

## Субъективные основания квантовой механики (Subjective Foundations of Quantum Mechanics)

Каминский А.В.  
(A.V. Kaminsky)

### Abstract

We show that quantum mechanics is a consequence of the subjective incompleteness of physical reality. Subjective incompleteness means the inability of the observer (subject), which is part of the system, to have information about the entire system.

"Facts do not exist - there are only interpretations" Friedrich Wilhelm Nietzsche

### Введение

Эйнштейн спрашивал, – какому элементу физической реальности соответствует волновая функция? Долгое время наука, основывающаяся на позитивистском мировоззрении, подобные вопросы игнорировала, как не относящиеся к физике. Известно, что именно Копенгагенской интерпретации, основанной на позитивистском мировоззрении, удалось в изящном стиле математического минимализма построить теорию, исчерпывающим образом описывающую все известные на сегодняшний день экспериментальные факты. Но сегодня позитивизм ставит гносеологический барьер, ограничивая нас в праве задавать вопрос «почему?», а не только «как?». Несомненно, это насилие над разумом. Ученые всегда занимались тем, что проверяли те или иные метафизические гипотезы, углубляющие наше понимание природы.

Здесь мы рассмотрим еще одну гипотезу призванную раскрыть сущность квантовой механики. Суть гипотезы состоит в том, что квантовая механика субъективна<sup>1</sup>. То есть, она возникает, как конфигурационная модель для внутреннего наблюдателя<sup>2</sup> (субъекта). Эта догадка не нова. Эверетт первым понял необходимость включить наблюдателя в теорию [1]. Он построил многомировую интерпретацию квантовой механики MWI (Many-worlds interpretation или relative state formulation), которая была призвана решить основной концептуальный

---

<sup>1</sup> В нашем построении понятие «субъективность» используется исключительно в указанном физико-математическом смысле, и не имеет отношения к психологии.

<sup>2</sup> Внутренним наблюдателем называют наблюдателя, являющегося частью замкнутой системы.

вопрос квантовой механики, известный, как «проблема измерения». Проблема решалась путем замены статуса потенциального существования измеряемых величин, их реальным существованием в многомирии квантовой реальности. Внешне похожая на MWI, но более близкая нашему пониманию теория, была предложена в 90-х годах Карло Ровелли [2]. Речь идет о, так называемой, реляционной интерпретации квантовой механики RQM (Relational quantum mechanics). Важнейшим отличием от теории Эверетта здесь является полный отказ от объективности ВФ. Так, в теории Эверетта, волновая функция, хотя и является относительной сущностью, но она объективна. Это означает, что она существует и имеет смысл, даже в отсутствие наблюдателя. В RQM квантовое состояние теряет свой абсолютный смысл. Оно определяется исключительно относительно наблюдателя. Так, введенная Эвереттом в рассмотрение, универсальная ВФ, описывающая Вселенную, как целое, более не релевантна, поскольку это описание не предполагает существование наблюдателя.

В настоящей статье мы рассматриваем еще одну оригинальную теорию со скрытыми параметрами. Сразу же заметим, что она не попадает под ограничения «no go» теорем Белла и Кохена-Спекера [3,4], поскольку, по своему построению, она не локальна и существенно контекстуальна.

## 1. «reverse engineering» квантовой механики

Если бы нам в руки попал неизвестный гаджет, созданный инопланетянами, то чтобы понять, как он функционирует, мы, скорее всего, разобрали бы его. Квантовая механика в некотором смысле, является таким «гаджетом». Мы им пользуемся уже более 100 лет, не имея понятия, как он работает....

Рассмотрим изолированную систему, представляющую собой чистое запутанное состояние наблюдателя и его окружения<sup>3</sup>. Для простоты, не снижая общности выводов, которые будут сделаны, допустим, что, как сам наблюдатель, так и его окружение являются q-битами.  $|Я_1\rangle = |\uparrow\rangle$ ,  $|Я_2\rangle = |\downarrow\rangle$

$$|\psi\rangle = c_1|\uparrow\rangle|Я_1\rangle + c_2|\downarrow\rangle|Я_2\rangle \quad (1.1)$$

---

<sup>3</sup> Обычно окружением называют самого наблюдателя. У нас окружение это мир вне наблюдателя.

Матрица плотности чистого запутанного состояния, с точки зрения внешнего наблюдателя, не взаимодействующего с системой, имеет вид:

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| = \begin{pmatrix} c_1 c_1^* & c_1 c_2^* \\ c_2 c_1^* & c_2 c_2^* \end{pmatrix} \quad (1.2)$$

Знание внешнего наблюдателя о системе, выражающееся матрицей плотности (1.2) полно и энтропия этого состояния равна нулю. С точки же зрения внутреннего наблюдателя (q-бита, являющегося частью системы) матрица плотности приобретает вид статистического оператора:

$$\rho_{\text{Я}} = \text{Tr}_{\text{Env}} |\psi\rangle\langle\psi| = \begin{pmatrix} c_1 c_1^* & 0 \\ 0 & c_2 c_2^* \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

Вследствие субаддитивности<sup>4</sup> энтропии,  $S(\rho_{\text{Я}}) > S(\rho)$ . Это означает, что знание внутреннего наблюдателя, выражающееся матрицей плотности (1.3) неполно. Здесь символом  $\text{Tr}_{\text{Env}}$  обозначена операция взятия частичного следа по степеням свободы окружения (в данном случае, по другому q-биту). Недиагональные компоненты здесь исчезают, поскольку состояния  $|\uparrow\rangle$  и  $|\downarrow\rangle$  ортогональны. Переход к «точке зрения» внутреннего наблюдателя иногда называют неселективным измерением. Центральным вопросом при рассмотрении этой ситуации является вопрос легитимности взятия частичного следа. В случае открытых систем, операция обосновывается потерей информации в окружении. Но в нашем случае, система замкнута и реальной потери информации не происходит, поскольку имеет место закон сохранения информации. В этом случае, говорят о несобственных смесях, в отличие от собственных (или истинных), получаемых при потере информации в окружении [5,6]. Квантовая механика, формально, не различает эти состояния. Они описываются одной и той же матрицей плотности (1.3). Различие может быть обнаружено только за пределами квантового формализма. Но именно это нас и интересует, поскольку понять, как работает теория, в рамках ее же аксиоматики, невозможно.

Собственное смешанное состояние формализует распространенное представление о природе вероятности, как неполноте знаний субъекта<sup>5</sup>. Однако, эта неполнота не фундаментальна, и в принципе устранима. В данном случае, мы можем не знать

---

<sup>4</sup> Субаддитивность свойство энтропии запутанных систем A и B, выражающееся неравенством  $S(A, B) \leq S(A) + S(B)$ .

<sup>5</sup> Это понимание, восходит еще к Лапласу и Спинозе.

чего-то не потому, что не можем знать в принципе, а потому, что не хотим, или потому, что получение такого знания сопряжено с трудностями. Принципиально другую ситуацию описывает несобственная смесь. В этом случае, незнание фундаментально. Чем же обусловлен такой фатальный агностицизм, свойственный внутреннему наблюдателю?

Вновь обратимся к нашему примеру с двумя  $q$ -битами. В этом случае, система описывается тремя комплексными числами<sup>6</sup>. В то же время, наблюдатель, сам по себе, описывается одним  $q$ -битом и, соответственно одним комплексным числом. Другими словами, внутренний наблюдатель или субъект «видит» только часть того, что «объективно<sup>7</sup>» происходит в его мире. И это ограничение принципиально. Это пример **субъективной неполноты**. От субъекта оказывается, скрыта часть информации, имеющейся в системе,- в частности, вся динамика фазовых отношений между коэффициентами  $c_1$  и  $c_2$ , описываемая недиагональными членами матрицы плотности. Именно это дает нам формальное право усреднять по степеням свободы окружения. Как легко видеть, в данном случае неполнота знания субъекта – принципиальна. Концептуальное отличие собственных и несобственных смесей отмечалось в работе [6]. В определенном смысле, это понимание обосновывает копенгагенскую интерпретацию, онтологизирующую квантовую вероятность. Однако, в отличие от последней, в понимание случайности мы вносим релятивизм. То, что случайно для внутреннего наблюдателя, оказывается, может быть строго детерминировано для внешнего наблюдателя. В настоящей статье мы намереваемся обосновать нашу догадку о том, что квантовое описание возникает, как реляционное по отношению к внутреннему наблюдателю.

