

УСТНЫЙ ВЫПУСК ЖУРНАЛА "УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК"

## Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связи между "тремя великими проблемами" (по терминологии Гинзбурга)

М.Б. Менский

*Обсуждаются связи, существующие между "тремя великими проблемами" (по терминологии В.Л. Гинзбурга): интерпретацией квантовой механики, проблемами стрелы времени и редукционизма (сведения феномена жизни к физике). Показывается, что эти связи существенно изменяются в зависимости от того, как решается первая проблема, т.е. какая интерпретация квантовой механики выбирается. Рассматриваются копенгагенская интерпретация, интерпретация Эверетта ("многомировая") и предложенная автором Расширенная концепция Эверетта.*

PACS numbers: 01.70.+w, 03.65.Ta, 03.65.Yz

### Содержание

1. Введение (415).
  2. "Проблемы Гинзбурга" (416).
  3. Связи между "тремя великими проблемами" при разных уровнях описания измерения (417).
  4. Копенгагенская интерпретация: редукция состояния (417).
  5. Декогеренция: редукция невозможна (418).
  6. Интерпретация Эверетта ("многомировая"): редукции нет (420).
  7. Расширенная концепция Эверетта (РКЭ) (421).
  8. Расширенная концепция Эверетта: связи между "тремя проблемами" (422).
  9. Выводы (423).
  10. Приложение. Дискуссия (424).
- Список литературы (425).

### 1. Введение

В конце списка важнейших проблем физики, составленного В.Л. Гинзбургом, мы сталкиваемся с проблемами, которые Виталий Лазаревич не включает в общий список, а перечисляет отдельно от остальных и называет "тремя великими проблемами". Это — интерпретация квантовой механики, стрела времени (т.е. необратимость основных динамических уравнений) и редукционизм (т.е. возможность сведения феномена жизни к физике). Возможно, это самые трудные из всех проблем, которые стоят перед физиками, но зато и самые интересные, во

всяком случае — интригующие. По их поводу написано очень много и получено, разумеется, множество важных результатов. В кратком докладе изложить вопрос о "трех великих проблемах" хотя бы сколько-нибудь полно, конечно, нельзя. Я прокомментирую его лишь с одной точки зрения, которую можно охарактеризовать следующим образом.

Исходным пунктом для анализа будет являться первая из "трех великих проблем", в которой речь идет об интерпретации квантовой механики. Я постараюсь показать, как связи между "тремя великими проблемами" выглядят в свете того или иного решения первой из них, т.е. при той или иной интерпретации квантовой механики.

Когда говорят об *интерпретации квантовой механики*, то вопрос всегда тесно связан с квантовыми измерениями, потому что именно при описании измерений квантовых систем возникает вопрос об интерпретации квантовой механики. Можно сказать поэтому, что в первой проблеме речь идет о *квантовой теории измерений*. Эта теория, а вместе с ней и интерпретация квантовой механики сейчас очень активно обсуждаются во всем мире, в частности в связи с квантовой информатикой. Дело в том, что в сугубо прикладной области, названной квантовой информатикой, работают как раз те принципы, которые лежат в основе квантовой теории измерений и которые тесно связаны с интерпретацией квантовой механики. Актуальность и прикладной характер квантовой информатики привели к тому, что в последние десятилетия интерпретация квантовой механики вновь живо интересует физиков и вновь активно развивается.

В центре современных исследований в этой сфере находится предложенная в 1958 г. Эвереттом интерпретация квантовой механики, которая часто называется "многомировой" [1, 2]. С другой стороны, наибольшее

М.Б. Менский. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 Москва, Ленинский просп. 53, Российская Федерация  
Тел. (495) 135-62-19. Факс (495) 135-78-80  
E-mail: mensky@lpi.ru, mensky@lebedev.ru

Статья поступила 11 декабря 2006 г.

распространение среди физиков получила самая старая и проверенная *копенгагенская интерпретация*, разработанная еще Нильсом Бором в ходе интенсивных и трудных дискуссий с другими создателями квантовой механики, в том числе с Эйнштейном. Эти две интерпретации качественно отличаются друг от друга, тогда как многочисленные другие предлагавшиеся интерпретации являются по существу вариантами этих двух, отличаясь от них лишь деталями.

В 2000 г. в моей статье в УФН [3] была предпринята попытка дальнейшего развития интерпретации Эверетта. Работа в этом направлении была продолжена в последующие годы. Возникшая таким образом *Расширенная концепция Эверетта* (РКЭ) в отличие от оригинальной интерпретации Эверетта ведет к новым следствиям, касающимся работы сознания, причем эти следствия получают подтверждение. Ниже при анализе "трех великих проблем" я буду использовать 1) копенгагенскую интерпретацию, 2) интерпретацию Эверетта и 3) РКЭ.

По существу эти три концепции представляют собой различные решения первой из "трех великих проблем". Очень кратко охарактеризовав каждый из трех различных подходов к концептуальным проблемам квантовой механики, я постараюсь проследить, как в свете этих разных подходов выглядят остальные две из трех "великих проблем" и связи между всеми тремя проблемами. Другими словами, с точки зрения различных интерпретаций квантовой механики будут обсуждаться, во-первых, вопрос о феномене жизни (о том, возможно ли его объяснение в рамках квантовой физики) и, во-вторых, вопрос о "стреле времени" (т.е. о том, откуда в квантовой механике берется необратимость, если квантово-механическая эволюция обратима).

## 2. "Проблемы Гинзбурга"

Работа Виталия Лазаревича Гинзбурга всегда отличалась тем, что я бы назвал системным подходом в науке и что нашло свое выражение в его работе над списком важнейших проблем физики. Наряду с решением конкретных проблем он постоянно анализировал физику в целом, да и науку в целом, и упорно искал точки роста в физике и вообще в науке. Это, конечно, очень важно, потому что будущее науки вырастает из сегодняшних проблем. То, что сегодня является проблемой, завтра может оказаться в центре всей физики, стать ее содержанием и источником новых достижений. Во всяком случае это верно в отношении "великих проблем", над которыми ученые бьются уже многие десятилетия, не теряя к ним интереса, но и не воспринимая достигнутые успехи как полное решение.

Итак, "три великие проблемы", которые В.Л. Гинзбург приводит в конце своего списка, можно сформулировать как следующие вопросы.

- Интерпретация квантовой механики: что происходит при измерении?
- Феномен жизни и редукционизм: что такое жизнь с точки зрения физики?
- Стрела времени: откуда берется необратимость?

Первая из этих проблем называется проблемой интерпретации квантовой механики, но по существу состоит в попытке ответить на вопрос: что происходит при измерении? Почему именно при измерении? Потому что концептуальные проблемы, или парадоксы квантовой

механики, возникают, когда мы пытаемся анализировать в рамках квантовой механики процесс, который называется измерением. В классической физике измерение описывается очень просто, фактически тривиально (конечно, лишь в принципе, если отвлечься от чисто технических вопросов устройства измерительных приборов). А в квантовой механике, оказывается, при анализе измерения возникают парадоксы. Ответы на вопросы о том, что значит "измерить квантовую систему" и что при этом происходит, отнюдь не очевидны.

Вторая проблема — феномен жизни и редукционизм. Что такое жизнь с точки зрения физики? Можно ли объяснить феномен жизни, основываясь на физических законах? Очевидного ответа на этот вопрос нет. Во всяком случае многочисленные попытки "вывести феномен жизни из физики" (в совокупности с другими естественными науками) не привели к успеху.

Третья из великих проблем по терминологии Гинзбурга — происхождение "стрелы времени". Откуда берется необратимость? В квантовой механике, т.е. в самой фундаментальной науке, все уравнения обратимы во времени. Как же возникает необратимость?

