

# Самореферентный мир Д.А. Уилера

*Каминский А.В.*

Рассматривается гипотеза, согласно которой квантовая механика является описанием реальности с точки зрения внутреннего наблюдателя. То есть, наблюдателя, являющегося субъектом и объектом наблюдения одновременно. Идея восходит к работам Д.А. Уилера [1,2], где он утверждал, что мир не может быть полностью объяснен извне, и должен быть включен в процесс наблюдения. Не претендуя на всеобщность, мы строим простую модель, демонстрирующую возникновение КМ в указанной самореферентной структуре. Вывод - квантовая реальность — это эмерджентный феномен, в картине мира внутреннего наблюдателя.

## 1. Введение

Квантовая механика – эмпирическая теория. Ее основания до сих пор вызывают споры, а большое количество интерпретаций свидетельствует о неудовлетворенности ученых положением дел, что мотивирует их на продолжение поисков более глубокой теории, о которой говорил Эйнштейн [3].

Отсутствие хотя бы минимальных успехов редукционистских подходов к решению проблемы сознания, с одной стороны, и затянувшийся кризис в поисках оснований КМ с другой, намекает на то, что обе «трудные проблемы»<sup>1</sup> связаны [4].

Вигнер одним из первых понял, что аппарат КМ оперирует не с внешним миром, а с состояниями сознания наблюдателя [5]. А это означает, что сознание должно быть формализовано и включено в физическую теорию. Такой шаг очень труден для физика, поскольку это шаг к субъективизму. А. Линде по этому поводу говорил: «Кажется, что мы имеем дело с чем-то очень-очень важным, о чём мы, в общем-то, не начали даже думать» [6].

С открытием КМ наблюдатель из пассивного свидетеля превратился в активного деятеля, формирующего реальность. Джон Арчибальд Уилер, в связи с этим, предложил вместо слова "наблюдатель", использовать слово "участник". Известное высказывание Уилера: "observers are necessary to bring the universe into being" свидетельствует о его глубоком убеждении в фундаментальной роли наблюдателя в мироустройстве. Еще дальше в понимании природы наблюдателя продвинулся его ученик Хью Эверетт III, осознав, что нет никакого коллапса, а соответственно, нет связанных с ними противоречий, - есть только динамика квантовых состояний. Позднее М.Б. Менский предложил расширенную концепцию Эверетта, [7,8], в которой отождествил селективное измерение с сознанием. Он считал сознание физическим свойством,

---

<sup>1</sup> Здесь отсылка к термину «*hard problem of consciousness*», введенному Дэвидом Чалмерсом в 1995 году.

которым обладает лишь живая материя. Этот подход лежит в редукционистском нарративе, и не проясняет главное – почему и как это свойство связано с квантовой механикой?

В настоящей работе мы рассмотрим возможность обратного подхода. Мы покажем, как получить квантовую механику, основываясь на формализованном представлении о сознании.

## 2. Онтология квантовой механики

Сформулируем базовую структуру и аксиоматику модели. В ее основу положим конечное множество состояний абстрактного наблюдателя, которые формально будем называть - состояниями сознания. Состояния сознания будут базовым примитивом нашего построения. Благодаря этому, наша модель ультимативно фоно-независима ("background independence"). В самом деле если наблюдатель (его «Я»), становится частью математической структуры, то сама эта структура будь то поле, группа, или пространство, становится для него физической реальностью. Таким образом, в рамках этой статьи состояния сознания мы отождествляем с физическими состояниями. Например, предикативное высказывание  $P(x)$ , означающее «иметь координату  $x$ », описывает соответствующее состояние сознания, которое принимает значения из Булева множества:  $\{0,1\}$ .

Рассмотрим конечное множество состояний сознания:  $S = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\}$ . Текущее состояние сознания всегда направлено на объект (в нашем случае – на другое состояние сознания). Это свойство сознания Ф. Brentano (Franz Brentano) называл интенциональностью. Интенциональные отношения образуют упорядоченные пары  $\{\psi_i, \xi_j\}$ , где  $\psi_i, \xi_j \in S$ . Первый элемент в скобках означает текущее состояние сознания. Далее интенциональные пары состояний сознания мы будем называть онтологическими состояниями.

В духе Уилеровской (John Archibald Wheeler) идеологии «it from bit» рассмотрим  $N^2$ -мерное двоичное пространство онтологических состояний  $\Omega$ . Его базис:

$$|\zeta_k\rangle \cong \{\psi_i, \xi_j\}; \quad i, j = 1, 2 \dots N, \quad k = (i - 1) \times n + j. \quad (2.1)$$

Здесь мы перешли к сквозной нумерации базиса. Более строго, определим его, как нормированное по Хеммингу двоичное пространство над полем  $\mathbb{Z}_2$  со скалярным произведением, определенным как  $\langle u_k | v_k \rangle = \sum u_k v_k$ . В таком пространстве норма любого вектора численно равна числу ненулевых проекций  $\|u\|_H = \langle u_k | u_k \rangle$ . Поскольку  $\|u\|_H \notin \mathbb{Z}_2$ , то норма здесь должна пониматься в узком смысле, как функция, возвращающая число ненулевых компонентов.