Полезно обратить внимание на то, что именно такое положение вещей (относительность случайного и детерминированного) укоренено в математической логике. Рассмотрим конечный клеточный автомат, работающий в соответствии с набором детерминированных правил. И пусть эволюция этого автомата в пространстве его состояний описывается конечной максимально сложной (по Колмогорову) последовательностью чисел. Последнее означает, что алгоритм, способный сгенерировать эту последовательность не может быть записан числом символов меньшим, чем сама последовательность. Это означает, что для внутреннего наблюдателя, ресурсы которого ограничены числом состояний

---

<sup>6</sup>  $N$ -  $q$ -битная система описывается в  $2(2^N - 1)$  - мерном проективном гильбертовом пространстве.

<sup>7</sup> То, что увидел бы внешний наблюдатель.

системы, такого алгоритма не существует и, следовательно, с его точки зрения, эволюция его мира не предсказуема, то есть, случайна. Однако ни что не мешает существованию такого алгоритма вне системы. И это означает, что с точки зрения внешнего наблюдателя, эволюция системы предсказуема.

Мы уже частично разобрали наш квантово-механический «гаджет» и у нас возникло подозрение, что причиной «квантовости» нашего мира может быть субъективная неполнота. Напомним еще раз, что под субъективной неполнотой мы понимаем положение вещей, которое имеет место для наблюдателя (субъекта), являющегося частью изолированной системы.

Концепция **субъективной<sup>8</sup> или физической неполноты** вероятно, может получить строгое обоснование при переносе на физический мир фундаментальных теорем математической логики, сформулированных для формальных систем<sup>9</sup>. Однако, доказательство возможности такого переноса не является нашей целью, и будет рассматриваться, как гипотеза.

## 2. Прямое конструирование квантовой механики

Пусть  $\{Y_i\}$  - множество абстрактных состояний, которое назовем наблюдателем *Subj*. Состояниями  $\{Y_i\}$  и переходами между ними, исчерпывается все множество наблюдаемых проявлений эмпирической (физической, экспериментальной) реальности. Условно, можно их назвать состояниями сознания наблюдателя. Особенность нашего подхода состоит в том, что в нем не будет ничего кроме состояний сознания. Мы исходим из того, что в мире есть только состояния сознания и их изменение. Состояния сознания будут базовым примитивом аксиоматики нашей модели.

Отображения  $Y_i \rightarrow Y_j$  будем называть интенциями, в меру той же условности в соответствии с которой состояния наблюдателя мы назвали состояниями

---

<sup>8</sup> Относящейся к субъекту (внутреннему наблюдателю)

<sup>9</sup> Имеется в виду теорема Геделя о неполноте формальных систем, а так же формальный аргумент Девида Вулперта (David Hilton Wolpert), утверждающий, что для любого интеллекта в принципе невозможно знать все о вселенной, частью которой он является [7].

сознания<sup>10</sup>. Множество упорядоченных пар  $\{Y_i, Y_j\}$ , представляющих интенции, можно рассматривать как расширение множества состояний сознания  $\{Y_i\}$ . Первый элемент в паре соответствует текущему состоянию сознания наблюдателя. Если множество  $\{Y_i\}$  конечно, то число пар  $\{Y_i, Y_j\}$ , очевидно превосходит число состояний  $\{Y_i\}$ , поэтому, здесь, так же, как и в рассмотренном выше примере с q-битами, имеет место ситуация неполноты. Будем считать, что множество интенций  $Y_{i,j} = \{Y_i, Y_j\}$  образует базис интенционального пространства<sup>11</sup>. В соответствии со структурой интенций, интенциональное пространство является прямым произведением подпространств субъекта и объекта:

$$W = \text{Subj} \times \text{Obj} \quad (2.1)$$

Неполнота здесь означает, что наблюдателю  $\text{Subj}$ , по определению, доступны только его собственные состояния. Это означает, что объект  $\text{Obj}$  для него принципиально не наблюдаем (трансцендентен). Важно понимать, что физической реальностью для внутреннего наблюдателя является именно коррелят<sup>12</sup> объекта, представленный состояниями субъекта  $\text{Subj}$ , а не сам объект  $\text{Obj}$ .

Состояния наблюдателя – это не только состояния его тела, или его мозга. Состояния наблюдателя – это любые наблюдаемые физические состояния. Например, спин электрона это не характеристика электрона, а состояние наблюдателя. Электрона, как такового не существует. Существует состояние наблюдателя, индуцированное окружением, которое он называет электроном.

Далее мы покажем, что физические законы целиком определяются онтологическим статусом внутреннего наблюдателя (статус – быть частью целого). В этом смысле физика это теория внутреннего наблюдателя. Гипотетический внешний наблюдатель, который был бы способен записать уравнение эволюции для всей Вселенной и решить его, в известных ему начальных и граничных условиях, в своем могуществе, был бы равен, Тому, кто «не бросает кости»<sup>13</sup>. Для него не существовало бы непознаваемых, скрытых объектов и он легко мог бы предсказать исход любого события. Но такого «демиургического» наблюдателя, по-

---

<sup>10</sup> Интенцией в психологии называют направленность сознания на объект или действие.

<sup>11</sup> Иногда мы будем называть его онтологическим базисом.

<sup>12</sup> Объект  $\text{Obj}$  в полной мере соответствует Кантовской абстракции «вещь в себе»

<sup>13</sup> Перефразировано известное высказывание Эйнштейна.

видимому, не существует. И поэтому, ситуация неполноты должна быть онтологизирована. И именно она, как будет показано далее, диктует свои правила «игры», которые мы называем законами квантовой физики.

Любое изменение состояния сознания  $Y_i$  мы интерпретируем, как переход между физическими состояниями. Но изменение физических состояний обязательно происходит во времени<sup>14</sup>. Рассмотрим переход  $\{Y_i, Y_j\} \rightarrow \{Y_{i+1}, Y_j\}$ , что кратко мы будем записывать, как:  $Y_{i,j} \rightarrow Y_{i+1,j}$ . Он происходит с изменением текущего состояния сознания (меняется первый индекс). Следовательно, это физический процесс, и происходит он в **физическом времени**. Можно сказать, что он и создает следующий момент субъективного или, что то же самое, физического времени. Если хотите, то это просто определение физического времени. То есть не может быть ситуации, когда протекло какое-то физическое время, но физическое состояние системы осталось прежним.

В отличие от предыдущего случая, переходы:  $Y_{i,j} \rightarrow Y_{i,j+1}$  (меняется второй индекс) происходят без изменения текущего состояния сознания. Будем говорить, что они происходят в **скрытом времени**. Психолог сказал бы, что в скрытом времени происходят *внеположные* сознанию «процессы». Эти «процессы» происходят в один и тот же момент физического времени, но в разные моменты скрытого времени. Таким образом, каждый нулевой интервал физического времени, объективно, имеет длительность. Эта идея обсуждалась в работах [9,10]. Возможное существование субъективно скрытых процессов проливает свет на многие особенности квантовой механики, и в частности, на хрестоматийный эксперимент Юнга, с «одновременным» прохождением электрона через две щели. Теперь мы понимаем, что с объективной точки зрения, электрон последовательно проходит через каждую щель. Однако, с точки зрения внутреннего наблюдателя (нас с вами) эти события одновременны. Процессы в скрытом времени лежат в основе феномена суперпозиции, квантовых корреляций и множества других нелокальных явлений, являющихся предметом изучения квантовой физики.

---

<sup>14</sup> Аристотель справедливо считал, что время определяется изменением вещей. В самом деле, время, мы измеряем, исключительно путем сравнения одного движения с другим.

