯМР на монокристалле гидроксиапатита кальция, помещенном в сильное магнитное поле, изменяющееся вдоль одной из осей монокристалла. В таком компьютере можно организовать согласованную работу очень большого числа кубитов.

\* Fel'dman E. B., Lacelle S. Perspectives on a Solid State NMR Quantum Computer, arXiv.org:quant-ph/0108106, (2001); <http://xxx.itep.ru/abs/quant-ph/0108106>.

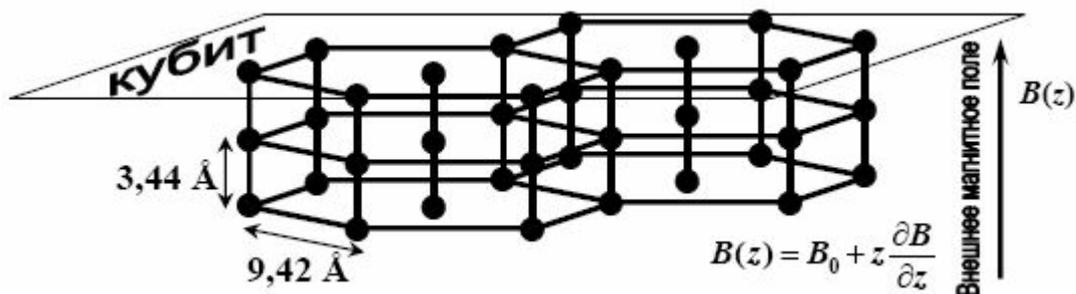


Рис. 9. Кристаллическая структура гидроксиапатита кальция. Черными точками обозначено расположение протонов. Кубитами являются плоскости монокристалла, состоящие из протонов, перпендикулярные внешнему магнитному полю.

Основные идеи, предложенные Э. Б. Фельдманом и С. Ласеллем, следующие:

1. Каждая плоскость монокристалла, перпендикулярная магнитному полю, является кубитом. Представление о количестве таких плоскостей дает тот факт, что кристалл гидроксиапатита кальция размером  $3,5 \times 9,5 \times 9,5$  см содержит  $10^8$  плоскостей, каждая из которых имеет  $10^{16}$  протонных ядерных спинов.

2. ДДВ ядерных спинов усредняются методами Ли-Гольдбурга. При этом ДДВ двух выбранных плоскостей (двух кубитов) восстанавливаются с помощью дополнительного селективного облучения монокристалла двумя высокочастотными (ВЧ) полями, перпендикулярными так называемому «магическому» для ДДВ направлению. ДДВ ядерных спинов в выбранных плоскостях усредняются многоимпульсными последовательностями.

3. Однокубитные операции (логическое НЕ) выполняются с использованием  $\pi$ -импульсов ВЧ поля.

4. Двухкубитные операции (контролируемое НЕ) выполняются с использованием ДДВ кубитов.

К сожалению, с технической точки зрения реализация этого варианта квантового компьютера пока не осуществима, поскольку здесь нужно уметь создавать сильные градиенты магнитного поля порядка  $10^6$  Гаусс/см. В настоящее время технически достижимые градиенты — порядка  $10^4$  Гаусс/см. Однако принципиальных запретов на получение полей с большим градиентом не существует, есть только технические трудности, которые со временем могут быть преодолены.

Интерес к гидроксиапатиту кальция в качестве перспективной основы твердотельного квантового компьютера со стороны ЯМР-сообщества вовсе не случаен — он вызван подходящей структурой его кристаллической решетки. В этом как раз и заключается основная проблема — найти соединение с подходящей структурой, и если бы все было так просто, то твердотельный квантовый компьютер был бы уже реализован. Я говорю сейчас о реализации методами ЯМР — при использовании других методов, естественно, будут свои требования к физической основе квантового компьютера.

В случае с гидроксипатитом существенно то, что монокристалл представляет собой параллельные плоскости, состоящие из протонов, и каждая такая плоскость может играть роль кубита. Таким образом, кубитом является не отдельный спин, а большое число ядерных спинов, лежащих в одной плоскости, и манипулировать ими становится гораздо легче, поскольку речь идет о макроскопических величинах. Другими словами — это вариант ансамблевого квантового компьютера, подобный тому, который реализован на сегодняшний день методами ЯМР в жидкостях. Проблема в том, что техническая реализация требует сильных градиентов внешнего магнитного поля, для того чтобы эти плоскости можно было отличать друг от друга и использовать для локальной адресации кубитов.

Не исключаю, что есть и другие кристаллы, которые, возможно, даже лучше подходят для этих целей. Я не специалист по кристаллам, и мне сложно судить об этом. В любом случае для этих целей хорошо бы иметь параллельные плоскости из ядер, обладающих магнитным моментом (протоны, фтор, фосфор, изотоп углерода  $^{13}\text{C}$  и т. д.). Считывание состояний этих плоскостей методами ЯМР не составляло бы проблем, если бы было приложено внешнее магнитное поле с достаточно сильным градиентом. Такой градиент позволил бы «раздвинуть» эти плоскости в частотном диапазоне, чтобы они не сливались, были индивидуально различимы и доступны для избирательного воздействия посредством селективных радиочастотных импульсов.

## 4.2. Квантовая память

Еще недавно некоторые ученые выражали сожаление о том, что с наибольшей интенсивностью ведутся работы над квантовым процессором, а другим необходимым компонентам квантового компьютера исследователи уделяют гораздо меньше внимания. Звучали, например, такие слова\*: «...Квантовые компьютеры не могут работать без средств хранения информации того или иного рода. Все трудятся над созданием процессоров, а проблему создания памяти решают считанные единицы». Это высказывание принадлежит Филиппу Хеммеру из компании Texas A&M.

Квантовая информация может храниться не только в спиновых системах наподобие «изолятора Мотта», но и в виде отдельных фотонов. В самом деле, такие приложения, как квантовая криптография, используют фотоны в качестве носителей информации. Хранение световых импульсов в определенном месте принципиально важно для предполагаемых квантовых компьютеров. Г-н Хеммер и его сотрудники продолжили работу исследователей из Гарварда. Последние пропускали лазерные импульсы через среду, становившуюся непрозрачной под действием излучения другого лазера. Этот трюк позволил снизить скорость, с которой импульс света проходил среду, буквально до черепашьей. В некоторых случаях свет оставался на месте, ожидая возобновления подходящих условий для продолжения своего пути. Гарвардские ученые и их последователи использовали методику остановки света в газовой среде. Г-н Хеммер с сотрудниками стали первыми, кто осуществил остановку света в твердом веществе — кристалле силиката иттрия, обогащенном атомами редкоземельного элемента празеодима. Поскольку большинство электронных компонентов представляют собой твердотельные устройства, этот метод может быть непосредственно использован при создании квантовых устройств хранения информации. Никто не может гарантировать безопасного прохождения информации через процессы записи и считывания. В любом случае «квантовая гонка» только начинается.

\* <http://www.relcom.ru/Right?id=20020114132148>.

Сейчас ситуация стала меняться. В последние годы «квантовая гонка» набирает обороты и в разработке периферийных устройств, а также способов обмена квантовой информацией между удаленными объектами. Что касается экспериментов с квантовой памятью, то в 2004 году европейские ученые (из Дании, Бельгии, Германии, Чехии) сообщили\*, что они смогли реализовать работу квантовой памяти на сравнительно простой установке, тогда как раньше эксперименты проводились на сложном оборудовании. Эта установка представляет собой стеклянную ячейку с парами спин-поляризованных атомов цезия при температуре, близкой к комнатной. Им удалось скопировать фотонный кубит в атомную систему, а затем «прочитать» это записанное состояние.

\* *Julsgaard B., Sherson J., Cirac J. I., Fiurasek J. A. and Polzik E. S.* Experimental demonstration of quantum memory for light, *Nature* **432**, 482 (2004).

Постоянно предлагаются все более совершенные схемы для хранения и восстановления квантовой информации. Есть интересные эксперименты в смежных областях. Они пока не связаны напрямую с хранением квантовой информации, но задействованные в них механизмы вполне могут быть использованы в квантовом компьютеринге. Хочу отметить довольно красивый эксперимент, проведенный совсем недавно немецкими учеными\*. Им удалось продемонстрировать удивительный эффект, когда свет, идущий сквозь среду с неоднородным показателем преломления, надолго в ней «застревает», попадая на замкнутые орбиты (рис. 10).

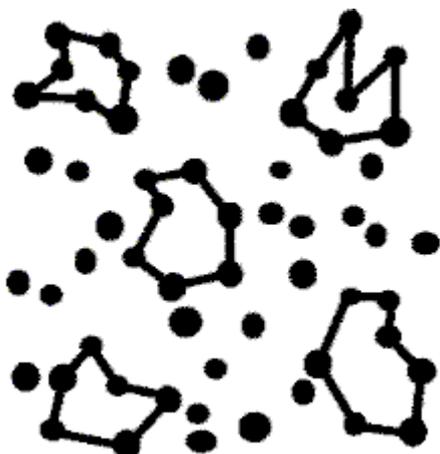


Рис. 10. Свет, проходя через среду с неоднородным показателем преломления, может надолго в ней «застрять», попадая на замкнутые орбиты (рис. с сайта <http://cops.tnw.utwente.nl>)

\* *Störzer M., Gross P., Aegerter C. M. and Maret G.* *Phys. Rev. Lett.* **96**, 063904 (2006); в свободном доступе: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0511284>; краткий обзор на русском, материалы которого использовались: <http://elementy.ru/news/430125>.

Этот эффект связан с диффузией света. О диффузии, наверное, слышали все — это и распространение запахов по комнате (диффузия молекул в газе), и теплопроводность (диффузия тепла) в твердом теле, и электрический ток в проводнике (диффузия электронов под действием внешней силы). Обычно речь идет о диффузии частиц, но прохождение волн через среду также можно рассматривать как диффузию. У света, как у волны, есть специфическая особенность — интерференция, за счет которой диффузия может измениться. Свет может «сбиться с дороги» и надолго застрять внутри среды, крутясь по замкнутым орбитам в поисках выхода.

Если пустить луч света сквозь среду с беспорядочно распределенным коэффициентом преломления, то отдельные кванты света, фотоны, будут хаотично отражаться и преломляться в поисках выхода, то есть будет происходить диффузия света. Чтобы заметить описанный выше эффект, надо приготовить такую среду, в которой распределение коэффициента преломления было бы как можно более хаотичным (иными словами, чтобы длина свободного пробега от столкновения до столкновения не превышала длины волны света), но чтобы при этом не было поглощения. Именно это и смогли сделать немецкие физики. Они выяснили, что для изучения диффузии фотонов прекрасно подходит пигмент, использующийся во многих доступных в продаже белых красках. Этот пигмент состоит из микроскопических частичек  $\text{TiO}_2$  (диоксида титана) и в целом действует на свет как среда практически без поглощения, но с высоким и беспорядочно распределенным в пространстве коэффициентом преломления.

Эксперимент заключался в следующем: на спрессованный образец пигмента падал короткий импульс света, а затем отслеживалось, на какое время свет «застревает» в этом материале. Для крупнозернистых образцов распределение времен диффузии достаточно хорошо описывалось формулой для диффузии частиц. Однако, исследуя самый мелкозернистый образец, экспериментаторы заметили, что небольшая доля всех фотонов выходила из образца спустя необычно долгое время.

Авторы провели серию проверочных экспериментов и доказали, что этот эффект может быть связан только с влиянием интерференции на диффузию волн. Эти запоздавшие фотоны долго кружились внутри образца по замкнутым орбитам, прежде чем выйти из среды. Как предполагают ученые, если теперь изготовить вещество с еще более мелкими зернами диоксида титана, то, возможно, удастся достичь и эффекта полной локализации, при котором фотоны уже не выходят наружу.

### 4.3. Квантовая шина

Еще одно необходимое устройство для квантового компьютера — квантовая шина для обмена информацией. Об этом также можно прочитать в Интернете\*:

«„Виртуальная шина“, по которой курсируют биты информации, может стать краеугольным камнем в архитектуре квантовых компьютеров», — заявляют ученые из американского Национального Института стандартов и технологий (NIST). Но, как ученые замечают далее, он должен еще быть разработан, что не входит на сегодняшний день в планы большинства компаний. По словам физика-атомщика NIST Карла Уильямса (Carl Williams), несколько авторов описали базовые требования для построения масштабируемых квантовых компьютеров, включая необходимость взаимодействия произвольных пар кубитов. Отработка четкого механизма этого взаимодействия является, однако, нерешенной проблемой. По словам коллег Уильямса, их подход состоит в том, чтобы делить физические кубиты на статические зоны, сохраняющие квантовую память, и динамическую шину для кубитной связи зон. Как известно, основы современной архитектуры ПК были заложены в работах венгерского математика фон Неймана в 1945 году. Классическая модель состоит из 4 основных компонентов: памяти, системы ввода/вывода, логического блока и блока управления; для их связи используются физические шины, по которым пересылаются биты информации от одного модуля к другому. В отличие от физической, предлагаемая квантовая шина, как отмечает эксперт Национальной лаборатории в Лос-Аламосе Мэни Нилл (Manny Knill), является «виртуальной, которую лучше представлять как виртуальную локальную сеть соединений для масштабной параллельной архитектуры квантовых компьютеров». По мнению Нилла, Уильямс с коллегами первыми предложили детально разработанные стратегии для применения квантовой шины в стандартных массивах кубитов конкретно для того, чтобы использовать их в квантовых компьютерах. В работающем компьютере ни один кубит не обособлен. Кубиты памяти должны взаимодействовать друг с другом, а также с блоками логики, управления и ввода/вывода. Для облегчения связи другие ученые предлагают вместо квантовой шины «летающие» кубиты, парящие внутри компьютера и сближающиеся для обмена информацией. Модель превращения материальных кубитов в «летающие», являющиеся чаще всего фотонами, может быть еще одним возможным решением проблемы. Однако разработка необходимого соединения между веществом и фотонами, или стационарными и «летающими» кубитами, сопряжена со многими трудностями. Концепция шины обходится без сцепки между «летающими» и стационарными кубитами. Как отмечает г-н Нилл, исследования квантовых шин важны потому, что квантовые компьютеры в обозримом будущем должны обладать масштабируемым параллелизмом. И далее подчеркивает: «В будущем физическое или виртуальное соединение будет необходимо для всех архитектур квантового компьютера».

\* <http://www.relcom.ru/Right?id=20030117161000>.

В последнее время экспериментаторы начали восполнять этот пробел и интенсивно работают над квантовой шиной. «Летающие» кубиты стали объектом исследований во многих физических лабораториях. В 2004–2005 годах только в одном Nature публикации с результатами экспериментальных работ в этом направлении составляли уже довольно внушительный список\*, в который нужно добавить все работы по квантовой памяти, поскольку процессы хранения и передачи квантовой информации неразрывно связаны.

\* *Blinov B. B., Moehring D. L., Duan L.-M. and Monroe C.* Observation of entanglement between a single trapped atom and a single photon, *Nature* **428**, 153 (2004);

*Chou C. W., de Riedmatten H., Felinto D., Polyakov S. V., van Enk S. J. and Kimble H. J.* Measurement-induced entanglement for excitation stored in remote atomic ensembles, *Nature* **438**, 828 (2005);

*Chaneliere T., Matsukevich D. N., Jenkins S. D., Lan S.-Y., Kennedy T. A. B. and Kuzmich A.* Storage and retrieval of single photons transmitted between remote quantum memories, *Nature* **438**, 833 (2005);

*Eisaman M. D., Andre A., Massou F., Fleischhauer M., Zibrov A. S. and Lukin M. D.* Electromagnetically induced transparency with tunable single-photon pulses, *Nature* **438**, 837 (2005).

Последние три статьи из этого списка опубликованы в одном номере *Nature* (8 декабря 2005 года). В первой из них говорилось о методике создания запутанного состояния между двумя пространственно разнесенными объектами. Ее авторы сообщали о запутывании двух систем, состоящих из порядка  $10^5$  атомов, удаленных друг от друга на 2,8 м. В двух других статьях описывался реализованный на практике процесс передачи квантовой информации от одного атомного ансамбля к другому посредством фотонных кубитов. Причем исследователи осуществили всю цепочку операций, необходимых для устойчивой квантовой связи. А именно — управляемую генерацию единичного фотона в одном узле (в ансамбле атомов рубидия); пересылку по оптоволокну на 100 м к другому узлу, где квантовая информация некоторое время хранилась в коллективном нелокальном состоянии, а затем она была вновь восстановлена в виде фотона без существенной потери квантовой информации. По существу была создана примитивная квантовая сеть между двумя разнесенными узлами. Предполагается, что такие квантовые сети постепенно придут на смену классическим. Информация, которую мы получаем сейчас по Интернету, доходит до нас по оптическим волокнам закодированной в сантиметровые лазерные импульсы. Все идет к тому, что эту информацию вскоре научатся передавать не в виде обычных битов, а в квантовой форме — посредством кубитов. Таким образом, физики продемонстрировали возможность телепортации состояния на длинные расстояния, и, следовательно, квантовые сети посредством телепортации могут связать нелокальными корреляциями удаленные узлы в единое целое.

В начале 2006 года в *Phys. Rev. Lett.*, также в одном номере\*, были опубликованы две статьи об экспериментальных работах, продолжающих эти исследования. Но в них основной упор делается уже на технические детали — такие, как выбор оптимальной длины волны единичных фотонов, подходящей для коммуникации на больших расстояниях: в первой работе использовалась длина волны 1,5 микрон, во второй 0,78 микрон.

Таким образом, «летающие» или курсирующие по оптоволокну кубиты постепенно становятся обыденной реальностью, и их создание уже не считается большим научным достижением.

\* *Volz J., Weber M., Schlenk D., Rosenfeld W., Vrana J., Saucke K., Kurtsiefer C. and Weinfurter H.* *Phys. Rev. Lett.* **96**, 030404 (2006);

*Matsukevich D. N., Chaneliere T., Jenkins S. D., Lan S.-Y., Kennedy T. A. B., and Kuzmich A.* *Phys. Rev. Lett.* **96**, 030405 (2006).

В этой области делаются также первые шаги к промышленным технологиям. Ученые из Кембриджа (Великобритания) экспериментально продемонстрировали\* возможность получения запутанных фотонных пар при помощи простых полупроводниковых светодиодов. Эти запутанные пары могут применяться, в том числе, и в схемах квантовой коммуникации, курсируя по квантовым шинам и связывая нелокальными корреляциями отдельные узлы. Как пишут авторы, такая генерация запутанных пар «по требованию» обладает существенными преимуществами перед другими способами их получения и может найти широкое применение в различных квантово-информационных устройствах.

\* *Stevenson R. M., Young R. J., Atkinson P., Cooper K., Ritchie D. A. and Shields A. J.* *Nature* **439**, 179 (2006).

На этом я закончу краткий обзор экспериментальных исследований и разработок «железа» для квантового компьютера.

По мнению многих ученых, работающих в области квантового компьютеринга, результаты научных разработок приблизятся к стадии коммерческого применения примерно к 2020 году. К этому же времени будет достигнут предел в существующей полупроводниковой технологии, поскольку уже сейчас дорожки, по которым внутри процессоров распространяется электрический сигнал, имеют ширину, составляющую сотни атомов. Дальнейшее их сужение возможно лишь до определенного предела. Уже сейчас начинают появляться фирмы, которые, ориентируясь на перспективу, планируют связать свою основную деятельность с квантовым компьютерингом.

Например, в Санта-Барбаре (штат Калифорния, США) основана первая коммерческая компания — Quantumatics\*, которая собирается работать в области квантовых вычислений. Quantumatics планирует получать прибыль там, где прежде доминировали работы исследовательского и академического характера. Фирму возглавил физик Джованни Росса (Giovanni A. della Rossa). Он не является новичком в организации компаний, опирающихся на высокие технологии, в частности, в 1980 году он основал Eidos — первую компанию в Италии, специализирующуюся на компьютерной графике. По поводу своих планов он говорит так: «Я собираюсь создать первое поколение квантовых компьютеров — „машин“, которые могут быть использованы как для развития собственно вычислений, так и для развития физики. Физика должна быть лучше изучена на квантовом уровне, и никакой другой инструмент не подойдет для этой цели лучше, чем квантовый компьютер!»

\* [http://www.parallel.ru/news/quantumatics\\_announce.html](http://www.parallel.ru/news/quantumatics_announce.html).

#### 4.4. Языки программирования для квантового компьютера

К настоящему времени уже появились первые языки программирования для квантового компьютера, в частности, QCL (Quantum Computation Language). Как пишут разработчики языка в документации\*, квантовые вычисления сейчас все еще рассматривают как специальную дисциплину в рамках теоретической физики, несмотря на то что она имеет много общего с классической информатикой. Одна из причин того, что сообщество программистов медленно принимает квантовые вычисления — запутывающее разнообразие формализма (дираковские обозначения, матрицы плотности, гейты, операторы и т. д.). Все эти теоретические инструменты не имеют ничего общего с классическими языками программирования, а изложение самих основ квантовых вычислений часто слишком усложнено. В результате программисты испытывают трудности при моделировании квантовых логических операций знакомыми им средствами. QCL пытается восполнить этот пробел: это архитектурно независимый язык программирования высокого уровня для квантовых компьютеров с синтаксисом, заимствованным от таких классических языков, как С или Паскаль. Этот синтез теории квантовых вычислений и обычных языков программирования обеспечивает моделирование и полное выполнение квантовых алгоритмов (включая классические компоненты) в одном совместимом формализме.

\* <http://tph.tuwien.ac.at/~oemer/qcl.html>;  
<http://www.vcpc.univie.ac.at/~ian/hotlist/qc/programming.shtml>.

По аналогии с классической машиной Тьюринга\*, в квантовых вычислениях рассматривается квантовая машина Тьюринга. Классическая (булева) логика обобщается квантовыми гейтами, а квантовым унитарным операторам ставятся в соответствие частично рекурсивные функции.

\* Машина Тьюринга (Turing machine) получила свое название по имени английского математика Алана Тьюринга, предложившего в середине 30-х годов XX века способ формального задания алгоритмов с помощью абстрактной (воображаемой) вычислительной машины. Эта машина представляет собой простейшую модель вычислительной машины с линейной памятью, которая, согласно формальным правилам, преобразует входные данные в выходные с помощью последовательности элементарных логических операций. Несмотря на простоту машины Тьюринга, на ней можно имитировать любую программу для обычных компьютеров.

Очевидно, что моделирование квантового компьютера на традиционном классическом компьютере — неразрешимая проблема. Требуемые ресурсы растут по экспоненте с количеством квантовых регистров памяти при моделировании. Операции даже с несколькими десятками кубитов выходят за пределы возможностей любого самого мощного суперкомпьютера, а добавление одного нового кубита каждый раз удваивает необходимые ресурсы. Поэтому естественно, что на QCL можно пока программировать только очень «маленькие» квантовые компьютеры. Но и этого достаточно, чтобы апробировать основные алгоритмы квантовых вычислений и отработать их прежде, чем появится возможность их применения на полноценных квантовых компьютерах.

Первый квантовый компьютер будет, вероятно, состоять из некоего экзотического «железа», которое хранит квантовые состояния и манипулирует ими. Его «жизнь» станут поддерживать аппаратные средства окружения, которые обеспечат его работоспособность и дадут пользователю разумный интерфейс для «общения» и программирования в некой среде. QCL моделирует такую программную среду, предоставляя классической программной структуре квантовые типы данных и специальные функции, позволяющие выполнить операции над ними.

