

Субъективные основания квантовой механики

Каминский А.В.

Редукционистский подход предполагает возможность получить сознание из физических законов. Однако, до сих пор, такие попытки не увенчались успехом. В настоящей работе я рассматриваю возможность обратного подхода, и показываю, как на основе формализованного представления о сознании получить квантовую механику.

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 субъективна¹. То есть, она возникает, как конфигурационная модель для внутреннего наблюдателя² (субъекта). Эта догадка не нова. Эверетт первым понял необходимость включить наблюдателя в теорию [1]. Он построил многомировую

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

² Внутренним наблюдателем называют наблюдателя, являющегося частью замкнутой системы.

интерпретацию квантовой механики MWI (Many-worlds interpretation или relative state formulation), которая была призвана решить основной концептуальный 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.

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. Для простоты, не снижая общности выводов, которые будут сделаны, допустим, что, как сам наблюдатель, так и его окружение являются q -битами. $|Я_1\rangle = |\uparrow\rangle$, $|Я_2\rangle = |\downarrow\rangle$

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

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

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| = \begin{pmatrix} c_1c_1^* & 0 & 0 & c_1c_2^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_2c_1^* & 0 & 0 & c_2c_2^* \end{pmatrix} \quad (1.2)$$

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:

$$\rho_{\text{я}} = \text{Tr}_{\text{Env}}|\psi\rangle\langle\psi| = \begin{pmatrix} c_1c_1^* & 0 \\ 0 & c_2c_2^* \end{pmatrix} \quad (1.3)$$

Вследствие субаддитивности³ энтропии, $S(\rho_{\text{я}}) > S(\rho)$. Это означает, что знание внутреннего наблюдателя, выражающееся матрицей плотности (1.3) неполно. Здесь символом Tr_{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 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 субъекта⁴. Однако, эта неполнота не фундаментальна, и в принципе устранима. В данном случае, мы можем не знать 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

³ Субаддитивность свойство энтропии запутанных систем A и B, выражающееся неравенством $S(A, B) \leq S(A) + S(B)$.

⁴ Это понимание, восходит еще к Лапласу и Спинозе.

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 числами⁵. 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 «объективно⁶» 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, что квантовое описание возникает, как реляционное по отношению к внутреннему наблюдателю.

Полезно обратить внимание на то, что подобная аналогия имеет место 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 такую последовательность не может быть записан числом символов меньшим, чем сама последовательность. Это означает, что для внутреннего наблюдателя, ресурсы которого ограничены числом состояний 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.

⁵ N - q -битная система описывается в $2(2^N - 1)$ - мерном проективном гильбертовом пространстве.

⁶ То, что увидел бы внешний наблюдатель.

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 **субъективной⁷ или физической неполноты** вероятно, может получить строгое обоснование при переносе на физический мир фундаментальных теорем математической логики, сформулированных для формальных систем⁸. 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 сознания⁹. 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

⁷ Относящейся к субъекту (внутреннему наблюдателю)

⁸ 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].

⁹ Интенцией в психологии называют направленность сознания на объект или действие.

выше примере с q -битами, имеет место ситуация неполноты. Будем считать, что множество интенций $Y_{i,j} = \{Y_i, Y_j\}$ образует базис интенционального пространства¹⁰. 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 Subj , по определению, доступны только его собственные состояния. Это означает, что объект Obj для него принципиально не наблюдаем (трансцендентен). Важно понимать, что физической реальностью для внутреннего наблюдателя является именно коррелят¹¹ объекта, представленный состояниями субъекта Subj , а не сам объект 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 важнейшим фактором, определяющим характер физических законов, является конфигурационный онтологический статус внутреннего наблюдателя (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»¹². Для него не существовало бы непознаваемых, скрытых объектов и он легко мог бы предсказать исход любого события. Но такого «демиургического» наблюдателя, по-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.

¹⁰ Иногда мы будем называть его онтологическим базисом.

¹¹ Объект Obj в полной мере соответствует Кантовской абстракции «вещь в себе»

¹² Перефразировано известное высказывание Эйнштейна.

Любое изменение состояния сознания Y_i мы интерпретируем, как переход между физическими состояниями. Но изменение физических состояний обязательно происходит во времени¹³. 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, то есть, существование некоей онтологической динамики супервентной по отношению к физической динамике квантовых состояний, 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.

Далее, следуя духу Уиллеровского минимализма «it from bit»¹⁴, рассмотрим, в качестве примера, трехмерное Евклидово пространство W над расширенным

¹³ Аристотель справедливо считал, что время определяется изменением вещей. В самом деле, время, мы измеряем, исключительно путем сравнения одного движения с другим.

¹⁴ Доктрина, предложенная Джоном Арчибалдом Уиллером, заключающаяся в том, что физическая реальность на самом глубоком онтологическом уровне не материальна, и является булевой информационно - теоретической средой.

полем Галуа $GF(2^3)$ ¹⁵. Это поле классов вычетов по модулю некоторого простого полинома. Векторные пространства над $GF(2)$ это пространства с двоичным базисом $e_i = \{0,1\}$. 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)	φ_0
x^0	1	(001)	φ_1
x^1	x	(010)	φ_2
x^2	x^2	(100)	φ_4
x^3	$x + 1$	(011)	φ_3
x^4	$x^2 + x$	(110)	φ_6
x^5	$x^2 + x + 1$	(111)	φ_7
x^6	$x^2 + 1$	(101)	φ_5

Табл.1

Любой вектор в таком пространстве можно представить линейной комбинацией базисных векторов: $e_i = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_4\}$

$$\varphi = \sum_1^3 a_i e_i; \quad a_i \in GF(2) \quad (2.2)$$

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

$$\begin{array}{ccc} \{XXX\} & & (2.3) \\ \swarrow \quad \searrow & & \\ \text{Subj} & \text{Obj} & \end{array}$$

¹⁵ 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.

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

$$\varphi_a - \varphi_b \in Obj; \quad \varphi_a, \varphi_b \in W \quad (2.4)$$

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

$$|\psi_i\rangle \equiv \{\varphi_{i,1}, \varphi_{i,2}, \dots, \varphi_{i,N_i}\} \quad (2.5)$$

Здесь $\varphi_{i,j}$ означает j -ый интенциональный вектор, принадлежащий классу i . $|\psi_i\rangle$ - класс интенций, который образует i -е физическое (квантово-подобное) состояние. Пространство классов интенций образует фактор пространство физических состояний. В нашем примере мы имеем 2 класса эквивалентности, содержащие по 4 интенциональных вектора $|\psi_0\rangle = \{0XX\}$ и $|\psi_1\rangle = \{1XX\}$, где $X \in \{0,1\}$.

Или подробнее: $\{\psi_0\} = \{\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\}$ и $\{\psi_1\} = \{\varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7\}$. Они образуют двухмерное гильбертово фактор пространство $\mathcal{H} = |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle$.

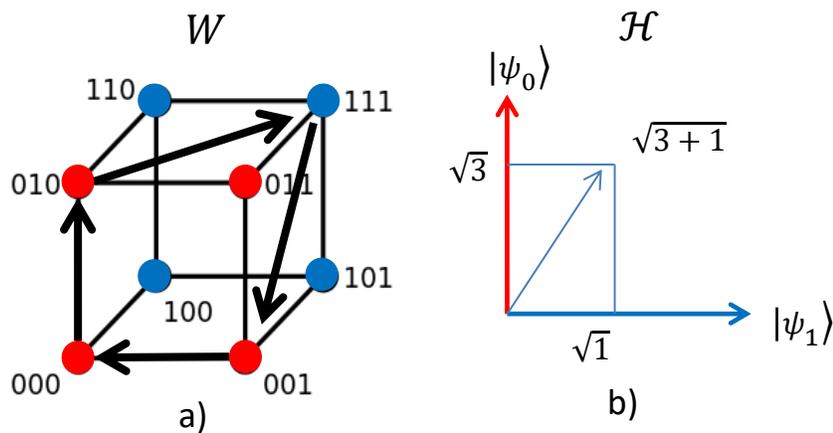


Рис.1 а) Пространство интенций W , и его фактор-пространство б) являющееся гильбертовым пространством квантовых состояний. Классы эквивалентности выделены красным и синим цветами.

Рассмотрим траекторию $\varphi_i = \varphi(t_i)$, описывающую возможную эволюцию системы в пространстве W . Такая траектория может быть описана путем на полном¹⁶ графе (рис.1а). Здесь граф образован вершинами двоичного куба. В качестве примера мы рассмотрим орбиту, проходящую через 4 вершины из 8. К. Шеннон рассматривал функцию, как вектор в пространстве ее отсчетов¹⁷. Аналогично, мы можем рассматривать путь на графе $\varphi(t_i)$, как вектор в пространстве Ω размерности 2^N , базисом которого являются векторы из W . В нашем примере $N=3$ это будет 8-мерное пространство с базисом (см. табл.1):

$$\{\Omega\} = \{\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \} \quad (2.6)$$

Будем рассматривать это множество, как пространство элементарных событий [11], тогда множество всех его подмножеств $\mathcal{E} = \mathcal{P}(\Omega)$ ¹⁸ образует σ -алгебру¹⁹ событий. Вероятностное пространство над такой алгеброй $\mathcal{H} = (\Omega, \mathcal{E}, P)$ ²⁰ является прототипом гильбертова пространства квантовой механики. Мы будем рассматривать подалгебру $\mathcal{E}' \in \mathcal{E}$ σ -алгебры, удовлетворяющую свойству:

$$|\varpi_i| = \chi, \text{ где } \varpi_i \in \mathcal{E}' \quad (2.7)$$

Здесь прямыми скобками обозначены кардинальные числа множеств. χ – кардинальное число базового класса интенций (размерность пространства объекта **obj**). В нашем примере $\chi=4$. Это условие эквивалентно нормализации вектора состояния в квантовой механике. Вероятность состояния сознания (квантового состояния), определим, как неотрицательную аддитивную нормированную меру, заданную над σ -алгеброй. В соответствии с этим, вероятность квантового состояния ψ :

$$P(\psi) = \frac{|\psi|}{|\Omega|} \quad (2.8)$$

¹⁶ Граф в котором каждая вершина соединена с каждой. Чтобы не загромождать рисунок, мы изобразили только грани куба.

¹⁷ Речь идет от дискретном представлении функции.

¹⁸ \mathcal{P} – здесь булеан.

¹⁹ σ -алгебра - алгебра множеств, замкнутая относительно операций объединения и дополнения.

²⁰ P – здесь – вероятностная мера.

3. Суперпозиция

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: $|\psi\rangle = \frac{|\psi_0\rangle + |\psi_1\rangle}{\sqrt{2}}$. В нашей интерпретации, она описывается циклической орбитой в пространстве W , пересекающей, подпространства $\{\psi_0\} = \{\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\}$ и $\{\psi_1\} = \{\varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7\}$. Фазу определим, как $\varphi = \frac{2\pi}{T_0}t$, а t – текущее время, T_0 – время цикла обхода петли. Неразличимость состояний ψ 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]. Таким образом, **Фаза является тем самым скрытым параметром, который определяет индивидуальный исход измерения.**

В нашем простом примере (рис.1 b)) суперпозиция:

$$|\psi\rangle = \frac{\langle\psi_0|\psi\rangle|\psi_0\rangle + \langle\psi_1|\psi\rangle|\psi_1\rangle}{\sqrt{\chi}} \quad (3.1)$$

является элементом проективного гильбертова пространства. Проекции на базисные состояния²¹ дают амплитуды:

$$\langle\psi_0|\psi\rangle = \sqrt{|\{\psi_0\} \cap \{\psi\}|} \quad \text{и} \quad \langle\psi_1|\psi\rangle = \sqrt{|\{\psi_1\} \cap \{\psi\}|} \quad (3.2)$$

Где: $\{\psi_0\} = \{\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2\}$ и $\{\psi_1\} = \{\varphi_7\}$. Соответственно, нормированные вероятности:

$$\frac{|\langle\psi_0|\psi\rangle|^2}{|\langle\psi|\psi\rangle|^2} = \frac{3}{4} \quad \text{и} \quad \frac{|\langle\psi_1|\psi\rangle|^2}{|\langle\psi|\psi\rangle|^2} = \frac{1}{4} \quad (3.3)$$

²¹ Как видно, роль скалярного произведения здесь играет пересечение множеств.

Пространство интенций Ω можно интерпретировать, как структуру главного расслоения над базой квантовых состояний. В соответствии с этим, вектор $|\psi\rangle$ можно представить суммой тензорных произведений:

$$|\psi\rangle = |\psi_0\rangle \otimes |\xi_0\rangle + |\psi_1\rangle \otimes |\xi_1\rangle \quad (3.4)$$

Здесь векторы $|\psi\rangle \in \Omega$, $|\psi_0\rangle, |\psi_1\rangle \in Subj$, $|\xi_0\rangle, |\xi_1\rangle \in Obj$. Нужно иметь в виду, что компоненты вектора $|\psi\rangle$ принадлежат двоичному полю и, поэтому, квадрат нормы вектора будет равен длине траектории, выраженной в числе интенций $\langle\psi|\psi\rangle \in \mathbb{Z}$. Комплексное сопряжение на поле Галуа заменяется обратными элементами поля. Чтобы найти среднее значение наблюдаемой \hat{X} в состоянии $|\psi\rangle$ нужно вычислить величину:

$$\bar{x} = \frac{\langle\psi|\hat{X}|\psi\rangle}{\langle\psi|\psi\rangle} \quad (3.5)$$

Проекционный оператор \hat{x} в своем собственном представлении имеет вид:

$$\hat{x} = x_1 \sum_{i=1}^4 |i\rangle\langle i| + x_2 \sum_{i=5}^8 |i\rangle\langle i| \quad (3.6)$$

Получим: $\bar{x} = 3/4 \cdot x_1 + 1/4 \cdot x_2$

4. Правило Борна

В рассматриваемой модели орбита системы в W «замечает» подпространства, соответствующие тем или иным квантовым состояниям $|\psi_i\rangle$. Так возникает квантовая суперпозиция. В каком именно квантовом состоянии находится система в каждый момент времени, определяется оператором²², отображающим текущий вектор $|\psi\rangle \in W$ на фактор - пространство физических состояний $|\psi_i\rangle \in Subj$:

$$\hat{R}|\psi\rangle \mapsto |\psi_i\rangle \quad (4.1)$$

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

²² Не путать с проекционными операторами квантовой механики.

суперселекции). Это каноническое суръективное отображение²³ множества W на фактор-пространство W/P ,

$$\hat{R}: W \rightarrow W/P \quad (4.2)$$

Очевидно, операция такого проецирования может быть доступна только внешнему наблюдателю, не ограниченному условиями неполноты. Для внутреннего наблюдателя доступно только вероятностное описание, даваемое проекционным постулатом фон-Неймана.

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 прогрессии²⁴ на поле Галуа [13]. Таким образом, мы можем ввести вероятность по аналогии с классической эргодической теорией:

$$P = \lim_{\theta \rightarrow \infty} \frac{\theta_i}{\theta} \quad (4.3)$$

Где θ_i - время пребывания системы в классе соответствующем состоянию $|\psi_i\rangle$, а θ текущее время. По сути, здесь мы имеем дело с тривиальным случаем эргодичности на конечных полях²⁵.

5. Принцип неопределенности

В классической, а также в квантовой механике система описывается парами динамических переменных, например, импульсами и координатами. Их называют

²³ Эта отображение называют каноническим, поскольку оно определяется в теории множеств.

²⁴ 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 длины $T - 1$. Остатки образуют псевдослучайную последовательность.

²⁵ Это единственный случай, когда строго выполняется эргодическая теорема.

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:

$$\Delta n \Delta \theta \geq 1 \quad (5.1)$$

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:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2 \quad (5.2)$$

Однако и это соотношение не имеет строгого обоснования по аналогичной причине. В данном случае – отсутствие оператора времени. Несмотря на это, часто можно слышать утверждение о том, что фоковские состояния²⁶ не имеют определенной фазы, основанное именно на соотношениях (5.1) или (5.2). [14]. Но, каким образом фоковское состояние, являющееся просто осцилляторным решением уравнения Шредингера, может не иметь фазы?