В духе Уиллеровского минимализма «it from bit»<sup>15</sup>, которого требует фундаментальность рассматриваемого нами предмета, пространство интенций  $W$  (см. 2.1) будем считать Евклидовым пространством над полем Галуа<sup>16</sup>  $GF(2)$ . Векторные пространства над  $GF(2)$  это пространства с двоичным базисом  $e_i = \{0,1\}$ . Не снижая общности<sup>17</sup>, для наглядности, рассмотрим в качестве примера трехмерное пространство  $W$  над расширенным полем  $GF(2^3)$ . Это поле классов вычетов по модулю некоторого простого полинома. Рассматриваемое поле имеет 8 элементов, включая 0. Ниже приведена таблица поля для примитивного полинома  $x^3 + x + 1$

Степень	Полином	Вектор	Обозначение
0	0	(000)	$\psi_0$
$x^0$	1	(001)	$\psi_1$
$x^1$	$x$	(010)	$\psi_2$
$x^2$	$x^2$	(100)	$\psi_4$
$x^3$	$x + 1$	(011)	$\psi_3$
$x^4$	$x^2 + x$	(110)	$\psi_6$
$x^5$	$x^2 + x + 1$	(111)	$\psi_7$
$x^6$	$x^2 + 1$	(101)	$\psi_5$

Табл.1

Любой вектор в таком пространстве можно представить линейной комбинацией базисных векторов:  $e_i = \{\psi_1, \psi_2, \psi_4\}$

$$\psi = \sum_1^3 a_i e_i; \quad a_i \in GF(2) \quad (2.3)$$

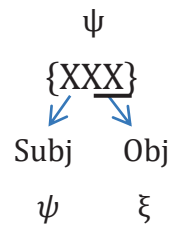
<sup>15</sup> Доктрина, предложенная Джоном Арчибалдом Уиллером, заключающаяся в том, что физическая реальность на самом глубоком онтологическом уровне не материальна, и является булевой информационно - теоретической средой.

<sup>16</sup> Пример применения полей Галуа в физике можно найти в работе [8]. Напомним, что поле Галуа представляет собой циклическую мультипликативную группу с 0 и 1 и действующими на ней обычными аксиомами поля. Число элементов конечного поля не любое число, а число вида  $p^n$ , где  $p$ - простое, а  $n$ - натуральное.

<sup>17</sup> В общем случае, мы могли бы рассматривать любые конечномерные пространства.



Отождествим текущее состояние сознания со старшим битом трехбитного слова  $\psi = \{XXX\}$ , где:  $X \in \{0,1\}$ , а два младших с состоянием объекта:



Аналитическим выражением субъективной неполноты может быть факторизация пространства  $W$  по подпространству объекта  $Obj$  (см. 2.1). Отношением эквивалентности здесь является неразличимость интенциональных векторов  $\psi$  по двум младшим битам, обусловленная субъективной неполнотой (см. выше). Будем считать, что два вектора сравнимы  $\psi_a \sim \psi_b$  по подпространству объекта  $Obj$ , если:

$$\psi_a - \psi_b \in Obj; \quad \psi_a, \psi_b \in W \quad (2.5)$$

То есть, векторы, разность между которыми оказывается внутри подпространства объекта  $Obj$ , образуют классы эквивалентности неразличимых для него векторов:

$$|\psi_i\rangle \equiv \{\psi_{i,1}, \psi_{i,2}, \dots, \psi_{i,N_i}\} \quad (2.6)$$

Здесь  $\psi_{i,j}$  означает  $j$ -ый интенциональный вектор, принадлежащий классу  $i$ .  $|\psi_i\rangle$  - класс интенций, который образует  $i$ -е физическое (квантово-подобное) состояние. Таким образом, пространство  $W$  расслаивается, образуя фактор пространство неразличимых для внутреннего наблюдателя интенциональных состояний.

В нашем примере мы получаем 2 класса эквивалентности  $\{0XX\}$  и  $\{1XX\}$ , образующие векторы  $|\psi_0\rangle$  и  $|\psi_1\rangle$  соответственно. Они образуют двухмерное проективное Гильбертово пространство  $P\mathcal{H} = |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle$ . Вектор  $\psi \in \mathcal{H}$  может быть представлен прямым произведением:  $\psi = |\psi\rangle \otimes |\xi\rangle$ . В терминах теории расслоений, векторы  $|\xi\rangle \in Obj$  – образуют слой над пространством квантовых состояний  $|\psi\rangle$ .

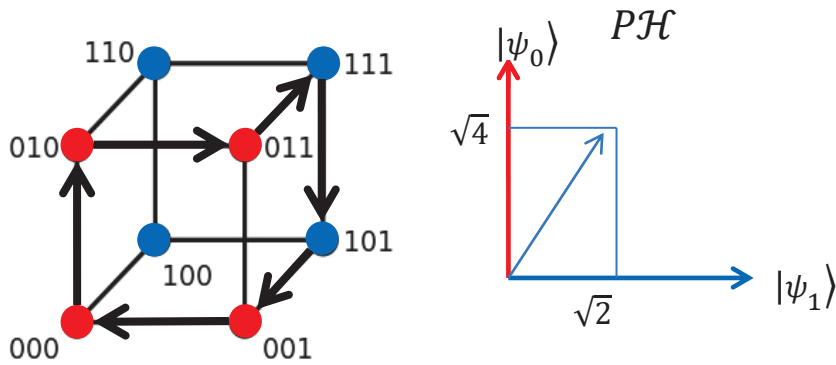


Рис.1 Пространство интенций  $W$  (слева) и его редукция к Гильбертову пространству (справа).  
Классы эквивалентности выделены красным и синим цветами.

Рассмотрим траекторию  $\psi = \psi(t_i)$ , описывающую возможную эволюцию системы в пространстве  $W$ . Такая траектория может быть описана ориентированным графом на двоичном кубе (рис.1). В качестве примера мы рассмотрим орбиту, проходящую через 6 вершин из 8 (стрелки вдоль граней куба). К. Шеннон рассматривал функции, как векторы в пространстве их отсчетов<sup>18</sup>. Аналогично, мы можем рассматривать орбиту  $\psi(t_i)$ , как вектор в естественном ортонормированном, темпорально упорядоченном базисе<sup>19</sup>  $\langle \tau_i | \tau_j \rangle = \delta_{ij}$ . Назовем это пространство  $\Omega$ -пространством. Орбита, изображенная на рис.1 теперь может быть представлена одним вектором в 8-мерном пространстве орбит ( $\Omega$ -пространство):

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^8 \psi_i \tau_i; \quad (2.8)$$

Где:

$$\psi_i(t) = \{\psi_0, \psi_2, \psi_3, \psi_7, \psi_5, \psi_1\} \quad (2.9)$$

Напомним, что  $\psi_i$  это просто элементы поля Галуа  $\psi_i \in GF(2^3)$ .  $\Omega$ -пространство наследует факторизованную структуру  $W$ -пространства. Часть векторов этого пространства соответствует орбитам, целиком лежащим в  $|\psi_0\rangle$  или  $|\psi_1\rangle$ . Однако, другая часть соответствует орбитам, пересекающим оба класса. Такие векторы

<sup>18</sup> Речь идет от дискретном представлении функции.

<sup>19</sup> Здесь – базис, упорядоченный в соответствии с дискретно текущим временем.

соответствуют состояниям квантовой суперпозиции. В соответствии с этим, вектор  $|\psi\rangle$  (см. 2.8) можно представить суммой тензорных произведений:

$$|\psi\rangle = |\psi_0\rangle \otimes |\xi_0\rangle + |\psi_1\rangle \otimes |\xi_1\rangle \quad (2.10)$$

Где:

$$|\psi_0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad |\psi_1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad |\xi_0\rangle = \begin{pmatrix} \psi_0 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_1 \end{pmatrix}; \quad |\xi_1\rangle = \begin{pmatrix} \psi_7 \\ \psi_5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

Так, как компоненты вектора  $|\psi\rangle$  принадлежат двоичному полю, то квадрат нормы вектора будет равен длине траектории, выраженной в числе интенций  $\langle\psi|\psi\rangle \in \mathbb{Z}$ . Здесь нужно учесть, что сопряженный «бра» вектор, конечно же, состоит из обратных элементов поля Галуа, то есть,  $\psi_i \psi_i^* = 1$ ; В нашем примере  $\langle\psi|\psi\rangle = 6$ . Квадрат нормы векторов проекций  $|\langle\psi_0|\psi\rangle|^2 = 4$  и  $|\langle\psi_1|\psi\rangle|^2 = 2$ . Ниже мы покажем, что эти числа являются вероятностями, характеризующими квантово-механическое измерение. Выражение (2.10) перепишем в виде:

$$|\psi\rangle = \langle\psi_0|\psi\rangle|\psi_0\rangle + \langle\psi_1|\psi\rangle|\psi_1\rangle \quad (2.11)$$

Это выражение выглядит, как обычное квантовомеханическое выражение для суперпозиции. Однако, в нашем случае, амплитуды  $\langle\psi_0|\psi\rangle$  и  $\langle\psi_1|\psi\rangle$  вместо обычных комплексных чисел, представляются векторами  $|\xi_0\rangle, |\xi_1\rangle$  в подпространствах, соответствующих состояниям  $|\psi_0\rangle$  и  $|\psi_1\rangle$ .

Чтобы найти среднее значение наблюдаемой  $\hat{x}$  в состоянии  $|\psi\rangle$  нужно вычислить величину:

$$\bar{x} = \frac{\langle\psi|\hat{x}|\psi\rangle}{\langle\psi|\psi\rangle} \quad (2.12)$$

В  $\Omega$  - базисе проекционный оператор  $\hat{x}$  имеет вид:

$$\hat{x} = x_1 \sum_{i=1}^4 |i\rangle\langle i| + x_2 \sum_{i=5}^8 |i\rangle\langle i| \quad (2.13)$$

Получим:  $\bar{x} = 4/6 \cdot x_1 + 2/6 \cdot x_2$

### 3. Правило Борна

Траектория системы в  $W$  «замечает» подпространства, соответствующие тем или иным квантовым состояниям  $|\psi_i\rangle$ . Так возникает квантовая суперпозиция. В этом существенное отличие нашего описания от обычного квантово-механического. В квантовой механике волновая функция  $\psi(x, t)$  в момент времени  $t$  может иметь амплитуду отличную от нуля одновременно в разных точках пространства, скажем  $x_1$  и  $x_2$ . У нас это не совсем так, поскольку  $\psi(x, t)$  в нашей интерпретации это вектор в пространстве интенций. Этот вектор описывает последовательность интенций во времени. Орбита может пересекать классы состояний  $x_1$  и  $x_2$ . Но это означает, что в каждый момент времени может реализоваться только одно из состояний. В каком именно квантовом состоянии (классе интенций) находится система в каждый момент времени зависит от фазы, которая соответствует точке на орбите. Формально, мы можем ввести оператор<sup>20</sup>, отображающий текущее значение  $\psi(x, t)$  на пространство квантовых состояний  $|\psi_i\rangle \in \text{Subj}$ :

$$\hat{R}|\psi\rangle \mapsto |\psi_i\rangle \quad (3.1)$$

Так как классы  $|\psi_i\rangle$  не пересекаются, то отображение  $\hat{R}$  – однозначно. Этот оператор не имеет аналога в квантовой механике, но именно он определяет результат измерения. Назовем его оператором редукции (или оператором суперселекции). Это каноническое суръективное отображение<sup>21</sup> множества  $W$  на фактор-пространство  $W/p$ ,

$$\hat{R}: W \rightarrow W/p \quad (3.2)$$

Очевидно, для внутреннего наблюдателя доступно только вероятностное описание, даваемое проекционным постулатом фон-Неймана. Поэтому, введение такого оператора лишено практического смысла.

Запишем выражение для суперпозиции:

---

<sup>20</sup> Не путать с проекционными операторами квантовой механики.

<sup>21</sup> Это отображение называют каноническим, поскольку оно определяется в теории множеств.

$$|\psi\rangle = \sum \langle \psi_i | \psi \rangle |\psi_i\rangle = \sum a_i |\psi_i\rangle \quad (3.3)$$

Где  $a_i = \langle \psi_i | \psi \rangle$ . В квантовой механике действует эмпирическое правило, согласно которому, вероятность обнаружить систему в состоянии  $|\psi_i\rangle$ :

$$\langle \psi_i | \psi \rangle \langle \psi_i | \psi \rangle^* = a_i a_i^* \sim p_i \quad (3.4)$$

В нашей интерпретации из (2.10) и (2.11) мы получим:

$$\langle \psi_i | \Psi \rangle \langle \psi_i | \Psi \rangle^* = \langle \xi_i | \xi_i \rangle = n_i \sim p_i \quad (3.5)$$

Сравнивая (3.4) и (3.5) мы видим, что квадрат нормы вектора квантового состояния имеет смысл числа интенций в соответствующем классе.

Так как эволюция мира, предполагается эргодической (постулат нашей модели), то вероятность того или иного физического состояния определяется числом, осуществляющих его интенциональных состояний. Это и есть правило Борна. Этот подход аналогичен постулату статистической физики о равновероятности всех допустимых микросостояний. В нашем случае, этот постулат обосновывается правдоподобной гипотезой о равномерности геометрической прогрессии<sup>22</sup> на поле Галуа [11]. Таким образом, мы можем ввести вероятность по аналогии с классической эргодической теорией:

$$P = \lim_{\theta \rightarrow \infty} \frac{\theta_i}{\theta} \quad (3.8)$$

Где  $\theta_i$  - время пребывания системы в классе соответствующем состоянию  $|\psi_i\rangle$ , а  $\theta$  текущее время. По сути, здесь мы имеем дело с тривиальным случаем эргодичности на конечных полях<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Рассмотрим дискретный аналог волновой функции на циклической группе простого порядка:  $\psi(\theta) = A \cdot (a^\theta \bmod T)$ , где  $T$  - период (простое число). Согласно малой теореме Ферма последовательность, задаваемая геометрической прогрессией, образует периодическую последовательность остатков длиной  $T - 1$ . Остатки образуют псевдослучайную последовательность.

<sup>23</sup> Это единственный случай, когда строго выполняется эргодическая теорема.

#### 4. Смысл скалярного произведения в Гильбертовом фактор пространстве

В квантовой механике, вероятность найти систему в состоянии  $|B\rangle$ , если она находится в состоянии  $|A\rangle$ , определяется квадратом скалярного произведения  $|\langle A|B\rangle|^2$ . В нашей модели это правило приобретает наглядный смысл. В самом деле, если онтологическое пространство  $\Omega$  интерпретировать, как множество элементарных событий, то множество квантовых состояний  $\psi_n$  образует  $\sigma$ -алгебру событий с мерой вероятности  $P \sim \psi_n \psi_n^*$ . То есть, мерой вероятности является скрытое от внутреннего наблюдателя, число онтологических состояний.

Выше мы показали, что скалярное произведение векторов  $|A\rangle$  и  $|B\rangle$  численно равно норме вектора, по которому осуществляется пересечение соответствующих классов ( $|A\rangle$  и  $|B\rangle$ ). Но эта величина и определяет вероятность. Таким образом, вероятность обнаружить систему в состоянии  $|B\rangle$ , если она находится в состоянии  $|A\rangle$ :

$$p \sim K(\{A\} \cap \{B\}) = \langle B|A\rangle \quad (4.1)$$

Здесь  $K\{X\}$  – кардинальное число множества  $\{X\}$ . Учитывая, что:

$$K(\{A\} \cup \{B\}) = K\{A\} + K\{B\} - K(\{A\} \cap \{B\}), \quad (4.2)$$

$$\|C\|^2 = \|A\|^2 + \|B\|^2 - \|A\|\|B\|\cos(\widehat{AB}) \quad (4.3)$$

Получим выражение для угла между векторами состояний:

$$\cos(\widehat{AB}) = \frac{K(\{A\} \cap \{B\})}{\sqrt{K\{A\}K\{B\}}} \quad (4.4)$$

#### 5. Суперпозиция и квантовая фаза

Квантовая механика предполагает актуально одновременное существование компонент суперпозиции. В нашей интерпретации, одновременность понимается, как неспособность наблюдателя различить события, относящиеся к одному и тому же моменту физического времени, но к разным моментам скрытого времени.