В квантовом программировании уже развиваются и отдельные направления, например, работа со звуковыми сигналами. И чтобы дать вам, уважаемые читатели, небольшой отдых после восприятия серьезной информации, приведу в заключение раздела сообщение на эту тему из бульварной прессы\*.

\* [http://science.compulenta.ru//42507/?phrase\\_id=3888807](http://science.compulenta.ru//42507/?phrase_id=3888807).

«Группа ученых из Французского центра национальных научных исследований разработала новый метод компрессии звука, который можно будет использовать в квантовых компьютерах», — сообщает газета «News Factor».

Джей Вон Ли, а также его коллеги Дмитрий и Алексей Шепелянские утверждают, что «классические методы анализа аудио не применимы к квантовым сигналам». И подчеркивают при этом: «На данном этапе очень важно найти метод, который удовлетворял бы новым требованиям квантовой компьютерной техники».

Первые результаты уже достигнуты. В первом эксперименте удалось воспроизвести фразу приветствия компьютера HAL из знаменитой «Космической Одиссеи 2001 года» Артура Кларка («Good afternoon, gentlemen. I am a HAL 9000 computer. I became operational at the N. A. L. lab in Urbana, Illinois, on the 12th of January»). По словам исследователей, полученные ими в результате расчетов данные демонстрируют, что звуковые сигналы, сохраненные в квантовой памяти, могут свободно распознаваться настоящими квантовыми компьютерами.

Как говорит Дмитрий Шепелянский, 50-кубитный квантовый компьютер способен вместить в себя информацию, превосходящую по объему ту, что хранят сейчас все современные суперкомпьютеры вместе взятые.

Объясняя теорию кодирования звука в квантовых компьютерах, Дмитрий Шепелянский отметил, что сгенерированный ими голос HAL состоял из 18 кубитов и являл собой «волновую функцию квантового компьютера, которая была „записана“ в память квантового регистра, сформированного кубитами».

Разработанный группой Шепелянского метод «квантового преобразования Фурье» очень близок по принципу своего действия к кодированию обычного формата mp3 — «быстрому преобразованию Фурье». Ученым удалось произвести числовое моделирование этого процесса, что позволило получить оптимальный алгоритм декодирования зашифрованного звукового сигнала в квантовой технике и соответственно добиться оптимального звучания восстановленного сигнала.

## 4.5. Квантовый компьютер в головном мозге

На первый взгляд, казалось бы, что может быть общего между элементной базой квантового компьютера и эзотерикой? Оказывается, есть прямая связь — очень даже интересная и неожиданная, о чем мы и поговорим ниже.

Многие, наверное, слышали, что в головном мозге есть небольшой орган — эпифиз, или шишковидное тело. Считается, что это и есть «Третий глаз». Эпифиз имеет много названий: Третий глаз, аджна-чакра, око вечности, всевидящее око, Глаз Шивы, око мудрости, «седалище души» (Декарт), «сновидческое око» (Шопенгауэр), шишковидная железа и др. Даже «глаз циклопа», по-моему, имеет к нему прямое отношение.

Согласно древним верованиям и традициям, Третий глаз — знак богов. Он позволял им лицезреть всю предысторию Вселенной, видеть будущее, беспрепятственно заглядывать в любые уголки мироздания. Индуистские и буддийские божества принято изображать с третьим, вертикально расположенным над уровнем бровей глазом. С помощью Третьего глаза бог созидания Вишну пронизывает завесы времен, а бог разрушения Шива способен уничтожать миры.

Всевидящее око дарило богам замечательные способности: гипноза и ясновидения, телепатии и телекинеза, возможность черпать знания непосредственно от космического разума...

Немало людей посвящают всю свою жизнь тому, чтобы вернуть некогда утраченные «божественные» способности. Одной из своих первостепенных задач они считают открытие Третьего глаза. На это уходят годы и годы духовного подвижничества. И самое удивительное — эти люди действительно обретают паранормальные психические способности.

Казалось бы, все это мифы и сказки, а все якобы достижения подвижников — не более чем глюки «шизиков». Ведь нам так долго внушали, что, кроме материи (вещества и физических полей), в природе ничего нет, а все эти явления совершенно не укладываются в рамки привычных представлений о реальности. Но это с точки зрения классической физики. А с точки зрения квантовой теории? Что, если за всем этим скрывается какое-то рациональное зерно? Ведь не случайно на протяжении многих тысячелетий такая область человеческих знаний, как эзотерика, сохраняется и продолжает существовать. Хорошо известно, что любое знание быстро уходит в небытие, если за ним не стоят объективные процессы, и, наоборот, остается лишь то, что выдерживает проверку временем. Мистические методики и практики расширенного восприятия реальности прошли, наверное, самую строгую и продолжительную проверку и все же выдержали ее. Но, если они никак не могут быть объяснены классической физикой, то, возможно, квантовая теория прольет свет на этот вопрос и, наконец, откроет нам, чем обусловлены такие необычные возможности человека при открытии у него «Третьего глаза».

Для начала попробуем разобраться, что же такое эпифиз? Санти описывает шишковидную железу следующим образом\*:

«Шишковидное тело (*corpus pineale*) представляет собой конусовидное образование длиной 6 мм и диаметром 4 мм, присоединенное к крыше третьего желудочка уплощенным поводком (*habenula*). Эту железу также называют эпифизом. Шишковидное тело расположено на дне поперечной борозды головного мозга, непосредственно под валиком мозолистого тела, между верхними холмиками крыши среднего мозга. Оно плотно укрыто мягкой оболочкой головного мозга. *Habenula* раздваивается, образуя спинную и брюшную пластинки, разделенные шишковидным промежутком. Брюшная пластинка сливается с задней спайкой, в то время как спинная продолжается за спайку, тесно прилегая к эпителию крыши. В месте прикрепления к зрительному бугру спинная пластинка утолщается, образуя *stria medullaris thalami* (полосу эпифиза). Это утолщение представляет собой жгут волокон столба свода и средней полосы обонятельного тракта. Между мозговыми полосами на заднем конце имеется поперечная спайка, *commissura habenularum*, в которой волокна полос частично перекрещиваются, достигая поводочного ядра зрительного бугра. Внутренность шишковидного тела состоит из замкнутых фолликулов, окруженных вставками соединительной ткани. Фолликулы заполнены эпителиальными клетками, смешанными с известковым веществом — „мозговым песком“ (*acervulus cerebri*). Известковые отложения также обнаруживаются в поводке эпифиза и вдоль сосудистых сплетений.

Функция шишковидного тела неизвестна. Декарт полагал, что эпифиз является „седалищем духа“. У пресмыкающихся имеются два шишковидных тела, переднее и заднее; заднее остается неразвитым, а переднее образует рудиментарный циклопический глаз. У новозеландской ящерицы гаттерии он выступает из теменного отверстия и имеет несовершенные хрусталик и сетчатку, а его длинный поводок содержит нервные волокна. Эпифиз человека, вероятно, гомологичен заднему шишковидному телу пресмыкающихся».

\* *Santee H.* Anatomy of the Brain and Spinal Cord. Цит. по: Мэнли П. Холлу. Мелхиседек и мистерия огня. К.: София, 2001.

Читая описание, вы, наверное, обратили внимание на то, что в шишковидной железе содержится мельчайший «песок», о роли которого современной науке не известно практически ничего. Исследования показали, что этого вещества нет у детей примерно до 7 лет, у людей слабоумных и вообще у всех тех, кто страдает теми или иными расстройствами умственной организации. Оккультисты же знают, что этот песок является ключом к духовному сознанию человека. Он служит связующим звеном между сознанием и телом.

Е. П. Блаватская писала в «Тайной Доктрине»\*: «...Этим песком нельзя пренебречь <...> только этот знак внутренней, самостоятельной деятельности Шишковидной Железы не позволяет

физиологам классифицировать ее как абсолютно бесполезный атрофированный орган, остаток прежде существовавшей и теперь совершенно изменившейся анатомии человека какого-то периода его неизвестной эволюции. Этот „песок“ весьма таинственный и ставит в тупик исследования всех материалистов». И далее она добавляет: «За немногими чрезвычайно редкими исключениями, этот „песок“, или золотисто окрашенный конкремент, обнаруживается у субъектов только после того, как им исполняется 7 лет. У глупцов этих calculi очень мало; у врожденных идиотов они совершенно отсутствуют. Моргагни, Грейдинг и Гам были мудрыми людьми своего поколения и сегодня тоже являются таковыми, так как они до сих пор единственные физиологи, которые устанавливают связь этих calculi с умом. Ибо, подытожив факты, что они отсутствуют у малых детей, у престарелых и у идиотов, неизбежным становится вывод, что они должны быть связаны с умом».

\* *Блаватская Е. П.* Тайная доктрина. Т. 3. М.: Эксмо-Пресс; Харьков: Фолио, 2002.

О самом эпифизе Е. П. Блаватская говорит: «Шишковидная Железа есть то, что восточные оккультисты называют Дэвакша, „Божественное Око“. До сегодняшнего дня это есть главный орган духовности в человеческом мозгу, местопребывание гения, магический Сезам, произнесенный очищенной волею мистика, который открывает все подступы к истине тому, кто знает, как им пользоваться»\*.

\* Там же.

Е. И. Рерих в письме к доктору А. Асееву пишет: «Что есть Рингсэ? <...> Вы, конечно, знаете о том светящемся веществе, как бы песке, наблюдаемом на поверхности шишковидной железы у развитого человека и который совершенно отсутствует у детей до семилетнего возраста и прирожденных идиотов, а также при глубокой дряхлости. Этот песок и есть таинственное вещество Рингсэ, или отложение психической энергии. <...> отложения психической энергии могут быть находимы во многих органах и нервных каналах»\*.

\* Архив А. М. Асеева, т. I. Письма Елены Ивановны Рерих Алексею Михайловичу Асееву. Опубликовано в сборнике: *Рерих Е. И., Рерих Н. К., Асеев А. М.* Оккультизм и Йога. Летопись сотрудничества. Т. 1. М.: Сфера, 1996. [http://www.roerich.com/7\\_19.htm](http://www.roerich.com/7_19.htm).

С. Мульдон, Х. Каррингтон в книге «Проекция астрального тела» отмечают: «Внутри мозга находится особенный орган — шишковидная железа, до последнего времени почти не изученная область, хотя на Востоке уже давно известно, что она имеет прямое отношение к оккультным явлениям. В наши дни многие и западные, и восточные специалисты по психическим явлениям признают, что шишковидная железа не только имеет физиологическое значение, но и служит связующим звеном между физическим и духовным мирами. Свами Бхакта Вишита говорит: „Шишковидная железа представляет собой массу нервной ткани, находящуюся в мозге почти в центре черепа и прямо над верхним концом позвоночника. Она имеет форму небольшого конуса и красновато-серый цвет. Находится перед мозжечком и прикреплена к третьему желудочку мозга. В ней содержится большое количество твердых частиц, похожих на песчинки, известных под названием мозгового песка“. Свое название она получила из-за формы, напоминающей сосновую шишку. Восточные оккультисты утверждают, что шишковидная железа со своим особым устройством нервных клеток и маленькими крупинками мозгового песка тесно связана с волевой передачей и приемом ментальной вибрации».

Ученые тоже неоднократно высказывали предположение, что кристаллы мозгового песка способны принимать излучения неэлектромагнитной природы. Так, еще в 60-х–начале 70-х годов XX века известный советский ученый-физикохимик, профессор Московского университета Николай Иванович Кобозев (1903–1974), анализируя феномен сознания, пришел к выводу, что молекулярная материя мозга сама по себе не способна обеспечить мышление, для этого необходим внешний источник потоков сверхлегких частиц — психонов. Согласно этой гипотезе, человек мыслит не по своей воле, а потому, что у него есть эпифиз с мозговым песком, улавливающим космические излучения, а психоны являются главными носителями и переносчиками мыслительных и эмоциональных импульсов.

Космическую энергию на Востоке называют Ци, прана и т. д. Ее обычно определяют как форму энергии, наполняющей Вселенную и особым образом проявляющейся в человеческом организме. Эта тонкая сила способна передаваться от одного организма к другому и является той энергией, на которой основываются многочисленные оккультные и магнетические явления. Она очень схожа с «животным магнетизмом» западных оккультистов. Замечу, что по всем своим характеристикам и отличительным особенностям эта тонкая энергия довольно хорошо соответствует энергоинформационным процессам, сопровождающим нелокальные квантовые корреляции.

А. М. Паничев и А. Н. Гульков в своей статье\* выдвигают гипотезу, согласно которой мозговой песок в эпифизе является управляющим центром и носителем информационной голограммы в организме человека и других высокоорганизованных животных. Это уже совсем близко к понятию квантового компьютера и физике запутанных состояний. В начале книги я уже упоминал, что голографическая теория может служить неплохой качественной иллюстрацией физики квантовой информации. Только, если быть более точным, «мозговой песок» представляется авторам как отработанные «живые кристаллы», которым отводится главная роль — управляющего центра. В процессе жизнедеятельности «живые кристаллы» постепенно «обрастают» органо-фосфорно-кальциевыми оболочками, то есть внутри эпифиза, в среде, перенасыщенной солями кальция и фосфора, они постепенно трансформируются в агрегаты «мозгового песка». Необычные информационные свойства «мозгового песка», замеченные при проведении опытов С. Н. Голубевым\*\*, свидетельствуют, по мнению авторов, лишь о том, что в них остается записанной вся информация об организме.

\* Паничев А. М., Гульков А. Н. О носителях информационных голограмм в биологических системах: [http://www.festu.ru/ru/structure/library/library/science/s127/article\\_13.htm](http://www.festu.ru/ru/structure/library/library/science/s127/article_13.htm).

\*\* Голубев С. Н. Биоструктуры как фрактальное отображение квазикристаллической геометрии // Сознание и физическая реальность. 1996. Т. 1. № 1–2. С. 85–92.

В настоящее время гистохимики выяснили, какова структура мозгового песка\*. Песчинки по размеру бывают от 5 мкм до 2 мм, по форме они часто напоминают тутовую ягоду, то есть имеют фестончатые края. Состоят из органической основы — коллоида, который считается секретом пинеалцитов и пропитан солями кальция и магния, преимущественно фосфатами. Методом рентгенокристаллографического анализа было показано, что соли кальция на дифрактограммах эпифиза аналогичны кристаллам гидроксиапатита. Мозговые песчинки в поляризованном свете обнаруживают двойное лучепреломление с образованием «мальтийского» креста. Оптическая анизотропность указывает, что кристаллы солевых отложений эпифиза не являются кристаллами кубической сингонии. Благодаря наличию фосфорнокислого кальция песчинки первично флуоресцируют в ультрафиолетовых лучах, как и капельки коллоида, голубовато-белым свечением. Подобную же голубую флуоресценцию дают миелиновые оболочки нервных стволов. Обычно отложения солей имеют форму колец — слоев, чередующихся со слоями органического вещества. Больше о «мозговом песке» ученым ничего пока выяснить не удалось.

\* Шматов С. В. Синтез научного и эзотерического знания об эпифизе // Медицина будущего в свете синтеза научного мировоззрения Востока и Запада: Тез. рефератов и докладов медицинской научно-практической конференции 1–2 мая 1998 г. Томск: СГМУ, 1998. С. 42–45. <http://madra.dp.ua/archives/medicine/shmatov/index.html>.

Так вот, самое интересное, что, оказывается, этот «песок» содержит в своем составе гидроксиапатит кальция! Именно о нем шла речь, как об одном из самых подходящих «кандидатов» на роль физической основы квантового компьютера! Поразительное совпадение, и, вероятно, не случайное.

Объединяя данные по элементной базе квантового компьютера с данными биологии об эпифизе и структуре мозгового песка, можно сделать очень интересное предположение: *эпифиз головного мозга является составной частью квантового компьютера в нашей голове, а «мозговой песок» — физической основой квантового процессора.*

Компьютер в нашей голове — квантовый, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Поэтому здесь прослеживается непосредственная связь с эзотерикой, которая основана на применении квантовых свойств этого компьютера (нелокальных корреляций, «психической энергии»).

Человек имеет возможность воспользоваться «волшебными» нелокальными свойствами запутанных состояний кубитов своего квантового компьютера. Получается, что все эзотерические практики по своей сути означают, что человек пытается «переключить» свой головной мозг из классического режима функционирования в режим квантовый. Занимаясь мистической практикой, он пытается задействовать нелокальный ресурс запутанных состояний и управлять им, делая практически то же самое, к чему стремятся сейчас физики, работая над технической реализацией квантового компьютера!

Из теоретических основ квантовой механики следует, что для появления дополнительных квантовых корреляций необходимо наличие классических взаимодействий. То есть для того, чтобы наша душа имела возможность осознать себя и развиваться далее, она должна иметь материальную основу, «проводника» в предметном мире. Таким «проводником» вполне могут являться кристаллы гидроксипатита в мозговом песке, выступающие в качестве физической основы квантового компьютера в нашем головном мозге. Кстати, при ультразвуковом исследовании шишковидная железа становится видна в человеческом зародыше на 49-й день после его зачатия, примерно в то же время, когда становится различим пол ребенка. Природа в первую очередь начинает формировать процессор нашего будущего квантового компьютера, на который «накручивается» уже остальное «железо». Формирование начинается с тонких квантовых уровней, и если имеет место реинкарнация, то именно в это время происходит «улавливание» квантового астросома для очередного воплощения. Согласно буддийским представлениям, жизненной силе умершего необходимо как раз 49 дней для вступления в следующее воплощение.

После рождения ребенка его квантовый компьютер еще чист, он не загружен никакими программами, позволяющими ориентироваться в нашем плотном мире. Да и сам компьютер как устройство, которым можно пользоваться, еще не готов к работе — окончательная «сборка» еще не завершена. Это как в физике квантовой информации: какой толк в том, что любые взаимодействующие системы связаны нелокальными корреляциями — квантовыми компьютерами от этого они для нас не становятся. Чтобы получился квантовый компьютер, нужно организовать кубиты, которыми можно было бы избирательно манипулировать, выполнять логические операции и получать результат. Так же и ребенок — поначалу он ближе к Тонкому миру, в его эпифизе еще нет кубитов, над которыми он мог бы выполнять логические операции. Мозговой песок и кристаллы гидроксипатита как физические носители кубитов формируются постепенно, по мере взросления ребенка, когда он начинает овладевать ментальными конструкциями и логическими операциями. Получается, что в какой-то мере справедливо мнение оккультистов, что мозговой песок является отложением «психической энергии», и точка зрения, согласно которой эпифиз является связующим звеном тела и сознания («седалищем души»), тоже кажется вполне разумной.

Этот вывод подтверждает еще одна цитата из книги М. П. Холла: «Маленький ребенок живет преимущественно в незримых мирах. Его физический организм пока еще управляется с трудом, однако в тех мирах, с которыми он связан посредством открытых врат шишковидной железы, ребенок осознает себя и активно действует (по крайней мере, в какой-то степени). Постепенно определенные проявления его высшего сознания поглощаются физическим организмом и кристаллизуются в виде мельчайшего песка, обнаруживаемого в этой железе. Но до тех пор, пока сознание не войдет в организм, никакого песка в этой железе нет».

В терминах квантового компьютеринга шишковидная железа — физический носитель кубитов нашего квантового компьютера. С его помощью мы ориентируемся в плотном предметном мире, но, поскольку компьютер квантовый, можем «заглядывать» и на тонкие уровни реальности. После смерти нашего тела надобность в материальном носителе кубитов отпадает — нам уже не нужно воспринимать плотные планы реальности, поэтому плотные кубиты мы можем спокойно оставить в наших бранных останках. А вот их квантовый «слепок» продолжает существовать, унося с собой то, что было наработано в плотном мире. Для восприятия тонких уровней достаточно одних лишь тонких структур, и в этом случае в качестве физической основы

нашего квантового компьютера выступают квантовые ореолы когда-то плотных кубитов. Сознание продолжает функционировать примерно по тем же принципам, что и раньше, но локализовано уже только на квантовых уровнях реальности — там уже свой «мозговой песок» и свои «кристаллы гидроксиапатита».

«Мозговой песок» имеют не только люди, но и животные. Вероятно, их квантовый компьютер — лишь более примитивный, имеет более раннюю версию «операционной системы».

Предложенную гипотезу о квантовом компьютере в головном мозге можно развивать в различных направлениях, как классических, типа создания искусственного интеллекта, так и эзотерических — здесь уместно говорить, например, о возможности перевести процесс обучения эзотерическим техникам на более доступный язык в терминах программирования квантового компьютера. Уже сейчас в Интернете создаются клубы по программированию квантового компьютера.

Интересный вариант того, как управлять квантовым компьютером в нашем головном мозге, представляет собой методика школы В. М. Бронникова по включению «биокомпьютера». Это своеобразный «монитор», который можно подключить к квантовому компьютеру в голове и который позволяет управлять его квантовыми ресурсами. Причем, на «внутреннем экране» можно организовать даже привычный интерфейс типа рабочего стола Windows с иконками для запуска отдельных «программ» — как на обычном персональном компьютере.

Под квантовым ресурсом компьютера, как это и принято, я здесь подразумеваю нелокальный квантовый ресурс, то есть способность компьютера манипулировать запутанными состояниями кубитов как между собой, так и с окружением (контролировать декогеренцию). В нашем обычном состоянии сознания мы пользуемся только классическими ресурсами своего «головного компьютера». Но можно воспользоваться и ресурсами квантовыми. Способов и вариантов их практического применения много. Биокомпьютер — лишь один из них, наиболее технологичный и приближенный к нашему привычному взгляду на компьютер.

Если ознакомиться с методикой его активизации\* и практического применения, то можно убедиться, что работа биокомпьютера связана с эпифизом головного мозга. На первом этапе перед включением квантового компьютера необходимо приобрести устойчивые навыки по формированию сгустка энергии в копчике, научиться поднимать его вверх по позвоночнику и «выплескивать» этот поток энергии через глаза (упражнение «Энергетический всплеск»). Затем можно приступить к включению «экрана внутреннего видения».

\* См. упражнения «Энергетический всплеск» и «Включение экрана внутреннего видения» в методиках школы Бронникова: <http://khohuun.h1.ru/upr1-3.htm>.

Приведу описание этого упражнения:

«Обучаемому предлагается при закрытых глазах представить (сформировать) белую точку на темном фоне, развернуть точку в горизонтальную линию, затем эту линию развернуть в экран по вертикали. Все операции вначале выполняются по команде преподавателя.

На следующих занятиях по команде „включить биокомпьютер“ ученики выполняют программу включения экрана самостоятельно. Процесс включения продолжается 3–5 секунд. По окончании работы с экраном его выключение производится в порядке, обратном включению. У детей включение, выключение и работа с экраном происходят очень легко. Взрослым это удается с трудом, у некоторых из них экран вообще не появляется, что может свидетельствовать о сравнительно невысокой мозговой активности или о наличии непреодолимых психологических барьеров либо установок.

При появлении экрана становится возможным получать с помощью воображения яркие картины, анимировать их, записывать необходимую информацию и т. д.».

Для включения биокомпьютера нужны те самые «энергетические всплески», о которых говорилось чуть выше. Они необходимы, чтобы сформировать «белую точку». То есть восходящий энергетический поток является «пусковым механизмом», своеобразной «кнопкой», которую необходимо нажать, чтобы подать «сигнал на монитор». Энергетические всплески требуются также и для выключения «монитора».