Как уже было сказано, я буду начинать анализ с выбора той или иной интерпретации квантовой механики, а остальные две проблемы и особенно связи между всеми тремя проблемами, обсуждать в свете выбранной интерпретации. В связи с этим важно заметить, что разные интерпретации квантовой механики — это, в сущности, разные уровни описания квантового измерения. Иногда говорят: нужно выяснить, какая интерпретация правильна. На мой взгляд, такая постановка вопроса неверна. Разные интерпретации — это различные описания одного и того же процесса, квантового измерения. Все описания правильны, но они "расшифровывают" этот процесс на разных уровнях, в большей или меньшей степени раскрывая суть происходящего при измерении.

Начиная со знаменитой работы Эйнштейна, Подольского и Розена [4] становится все более очевидным, что дать интерпретацию квантовой механики — значит объяснить, как в квантовой механике понимается реальность или, другими словами, что такое *квантовая реальность*. Принять ту или иную интерпретацию — значит объяснить квантовую реальность тем или иным способом. А это можно делать на разных уровнях. Более примитивные уровни (к которым относится копенгагенская интерпретация) довольно легки для восприятия и удобны для практического применения, но они недостаточно точно передают суть квантовой реальности. Более серьезные уровни (в том числе интерпретация Эверетта) передают эту суть точнее, но трудны для восприятия, а в практической работе квантового физика (для решения типичных квантово-механических задач) скорее мешают, чем помогают. Этим объясняется, почему интерпретация Эверетта так трудно входила в жизнь. Тем не менее в последние десятилетия она стала по-настоящему востребованной, в частности, в связи с появлением квантовой информатики.

Более точная интерпретация не отменяет менее точную, потому что при разных интерпретациях математическое содержание квантовой механики остается одним и тем же, а расчеты и предсказания для конкретных экспериментов делаются по одним и тем же рецептам. Поэтому для вычисления вовсе не нужна сложная

интерпретация типа интерпретации Эверетта. Достаточно копенгагенской интерпретации. А вот если принять во внимание, что копенгагенская интерпретация имеет логические дефекты, и пытаться рассуждать более точно, то приходится обращаться к другим интерпретациям — прежде всего к интерпретации Эверетта. Впрочем, как будет показано в разделах 7, 8, переход к более глубоким интерпретациям квантовой механики не только восстанавливает логическую полноту этой науки, но и позволяет объяснить важные факты, касающиеся работы сознания (т.е. лежащие, казалось бы, вне квантовой физики) и до сих пор не нашедшие объяснения.

### 3. Связи между "тремя великими проблемами" при разных уровнях описания измерения

Сначала порассуждаем, забегая вперед. Очень кратко охарактеризуем связи между "тремя великими проблемами", не останавливаясь на доказательствах этих связей. Эти рассуждения иллюстрируются схемой, представленной на рис. 1.

Квантовое измерение и "стрела времени" — как они связаны? Очень просто. Эта связь обсуждалась очень давно, она очевидна уже в рамках копенгагенской интерпретации. Дело в том, что если производится какое-то измерение в квантовой системе, то происходит некий скачок, необратимое изменение состояния измеряемой системы (оно называется редукцией состояния или коллапсом волновой функции). Такое необратимое изменение состояния при измерении имеет место лишь в квантовой механике, в классической физике при измерении не возникает необратимости (хотя необратимость в классической физике может возникать по другим причинам).

До измерения можно предсказать лишь вероятности различных результатов измерения, даже если состояние системы перед измерением полностью известно. При измерении происходит выбор одного результата из множества всех возможных (альтернативных) результатов измерения. При этом состояние системы меняется необратимо. После измерения систему уже нельзя вернуть к состоянию, для которого все результаты измерения возможны. Так измерение вводит в квантовую механику необратимость, которой нет, если происходит обычная эволюция, не включающая измерений.

Это рассуждение справедливо в рамках копенгагенской интерпретации. Однако если мы рассмотрим более сложную, эвереттовскую интерпретацию, — а я потом скажу, почему она возникает и почему, собственно говоря, копенгагенской интерпретации недостаточно, —

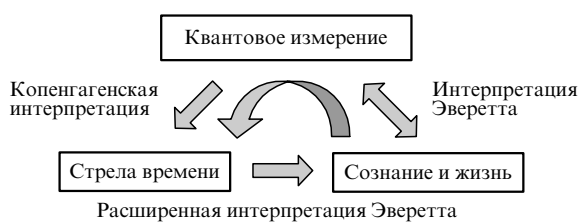


Рис. 1. Описание квантового измерения на более глубоком уровне приводит к выявлению более богатой структуры связей между тремя "великими проблемами".

то оказывается, что при описании измерения необходимо учесть сознание наблюдателя. Без этого описание измерения не является полным. И возникают новые связи между "тремя проблемами".

Прежде всего это связь между квантовым измерением и сознанием. Такой связи трудно было ожидать при той постановке вопроса, который характерен для физики. Ведь сознание — феномен, присущий живым существам. В мире неживых физических систем, которые изучают физики, такого понятия просто нет. Вводя в теорию измерения сознание наблюдателя, эвереттовская интерпретация квантовой механики непосредственно связывает с квантовым измерением, а значит, и с квантовой механикой вообще, феномен жизни — предмет совершенно, казалось бы, чуждый физике, по крайней мере такой простой физике, которую можно было бы ожидать при описании измерения. Таким образом, квантовая механика и феномен жизни оказываются тесно связанными, а теория измерений в квантовой механике оказывается не такой уж простой.

Кроме того, в рамках интерпретации Эверетта необратимость при измерении возникает лишь в картине, которую рисует сознание наблюдателя. Значит, измерение приводит к появлению стрелы времени лишь при учете роли сознания (изогнутая стрелка на рис. 1).

Если перейти к Расширенной концепции Эверетта (позднее будет сказано, в чем это расширение состоит и почему оно представляется необходимым), то возникает еще одна стрелка, еще одна связь между "тремя проблемами" — от стрелы времени к сознанию и жизни. Дело в том, что в рамках РКЭ можно понять, как в сфере жизни появляется убывание энтропии, тогда как для неживых систем правилом является возрастание энтропии. Для жизни характерна самоорганизация. Жизнь совершенствуется, происходит эволюция не в направлении увеличения хаоса (увеличение энтропии), а в направлении увеличения порядка (уменьшение энтропии). Стрела времени в сфере жизни тоже существует, но в этой сфере энтропия по отношению к стреле времени ведет себя странным образом: энтропия убывает.

Это связано с тем, что для самого существования живого существа важно, что будет происходить в будущем. В сфере жизни появляется понятие цели (прежде всего целью является выживание) и связанное с этим ощущение хода времени: отличие будущего от прошлого и от настоящего (которое отделяет будущее от прошлого).

Подводя итог сказанному, мы (забегая вперед, т.е. пока бездоказательно) видим, что решение первой проблемы ведет к более глубокому пониманию двух других в соответствии с такой схемой:

- Квантовое измерение
  - ⇒ роль сознания наблюдателя
- ⇒ • Феномен сознания и феномен жизни
  - ⇒ квантовая реальность
- ⇒ • Обратимость квантового мира и субъективное ощущение хода времени

### 4. Копенгагенская интерпретация: редукция состояния

В чем заключается копенгагенская интерпретация? Как в рамках этой интерпретации описывается измерение квантовой системы? Кратко это можно сформулировать

$$c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots$$

↓

$$\psi_i$$

**Рис. 2.** Постулат редукции: при измерении квантовой системы ее начальное состояние изменяется так, что из суперпозиции остается лишь та компонента, которая соответствует результату измерения.