Вектор в онтологическом пространстве  $\Omega$  представим линейной комбинацией базисных векторов:

$$|\Phi\rangle = \sum_1^{N^2} a_k |\zeta_k\rangle; a_k \in \mathbb{Z}_2 \quad (2.3)$$

Будем считать, что онтологический базис упорядочен в некоем фундаментальном онтологическом времени. Если рассматривать вектор  $|\Phi\rangle$ , как набор компонент, соответствующих разным моментам времени, то по смыслу он описывает эволюцию системы в онтологическом времени. Позже мы выясним физический смысл онтологического времени. Сейчас же отметим только то, что онтологическое время является мерой времени внешнего наблюдателя, тогда, как физическое время, которое мы измеряем часами – мерой времени внутреннего наблюдателя.

Восприятие мира внутренним наблюдателем (субъектом) по определению ограничено его текущим состоянием сознания. Поэтому, такой наблюдатель не различает онтологические состояния  $\{\psi_i, \xi_j\}$  с одним и тем же текущим состоянием сознания  $\psi_i$  и разными  $\xi_j$ . Это положение вещей мы будем называть физической или субъективной неполнотой. Термин «субъективность» здесь не несет психологическую или философскую коннотацию, и означает лишь то, что ситуация неполноты имеет место по отношению к внутреннему наблюдателю, то есть, субъекту. Формально неполнота может быть выражена соотношением эквивалентности:

$$\{\psi_i, \xi_j\} \sim \{\psi_i, \xi_k\}, \text{ где } i, j, k = 1, 2 \dots N \quad (2.4)$$

Эта эквивалентность является основанием для факторизации онтологического пространства  $\Omega$  по признаку «субъективной неразличимости»:

$$Subj := \Omega / \sim \quad (2.5)$$

Итак, состояния сознания (они же физические состояния) описываются классами неразличимых онтологических состояний, которые образуют пространство классов эквивалентности с базисом:  $|\psi_i\rangle \cong \{\psi_i, \sim\}; i = 1, 2 \dots N$ .

Во-избежание не верного понимания рассматриваемой здесь структуры, подчеркнем, что мы факторизуем пространство  $\Omega$  по базису, поэтому мы имеем тензорное произведение  $\Omega = Subj \otimes Obj$  и, соответственно:  $\dim(\Omega) = \dim(Subj) \cdot \dim(Obj)$ . Здесь через  $Obj$  мы обозначили интенциональную копию  $Subj$ .

Пусть  $\hat{P}_k$  – проектор онтологического пространства  $\Omega$  на подпространство класса  $\Phi_k = \{\psi_k, \sim\}$ , соответствующего  $k$ -му состоянию сознания. Ниже станет понятно, что класс  $\Phi_k$  в квантовой механике соответствует  $k$ -му собственному значению наблюдаемой. Действуя оператором  $\hat{P}_k$  на произвольный вектор  $|\Phi\rangle$ , получим вектор проекции на это подпространство:  $|\Phi_k\rangle = proj_{\Phi_k}(|\Phi\rangle) = \hat{P}_k|\Phi\rangle$ . Этот вектор лежит в подпространстве класса эквивалентности  $\Phi_k$ , и неотличим от других векторов того же класса. Однако, его

норма  $\|\Phi_k\|_H$ , равная числу ненулевых проекций определяет вес состояния  $|\psi_k\rangle$  в фактор пространстве состояний сознания. Фактор-пространство Subj, определенное выше, не обязано «наследовать» структуру исходного векторного пространства. Поэтому, расширим поле над которым строится фактор-пространства от исходного  $\mathbb{Z}_2$  до  $\mathbb{Z}_p$ , где  $p$ - простое, и снабдим это пространство дискретной манхэттенской метрикой  $\rho(r, s) = \sum |r_i - s_i|$ , где базисные координаты  $r_i, s_i \in \mathbb{Z}_N$ . Тогда произвольный вектор в фактор пространстве можно представить в виде:

$$|\psi\rangle = \sum \|\Phi_k\|_H \cdot |\psi_k\rangle \quad (2.6)$$

Несмотря на то, что в строгом математическом смысле мы имеем дело с модулем над кольцом  $\mathbb{N}$ , для простоты, мы продолжим пользоваться термином – «пространство». Чтобы привести наш формализм в соответствие с формализмом КМ, достаточно переписать (2.6) в виде:

$$|\psi\rangle = \sum \sqrt{n_k} \cdot |\psi_k\rangle \quad (2.7)$$

Где  $n_k = \|\Phi_k\|_H$  – число отличных от нуля проекций вектора  $|\Phi_k\rangle$ . Поскольку Евклидову метрику на поле  $\mathbb{Z}_p$  ввести нельзя, коэффициенты  $\sqrt{n_k}$  следует понимать не как действительные числа в алгебраическом смысле, а как характеристические функции, которые возвращают число ненулевых проекций.

