



Рис. 2. Бинарное дерево. Цифрами показана вероятность нахождения частицы в различных ветвях дерева в случае моментального образования консервативного условного рефлекса.

одну и ту же интенсивность, а именно $1/32$ от интенсивности первоначального пучка (реальные зеркала делят пучок не строго поровну и имеют поглощение, но это не принципиально).

Введем теперь во все правые ветви (соответствующие, например, отражению от зеркала) "информационные ячейки" (на рисунке они показаны прямоугольниками), предъявляющие частицам некоторую информацию. Например, это опять могут быть наборы стеклянных пластинок, где информация закодирована через толщину пластинок и расстояние между ними. Информация, предъявляемая в каждом следующем ряду ячеек, является продолжением предыдущей.

Реальные ячейки будут вносить некоторое поглощение, но оно может быть учтено при обработке результатов или скомпенсировано введением во все левые ветви аналогичных ячеек, несущих, однако, "менее интересную" информацию. Например, если каждой букве нашего алфавита соответствует пластинка определенной толщины, то во всех компенсационных ячейках эти пластинки стоят в алфавитном порядке.

Согласно современной теории и практике введение информационных и компенсационных ячеек не нарушит равномерное распределение интенсивности между выходными ветвями. Но если частицы обладают сознанием, они могут заинтересоваться предлагаемой информацией. Пробуя различные направления ветвления, они обнаружат, что правые ветви более информативны, и начнут их предпочитать. Другими словами, у частиц выработается условный рефлекс. Это нарушит равномерное распределение частиц в выходных каналах. На рисунке 2 в качестве примера цифрами показана вероятность нахождения частицы в различных ветвях дерева в случае моментального образования консервативного условного рефлекса, т.е. когда частица после первого же сравнения левых и правых ветвей делает окончательный выбор в пользу последних.

Неравномерное распределение частиц в выходных каналах будет замечено экспериментатором и может быть справедливо интерпретировано как интерес частиц к информации и указание на их сознание. Этот важный результат даже не требует от частиц умения расшифровывать инфор-

мацию, достаточно их любознательность. Точно так же археологи отправлялись в дальние путешествия из интереса к древним иероглифическим письмам задолго до того, как научились их расшифровывать.

Суммарная информация, респредделенная по ячейкам, в целом может составлять курс обучения некоему языку, на котором мы в дальнейшем будем общаться с частицами. Чтобы узнать, как далеко продвинулось обучение, экспериментатор время от времени может предъявлять частицам, например, такой текст: "Поверните, пожалуйста, налево". Так как частицы, стараясь не пропускать уроков, как правило, будут выбирать правые ветви, выполнение этой просьбы будет означать, что ее текст был расшифрован, и мы вышли на более высокий уровень информационного контакта.

Этим, однако, возможности схемы рис. 2 не ограничиваются. Сознательно выбирая направления ветвления, частица может в коде "лево"–"право" ("0"–"1") сама передать нам сообщение. Поскольку регистрация частицы в какой-либо выходной ветви однозначно определяет весь ее путь в дереве, мы сможем прочесть это сообщение. Например, самая левая выходная ветвь на рис. 2 соответствует сообщению "00000", а самая правая — "11111".

Изложенной интерпретации КМ посвящены также работы [7] и [8].

Список литературы

1. Менский М Б *УФН* **170** 631 (2000)
2. Aspect A, Dalibard J, Roger G *Phys. Rev. Lett.* **49** 1804 (1982)
3. Bell J S *Physics* **1** 195 (1964)
4. Alley C O et al., in *Proc. 2nd Int. Symposium on Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo, Japan, 1987* (Eds M Namiki et al.) (Tokyo: Phys. Soc. Jpn, 1987) p. 36
5. Nakhmanson R, in *Waves and Particles of Light and Matter* (Eds A van der Merwe, A Garuccio) (New York: Plenum Press, 1994) p. 571
6. Weihs G et al. *Phys. Rev. Lett.* **81** 5039 (1998)
7. Nakhmanson R, in *Frontiers of Fundamental Physics* (Eds M Barone, F Selleri) (New York: Plenum Press, 1994) p. 591
8. Nakhmanson R, <http://xxx.lanl.gov/pdf/physics/0004047>
9. Nakhmanson R, <http://xxx.lanl.gov/pdf/physics/0005042>

Действительность и главный вопрос о квантовой информации

А.М. Пилан

На самом деле главный вопрос статьи М.Б. Менского "Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов" состоит в том, какая информация существует в природе для (пред-)определения квантовых историй.

После 75 лет споров многие практики не верят в полезность обсуждения как квантовых парадоксов, так и понятия информации для физики. Вот на стр. 13 и 15 февральского номера *Phys. Today* 1999: "после своего успеха в демонстрации эйнштейнглмента (наличие запутан-

А.М. Пилан. Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера РАН, 63090 г. Новосибирск, просп. ак. Лаврентьева 11, Российская Федерация
E-mail: A.M.Pilan@inp.nsk.su

Статья поступила 14 августа 2000 г.,
после доработки 20 октября 2000 г.

ных состояний) Антон Цайлингер осторожно замечает, что "не будет большим парадоксом, если окажется, что квантовая механика может быть вообще про информацию", но Голдстейн отрубает: "...неужели Цайлингер истинно верит, что информация может быть просто и вообще сама по себе? — она всегда про конкретные вещи и явления... — и только этим интересна". Так в каком именно качестве и количестве есть в природе детерминирующая информация?

Обращение к множественности параллельных миров, выстраиваемых сознанием, т.е. по существу к философскому солипсизму, представленное в обсуждаемой обзорной статье М.Б. Менского [1], свидетельствует уже как будто о совсем отчаянном здесь положении. Но если посмотреть на роль "Бога" с "кибернетической" стороны, "Богу" проследить каждую из альтернативных судеб всех микросистем уж слишком накладно. Принимая приглашение от редакции высказаться в стиле "мозгового штурма", позвольте изложить догадки о форме представления квантовой информации.

Наступил кризис переосмысления КМ от механической машины к информационно-кибернетической машине. Уж если в квантовой механике детерминизма оказывается достаточно для создания "квантового компьютера" [2, 3], то ничто не мешает воображать весь мир "квантовым компьютером", вычисляющим и свою, и нашу судьбу. Что касается роли сознания "виртуальных человечков", разгадывающих его устройство, то живой мозг создан, как видно, "по образу и подобию" неживой природы — по принципу "голографического компьютера" [11].

Доказано, что в природе существует "эйнштейнглмент" — ЭПР-связи, которые "телепатически" — поверх пространства — сковыывают свободу удаленных частиц "взаимными обязательствами", и эти связи по существу выполняют роль "скрытых параметров". Значит, физический мир ими до какой-то степени насыщен. До какой? И тут пока еще есть возможность высказывать крайние предположения. М.Б. Менский справедливо указал — надо сразу приготовиться к тому, что все это окажется уже не физика. Возникает принципиальная методологическая трудность — физика по определению определяется универсальным предсказанием исходов экспериментов для всевозможных наблюдателей, т.е., грубо говоря, предмет физики — инварианты группы Пуанкаре и группы внутренней зарядовой симметрии, постулируемые "демократическими принципами" — однородностью пространства и физики для всех. А инварианты групп физических симметрий формулируются не точнее амплитуд на языке функционалов квантовых состояний. Индивидуальная же история от квантового описания ускользает. Но сама материя и есть несимметрия в симметричном "физическом вакууме". А вакуум, по самоуверенному определению физиков, преобразуется по тривиальному представлению, а "элементарная частица — неприводимое представление группы Пуанкаре" (с точностью до искривленного пространства, в котором неизвестно, как эти представления строить). Опыт заставляет согласиться, что максимум информации *для физики* — волновая функция и что она характеризует именно способ приготовления квантового ансамбля, грубо говоря, последовательность фильтров (из коллиматоров и монохроматоров), после которой состояние исследуемых микросистем *физик считает идентичным*, а никак не саму отдельно взятую микрочастицу или микросистему, поскольку эти фильтры совершенно не чувствительны к наследию квантовых историй каждой частицы в ее индивидуальных ЭПР-связях.

Признание этих индивидуальных связей рушит буквально все "демократические" принципы физики — одно-

родность и изотропность вместе с микропричинностью, вместе с равноправием наблюдателей. "Господа, это же не физика...", — восклицали в спорах отцы квантовой механики, когда расставались с детерминизмом. А теперь пора расставаться с индетерминизмом.

Коль скоро "Господь Бог не играет в кости", надо узнать какую информацию он имеет к размышлению, т.е. в каком количестве и представлении. Под "Богом" подразумевается вовсе не скучающий от своего вселия индивидуум, строящий нам козни, а природный механизм определения судеб физических процессов; под информацией — не "Дух Святой", а нечто постижимое для теоретической физики.