так (рис. 2). Пусть до измерения квантовая система находилась в состоянии суперпозиции  $c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots$ , где компоненты суперпозиции  $\{c_n\psi_n\}$  соответствуют различным результатам измерения на данном приборе. Тогда после измерения система оказывается в каком-то одном определенном состоянии  $\psi_i$  из тех, которые входят в суперпозицию. То, что при этом происходит, т.е. выбор одной компоненты и исчезновение всех остальных, называется *редукцией состояния*, или *коллапсом волновой функции*. Такое изменение состояния измеряемой системы является скачкообразным, необратимым. При измерении возникает скачок от состояния, описываемого суперпозицией, к состоянию, описываемому одной из компонент этой суперпозиции.

Таким образом, в рамках копенгагенской интерпретации измерение квантовой системы — это необратимый процесс. Измерения (причем не только те, которые специально организуются, но и те, что происходят спонтанно в результате действия окружения системы, термостата) вводят в квантовую механику необратимость. Тем самым устанавливается первая связь между "великими проблемами": измерение вводит в квантовую механику "стрелу времени". В теории, описываемой уравнениями симметричными относительно обращения времени, возникает необратимость (рис. 3). Этот вид необратимости широко обсуждался в литературе, обзор можно найти в книге [5].

В копенгагенской интерпретации редукция состояния была постулирована. Впервые математически корректно этот постулат сформулировал фон Нейман, поэтому *постулат редукции* называют еще *постулатом фон Неймана*. Если постулировать, что при измерении происходит редукция, т.е. (с соответствующей вероятностью) выделяется одна из компонент суперпозиции, то на этой основе можно строить вычисления: они не приведут к ошибке<sup>1</sup>. В этом смысле такой постулат делает квантовую механику работоспособной.



**Рис. 3.** Постулат редукции означает, что при измерении квантовой системы происходит необратимое изменение ее состояния, т.е. квантовое измерение ведет к возникновению необратимости (порождает стрелу времени).

<sup>1</sup> Разумеется, для того чтобы описывать квантовые измерения более реалистически, нужны некоторые чисто технические обобщения, среди них — понятия мягкого (неточного) измерения и непрерывного измерения (см., например, [6]), но для обсуждаемых нами вопросов эти уточнения ничего не меняют по существу.

Если не принять постулат редукции, то возникает проблема. Мы хорошо понимаем, как ведет себя замкнутая система, но если происходит измерение такой системы, причем после измерения система по-прежнему продолжает существовать, то следует ответить на вопрос: в каком состоянии система находится после измерения? Ведь для того, чтобы выяснить, что с этой системой будет происходить далее (в период времени, следующий за измерением), мы должны знать ее состояние сразу после измерения.

Если ответить на этот вопрос таким образом, как это предлагается в постулате редукции, то вычисления дадут предсказания, которые подтверждаются экспериментально. В этом смысле постулат редукции не подлежит сомнению. Гениальность Н. Бора проявилась, в частности, в том, что он смог разработать такую простую интерпретацию квантовой механики (копенгагенскую), которая позволила эффективно решать квантово-механические задачи, несмотря на то, что, как многим было ясно, концептуальные проблемы в этой науке все же оставались.

## 5. Декогеренция: редукция невозможна

Однако сам постулат редукции можно подвергнуть сомнению. И он подвергался сомнению с самого начала, но эти сомнения обрели твердую почву, когда была развита теория *декогеренции*. Теория декогеренции описывает процесс измерения без всякого специального постулата типа постулата редукции, в рамках собственно квантовой механики, в которой эволюция всегда представляется обратимым во времени уравнением Шрёдингера.

Чтобы прийти к такому описанию измерения, достаточно лишь вспомнить, что измерение — это взаимодействие той физической системы, которая измеряется, с другой системой, которую можно назвать измерительным прибором, а об этой второй системе можно говорить просто как об окружении (environment) измеряемой системы. Взаимодействие измеряемой системы с ее окружением можно рассматривать в рамках стандартной квантовой механики, основанной на уравнении Шрёдингера и не включающей в себя постулата редукции. При этом в рамках стандартной квантовой механики (без постулата редукции) надо попытаться ответить на вопрос о том, что происходит при измерении в квантовой системе.

Это оказывается возможным. Рассмотрение, проведенное таким образом, показывает, что между измеряемой системой и ее окружением появляется *запутывание*, или *квантовая корреляция*, а состояние измеряемой системы, рассматриваемой отдельно, в результате ее измерения (т.е. взаимодействия с окружением) кардинально изменяется. Говорят, что измеряемая система при этом подвергается *декогеренции*.

Почему изменение состояния измеряемой системы называется декогеренцией? Потому что система, которая подвергается измерению (взаимодействует с прибором), теряет квантовую когерентность. Утрачивается информация об относительных фазах отдельных компонент волновой функции. В результате, если перед измерением состояние системы было *чистым* и описывалось волновой функцией (вектором состояния), то после измерения оно становится *смешанным* и описывается матрицей плотности.

По-видимому, суть происходящего при измерении была ясна уже отцам-основателям квантовой механики, но не была в достаточной мере акцентирована или детально сформулирована. Поэтому научная общественность переоткрыла эту науку — теорию декогеренции — гораздо позднее. То явление, которое получило название декогеренции, стало очень широко известным начиная с 1982 г., когда вышла статья Журека [7]. С этого момента явление декогеренции стало широко обсуждаться в литературе, и понимание его постепенно углублялось.

Оказалось, что физики постоянно сталкиваются с этим явлением при изучении конкретных систем и их взаимодействий, но не рассматривают его как особый класс квантово-механических процессов. Журек дал описание этого класса процессов с точки зрения квантовой теории измерений и тем самым вскрыл его особую роль. После чего физики стали очень активно исследовать явление декогеренции.

В ходе этих исследований выяснилось, что на самом деле декогеренцию вполне понял и очень хорошо изложил уже в 1970 г. немецкий физик Дитер Цее [8], но и статья [8], и последовавшие за ней работы Цее и его учеников не были замечены научной общественностью. В рамках совершенно другого, феноменологического подхода, основанного на фейнмановских интегралах по путям, декогеренция была описана автором настоящего доклада в 1979 г. [9, 10]. Однако лишь много лет спустя различные способы описания процесса были сопоставлены друг с другом и возникло понимание, что все эти работы относятся к одному и тому же классу явлений, который был назван декогеренцией. Сам термин "декогеренция" был введен в статье Гелл-Мана и Хартла [11] лишь в 1990 г. Современное состояние теории декогеренции в рамках различных моделей хорошо представлено в книге [12], написанной Цее со своими учениками, а в рамках различных феноменологических подходов — в книге [6] (в таких подходах окружение явно не рассматривается, а его влияние на систему учитывается феноменологически).

Поговорим более конкретно о том, что происходит при измерении квантовой системы. Как можно рассматривать измерение в рамках обычной квантовой механики? Это показано на рис. 4. Как и в предыдущих рассуждениях, предположим, что перед измерением система находится в состоянии суперпозиции  $c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots$ , но теперь примем во внимание не только саму измеряемую систему, но и прибор, или окружение системы. Пусть состояние окружения перед его взаимодействием с системой (т.е. перед измерением) описывается вектором  $\Phi_0$ . Тогда состояние полной системы, включающей в себя в качестве подсистем и измеряемую систему, и ее окружение, перед взаимодействием представляется вектором  $(c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots)\Phi_0$ .

$$\begin{aligned} & (c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots)\Phi_0 \\ & \quad \downarrow \\ & c_1\psi_1\Phi_1 + \dots + c_n\psi_n\Phi_n + \dots \\ & = \Psi_1 + \dots + \Psi_n + \dots \end{aligned}$$

**Рис. 4.** В силу линейности квантовой механики редукции состояния быть не может. При измерении происходит лишь "запутывание", или квантовая корреляция, измеряемой системы и прибора, что ведет к декогеренции измеряемой системы.