Важно отметить, что и в формализме КМ, и в нашей модели пространством состояний является пространство классов субъективно неразличимых (скрытых) состояний. У нас этими скрытыми состояниями являются онтологические состояния, а в КМ – неразличимые фазовые состояния  $\psi \sim \psi \cdot e^{i\varphi}$ . Однако, если мы мощности (кардиналы) классов онтологических состояний связываем с квантовыми амплитудами, то КМ происхождение амплитуд не поясняет, а с эквивалентными фазовыми состояниями не связывает никакого физического содержания. Ниже мы покажем, что онтологические состояния играют роль квантово-механической фазы.

Подобие этих математических объектов наводит на мысль, что проективная структура Гильбертова пространства КМ обязана своим происхождением, рассматриваемой нами физической неполноте. Ведь именно неполнота, как мы показали, неизбежно приводит к существованию скрытых параметров. В свою очередь, неполнота приводит к фундаментальным эпистемическим ограничениям для внутреннего наблюдателя. Поскольку состояния сознания мы отождествляем с физическими состояниями, то эпистемические ограничения становятся, так же, физическими и выражаются, в частности, в принципе неопределенности Гейзенберга. Здесь уместно вспомнить формальный аргумент Дэвида Вулперта (David Hilton Wolpert), утверждающий, что для любого интеллекта в принципе невозможно знать все о вселенной, частью которой он является [9].

### 3. Онтологическая динамика

Аристотель связывал меру времени с «изменением вещей» [10]. За этим стоит очень важное понимание того, что не «вещи» меняются в некоем потоке абсолютного времени, а время и есть ни что иное, как изменение «вещей». Мы всегда судим о времени, наблюдая за изменением чего-либо. У нас нет другого способа измерить время. Следуя Аристотелю, будем считать, что любое наблюдаемое изменение состояний системы происходит в физическом времени. Существование внеположных сознанию процессов, то есть принципиально не наблюдаемых процессов, существенно отличает КМ от классической механики. Примером не наблюдаемой динамики в КМ может служить стационарное состояние. В стационарном состоянии среднее наблюдаемой  $\langle \psi | \hat{x} | \psi \rangle$  не зависит от физического времени, тогда, как сама волновая функция осциллирует в онтологическом времени (см. выше). В нашей модели, этой ситуации соответствует неподвижный вектор (2.3) в онтологическом пространстве  $\Omega$ .

Неподвижный вектор  $|\Phi\rangle \in \Omega$  описывает онтологическую эволюцию, то есть, движение системы в онтологическом времени. Учитывая, что онтологические состояния сгруппированы в классы эквивалентности  $\Phi_k = \{|\psi_k\rangle \otimes |\sim\rangle\}$ , время пребывания системы в каждом из классов определяется числом не равных нулю проекций вектора  $|\Phi\rangle$  на подпространство  $\Phi_k$   $k$ -го собственного значения наблюдаемой. Это число и определяет коэффициенты в формуле (2.7), описывающей суперпозицию. В отличие от КМ, предполагающей актуально одновременное существование компонент суперпозиции, в рассматриваемой модели одновременность интерпретируется, как неспособность наблюдателя различать события, относящиеся к разным моментам онтологического времени, но одному и тому же моменту физического времени.

Разные моменты онтологического времени несмотря на то, что, они физически неразличимы, отличаются фазой, и поэтому любое квантовое состояние в любой заданный момент физического времени вырождено по фазе.

Если квантовое состояние представляет собой суперпозицию, то результат измерения (осознавания), будет зависеть от фазы. Поэтому, вырождение по фазе создает основу для многомировой интерпретации (MWI). Мы не станем здесь углубляться в эту тему, поскольку она требует отдельного рассмотрения.

Чтобы получить динамику в физическом времени, будем поворачивать вектор  $|\Phi\rangle \in \Omega$  в физическом времени. В общем случае, эволюцию вектора можно записать рекуррентным уравнением:

$$|\Phi_t\rangle = [\hat{U}]^t \cdot |\Phi_0\rangle \quad (3.1)$$

Где  $\hat{U}$  – унитарный оператор эволюции, действующий в пространстве  $\Omega$ ,  $t$  – дискретное физическое время. Матрица  $\hat{U}$  из группы подстановок (симметрическая группа  $S_N$ ) размерности  $N^2 \times N^2$  осуществляет пермутацию базиса. Это наиболее общий закон динамики на конечном поле. Поскольку детерминированная эволюция на конечных

пространства циклична, то есть:  $|\Phi_{t+N}\rangle = |\Phi_t\rangle$ , и наше построение основывается на конечных полях, мы можем для удобства перейти к изоморфному полю корней из 1:

$$|\Phi_t\rangle = e^{-i\hat{H}t}|\Phi_0\rangle \quad (3.2)$$

Здесь векторы  $|\Phi\rangle$  переопределены в базисе дискретного преобразования Фурье. