

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## Отклики читателей на статью М.Б. Менского "Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов"

*От редколлегии.* В мировой литературе в настоящее время, как и в некоторые периоды в прошлом, широко обсуждаются вопросы, связанные с интерпретацией и, вообще основами, квантовой теории. В то же время в физической литературе на русском языке упомянутые проблемы сейчас не находят должного освещения. Поэтому в УФН недавно была опубликована обзорная статья М.Б. Менского "Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов" (УФН 170 (6) 631 (2000)). В редакционном предисловии к этой статье было сообщено о готовности УФН публиковать письма читателей, посвященные обсуждению основ квантовой теории. Такие письма нами уже получены и помещены ниже. При этом, однако, редколлегия с целью обеспечения свободы дискуссии не подвергала эти письма рецензированию и не несет ответственности за их содержание. Мы полагаем, что в каких-то пределах такой подход в настоящее время оправдан.

PACS number: 03.65.Bz

### Содержание

1. Липкин А.И. Существует ли явление "редукции волновой функции" при измерении в квантовой механике? (437).
2. Нахмансон Р.С. Физическая интерпретация квантовой механики (441).
3. Пилан А.М. Действительность и главный вопрос о квантовой информации (444).
4. Панов А.Д. О проблеме выбора альтернативы в квантовом измерении (447).
5. Лесовик Г.Б. Теория измерений и редукция волнового пакета (449).
6. Цехмистро И.З. Импликативно-логическая природа квантовых корреляций (452).
7. Менский М.Б. Квантовое измерение: декогеренция и сознание (459).

Вышеперечисленные отклики читателей публикуются в порядке поступления в редакцию с заключительным комментарием М.Б. Менского.

А.И. Липкин. Московский физико-технический институт,  
141700 г. Долгопрудный, Московская обл., Российская Федерация  
Тел. (095) 408-46-81. E-mail: lipkin@beep.ru  
<http://science.rsuh.ru/Arkady/engle/PofSengl.htm>

Статья поступила 31 июля 2000 г.,  
после доработки 30 октября 2000 г.

### Существует ли явление "редукции волновой функции" при измерении в квантовой механике?

А.И. Липкин

Настоящее письмо является откликом на обзор [1]. Его цель — указать на принципиально иную позицию, не отмеченную в обзоре [1]. Речь идет о позиции, согласно которой признаются необоснованными и не имеющими экспериментального подтверждения явление "редукции (коллапса) волновой функции" (введенное Дж. Нейманом и П. Дираком в 1930-х годах) и тесно связанная с ней "квантовая теория измерений", безусловное существование которых кладется в основу [1]. Эта позиция представлена, в первую очередь, в хорошо известных работах Д.Н. Клышко [2, 3]. Такой же позиции придерживается и автор данного письма [4, 5]. Эта позиция изложена в нашей совместной большой статье "О "коллапсе волновой функции", "квантовой теории измерений" и "непонимании" квантовой механики" [6], где предложена четкая формулировка нерелятивистской квантовой механики, свободная от явления "редукции (коллапса) волновой функции". Данное письмо опирается на эту работу [6] (см. разделы 3.1, 3.3, 4)<sup>1</sup>.

#### 1. Анализ основных утверждений

Ключевым, исходным и очевидным понятием для идущей от Дж. Неймана традиции, которой придерживается и

<sup>1</sup> Основные моменты данного отклика на статью [1] были обсуждены с безвременно ушедшим Д.Н. Клышко сразу после выступления М.Б. Менского с изложением своей позиции на "Общественном семинаре по теоретической физике" В.Л. Гинзбурга (23 февраля 2000 г.).

М.Б. Менский, является постулат о существовании при измерении в квантовой механике явления "редукции волновой функции".

Один из наиболее общепринятых путей, на котором возникает "явление" "редукции волновой функции", выглядит так. Пусть измеряется какая-либо величина, например, положение частицы в плоскости экрана (фотопластинки), и этой величине отвечает оператор  $B$ , причем прибор показал некоторый результат  $b_1$ . Согласно ряду учебников и мнению подавляющего большинства физиков из этого вытекают следующие утверждения:

**утверждение 1:** это измерение провозглашается явлением, которое должно описываться квантовой теорией;

**утверждение 2:** провозглашается, что на языке квантовой теории это явление описывается как мгновенное изменение волновой функции (ВФ) системы от  $\Psi = \sum_k c_k |b_k\rangle$  (в общем виде в дираковских обозначениях) к  $|b_1\rangle$  с вероятностью  $|c_1|^2$  (в соответствии с правилами Борна); этот скачок и называется "редукцией" или "коллапсом" ВФ;

**утверждение 3:** провозглашается, что такой переход не описывается уравнением Шрёдингера, т.е. оказывается "незаконным" с точки зрения уравнений стандартной квантовой механики.

Выводимая из последнего утверждения (опирающегося на два первых) неполнота современной квантовой механики и необходимость дополнительного развития ее оснований и составляет суть того, что со времен Дж. Неймана имеют в виду под "проблемой" "редукции (коллапса) волновой функции".

Со времени ее формулировки в начале 1930-х годов эта проблема рассматривается как очень серьезная и ради ее преодоления в квантовой механике вводят даже сознание [7, 8] и множество миров (многомировая интерпретация Эверетта [9, 10]). Эта проблема стоит в центре и так называемой "квантовой теории измерений".

Отметим, что факт непосредственного наблюдения образования яркой точки на фотоэмульсии (в разных испытаниях точка образуется в разных местах фронта плоской волны, но при достаточно малом потоке частиц при каждом испытании образуется не более одной точки) и "явление" "коллапса (или редукции) ВФ" не одно и то же. Первое — эмпирический факт, второе — лишь возможная интерпретация этого факта, предполагающая выделенные выше теоретические утверждения 1–3.

Поэтому проанализируем эти утверждения и посмотрим, насколько они обоснованы.

Уже "утверждение 1" вызывает сомнение. Так, В.А. Фок (в ходе полемики с Бором) утверждает, что в структуре реального эксперимента в квантовой механике надо различать "три стадии: **приготовление** объекта (П), поведение объекта в фиксированных внешних условиях, которое только и является предметом описания квантово-механической **теории** (Т) и собственно **измерение** (И)" [11, с. 166]<sup>2</sup>. Обозначим эту трехчленную структуру в виде структурной формулы:

Аналогичная целостность (а не одна ее теоретическая часть)

П	Т	И
---	---	---

под именем "ядра раздела науки" является предметом анализа в [4–6].

Граница между этими элементами подвижна — можно усложнить теоретическую часть за счет включения в нее части измерительной составляющей (этим занимается теория измерений), но ВСЮ измерительную часть, включающую процедуру сравнения с эталоном, включить в теорию ПРИНЦИПИАЛЬНО НЕЛЬЗЯ. Мы утверждаем, что процедура измерения содержит часть (сравнение с эталоном), **которая не может быть описана в рамках того раздела физики, в котором она используется** (скорее всего, верно еще более жесткое утверждение: процедура сравнения с эталоном не может без остатка рассматриваться никаким разделом физики в принципе). Аналогичным качеством обладают и процедуры приготовления. Это свойство крайних частей в структурной формуле П–Т–И мы называем "нетеоретичностью". У нас нет строгого доказательства этого утверждения, типа доказательства теоремы Геделя для арифметики, но можно привести ряд аргументов в его защиту.

Заметим, во-первых, что все это обсуждение, все эти аргументы можно применить не к квантовой, а к классической механике. Тогда аналогом критикуемой нами позиции будет требование описывать с помощью уравнений Ньютона экспериментатора, прикладывающего метр при измерении расстояния, пройденного, скажем, телом, двигающимся по гладкой наклонной плоскости. Подобное требование (как и "утверждение 1") является безусловным лишь с точки зрения позиции Лапласа, согласно которой "поскольку все, включая человека, состоит из атомов, а атомы описываются механикой, то все, включая действия и мысли человека, можно описать с помощью механических законов". На этот мировоззренческий, а не физический довод нечего возразить кроме того, что в XX в. идеология столь крайнего механицизма не общепринята. Так системный подход выдвинул противоположный тезис, утверждающий, что система обладает свойствами, которые не сводятся к свойствам ее элементов. Поэтому редукция всех явлений к механическим (классическим, как у Лапласа, или квантовым, как у Шрёдингера с его "кошкой") не является, безусловно, необходимой. Но это уже чисто философский вопрос, который более подробно обсуждается в [4, 5].

Критика "утверждения 1" уже накладывает тень на безусловность "утверждения 2". Но мы подвергнем анализу и другие основания этого утверждения.

С самого начала были понятны две трудности в формулировке "утверждения 2". Во-первых, было очевидно, что измерение может производиться так, что оно разрушит не только состояние, но и саму систему (например, регистрация квантовых частиц фотодетектором), поэтому В. Паули ввел деление измерений на измерения 1-го (неразрушающие) и 2-го (разрушающие состояние или даже систему) рода и ограничил применение рассматриваемого "утверждения 2" лишь к первому из них.

Во-вторых, постулаты Борна ничего не говорят о состоянии системы после измерения. Поэтому в качестве основного аргумента в пользу "утверждения 2" приводится высказанный еще Дж. Нейманом тезис о том, что если систему подвергнуть двум непосредственно следующим друг за другом измерениям (1-го рода), то результат второго измерения совпадет с результатом первого. Дж. Нейман ссылаясь при этом на опыт Комптона–Симонса [14] по столкновению фотонов и электронов. С тех пор это принято рассматривать как известный экспериментальный факт, подтверждающий "утверждение 2". Но правильна ли подобная интерпретация?

Корректная постановка вопроса для случая **повторного измерения** в камере Вильсона в рамках стандартной кван-

<sup>2</sup> Подобное членение можно найти и у Гейзенберга [12, с. 20], а также у Г. Маргенау [13], но там оно трактуется по-другому.

товой механики, опирающейся на уравнение Шрёдингера, рассмотрена Л. Шиффом [15, с. 242] как задача о вычислении распределения вероятностей возбуждения двух атомов пролетающей быстрой квантовой частицей (электроном). Результат дает заметную вероятность только в случае, если направление движения частицы почти параллельно как линии, соединяющей атомы, так и направлению конечного импульса рассеянной частицы. Другими словами, экспериментальные результаты, обычно приводимые в подтверждение тезиса Дж. Неймана и "утверждения 2", можно описать в рамках стандартной квантовой механики без "утверждения 2". На сегодняшний день, по-видимому, все известные эксперименты количественно описываются стандартными алгоритмами квантовой теории и постулатом Борна. Поэтому "утверждение 2" и основанное на нем "утверждение 3" являются тоже необоснованными.

Место "утверждения 3" в реальной квантовой механике занимает констатация того факта, что кроме уравнения Шрёдингера (или его аналога), описывающего связь (изменение) состояний в квантовой механике, требуются еще борновские правила "вероятностной интерпретации волновой функции" (ВИВФ), связывающие между собой математический образ некоторого состояния системы (волновую функцию) и соответствующие измерения и не имеющие отношения к изменению состояний. Так устроена квантовая механика. Аналогичная структура имеет место и в классической механике: там тоже за связь состояний отвечает уравнение движения, а процедура измерения (сравнение с эталоном) фиксирует определенное состояние.

Такой взгляд на проблему опирается на определенное понимание *состояния* в квантовой механике. Согласно определению, данному в [4, 5], состояние физической системы определяется тем, что его знание позволяет ответить на все могущие возникнуть в данном разделе физики вопросы относительно данной физической системы. Соответственно, поскольку мы полагаем, что все вопросы, которые можно задавать в квантовой механике, можно относить не к самим значениям измерений, а только к распределениям вероятностей различных измеримых величин, требующих для своего определения длинной серии измерений, то значения отдельного акта измерения сопоставить с состоянием системы (если оно не приготовлено в собственном состоянии) нельзя *ни до, ни после* этого акта измерения. Это, возможно, достаточно сильное утверждение, поскольку более привычно связывать состояние и определенность значений измеримых величин. Но оно находится в полном соответствии как с постулатами Борна, так и с другими постулатами квантовой механики [6].

Таким образом, мы приходим к провозглашенному Д.Н. Клышко и поддерживаемому автором выводу, что "проблема редукции ВФ" является лишь некоторой гипотезой (или постулатом), предложенной Дираком и Дж. Нейманом (1932 г.), и представляет собой типичный пример "порочного круга": сперва принимается на веру, что ВФ по неизвестной причине уничтожается вне области регистрации (для измерения типа определения положения частицы), а потом это принимается за закон природы, согласно известному англоязычному выражению — "adorned by repetition". Тем не менее в ряде учебников и монографий редукция объявляется одним из основных постулатов квантовой механики (см., например, [16]), хотя в других работах его необходимость подвергается сомнению (см. [17–21]). Проекционный постулат Дирака (используемый для описания редукции ВФ) фактически не нужен и никогда не используется для количественного описания реально наблюдаемых эффектов" [6].

## 2. Мифы<sup>3</sup> о квантовом измерении

Глобальная цель "квантовой теории измерений", как она понимается в [1, 16, 17], — теоретическое (квантовомеханическое) описание процесса измерения, неразрывно связанного (по сути совпадающего) с "явлением" "редукции (коллапса) волновой функции" и "утверждениями 1–3", проанализированными выше. Поэтому приведенный выше критический анализ распространяется и на "квантовую теорию измерений" и с нашей точки зрения сама постановка такой глобальной цели неверна.

В чем же тогда состоит предмет "квантовой теории измерений"? Выделим среди типов воздействия измерительного прибора на измеряемую систему: 1) разрушение (в измерениях "второго" рода); 2) фильтрацию; 3) взаимодействие через пробное тело в косвенных измерениях.

Именно различные варианты косвенных измерений являются главной реальной областью исследования квантовой теории измерений. То есть адекватной областью исследования для квантовой теории измерений является теоретическое рассмотрение взаимодействия измеряемой системы и "пробного тела" в случае неразрушающего измерения "первого рода" в рамках стандартной квантовой механики. В этом случае происходит расширение рассматриваемой системы за счет включения в нее соответствующей части измерительного прибора (пробного тела или, что по сути то же, некоторой части измеряющей системы). Это эквивалентно **смещению границы Т–И** в описанной выше П–Т–И-структуре. Далее возникает квантовомеханическая задача о такой составной системе, которая решается стандартными методами с помощью уравнения Шрёдингера или его аналогов. Это нормальная строго поставленная квантовомеханическая задача. Но к полученному стандартными методами решению в конце часто прибавляют утверждение о "редукции ВФ" на тех основаниях, о которых говорилось выше. То есть в конце вводится теоретически никак не обоснованный скачок. Поэтому к собственно ТЕОРИИ измерений следует относить то, что получается до этого скачка. А это не выходит за пределы стандартной квантовой механики (куда мы включаем и квантовую статистическую механику, где роль волновой функции выполняет матрица плотности).

Аналогичная ситуация складывается вокруг анализа воздействия типа **фильтрации**. Целесообразно фильтрацию (например, с помощью экрана с отверстием или поляроида) отличать от измерения, где фильтрация часто используется как элемент измеряющего прибора. *Фильтры готовят состояния*, а что-то измерить можно лишь при наличии наряду с фильтром и *детектора* (под детектированием понимается реально наблюдаемые свидетельства существования частицы, например, щелчок в счетчике Гейгера или трек в камере Вильсона). Фильтрация направлена *непосредственно на состояния*, на контролируемое воздействие на них, а акты измерения направлены на значения измеримых величин, распределения вероятностей которых описывают состояние системы. При смещении границы Т–И или П–Т фильтрация включается внутрь теории. При этом иногда она описывается последовательно квантовомеханически, как в опыте Штерна–Герлаха, часто — менее последовательно (по сути квазиклассически) посредством соответствующего проекционного оператора в математическом слое. Иногда последнее делается не очень явно. Так, в рассматриваемом в [2] опыте быстрая частица с определенным импульсом регистрируется двумя

<sup>3</sup> Под "мифами" подразумеваются утверждения, принимаемые без должного основания и не допускающие в принципе экспериментальной демонстрации.

счетчиками Гейгера, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. При теоретическом рассмотрении этого опыта задача сводится к описанию взаимодействия этой частицы с атомами этих счетчиков, т.е. к задаче о неупругом рассеянии частицы на паре атомов, напоминающей упомянутую выше задачу о камере Вильсона. Но, в отличие от последней, здесь атомы "закреплены" посредством счетчиков Гейгера, размеры которых выступают как пространственные фильтры для состояний атомов, на которых происходит неупругое столкновение с частицей.

Во всех этих случаях никакой "проблемы редукции", как и в случае с пробным телом, не возникает.

Итак, исходная ГЛОБАЛЬНАЯ постановка "проблемы квантовой теории измерений", тесно связанная с "проблемой редукции волновой функции", некорректна в силу необоснованности лежащих в их основании "утверждений 1–3". Реальная же теория измерений связана с квантовомеханическим рассмотрением различных вариантов косвенных измерений и включает приблизительно тот же круг вопросов, что и классическая теория измерений. И там, и там любая часть процедуры измерения, которая формулируется как физическая задача, решается в рамках соответствующего существующего раздела физики. Но в состав процедур измерения и там, и там включена и процедура сравнения с эталоном, которая является принципиально технической, а не физическим или психо-ментальным (т.е. включающим сознание) явлением.

Таким образом, в настоящее время нерелятивистская квантовая механика с большой убедительностью описывается стандартным формализмом квантовой механики и подтверждается экспериментами. И нет никаких веских экспериментальных или теоретических оснований для утверждения о необходимости ревизии оснований нерелятивистской квантовой механики. В частности, не имеет под собой основания существующая уже более 70 лет традиция, в рамках которой пытаются включить "феномен сознания" в основания квантовой механики (традиция, идущая от Дж. Неймана [7] и представленная сегодня в мире такими весьма серьезными учеными как Е. Вигнер [24], Р. Пенроуз [8], а у нас в стране М.Б. Менским [1] и др.). "Мы всегда должны делить мир на две части — наблюдаемую систему и наблюдателя, — утверждал Дж. Нейман. — То, что такую границу можно поместить сколь угодно далеко внутри организма действительного наблюдателя, и составляет содержание принципа психофизического параллелизма<sup>4</sup>. Однако... эта граница должна быть где-нибудь проведена... Ибо опыт может приводить только к утверждениям этого типа — наблюдатель испытал определенное (субъективное) восприятие, но никогда не к утверждениям таким, как: некоторая физическая величина имеет определенное значение" [7, с. 308]. Это утверждение Дж. Неймана сочетает мировоззрение физикализма (в духе Лапласа), инструментализма и очень популярного в 1930–1940 гг. неопозитивизма (логического позитивизма). С уходом неопозитивизма со сцены (он был раскритикован в пух и прах постпозитивистами 1960–1970 гг., см. подробнее в [5]) роль наблюдателя как средства разрешения проблемы измерения ("редукции ВФ") была отведена сознанию [1, 25, 16]. Сознание, как "Бог из машины" в пьесах XVII–XVIII вв., призвано обрывать эту "психофизическую" бесконечность (на сознание, как и на Бога, можно списать все). Приведенный выше анализ показывает шаткость основания этих положений.

<sup>4</sup> Принцип психофизического параллелизма Дж. Нейман называет "фундаментальным для всякого естественнонаучного мировоззрения".

То же можно сказать и о появившейся в 1970-х годах многомировой интерпретации [9, 10], где предполагается, что каждое слагаемое в выражении  $\Psi = \sum_k c_k |b_k\rangle$  "соответствует отдельному миру. В каждом мире существует своя квантовая система и свой наблюдатель, причем состояние системы и состояние наблюдателя скоррелированы. Процесс же измерения можно назвать процессом ветвления волновой функции или процессом "расщепления" миров". В каждом из параллельных миров измеримая величина  $B$  имеет определенное значение  $b_i$ , и именно это значение и видит наблюдатель, "поселяющийся в этом мире. Поэтому для наблюдателя в каждом из параллельных миров происходит эффективная редукция волнового пакета" [10, с. 25]. Не случайно при изложении последней обсуждают только случай одного наблюдателя. Случай более чем одного наблюдателя является трудноразрешимой задачей для этой "шизоидной" (от греч. schizo — разделяю) концепции.

Аналогичная ситуация имеет место и при так называемой "квантовой телепортации", когда речь идет о тройных корреляциях. "Принятая в [26–33] интерпретация эффекта, как и его название, базируется на распространенном представлении о мгновенной редукции (коллапсе) волновой функции в результате измерения, приводящей к квантовой нелокальности. Подчеркнем, что этот красивый эффект также полностью описывается количественным квантовым формализмом" [2, 34].

Что касается обсуждения концепции **декогеренции** [1, 35], то здесь надо различить ряд моментов.

1. В [1, 35] декогеренция связывается с проблемой "редукции волновой функции" при измерении в квантовой механике. Поскольку, с нашей точки зрения, такой проблемы нет, то этот аспект мы не рассматриваем.

2. Есть то, что М.Б. Менский классифицирует как мезосистемы — системы, состоящие из большого числа атомов, которые в случае очень большого числа атомов должны переходить в макросистемы. Здесь, по сути, речь идет об экспериментальной проверке выражения де Бройля для характерного масштаба проявления квантовомеханических интерференционных эффектов для все более массивных систем. Но никакого особого эффекта декогеренции здесь вводить не требуется.

3. Выделяется особый тип задач по взаимодействию квантовой системы с термостатом. Это и есть, собственно говоря, та область, где рождается и развивается теория декогеренции.

Подводя итог, можно сказать, что постулат Борна дает алгоритм сравнения теории и эксперимента. Это основной измерительный постулат квантовой механики, согласующийся со всеми известными экспериментами. Понятие же "редукции ВФ" в момент измерения выглядит излишним.

Настоящая работа выполнена на основе результатов, полученных при финансовой поддержке РФФИ, грант № 99-06-80244.

## Список литературы

1. Менский М Б *УФН* **170** 631 (2000)
2. Клышко Д Н *УФН* **168** 975 (1998)
3. Klyshko D N *Phys. Lett. A* **243** 179 (1998)
4. Липкин А И, в сб. *Философия науки* Вып. 2 (М: ИФРАН, 1996) с. 199
5. Липкин А И *Модели современной физики (взгляд изнутри и извне)* (М.: Гнозис, 1999)
6. Клышко Д Н, Липкин А И, *Электронный журнал Исследовано в России* (53) 736 (2000) <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/053.pdf>
7. Нейман фон Дж *Математические основы квантовой механики* (М.: Наука, 1964).

8. Penrose R *Shadows of the Mind* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1994)
9. DeWitt B S *Phys. Today* **23** (9) 30 (1970); **24** (4) 36 (1971)
10. Барвинский А О, Каменщик А Ю, Пономарев В Н *Фундаментальные проблемы интерпретации квантовой механики. Современный подход* (М.: МГПИ, 1988)
11. Фок В А "Критика взглядов Бора на квантовую механику", в сб. *Философские вопросы современной физики* (Под ред. И В Кузнецова, М Э Омеляновского) (М.: Госполитиздат, 1958) с. 61
12. Гейзенберг В *Физика и философия. Часть и целое* (М.: Наука, 1989) [Heisenberg W *Physik und Philosophie* (Frankfurt am Main: Ullstein Taschenbücher-Verlag, 1959); Heisenberg W *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik* (München: R. Piper, 1969)]
13. Margenau H *Philos. Sci.* **30** (1) 138 (1963)
14. Compton A H, Simon A W *Phys. Rev.* **26** 289 (1925)
15. Шифф Л И *Квантовая механика* 2-е изд. (М.: ИИЛ, 1959) [Schiff L I *Quantum Mechanics* 2nd ed. (New York: McGraw-Hill Book Co., 1955)]
16. Садбери А *Квантовая механика и физика элементарных частиц* (М.: Мир 1989) [Sudbery A *Quantum Mechanics and the Particles of Nature* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1986)]
17. Margenau H *Ann. Phys.* (New York) **23** 469 (1963)
18. Home D, Whittaker M A B *Phys. Lett. A* **128** 1 (1988)
19. Ballentine L E *Int. J. Theor. Phys.* **27** 211 (1988)
20. Pascazio S, Namiki M, in *Fundamental Problems in Quantum Theory* (Ann. New York Acad. Sci., Vol. 755, Eds D M Greenberger, A Zehinger) (New York: The New York Acad. Sci., 1995) p. 335; Namiki M, Pascazio S *Phys. Rev. A* **44** 39 (1991)
21. Sini M, Levy-Leblond J (Eds) *Quantum Mechanics without Reduction* (Bristol: Hilger, 1990)
22. Hirota O, Holevo A S, Caves C M (Eds) *Quantum Communication, Computing, and Measurement* (New York: Plenum Press, 1997)
23. Воронцов Ю И *Теория и методы макроскопических измерений* (М.: Наука, 1989)
24. Wigner E P *Am. J. Phys.* **31** 6 (1963)
25. Braginsky V B, Khalili F Ya *Quantum Measurement* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992)
26. Boschi D et al. *Phys. Rev. Lett.* **80** 1121 (1998)
27. Bennett C H et al. *Phys. Rev. Lett.* **70** 1895 (1993)
28. Weinfurter H *Europhys. Lett.* **25** 559 (1994)
29. Davidovich L et al. *Phys. Rev. A* **50** R895 (1994)
30. Cirac J I, Parkins A S *Phys. Rev. A* **50** R4441 (1994)
31. Braunstein S L, Mann A *Phys. Rev. A* **51** R1727 (1995); **53** 630 (1996)
32. Braunstein S L, Kimble H J *Phys. Rev. Lett.* **80** 869 (1998)
33. Bouwmeester D et al. *Nature* **390** 575 (1997)
34. Клышко Д Н *ЖЭТФ* **144** 1171 (1998)
35. Менский М Б *УФН* **168** 1017 (1998)