Теперь рассмотрим взаимодействие измеряемой системы с ее окружением и спросим: а что произойдет, как изменится состояние системы и окружения после взаимодействия? Оказывается, обычная квантовая механика при естественных предположениях о характере взаимодействия приводит к тому, что состояние полной системы изменится следующим образом:

$$\begin{aligned} & (c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots)\Phi_0 \rightarrow \\ & \rightarrow c_1\psi_1\Phi_1 + \dots + c_n\psi_n\Phi_n + \dots \end{aligned}$$

Здесь через  $\Phi_n$  обозначено состояние прибора, которое интерпретируется экспериментатором<sup>2</sup> как указывающее на то, что система находится в состоянии  $\psi_n$ .

Теперь, как видим, нет по отдельности вектора состояния измеряемой системы и вектора состояния прибора (окружения). Вместо этого имеется лишь состояние полной системы, в котором система и прибор коррелированы. Такое "нефакторизуемое" состояние (которое невозможно представить как произведение вектора состояния системы и вектора состояния прибора) называется *запутанным*. В этом состоянии имеется *квантовая корреляция* между системой и прибором. Корреляцию можно выразить условным предложением: если система находится в состоянии  $\psi_n$  (в  $n$ -й компоненте суперпозиции), то прибор находится в состоянии  $\Phi_n$ . Однако следует осознавать, что в этом условном предложении никак не отражается специфика квантовой корреляции, отличающая ее от корреляции, возможной в случае классических систем.

Для нас важно, что при таком описании измерения все компоненты суперпозиции, существовавшие до измерения, сохранились и после измерения (хотя каждая компонента изменилась). Не произошло того, что должно было осуществиться согласно постулату редукции — не произошло исчезновения всех компонент, кроме одной. Итак, обычное квантово-механическое рассмотрение процесса измерения показывает, что все компоненты суперпозиции при измерении сохраняются. Происходит лишь то, что называется "запутыванием", или квантовой корреляцией, между измеряемой системой и прибором (окружением системы)<sup>3</sup>.

Важно — в дальнейшем я буду обсуждать это с другой точки зрения, — что полная система, т.е. измеряемая система и ее окружение, после измерения находится в состоянии суперпозиции. На рисунке 4 это отмечено в последней строке: важна не структура каждой компо-

<sup>2</sup> Описание окружения максимально идеализировано, без потери существенных черт процесса. На самом деле вектор  $\Phi_0$  представляет лишь ту часть окружения, которая взаимодействует с измеряемой системой непосредственно (в измерительном приборе ее называют квантовым датчиком, по-английски — meter). В общем случае она может находиться перед взаимодействием (измерением) в любом из множества состояний  $\Phi_0^{(i)}$  (которые при  $n$ -м результате измерения переходят соответственно в  $\Phi_n^{(i)}$ ) или в смешанном состоянии  $\sum_i p_i \Phi_0^{(i)} \Phi_0^{(i)\dagger}$ .

<sup>3</sup> Иногда пытаются оправдать постулат редукции ссылкой на макроскопический характер прибора и классический характер его эволюции. Однако классическое описание любой системы является (по отношению к квантовому) приближенным и никак не отменяет точного описания в рамках квантовой механики (а лишь делает его излишне детальным при огульном описании системы). Поэтому вывод, сделанный в рамках точного описания, не может оказаться неверным в рамках приближения.

ненты суперпозиции, а то, что все компоненты суперпозиции "выживают" после измерения.

Подведем итог нашего рассуждения, в котором измерение рассматривается как взаимодействие. Если на каком-то этапе имеется суперпозиция, то она сохранится, и это является следствием линейности квантово-механической эволюции. Каждый член суперпозиции может как-то изменяться, но все ее компоненты останутся, ни одна из них не обратится в нуль. Редукции, т.е. выбора одной компоненты и исчезновения остальных, не существует. Так нам диктует квантовая механика. *Квантовая механика исключает редукцию.*

## 6. Интерпретация Эверетта ("многомировая"): редукции нет

Итак, если мы верим линейной квантовой механике, т.е. считаем, что эволюция всегда описывается уравнением Шрёдингера, то редукцию следует каким-то образом исключить. Как это сделать? Ответ дала интерпретация квантовой механики, предложенная в 1958 г. Эвереттом [1, 2].

Логика, лежащая в основе интерпретации Эверетта, очень проста. Берем за основу квантовую механику. Квантовая механика диктует, что редукции быть не может. И, полагаясь на квантовую механику, принимаем положение: редукции нет, все компоненты суперпозиции выживают во время эволюции, в том числе в процессе измерения (см. последнюю строку на схеме рис. 4).

Но если принять эту простую логику, то возникает необходимость объяснить, как же получается, что наблюдатель видит только один результат измерения, соответствующий лишь одной компоненте суперпозиции.

Измерение может привести к различным результатам, которые в сознании наблюдателя исключают друг друга, — "альтернативам". А в суперпозиции фигурируют все альтернативы, и в интерпретации Эверетта принимается, что после измерения все альтернативы по-прежнему содержатся в описании состояния. Как это интерпретировать? Как совместить это с повседневным опытом экспериментатора, который всегда видит лишь один результат измерения, а не их суперпозицию, лишь одну альтернативу  $\Psi_i$ , а не суперпозицию альтернатив  $\sum_n \Psi_n$  (как в последней строке схемы 4)?

Отметим, что теперь существенную роль в рассуждении играет наблюдатель или, точнее, *сознание наблюдателя* и при интерпретации того, что все компоненты суперпозиции сохраняются, можно оперировать этим понятием — сознание наблюдателя. Существенно, что картина, которая формируется в сознании наблюдателя (и которая представляется вектором  $\Psi_i$ ), является чисто классической. Это картина классического мира, причем в сознании наблюдателя всегда присутствует лишь одна из альтернативных картин классического мира (в терминах измерения разные альтернативы соответствуют различным положениям стрелки измерительного прибора, наблюдатель всегда видит одно определенное положение стрелки). В рамках интерпретации Эверетта необходимо объяснить, как это совмещается с тем, что в суперпозиции присутствуют все альтернативы  $\{\Psi_n\}$ , соответствующие различным классическим картинам мира.

Чтобы преодолеть противоречие, в интерпретации Эверетта принимается следующее положение. Все ком-

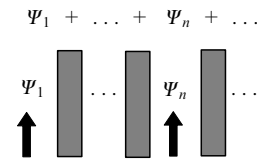


Рис. 5. Интерпретация Эверетта: редукции (исчезновения всех альтернатив, кроме одной) не происходит, но сознание разделяет классические альтернативы, воспринимая их отдельно.

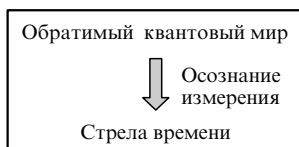
поненты суперпозиции существуют и описывают различные альтернативы (альтернативные результаты измерения или альтернативные классические (квазиклассические) состояния квантового мира), но *сознание разделяет альтернативы* (рис. 5). Сознание воспринимает эти альтернативы отдельно. Если человек видит одну из альтернатив, то при этом он не может видеть остальные.

Разделение альтернатив сознанием — это одна из формулировок интерпретации Эверетта, которая удобна для наших целей. Существуют и другие, например, формулировка, согласно которой существуют различные классические миры — *эвереттовские миры*, соответствующие всем возможным альтернативам. Каждый наблюдатель, согласно этой формулировке, существует в каждом из эвереттовских миров (если угодно — у каждого наблюдателя существует двойник в каждом из эвереттовских миров). Последняя формулировка очень широко распространена из-за своей наглядности, но на самом деле она иногда ведет к недоразумениям, поскольку в ней содержится существенная неточность: нужно говорить не о различных классических мирах, а о различных классических состояниях единственного мира и о суперпозиции этих состояний.

Если принять положение о разделении альтернатив сознанием, то при описании картины, возникающей в сознании наблюдателя, получается то же самое, что предсказывает постулат редукции: субъективно наблюдатель будет видеть (осознавать) лишь одну из альтернативных классических картин мира. Но теперь это удалось совместить с линейной квантовой механикой: на самом деле все альтернативы существуют, но в сознании они разделены. Сознание, как и состояние материального мира, тоже как бы состоит из множества компонент, которые субъективно предстают взаимно исключающими (в этих компонентах отображаются альтернативы).

Что нового это дает для связи между тремя великими проблемами? Как изменяются эти связи при переходе к интерпретации Эверетта, в которой все альтернативы предполагаются одинаково реальными, но разделенными в сознании? Связи между "тремя проблемами" остаются почти теми же самыми, что и в случае копенгагенской интерпретации, за исключением одного нюанса (рис. 6). Теперь следует говорить, что "стрела времени" не существует объективно в квантовом мире, а возникает только в сознании наблюдателя.

В действительности, т.е. в объективно существующем мире, сохраняются (остаются одинаково реальными) все компоненты суперпозиции, все альтернативы, и эволюция суперпозиции этих альтернатив является вполне обратимой. Однако сознанием эти альтернативы воспринимаются отдельно, и это приводит к тому, что в сознании возникает картина необра-



**Рис. 6.** Согласно интерпретации Эверетта необратимость при квантовом измерении возникает в результате осознания результата измерения.

тимого процесса — выбора одной альтернативы и исчезновения остальных<sup>4</sup>.

Наблюдатель, видя одну из альтернатив, не видит остальных. Субъективно это не отличается от картины выбора одной альтернативы и исчезновения остальных, т.е. от картины редукции состояния. Однако теперь, в свете интерпретации Эверетта, приходится заключить, что *редукция состояния — это лишь иллюзия, возникающая в сознании* наблюдателя, иначе говоря, специфическое свойство сознания.

## 7. Расширенная концепция Эверетта (РКЭ)

Перейдем теперь к Расширенной концепции Эверетта (РКЭ), которая позволяет рассмотреть квантовое измерение на еще более глубоком уровне и ведет к ряду интересных следствий [3, 13–16]. Шаг, который углубляет концепцию Эверетта, состоит в *отождествлении сознания с разделением альтернатив*. Поясним это.

Оттолкнемся от концепции Эверетта в той формулировке, которая была использована в разделе 6: все альтернативы существуют (редукции нет), но сознание разделяет альтернативы. Если вдуматься, то оказывается, что в этой формулировке два центральных понятия на самом деле не определены и в настоящее время не могут быть определены. Опираясь на понятие "разделения альтернатив", мы на самом деле не совсем понимаем, что это означает, и вынуждены ограничиться смутным интуитивным представлением об этом. Точно так же, оперируя понятием "сознание", мы на самом деле не понимаем, что такое сознание. Физики в рамках квантовой механики не могут объяснить разделения альтернатив (и тем самым полностью прояснить это понятие), а психологи, физиологи и философы, активно работая над вопросом о том, что такое сознание, не могут ответить на этот вопрос. Очевидно, что феномен сознания как-то связан с работой мозга, но объяснить этот феномен работой мозга не удастся. Скорее наоборот, происходящее в сознании (субъективные переживания) дает направление работе мозга, координирует эту работу.

Расширенная концепция Эверетта предлагает отождествить два плохо определенных понятия — "сознание" и "разделение альтернатив". Принимается, что *сознание — это и есть разделение альтернатив*. После такого отождествления, во-первых, вместо двух понятий остается лишь одно, а во-вторых, это понятие освещается теперь с двух сторон: с точки зрения физики и с точки зрения психологии. Не совсем понятное в физике разделение альтернатив поясняется тем, что мы знаем о соз-

нании, а сознание, не очень-то ясное понятие в психологии, получает новое освещение за счет того, что известно в квантовой физике о разделении альтернатив.

Большого собственно и нельзя ожидать. В любой науке первоначальные понятия остаются нечеткими, пока не выясняется, как эти понятия работают и как все понятия, возникающие в данной теории, связаны друг с другом. Сделав понятие *сознание*  $\equiv$  *разделение альтернатив* общим для квантовой физики и психологии, мы делаем шаг к его более четкому определению. Не менее важно (а пожалуй, еще более убедительно), что это приводит к объяснению некоторых явлений, которые хорошо известны, но не получили до сих пор объяснения. Об этом речь будет идти дальше.

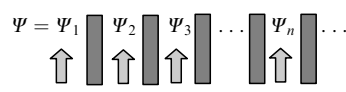
Как в интерпретации Эверетта, так и в РКЭ, с одной стороны, имеется описание квантового мира, представленное суперпозиций альтернатив, а с другой стороны — описание того же мира, как его видит сознание. Это тот же квантовый мир, но в нем альтернативы разделены. Альтернативы — это различные "проекции" квантового мира. При описании эволюции в рамках квантовой механики все эти проекции существенны и фигурируют лишь все вместе (в суперпозиции). При описании картины, возникающей в сознании, проекции разделяются, смысл имеет каждая из них, но не их сумма. Эверетт говорит: сознание разделяет альтернативы. А в рамках РКЭ мы скажем несколько иначе: разделение альтернатив — это и есть сознание.

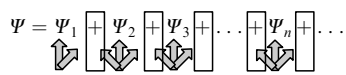
На первый взгляд кажется, что такое отождествление ничего существенно не меняет в картине измерения. Но это не так. Теперь, после отождествления сознания с разделением альтернатив, можно поставить следующий вопрос, который на самом деле уже не относится к физике, а выходит за ее рамки: *что происходит, если сознание выключается, гасится?* Ведь состояния погашенного (или частично погашенного) сознания известны — это *сон, транс, медитация* или то, что Юнг называл *бессознательным*. Что же происходит при переходе в такие состояния с точки зрения рассматриваемой концепции?

Физика на это ответить не может, но если принимается, что разделение альтернатив — это и есть сознание, то ответ оказывается возможным. При таком отождествлении выключение сознания — это выключение разделения альтернатив. Логично заключить: когда сознание гасится, *разделение альтернатив становится неполным*, "перегородки" между альтернативами оказываются прозрачными (рис. 7). И сразу следует важный вывод: если сознание погашено, ослаблено, то, воспринимая одну альтернативу, оно в то же время видит и соседнюю альтернативу, и не только соседнюю. Следовательно, в состоянии погашенного сознания субъект, воспринимая некоторую классическую альтернативу, может в то же время *заглядывать в "другие альтернативы"*.

К этому следует добавить предположение о том, что субъект, наблюдающий некоторую альтернативу (в рамках их разделения), может *модифицировать вероятность того, какая альтернатива будет наблюдаться в ближайшем будущем*. В рамках РКЭ такое предположение становится естественным потому, что разделение альтернатив, после того как оно отождествлено с сознанием, можно рассматривать двояко: как специфическое описание того, что происходит в квантовом мире, и как психический феномен. В квантовом мире действуют

<sup>4</sup> Не нужно думать, что этим выделяется одна из альтернатив, именно та, которую видит наблюдатель. Он видит (его сознание воспринимает) все альтернативы, но видит их раздельно.

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \dots + \Psi_n + \dots$$


$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \dots + \Psi_n + \dots$$


**Рис. 7.** Если сознание и разделение альтернатив отождествляются, то погашенное сознание (в частности в состоянии сна или транса) означает неполное разделение альтернатив, при котором сознание заглядывает в "другие альтернативы" и может выделить среди них наиболее благоприятные.