Итак, чтобы перейти на квантовый режим работы нашего мозгового компьютера, нужно сформировать поток энергии, движущийся по позвоночнику снизу вверх (нечто похожее на поднятие Кундалини в индийской Кундалини-йоге). Поскольку эпифиз находится над позвоночным столбом, можно сказать, что мы помещаем его во внешнее поле. Здесь прослеживается аналогия с методами ЯМР и, в частности, с практической реализацией квантового компьютера, когда квантовый «процессор» (в эксперименте Исаака Чуанга — пробирка с жидкостью) помещается во внешнее магнитное поле.

Но аналогия с ЯМР на этом не заканчивается. Прочтите следующий отрывок из уже упоминавшейся книги Мэнли П. Холла:

«Гипофиз является отрицательным полюсом, однако играет важную роль в духовном сознании. <...> Обладая женской полярностью, гипофиз выступает в роли постоянной искусительницы. В египетских мифах Исида, обладающая качествами гипофиза, своими чарами побуждает верховного бога солнца Ра (символизирующего шишковидную железу) открыть свое тайное имя, что тот в конце концов и делает. Соответствующий физиологический процесс достоин более подробного рассмотрения.

Гипофиз начинает еле уловимо светиться. От него начинают исходить слегка мерцающие световые кольца, постепенно гаснущие на небольшом расстоянии от железы. По мере оккультного развития, обусловленного должным пониманием соответствующих законов, кольца, окружающие гипофиз, становятся ярче. Их распределение неравномерно: они удлиняются к той стороне гипофиза, что обращена к третьему желудочку, и расширяются, образуя элегантные параболы, в направлении шишковидной железы. Постепенно, по мере того как поток усиливается, они все более приближаются к дремлющему оку Шивы, окрашивая шишковидную железу в золотисто-оранжевый цвет и мягко приводя ее в движение. Под воздействием ласкового тепла и сияния огня гипофиза божественное яйцо начинает дрожать и двигаться; свершается величественное таинство оккультного разворачивания. <...>

Шишковидная железа является связующим звеном между человеческим сознанием и незримыми мирами Природы. Всякий раз, когда свод гипофиза соприкасается с этой железой, у человека происходит кратковременная вспышка ясновидения, однако для того, чтобы добиться согласованной работы этих органов, требуются многие годы самоотверженной физиологической и биологической подготовки особого рода».

Вот что удивительно — это же классическая схема ЯМР! Чаще всего для наблюдения магнитного резонанса применяют дополнительное переменное магнитное поле, направленное перпендикулярно постоянному внешнему полю.

Линия, соединяющая гипофиз и эпифиз, лежит довольно близко к плоскости, перпендикулярной линии позвоночника. Гипофиз таким образом играет роль катушки, которая перпендикулярна внешнему магнитному полю в классическом ЯМР.

Еще один момент: в ЯМР стараются использовать максимально сильное внешнее поле, так как при этом усиливается сигнал резонанса, то есть получается более точная, детальная картина. Этот принцип справедлив для биокомпьютера и аналогичных методик открытия «Третьего глаза», то есть, чтобы увидеть четкую «картинку», нужно уметь создавать достаточно мощный поток энергии. Но определяющее значение имеет не абсолютная величина магнитного поля, а его градиент (в пределах эпифиза), однако чем больше само поле, тем лучше. Естественно, что речь идет лишь об аналогии. Общей с ЯМР здесь может быть лишь принципиальная схема, хотя бы в самых общих ее чертах. Мозговой песок обладает сложной слоистой структурой, и роль кубитов могут выполнять, например, отдельные слои этих отложений — тогда не нужны будут магнитные поля с сильным градиентом, а вполне достаточно будет «энергетических всплесков».

Да и сами кристаллы гидроксиапатита в нашем организме не являются идеальными — они содержат включения, например, ионы металлов, которые придают им различные цветовые оттенки. О роли и значимости этих включений говорить пока сложно. Если бы мы имели дело с физикой и с квантовым компьютером на монокристаллах гидроксиапатита кальция, то любые неоднородности и посторонние включения только осложняли бы задачу. Даже при наличии идеального кристалла приходилось бы «расцеплять» взаимодействия  $^{31}\text{P}-^1\text{H}$ , что, впрочем, довольно легко сделать. А взаимодействиями протонов с изотопами  $^{43}\text{Ca}$  и  $^{17}\text{O}$ , обладающими

магнитными моментами, можно пренебречь вследствие их малого процентного содержания в природных соединениях ( $^{43}\text{Ca}$  — 0,145% и  $^{17}\text{O}$  — 0,037%).

Но это — физика, которая требует умения не только проводить эксперименты, но и на теоретических моделях количественно описывать то, что происходит. Большое число параметров лишь затрудняет описание и проведение экспериментов. Начинают обычно с самых простых ситуаций, а затем можно и «накручивать», искать более эффективные решения.

А когда речь идет о биологии, кто его знает... Математическая модель для работы нашего квантового компьютера в голове не нужна. Он проектировался не нами. Хотя у меня есть надежда, что когда-нибудь мы поймем основные принципы его работы.

В пользу идеи, согласно которой квантовый компьютер в нашем головном мозге работает по аналогии с ЯМР, свидетельствуют и косвенные данные. Например, отмечено влияние на эпифиз переменных магнитных полей, которое изучается довольно интенсивно в связи с интересом к мелатонину, который там вырабатывается. И эти эксперименты подтверждают, что эпифиз является одним из магниточувствительных органов в нашем организме\*. На Западе очень много публикаций на эту тему. В названной в сноске статье\*\* есть большой список литературы на эту тему.

\* *Темурьянц Н., Шехоткин А., Насилевич В.* Магниточувствительность эпифиза. Биофизика. Т. 43. Вып. 5. 1998. С. 761–765; <http://nauka.relis.ru/19/0001/19001046.htm>.

\*\* *Pflugger D. H., Minder C. E.* Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. *J. Pineal Res.* 1996 Sep; 21(2):91–100, [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list\\_uids=8912234&dopt=Abstract](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=8912234&dopt=Abstract).

Аналогия с ЯМР может оказаться очень полезной и продуктивной для понимания основных принципов работы квантового компьютера в головном мозге. Не случайно первые эксперименты по практической реализации квантового компьютера были осуществлены методами ЯМР — на сегодняшний день это не только сильная экспериментальная база, но и мощные теоретические методы, позволяющие описывать спиновую динамику и на простых моделях объяснять суть происходящих процессов. Кстати, могу порекомендовать большую обзорную статью\* в *Rev. Mod. Phys.*, посвященную современным методам ЯМР применительно к квантовому компьютеру. Один из ее авторов — тот самый И. Чуанг, которому принадлежит слава создателя первых прототипов квантовых компьютеров. В конечном итоге, эти методы могут и не использоваться в промышленных образцах квантового компьютера. Однако в силу того, что методы ЯМР очень хорошо формализованы, они являются прекрасным модельным примером теоретических основ квантовых вычислений.

\* *Vandersypen L. M. K., Chuang I. L.* NMR techniques for quantum control and computation, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 1037, (2004).

Кристаллы гидроксиапатита в качестве модельной основы квантового компьютера в головном мозге хороши тем, что для них есть теоретическое описание конкретного механизма квантовых вычислений, позволяющего моделировать работу кристалла как носителя квантовых регистров памяти (кубитов). Причем теоретическое моделирование достаточно простое — квазиодномерная структура гидроксиапатита кальция позволяет свести задачу к линейной цепочке взаимодействующих ядерных спинов (кубитов), теоретические методы описания таких одномерных систем в ЯМР хорошо отработаны.

По большому счету, любую квазизамкнутую систему из взаимодействующих подсистем можно считать квантовым компьютером. Есть только одно маленькое «но» — чтобы целенаправленно использовать нелокальные квантовые ресурсы такой системы, нужно уметь управлять квантовыми корреляциями между ее подсистемами. Здесь есть отдаленная аналогия с эзотерической практикой — чтобы задействовать свои магические способности, мы должны уметь управлять нашими квантовыми корреляциями с окружением, взаимодействиями на тонких уровнях энергии, то есть «дирижировать» энергоинформационными потоками.

Например, если взять какую-то конкретную систему, допустим воду (или кристаллы льда), то в ней невозможно выделить кубиты и тем более указать метод, позволяющий избирательно ими манипулировать. Хотя нелокальные корреляции, присущие воде (ее информационные

свойства), несомненно, играют очень значительную роль в нашей жизни, как и в жизни на Земле в целом.

А вот в случае с гидроксипатитом кальция понятно, что и как нужно делать, чтобы этот кристалл заработал у нас в качестве квантового компьютера. Поэтому даже в качестве модельной системы он может дать очень многое для понимания физических основ работы сознания. Самое простое — это представить, что у нас «во лбу» вместо эпифиза вставлен идеальный монокристалл гидроксипатита, и, значит, уже можно моделировать работу сознания, используя подходы, применяемые в квантовом компьютеринге.

В рамках предлагаемой гипотезы интересно проанализировать еще и такой вопрос: а что происходит с человеком, у которого удален эпифиз? Такие операции проводят при наличии в нем злокачественной опухоли. Как ведут себя пациенты после операции? В Интернете мне встречались описания случаев, когда после удаления эпифиза люди испытывают так называемое «би-размещение». Вот одно из таких описаний\*:

«Я наблюдал много нейрохирургических пациентов, у которых был удален эпифиз вследствие опухоли. Они классически демонстрируют виртуальное „би-размещение“, при котором они существуют одновременно и в призрачной реальности (dream reality), и в настоящем. Они существуют в ярком „сновидческом“ состоянии (in a vivid dream state), пока находятся в сознании, и могут чередовать два эти состояния своего сознания. При тестировании этих пациентов выявляется, что их ориентация в „этой“ действительности несколько отличается от нормы и может казаться немного странной случайному наблюдателю. Любопытно, что эти пациенты демонстрируют полностью зафиксированный пристальный взгляд со слабо различимым движением глаз. И еще более любопытно то, что, когда они перемещаются в „этой“ реальности, то и в „другой“ реальности перемещаются на такое же расстояние. Один джентльмен, которому я помогал дойти до ванной, остановился на полпути и некоторое время не мог идти дальше вследствие того, что в его „другой“ реальности он был на скачках, и то место, где мы находились в коридоре госпиталя, одновременно воспринималось им как граница трека. Мы не двигались до тех пор, пока путь не стал свободен от лошадей, которые могли его сбить».

\* [http://www.23n1people.com/eye\\_movements.htm](http://www.23n1people.com/eye_movements.htm).

Здесь я вижу аналогию со сломанным квантовым компьютером, когда теряется способность выделить из суперпозиционного состояния подходящую «картинку» восприятия, и они остаются наложенными друг на друга. Но в то же время человеческий организм — достаточно надежная система, и многие его основные функции дублируются, поэтому удаление эпифиза не приводит к тотальному «выключению» квантового компьютера (нашего сознания). Кристаллы гидроксипатита есть не только в эпифизе, но и в окружающих тканях, его вообще достаточно много в нашем организме. Да и квантовый «слепок» эпифиза продолжает оставаться на месте, связанный нелокальными корреляциями с другими функционирующими частями системы. Поэтому наш квантовый компьютер и не выключается, а продолжает работать, его лишь иногда «глючит», но эти сбои по симптомам «би-размещения» сами по себе недвусмысленно свидетельствуют в пользу квантовой гипотезы с ее суперпозицией состояний восприятия. По аналогии с квантовым компьютером этот «сбой» можно представить таким образом: мы проводим квантовые вычисления, но не можем вывести результат, не можем декогерировать его на плотных кубитах и увидеть, что же получилось. Плотных кубитов просто нет, эпифиз удален — результат не перенесен на материальный носитель, он не может быть «считан» другими материальными структурами мозга в качестве информации восприятия об окружающих нас предметных телах. В лучшем случае на месте эпифиза остается его квантовый ореол — тонкоэнергетическая структура, и мозг «считывает» информацию оттуда, но при этом нет возможности отличить тонкую «призрачную реальность» от настоящей — и та, и другая картинка восприятия содержится в тонкой структуре. Мозг не в состоянии выбрать ту, которая относится к плотному миру, поскольку нет плотных носителей этой информации, откуда она может быть считана.

Поскольку эпифизу и мозговому песку, как я предполагаю, отведена такая важная роль в нашем «мозговом компьютере», имеет смысл более подробно ознакомиться с научно-медицинскими исследованиями в данной области. Для этой цели хорошо подходит статья И. В.

Сязск «Мозговой песок шишковидной железы человека»\*, в которой есть все основные сведения о структуре эпифиза и составе мозгового песка.

\* Сязск И. В. Мозговой песок шишковидной железы человека // Научно-практический вестник: Человек в социальном мире: проблемы, исследования, перспективы. Вып. 1/2001 (№ 5). С. 44.

Рядом современных исследователей было доказано, что отложения мозгового песка шишковидной железы являются результатом метаболической активности пинеалоцитов, а не патологическим процессом, в ходе которого происходит кальцификация некротизированных тканей железы, как долгое время считалось ранее. Уменьшение образования мозгового песка ассоциируется с множеством заболеваний, тогда как увеличение его количества не указывает на специфическое патологическое состояние.

Исследования показали, что песчинки мозгового песка различных размеров и плотности возникают как среди пинеалоцитов (клеток шишковидной железы), так и среди арахноидальных клеток (клеток сосудистой оболочки мозга). Увеличение размеров песчинок в областях кальцификации протекает с помощью аппозиционного роста. Песчинки окружены коллагеновыми волокнами и образуют концентрические слои различной плотности. В этих слоях были найдены структуры игольчатой формы, похожие на кристаллы гидроксиапатита.

Эти неправильной формы многослойные концентрические отложения шишковидной железы содержат:

- 1) гидроксиапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ;
- 2) фосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ;
- 3) гидрофосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;
- 4) карбонатапатит  $\text{CaCO}_3\text{OH}$ ;
- 5) кальцит  $\text{CaCO}_3$ .

Помимо этого неорганического компонента, есть и органический, который имеет две составляющие: гормональную (сюда входят более 10 гормонов шишковидной железы) и негормональную (в структуре мембран и цитоплазматического матрикса клеток пинеалоцитов). Гормональная составляющая органического компонента мозгового песка: индоламины — мелатонин, серотонин; производные триптофана — 5-гидрокситриптофол, 5-метокситриптамин, 5-метокситриптофол, норадреналин, адреногломерулотропин; пептиды — аргинин, вазотоцин, пинолин, тиреотропин рилизинг-фактор.

Соединение органического и неорганического компонентов мозгового песка придают ему большую прочность, сравнимую с прочностью стали.

Свойства пинеалоцитов, обусловленные их способностью формировать неорганический компонент мозгового песка в виде отложений кристаллов гидроксиапатитов и гидрофосфата кальция, нельзя признать специфическими. Подобные процессы — отложение вышеупомянутых соединений — происходят и в других соматических клетках организма в физиологических условиях, как внутриклеточно (в митохондриях и лизосомах), так и внеклеточно (гликозаминогликаны, коллагеновые волокна). Этиология этого процесса не известна. По мнению И. В. Сязск, образование неорганического компонента мозгового песка нельзя рассматривать отдельно от происходящего в организме процесса, известного под названием «кальциноз», — это звенья единого процесса, функция и значение которого досконально не исследованы современной наукой. Неорганические отложения в виде гидроксиапатитов, карбонатапатитов, фосфата кальция возникают в результате физиологических процессов в сосудистых желудочках мозга, костной ткани, дентине и эмали зубов и т. д. Они имеют место и при патологических процессах: в атеросклеротических бляшках и клапанах сердца на ранних стадиях атеросклероза, при остеохондрозе, остеоартритах, гидроксиапатитной артропатии, бронхолитиазе, нефрокальцинозе, в оболочках нервов при сахарном диабете и пр. Неорганический компонент мозгового песка чувствителен к кислотно-щелочному балансу организма. Образованию кристаллической фазы способствует щелочная среда организма, тогда как кислотная легко растворяет кристалл. Литий и фтор препятствуют его растворению.

Кристаллы гидроксиапатитов эпифиза более мелкие, чем в костной ткани, причем у мозгового песка более высокий процент кристаллизации, нежели в костной ткани, за счет более низкого процента субмикрорекристаллической фракции этого минерала.

Необходимо отметить, что гормон мелатонин, ранее считавшийся специфическим гормоном шишковидной железы, вырабатывается также клетками кишечника и сетчатки глаз. Свойства мелатонина, вырабатываемого железой в ночное время суток, чрезвычайно многообразны: он обладает гипнотическим действием, осуществляет контроль над биологическими ритмами и процессом старения, играет роль в развитии сезонных депрессий, влияет на репродуктивные функции, обладает антиоксидантным и антипролиферативным эффектами, стимулирует клеточный иммунитет.

Мозговой песок имеет желтоватый оттенок, который ему могут придавать содержащиеся в его составе примеси: стронций, цинк, магний, натрий, железо, сера. Наблюдаемая фосфоресценция (хемилюминесценция голубого цвета) мозгового песка может объясняться как интенсивными биохимическими процессами, так и наличием радиоактивных включений в виде солей урана. Последние придают мозговому песку и кристаллическим отложениям кальция в различных органах и тканях при кальцинозе радиоактивные свойства, делая эти отложения одним из источников рентгеновского излучения организма.

Предполагают, что увеличение содержания ионов магния в кристаллах гидроксиапатита от сердцевины к его периферии свидетельствует о замедлении скорости роста кристаллов. Вероятно, что к наиболее активным ингибиторам относятся пирофосфаты, фосфонаты, дифосфонаты.

Еще одна статья, на которой я хочу остановиться, касается возрастных изменений, происходящих в эпифизе\*.

\* *Хавинсон В. Х., Голубев А. Г.* Старение эпифиза. Успехи геронтологии **3** (9), 259, (2002); <http://www.medline.ru/public/art/tom3/art27.phtml>.

Приведу несколько цитат из этой работы и кратко их прокомментирую.

«Кроме липофусцина в эпифизе при старении накапливаются кальциевые конкреции, представляющие собой отложения гидроксиапатита на органическом ядре.

Определение кальция атомно-адсорбционной спектроскопией в эпифизах людей, погибших в возрасте от 3 месяцев до 65 лет, показало, что общий уровень кальция находится в прямой корреляции с возрастом и в обратной — с ночным и дневным уровнями мелатонина в эпифизе».

Эти данные подтверждают неоднократно приводившиеся в других работах сведения о корреляции количества гидроксиапатита в эпифизе с возрастом. Интерес представляет и корреляция с мелатонином. Именно мелатонину уделяется внимание в подавляющем большинстве публикаций, посвященных эпифизу, после того, как опыты на мышах показали, что повышенное содержание мелатонина значительно увеличило продолжительность их жизни. Начался настоящий бум исследований на эту тему.

Возвратимся к цитируемой статье.

«Авторы электронно-микроскопического исследования кальциевых конкреций в клетках эпифиза людей в возрасте от 2 суток до 86 лет пришли к выводу, что „они (конкреции) едва ли имеют отношение к возрасту, поскольку могут отсутствовать даже у очень старых людей“, а образование кальциевых конкреций в пинеалоцитах связано скорее с секреторной активностью, чем с атрофией клеток».

Этот интересный вывод показывает, что кальциевые конкреции не имеют прямой связи со старением, а связаны скорее с «активностью» эпифиза (интеллектуальной деятельностью? — то есть с работой квантового компьютера?).

«Зависимость образования кальциевых конкреций в пинеалоцитах от их функциональной активности подтверждается результатами компьютерной томографии 70 пациентов с эпилепсией в возрасте 9–58 лет. Частота случаев кальцификации эпифиза оказалась не связанной с возрастом и полом и была выше, если эпилептический фокус локализован в правой височной доле (94%), а не в левой (24%). Вследствие межполушарной асимметрии правая височная доля при сравнении с левой дает более массивную иннервацию в лимбическую систему. Соответственно, эпилептические приступы в правой доле должны приводить к более сильной стимуляции эпифиза, который отчасти регулируется через лимбическую систему. О зависимости образования кальциевых конкреций в эпифизе от уровня его стимуляции свидетельствует и ускоренное накопление таких отложений в эпифизе монгольских песчанок при иммобилизационном стрессе.

Функциональные последствия накопления кальциевых конкреций в эпифизе не ясны. Предполагается, что их образование происходит при чрезмерной стимуляции пинеалоцитов, как

это может быть при стрессе, и является способом забуферивать ионы кальция и предохранять пинеалоциты от чрезмерного накопления ионов кальция в цитоплазме клеток. У людей уровень кальциевых конкреций, определяемый компьютерной томографией, обратно коррелирует с уровнем экскреции метаболитов мелатонина. Этим данным можно дать два объяснения.

С одной стороны, ясно, что накопление конкреций в ткани когда-то должно достигать степени, создающей непреодолимые помехи ее функциям, но неизвестно, какая это степень, и достигается ли она в реальной жизни. С другой стороны, независимо от собственного вклада кальциевых конкреций в нарушения функций эпифиза, их уровень, а также уровень липофусцина, можно рассматривать как показатели кумулятивной дозы полученных пинеалоцитами повреждающих факторов эндогенного происхождения (кальциевые конкреции — показатель дозы избытка кальция, а липофусцин — показатель экспозиции клеток действию свободных радикалов кислорода)».

Таким образом, для чего нужен мозговой песок, так никто и не знает — никаких видимых «помех» для функционирования эпифиза он вроде бы не создает, а о том, что он может быть полезен, никто даже не задумывается.

Вот один из основных выводов, который делается в рассматриваемой статье: «Изменения, происходящие при старении в эпифизе, носят более функциональный, чем органический характер, что делает возможной их коррекцию».

Интересным моментом в статье представляется то, что ее авторы отметили связь количества кальциевых конкреций в эпифизе со стрессом и, следовательно, градиентами энергии. У меня в голове уже давно крутится мысль о связи эпилепсии и лунатизма (сомнамбулизма) с большими градиентами энергии в нашем теле и, как следствие, уменьшением веса человека. Этим вопросом занимался профессор П. И. Ковалевский в начале прошлого века.

Вот что рассказывает о его работе Дмитрий Назин\*:

«... По долгу службы в призывных комиссиях профессору Санкт-Петербургской военно-медицинской академии П. И. Ковалевскому приходилось выявлять симулянтов, „косивших“ от солдатчины. Попадались такие „артисты“, которые разыгрывали припадки прямо на глазах у врачей настолько достоверно, что приходилось выставлять им желаемый диагноз. Видя такое, Ковалевский решил найти способ объективной диагностики. (Как вы понимаете, в то время энцефалографов не было.)

Зная об изменении веса человека во время необычных психических состояний, он применил для диагностики весы. Взвешивание проводилось до приступа и сразу после него. И оказалось, что снижение веса эпилептика при самом легком проявлении болезни — головокружении, составляет от 2 до 9 фунтов. А при эпилептических судорогах (epilepsie grand mal) — до 12 фунтов. В случае же глубокого психического расстройства, которое часто сопровождает эпилепсию, и при длительном припадке эти потери достигают четверти веса. Потом, правда, естественный вес довольно быстро восстанавливается. Современные исследования показали, что в особо тяжелых случаях потери составляют до 33–35% веса больного. То есть средний мужчина из своих 75 кг должен потерять примерно 25».