## Физическая интерпретация квантовой механики

Р.С. Нахмансон

Этот текст написан в связи с появлением статьи М.Б. Менского [1] и пожеланием Редколлегии *УФН* продолжить на страницах журнала свободное обсуждение фундаментальных физико-философских проблем квантовой механики в раздел "Письма в редакцию". Эти начальные и граничные условия предопределяют дискуссионную и конспективную форму изложения: в первой части я критически рассматриваю некоторые положения статьи Менского, а во второй кратко излагаю основы альтернатив-

ной интерпретации квантовой механики (КМ), отсылая за подробностями к оригинальным статьям.

### 1. Статья М.Б. Менского

В разделе 2.1 своей статьи Менский соглашается с распространенным мнением о том, что эксперимент, проведенный группой Аспекта [2] по проверке неравенства Белла [3], окончательно закрывает путь локально-реалистическим моделям. Это, однако, не так, и сам Аспект это знал. Новым в [2] по сравнению с экспериментами, проведенными в предыдущие 10 лет, было быстрое переключение условий детектирования фотонов, что исключало возможность релятивистской информационной связи между частицами ЭПР-пары. Так родилась легенда о нелокальности КМ, о "мгновенной" корреляции поведения ЭПР-пары, даже если частицы разнесены на сотни световых лет. Как справедливо отмечалось, в том числе в [1], это противоречит нашей "интуиции", "здоровому смыслу", "common sense", воспитанных на повседневном окружении, но тут уж, как говорится, что поделать.

Однако посмотрим, что пишет Аспект в конце своей статьи [2]: "Переключение света осуществлялось за счет акусто-оптического взаимодействия света с 25-мегагерцевой ультразвуковой стоячей волной, что обеспечивает 50-мегагерцевое переключение, т.е. изменение ориентации каждые 10 наносекунд. Это время мало по сравнению с  $L/c$  (40 нс), но, к сожалению, с этими устройствами было невозможно получить случайное переключение. В этом отношении эксперимент был далек от задуманного".

Другой "experimentum crucis" — так называемый "задержанный выбор" ("delayed choice") — был выполнен группой Аллея [4]. Особенность состояла в том, что эта группа использовала случайное переключение ячейки Керра в одном из плеч интерферометра Маха–Цендера.

В чем тут дело, почему Аспект и Аллей стремились к случайности? Сами они об этом не распространялись. В 1993 г. на конференции в Олимпии я сказал Аллею: "Особенностью случайного ряда является непредсказуемость его членов. Значит ли это, что Вы подозревали способность частиц предсказывать ситуацию и хотели им помешать?" — "Пожалуй, Вы правы", — ответил он.

В явном виде идея предсказания, насколько мне известно, была впервые высказана в 1992 г. [5]. В недавней работе группы Цайлингера [6] такая возможность также подразумевается. Эта идея ведет к сознанию и его связи с материей, чему посвящена вторая половина статьи Менского. Есть, правда, существенная разница: в [5] и, в неявной форме, в [2, 4, 6] предполагается, что сама материя наделена сознанием, тогда как Менский, вслед за фон Нейманом и Вигнером, рассматривает только человеческое сознание.

К этому вопросу мы вернемся позже, а пока заметим, что если материя наделена способностью предсказывать, то теорема Белла теряет силу, локально-реалистические модели микромира возможны, а нелокальность изгоняется. Все это, включая сознание материи, может быть принято нашей интуицией и здравым смыслом. Если бы наш далекий предок-язычник, одушевлявший природу, или сегодняшний маленький ребенок могли бы использовать современную экспериментальную аппаратуру, поведение элементарных частиц не вызвало бы у них удивления.

В разделе 3 Менский рассматривает проблему суперпозиции волновых функций и ее трансформацию при переходе к макроскопическим системам ("шрёдингеровский кот"). Типичная ошибка, которую он, к сожалению, тоже делает, состоит в слишком далеко заходящем отождествлении математического конструкта — волновой функции — и материального объекта, будь то элементарная

Р.С. Нахмансон (R. Nakhmanson). Frankfurt am Main, Germany  
E-mail: Nakhmanson@t-online.de

Статья поступила 14 августа 2000 г.,  
после доработки 25 октября 2000 г.