объективные закономерности, но психика субъективна, она, по крайней мере частично, управляется субъектом. Поэтому на множестве альтернатив естественно определить два распределения вероятностей: объективное (регулирующее выбор альтернативы в мире неживых физических систем) и субъективное (определяющее то, какую альтернативу наблюдает субъект). Более подробно этот вопрос обсуждается в [3, 13–16].

Предположения, принятые в РКЭ, весьма непривычны, нехарактерны для физики. Однако анализ показывает, что логическая структура теории при таких предположениях оказывается проще, чем в копенгагенской интерпретации и интерпретации Эверетта в ее оригинальной форме. Но важнее всего то, что с принятием этих предположений мы получаем возможность объяснить многое, с чем все время встречаемся и что очень привычно, но объяснения чему до сих пор не существует.

Например, *свобода воли*. Что такое свобода воли? Человек захотел — и вышел из комнаты, или не захотел выйти — и остался в ней. Захотел — встал со стула, или остался сидеть. Это кажется просто, но понимаем ли мы, как это происходит? Как происходит выбор решения? При анализе работы мозга мы никакого объяснения этому не найдем. Команда в мышцы приходит из мозга, но как происходит выбор одной из альтернативных команд в том нейроне, который первым производит этот выбор? Физиология объяснить этого не может. Положения, принятые в РКЭ, объясняют это естественным образом: все альтернативные сценарии поведения присутствуют как компоненты суперпозиции, но субъект имеет возможность сравнивать их друг с другом и увеличить вероятность наблюдения тех альтернатив, которые кажутся ему привлекательными (например тех, которые благоприятны для жизни)<sup>5</sup>.

Кроме свободы воли, объясняется такой странный факт, как *абсолютная необходимость сна*. Все мы настолько привыкли к такому явлению, как сон, что не задумываемся об этом факте. Но биологи и медики не могут объяснить, почему сон является *абсолютно* необходимым, почему человек, лишенный сна на три недели, обязательно умирает. Ответ, заключающийся в том, что сон дает отдых организму, на самом деле этой абсолют-

ной необходимости сна не объясняет. Расширенная концепция Эверетта это объясняет: человек, лишенный сна, не имеет возможности заглянуть в "другие альтернативы" и выбрать наилучшую, ведущую к сохранению здоровья, к выживанию.

Кроме этих двух фундаментальных феноменов, получающих естественное объяснение в рамках РКЭ, есть и другие. Среди них, например, мгновенное и не поддающееся контролю появление "творческого озарения", ведущего к открытию. Есть и такие, по-видимому, реально наблюдаемые феномены, которые связаны с наблюдением событий, которые естественным образом могли бы произойти лишь с чрезвычайно малой вероятностью ("вероятностные чудеса").

## 8. Расширенная концепция Эверетта: связи между "тремя проблемами"

Если принять Расширенную концепцию Эверетта (т.е. отождествить сознание с разделением альтернатив), то связи между тремя "великими проблемами" снова принимают несколько иную форму, и в этом случае они становятся особенно многообразными. Эти связи представлены на рис. 8.

1. Согласно РКЭ, существует сфера, в которой действует "чистая" квантовая теория. Эволюция в этой теории всегда описывается линейным законом (например уравнением Шрёдингера) и является обратимой. Такая квантовая теория корректна при описании неживой материи. Обратимый квантовый мир — это мир неживой материи. Никакого понятия измерения в таком мире вводить не требуется: измерение является всего лишь взаимодействием системы с ее окружением, а любые взаимодействия в обратимом квантовом мире корректно описываются обычными линейными квантово-механическими уравнениями (именно такое описание измерения обсуждалось в разделе 5 в связи с явлением декогеренции).

Говорить об измерении в рамках РКЭ можно лишь в непосредственной связи с понятием наблюдателя и, главное, сознания наблюдателя. Таким образом, в квантовую теорию проникает понятие сознания, а с ним и *феномен жизни* (верхняя стрелка в левой части рис. 8). При этом в теории возникают новые возможности, позволяющие объяснить важные и до сих пор не объясненные черты этого феномена. Остановимся на этом очень кратко, подробности можно найти в [3, 13–16].

Прежде всего, существование сознания, или разделения альтернатив, позволяет объяснить суть феномена жизни. Ключевым для этого оказывается *классический*



**Рис. 8.** В рамках Расширенной концепции Эверетта связи "трех великих проблем" оказываются более глубокими.

<sup>5</sup> Разумеется, если рассматривать лишь один феномен свободы воли и принимать положения РКЭ только для его объяснения, то эти положения представляются вполне произвольными, но тот факт, что к ним привела цепочка рассуждений, берущая начало в квантовой физике, делает всю конструкцию правдоподобной.



характер альтернатив. Отождествляя разделение альтернатив с сознанием, т.е. с некоторым атрибутом живой материи, РКЭ объясняет классический характер альтернатив, который иначе объяснить не удастся. Ведь разделение альтернатив — это сознание, т.е. атрибут живой материи. Законным поэтому является вопрос: на какие компоненты будет разделено квантовое состояние мира, какой характер альтернатив (компонент суперпозиции) в интересах жизни?

Ответ очевиден: альтернативы должны быть классическими (квазиклассическими), чтобы перед сознанием (в режиме разделения альтернатив) возникала картина локально предсказуемого мира (т.е. такого, в котором эволюция некоторой пространственной области не может существенно зависеть от состояния далеких областей). Если вместо классических альтернатив были бы использованы существенно неклассические, а значит, включающие черты квантовой нелокальности, то каждая такая альтернатива давала бы картину непредсказуемого мира, в котором невозможно было бы выработать стратегию выживания. Только классические альтернативы обеспечивают предсказуемость мира, воспринимаемого субъективно, и, значит, делают возможной саму жизнь.

Далее, если принять во внимание, что сознание может находиться "в пограничном состоянии", когда оно почти полностью погашено, т.е. альтернативы не полностью разделены, то удастся объяснить, как поддерживается жизнь и сохраняется здоровье живого существа. В этом основную роль играет сон, во время которого частично погашенное сознание проникает в "другие реальности", субъект сравнивает альтернативы друг с другом и получает возможность выбрать ту альтернативу, которая наиболее благоприятна для жизни и здоровья. Сон абсолютно необходим для жизни именно потому, что с его помощью выбирается стратегия выживания. Без сна поддержание жизни невозможно<sup>6</sup>.

2. Вторая линия связей между тремя великими проблемами соединяет проблему измерения и проблему стрелы времени. Рассматривая сознание, или разделение альтернатив, мы с необходимостью приходим к выводу, что в картине, которую создает сознание, появляется то, чего не было в квантовом мире. Квантовый мир был обратим, а в сознании возникает ощущение хода времени и различие между настоящим, прошлым и будущим (верхняя стрелка в правой части рис. 8). Момент настоящего выделен тем, что в этот момент для субъекта происходит выбор альтернативы, которую в ближайшем будущем будет воспринимать его сознание. В квантовом мире неживой материи, который развивается в соответствии с уравнением Шрёдингера, понятий "настоящее", "прошлое" и "будущее" просто не существует.

3. Ход времени как один из аспектов той картины, которая возникает в сознании, выделяет стрелу времени. По отношению к этой стреле времени энтропия возрастает. Но в той сфере, которую занимает жизнь, энтро-

пия убывает (живая материя развивается и самоорганизуется). Это тоже объясняется в рамках РКЭ.