\* <http://trigramm.narod.ru/levitation.html>.

К сожалению, публикации самого П. И. Ковалевского найти трудно, поэтому могу привести лишь еще одну косвенную цитату\*:

«Обратимся к свидетельствам врачей. Например, известного психиатра П. И. Ковалевского: „Я первый указал на то, что приступы эпилепсии сопровождаются последовательно потерей веса тела эпилептика, причем эти потери бывают как при соматической, так и при психической эпилепсии... Эта весовая потеря может обуславливаться разнообразными причинами, способствующими распадению тканей организма и выведению их мочой, потом, дыханием и проч. Исследования веса эпилептиков показали, что в некоторых случаях падение достигает 700 г, а после приступа психической эпилепсии 13 кг“».

\* *Росцус Ю.* По неугоплению — сжечь! ТМ 1, 1988; <http://anomalialia.narod.ru/article/068.htm>.

На первый взгляд, это уж совсем чепуха — смахивает на глупую шутку, которую невозможно воспринимать всерьез. Но не торопитесь с выводами — о том, что такое вполне

возможно, мы будем подробно говорить в следующей главе, где речь пойдет о градиентах энергии.

Электроэнцефалограмма мозга при эпилепсии и сомнамбулизме близка к энцефалограмме, сделанной во время быстрой фазы сна (особенно при осознанном сновидении), что также наводит на некоторые размышления об общих чертах этих процессов. Но это отдельная тема...

Подводя итог этой главы, скажу следующее: я считаю, что квантовый компьютер, над созданием которого сегодня бьются ученые, уже давно реализован самой природой и вполне успешно функционирует в нашем головном мозге. Слишком много явных параллелей тут можно провести, что, видимо, не случайно. Раньше осознать это обстоятельство было невозможно, уловить это соответствие было нереально, поскольку просто не существовало представлений о том, что такое квантовый компьютер.

Старые классические представления полностью исключали возможность объяснить мистические практики, которые «не вписывались» в классическую физику. В свете последних достижений квантовой теории и в результате практической работы над созданием квантового компьютера все эти «магические» достижения человека уже не кажутся фантастическими — в их основе прослеживается реальная физика нелокальных квантовых корреляций. Те сверхъестественные возможности, которые человек приобретает, занимаясь эзотерической практикой, легко объясняются в рамках квантового компьютинга и физики квантовой информации. Сознание человека способно взять под свой контроль квантовый режим работы своего мозгового компьютера и научиться им управлять со всеми вытекающими отсюда магическими (в широком смысле слова) последствиями и проявлениями.

Таким образом, физические исследования, направленные на создание квантового компьютера, проливают свет на одну из самых захватывающих и интригующих тайн нашего бытия и помогают найти ответ на вопрос, что такое сознание, и каким образом оно функционирует.

## **Глава 5**

### **Градиент энергии**

#### **5.1. Магия в предметном мире**

Создание первых прототипов квантовых компьютеров и реализация других технических устройств, которые используют квантовую запутанность в качестве основного рабочего ресурса, — это, конечно, поразительные достижения современных прикладных разделов квантовой теории. Но принцип несепарабельности говорит о большем — он свидетельствует о наличии магических нелокальных корреляций между любыми взаимодействующими объектами. Вот только пока не совсем ясно, как можно воспользоваться этими знаниями на практике в нашем обычном предметном мире применительно к квантовой запутанности между взаимодействующими макроскопическими телами.

Стоит задуматься над вопросом, какой физический механизм способен стать тем универсальным «ключиком», который открыл бы путь к управляемому взаимодействию с окружением, а значит, позволил бы манипулировать и квантовой запутанностью между любыми объектами.

Для начала можно попытаться построить теоретическую модель, которая бы «ухватила» основные особенности запутанных состояний и открыла возможность их практического применения в предметном мире.

Об ограниченности классического описания реальности мы уже много говорили. Следствием такого описания является преобладание научных дисциплин, изучающих локальные объекты. В физике теоретическими объектами чаще всего вообще являются материальные точки. Таким образом, намечается первый шаг — по аналогии с принципом дополнительности Бора, широко используемом в микромире, локальное описание объектов можно дополнить

нелокальным. Это позволит рассматривать запутанные состояния как существенно нелокальный ресурс.

Однако здесь возникает другой вопрос: имеют ли современная физика и математика в своем распоряжении необходимые подходы и методы для такого описания? Сразу стоит отметить, что тут не помогут ни механика Ньютона, ни теория относительности Эйнштейна, поскольку они имеют дело с материальными точками. Так, Эйнштейн в книге «Физика и реальность» писал об общей теории относительности следующее: «Задача последней заключается в однозначном описании движения точки в пространстве и времени без использования вспомогательного понятия отклоняющей силы».

То есть рассчитывать можно лишь на те разделы физики, которые изучают непрерывные среды и полевые объекты. Разумеется, придется широко использовать современный математический аппарат и методы статистической физики, квантовой механики, классической и квантовой теории поля, но безотносительно их применения к микрочастицам. К сожалению, большую часть этих теорий составляют практические задачи, описывающие поведение частиц, а изложение теоретических основ уместается лишь на нескольких страницах, но ценность самих подходов все равно несомненна. Из математических инструментов следует взять на заметку современные методы дифференциальной геометрии, с помощью которых можно в терминах дифференциальных форм описывать в наиболее общем виде непрерывное распределение физических величин. К сожалению, в настоящее время еще сильно преобладает представление, что физические законы можно записать только на основе точечной дискретизации протяженного объекта, поскольку якобы только в этом случае можно ввести понятие дифференциала как бесконечно малого изменения некоторой функции точки, соответствующего бесконечно малому смещению самой точки (формализм Ньютона). Поэтому обычно под физическим законом понимают его координатное представление. Внешнее исчисление обобщает понятие дифференциала и дает более строгое его определение в терминах «внешней производной» (дифференциальной формы), уже не связанное со смещением точки. При этом роль элементарных объектов выполняют события (состояния), единственное требование к которым заключается в их идентифицируемости по произвольному параметру (например, по запаху — шутка, конечно, но она отражает суть дела). Простейшей ковариантной производной является градиент, понимаемый как 1-дифференциальная форма (см. Приложение). Физические законы, сформулированные в терминах дифференциальных форм, имеют более общий характер — они справедливы для пространств любой размерности, с произвольной метрикой и даже вовсе без метрики. Эти законы записываются на языке, свободном от координатных представлений, как это и принято, согласно «принципу всеобщей ковариантности»\*. Такой подход позволяет записывать физические законы для нелокализованных объектов. Чуть дальше мы более подробно обсудим этот вопрос.

\* Одна из формулировок этого принципа приведена в книге Ч. Мизнера, К. Торна, Дж. Уилера «Гравитация» (т. 1. М.: Мир, 1977. С. 370): «Каждая физическая величина должна описываться геометрическим объектом (независимо от наличия координат), а все законы физики должны выражаться в виде геометрических соотношений между этими геометрическими объектами».

## 5.2. Построение физической модели

В квантовой механике доказывается, что систему взаимодействующих частиц можно описать, используя понятие квантового поля. При этом принято каждому виду взаимодействия ставить в соответствие свое квантовое поле. По современным представлениям, квантовое поле является наиболее фундаментальной и универсальной формой материи, лежащей в основе всех ее физических проявлений (как волновых, так и корпускулярных)\*.

\* Боголюбов Н. И., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Физматлит, 1993.

Однако, несмотря на такую универсальность, концепция квантового поля в настоящее время используется только в физической теории микромира. Причины, мешающие расширить понятие квантового поля, включив в него и макроскопические объекты, носят принципиальный характер. Суть этих затруднений заключается в следующем. Если квантовое поле является свободным, то есть в нем нет никаких взаимодействий, а также отсутствует и самовоздействие, то

его можно рассматривать как совокупность невзаимодействующих квантов этого поля. При наличии взаимодействий, например, между полями различных типов, независимость квантов утрачивается. В том случае, когда взаимодействия начинают играть доминирующую роль в динамике полей, утрачивается и плодотворность самого введения квантов этих полей. Поскольку с точки зрения квантовой теории поля все тела являются сложными многоуровневыми системами с практически бесконечным числом взаимодействующих квантовых полей, это делает невозможным их описание методами, применяемыми в данной теории. Но для предлагаемого здесь подхода это не становится непреодолимым препятствием, так как мы не стремимся к чисто предметному описанию, и понятие «кванта» поля уже не является обязательным, наоборот, мы хотим от него отойти.

Для начала можно попытаться воспользоваться методами статистической физики, хорошо зарекомендовавшими себя в аналогичной ситуации при описании свойств макроскопических тел, моделируемых совокупностью большого числа взаимодействующих атомов или молекул. Есть все основания надеяться, что, если свойства макроскопических тел и свойства составляющих их частиц качественно различны, то качественно отличаются друг от друга и квантовые поля самих макрообъектов и микрочастиц, из которых они состоят.

Справедливости ради следует отметить, что статистические методы широко используются в квантовой теории поля. Однако все они основаны на связи между уровнями энергии системы и числом частиц\* (на распределении Гиббса, которое устанавливает вероятность нахождения подсистемы в состоянии с энергией  $W_{nN}$  и числом частиц  $N$ ), то есть опять все замыкается на частицы, от чего мы хотим уйти. Необходимо действовать иначе.

\* См., например: *Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е.* Методы квантовой теории поля в статистической физике. М., 1962.

Попробуем рассуждать следующим образом. Рассмотрим пока в привычном представлении произвольную систему взаимодействующих частиц (например, твердое тело). Полную внутреннюю энергию тела, в соответствии с качественно различными типами взаимодействия, принято разделять на энергию межмолекулярных взаимодействий, энергию молекул, а также внутриатомную и ядерную энергию. Энергия самих молекул (атомов), в свою очередь, делится на электронную, колебательную и вращательную части, из них каждая следующая меньше по величине по сравнению с предыдущей. Кроме того, различают несколько типов взаимодействия частиц, зависящих от их спинов: обменное взаимодействие, связанное с возможностью перестановки одинаковых частиц; спин-орбитальное взаимодействие, происходящее от релятивистского взаимодействия движущегося магнитного момента с электрическими полями; непосредственное магнитное взаимодействие моментов. Обменное взаимодействие обычно значительно превышает два остальных.

Каждому из указанных выше взаимодействий соответствует свое квантовое поле. Таким образом, произвольный объект можно рассматривать как многоуровневую систему квантовых полей. Очевидно, что все эти поля сложным образом взаимодействуют друг с другом. В результате такого взаимодействия образуется единое квантовое поле объекта. Помимо локальных составляющих, обусловленных близкодействующими сильными внутриядерными взаимодействиями, оно содержит в себе нелокальные дальнодействующие поля и является наиболее полной характеристикой объекта, определяя не только его внутреннюю структуру, но и взаимодействие с другими, в том числе удаленными, объектами. Иными словами, энергию любого объекта можно разделить на две составляющих. Одна из них определяет форму тела и задает поверхность, отделяющую его от окружения. А вторая, связанная с микроскопическим движением частиц и энергиями их взаимодействий, выходит далеко за границы этой локальной формы (в пределе на бесконечность).

Для изучения закономерностей, которым подчиняются поведение и свойства объектов, моделируемых таким образом, попытаемся воспользоваться методами статистической физики. Чтобы обосновать возможность их применения, рассмотрим основные принципы квантовой статистики.

Согласно подходу, принятому в статистической физике\*, в рассматриваемом объекте обычно выделяется достаточно малая, но еще макроскопическая подсистема. Она не является замкнутой и испытывает всевозможные воздействия со стороны остальных частей системы.

Однако именно в силу сложности и запутанности внешних воздействий выделенная подсистема за достаточно большой промежуток времени многократно побывает во всех своих возможных состояниях. Поэтому, устремляя время на бесконечность, можно ввести величину  $p$ , которая характеризовала бы вероятность нахождения системы в определенном состоянии. Вводится она как предел отношения  $\Delta t$  к  $T$ , при  $T \rightarrow \infty$ , где  $\Delta t$  — та часть полного времени  $T$ , в течение которого подсистема находилась в данном состоянии.

\* Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Ч. I. М.: Наука, 1964. С. 15.

С учетом «почти непрерывности» энергетического спектра макроскопических тел обычно вводится квантовый аналог классического элемента фазового объема — число квантовых состояний  $d\Gamma$  замкнутой системы, приходящихся на определенный, бесконечно малый интервал значений ее энергии. Тогда вероятность состояний, лежащих в данном интервале энергии, записывают в виде  $dp = r d\Gamma$ . Функция  $r$  в аналогичном выражении классической статистики характеризует плотность распределения вероятности в фазовом пространстве и называется функцией статистического распределения (или просто функцией распределения) данного тела. В квантовой статистике ее заменяет матрица плотности в энергетическом представлении (статистическая матрица). Нахождение статистического распределения и является основной задачей статистики, поскольку знание матрицы плотности позволяет вычислять среднее значение любой величины, характеризующей систему, а также вероятности различных значений этих величин.

Матрица плотности в энергетическом представлении вводится следующим образом. Выделенная нами подсистема на протяжении малого промежутка времени является квазизамкнутой, поскольку ее внутренняя энергия намного больше энергии взаимодействия с другими подсистемами. Поэтому появляется возможность ввести понятие стационарных состояний, которые получаются при полном пренебрежении всеми взаимодействиями данной подсистемы с окружающими частями замкнутой системы. Обозначим через  $j_n(q)$  полный набор ортонормированных волновых функций этих состояний, где  $q$  условно обозначает совокупность всех координат подсистемы, а индекс  $n$  — совокупность всех квантовых чисел, отличающих различные стационарные состояния с энергией  $W_n$ . Предположим, что в данный момент времени подсистема находится в некоем полно описанном состоянии с волновой функцией  $\Psi$ . Ее можно разложить по функциям  $j_n(q)$  и с их помощью найти среднее значение любой физической величины. Переход от полного описания подсистемы к неполному, осуществляемому посредством матрицы плотности, можно рассматривать как усреднение по ее различным  $\Psi$ -состояниям. В результате такого усреднения получается двойной (по двум индексам) набор некоторых величин  $r_{nm}$ , которые и являются элементами матрицы плотности в энергетическом представлении.

Вероятность нахождения подсистемы в  $n$ -м состоянии будет равна соответствующему диагональному элементу  $r_{nn}$  матрицы плотности. Дальнейшие рассуждения позволяют сделать вывод, что исходное требование статистической независимости подсистем эквивалентно требованию диагональности матрицы  $r_{nm}$ , или, точнее, по мере уменьшения роли взаимодействий подсистем друг с другом, недиагональные элементы матрицы плотности стремятся к нулю. Задача определения статистического распределения, таким образом, сводится к вычислению вероятностей  $r_n = r_{nn}$ .

В квантовой статистике доказывается еще одно важное утверждение: статистическое состояние системы зависит только от ее энергии, и вероятности  $r_n$  могут быть выражены в виде функции только от величины уровня энергии  $r_n = r(W_n)$ .

Следовательно, квантовая статистика позволяет, в принципе, исходя из одной только энергетической характеристики объекта, вычислять среднее значение любой величины, характеризующей систему, а также вероятности различных значений этих величин.

Одно из основных условий применимости методов квантовой статистики — наличие у макроскопического объекта «почти непрерывного» энергетического спектра. Этому условию удовлетворяют не только тела, описываемые системой взаимодействующих частиц, но и объекты, моделируемые системой квантовых полей. При этом появляется возможность описать не только внутренние свойства макроскопических объектов (иными словами, ограничиться решением

предыдущей задачи с частицами в виде локальных полей), но и взаимодействие отдельных тел, поскольку каждое из них будет обладать нелокальными макроскопическими характеристиками, связанными с наличием далекодействующих полей.

Чтобы сделать очередной шаг, связывающий статистическую физику и квантовую теорию поля, воспользуемся понятием статистического равновесия. Если в замкнутой макроскопической системе среднее значение полной энергии произвольной подсистемы и самой системы в целом имеют минимальное значение, то говорят, что она находится в состоянии статистического равновесия. Это утверждение является следствием того, что замкнутая система при достаточно большом времени наблюдения находится в состоянии, при котором макроскопические физические величины с большой относительной точностью равны своим средним значениям. Если в начальный момент времени система не находилась в состоянии статистического равновесия (например, испытывала внешнее воздействие, после чего вновь стала замкнутой), то в дальнейшем она должна перейти в состояние равновесия. Промежуток времени, в течение которого происходит переход к статистическому равновесию, называется временем релаксации. Под достаточно большим временем наблюдения подразумеваются большие, по сравнению со временем релаксации, времена.

Данное определение статистического равновесия системы (наличия минимума энергии) устанавливает непосредственную связь между статистической физикой и квантовой теорией поля, поскольку дает возможность воспользоваться основополагающим принципом, лежащим в основе теории поля (в том числе и квантового). Это так называемый принцип наименьшего действия (лагранжев формализм)\*. Он заключается в том, что произвольному объекту ставится в соответствие интеграл  $D$ , называемый действием, который имеет минимум, и вариация которого  $\delta D$ , следовательно, равна нулю. Важность этого понятия обусловлена тем, что действие  $D$  определяет физически наблюдаемые свойства системы. Исходя из этого принципа, получают все основные уравнения, характеризующие систему. Например, для системы, состоящей из объекта и внешнего поля, при нахождении уравнения поля считается заданным движение объекта в этом поле, и варьируются потенциалы поля, играющие здесь роль «координат» системы. При нахождении уравнения движения объекта считается заданным поле и варьируется траектория объекта.

\* Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1973.

Действие обычно записывают в виде интеграла по времени от функции Лагранжа  $L(t)$ . Функция Лагранжа является функцией времени, зависит от динамических переменных системы и в механике записывается в виде суммы по всем составным частям системы. В случае непрерывной системы типа волнового поля эта сумма заменяется пространственным интегралом от плотности функции Лагранжа  $L'(x)$ , которая называется лагранжианом (под пространством здесь понимается пространство событий Минковского — четырехмерное пространство-время\* с элементом объема  $dx = dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 = c dt d\mathbf{x}$ ). Поэтому в теории поля (как классической, так и квантовой) основную роль играет не функция Лагранжа  $L(t)$ , а лагранжиан  $L'(x)$ .

\* Если быть более точным, то пространством Минковского называется псевдоевклидово пространство четырех измерений с сигнатурой  $(- + + +)$  или  $(+ - - -)$ . То есть квадраты составляющих четырехмерного вектора на временную и пространственные оси имеют разные знаки. Вследствие этого четырехмерный вектор, с отличными от нуля составляющими, может иметь нулевую длину. Такая геометрия называется псевдоевклидовой, в отличие от евклидовой, в которой квадрат расстояния между точками равен сумме квадратов проекций вектора, соединяющего эти точки.

Таким образом, есть все основания применить отмеченный выше формализм к нашей модели, которая описывает макроскопические тела в виде совокупности квантовых полей.

Перейдем теперь к более детальному построению модели. Разобьем весь энергетический спектр рассматриваемой системы  $W_n$  на интервалы в соответствии с различными видами энергий взаимодействия, указанными выше. Они могут и «накладываться» друг на друга, если это энергии одного порядка (например, в жидкостях энергия взаимодействия молекул и энергия их колебательного движения примерно равны). Выделенные интервалы представляют собой полевые объекты, отличающиеся прежде всего средним значением плотности энергии, обычно они

отделены друг от друга так называемыми энергетическими щелями. Полная внутренняя энергия системы в этом случае будет равна сумме энергий выделенных слоев, а также энергий их взаимодействия между собой. Таким образом, произвольный объект мы моделируем в виде совокупности совмещенных энергетических структур с качественно различными физическими характеристиками. Каждый из выделенных энергетических интервалов по-прежнему является «почти непрерывным», имеет равновесное состояние с минимумом энергии, и к каждому из них можно применить формализм, о котором говорилось выше. Теперь появляется возможность рассчитать значения физических величин и вывести уравнения движения не только для системы в целом, но и для каждой ее составляющей энергетической структуры в отдельности. Следовательно, мы можем описать не имеющие предметного воплощения объекты из менее плотных энергетических составляющих. Можно также описывать взаимодействие этих тонких квантовых структур и учитывать их влияние друг на друга.

Во избежание недопонимания напомним, что мы исходим из непрерывного описания реальности, то есть исходным здесь является понятие поля, в котором нет никаких частиц. В этом случае различные энергии взаимодействия нельзя рассматривать только как результат взаимодействия частиц между собой и делать вывод, что без частиц эти энергетические структуры не существуют. Согласно квантовой теории поля, сами частицы появляются как один из возможных результатов взаимодействия непрерывных энергетических структур с измерительным прибором (в частности, с наблюдателем). При этом опровергается распространенное предубеждение, что различные энергии взаимодействия возникают лишь при объединении отдельных частиц в единую систему. Частицы как первичные и самодостаточные элементы реальности не существуют — это вторичные структуры, которые «проявляются» из нелокального состояния в результате декогеренции окружением. Термин «энергия взаимодействия» здесь не совсем удачен, но я использую его, чтобы было понятно, о чем идет речь, и чтобы согласовать предложенный подход с общепринятым описанием предметного мира.

Такой процесс «проявления» частиц из непрерывных полевых структур имеет четкий физический смысл, достаточно подробно формализован и является одним из наиболее важных разделов квантовой теории поля. Обычно он называется *вторичным квантованием\** полей. Хотя некоторые авторы стараются избегать этого термина. Например, Н. Н. Боголюбов говорит просто о квантовании полей и пишет, что «термин „вторичный“ подразумевает наличие первичного квантования. На самом деле квантование проводится только один раз, и этот термин оказывается дезориентирующим».

\* Термин «вторичный» отражает лишь историческую последовательность событий в процессе развития физики. Поскольку представления о предметном характере окружающего мира, с исторической точки зрения, были первыми, сначала был осуществлен переход частица–волновое поле, который впоследствии назвали первичным квантованием. И лишь затем был выполнен переход волновое поле–частица (вторичное квантование).

В настоящее время ученые, особенно те, кто работает в области квантовой теории поля, достаточно отчетливо понимают, что одностороннего, предметного описания реальности недостаточно для полноценной характеристики объектов. Например, Х. Хакен в «Квантовополевой теории твердого тела» пишет: «Как при первичном, так и при вторичном квантовании понятие частицы никоим образом не заменяется полностью понятием поля, и понятие поля никоим образом не заменяется понятием частицы. Более того, появляется новое двойственное представление: в зависимости от экспериментальных условий (в частном случае, при нашем восприятии окружающего мира. — С. Д.) проявляется либо корпускулярный, либо волновой характер поля».

Однако продолжим построение модели. Ситуация, когда физический объект моделируется как совокупность совмещенных энергетических структур, является не совсем обычной, поскольку в каждой точке мы имеем несколько наборов физических величин, каждый из которых относится к своей структуре. Подобная ситуация с успехом разрешается в механике сплошной среды при описании многофазных смесей (аэрозолей, суспензий, газовзвесей, пузырьковых жидкостей и т. д.). Делается это при помощи введения понятия *многоскоростного континуума\**, который представляет собой совокупность континуумов — каждый из них относится к своей фазе (твердой, жидкой или газообразной), входящей в состав многофазной среды, и характеризуется собственным набором физических величин. Если состав гетерогенной смеси удовлетворяет

определенным ограничениям, то многофазную среду можно моделировать как совокупность непрерывных фаз в виде взаимопроникающих континуумов. Каждый элемент объема в этом случае содержит несколько плотностей, скоростей и других величин, относящихся к своей фазе. В нашей модели мы имеем аналогичную ситуацию — совокупность взаимопроникающих квантовых полей, когда в каждом элементарном объеме есть несколько наборов физических величин, относящихся к своему полю.