Рассмотрим суперпозицию:  $|x\rangle = |x_1\rangle + |x_2\rangle$ . В нашей интерпретации, она описывается орбитой  $L$ , пересекающей, соответствующие ее компонентам, подпространства Рис.2.

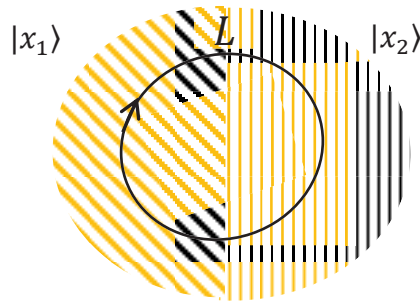


Рис.2 Онтологическая динамика суперпозиции описывается циклической траекторией  $L$ , пересекающей подпространства  $|x_1\rangle$  и  $|x_2\rangle$ , показанные разной штриховкой.

Фазу определим, как  $\varphi = \frac{2\pi}{T_0}t$ , а  $t$  – текущее время,  $T_0$  – время цикла обхода петли.

Что означает относительная фаза в состоянии:

$$|x\rangle = |x_1\rangle + e^{-i\varphi} \cdot |x_2\rangle \quad (5.1)$$

Хотя добавление фазы во второе слагаемое меняет само состояние, но на вероятности она не влияет, поскольку  $\xi_1 = |\langle x_1|x\rangle|^2 = 1$ ;  $\xi_2 = |\langle x_2|x\rangle|^2 = 1$ ; Где  $\xi_1$  и  $\xi_2$  – мощности классов пересечений  $x \cap x_1$  и  $x \cap x_2$  соответственно. На рис. 2 им соответствуют длины пути в подпространствах  $|x_1\rangle$  и  $|x_2\rangle$ . Здесь  $x$ ,  $x_1$  и  $x_2$  – множества интенций, образующих квантовые состояния  $|x\rangle$ ,  $|x_1\rangle$  и  $|x_2\rangle$ , соответственно.

Легко видеть, что если в момент измерения (см. рис. 2) система находится в подпространстве  $|x_1\rangle$ , то мы получим значение  $x_1$ . Если же система находится в области  $|x_2\rangle$ , то мы получим значение  $x_2$ . Таким образом, исход измерения зависит от фазы!

Другими словами, **фаза является тем самым скрытым параметром, который определяет индивидуальный исход измерения.** Неразличимость состояний  $\psi$  и  $e^{i\varphi} \cdot \psi$  в квантовой механике, в том смысле, что они дают одни и те же средние значения наблюдаемых, вовсе не означает их неразличимость на уровне суперселекции. Аналогичная гипотеза рассматривалась в статье [12].

## 6. Принцип неопределенности

В классической, а так же в квантовой механике система описывается парами динамических переменных, например, импульсами и координатами. Их называют канонически сопряженными потому, что они симметрично входят в уравнения Гамильтона. Очевидно, эта структура отражает какую-то особенность нашего мира. Мы покажем, что это следствие субъективной неполноты, которая приводит к факторизации интенционального пространства, и возникновению некоммутируемых физических наблюдаемых. Вспомним, что квантовое состояние является классом эквивалентности неразличимых фаз. Вспомним так же, что в соответствии со свойством преобразования Фурье, имеет место соотношение:  $\psi(p)e^{-ip\delta x} = \hat{F}\psi(x - \delta x)$ . Здесь  $\hat{F}$  – линейный оператор Фурье. То есть, если я наблюдаю  $\psi(p)$  (измеряю импульс), то это состояние соответствует классу фаз, соответствующих не наблюдаемым в моем базисе состояниям  $\psi(x)$ . Обратное, так же верно. То есть, разные фазовые состояния в пространстве с импульсным базисом, соответствуют вполне различимым состояниям в сопряженном (дуальном) пространстве (в данном примере, координатном). Отношение дуальности естественным образом приводит к соотношению неопределенности.

В отличие от соотношения неопределенности для импульса и координаты, соотношение неопределенности – число частиц – фаза:

$$\Delta n \Delta \theta \geq 1 \quad (6.5)$$

не имеет строгого обоснования, поскольку не существует эрмитового оператора фазы. Тем не менее, это соотношение справедливо в приближении больших  $n$  и потому, практически полезно. Часто его обосновывают другим соотношением неопределенности для энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2 \quad (6.6)$$

Однако и это соотношение не имеет строгого обоснования по аналогичной причине. В данном случае – отсутствие оператора времени. Не смотря на это, часто



можно слышать утверждение о том, что фоковские состояния<sup>24</sup> не имеют определенной фазы, основанное именно на соотношениях (6.5) или (6.6). [13]. Но, каким образом фоковское состояние, являющееся просто осцилляторным решением ур-ия Шредингера может не иметь фазы?

В работе [14] авторы пишут «Хорошо известно, что в силу принципа неопределенности Гейзенберна у фоковских состояний с определенным числом фотонов фаза полностью не определена, т.е. находится в состоянии суперпозиции всех возможных ее значений от 0 до  $2\pi$ ». Однако о суперпозиции здесь едва ли можно говорить, учитывая, что фаза, вообще не является квантовым состоянием [15]. В самом деле, фаза не может быть квантовым состоянием, поскольку является структурным элементом последнего. Напомним, что квантовое состояние это класс неразличимых фазовых состояний. В сущности, мы фазу никогда и не измеряем, а измеряем фазозависимые величины, например число фотонов. Поэтому, любая попытка построить оператор фазы, по сути дела, является выходом за пределы компетенции квантовой теории в область метатеоретических конструкций.

## 7. Квантовая динамика

В основу нашего построения (параграф 2) мы положили множество состояний сознания  $S = \{Я_i\}$  и отображение этого множества в себя:  $\phi: S \rightarrow S$ , которое генерирует циклическую подстановку (permutation).  $Я_i \mapsto Я_j \quad Я_j \mapsto Я_k \quad Я_k \mapsto Я_l \mapsto \dots \mapsto Я_m \mapsto Я_i$ . Таким образом, интенции  $\{Я_i, Я_j\}$ , введенные выше, с точки зрения математики являются транспозициями<sup>25</sup>. Тривиальные транспозиции  $Я_i \mapsto Я_i$  мы не рассматриваем. Мы предполагаем здесь, что время дискретно и, что в каждый момент времени осуществляется только одна транспозиция. Это оправдывается тем, что в каждый момент времени, возможно, только одно состояние сознания. То есть, на онтологическом уровне реальности, параллельные процессы исключены. Другими словами, мы предполагаем, что на фундаментальном уровне реальности, наша Вселенная представляет собой последовательный «компьютер» подобный машине Тьюринга.

---

<sup>24</sup> Состояния с определенным числом фотонов

<sup>25</sup> биекция множества в себя, переставляющая местами два элемента этого множества

Квантово-подобные структуры, построенные нами выше на основе поля  $GF(2^3)$  слишком просты, и не позволяют увидеть некоторые важные особенности, свойственные квантовой реальности. Далее мы рассмотрим поле  $GF(5^2)$ .

Рассмотрим, в качестве примера, циклические подстановки на множестве из 5 состояний  $S = \{1,2,3,4,5\}$ . Для удобства будем записывать только индексы. В данном примере возможны 4 нетривиальные подстановки.

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &= \{1,2\}\{2,3\}\{3,4\}\{4,5\}\{5,1\} \\
 \phi_2 &= \{1,3\}\{3,5\}\{5,2\}\{2,4\}\{4,1\} \\
 \phi_3 &= \{1,4\}\{4,2\}\{2,5\}\{5,3\}\{3,1\} \\
 \phi_4 &= \{1,5\}\{5,4\}\{4,3\}\{3,2\}\{2,1\}
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

Множество всех подстановок  $\phi_i$  образует группу подстановок. Например, читатель может убедиться, что  $\phi_1 \times \phi_2 = \phi_3$  и.т.д.

В данном примере множество состояний наблюдателя (состояния сознания)  $S = \{Я_i\}$  образует пространство с базисом из 5 базовых векторов, а множество состояний системы (интенции)  $W = \{Я_i, Я_j\}$  - пространство с базисом из 20 векторов.

Построим, оператор эволюции  $U$ , действие которого на вектор состояния системы (в пространстве интенций), осуществляет последовательность подстановок,

$$\phi_1 \times \phi_2 \times \phi_3 \times \phi_4 \tag{7.2}$$

Это все возможные подстановки на множестве  $S = \{1,2,3,4,5\}$ . Причем произведение, очевидно, представляет тождественную подстановку. Другими словами, эволюция в нашем примере циклична. Оператор эволюции с точностью до перестановки сомножителей в (7.2) имеет вид:

$$\hat{U} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7.3)$$

Так как мы рассматриваем конечные множества, то последовательность не повторяющихся подстановок непременно замыкается в цикл. То есть, существует число  $N$  для которого  $\hat{U}^N = 1$ . В нашем примере  $N=20$ . Так, как каждая итерация совершается в единицу времени, мы запишем рекуррентный закон эволюции:

$$|\psi(t + \delta t)\rangle = \hat{U}|\psi(t)\rangle \quad (7.4)$$

$\psi$  – здесь вектор состояния в 20-мерном пространстве  $W$ . Оператор  $\hat{U}$ , как легко проверить, унитарен  $\hat{U}\hat{U}^* = I$ .<sup>26</sup>

Итак, в нашем «игрушечном» мире из 5 состояний сознания мировая или (онтологическая) динамика описывается поворотом единичного вектора в 20 мерном бинарном пространстве. Если мы хотим получить динамику для внутреннего наблюдателя, то мы должны спроецировать эту мировую динамику на подпространство состояний сознания (гильбертово проективное пространство) с помощью оператора редукции (3.2). Орбита, генерируемая (7.4) имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{начало} &\mapsto \{1,2\}\{2,3\}\{3,4\}\{4,5\}\{5,1\} \mapsto \{1,3\}\{3,5\}\{5,2\}\{2,4\}\{4,1\} \mapsto \\ &\mapsto \{1,4\}\{4,2\}\{2,5\}\{5,3\}\{3,1\} \mapsto \{1,5\}\{5,4\}\{4,3\}\{3,2\}\{2,1\} \mapsto \text{в начало} \end{aligned} \quad (7.5)$$

<sup>26</sup> Это свойство матриц из 0 и 1, таких, что в каждой строке и столбце имеется только одна 1.

Она представляет собой Эйлеров цикл<sup>27</sup> на ориентированном графе из 5 вершин и 20 ребер.

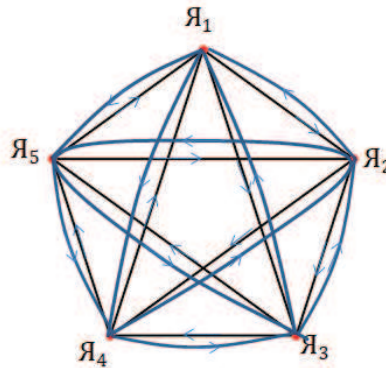


Рис.5

Итак, с точки зрения внешнего наблюдателя (объективно) **мировой цикл** (7.5) имеет длину 20 итераций и распадается на 4 группы подстановок  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  (в (7.2) мы их отделили стрелками). В каждой из этих групп реализуются все возможные состояния наблюдателя  $Я_1, Я_2, Я_3, Я_4, Я_5$ . Это означает, что каждая из подстановок  $\phi_i$  (см.(7.1)) описывает полный **физический цикл** Вселенной, состоящий из 5 итераций.

Здесь важно отметить то, что **физическое или субъективное время** (время, которое определяется сменой состояний сознания субъекта) оказывается вырождено по **объективному времени** (детерминируется динамикой мирового цикла). Последнее означает существование в рассматриваемой модели скрытого времени (см. выше). Другими словами, это означает, что каждый нулевой интервал физического времени имеет скрытую (не различимую субъектом) длительность.

Так, как группы  $\phi_i$  являются фрагментами мирового цикла (здесь 20 итераций), назовем их **эпохами**. Рассмотрим, для примера, состояние сознания  $|Я_1\rangle$ . Из этого состояния возможны 4 перехода в другие состояния сознания:

$$\begin{aligned}
 |Я_1\rangle &\rightarrow |Я_2\rangle \text{ в эпохе 1} \\
 |Я_1\rangle &\rightarrow |Я_3\rangle \text{ в эпохе 2} \\
 |Я_1\rangle &\rightarrow |Я_4\rangle \text{ в эпохе 3} \\
 |Я_1\rangle &\rightarrow |Я_5\rangle \text{ в эпохе 4}
 \end{aligned}
 \tag{7.6}$$

<sup>27</sup> Путь на графе, который проходит по каждому ребру (в одном направлении) только один раз.

Но так, как субъект (внутренний наблюдатель) не знает, в какой эпохе он находится, то он, не может знать в какое состояние он перейдет в следующий момент времени. Хотя, с точки зрения внешнего наблюдателя, его будущее детерминировано эволюцией (7.4). Это положение вещей, конечно же, является следствием субъективной неполноты, подробно рассмотренной выше. Для него (внутреннего наблюдателя) все его копии в разных эпохах, вследствие полной неразличимости, «сшиваются» в одного наблюдателя, обладающего субъективной свободой выбора. Таким образом, в отличие от теории Эверетта, где в каждом мировом слое имеется свой наблюдатель, у нас наблюдатель один, но он представляет собой «сшивку» самого себя, «живущего» в разные эпохи. Квантовая механика, не вникая в детали, описывает это суперпозицией ветвей эволюции. Здесь мы вновь видим базовую структуру квантовой механики. В самом деле, состояние  $|Я_1\rangle$  (см. 7.6) здесь является классом неразличимых фазовых состояний.

## 8. Реинтерпретация модели Эверетта. Мультихронос.

Проекционный постулат фон-Неймана вносит в теоретический аппарат квантовой механики эклектический элемент, разрушающий исходное изящество и простоту теории (см. проблема коллапса). Эверетт показал, что исправить положение можно, включив наблюдателя в квантово-механическое описание [1]. Эверетт предполагал, что это избавит теорию от эклектики и сделает описание унитарным. Соответствующая интерпретация названа многомировой или Эвереттовской.

Положим  $|Я\rangle$  начальное состояние наблюдателя. Предположим так же, для простоты, что окружение (мир) находится в суперпозиции двух состояний  $|R\rangle = |R_1\rangle + |R_2\rangle$ . Например, это мир, в котором мы наблюдаем за спином электрона, который, в базисе наблюдателя, может иметь всего два значения  $+\hbar/2$  и  $-\hbar/2$ . Состояние системы до взаимодействия, очевидно описывается тензорным произведением:  $|Я\rangle|R\rangle$ . После взаимодействия, которое сводится к некоей унитарной эволюции, состояние системы становится запутанным (entangled):

$$|Я\rangle|R\rangle \xrightarrow{U} |Я_1\rangle|R_1\rangle + |Я_2\rangle|R_2\rangle \quad (8.1)$$

Здесь следует обратить внимание на то, что состояния  $|Я_1\rangle$  и  $|Я_2\rangle$  макроскопически различимы. То сеть, после взаимодействия наблюдатель  $|Я\rangle$  расщепляется на две своих копии  $|Я_1\rangle$  и  $|Я_2\rangle$ . Одна из которых измерила  $\hbar/2$ , а другая  $-\hbar/2$ . Согласно Эверетту, именно это и происходит в реальности – мир при каждом акте взаимодействия расщепляется на множество параллельных миров (здесь 2 мира), в соответствии со спектром наблюдаемой. Каждый из этих миров снабжен своим наблюдателем, и все они существуют актуально одновременно. Вот, как описывает это сам Эверетт: «Таким образом, с каждым последующим наблюдением (или взаимодействием), наблюдатель «ветвится» во множество различных состояний. Каждая ветвь представляет собой иной результат измерения и соответствующего собственного состояния системы объекта. Все **ветви существуют одновременно** (наш курсив) в суперпозиции после любой данной последовательности наблюдений». Очевидно, что проблема измерения при этом остается не решенной, поскольку остается без ответа вопрос – почему, для меня, реализовался этот результат, а не другой? Таким образом, проблема измерения переносится в сферу метафизических спекуляций<sup>28</sup>. На рис.6 приведен граф дерева эвереттовского расщепления<sup>29</sup>.

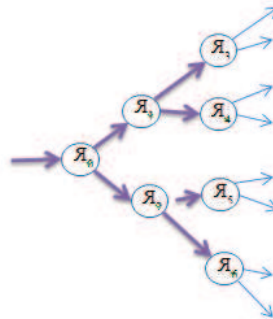


Рис.6 Расщепление наблюдателя в теории Эверетта

Выше мы показали, что природа суперпозиции, на онтологическом уровне описания реальности, состоит в том, что система **последовательно** во времени посещает компоненты суперпозиции. Но эти моменты времени субъектом не различимы (см. скрытое время). Это понимание открывает возможность совсем

<sup>28</sup> В самом деле, достаточно спросить, кто же из этих наблюдателей Я?

<sup>29</sup> На рисунке для простоты изображены только бинарные расщепления.

другой интерпретации Эвереттовского расщепления. Мы предположим, что все возможные ветви эволюции (компоненты мировой суперпозиции) система проходит последовательно, так, как это показано на рисунке 7. Жирными стрелками здесь показана объективная траектория наблюдателя в пространстве состояний сознания (или в пространстве квантовых состояний). Пройдя один из возможных путей, система возвращается к исходному состоянию, чтобы пройти его вновь, но по-другому пути.

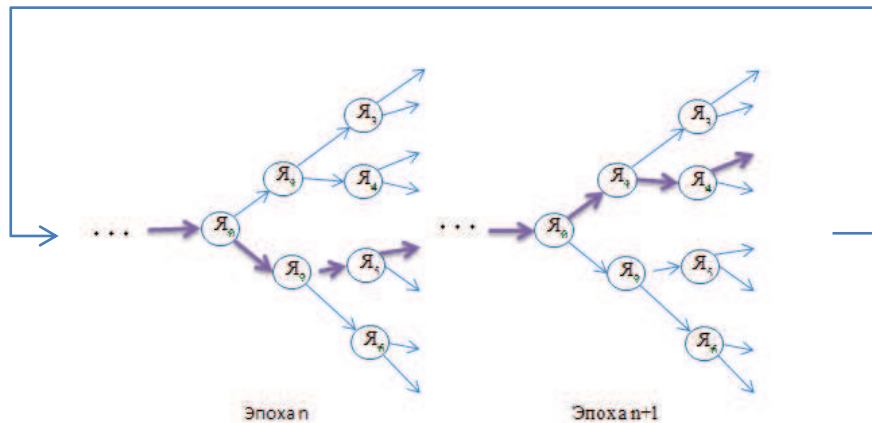


Рис.7. В модели «мультихроноса» расщепление наблюдателя отсутствует.

И происходит это до тех пор, пока все возможности не будут исчерпаны. В рассмотренном выше примере, имеет место 4 эпохи. Такую структуру мы, по аналогии с мультиверсом Эверетта, назовем **мультихроносом**. Если все эпохи мультихроноса Рис.7 наложить друг на друга, то мы получим мультиверс Эверетта (рис.6). Возможность такого «наложения» легитимируется субъективной неразличимостью эпох для внутреннего наблюдателя. «Мультихрональное» описание переходит к «Эвереттовскому», при переходе от внешнего наблюдателя к внутреннему. Последнее можно рассматривать, как проявление принципа соответствия.

Если теория строится на конечном поле, то цикличность и детерминированность эволюции системы получает очевидное обоснование. Полный цикл Вселенной  $T_0$ , как динамической системы, назовем временем «объективного» возврата

Пуанкаре<sup>30</sup>. Для непрерывного спектра имеет место теорема [16], утверждающая, что если  $\Psi(x, 0)$  волновая функция в некоторый момент времени  $t=0$ , а  $\varepsilon$  – малое положительное число, то найдется момент времени  $t = T_\varepsilon$  для которого  $|\Psi(x, 0) - \Psi(x, t)| < \varepsilon$ . В случае дискретного спектра неизбежность такого возврата очевидна.

Этот интервал времени доступен только внешнему «объективному» наблюдателю, имеющему достаточно ресурсов для измерения столь больших интервалов времени. Как мы показали выше, наблюдатель, являющийся частью системы (субъективный наблюдатель), за время  $T_0$  неоднократно возвращается в любое из своих состояний. Этот период возврата мы назовем «субъективным» возвратом Пуанкаре  $T_\varepsilon < T_0$ . Таким образом, полное время существования Вселенной  $T_0$  складывается из конечного числа эпох (субъективных циклов возврата). Примером может служить часовой механизм, в котором за время одного цикла (возврат всего механизма в исходное состояние), минутная шестеренка 12 раз возвращается в свое исходное состояние.

Мультитхрональная реинтерпретация теории Эверетта заменяет весьма контр-интуитивную и противоречивую картину ветвления вселенной с ее «many minds» парадоксами, интуитивно понятной картиной последовательной реализации альтернатив. Может возникнуть вопрос, на который теория Эверетта не имеет ответа, - почему при бросании монеты я оказался в мире, где выпал «орел», а не «решка»? Ответ на этот вопрос состоит в том, что сейчас я нахожусь в той эпохе, где закономерно (то есть в соответствии с детерминированной эволюцией Мира) выпал «орел». В следующий раз, когда я буду жить в другой эпохе, так же закономерно выпадет «решка». Таким образом, концепция мультитхроноса эффективно снимает проблему суперселекции.

Важнейшим моментом для правильного понимания «мультитхрональной» интерпретации квантовой механики, является понимание принципиальной неспособности внутреннего наблюдателя различать эпохи. Это приводит к тому, что неразличимые моменты времени в каждой из эпох, наблюдатель «сшивает» в актуально существующее настоящее, а единственным проявлением такой сшивки оказывается субъективная свобода выбора и существование квантовой случайности. Спиноза писал: «Люди сознают свое желание, но не знают причин, коими они детерминируются». Теперь мы знаем, что неспособность человека знать

---

<sup>30</sup> Название дано по аналогии с Теоремой Пуанкаре о возвращении.



эти причины фундаментальна,- это физическая неполнота, обусловленная онтологическим статусом наблюдателя – быть частью целого.

Рассматриваемая нами модель, «препарирующая» скрытый механизм суперпозиции и на этой основе объясняющая суперселекцию, может служить лишь дидактической цели, прояснения сущности квантовых законов. Она никак не может быть использована для практической цели предсказания исходов измерений.

Но вернемся к вопросу об изоморфизме аппарата квантовой механики и нашего «игрушечного» квантового мира, построенного над полем Галуа. Полноценный анализ этой проблемы мы оставим на будущее. Здесь же заметим, что востребованность комплексных чисел в квантовой механике, по всей видимости, связана с топологией нашего мира. А именно, с тем, что наш мир, по всей видимости, представляет собой замкнутое компактное многообразие. Комплексные же числа образуют группу  $U(1)$ , и поэтому, хорошо приспособлены для описания глобальных движений на таком многообразии. Поля Галуа, имея топологию  $S^1$ , могут служить дискретным аналогом комплексных чисел и, поэтому, являются естественной базой для описания квантовых процессов.

Итак, мы пришли к пониманию проективного характера физической реальности, из чего, в частности, следует квантовая механика. Проективная сущность квантовой реальности не достаточно отрефлексирована сегодня и законы квантовой механики воспринимаются, как базовые законы природы, не имеющие под собой каких – либо более глубоких оснований.

Мы показали, что проективная структура пространства квантовых состояний, и следующий из этого специфический квантовый формализм, являются следствием **фундаментальной физической неполноты**<sup>31</sup>. В этом смысле, квантовая механика со всей ее «магией» и «spooky action», это теория внутреннего наблюдателя. Для гипотетического внешнего наблюдателя действовала бы детерминированная квази - механика.

## Обсуждение

---

<sup>31</sup> Так мы называем неполноту, перенесенную из математической логики на физический мир. Конечно, вопрос допустимости такого переноса остается открытым.

В связи с нашим рассмотрением нельзя не упомянуть работы г.т.Хофта [17], в которых он разрабатывает свой оригинальный подход к вопросам обоснования квантовой механики и свободы воли. Хофт рассматривает модели типа «cogwheels» - это модели в которых физическая система представляется закольцованным пространством состояний. Хофт сторонник супердетерминизма. Физический мир для него - большой механизм, в котором имеет место глобальная «зацепленность» всех его частей. Этим, в частности, объясняются квантовые корреляции. Состояния этого «механизма», которые Хофт называет онтологическими, образуют гильбертово пространство с некоторым специальным базисом. Хофт недооценивает ключевой роли наблюдателя. Квантовую неопределенность он связывает с неполнотой нашего знания начальных условий.

Мы, так же, как и Хофт, считаем, что на фундаментальном, онтологическом уровне реальности имеет место детерминированная динамика и, соответственно, существует объективный фактор, определяющий исход измерения. Однако, в отличие от Хофта, для которого мир объективен, вне зависимости от того, кто и как его наблюдает, для нас принципиально важна точка зрения наблюдателя (онтологическая система координат). Как мы уже говорили, с точки зрения внутреннего наблюдателя, фактор, определяющий исход измерения, не обнаружим. Поэтому, причина суперселекции может рассматриваться, либо, как случай (копенгагенская интерпретация), либо, как акт рефлексии (гипотеза РКЭ - расширенная концепция Эверетта, предложенная М.Б.Менским). В любом случае, этот скрытый фактор, в соответствии с принципом наблюдаемости<sup>32</sup>, не принадлежит физической реальности субъективного наблюдателя. Напомним, что Менский в своей расширенной концепции Эверетта формализует феномен<sup>33</sup> сознания, отождествляя его с разделением альтернатив. То есть, сознание есть выбор. И, следовательно, сознания нет, когда нет выбора. Это, конечно, не объясняет феномен сознания, но дает способ включить его в теорию.

В отличие от расширенной концепции Эверетта, оставляющей проблему измерения на откуп будущим поколениям, наш подход вскрывает

---

<sup>32</sup> С этим принципом тесно связан принцип Джорджа Беркли «*esse est percipi*». Существовать значит быть воспринимаемым.

<sup>33</sup> «Феномен сознания» следует воспринимать, как фигуру речи, поскольку сознание не есть феномен. Сознание – источник феноменов.

примордиальный механизм суперселекции и роль в нем сознания. Кроме того, он дает оригинальный способ моделирования вероятности в рамках детерминистской физики.

Из нашего рассмотрения вытекает относительность сознания (в смысле Менского). В самом деле, так же, как длина стержня, вследствие Лоренцева сокращения<sup>34</sup>, оказывается зависящей от системы отсчета наблюдателя. Точно так же, субъект может обладать свободой выбора, а значит и сознанием, будучи внутренним наблюдателем (субъективно), но, в то же время, быть «унитарно-детерминированной» механической куклой для внешнего наблюдателя (объективно). Это понимание обесценивает все физикалистские рассуждения о сильном искусственном интеллекте<sup>35</sup>, или о механизмах сознания, базирующихся на квантовых вычислениях. Аналогичная ситуация рассматривается в известном мысленном эксперименте с другом Вигнера. Časlav Brukner из Венского технического университета показал, что не возможно построить совместную вероятность для Вигнера и его друга. Это означает, что в квантовой механике факты имеют смысл только по отношению к наблюдателю [18]. По сути дела, это означает субъективность физической реальности. Об этом же свидетельствует мысленный эксперимент, предложенный **Frauchiger and Renner**. В его основе лежит усложненная схема известного парадокса «друга Вигнера». Эксперимент строится таким образом, что предположение об объективном существовании наблюдателей немедленно приводит к противоречию. Единственным разумным выходом из него, сохраняющим универсализм квантовой механики<sup>36</sup>, является интерпретация Эверетта.

## Литература

1. *Everett H. III*, Rev. Mod. Phys.,**29**,454 (1957)

---

<sup>34</sup> Кажущиеся противоречия СТО исчезают, если понять, что ее утверждения имеют значение только в отношении конкретных, зависящих от наблюдателя процедур измерения.

<sup>35</sup> Гипотеза сильного искусственного интеллекта предполагает возможность создания физического устройства, обладающего субъективным опытом.

<sup>36</sup> Универсализм квантовой механики предполагает ее применимость не только к микро, но и к макромиру.

2. *Rovelli C.* Relational quantum mechanics // International Journal of Theoretical Physics. 1996. Vol. 35. No. 8. P. 1637–1678
3. *Bell J. S.* On the Einstein Podolsky Rosen Paradox (англ.) // Phys. Phys. Fiz. / P. W. Anderson, B. T. Matthias — Pergamon Press, 1964. — Vol. 1, Iss. 3. — P. 195—200.
4. *S. Kochen and E.P. Specker*, "The problem of hidden variables in quantum mechanics", Journal of Mathematics and Mechanics 17, 59-87 (1967).
5. *М.Б.Менский.* Успехи физических наук. «Обзоры актуальных проблем. Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов», Июнь 2000 г., Том 170. №6
6. *Ф. Масилло, Дж. Сколаричи, С. Соццо.* Собственные смеси против несобственных: на пути к кватернионной квантовой механике. ТМФ, 2009, том 160, N 1, стр 157–167
7. *David H. Wolpert* (2008). "Physical limits of inference". Physica D. 237 (9): 1257–1281. arXiv:0708.1362. Bibcode:2008PhyD..237.1257W. doi:10.1016/j.physd.2008.03.040. full text
8. *Felix M. Lev.* Quantum Theory and Galois Fields. arXiv.org > hep-th > arXiv:hep-th/0605294
9. *Xiaodong Chen* "A New Interpretation of Quantum Theory. Time as Hidden Variable". Department of Physics, University of Utah, Salt Lake City, UT 84112 (March 29, 2000)
10. P.V. Kurakin, G.G. Malinetsky, Toy quantum mechanics with hidden variables. Keldysh Institute of Applied Mathematics (KIAM) Russian Academy of Sciences Moscow, Miusskaya sq., 4.
11. *Арнольд В. И.* Динамика, статистика и проективная геометрия полей Галуа. —М.: МЦНМО, 2005. — 72 с
12. *Steven Peil.* Proposed Test of Relative Phase as Hidden Variable in Quantum Mechanics,. Foundations of Physics 42(12) · February 2013
13. *Belinsky A V, Klyshko D N.* Laser Phys. 6 1082 (1996)
14. А.В. Белинский, А.А. Клевцов «Нелокальный классический реализм» и квантовая суперпозиция как отсутствие определенных значений физических величин до момента измерения», УФН, том 188, N3, 2018г.
15. Ю.И. Воронцов. Фаза осциллятора в квантовой теории. Что это такое «на самом деле»? УФН, том 172, N8. 2002г
16. *P. Bocchieri and A. Loinger,* Quantum Recurrence Theorem. Phys. Rev. 107, 337

17. *Gerard 't Hooft*. The Ontology Conservation Law as an Alternative to the Many World Interpretation of Quantum Mechanics., arXiv.org > quant-ph > arXiv:1904.12364
18. *Časlav Brukner*. A No-Go Theorem for Observer-Independent Facts. *Entropy* 2018, 20(5), 350; <https://doi.org/10.3390/e20050350>