Говоря кратко, это связано с тем, что сознание (в пограничном состоянии) воспринимает различные альтернативы, анализирует их и модифицирует их вероятности, отдавая предпочтение более благоприятным для жизни. Последнее означает, что для субъекта, воспринимающего некоторую альтернативу, увеличивается вероятность того, что в следующий момент он будет воспринимать одну из тех альтернатив, которые для него наиболее благоприятны. Специальный "отбор" альтернатив, обеспечивающих выживание, означает, что динамика жизни, наблюдаемая сознанием, определяется не причиной, а целью. И это, конечно, означает убывание энтропии в сфере жизни.

4. Отождествление сознания с разделением альтернатив порождает на самом деле новое понятие квантового сознания, которое обладает уникальным качеством. Так понимаемое сознание входит в качестве необходимого элемента как в квантовую физику, так и в психологию. Тем самым создается непосредственный контакт между этими двумя науками. Если продолжить анализ, то оказывается, что квантовое сознание образует мост между естественными науками и сферой гуманитарного знания (включая и ненаучные формы такого знания, в том числе религию). В конце концов можно считать, что квантовое сознание перекидывает мост между материей и духом (рис. 9).

Это поистине мост через пропасть. Существует множество важных связей между сферами материи и духа. Однако, по-видимому, квантовое сознание устанавливает более прочный контакт между ними: каждая из этих сфер нуждается в другой для того, чтобы быть концептуально замкнутой.



Рис. 9. Отождествление сознания и разделения альтернатив порождает новое понятие квантового сознания, которое является общим предметом исследования и, следовательно, мостом между естественными науками и гуманитарной сферой знания, между материей и духом.

## 9. Выводы

Из проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. На вопрос, что происходит при измерении, в рамках физики следует ответить: во всяком случае, редукации не происходит, а происходит запутывание измеряемой системы с ее окружением и вследствие этого — декогеренция измеряемой системы. Это выводится строго в рамках квантовой механики. С несколько более широкой точки зрения на тот же вопрос следует ответить, что во время измерения происходит осознание

<sup>6</sup> Феномен сна (периодического выключения ясного сознания и погружения в состояние "бессознательного") существует не только у человека, но и у близких к нему по физиологии животных. У более простых организмов, по-видимому, "сознание" (способность воспринимать окружающее) похоже на то, что у человека фигурирует как "бессознательное", так что феномен сна им не нужен.

наблюдателем результата измерения, что эквивалентно разделению альтернатив.

2. На вопрос о том, что такое жизнь с точки зрения физики, следует ответить: поскольку сознание отождествляется с разделением альтернатив, то "квантовое сознание", т.е. та концепция сознания, которая в результате возникает, создает мост между физикой и жизнью. Жизнь нельзя объяснить только физическими процессами, происходящими в соответствии с физическими законами. Однако нельзя сказать, что вообще нет связи между феноменом жизни и физическими законами. Эта связь существует, и она важна, но она не является прямой. Из Расширенной концепции Эверетта следует, что "квантовое сознание" образует мост, который перекидывается между (квантовой) физикой и жизнью. Физика не может обойтись без такого понятия, как сознание (важнейшая компонента феномена жизни), а жизнь нельзя объяснить, не привлекая квантовую физику.

3. И, наконец, последний вопрос о том, откуда берется необратимость. На основе Расширенной концепции Эверетта мы приходим к выводу, что объективно существующий (квантовый) мир обратим, а необратимость появляется в той картине этого мира, которая возникает в сознании. Сознание строит свою жизнь в такой картине мира, в которой имеется стрела времени, существует качественное различие между настоящим, прошлым и будущим и в которой будущее является "локально предсказуемым". Это, конечно, не случайно, потому что только в таком мире возможна стратегия выживания, т.е. само существование жизни. Эта возможность осуществляется за счет увеличения вероятностей наблюдения субъектом благоприятных альтернатив и означает убывание энтропии в сфере жизни.

## 10. Приложение. Дискуссия

**Вопрос (Альтшулер Б.Л.):** От доклада возникает ностальгическое впечатление. Ведь в 1947 г. *Литературная газета* опубликовала большую статью, где Виталия Лазаревича Гинзбурга обвиняли в махровом идеализме. А вопрос у меня вот о чем. Только сейчас Валерий Анатольевич Рубаков говорил об антропном принципе, множественности миров, о том, что миров может быть бесконечно много. Эта множественность миров в рамках антропного принципа связана ли с множеством эвереттовских миров?

**Менский М.Б.:** В докладе В.А. Рубакова не обсуждалась такая связь, но эта связь напрашивается. Она существует и в оригинальной интерпретации Эверетта, но еще больше в Расширенной концепции Эверетта. В РКЭ предполагается, что сознание может выбирать альтернативы, наиболее благоприятные для жизни (точнее, увеличивать вероятность того, что субъективное сознание увидит одну из благоприятных альтернатив). Это можно назвать активной формой антропного принципа. Но я хотел бы прокомментировать и первую часть выступления Бориса Альтшулера. Действительно, чувствуется "смычка эпох". В нашем научном сообществе существует излишняя консервативность (гораздо более сильная, чем за границей). В конце 40-х годов прошлого века у нас ругали за квантовую механику. Сейчас за квантовую механику не ругают. Но вот за такие вещи, о которых я рассказывал, тем не менее ругают.

**Вопрос:** Некоторое время тому назад мы слушали доклады о необратимом расширении Вселенной. Происходит ли это необратимое расширение Вселенной только в нашем сознании?

**Менский М.Б.:** Наверное, не стоит абсолютизировать сказанное и смешивать физику и философию. Если же быть

строго логичным, то согласно интерпретации Эверетта все альтернативы одинаково реальны, а тот факт, что в сознании мы видим лишь одну из них (скажем, необратимо расширяющуюся Вселенную), — это в такой же мере свойство сознания, как и свойство наблюдаемого этим сознанием мира. На самом деле все, что мы видим, — это картина, возникающая в нашем сознании. Мы видим одну альтернативу, а есть и другие альтернативы, и они не менее реальны оттого, что мы видим лишь одну. Вспомните также и то, что только что было сказано об антропном принципе и его связи с концепцией Эверетта. Среди всех альтернативных картин Вселенной есть и такие, которые сознание человека в принципе не может наблюдать, потому что в таких вселенных не может существовать жизнь белкового типа.

**Вопрос (Максимов Е.Г.):** Вы говорили все время о квантовости. Но есть такая простая игрушка, называется "бильярд Синая", которая демонстрирует на очень простой модели возникновение необратимости. Мы можем смотреть на эту игрушку, можем отвернуться, можем заснуть, можем проснуться, но эта игрушка будет демонстрировать нам простое появление необратимости.

**Менский М.Б.:** Совершенно верно. В этом случае необратимость возникает независимо от того, смотрит ли наблюдатель на систему или не смотрит, по той простой причине, что "бильярд Синая" — это классическая система. Это система, в которой тоже возникает необратимость, но по другой причине, которая вообще не имеет отношения к тому, о чем я рассказывал. Я говорил лишь о необратимости в квантовых системах. В них необратимость возникает тогда, когда эти системы подвергаются измерению (наблюдению).

**Вопрос (Максимов Е.Г.):** Но в "бильярде Синая" та же самая необратимость возникает без всякого квантового измерения.

**Менский М.Б.:** Нет, не та же. Необратимость в "бильярде Синая" имеет совершенно иную природу. В квантовой механике необратимость возникает в результате декогеренции (вызываемой взаимодействием с окружением), а в классической системе декогеренция предполагается априори, квантовая когерентность вообще не фигурирует. И в этом случае необратимость может возникать в силу совершенно других механизмов. В частности, необратимость в классической системе может возникать из-за неустойчивости по отношению к начальным условиям. Именно это имеет место в бильярде Синая. Классические уравнения, которые описывают эволюцию в бильярде Синая, обратимы, но необратимость возникает из-за неустойчивости этой эволюции по отношению к начальным условиям. Причина необратимости отнюдь не всегда имеет квантовую природу. Я говорил в докладе лишь о той необратимости, которая возникает в квантовой механике, где ее, казалось бы, не должно быть в силу обратимости уравнения Шрёдингера.