В отличие от "реальности, данной нам в ощущениях", представление информации "Богу" назовем "действительностью", полагая, что за определяющий инвариант придется взять не интервал Минковского, а действие, имеющее натуральную меру Планка. Постоянная Планка — не просто параметр превращения квантовой механики в классическую, это универсальная мера, ответственная за различимость физических состояний, т.е. за существование природной меры информации. Эта его роль очевидна с 30-х годов, когда определили энтропию идеального газа.

Мысленно поставив себя на место Бога, придем к "индетерминизму" квантовой механики с изначной стороны, — через отрицание *квантовой случайности*, — если "Господь Бог не играет в кости", то совладать может только с конечной информацией, поэтому и непосильна для него классическая механика. Квантовая "неопределенность" дает с другой стороны наибольшую "определенность" в смысле "голографического принципа"¹, согласно которому количество доступной "Богу" физической информации в нашем мире должно иметь инвариантно определенную конечную количественную меру ("на пространственно-подобной 3-поверхности"), сохраняющуюся со временем от "3-слоя к 3-слою".

Роль "Бога" становится мыслимой или "вычислимой" только при *конечности всей информации, содержащейся в физическом мире*, поскольку ее носитель — физический мир (рассматриваемый для своей детерминирующей информации и как носитель, и как канал связи) имеет физически ограниченную емкость и пропускную способность, а она для всякого носителя ограничена классической мерой Лиувилля доступного ему фазового объема, измеренной в квантах действия — постоянных Планка, возведенных в степень числа степеней свободы. Объем этот растет с энергией и 3-объемом. Ресурсы их в видимой Вселенной ограничены. Пределом количества информации, передаваемой физической системой, является идентификация самого чистого состояния системы, если известен весь конечный список возможных ее состояний.

Все рассуждения о конечности полной меры информации противоречат абстрактной математической квантовой механике — ведь простая система, как атом водорода, имеет уже как будто счетное количество различных квантовых состояний, а "бескрайнее" поле — континуум. Но природа положила достаточно препятствий ими воспользоваться, так как континуум пространства — очевидный математический вымысел.

Разве же можно рассуждать о пространственных отношениях точек пространства, не указывая способа наблюде-

¹ Он возник первоначально с нижним ограничением энтропии в черных дырах [9], но далее, после "третьей суперструнной революции" предпринимаются попытки экстраполировать его на наш видимый мир (см. [10]). Видимый нам мир представляется замкнутой системой, а не открытой, в контакте с тепловым резервуаром, как в обычных рассуждениях об информации и энтропии [11].

статистическую сумму и следует считать от природы конечной и заданной величиной. А она получается в терминах действия. Эволюция же протекает по пути сохранения информации, это должно быть эквивалентно принципу наименьшего действия. Возникает возможность описать фазовые переходы при охлаждении как накопление "памяти" со сжатием "файлов" освобождающим ячейки памяти. Отсюда и "стрела времени", и такие еще странно-сти физического мира, как биология с разумом наверху

Если символы в "гроссбухе" являются элементами однородного пространства (в котором транзитивно действует некая единая группа), то элементарный символ сведется к булевой единице, отмечающей присутствие чего-то... А все информативные предикаты сведутся к положению символа в "гроссбухе", положение характеризуется только числом (полу)шагов действия между символами (вспомним о дискретности наблюдаемых квантовых состояний компактных систем). Символы уложены не в строку, как двоичный код для машины Тьюринга, а в вершины многосвязного графа. То есть "костяшки на счетах у Бога" нанизаны не на общий одномерный стержень, как в речи или тексте, а пронизаны множеством спутанных "эйнштейнглментом" струн.

Итак:

1. "Господь Бог не играет в кости", но при этом владеет только конечной информацией.

2. "Голографический принцип" — вся физическая информация в причинно-связной мировой области имеет конечную меру и сохраняется по этой мере.

3. Информация скорее всего известна Богу в виде графа (матрицы) "действительных" расстояний (отношений) между элементарными идентификаторами, или между различными состояниями мира в целом. За различимость отвечает мера действия по пути. Эта картина сопоставима фейнмановским диаграммам, поскольку вероятности, амплитуды и представления групп Ли являются экспонентами действия, а информация связана с действием непосредственно после логарифмирования этих экспонент. Чтобы информация оказалась конечной без произвола, надо попробовать обойтись конкретным (полу)целочисленным действием.

Для обоснования следует перечислить аморфный список литературы, содержащей не слишком прозрачные аналогии [11–14]. Превращение чистого состояния в матрицу плотности в процедуре измерения описано Зуреком в [5], изложено в [6]. Вывод о сохранении информации получится, если всякий раз и измерительный прибор, и наблюдателя включать в замкнутую физическую систему, спрятанную под общим унитарным оператором эволюции — важно не вынимать и не толкать обратно информацию. Неисповедимы пути квантовой системы — не может прибавиться знаний у Бога (ведь и мы в Его ведении).

Список литературы

1. Менский М Б *УФН* **170** 631 (2000)
2. Фейнман Р *УФН* **149** 671 (1986)
3. Килин С Я *УФН* **169** 507 (1999)
4. Садбери А *Квантовая механика и физика элементарных частиц* Гл. 5 (М.: Мир, 1989)
5. Zurek W H *Phys. Rev. D* **26** 1862 (1982)
6. Менский М Б *УФН* **168** 1017 (1998)
7. Бремерман Г *Распределения, комплексные переменные и преобразование Фурье* (М.: Мир, 1968)
8. Bekenstein J D *Lett. Nuovo Cimento* **11** 467 (1974)
9. Kaloper N, Linde A *Phys. Rev. D* **60** 103509 (1999)
10. Климонтович Ю Л *УФН* **169** 443 (1999)
11. Charline G *Phys. Rep.* **315** 95 (1999)

12. Petersen C, Soberberg B, in *Local Search in Combinatorial Optimization* (Eds E Aats, J K Lenstra) (New York: John Wiley & Sons, 1997) см. главу "Artificial neural networks"
13. Фок В В, Чехов Л О *ТМФ* **120** 511 (1999); Чехов Л О *УМН* **54** (6) 109 (1999)
14. Литинский Л Б *ТМФ* **118** (1) 133 (1999)
15. Фейнман Р П, Хибс А *Квантовая механика и интегралы по траекториям* (М.: Мир, 1968)
16. Wilczek F *Phys. Today* **52** (1) 11 (1999)

О проблеме выбора альтернативы в квантовом измерении

А.Д. Панов

В последнее время динамично развиваются два новых тесно связанных направления исследований в квантовой теории — квантовая информатика и теория декогеренции. Сейчас ряд основных представлений, принадлежащих этому кругу вопросов, можно считать относительно устоявшимся. Достаточно популярное, но и без излишних упрощений, введение в эту новую область дается в первых трех разделах статьи М.Б. Менского [1]. Четвертый раздел статьи посвящен роли сознания наблюдателя в квантовом измерении и, по нашему мнению, является в достаточной мере дискуссионным.

Рассматриваемая проблема состоит в следующем. Можно попытаться описать процесс измерения, опираясь исключительно на унитарную эволюцию в соответствии с уравнением Шрёдингера, как это впервые предложил сделать Эверетт [2]. Последовательное применение уравнения Шрёдингера к замкнутой системе, включающей наблюдаемый микробъект и макроскопическое окружение (приборы и др.), приводит к суперпозиции макроскопически различных квантовых состояний, описывающих альтернативные исходы измерения. Уважаемый автор замечает, что такое описание не дает никакого механизма селекции одной из альтернатив. Так как в реальном опыте каждый экспериментатор имеет дело лишь с одной альтернативой, такое описание измерения рассматривается как неполное — в нем не хватает механизма выбора альтернативы. Далее автор замечает, что теория, которая могла бы описывать такой механизм, обязательно должна включать сознание и предлагает включить его в теорию как элемент, призванный логически замкнуть полностью квантовое описание измерения. Сознание наделяется *функцией* выбора одной из альтернатив из когерентной суперпозиции различных возможных исходов измерения, приводя к согласию предсказаний теории и опыта. Насколько мы понимаем, это означает, что сознание выводится за рамки динамического описания и предстает как явный *метатеоретический* элемент для интерпретации теории. Поскольку существует иная точка зрения на роль и место сознания в квантовом измерении и ввиду важности обсуждаемого вопроса, мы считаем необходимым представить ее в этом письме.

Известен ряд работ, в которых рассматривается последовательно квантовое описание выбора альтернативы

А.Д. Панов. Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119899 Москва, Российская Федерация
Тел. (095) 939-58-75, 939-38-08
E-mail: a.panov@relcom.ru

Статья поступила 3 октября 2000 г.