\* *Нигматулин Р. И.* Динамика многофазных сред. Ч. I. М.: Наука, 1987. С. 18.

Еще один момент, на который следует обратить внимание: мы можем предположить, что каждый из континуумов, то есть каждая энергетическая структура, имеет собственную метрику\* пространства событий, зависящую, например, от средней плотности энергии данной структуры. Иными словами, каждая составляющая находится в собственном пространстве событий и в различной степени запутанности в соответствии со своими физическими характеристиками. Это предположение вполне обосновано, поскольку согласно теории декогеренции степень классичности объекта зависит от количества информации, которая в нем «записывается» при взаимодействии с окружением. Очевидно, что на носителях, имеющих различную плотность, можно записать разное количество информации, следовательно, чем меньше объемная плотность энергии поля, тем выше для него будет мера квантовой запутанности.

\* Метрика определяет геометрические свойства четырехмерного пространства-времени и характеризуется инвариантной (не зависящей от системы отсчета) величиной — квадратом четырехмерного интервала, определяющим пространственно-временную связь (квадрат «расстояния») между двумя бесконечно близкими событиями.

В соответствии с теми практическими задачами, на решение которых модель направлена, возможны разные степени ее приближения к реальной ситуации. В наиболее простом случае нулевого приближения можно считать метрику всех составляющих структур одинаковой и не учитывать взаимодействие между ними, а в дальнейшем, усложняя задачи и, соответственно, модель, — постепенно включать взаимодействие, различие в метриках и степени запутанности.

### 5.3. Уравнения движения в энергетическом представлении

Попытаемся теперь на конкретном примере продемонстрировать, какую дополнительную научную информацию мы можем получить, используя предложенный подход. Кому трудно следить за математическими выкладками, может их опустить и сразу перейти к обсуждению полученного результата.

Рассмотрим уравнение движения для произвольного объекта. Его легко получить на основе упомянутого выше лагранжева формализма, используя наиболее общий подход, который применяется при выводе тензора энергии-импульса произвольной системы.

Напомним, что уравнение движения получают согласно принципу наименьшего действия путем варьирования  $D$ , и оно имеет вид:

$$\frac{\partial T_j^l}{\partial x^l} = 0, \quad (5.1)$$

Равенство нулю дивергенции (5.1) означает, что сохраняется интеграл от тензора по гиперповерхности пространства. Этот тензор  $T$  с компонентами  $T^{jl}$  ( $j, l = 0, 1, 2, 3$ ) называется тензором энергии-импульса системы. Он определен неоднозначно, а только с точностью до градиента произвольного антисимметричного тензора. Для его однозначного определения можно потребовать, чтобы существовала принятая в механике связь между импульсом и моментом импульса. В этом случае получаем дополнительное условие  $T^{jl} = T^{lj}$ , то есть тензор энергии-импульса должен быть симметричен.

Компонента  $T^{00}$  этого тензора характеризует *плотность энергии*. Вектор с компонентами  $T^{10}/c$ ,  $T^{20}/c$ ,  $T^{30}/c$  есть *плотность импульса*, а вектор с составляющими  $cT^{01}$ ,  $cT^{02}$ ,  $cT^{03}$  — *плотность потока энергии* — количество энергии, протекающей в единицу времени через единицу поверхности. Ввиду симметричности тензора мы имеем связь между потоком энергии и импульсом: плотность потока энергии равна плотности импульса, умноженной на  $c^2$ . Компоненты  $T^{ik}$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ) составляют трехмерный тензор плотности потока импульса. Взятые со знаком минус они образуют *тензор напряжений*. Плотность потока

энергии есть вектор; плотность же потока импульса, который сам по себе вектор, должна быть тензором второго ранга.

Отсюда вывод: скорость изменения энергии, находящейся в объеме  $V$ , равна количеству энергии, протекающей через границу этого объема в единицу времени, и скорость изменения импульса системы в объеме  $V$  есть количество импульса, вытекающее в единицу времени из этого объема [см. уравнения (5.4), (5.5) чуть ниже].

На этом обычно заканчивается анализ уравнений движения произвольной системы, и далее используют различные приближения, чтобы упростить общий вид тензора энергии-импульса в конкретных частных задачах.

Однако уже в общем случае тензора энергии-импульса произвольной системы нас не устраивает та часть интерпретации уравнений движения, в которой используется импульсное представление. Оно более подходит для описания локальных объектов, а в нашей ситуации, когда мы имеем дело с непрерывными полевыми структурами, предпочтительно использовать энергетическое представление. Поэтому сейчас мы постараемся от импульсной интерпретации перейти к энергетической и проанализируем уравнения движения уже в этих терминах.

Рассмотрим эти уравнения. Они получаются из (5.1) разделением на пространственные и временные производные:

$$\frac{1}{c} \frac{\partial T^{00}}{\partial t} + \frac{\partial T^{0i}}{\partial x^i} = 0, \quad (5.2)$$

$$\frac{1}{c} \frac{\partial T^{i0}}{\partial t} + \frac{\partial T^{ik}}{\partial x^k} = 0. \quad (5.3)$$

Эти уравнения затем интегрируются по некоторому произвольному объему пространства  $V$ , и применяется теорема Гаусса.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int T^{00} dV = -c \int \frac{\partial T^{0i}}{\partial x^i} dV = -c \oint T^{0i} df_i, \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \frac{1}{c} T^{i0} dV = - \int \frac{\partial T^{ik}}{\partial x^k} dV = - \oint T^{ik} df_k. \quad (5.5)$$

Интеграл справа берется по поверхности, охватывающей объем  $V$  ( $df_1, df_2, df_3$  — компоненты трехмерного вектора элемента поверхности  $d\mathbf{f}$ ).

Рассмотрим более подробно второе уравнение (5.5), поскольку результаты, полученные при его анализе, будут широко использоваться в дальнейшем.

Левая часть не вызывает вопросов — здесь стоит скорость изменения импульса в объеме  $V$ , то есть сила, действующая на этот объем. А вот в правой части мы перейдем к энергетическому представлению и для этого воспользуемся аппаратом дифференциальной геометрии, теоретические основы которого изложены в книге Б. А. Дубровина, С. П. Новикова, А. Т. Фоменко «Современная геометрия: Методы и приложения» (М.: Наука, 1986). Достаточно подробное описание того, как эти методы применяются в физике, в частности, к тензору энергии-импульса, содержится в книге Ч. Мизнера, К. Торна, Дж. Уилера «Гравитация», т. 1 (М.: Мир, 1977).

Очень кратко напомним смысл основных понятий дифференциальной геометрии, которыми нам придется оперировать. Прежде всего это касается еще одного геометрического объекта — «дифференциальной формы», который наряду с другими хорошо известными геометрическими объектами (скаляр, вектор, тензор) описывает физические величины. В частности, более подробно рассмотрим понятие 1-формы.

Может возникнуть закономерный вопрос: зачем вообще нужны дифференциальные формы, и нельзя ли обойтись хорошо известными старыми понятиями? Чтобы ответить на этот вопрос, приведу следующий пример из книги Мизнера-Торна-Уилера.

Рассмотрим привычное определение вектора 4-импульса  $\mathbf{p}$  для частицы, например электрона, с массой  $m$  и вектором 4-скорости  $\mathbf{u}$ , то есть  $\mathbf{p} = m\mathbf{u}$ . Кроме этого, в физике известен и другой подход к понятию импульса, при котором каждой частице приписывается волна де Бройля. Эта волна имеет самый непосредственный физический смысл, ее дифракция на кристаллической решетке позволяет определить не только длину волны, но и ту конфигурацию в пространстве, которую образуют поверхности равных целочисленных значений фазы. Конфигурация этих поверхностей дает простейшую иллюстрацию, которую удастся найти для 1-формы. Определив эти поверхности посредством выражения  $\hbar \times$  фаза, получим «1-форму импульса»  $\tilde{\mathbf{P}}$ .

Посмотрим, что может дать такое представление импульса. Возьмем произвольный 4-вектор  $\mathbf{v}$ . Он пересечет определенное число поверхностей целой фазы. Обозначим это число пересечений посредством выражения  $\langle \tilde{\mathbf{P}}, \mathbf{v} \rangle$ . Как правило, начало и конец вектора  $\mathbf{v}$  не лежат на поверхностях целочисленных фаз. Чтобы определить более точное значение числа пересечений (перейти от целого числа к вещественному), необходимо в этих позициях между соседними поверхностями целой фазы распределить бесконечное число поверхностей со всеми промежуточными значениями фазы. Далее, чтобы понятие 1-формы стало рабочим инструментом, нужно сделать еще один небольшой шаг. Необходимо трактовать 1-форму не как глобальную конфигурацию поверхностей уровня, а как некоторую аппроксимацию этих поверхностей в элементарном, бесконечно малом объеме в виде плоских поверхностей, расположенных на равных расстояниях друг от друга (линейное приближение). Плоские поверхности 1-формы в этом малом объеме дадут наилучшую линейную аппроксимацию искривленных поверхностей уровня, а сама 1-форма становится *линейной функцией*, и появляется возможность оперировать ею, как и любой другой функцией. Нетрудно убедиться, что совокупность всех 1-форм в данном событии (4-точке) образует векторное пространство в абстрактном, алгебраическом смысле этого понятия. Существует и взаимно однозначное соответствие между произвольным вектором  $\mathbf{n}$  и соответствующей ему 1-формой  $\mathbf{n}$  в виде  $\langle \mathbf{n}, \mathbf{v} \rangle = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}$ , то есть число пересеченных поверхностей произвольным вектором  $\mathbf{v}$  у некоторой 1-формы  $\mathbf{n}$  равно проекции вектора  $\mathbf{v}$  на вектор  $\mathbf{n}$  (точка обозначает скалярное произведение).

Таким образом, дифференциальная геометрия дает исследователю надежный математический формализм, позволяющий установить взаимнооднозначное соответствие между локальным точечным описанием физических величин (импульс в данной точке в виде вектора) и нелокальным описанием (тот же импульс, но уже в объеме, окружающем эту точку в виде 1-формы). А значит, учитывая наши цели, необходимо поближе познакомиться с этим геометрическим объектом (небольшое дополнение см. в Приложении).

Нам понадобится еще одно понятие дифференциальной геометрии. Это *1-форма объема*. Достаточно будет ограничиться частным случаем этого понятия для трехмерного куба в системе отсчета, относительно которой он находится в покое. Тогда 1-форма объема с 4-скоростью  $\mathbf{u}$  и ребром  $L$  определяется как  $\Sigma = -V\mathbf{u} = L^3 d\mathbf{t}$  в случае стандартной положительной ориентации  $\mathbf{u}$  в прошлое ( $\mathbf{u} = -d\mathbf{t}$ ) или в другом варианте  $\Sigma = L^2 \Delta t d\mathbf{x}$ . По своему геометрическому смыслу 1-форма объема представляет собой объем, «заметаемый» со временем либо за счет движения самого объема (первый вариант), либо за счет движения одной из его граней, например, площадки  $S_{yz} = L^2$  в направлении  $x$  со скоростью  $\mathbf{u}$  (второй вариант).

1-форма произвольного объема может быть проанализирована путем разбиения ее на введенные элементарные объемы.

Теперь мы располагаем уже всеми необходимыми понятиями, чтобы сформулировать определение\* тензора энергии-импульса в терминах дифференциальных форм: тензором энергии-импульса называется линейный оператор с двумя входными каналами, в один из которых вводится 1-форма объема  $\Sigma$ , а в другой — произвольный вектор  $\mathbf{w}$  или 1-форма  $\mathbf{s}$ , и в результате получается проекция 4-импульса на этот вектор или 1-форму соответственно, то есть

$$\mathbf{T}(\mathbf{w}, \Sigma) = \mathbf{w} \cdot \mathbf{p}, \quad \mathbf{T}(\mathbf{s}, \Sigma) = \langle \mathbf{s}, \mathbf{p} \rangle. \quad (5.6)$$

Это определение позволяет легко получить компоненты тензора энергии импульса в чисто энергетическом представлении, поскольку проекция импульса  $\mathbf{p}$  на 4-вектор скорости наблюдателя  $\mathbf{u}$  дает энергию, измеренную наблюдателем, взятую с обратным знаком, то есть  $W = -\mathbf{u} \cdot \mathbf{p}$ .

\* Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер. Гравитация. Т. 1. М.: Мир, 1977. С. 176.

Пространственные компоненты  $T^{ik}$  из (5.5) можно интерпретировать, если рассмотреть двумерную грань 1-формы объема, положительная нормаль к которой направлена по  $k$ . За время  $\Delta t$  эта поверхность «заметает» 3-объем, 1-форма которого равна  $\Sigma = L^2_{\perp k} \Delta t d\mathbf{x}^k$ . Поместим наблюдателя на эту поверхность. В отличие от общепринятого подхода, когда наблюдатель неподвижно сидит на поверхности и измеряет проекции импульса, пересекающего площадку на направления единичных векторов в своей лоренцевой системе, мы заставим наблюдателя двигаться с некоторой скоростью  $\mathbf{u}$  поочередно вдоль всех своих координатных осей. За время  $\Delta t$  он сканирует всю площадку и прилегающий объем, отмечая происходящие изменения. Проецируя 4-импульс  $\Delta \mathbf{p}$ , пересекающий поверхность, на свою скорость, наблюдатель получает информацию о распределении энергии в различных направлениях. На первый взгляд может показаться, что такой подход лишен смысла, поскольку численное значение энергии, полученное наблюдателем, зависит от его собственной скорости, и результат измерения будет

неоднозначным. Однако, как будет показано ниже, существует энергетическая характеристика, не зависящая от скорости наблюдателя и имеющая однозначный физический смысл.

Обозначим компоненты скорости наблюдателя через  $\mathbf{u}^i = (\Delta x^i / \Delta t) \mathbf{e}_i$ . Тогда компоненты  $T^{ik}$  можно определить из (5.6):

$$\mathbf{u}^i \cdot \Delta \mathbf{p} = -\Delta W = \mathbf{T}(\mathbf{u}^i, \Sigma), \quad (5.7)$$

или в компонентных обозначениях,

$$-\Delta W = (\Delta x^i / \Delta t) L^2_{\perp k} \Delta t \mathbf{T}(\mathbf{e}_i, \mathbf{d}\mathbf{x}^k) = \Delta x^i L^2_{\perp k} T^{ik}, \quad (5.8)$$

$$-\frac{\Delta W}{\Delta x^i L^2_{\perp k}} = T^{ik}. \quad (5.9)$$

Устремляя интервал времени к нулю и воспользовавшись определением градиента, получим

$$-\nabla_i W / L^2_{\perp k} = T^{ik}. \quad (5.10)$$

Отметим, что, в отличие от величины энергии, зависящей от собственной скорости наблюдателя, значение градиента энергии  $\nabla_i W$  уже не зависит от его скорости, поскольку одно и то же смещение координаты наблюдателя  $\Delta x^i$  входит как в числитель (в выражение скорости), так и в знаменатель. В этом результате нет ничего удивительного, если вспомнить, что по своему определению градиент является линейным оператором, физический смысл которого не зависит от системы отсчета. При этом не имеет значения, о какой энергии идет речь — либо о полной энергии, распределенной в рассматриваемом элементарном объеме, включающей энергию покоя  $m_0 c^2$ , как это принято, например, в релятивистской механике, либо только о кинетической энергии, как принято в классической механике. Можно даже произвольно выбрать уровень отсчета энергии, исходя из каких-то иных соображений — значение градиента энергии как объективно существующей физической характеристики при этом не изменится. Для определенности будем считать, что речь идет о полной энергии, содержащейся в объеме. Можно рассматривать и более сложные ситуации, когда отдельные составляющие энергетической структуры имеют градиент энергии относительно других составляющих (возможно, со своим градиентом), тогда записываются уравнения движения для каждой из них.

Сравнивая выражение (5.10) с обычной трактовкой пространственных компонент тензора энергии-импульса в терминах потока импульса, нетрудно заметить, что справедливо покомпонентное тождество  $\nabla_i W \equiv -\Delta p_i / \Delta t$ , связывающее энергетическое и импульсное представления компонент тензора энергии-импульса.

Еще более простой физический смысл имеет дивергенция от компонент тензора, стоящая в интеграле по объему в выражении (5.5). Устремляя исходный 3-объем к нулю и имея при этом  $L^2_{\perp k} \rightarrow \partial S_{\perp k}$ , получим

$$\frac{\partial T^{ik}}{\partial x^k} = -\frac{\partial \nabla_i W}{\partial x^k \partial S_{\perp k}} = -\frac{\partial \nabla_i W}{\partial V}, \quad (5.11)$$

то есть  $i$ -компоненту градиента энергии, приходящуюся на единицу 3-объема, или  $i$ -компоненту объемной плотности градиента энергии. Уравнения движения (5.5) теперь приобретают простой физический смысл: они связывают силу, действующую на произвольный выделенный объем, и градиент энергии в этом объеме.

Итак, основной вывод можно сформулировать следующим образом: *сила, действующая со стороны произвольного выделенного объема рассматриваемой системы, равна градиенту энергии во всем этом объеме*, то есть

$$\mathbf{F} = \nabla W. \quad (5.12)$$

На первый взгляд, мы получили самый обычный второй закон Ньютона, ничего нового, как может показаться, здесь нет, и непонятно, зачем вообще надо было применять сложный математический аппарат дифференциальной геометрии. Но это впечатление обманчиво. Основная

особенность такой формы записи, а одновременно и преимущество используемого подхода в том, что это уравнение, трактуемое в терминах дифференциальных форм, — общековариантно. Оно не зависит от систем отсчета (это справедливо и для обычного понятия градиента). Более того, для градиента, понимаемого как 1-дифференциальная форма, вид этого уравнения не зависит от размерности пространства, от его метрики, и справедливо оно даже при полном ее отсутствии (дифференциальная топология). Таким образом, это уравнение продолжает работать и в том случае, когда, например, объект перешел в чистое запутанное состояние, то есть стал нелокальным, и нет возможности ввести его координатное представление. Это уравнение обобщает второй закон Ньютона и может служить его аналогом для «тонких» структур, оно работает не только в плотном материальном мире, но и на любых квантовых уровнях реальности.

Итак, можно сделать вывод, что одной из основных физических характеристик объекта является плотность градиента энергии в его объеме.

Трактовка пространственных компонент тензора энергии-импульса в терминах градиента энергии и традиционное описание в терминах потока импульса эквивалентны. Каждое из них обладает своим преимуществом в зависимости от ситуации. Импульсное представление более удобно, когда система моделируется в виде совокупности материальных точек с сосредоточенными параметрами. Преимущества энергетического представления тензора энергии-импульса проявляются в тех случаях, когда рассматриваемая система описывается непрерывными физическими величинами, или когда отдельный объект нельзя рассматривать в виде материальной точки, и необходимо учитывать пространственное распределение физических величин, характеризующих данный объект. Нас прежде всего интересует вторая ситуация.

В этом случае непосредственно из уравнения (5.12) последовательно вытекает ряд очевидных следствий. Кратко можно обозначить лишь некоторые, наиболее существенные из них.

1. Свободный объект (при отсутствии внешних воздействий) может находиться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно только при нулевом значении градиента энергии во всем объеме рассматриваемого объекта.

2. Из линейности тензора энергии-импульса (как линейного оператора) следует, что *любая* внешняя сила, действующая на объект, характеризуется соответствующим ей градиентом энергии внутри тела, то есть произвольный объект (как свободный, так и находящийся под внешним воздействием),двигающийся с ускорением, имеет в своем объеме соответствующий этому ускорению градиент энергии.

3. Ускорение тела есть процесс перехода в состояние с равновесным распределением энергии, «выравнивание» градиента энергии в своем объеме за счет ускоренного движения. Во внешнем градиентном поле объект всегда будет двигаться с ускорением.

4. Из уравнения (5.12) и последующих рассуждений следует разумное объяснение физической природы гравитации. Для этого достаточно лишь отказаться от моделирования физических тел в виде материальных точек, как это принято в механике Ньютона и общей теории относительности, и учесть распределение энергии в объеме реального объекта. Если исходить из определения равновесного состояния свободного тела, *силы тяготения естественным образом объясняются нарушением равновесного распределения энергии и возникновением градиента энергии у каждого из тяготеющих тел в результате взаимодействия их энергетических составляющих*. С этой точки зрения гравитационное поле объекта характеризуется градиентом среднего значения энергий различных физических полей в системе, и нет смысла искать, например, кванты гравитационного поля. Для тел, моделируемых материальными точками, такое объяснение гравитации уже неприменимо.

5. С предыдущим вопросом тесно связан вопрос об инертности тела и силах инерции. Дополняя определение равновесного состояния тела принятым в статистической физике понятием релаксации системы, инертность тела можно сопоставить с процессом возникновения или релаксации градиентов энергии при нарушении равновесного состояния системы. Силы инерции, согласно общему выражению (5.12), можно определить как градиенты энергии, связанные с неинерциальными системами отсчета. Таким образом решается вопрос об эквивалентности сил инерции и тяготения. Они неотличимы друг от друга, так как в их основе лежит одна и та же физическая природа — градиент энергии в объеме тела.

6. Исходя из общего характера уравнения (5.12), можно сформулировать и более сильное утверждение: любая физическая сила в природе обусловлена наличием градиента энергии в рассматриваемой системе.

7. Уравнение (5.12) способно стать теоретической основой, позволяющей с единых позиций рассмотреть все многообразие процессов и явлений, изучаемых в различных разделах физики и других естественных науках. Открывается возможность взаимной интеграции многочисленных теорий и получения новых количественных соотношений, связывающих эти процессы.

Например, к понятию электрического заряда можно подойти с точки зрения нарушения равновесного состояния системы. Отрицательный заряд при этом соответствует избытку энергии, а положительный — недостатку. Это позволяет в едином ключе рассматривать электродинамические и механические процессы.

Первые пять следствий сформулированы для объекта, рассматриваемого как единое целое. Однако уравнение (5.12) справедливо для произвольно выделенного объема внутри системы, и на его основе можно описывать движение ее составных частей относительно друг друга.

## 5.4. Понятие градиента

Рассмотрим чуть более подробно понятие градиента. В общем случае градиент вводится как векторная характеристика скалярного поля — то есть области, каждой точке которой соответствует значение определенного скаляра. Напомню, что энергия — это скалярная величина. Градиент характеризует, насколько быстро меняется скалярная величина в том или ином месте этого поля.

Наглядно это выглядит так: в данном поле проводятся линии уровня, и густота этих линий дает представление о величине градиента энергии. Направление градиента есть направление наиболее быстрого увеличения скалярной величины в данной точке (по нормали к линии уровня).

По определению, *градиент скаляра* — это вектор, численно равный производной по нормали к поверхности уровня в данной точке скалярного поля и направленный по этой нормали в сторону возрастания скалярной величины.

Можно сказать, что градиент — это скорость изменения физической величины, но изменения не во времени, а в пространственном направлении. В некоторых определениях так и говорится: «...вектор, равный по величине и совпадающий по направлению с максимальной скоростью изменения потенциала относительно координат».

Величина градиента (его численное значение) — это не просто скорость изменения скаляра, а максимальная скорость в этой точке (по нормали). Например, по касательной к линии уровня скалярная величина в данной точке совсем не меняется (на линии уровня значение скалярной величины одно и то же). А в разных точках, где больше градиент, быстрее меняется скаляр (линии уровня сгущаются).

В качестве примера можно взять электрическое поле и показать, что такое градиент энергии в этом случае.

Исходить я буду из разности потенциалов. Для начала приведу некоторые определения из книги И. Е. Тамма «Основы теории электричества»\*.

\* Тамм И. Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989. С. 35.

Разность потенциалов между двумя точками электростатического поля равна взятой с обратным знаком работе, совершаемой силами поля при перемещении единичного положительного заряда из первой точки во вторую.

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = -A.$$

В свою очередь, работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда на отрезок  $\Delta\mathbf{s}$  (это вектор), равна:

$$A = E\Delta s,$$

где  $\mathbf{E}$  — вектор напряженности электрического поля, по определению, это сила, действующая на единичный положительный заряд. Следовательно, сила, действующая на некоторый (уже не единичный) заряд  $e$ , будет равна:  $F = e\mathbf{E}$ .

Из двух предыдущих выражений получаем:

$$\Delta\phi = -A = -\mathbf{E}\Delta s.$$

Или, для бесконечно близких точек:

$$d\phi = -\mathbf{E}ds.$$

Отсюда, по определению градиента:

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi.$$

Таким образом, напряженность электростатического поля  $\mathbf{E}$  равна градиенту потенциала  $\phi$ , взятому с обратным знаком.

Так как градиент потенциала направлен в сторону его возрастания и характеризует скорость этого увеличения, то можно сказать, что напряженность электрического поля есть мера быстроты снижения потенциала, или, проще говоря, она равна *спаду потенциала*.

Направление напряженности поля совпадает с направлением ортогональных траекторий эквипотенциальных поверхностей. Поэтому эти ортогональные траектории (линии градиента) совпадают с линиями электрических сил, или *силовыми линиями*.

Теперь, умножив в последней формуле обе части на заряд  $e$  и учитывая связь между напряженностью и силой  $F = e\mathbf{E}$ , а также между потенциалом и энергией  $W = e\phi$ , получим, что сила равна градиенту энергии:

$$F = -\nabla W.$$

Знак минус стоит в этом равенстве потому, что речь здесь идет о внешней силе, действующей на заряд, а не о внутренней, как в выражении (5.12).

Из приведенного примера видно, что линии градиента можно понимать как *силовые линии*, которые характеризуют распределение энергии в системе.

Другими словами, линии градиента (силовые линии) показывают, как будут разворачиваться события. Они выстраивают ту цепочку событий (последовательность состояний), которая будет реализована в конкретном случае, когда задано поле состояний (поле потенциалов), и есть исходное состояние (начальное положение объекта в поле).

Чтобы приблизиться к практически значимым вещам, зададимся теперь таким вопросом: если у нас есть некое тело или, в более общем случае, просто произвольно выделенный объем в некоторой сложной системе, то можем ли мы получить что-нибудь интересное, анализируя распределение энергии в этом объеме? В качестве «носителя» энергии может выступать все что угодно: масса, температура, давление, электромагнитные или гравитационные поля и т. д. — в принципе, любая энергия, вплоть до энергии наших мыслей и чувств.

Каждой точке выделенного объема поставим в соответствие свое значение энергии, и пусть энергия в объеме распределяется неравномерно. Таким образом, мы имеем скалярное поле, и в каждой его точке можем найти локальное значение градиента энергии. Казалось бы, эти абстрактные теоретические манипуляции ни к чему не ведут. Ну, получим мы вместо скалярного поля — векторное, будем иметь векторы (градиенты энергии) в каждой точке нашего объема, и что толку? На первый взгляд, все только усложнится, и никакой физически значимый результат мы не получим. Но давайте теперь проинтегрируем эти локальные градиенты энергии (сложим «маленькие» векторы-градиенты) по всему выделенному объему, то есть найдем полный градиент энергии в данном объеме. И получим очень интересный физический факт — наш вектор полного градиента энергии есть не что иное, как вектор силы, действующей на наш объем! Или  $F = \nabla W$ .

Таким образом, если энергия в объеме распределена неравномерно, и есть ненулевой вектор полного градиента энергии в этом объеме, то на наш выделенный элемент реальности будет действовать сила (внутренняя), равная по величине и направлению градиенту энергии. Это эквивалентно действию внешней силы, противоположной по направлению. То есть любая сила,

приложенная к некоторому элементу реальности, неразрывно связана с наличием градиента энергии в этом объеме.

Физический смысл выражения (5.12) остается справедливым для любого координатного представления, для любых пространств с любой метрикой и даже при ее отсутствии. То есть оно работает даже при исходном нелокальном суперпозиционном состоянии. Скажем, изначально в Универсуме все было однородно, и не существовало пространства-времени ни на каких его уровнях (даже на тонких не было ангельского мира). А затем, если некоторые подсистемы Универсума по какой-либо причине (например, Слова) станут отличаться по своему состоянию, то есть будут обладать разной энергией, то возникнут и градиенты энергии (силы) в пространстве состояния этих подсистем (меньшей размерности, чем исходное пространство состояния Универсума). Одновременно с этим появится и пространство-время, соответствующее данным градиентам энергии, поскольку возникает неоднородность распределения энергии. И это необязательно будет наше пространство-время — возможно, это будут пространства тонких уровней реальности, все зависит от размерности подсистем. В итоге появляется целая совокупность различных уровней реальности, каждая из которых имеет свои пространственно-временные метрики.

Но при любых обстоятельствах происходит примерно следующее. Из Пустоты, находящейся вне времени и пространства, то есть из суперпозиционного состояния, «проявляются» (декогеренция) энергетические уплотнения, распределенные в пространстве определенным образом относительно друг друга, — формируется само пространство. При этом возникают и потоки энергии — она начинает перетекать оттуда, где ее больше, туда, где ее меньше, иными словами, за счет энергетических потоков система возвращается к равновесию, к равномерному распределению энергии. Появляется стрела времени со своим характерным масштабом — периодом установления равновесия. При движении к равновесию «проявившийся» мир локальных объектов снова «растворяется» в суперпозиции состояний (рекогеренция).

Выражение (5.12), как я предполагаю, «работает» для любых энергий. Изменение состояния системы ведет к изменению распределения энергии, и, следовательно, возникают вполне реальные, объективные градиенты энергии (силы) и ее потоки на тех уровнях реальности, где меняется состояние, например, на астральном, ментальном и др.

Отмечу еще один существенный момент. Градиент какой-либо физической величины (в нашем случае энергии) — это не просто некий математический оператор, не просто теоретическое преобразование или манипулирование той же самой энергией (где-то в уме). Это характеристика объективного энергетического факта — неоднородности ее распределения в данном элементе реальности (силы, действующей на этот элемент). Собственно, именно благодаря объективности существования градиента его физический смысл не зависит от систем отсчета и координатных представлений, то есть от того, как мы его описываем.

## 5.5. Несколько слов о гравитации

В качестве одного из промежуточных результатов [следствие 4 из уравнения (5.12)] мы получили решение вопроса о гравитации. Остановимся на этом более подробно.

Напомню, что говорил А. Эйнштейн о своем знаменитом уравнении гравитационного поля в книге «Физика и реальность»:

«1. Понятие материальной точки и ее массы сохраняется. Формулируется закон ее движения, являющийся переводом закона инерции на язык общей теории относительности. Этот закон представляет собой систему уравнений в полных производных, характеризующей геодезическую линию.

2. Вместо ньютоновского закона гравитационного взаимодействия мы найдем систему наиболее простых общеквариантных дифференциальных уравнений, которую можно установить для тензора  $g_{\mu\nu}$ \*. Она образуется сведением к нулю однократно свернутого тензора кривизны Римана ( $R_{\mu\nu} = 0$ ).

\*  $g_{\mu\nu}$  — ковариантный метрический тензор, определяет все свойства геометрии в каждой данной криволинейной системе координат, устанавливает метрику пространства-времени.

Эта формулировка позволяет рассматривать проблему планет. Точнее говоря, она позволяет рассматривать проблему движения материальных точек с практически пренебрегаемой массой в поле тяготения, образованном материальной точкой, которую предполагают не обладающей никаким движением (центральная симметрия). Она не учитывает реакции материальных точек, „движущихся“ в гравитационном поле, и не принимает во внимание, каким образом центральная масса образует это поле.

Аналогия с классической механикой показывает, что теорию можно дополнить следующим образом.

Возьмем уравнение поля

$$R_{jk} - 0,5g_{jk}R = (8pG/c^4)T_{jk},$$

где  $R$  обозначает скаляр римановой кривизны,  $T_{jk}$  — тензор энергии материи в феноменологическом представлении. Левая часть уравнения выбрана таким образом, что ее дивергенция тождественно равна нулю... При такой формулировке вся механика тяготения сведена к решению одной системы ковариантных уравнений в частных производных. Эта теория избегает всех внутренних противоречий, в которых мы упрекали классическую механику. Она достаточна, насколько нам известно, для выражения наблюдаемых фактов небесной механики. Но она похожа на здание, одно крыло которого сделано из изящного мрамора (левая часть уравнения), а другое — из плохого дерева (правая часть уравнения). Феноменологическое представление материи лишь очень несовершенно заменяет такое представление, которое соответствовало бы всем известным свойствам материи».

Как мы теперь понимаем, А. Эйнштейн действительно оказался в затруднительном положении. Гравитация связана с распределением энергии в объеме самих объектов, (включая далекодействующие составляющие), а необходимо было «привязать» это понятие к материальным точкам, которые по определению не имеют никакой внутренней структуры. И он нашел очень изящный и красивый способ выхода из этой ситуации. Распределение энергии реальных объектов А. Эйнштейн заменил эквивалентным математическим описанием искривления пространства-времени вокруг материальной точки. Именно эта формальная связь между распределением энергии (тензором энергии-импульса) и геометрией пространства (тензором кривизны Римана) отражена в приведенном выше уравнении поля. Такой подход позволяет получить правильные предсказания в результате наблюдений, однако физическая природа гравитации остается непонятой. Отсюда и те вопросы, которые возникли практически сразу после опубликования его теории и которые к настоящему времени так и остались неразрешенными. В 1918 году Э. Шредингер первым показал, что соответствующим выбором системы координат все компоненты, характеризующие энергию-импульс гравитационного поля в трактовке А. Эйнштейна, можно обратить в нуль\*. И в современных учебниках, например, у Л. Д. Ландау в «Теории поля», можно прочесть то же самое: «Подходящим выбором координат можно „уничтожить“ гравитационное поле в данном элементе объема». И далее: «Таким образом, во всяком случае, не имеет смысла говорить об определенной локализации энергии гравитационного поля в пространстве». Это и понятно: абстрактный математический объект «кривизна» не может содержать в себе энергию. Гравитационное поле из физического объекта окончательно превратилось в математическую абстракцию, поскольку со сжатием объекта в точку исчезла и физическая основа явления.

\* Шредингер Э. Компоненты энергии гравитационного поля // Эйнштейновский сборник, 1980–1981. М., 1985. С. 204–210.

Поэтому физика и испытывала затруднения при объяснении очевидных антигравитационных эффектов, начиная с классического примера — хождения Иисуса по морю, и далее, до многочисленных последующих (более 300) случаев левитации святых отцов, документально засвидетельствованных в церковной литературе. Кстати сказать, только в России такими способностями обладали Иоанн Новгородский, Василий Блаженный, блаженный Симон, игуменья Евпраксия, Серафим Саровский и др.

Предложенный подход позволяет дать указанным явлениям довольно простое объяснение. Наше сознание в состоянии управлять распределением энергии, и, создавая градиент энергии в

своим теле, человек способен перемещаться в соответствии с направлением градиента и его величиной. Напомню, что дополнительный градиент энергии в теле означает появление дополнительной силы, действующей на тело.

Каждый, кто хотя бы немного умеет управлять распределением энергии в своем теле (практические рекомендации на этот счет будут даны в одном из следующих разделов) может самостоятельно убедиться в справедливости сделанных выводов. Для этого достаточно создать даже незначительный градиент энергии, находясь в воде (в бассейне или даже в ванне), — его наличие приводит к осязаемому движению тела. В связи с этим уместно напомнить известный исторический факт. В средние века инквизиция использовала для выявления колдунов так называемое «испытание водой». Подозреваемого связывали крестообразно: большой палец правой руки — к большому пальцу левой ноги, и наоборот. Затем привязывали его к длинной веревке, свободный конец которой держали в руках, и бросали в воду. Подозрение снималось, если человек начинал тонуть. Но вина его считалась доказанной, если он плавал на поверхности (по свидетельству очевидцев, иногда «как пробка»). Как видите, это и в самом деле очень эффективный способ для выявления людей, которые могут, порой неосознанно, управлять распределением энергии в своем теле, а значит, действительно обладающих «колдовскими» способностями.

Таким образом, предложенная модель не только указывает на физическую природу гравитации и в состоянии объяснить случаи левитации, — она еще и теоретически обосновывает возможность создания антигравитационных устройств. Их принцип действия, как предполагается, будет основан на управлении градиентом энергии в системе.

## 5.6. Потоки энергии

Давайте еще раз вернемся к уравнению (5.12). Как уже говорилось, оно является уравнением движения не только для предметных тел, но и для произвольных энергетических структур, в том числе и не имеющих предметного воплощения, поскольку в его основе лежит одна лишь энергетическая характеристика объекта. Проще говоря, этому уравнению подчиняются призраки и домовые, демоны и ангелы, а также эгрегоры и даже мысли отдельного человека, рассматриваемые как элементы физической реальности на квантовом уровне. Подчиняются ему и «тонкие» составляющие предметных тел. Правильнее сказать, что этому уравнению подчиняется произвольно выделенный объем, содержащий в себе энергию любых видов и типов.

Уравнение (5.12) обобщает второй закон Ньютона (эта связь уже указывалась:  $F = dp/dt = -\nabla W$ , знак минус перед градиентом связан с тем, что в данном случае сила  $F$  — внешняя) и может служить его аналогом для не предметных объектов, обладающих энергетической структурой. Каждый представляет себе, какую роль играет второй закон Ньютона в классической физике, а значит, может сделать вывод о важности уравнения (5.12) в науке, способной изучать нелокальные объекты как сложные системы взаимодействующих энергетических структур на тонких (квантовых) уровнях Реальности.

Пока можно лишь догадываться, какие теоретические и практические направления могут возникнуть на основе полученного выражения. Не будем гадать на этот счет. Остановимся пока на том, что понятно уже сейчас. А заодно попытаемся ответить и на основной вопрос, касающийся предметного мира: какой физический процесс позволяет управлять квантовой запутанностью с окружением. Этот момент особо важен для создания новых технических устройств, пока еще «магических» в современном представлении, но имеющих шанс потерять статус таинственности и стать вполне обыденными предметами в нашей повседневной жизни.

Ценность любых теоретических построений в значительной степени определяется их практической значимостью. Любая новая теоретическая модель, как бы заманчиво она ни выглядела, останется не востребованной, а кому-то попросту покажется очередным бредом, если вслед за ее созданием не последует конкретного практического результата. В этом отношении у предложенной модели — обнадеживающие перспективы. И хотя до создания принципиально новых технических устройств еще далеко, новая модель и теоретические результаты, полученные на ее основе, могут иметь практическую ценность для каждого из нас уже сегодня. Любой человек на собственном опыте способен убедиться в справедливости ключевых моментов предложенной теории. Уравнение (5.12) дает ответ на главные вопросы, возникающие у каждого, кто проявляет

интерес к эзотерическим практикам: что такое потоки энергии в теле, являющиеся основным «магическим инструментом», как научиться ощущать их в себе, и как ими управлять? Причем, что наиболее важно, уравнение не просто отвечает на них, а дает конкретный, однозначный и общий для всех практический алгоритм, позволяющий сознанию «ухватить» основные принципы контроля над энергетической структурой и постепенно подчинять себе все большую и большую часть энергетического потенциала, прежде всего — своего собственного тела.

Еще одно небольшое теоретическое отступление, касающееся данного вопроса. Ранее уже упоминалось, что вследствие симметрии тензора энергии-импульса плотность потока энергии равна плотности импульса, умноженной на  $c^2$  (на скорости света внимание пока не акцентирую). Напомню, что плотность потока энергии есть количество энергии, протекающее в единицу времени через единичную площадь поверхности, расположенной перпендикулярно потоку. Нас прежде всего интересуют процессы, происходящие внутри объекта. Если энергия в нем распределена неравномерно, значит, существует ненулевой градиент, и возникает поток энергии, проходящий сквозь различные сечения тела. Объем в этом случае можно рассматривать как совокупность сечений, как интеграл от площади сечений по линейному размеру тела в направлении градиента энергии. Найдем связь между интегральным потоком энергии  $J$  в выделенном объеме (то есть суммы потоков через все его сечения) и градиентом энергии в данном объеме. Это можно сделать, если умножить плотность импульса на  $c^2$  и принять во внимание, что  $dp = -\nabla W dt$ .

Поток энергии в момент времени  $t$  равен

$$J = -c^2 \nabla W t, \quad J/t = -c^2 \nabla W. \quad (5.13)$$

Здесь не случайно выбрано такое непривычное представление потока энергии. В таком виде он более всего отвечает нашим целям, поскольку характеризует движение энергии во всем объеме тела и является одной из своеобразных наблюдаемых физических величин. Точнее, величин, ощущаемых нашим сознанием, наиболее отчетливо фиксируемых в своем собственном теле. Таким образом, мы получаем возможность рассуждать в терминах потока энергии, который направлен в сторону, противоположную направлению его градиента. Мы видим также, что величина градиента энергии характеризует скорость изменения ее потока во времени или ускорение самой энергии при ее движении, вызванном наличием градиента. Частный случай — второй закон Ньютона, или ускорение массы под действием внешней силы. Чтобы его получить, нужно в качестве потока энергии  $J$  взять  $mc^2 v$ , разделить (5.13) на  $c^2$  и поменять знак, переходя от внутренней силы к внешней.

Теперь можно перейти к более конкретным практическим рекомендациям. Прежде всего, уравнения (5.12) и (5.13) помогают сознанию выделить из многообразного комплекса ощущений в нашем теле те, которые связаны с потоками энергии всех его энергетических составляющих. Получается простое решение этого вопроса. Поскольку все составляющие нашего энергетического тела также подчиняются приведенным уравнениям, сознание должно фиксировать их поток при ускоренном движении всего тела. И это действительно так. Каждый может самостоятельно в этом убедиться, стоит лишь направить внимание на ощущения в своем теле при ускорении, например, при разгоне или торможении автомобиля, качании на качелях и т. д. Менее внимательным можно посоветовать прокатиться на американских горках. Особо недоверчивым предлагаю прыгнуть с парашютом и не торопиться его раскрывать, а сначала прислушаться к своим ощущениям, после этого, думаю, они лучше других поймут, что такое градиент энергии в теле и как ощущается соответствующий ему поток энергии.

После подобной тренировки вы сможете легко выделять эти ощущения и в более привычных ситуациях, например, поднимаясь и спускаясь на лифте или делая обычные приседания — в общем, при любом, даже самом незначительном ускорении своего тела.

Таким образом, предлагаемая физическая модель позволяет сознанию «зацепиться» вниманием за процессы движения энергии в нашем теле, которые мы обычно игнорируем. Особо стоит отметить, что эти процессы носят всеобщий характер и, в частности, всеми нами ощущаются одинаково, предварив этим возможное возражение оппонентов, что ощущения потоков индивидуальны. Косвенным доказательством единой физической природы рассматриваемых процессов и единства их восприятия нашим сознанием является ситуация,

хорошо знакомая почти каждому. Речь идет о случаях, когда мы падаем или летаем во сне. В такие моменты поток энергии, который возникает в теле во время сна под влиянием каких-то внешних или внутренних процессов, сознание моделирует в виде реальной ситуации с аналогичными ощущениями. Если вы в этот миг просыпаетесь, то можете осознать, что поток энергии, ощущаемый, например, во время падения во сне, в точности совпадает с ощущением реального падения вниз, когда вы, например, качаетесь на качелях.

Согласно предложенной модели, ускоренное движение тела приводит к появлению градиента энергии одновременно у всех энергетических составляющих, поэтому совокупный поток энергии ощущается наиболее отчетливо и может служить отправной точкой для знакомства нашего рассудка с этим процессом. Но в этом случае трудно выделить его составляющие. Однако, познав само ощущение, сознание уже без труда зафиксирует аналогичное ощущение в ситуациях, когда поток энергии уже не связан с ускоренным движением, а представляет собой поток какой-то одной энергетической составляющей, градиент которой вызван, например, нашими эмоциями.

Потоки энергии мы ощущаем неоднократно в течение дня, наше сознание просто не акцентирует на них внимание. В русском языке, как и в любом другом, есть достаточно много выражений, характеризующих особо сильные ощущения потоков энергии: внутри все оборвалось, сердце в пятки ушло, подступил ком к горлу, замерло сердце, захватило дух, волосы встали дыбом, мурашки по коже и т. п. Обычно мы не связываем эти выражения с реальным физическим процессом, и, как видите, напрасно. Наиболее сильный поток иногда возникает в неожиданных ситуациях: когда резко звонит звонок, хлопает дверь и т. п. Человек при этом внутренне (а иногда и не только) вздрагивает — тело как будто пронизывает током. Это своего рода ударная волна проходит через нашу энергетическую структуру. Слабые потоки энергии не столь очевидны, но и они при желании легко фиксируются.

В терминах потока энергии могут найти объяснение эффекты, которые связаны с энергетическими потоками от предметов различной геометрии, и которые современная наука часто игнорирует. Речь идет об эффекте пирамиды, эффекте полостных структур В. С. Гребенникова\* и других «эффектах формы». Согласно изложенному подходу, должен, например, иметь место поток энергии в углах, когда градиент возникает в результате неравномерного перекрытия энергетических полей от боковых сторон. Кстати, наши предки это хорошо знали и целенаправленно использовали. Так, наказание детей, известное как «поставить в угол», возможно, основано на непосредственном физическом воздействии углового потока энергии. С этим же связаны и народные приметы: не садиться за угол стола и т. п. Научившись ощущать потоки энергии в своем теле, вы без труда зафиксируете градиенты энергии, вызванные внешними предметами. Например, рукой очень легко ощутить поток, исходящий от угла того же стола.

\* См.: Гребенников В. С. *Мой мир*. Новосибирск: Сов. Сибирь, 1997.

После того как сознание научилось четко выделять в качестве объекта внимания потоки энергии, уверенно идентифицируя их среди других ощущений, необходимо сделать следующий шаг — научить сознание управлять этими потоками. Здесь также может помочь физика. Для начала попробуйте смоделировать ситуацию, связанную с ускорением тела. В этом отношении довольно эффективны компьютерные игры, когда ваш персонаж, например, падает с большой высоты, или видеофильмы, где есть аналогичная ситуация. Зная, что ощущает человек при ускоренном движении, вы почувствуете соответствующий поток энергии. Постепенно ваше сознание уже без внешних «костылей» научится создавать градиент энергии в своем теле и регулировать интенсивность и направление потока. Затем можно усложнить задачу, обучая сознание избирательно управлять отдельными энергетическими потоками, источниками которых являются, например, наши эмоции. И в этом случае могут помочь фильмы, которые вызывают у вас глубокие чувства. Как только разум уловит общий физический принцип этого процесса, он будет в состоянии его анализировать и контролировать. Дальнейшее — уже дело техники. Здесь проблем не будет, так как существует огромное количество различных школ и методик, развивающих эти навыки в самых разных направлениях.

Например, если вы озабочены своим здоровьем, можете воспользоваться методиками китайских школ цигун. На основе тысячелетних практик в них детально изучено все

многообразие локальных энергетических потоков в теле человека. Наряду с этим, отмечено их влияние на работу различных внутренних органов.

Сейчас большой популярностью пользуются молодые эзотерические школы, например ДЭИР (Дальнейшее ЭнергоИнформационное Развитие). Школа хорошо организована, имеет филиалы практически во всех крупных городах России и за рубежом. Грамотно продуманы система и программа обучения, учитывающая многогранные интересы человека в современном мире.

Однако, вступая на этот путь, нужно полностью отдавать себе отчет обо всей серьезности предпринимаемого шага. Поэтому советую прочитать как можно больше литературы на эту тему. Особое внимание обратите на «технику безопасности», которой зачастую пренебрегают молодые школы. В этом отношении мне импонирует осторожный и взвешенный подход Р. Штайнера (см., например, его работу «Как достигнуть познаний высших миров»).

## **5.7. «Растворение» макроскопических тел (рекогеренция)**

Мы уже достаточно много говорили о декогеренции и реже упоминали об обратном процессе — рекогеренции. Если первый из них отвечает за «проявления» материальных тел из нелокального состояния, то второй, наоборот, связан с «растворением» материи и преобразованием ее в чистую квантовую информацию. Оба этих процесса физики изучают в экспериментальных исследованиях уже довольно давно, манипулируя с небольшими «кусочками» вещества на микроуровне. С макроскопическими телами ситуация более сложная, поскольку они имеют очень много различных степеней свободы, и все их трудно контролировать в эксперименте. Однако с декогеренцией как раз все просто, поскольку происходит она сама собой в результате взаимодействия тел, и все окружающие нас макроскопические объекты можно рассматривать как результат этого процесса. С рекогеренцией дело обстоит сложнее — возникает вопрос: можно ли осуществить ее в случае макроскопических тел? Это означало бы, что мы умеем реализовать такой процесс, в результате которого наш объект постепенно «разуплотняется» и вскоре совсем исчезает из материального мира, целиком переходя в квантовый домен реальности. Теоретических запретов для этого нет, но вот как реализовать его на практике? Чтобы подойти к ответу на этот вопрос, снова вернемся к модели, которая рассматривается в этой главе.

Согласно предложенной теоретической модели, различные составляющие энергетической структуры объекта мы поставили в соответствие тому, что принято называть различными энергиями взаимодействий. Однако использовали этот термин только для того, чтобы как-то «привязаться» к существующему представлению. Принимая за основу наиболее фундаментальный квантовый подход к описанию реальности, необходимо отказаться от предположения, что эта энергия возникает вследствие взаимодействия частиц и якобы не может без них существовать. Наоборот, сами частицы необходимо рассматривать лишь как «уплотнения» в исходно однородной энергетической структуре, появляющиеся в процессе наблюдения, то есть при декогеренции запутанного состояния объекта с наблюдателем (см. также раздел 5.2, где обсуждался этот вопрос). Напомню, что в соответствии с теорией запутанного состояния и теорией декогеренции степень взаимного «проявления» объектов определяется количеством информации, «записываемой» в каждом из них в результате взаимодействия. Иными словами, степень их «овеществления» обусловлена количеством и качеством упорядоченных локальных энергетических неоднородностей, являющихся носителями данной информации, то есть зависит от появившихся «уплотнений». При этом, если существует несколько качественно различных «наблюдателей» (например, человек и камень), находящихся в собственном пространстве событий, каждый из них по-своему «видит» один и тот же объект. Для каждого из них он состоит из своих «уплотнений».

То, что большинство из нас видит окружающую реальность примерно одинаково, объясняется лишь сходством локальных систем отсчета наблюдателей (пространств событий), поскольку мы обладаем практически одинаковыми органами восприятия.

Можно рассуждать и несколько иначе. Наблюдатель способен извлечь из объекта только ту информацию, которую он в состоянии различать, которая может быть зафиксирована в его собственном теле. И эта часть объекта становится для него классическим, предметным телом, но те неоднородности, которые он не сумел различить в данном теле, продолжают оставаться для

него квантовыми объектами, находящимися в запутанном состоянии. Например, для человека атомы и молекулы как бы не существуют вовсе (они находятся в запутанном состоянии), поскольку его предметные органы восприятия не способны дифференцировать потоки энергии, исходящие от отдельных частиц. Это могут сделать лишь приборы — для них атомы и молекулы уже не квантовые, а классические объекты.

Таким образом, с точки зрения теории запутанных состояний и теории декогеренции, атомы и молекулы не являются неизменными атрибутами системы для различных пространств событий. Они появляются лишь как один из возможных результатов наблюдения в одном из этих пространств. Например, для электронного микроскопа, точнее, для его электронов, которые «исследуют» образец, атомы и молекулы — вполне реальные объекты, извлеченные из запутанного состояния в процессе наблюдения, то есть классического взаимодействия с образцом.

Атомно-молекулярную структуру объекта уже нельзя считать его фундаментальной основой в окружающем мире. В процессе рекогеренции эта плотная структура может «растворяться», и объект будет переходить в нелокальное состояние, становясь «невидимым» для других плотных тел. Материя, согласно квантовому подходу, не является «вечной и неуничтожимой» субстанцией, она составляет лишь незначительную часть совокупной квантовой реальности, и имеют место процессы перехода между материальным и нематериальным состоянием отдельных элементов реальности. В соответствии с предложенной моделью предполагается, что основную роль в этих процессах играют градиенты энергии.

Уравнение (5.12), как мы уже говорили, в терминах 1-форм не зависит от метрики пространств и справедливо для любого из них. Оно позволяет понять физический принцип перехода в запутанное состояние и перехода от одного пространства событий к другому для макроскопических тел. Для этого необходимо просто увеличивать градиент (скорость потока) энергии в объеме тела. Постепенно окружению объекта станет все труднее «отслеживать» происходящие в нем изменения. Окружение будет не в состоянии создавать «уплотнения» в этом теле, то есть его предметную структуру, в процессе наблюдения (декогеренции). В самом объекте также не будет успевать фиксироваться информация, получаемая от окружения в результате взаимодействия с ним. Объект для окружения в прямом смысле станет размываться в данном пространстве-времени, подобно фотографическому изображению быстро движущегося объекта. При этом сам объект может и не набрать большой скорости в данном пространстве под действием градиента энергии, если изменение последнего происходит достаточно быстро. *При некотором критическом значении скорости потока энергии объект исчезнет из данного пространства-времени, так как никакая информация о нем не сможет записаться в окружении.*

Не этим ли объясняются таинственные исчезновения объектов, явления телепортации, быстрого перемещения, сдвига во времени и т. п.? Это может происходить, когда объект случайно попадает в область пространства с большим градиентом энергии, например, в область флуктуации земной энергетической структуры (она может иметь вид «странного» тумана, поскольку свет в ней будет рассеиваться). Аналогичный принцип действия может быть реализован в технических устройствах\*. По свидетельствам очевидцев, подобная ситуация наблюдается в случаях с НЛО, которые иногда «растворяются» и внезапно исчезают из нашего пространства событий.

\* Очень интересный вариант практической реализации такого устройства описан у В. С. Гребенникова, талантливого ученого-энтомолога и естествоиспытателя, в книге «Мой мир» (глава 5 «Полет» <http://www.scorcher.ru/mist/tors/Grebennikov.htm>). По-видимому, ему действительно удалось создать антигравитационную «летающую платформу», поскольку случайным такое точное совпадение описанных им явлений с теоретическими выводами вряд ли может быть.

## 5.8. Реализация запутанных состояний сознания

Мы пока не затронули еще один очень важный вопрос: каким образом умение управлять потоками энергии в своем теле связано с расширенным восприятием реальности и возможностью совершать различные «магические» действия?

Общий принцип перехода в запутанное состояние, описанный выше, справедлив для любого объекта, в частности, и для человека. Но для нас выбор несколько шире, и, к счастью, существуют более простые и безопасные способы перехода между пространствами событий. Для такого «посещения» совершенно не обязательно брать с собой все свое тело и всю

энергетическую структуру переводить в нелокальное состояние — часто бывает достаточно воспользоваться лишь ее частью, предварительно поместив туда свое сознание. В этом случае мы проигрываем в качестве восприятия, зато выигрываем в объеме воспринимаемой информации, начиная видеть энергетические структуры, близкие по своим характеристикам к нашей «путешествующей» структуре. И, что также немаловажно, мы можем обучаться этому постепенно и осторожно. Методик такого рода существует предостаточно, не будем на них останавливаться, рассмотрим лишь некоторые теоретические моменты.

Нет никаких принципиальных физических возражений против того, чтобы исходную непрерывную энергетическую структуру нашего тела, в которой нет никаких частиц на фундаментальном уровне, разделить на части, тем более что все мы ежедневно без проблем «делимся на части» во время сна, и ничего, как-то смирились. Большая часть энергии при этом все равно остается, и окружающие по-прежнему могут ее воспринимать как предметное тело в привычной форме. А вот другая часть во время сновидения «исчезает» из нашего тела, переходя в запутанное состояние. В каком пространстве событий она «проявится» — уже другой вопрос. Чаще всего эта «исчезнувшая» часть проявляется в пространстве наших же собственных мыслеформ, но иногда и во внешних пространствах.

В этой связи становятся понятными и физические условия, необходимые для этого процесса и контроля над ним. Прежде всего, необходимо уменьшить роль классических корреляций нашего тела и его органов восприятия с окружением, в результате которых сознание фиксируется в нашем предметном теле. Само взаимодействие убрать довольно трудно, для этого придется все тело «растворить в бесконечности» (например, при помощи универсального механизма с большим градиентом энергии). Но мы можем самостоятельно приостановить анализ информации о предметном мире, поступающей от наших органов восприятия (во сне это происходит автоматически).

Анализ информации о предметных событиях является тем процессом, который позволяет нашему сознанию, как наблюдателю, «собирать» вокруг себя предметный мир и собственное тело (как внешний объект по отношению к сознанию) в «плотном» состоянии. Это дает понимание механизма эзотерических практик: медитации, остановки внутреннего диалога, молитвы и т. п. В их основе лежит физический процесс, связанный с очищением запутанности за счет уменьшения классических корреляций нашего сознания с окружением. Мы можем перенести основное внимание сознания с анализа классической информации, поступающей в результате взаимодействия с окружением, на процессы, происходящие в более тонких квантовых структурах своего тела. Тем самым мы погружаем сознание в менее плотные квантовые слои реальности и становимся способными воспринимать тонкую структуру окружения и воздействовать на нее. В отличие от преобладающих классических взаимодействий в предметном теле, в тонких телах, по мере уменьшения плотности энергии, все большую роль начинают играть квантовые взаимодействия, обладающие «магическими» свойствами. На первый план выходит квантовая запутанность, благодаря которой окружение воспринимается и ощущается как часть самого себя, как продолжение собственного энергетического тела. В результате наше сознание получает возможность управлять удаленными объектами на их квантовом уровне, поскольку для этого достаточно изменять свое внутреннее состояние. В пределе сознание способно достигнуть чистого запутанного состояния, где уже нет никаких классических взаимодействий, а остаются одни лишь квантовые корреляции.

С практической точки зрения здесь могут помочь предыдущие упражнения по ощущению потоков энергии своего тела и управлению их движением. После того как разум осознает возможность контроля над тонкими энергиями и приобретет соответствующие навыки, он уже не будет беспомощным, оказавшись в новой ситуации, и сможет действовать осмысленно.

К практике запутанного состояния сознания непосредственно относятся методики осознанного сновидения. С большим трудом понятие «осознанное сновидение» все же пробилось себе дорогу в официальной науке. Как это происходило, довольно подробно и увлекательно описано у Стивена Лабержа (Центр изучения сна Стэнфордского университета). Приведу одну цитату из его книги: «Итак, осознанные сновидения перестали ассоциироваться с оккультизмом и парапсихологией и, заняв свое место в традиционной научной системе, были признаны темой для исследований».

Добавлю, что в этой области также существует огромное количество методик и практик. Надеюсь, что понимание физической природы явления поможет вам овладеть и навыком осознанного сновидением.

## Заключение

Научные достижения последних лет масштабны и значительны. Они не сводятся к тем однодневным сенсациям, о которых иногда трубят пресса, и которые на следующий день забываются. Речь идет об огромной совокупности экспериментальных и теоретических исследований в области квантовой механики, которые постепенно осмысливаются и складываются в качественно новую квантовую парадигму реальности. Значение этих достижений трудно переоценить. Все их последствия сейчас невозможно себе представить. Но уже сегодня можно утверждать, что постепенно они приведут к коренным изменениям не только в естествознании, но и в мировоззрении всего человеческого сообщества. Все существующие представления об окружающем нас мире станут качественно другими.

И это не просто слова — за ними стоят результаты физических экспериментов, проведенных за последние годы, которые убедительно подтверждают наличие квантовой запутанности в макроскопических системах. Этот факт дает физикам все основания делать далеко идущие выводы о предстоящих глубоких изменениях в обществе, о чем сегодня все громче заявляют многие специалисты по квантовой теории. Физики проводят международные конференции и симпозиумы, целиком посвященные макроскопической квантовой запутанности, пытаясь привлечь внимание к этой фундаментальной проблеме естествознания. В информационном сообщении о проведении одного из таких симпозиумов\* звучит даже некоторая растерянность, типичная для нынешней ситуации. Это растерянность в преддверии грядущих потрясений. Согласитесь, нечасто сегодня можно услышать согласованное мнение ведущих ученых об экстраординарных достижениях в физике, о тех физических экспериментах, которые «затрагивают фундаментальные философские проблемы» и ведут к «очень глубокому изменению в нашем понимании физической действительности». Как пишут организаторы симпозиума: «Физики взволнованы по весьма серьезной причине — существование крупномасштабных квантовых суперпозиций, аналогичных „коту Шредингера“, так же как и наличие запутанности между многими различными степенями свободы в макроскопических системах, имеет большой фундаментальный и философский смысл, поскольку все это бросает вызов основным предубеждениям о природе физической реальности».

\* Quantum Mechanics on the Large Scale, Banff Center, Canada, Peter Wall Institute at UBC. A 5-day conference (April 12–17, 2003) and a 10-day workshop (April 17–27, 2003). <http://www.pims.math.ca/birs/workshops/2003/03w5096/>.

Ученые призывают объединить усилия физиков, математиков, философов и других специалистов для того, чтобы всем вместе осмыслить новые результаты, выработать согласованную точку зрения и решить, что же делать дальше в этой непростой ситуации: «Очевидно, время для такого согласия наступило — экспериментальный успех может сфокусировать всеобщие усилия в этом направлении, что раньше не могло иметь место».

Видимо, многим нелегко принять эти научные результаты чисто психологически. Ведь они разрушают сам фундамент мировоззрения большинства из нас. Опровергают считавшиеся еще вчера незыблемыми представления об основах мироздания. Ставят под сомнение ту картину мироустройства, которая многих устраивает, с которой просто смирились, когда предполагается, что основной субстанцией мира является саморазвивающаяся материя. А в новой квантовой парадигме весь материальный мир и происходящие в нем процессы являются всего лишь небольшим «возмущением», проявлением гораздо более сложных процессов, имеющих место во всеобъемлющем квантовом домене реальности. Многим попросту не под силу такой кардинальный переворот в своих взглядах на окружающий мир.

Но в любом случае ученые свою часть дела сделали. Нароботан огромный теоретический и экспериментальный материал, результаты опубликованы в ведущих научных журналах и монографиях. Статей по квантовой запутанности и декогеренции так много, что в них легко

«утонуть», так и не увидев основных, фундаментальных результатов. К тому же сами физики очень осторожны в их философской оценке. И это правильно, поскольку такая оценка всегда субъективна, а иногда носит спекулятивный характер. В определенном отношении не является исключением и данная книга, которая во многом отражает мою личную точку зрения, с которой многие не согласятся.

Но есть и объективные факты — результаты экспериментов, их теоретическое осмысление и выводы, которые невозможно игнорировать, хочешь — не хочешь, но их придется раскладывать «по полочкам». Все равно придется выстраивать непротиворечивую согласованную модель окружающей нас реальности, поскольку уже сейчас очевидно, что те результаты, которые получены, не укладываются в рамки общепринятых представлений. Работа эта длительная и трудная, она потребует совместных усилий многих и многих специалистов. Мы пока находимся в самом начале этого процесса, но фундамент уже заложен, и на него уже можно опереться.

Возможно, все эти заявления кому-то покажутся чересчур преувеличенными. Не исключаю, что сомнения могут быть вызваны тем обстоятельством, что у многих квантовая физика вызывает лишь смутные ассоциации с чем-то очень далеким от нашей повседневной жизни, с тем, что никоим образом не затрагивает наш внутренний мир с его ценностями и предпочтениями. Дескать, пусть над этими вопросами ломают голову ученые и придумывают новые устройства, полезные в повседневной жизни. Однако фундаментальные выводы квантовой теории касаются каждого из нас — причем уже не просто как потребителя «новых технологий», но и на более глубоком, философском уровне, поскольку коренным образом меняют наш взгляд на окружающую реальность. Квантовая теория помогает переосмыслить свои жизненные ценности и глубже понять, в чем заключается смысл нашего земного пути. В свете последних научных результатов жизнь в физическом теле предстает уже не в качестве самодостаточной ценности, а как небольшой этап нашей эволюции в совокупной Квантовой Реальности, как часть Большого Пути, который имеет свое продолжение на других, квантовых ее уровнях.

## Приложение

В дифференциальной геометрии 1-форма определяется как линейная вещественная функция векторов, то есть является линейным оператором, «машиной», на вход которой подаются векторы, а на выходе получаются числа. Простейшей 1-формой является градиент  $df$  функции  $f$  (обозначение  $\mathbf{d}$  или  $\text{grad}$  обычно используют применительно к скалярным величинам, а  $\nabla$  (читай: «набла») — к векторам или тензорам). Внешняя производная, или градиент, является более строгой формой понятия «дифференциал». В отличие от дифференциала  $df$ , который выражает изменение  $f$  в некотором произвольном направлении, градиент характеризует изменение функции в определенном направлении, заданном бесконечно малым вектором смещения  $\mathbf{v}$ . Если быть более точным, градиент  $df$  представляет собой совокупность поверхностей уровня  $f^a = \text{const}$  и характеризует их «близость» друг к другу, плотность «упаковки» в элементарном объеме в направлении  $\mathbf{v}$ , с точностью до приближения их плоскостями и размещения через равные промежутки (вследствие линейности оператора). Результатом пересечения  $df$  вектором смещения  $\mathbf{v}$  является число  $\langle df, \mathbf{v} \rangle = \partial_{\mathbf{v}} f$ . Это выражение определяет связь между градиентом  $df$  и производной по направлению  $\partial_{\mathbf{v}} f$ . Введя вектор  $\mathbf{v}$  в линейную машину  $df$ , на выходе мы получаем  $\partial_{\mathbf{v}} f$  — число пересеченных плоскостей при прохождении  $\mathbf{v}$  через  $df$ , число, которое при достаточно малом  $\mathbf{v}$  равно приращению  $f$  между основанием и острием вектора  $\mathbf{v}$ .

Задание 1-формы в данной точке (связь с точечным описанием) для некоторого геометрического объекта, описывающего физическую величину, например, для тензора произвольного ранга (0-ранг — скаляр, 1-ранг — вектор или 1-форма, 2-ранг — тензор второго ранга и т. д.), предполагает выполнение трех основных операций. Это, прежде всего, задание вектора смещения, в направлении которого данный объект меняется от точки к точке. Во-вторых: моделирование исходного объекта в окрестностях каждой точки в виде плоских поверхностей уровня, расположенных на одинаковых расстояниях. И наконец, подсчет числа пересечений этих плоскостей вектором смещения. Поскольку образование 1-формы (градиента) от произвольного тензора предполагает одновременное задание вектора смещения, появляется дополнительный входной канал, и ранг исходного тензора увеличивается на единицу.

Таким образом, дифференциальная геометрия дает более строгое определение градиента в качестве 1-формы, в отличие от обычных представлений градиента как вектора. Градиент, который нам более знаком, — это всего лишь вектор, поставленный в соответствие 1-форме градиента с помощью уравнения (которое уже приводилось)  $\bar{\mathbf{d}}f \cdot \mathbf{v} = \langle \mathbf{d}f, \mathbf{v} \rangle$ , где слева стоит скалярное произведение двух векторов, и  $\bar{\mathbf{d}}f$  — градиент в виде вектора.

Дифференциальная геометрия расширяет также понятие тензора. Если обычно под тензором понимается линейный оператор с входными каналами для векторов и выходными данными либо в виде вещественных чисел, либо в виде векторов, то теперь во входной канал может подаваться не только вектор, но и 1-форма.

В качестве примера рассмотрим координатное представление тензора второго ранга. В отличие от обычного вектора, который может быть разложен лишь в одном произвольном базисе из ортонормированных векторов (поэтому его можно считать тензором первого ранга), тензор второго ранга разлагается на компоненты в двух базисах. В качестве любого из этих базисов (или обоих сразу) могут служить либо наборы из обычных базисных векторов  $e_\alpha$ , либо совокупность так называемых базисных 1-форм  $w^\alpha = \mathbf{d}x^\alpha$ . Базисные 1-формы — это координатные поверхности  $x^\alpha = \text{const}$ . Следовательно, базисный вектор  $e_\alpha$  пересекает только одну поверхность базисной 1-формы  $w^\alpha$  (перпендикулярную  $e_\alpha$ ).

Точно так же, как произвольный вектор можно разложить по базису  $e_\alpha$ ,  $\mathbf{v} = v^\alpha e_\alpha$ , произвольную 1-форму можно разложить по базису  $w^\beta$ ,  $\sigma = \sigma_\beta w^\beta$ . Коэффициенты  $v^\alpha$  и  $\sigma_\beta$  называются компонентами вектора  $\mathbf{v}$  и 1-формы  $\sigma$  в базисе  $e_\alpha$  и  $w^\beta$  соответственно.

Вводя в некоторый тензор второго ранга  $\mathbf{S}$  произвольные вектор  $\mathbf{v}$  и 1-форму  $\sigma$  и, зная компоненты их разложения в своих базисах, через них можно выразить компоненты самого тензора  $\mathbf{S}(\mathbf{v}, \sigma) = \mathbf{S}(e_\alpha, w^\beta) v^\alpha \sigma_\beta = S_\alpha^\beta v^\alpha \sigma_\beta$ .

## Словарь терминов

**Вектор состояния** — полное описание замкнутой системы в выбранном базисе. Задается лучом гильбертова пространства.

**Волновая функция** (волновой вектор) — частный случай вектора состояния, одно из координатных его представлений, когда в качестве базиса выбираются пространственно-временные координаты.

**Гильбертово пространство** (пространство состояний) — совокупность всех потенциально возможных состояний системы.

**Декогеренция** — физический процесс, при котором нарушается нелокальность и уменьшается квантовая запутанность между составными частями системы в результате ее взаимодействия с окружением. При этом подсистемы «проявляются» из нелокального состояния в виде отдельных самостоятельных элементов реальности, они обособливаются, отделяются друг от друга, приобретая видимые локальные формы.

**Запутанность** — см. несепарабельность.

**Интерференция** — одно из наиболее широко известных проявлений суперпозиции состояний (например, в оптике). Интерференцией света в тонких пленках объясняется, например, радужная окраска мыльных пузырей и масляных пленок. Интерференция имеет место только для когерентных состояний. Декогеренцию (нарушение когерентности) в этом случае можно рассматривать как подавление интерференции. Каждая частица (например, фотон) интерферирует лишь сама с собой. Интерференции между двумя разными фотонами никогда не происходит, точнее, реализовать эту ситуацию на практике (экспериментально) очень сложно.

**Квантовая система** — это словосочетание указывает не на размер системы (микроуровень), а на способ описания: на то, что система описывается методами квантовой теории в терминах состояний.

**Квантовая теория** — это описание любой системы в терминах состояний, независимо от того, велика система или мала. Такое описание является на данный момент наиболее полным из всех других известных описаний физической реальности, поэтому выводы,

полученные квантовой теорией, имеют фундаментальное значение и формируют современную концепцию естествознания в целом.

**Квантовый ореол** (квантовое гало) — «тонкоматериальное» квантовое окружение, обволакивающее любые материальные тела. Квантовый ореол не имеет классического аналога, то есть он не может быть объяснен в рамках классической физики, и его наличие невозможно зафиксировать классическими приборами и нашими обычными органами восприятия. В квантовой физике существует большое и относительно самостоятельное направление, изучающее эти структуры (см. например, обзорную статью: *Jensen A. S., Riisager K. and Fedorov D. V. Structure and reactions of quantum halos, Rev. Mod. Phys. 76, 215 2004*).

**Когерентные состояния** (когерентная суперпозиция) — суперпозиция чистых состояний, то есть «наложение друг на друга» отдельных состояний, в которых может находиться замкнутая система. Когерентность означает согласованность поведения отдельных составных частей системы посредством нелокальных корреляций между ними.

**Кубит** (квантовый бит) — единица квантовой информации. В отличие от бита (единицы классической информации), который принимает только два возможных значения (0 и 1), квантовый бит может находиться в суперпозиции этих состояний.

**Матрица плотности** — матрица (таблица элементов), при помощи которой можно описывать как чистые состояния (замкнутые системы), так и смешанные, то есть открытые системы, взаимодействующие со своим окружением.

**Нелокальность** — особенность запутанных состояний, которым невозможно поставить в соответствие локальные элементы реальности. Не имеет отношения к волнам, полям, к классическим энергиям любого вида и типа. Квантовая нелокальность не имеет классического аналога и не может быть объяснена в рамках классической физики.

**Нелокальные корреляции** (квантовые корреляции) — специфический эффект несепарабельности (квантовой запутанности), который заключается в согласованном поведении отдельных частей системы. Это «телепатическая» связь между объектами, когда один из них ощущает другой «как самого себя». Такой «сверхъестественный» контакт удаленных объектов классической физикой не объясняется. В отличие от обычных взаимодействий, ограниченных, например, скоростью света, нелокальные корреляции действуют мгновенно, то есть изменение одной части системы в тот же самый момент времени сказывается на остальных ее частях независимо от расстояния между ними. Квантовая физика вскрыла механизм этой связи, научилась количественно описывать ее законы и постепенно начинает использовать в технических устройствах.

**Несепарабельность** (квантовая запутанность) — невозможность разделить систему на отдельные самостоятельные и полностью независимые составные части.

**Принцип суперпозиции состояний** — если система может находиться в различных состояниях, то она может находиться в состояниях, которые получаются одновременным «наложением» двух или более состояний из этого набора.

**Рекогеренция** — процесс, обратный декогеренции, восстанавливающий квантовую запутанность между составными частями системы.

**Сепарабельность** — делимость частей системы в качестве самостоятельных и полностью независимых объектов. Возможна только при отсутствии взаимодействия между составными частями системы.

**Система** — совокупность элементов множества *любой природы*, **подсистема** — подмножество исходной системы.

**Смешанное состояние** (открытая система) — такое состояние системы, которое не может быть описано одним вектором состояния, а может быть формализовано только матрицей плотности.

**Состояние системы** — реализация при данных условиях отдельных потенциальных возможностей системы. Характеризуется набором величин, которые могут быть измерены наблюдателем, в том числе в результате самонаблюдения (самовоздействия). Задается вектором состояния или матрицей плотности.

**Спин** — внутренняя характеристика частицы, не связанная с ее движением в пространстве и не имеющая классического аналога. Иногда, для наглядности, спин представляют в виде «быстро вращающегося волчка», что не совсем корректно. Для частиц со спином  $1/2$  пространство состояний является двумерным, и в качестве базисных состояний принято выбирать спин-вверх и спин-вниз.

**Суперпозиция состояний** — см. принцип суперпозиции состояний.

**Чистое состояние** (замкнутая система) — такое состояние системы, которое может быть описано одним вектором состояния.

**Энергия** — согласно фундаментальному определению этого понятия в терминах состояний, это функция состояния системы. Функция в прямом математическом смысле, то есть соответствие между множеством состояний и множеством вещественных чисел, когда каждому состоянию поставлено в соответствие одно (и только одно) значение энергии.

**Энтропия** — по своему фундаментальному определению (в терминах состояний), это логарифм от числа допустимых состояний системы. Считается, что энтропия служит мерой беспорядка в системе. Такое понимание согласуется с данным определением — чем больше у системы допустимых состояний, тем выше энтропия.

## Список литературы

- Aspect A., Grangier Ph. and Roger G. Phys. Rev. Lett. **49**, 91 (1982).  
Aspect A., Dalibard J. and Roger G. Phys. Rev. Lett. **49**, 1804 (1982).  
Achermann M., Petruska M. A., Kos S., Smith D. L., Koleske D. D., Klimov V. I. Nature **429**, 642 (2004).  
Aravind P. K. Borromean entanglement of the GHZ state, in *Quantum Potentiality, Entanglement and Passion-at-a-Distance: Essays for Abner Shimony*, eds. R. S. Cohen, M. Horne and J. Stachel, Kluwer, Dordrecht, 1997. P. 53–59.  
Bell J. S. Physics **1**, 195 (1964).  
Bennett C. H., Brassard G., Crépeau C., Jozsa R., Peres A., Wootters W. K. Phys. Rev. Lett. **70**, 1895 (1993).  
Bennett C. H., Bernstein H. J., Popescu S. and Schumacher B. Phys. Rev. A **53**, 2046 (1996).  
Bennett C. H., Brassard G., Popescu S., Schumacher B., Smolin J. and Wootters W. K. Phys. Rev. Lett. **76**, 722 (1996).  
Bennett C. H., Bernstein H. J., Popescu S. and Schumacher B. Phys. Rev. A **53**, 2046 (1996).  
Beugnon J. et al. Nature **440**, 779 (2006).  
Birkhoff G., Neuman J. Annals of Math **37**, 823 (1936).  
Blinov B. B., Moehring D. L., Duan L.-M. and Monroe C. Observation of entanglement between a single trapped atom and a single photon, Nature **428**, 153 (2004).  
Brassard G., Broadbent A., Tapp A. Quantum Pseudo-Telepathy, arXiv: quant-ph/0407221 (2004).  
Braunstein S. L. et al. Phys. Rev. Lett. **83**, 1054 (1999).  
Chaneliere T., Matsukevich D. N., Jenkins S. D., Lan S.-Y., Kennedy T. A. B. and Kuzmich A. Storage and retrieval of single photons transmitted between remote quantum memories, Nature **438**, 833 (2005).  
Chou C. W., de Riedmatten H., Felinto D., Polyakov S. V., van Enk S. J. and Kimble H. J. Measurement-induced entanglement for excitation stored in remote atomic ensembles, Nature **438**, 828 (2005).  
Davies P. Bit before it? New Scientist **161** (2171), p. 3, (1999).  
Didron M. and Didron A. N. Christian Iconography, or the History of Christian Art in the Middle Ages, George Bell and Sons, London, 1886.  
Doronin S. I., Fel'dman E. B., Guinzbourg I. Ya. and Maximov I. I. Chem. Phys. Lett. **341**, 144 (2001).  
Doronin S. I. Phys. Rev. A **68**, 052306 (2003).  
Doronin S. I., Fel'dman E. B., Maximov I. I. J. Magn. Reson. **171**, 37 (2004).  
Dür W., Vidal G. and Cirac J. I. Phys. Rev. A **62**, 062314, (2000).

- Einstein A., Podolsky B. and Rosen N. *Phys. Rev.* **47**, 777 (1935).
- Einstein A. In *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, edited by P. A. Schilpp (Library of Living Philosophers, Evanston, 1949). P. 85.
- Einstein A. *The Born-Einstein Letters*, New York, Macmillan. P.170–171, 1971.
- Eisaman M. D., Andre A., Massou F., Fleischhauer M., Zibrov A. S. and Lukin M. D. Electromagnetically induced transparency with tunable single-photon pulses, *Nature* **438**, 837 (2005).
- Eisert J., Wilkens M. and Lewenstein M. Quantum Games and Quantum Strategies, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3077 (1999).
- Eisert J. and Briegel H. J. *Phys. Rev. A* **64**, 022306 (2001).
- Elzerman J. M., Hanson R., Willems van Beveren L. H., Witkamp B., Vandersypen L. M. K., Kouwenhoven L. P. *Nature* **431**, 431 (2004).
- Ernst M., Meier B. H., Tomaselli M., Pines A. Time-reversal of cross-polarization in nuclear magnetic resonance, *J. Chem. Phys.* **108**, 9611 (1998).
- d’Espagnat B. *Conceptual Foundation of Quantum Mechanics*. — Reading: Benjamin, 1976.
- Fano U. Description of States in Quantum Mechanics by Density Matrix and Operator Techniques, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 74, 1957.
- Fel’dman E. B., Lacelle S. Perspectives on a Solid State NMR Quantum Computer, arXiv: quant-ph/0108106, (2001).
- Feynman R. *Rev. Mod. Phys.* **20**, 367, (1948).
- Feynman R. Simulating physics with computers, *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, No. 6/7. P. 467–488 (1982).
- Feynman R. Quantum mechanical computers, *Foundations of Physics*, Vol. 16, pp. 507–531 (1986). (Originally appeared in *Optics News*, February 1985).
- Ghosh S. et al. *Nature* **425**, 48, (2003).
- Gisin N. *Phys. Lett. A* **154**, 201 (1991).
- Gisin N. and Peres A. *Phys. Lett. A* **162**, 15 (1992).
- Gorman J., Hasko D. G. and Williams D. A. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 090502 (2005).
- Greenberger D. M., Horne M. A. and Zeilinger A. In *Bell’s Theorem, Quantum Theory, and Conceptions of the Universe*, edited by M. Kafatos (Kluwer, Dordrecht, 1989).
- Hackermüller L., Hornberger K., Brezger B., Zeilinger A. & Arndt M. Decoherence of matter waves by thermal emission of radiation, *Nature* **427**, 711 (2004).
- Häffner H. et al. Scalable multiparticle entanglement of trapped ions, *Nature* **438**, 643 (2005).
- Healey R. Holism and Nonseparability, *The Journal of Philosophy* LXXXVIII, pp. 393–421, (1991).
- Hill S. and Wootters W. K. *Phys. Rev. Lett.* **78**, 5022 (1997).
- Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. *Phys. Lett A* **223**, 1 (1996).
- Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. *Phys. Rev. Lett.* **78**, 574 (1997).
- Horodecki M., Horodecki P. and Horodecki R. *Phys. Rev. Lett.* **80**, 5239 (1998).
- Howard D. Holism, Separability and the Metaphysical Implications of the Bell Experiments, in J. Cushing and E. McMullin (eds.), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bell’s Theorem*, Notre Dame, Indiana, University of Notre Dame Press. P. 224–253, 1989.
- James D. F. V., Kwiat P. G., Munro W. J. and White A. G. *Phys. Rev. A* **64**, 052312 (2001).
- Jensen A. S., Riisager K. and Fedorov D. V. Structure and reactions of quantum halos, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 215 (2004).
- Joos E., Zeh H. D., Kiefer C., Giulini D., Kupsch J. and Stamatescu I. O. *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*, Springer, Heidelberg, 2003.
- Julsgaard B., Sherson J., Cirac J. I., Fiurasek J.A. and Polzik E. S. Experimental demonstration of quantum memory for light, *Nature* **432**, 482 (2004).
- Karakostas V. Quantum Nonseparability and Related Philosophical Consequences, *Journal for General Philosophy of Science* **35**, 283 (2004).
- Kauffman L. H. and Lomonaco S. J. Quantum entanglement and topological entanglement, *New J. Physics* **4**. P. 73.1–73.18 (2002).

- Kochen S. and Specker E. P. The problem of hidden variables in quantum mechanics, *Journal of Mathematics and Mechanics* **17**, 59 (1967).
- Ladd T. D., Goldman J. R., Dana A., Yamaguchi F. and Yamamoto Y. arXive e-print quant-ph/0009122, (2001).
- Landauer R. *Nature* **335**, 779–784 (1988).
- Lee J., Kim M. S., Bruker Č. *Phys. Rev. Lett.* **91**, 087902 (2003).
- Leibfried D. et al. Creation of a six-atom “Schrodinger cat” state, *Nature* **438**, 639 (2005).
- Linden N. and Popescu S. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 047901 (2001).
- Lloyd S. *Nature* **406**, 1047–1054 (2000).
- Margolus N. and Levitin L. B. In *PhysComp96, Proceedings of the Fourth Workshop on Physics and Computation*, edited by T. Toffoli, M. Biafore, and J. Leão (New England Complex Systems Institute, Boston, 1996); *Physica (Amsterdam)* **120D**, 188–195 (1998).
- Matsukevich D. N., Chaneliere T., Jenkins S. D., Lan S.-Y., Kennedy T. A. B., and Kuzmich A. *Phys. Rev. Lett.* **96**, 030405 (2006).
- Meyer D. Quantum strategies, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 1052 (1999).
- Neumann J. von, *Gött. Nach.* 1–15. P. 245–272 (1927).
- O’Sullivan-Hale M. N., Ali Khan I., Boyd R. W. and Howell J. C. *Phys. Rev. Lett.* **94** 220501 (2005).
- Pan J.-W., Bouwmester D., Weinfurter H. and Zeilinger A. *Phys. Rev. Lett.* **80**, 3891 (1998).
- Pan J.-W., Bouwmeester D., Daniell M., Weinfurter H. and Zeilinger A. Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement, *Nature* **403**, 515 (2000).
- Peres A. *Phys. Rev. Lett.* **77**, 1413 (1996).
- Peres A. and Terno D. R. Quantum information and relativity theory, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 93 (2004).
- Pflugger D. H., Minder C. E. Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. *J. Pineal Res.* **21**(2), 91–100, (1996).
- Popescu S. and Rohrlich D. *Phys. Lett. A* **166**, 293 (1992).
- Popescu A. E. and Ioniçoiu R. *Phys. Rev. B* **69**, 245422 (2004).
- Rudolph O. *Phys. Rev. A* **67**, 032312 (2003).
- Rungta P., Buzek V., Caves C. M., Hillery M. and Milburn G. J. *Phys. Rev. A* **64**, 042315 (2001).
- Schrader D., Dotsenko I., Khudaverdyan M., Miroshnichenko Y., Rauschenbeutel A. and Meschede D. *Phys. Rev. Lett.* **93**, 150501 (2004).
- Shor P. W. In *Proceedings of the 35th Annual Symposium on the Foundations of Computer Science*, edited by S. Goldwasser (IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA), p. 124 (1994).
- Stevenson R. M., Young R. J., Atkinson P., Cooper K., Ritchie D. A. and Shields A. J. *Nature* **439**, 179 (2006).
- Stick D., Hensinger W. K., Olmschenk S., Madsen M. J., Schwab K. and Monroe C. Ion trap in a semiconductor chip, *Nature Physics* **2**, 36 (2006).
- Störzer M., Gross P., Aegerter C. M. and Maret G. *Phys. Rev. Lett.* **96**, 063904 (2006).
- Thew R. T., Nemoto K., White A. G., Munro W. J. *Phys. Rev. A* **66**, 012303 (2002).
- Ursin R., Jennewein T., Aspelmeyer M., Kaltenbaek R., Lindenthal M., Walther Ph. & Zeilinger A. Quantum Teleportation across the Danube, *Nature* **430**, 849 (2004).
- Vandersypen L. M. K., Steffen M., Breyta G., Yannoni C. S., Sherwood M. H., Chuang I. L. *Nature* **414**, 883 (2001).
- Vandersypen L. M. K., Chuang I. L. NMR techniques for quantum control and computation, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 1037, (2004).
- Vedral V., Plenio M. B., Jacobs K. and Knight P.L. *Phys. Rev. A* **56**, 4452 (1997).
- Vedral V. *Phys. Rev. Lett.* **90**, 050401 (2003).
- Vidal G. and Werner R. F. *Phys. Rev. A* **65**, 032314 (2002).
- Volz J., Weber M., Schlenk D., Rosenfeld W., Vrana J., Saucke K., Kurtsiefer C. and Weinfurter H. *Phys. Rev. Lett.* **96**, 030404 (2006).

- Wheeler J. A.* Geons, Black Holes & Quantum Foam: A Life in Physics. New York, W. W. Norton & Company, 1998. P. 63–64.
- White A. G., James D. F. V., Eberhard Ph. H. and Kwiat P. G.* Phys. Rev. Lett. **83**, 3103 (1999).
- Wootters W. K.* Contemporary Mathematics **305**, 299, (2002).
- Zurek W. H.* Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, Rev. Mod. Phys. **75**, 715 (2003).
- Życzkowski K., Horodecki P., Sanpera A. and Lewenstein M.* Phys. Rev. A **58**, 883 (1998).
- Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е.* Методы квантовой теории поля в статистической физике. М., 1962.
- Баргатин И. В., Гришанин Б. А., Задков В. Н.* Запутанные квантовые состояния атомных систем, УФН **171**, 625 (2001).
- Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А.* Физика квантовой информации. М.: Постмаркет, 2002.
- Белокуров В. В., Тимофеевская О. Д., Хрусталева О. А.* Квантовая телепортация — обыкновенное чудо. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000.
- Блаватская Е. П.* Тайная доктрина. Т. 3. М.: Эксмо-Пресс; Харьков: Фолио, 2002.
- Блохинцев Д. И.* Основы квантовой механики. М., 1961.
- Блум К.* Теория матрицы плотности и ее приложения. М.: Мир, 1983.
- Боголюбов Н. И., Ширков Д. В.* Квантовые поля. М.: Физматлит, 1993.
- Бом Д.* Причинность и случайность в современной физике. М., 1959.
- Бродбент Д. Е.* Установка на стимул и установка на ответ: два вида селективного внимания: Хрестоматия по вниманию / Под ред. А. Н. Леонтьева, А. А. Пузыря, В. Я. Романова. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Бройль Луи де.* Революция в физике (Новая физика и кванты). М.: Атомиздат, 1965.
- Брянчанинов И. свят.* Слово о чувственном и о духовном видении духов. Собр. соч. Т. 3. М.: Паломник, 2002.
- Валиев К. А.* Квантовые компьютеры и квантовые вычисления, УФН **175**, 3 (2005).
- Гегель Г. В. Ф.* Наука логики. Соч. Т. 1. М.; Л., 1930.
- Гейзенберг В.* Физика и философия. М.: Наука, 1989.
- Голубев С. Н.* Биоструктуры как фрактальное отображение квазикристаллической геометрии // Сознание и физическая реальность. 1996. Т. 1. № 1–2.
- Гребенников В. С.* Мой мир. Новосибирск: Сов. Сибирь, 1997.
- Дирак П. А. М.* Принципы квантовой механики. М., 1960.
- Дубровин Б. А., Новиков С. П., Фоменко А. Т.* Современная геометрия: Методы и приложения. М.: Наука, 1986.
- Журавлев А. П.* Звук и смысл. М., 1981.
- Журавлев А. П.* Фонетическое значение. Л.: ЛГУ, 1974.
- Кант И.* Критика чистого разума. Соч.: В 6 т. Т. 3. М., 1964.
- Киттель Ч.* Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977.
- Клышко Д. Н.* Фотоны и нелинейная оптика. М.: Наука, 1980.
- Лаберж С.* Осознанное сновидение. К.: София, Ltd; М.: Изд-во Трансперсонального Ин-та, 1996.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Статистическая физика. Ч. 1. М.: Наука, 1964.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория поля. М.: Наука, 1973.
- Менский М. Б.* Квантовые измерения и декогеренция, М.: Физматлит, 2001.
- Менский М. Б.* Явление декогеренции и теория непрерывных квантовых измерений. УФН **168**, 1017 (1998).
- Мессиа А.* Квантовая механика. Т. 1. М.: Наука, 1978.
- Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж.* Гравитация. Т. 1. М.: Мир, 1977.
- Нейман И. фон.* Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
- Нигматулин Р. И.* Динамика многофазных сред. Ч. I. М.: Наука, 1987.
- Пенроуз Р.* Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Едиториал УРСС, 2003.
- Платов А., Дарт А. ван.* Практический курс рунического искусства. К.: София, 2000.

- Рерих Е. И., Рерих Н. К., Асеев А. М.* Оккультизм и Йога. Летопись сотрудничества. Т. 1. М.: Сфера, 1996.
- Симанов А. Л.* Понятие «состояние» как философская категория. Новосибирск: Наука, 1982.
- Стикс Г.* Квантовая криптография прошла путь от теоретических исследований и лабораторных опытов до коммерческих изделий // В мире науки (Scientific American). № 4. Апрель 2005.
- Сязск И. В.* Мозговой песок шишковидной железы человека. Научно-практический вестник: Человек в социальном мире: проблемы, исследования, перспективы. Вып. 1/2001 (№ 5).
- Тамм И. Е.* Основы теории электричества. М.: Наука, 1989.
- Темурьянц Н., Шехоткин А., Насилевич В.* Магниточувствительность эпифиза. Биофизика, **43** (5), 761 (1998).
- Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968.
- Фок В. А.* Квантовая физика и строение материи. Л., 1965.
- Хавинсон В. Х., Голубев А. Г.* Старение эпифиза // Успехи геронтологии. **3** (9). 259 (2002).
- Хакен Х.* Квантовополевая теория твердого тела. М.: Наука, 1980.
- Холл М. П.* Мелхиседек и мистерия огня. К.: София, 2001.
- Цзунхуа Ч.* Дао Тайцзи-цюаня — путь к омоложению. К.: София, 1995.
- Шимони А.* Реальность квантового мира // В мире науки (Scientific American). 1988. № 3.
- Шматов С. В.* Синтез научного и эзотерического знания об эпифизе // Медицина будущего в свете синтеза научного мировоззрения Востока и Запада: Тез. рефератов и докладов медицинской научно-практической конференции 1–2 мая 1998 г. Томск: СГМУ, 1998.
- Шредингер Э.* Компоненты энергии гравитационного поля // Эйнштейновский сборник, 1980–1981. М., 1985.
- Штайнер Р.* Как достигнуть познания высших миров? Ереван: Ной, 1992.
- Эйнштейн А.* Физика и реальность. М., 1965.