²⁶ Состояния с определенным числом фотонов

В работе [15] авторы пишут «Хорошо известно, что в силу принципа неопределенности Гейзенберга у фоковских состояний с определенным числом фотонов фаза полностью не определена, т.е. находится в состоянии суперпозиции всех возможных ее значений от 0 до 2π ». Однако о суперпозиции здесь едва ли можно говорить, учитывая, что фаза, вообще не является квантовым состоянием [16]. 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 мета-теоретических конструкций.

6. Обсуждение и выводы

Как мы показали выше, предположение о детерминированной онтологической динамике на конечном множестве состояний сознания в условиях неполноты, приводит к квантово-подобной модели. Квантовая динамика является проекцией динамики в гильбертовом N - мерном пространстве, описываемой уравнением Шредингера, на проективное многообразие размерности $N-1$. Онтологическая динамика в N - мерном гильбертовом пространстве (пространство однородных координат) скрыта от внутреннего наблюдателя. Фундаментальная недоступность ее наблюдения, аналитически выражающаяся в форме глобальной фазовой симметрии $\psi \rightarrow \psi' = e^{i\varphi} \cdot \psi$, в нашей интерпретации, является следствием субъективной неполноты (см. часть 1).

Квантовая механика является полной теорией для внутреннего (субъективного) наблюдателя. Поэтому, рассматриваемая модель, «препарирующая» квантовую механику, может служить лишь дидактической цели, прояснения ее сущности.

Мы показали, что проективная структура пространства квантовых состояний, и следующий из этого специфический квантовый формализм, являются следствием **фундаментальной физической неполноты** (см. выше). В этом смысле, квантовая механика со всей ее «магией» и «spooky action», это теория внутреннего наблюдателя. Гипотетический внешний наблюдатель никакой квантовой механики не обнаружил бы. Для него действовала бы детерминированная квази - механика.

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. Однако, Хофт недооценивает ключевой роли наблюдателя. Квантовую неопределенность, следуя традиции, восходящей к Демокриту, он связывает с неполнотой нашего знания начальных условий.

Мы, так же, как и Хофт и Эйнштейн считаем, что на фундаментальном, онтологическом уровне реальности имеет место детерминированная динамика и Бог не играет в кости. Однако, в отличие от Хофта и Эйнштейна для которых мир объективен, вне зависимости от того, кто и как его наблюдает, для нас принципиально важна точка зрения наблюдателя (онтологическая система координат).

Менский в своей расширенной концепции Эверетта (РКЭ) формализует феномен²⁷ 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 физиков, наш подход вскрывает примордиальный механизм суперселекции и дает оригинальный способ обоснования квантовой механики в рамках детерминистской физики.

Из нашего рассмотрения вытекает относительность сознания. Субъект, будучи внутренним наблюдателем, может обладать свободой выбора, а значит и сознанием, но, с точки зрения внешнего наблюдателя (объективно), он будет, всего лишь, детерминированной механической куклой.

Это понимание обесценивает все физикалистские рассуждения о сильном искусственном интеллекте²⁸, и открывает новый взгляд на проблему сознания.

²⁷ «Феномен сознания» следует воспринимать, как фигуру речи, поскольку сознание не есть феномен. Сознание – источник феноменов.

²⁸ Гипотеза сильного искусственного интеллекта предполагает возможность создания физического устройства, обладающего субъективным опытом.

Литература

1. *Everett H. III*, Rev. Mod. Phys.,**29**,454 (1957)
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. *Колмогоров А. Н.* Основные понятия теории вероятностей. М., ГНТИ, 1936
12. *Steven Peil*. Proposed Test of Relative Phase as Hidden Variable in Quantum Mechanics., Foundations of Physics 42(12) · February 2013
13. *Арнольд В. И.* Динамика, статистика и проективная геометрия полей Галуа. —М.: МЦНМО, 2005. — 72 с
14. *Belinsky A V, Klyshko D N*. Laser Phys. 6 1082 (1996)
15. *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.
16. *Ю.И. Воронцов*. Фаза осциллятора в квантовой теории. Что это такое «на самом деле»? УФН, том 172, N8. 2002г
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