**Вопрос:** Скажите, пожалуйста, как соотносятся представления, о которых вы здесь рассказали, с представлениями и работами брюссельской школы Ильи Пригожина? Ведь они, в общем-то, интересовались теми же вопросами — и "стрелой времени", и самоорганизацией и т.д.

**Менский М.Б.:** Да, этими вопросами интересовались многие, и разные люди подходили к этим вопросам с разных точек зрения. Один из подходов развивался брюссельской школой. Разные подходы на самом деле не так просто сопоставить. Я специально не останавливался в своем выступлении на сопоставлении разных подходов, а выбрал одну линию рассуждений. Даже одну эту линию трудно проследить в деталях — нужно больше времени. Что касается сравнения с подходом Пригожина — есть точки пересечения, есть различия.

**Вопрос:** Скажите, пожалуйста, вот вы говорите о какой-то пониженной энтропии живой материи по сравнению с мертвой материей. Но в живой материи энтропия не ниже, чем в неживой.

**Менский М.Б.:** Я не говорю, что энтропия живой материи ниже. Я говорю, что в живой материи энтропия может понижаться вместо того, чтобы повышаться, что, по-моему, очевидно.

**Вопрос:** Это не так очевидно. Блюменфель, как известно, показал, что вообще энтропия живой материи никакая не уменьшенная. Как он пишет (причем показал он это физически таким методом, который невозможно опровергнуть), энтропия камня такая же, как энтропия живого организма.

**Менский М.Б.:** Если живую материю рассматривать просто как материю, как совокупность атомов, она и будет вести себя, как всякая материя, — в ней все обычные физические законы верны. Но если мы рассматриваем ее с другой точки зрения (рассматриваем живой организм, а не совокупность атомов), то ситуация меняется, в частности в отношении энтропии. Мы же видим, что живые существа раньше были простейшими, потом стали более сложными. В этом смысле энтропия в сфере жизни понижается.

**Вопрос:** Так вот и в этом смысле тоже как будто бы ничего не получается, потому что все химические реакции, которые идут в направлении возникновения живой материи или ее усложнения, происходят с выделением каких-то побочных веществ.

**Менский М.Б.:** Ну, правильно, правильно.

**Вопрос:** А не только в этом прямом направлении.

**Менский М.Б.:** Совершенно верно.

**Вопрос:** И, таким образом, никакого парадокса энтропии не получается.

**Менский М.Б.:** Дело вот в чем. Конечно, в системе в целом энтропия увеличивается, как и положено, но избыток энтропии из сферы жизни куда-то выбрасывается, а именно туда, где нет жизни. А вот там, где есть жизнь, энтропия понижается. Конечно, то, что происходит с живыми существами, не противоречит физическим законам. В сфере жизни происходит не нарушение законов, а нечто иное. В сфере жизни появляется понятие цели, которое не имеет смысла для неживой материи. Для неживой материи есть только причина, а в сфере жизни появляется понятие цели. Цель — выживание. И для реализации этой цели некоторые (неблагоприятные) сценарии отбрасываются (точнее, вероятность их наблюдения сознанием понижается). Это и ведет к понижению энтропии в той картине, которую видит сознание. А цена за это — выбрасывание излишней энтропии за пределы жизни. Это одна из причин того, что живая система — всегда открытая система.

**Вопрос:** Скажите, пожалуйста, выходит, с возникновением жизни законы природы изменились?

**Менский М.Б.:** Во-первых, физические законы действуют независимо от того, есть ли жизнь. Жизнь отличается лишь тем, как работают вероятности. Происходит лишь то, что разрешено физическими законами, но в картине, наблюдаемой сознанием живого существа, становится возможным возникновение некоторых (благоприятных для жизни) собы-

тий, которые с точки зрения физики маловероятны. Кроме того, мы же ничего не знаем о возникновении жизни. И я этот вопрос не ставлю и не могу на него ответить. Может быть, жизнь всегда существовала. Вы не допускаете этого? Я говорю только, что мир выглядит совсем иначе, если мы учитываем существование живой материи и живых существ. И существование живых существ, законы их существования не сводятся к физическим законам, появляется нечто новое (хотя прямого противоречия физическим законам нет). Вот это новое и есть то, что я условно называю "сознание", хотя сознание здесь нужно понимать расширительно, это несколько иное понятие, чем то, что обычно понимается под словом "сознание".

## Список литературы

1. Everett H (III) "Relative state' formulation of quantum mechanics" *Rev. Mod. Phys.* **29** 454 (1957); перепечатано в сб. Wheeler J A, Zurek W H (Eds) *Quantum Theory and Measurement* (Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1983)
2. DeWitt B S, Graham N (Eds) *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1973)
3. Менский М Б "Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов" *УФН* **170** 631 (2000)
4. Einstein A, Podolsky B, Rosen N "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" *Phys. Rev.* **47** 777 (1935)
5. Zeh H-D *The Physical Basis of the Direction of Time* 2nd ed. (Berlin: Springer-Verlag, 1992)
6. Mensky M B *Quantum Measurements and Decoherence. Models and Phenomenology* (Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2000); Менский М Б *Квантовые измерения и декогеренция. Модели и феноменология* (М.: Физматлит, 2001)
7. Zurek W H "Environment-induced superselection rules" *Phys. Rev. D* **26** 1862 (1982)
8. Zeh H D "On the interpretation of measurement in quantum theory" *Found. Phys. Lett.* **1** 69 (1970)
9. Mensky M B "Quantum restrictions for continuous observation of an oscillator" *Phys. Rev. D* **20** 384 (1979)
10. Менский М Б "Квантовые ограничения на измеримость параметров движения макроскопического осциллятора" *ЖЭТФ* **77** 1326 (1979)
11. Gell-Mann M, Hartle J B "Quantum mechanics in the light of quantum cosmology", in *Complexity, Entropy, and the Physics of Information* (Santa Fe Institute Studies in the Sci. of Complexity, Vol. 8, Ed. W H Zurek) (Redwood City, Calif.: Addison-Wesley Publ. Co., 1990) p. 425
12. Giulini D et al. *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory* (Berlin: Springer, 1996)
13. Менский М Б "Концепция сознания в контексте квантовой механики" *УФН* **175** 413 (2005)
14. Менский М Б "Квантовая механика, сознание и мост между двумя культурами" *Вопросы философии* (6) 64 (2004)
15. Менский М Б *Человек и квантовый мир (Странности квантового мира и тайна сознания)* (Фрязино: Век 2, 2005)
16. Mensky M B "Reality in quantum mechanics, Extended Everett Concept, and consciousness", physics/0608309; *Онн. и спектроск.* (в печати)

## Quantum measurements, the phenomenon of life, and time arrow: three great problems of physics (in Ginzburg's terminology) and their interrelation

M.B. Mensky

*P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,*

*Leninskii prosp. 53, 119991 Moscow, Russian Federation*

*Tel. (7-495) 13-62 19. Fax (7-495) 135-78 80. E-mail: mensky@lpi.ru, mensky@lebedev.ru*

Interrelation between physics' three great problems as named by V.L. Ginzburg — the interpretation of quantum mechanics, time's arrow, and reducing life to physics — is discussed and shown to be crucially dependent on how the first of them is settled. The Copenhagen interpretation, Everett's interpretation, and the author's extension of Everett's Concept are reviewed in this connection.

PACS numbers: **01.70.+w**, 03.65.Ta, 03.65.Yz

Bibliography — 16 references

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **177** (4) 415–425 (2007)

*Received 11 December 2006*  
*Physics – Uspekhi* **50** (4) (2007)