



КВАНТОВАЯ МАГИЯ

С. И. Доронин

КВАНТОВАЯ МАГИЯ



Сергей Иванович Доронин

Квантовая магия

Серия «Квантовая магия»

Текст предоставлен правообладателем
http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=7911567
Квантовая магия: Вось; Санкт-Петербург; 2007
ISBN 978-5-9573-0844-7

Аннотация

Квантовая механика перестала быть областью лабораторных исследований – ее законы действуют в мире здесь и сейчас! Принципы, работающие на микроуровне элементарных частиц, распространяются и на макросистемы. Они противоречат здравому смыслу, доставшемуся нам в наследство от классической физики, и кажутся магией. Но это уже реальность.

Содержание

Представление от редактора серии	9
Предисловие	12
Глава 1	19
1.1. На пороге эры квантовых компьютеров	20
1.2. Запутанные состояния	35
1.3. Декогеренция	50
Конец ознакомительного фрагмента.	63

Сергей Доронин

Квантовая магия



Дорогой Читатель!

Искренне признателен, что вы взяли в руки книгу нашего издательства.

Наш замечательный коллектив с большим вниманием выбирает и готовит рукописи. Книги одного из величайших мыслителей XX века Ошо – полны здравого смысла, свободы от стереотипов и понимания того, что каждый человек имеет право быть просветленным по факту своего рождения. Ошо говорил: «Мое дело – дать вам радость в жизни, сделать так, чтобы вы любили жизнь, пели, танцевали – потому что жизнь – это праздник». Он также сказал что «сознание, которое продолжает расти, на каждом новом шаге будет неизбежно противоречить тому шагу, что ему предшествовал». Стремление к развитию является генетической основой русской духовной культуры и ведет человека дорогой пробуждения любви и совести. Совестьливый человек смотрит на мир искренне и просто. Он способен вбирать самое лучшее из других культур и традиций, оставаясь самим собой и не предавая своих корней. Суровые климатические условия и большие пространства России рождает смелых людей с чуткой душой – это идеал русского человека. Мы верим, что духовное стремление является прочным основанием для полноценной жизни и способно проявиться в любой сфере человеческой деятельности. Это может быть семья и воспитание детей, наука и культура, искусство и религиозная деятельность, предпринимательство и государственное управление. Возрождайте свет души в себе, поддерживайте его в других.

Именно эти усилия укрепляют наши души, вдохновляют на заботу о ближних и способствуют росту как личного, так и общественного благополучия.

Искренне Ваш,
Владелец Издательской группы «Весь»

A stylized handwritten signature in black ink, featuring a large, flowing initial 'П' followed by a series of connected loops and a final horizontal stroke with a small upward flick.

Пётр Лисовский



Представление от редактора серии

«Все больше и больше явлений, которые ранее казались странными и необычными, сегодня становятся предметом научного исследования. Пришло время для возникновения новой науки...»
Ли Кэрролл



Настоящее предисловие долго не могло сложиться. Причины этому разные. Представлять новую серию, которую долго и с любовью готовили всем издательством, которая нравится, и в которой рассказывается о мироустройстве с точки зрения современной науки, не просто. Надо не переборщить в своем желании привлечь к ней внимание, ведь можно добиться обратного эффекта. Не «перегрузить» потенциального читателя информацией, желая объяснить, что к чему, а в результате – отпугнуть кажущейся сложностью тематики серии.

А нужны ли вообще предисловия? Большинство читателей, я уверена, скажут: «Нет! Кто их читает?» Хорошо. Не нужны, так не нужны. Будем считать, что это краткое представление серии. Тем более, что лучше читать сами книги, а не предисловия к ним. Итак, в рамках новой серии книг – «Квантовая магия» вы познакомитесь с современными работами отечественных и западных ученых-физиков. Отмечу, что все они профессионалы, каждый работает по своей теме, публикуется в научных журналах, имеет степень. Зачем тогда им эти книги? Для ученых это одна из возможностей сделать доступной широкому кругу людей, а не только своим коллегам, информацию о последних открытиях в науке, способных перевернуть представление человека о реальности.

Почему такое название у серии – «Квантовая магия», объединяющее несовместимое? Это название наиболее точно отражает современное состояние науки, когда научные открытия становятся настолько невероятными с точки зрения обычного человеческого восприятия, что в них сложно поверить. Как говорится, прошли те времена, когда многие считали, что наука – наукой, а мистика – мистикой. К сожалению, раньше так и было: тот, кто знал квантовую механику, не интересовался эзотерикой, а тот, кто хотя бы в начальной степени владел эзотерической практикой, достаточной для того, чтобы убедиться в объективном физическом существовании этих эффектов, не всегда знал квантовую механику. В данной серии наглядно показано, как близки эти два край-

них подхода, изучающих по сути дела одни и те же явления, но с разных точек зрения и совершенно разными методами.

Удивительно? Невероятно? Да. Именно так.

Если вы решитесь прочитать книги всей серии, вас ждут еще более невероятные открытия.

И закончу краткое представление словами одного из авторов серии: «...пугаться и откладывать чтение на потом не следует даже в том случае, если вам до сих пор снятся кошмары об уроках физики в школе».

С пожеланиями удивительных открытий,
редактор серии,
Оксана Филичева

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 проти-

воречат 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 макром мире, 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 адекват-

но 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 пони-

мания 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 существенно-му 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 во все не претендую на то, что моя точка зрения является един-

ственно 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 немыслимо? И будете неправы! Поскольку в настоящее время работа над такими компьютерами идет полным ходом. Их называли квантовыми компьютерами. Для этого устройства нужно не так уж много рабочих ячеек памяти, обрабатывающих инфор-

мацию¹, – достаточно будет всего лишь нескольких сотен. Скажем, довольно 300 ячеек, чтобы информационный ресурс компьютера примерно на 10 порядков превысил число частиц во Вселенной ($2^{300} = 10^{90}$)². 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.

Чтобы вы могли более наглядно представить себе, что такое экспоненциальный рост, напомним 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 мож-

¹ Для обычного компьютера это объем оперативной памяти.

² 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.

но 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 суперпозиции³). 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 ком-

³ Более подробно см. главу 2, раздел 2.4.

пакт-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 превысить 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.

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 Фейнман⁴.

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 устройства-

⁴ *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.)*

ми, 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 Шор⁵ 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.

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 ре-

⁵ *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).

альное 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 по-

дробно, 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 тео-

рии 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. Бома⁶ 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.

⁶ 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 **количествен-**

ная мера⁷ квантовой нелокальности. К тому же теория запутанных состояний входит в стандартную, общепринятую интерпретацию квантовой механики и не является альтернативной типа «многомировой» интерпретации Эверетта.

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 тео-

⁷ Более подробно см. главу 3, раздел 3.3.

рии 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 некоей «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 миро-

понимание 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 устройства⁸.

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-миль-

⁸ 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/>.

ная 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»⁹ 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.

Кратко перечислим основные достижения последних лет в области коммерческого производства и практического применения квантово-криптографических систем¹⁰.

- id Quantique (Женева) – система посылает квантовые шифровальные ключи (запутанные фотоны) на десятки километров по оптоволокну.

- MagiQ Technologies(Нью-Йорк) – система с оптоволоконном посылает квантовые шифровальные ключи на расстояние до 100 км. Предлагаются также аппаратные средства и программное обеспечение для интеграции в существующие

⁹ <http://www.idquantique.com/products/overview.htm>.

¹⁰ Приводятся по указанной выше статье Гэри Стикса.

сети.

● NEC (Токио) – в 2004 году удалось передать ключи на рекордные 150 км. Намечено выпустить систему с оптоволокном 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.

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 (*quantumbits*, *qubits*). За счет суперпозиции состояний кубитов, наличия комплексных амплитуд и фазовых множите-

лей 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 различных состояний. В таких системах флуктуации отдельных частей взаимо-

связаны, 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, немыслима 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)¹¹.

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 окру-

¹¹ Bennett C. H., Bernstein H. J., Popescu S. and Schumacher B. Phys. Rev. A **53**, 2046 (1996).

жением, 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 помо-

щью неких хитрых операций с полученным снимком и обработанным 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 разной, 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 све-

те 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 Неймана¹² для чистых состояний.

Связь между квантовой информацией и запутанностью позволяет описывать систему в терминах информации. В

¹² Более подробно см. главу 3, раздел 3.4.

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 (локализуются 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 непрояв-

ленной 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 реально-

сти 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, по-

сколько 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 функции¹³, который объяснял однозначный вид окружающей реальности и предполагал, что все остальные альтернативные члены суперпозиции исчезают. Проще говоря, вопрос сводился к тому, существует ли одновременно множе-

¹³ *Редукция* – это устоявшийся термин в сочетании с понятием «волновая функция», обозначающий ту же самую декогеренцию, более подробно см. главу 2, раздел 2.6.

ство 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 предсказаниям¹⁴.

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

¹⁴ См., например: Менский М. Б. Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001; Менский М. Б. УФН **168**, 1017 (1998).

лишь матрицу плотности¹⁵. 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 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

¹⁵ О матрицах плотности см. главу 3.

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 состоя-

нии, 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*¹⁶, 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.

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.

¹⁶ Более подробно см. главу 2 раздел 2.8.

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 инициации¹⁷, для большинства же из нас овладение этим процессом в полном объеме связано со значительными усилиями (хотя начальные навыки даются довольно легко прак-

¹⁷ 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.

тически каждому).

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. Цайлинге-ра [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-a <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*

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.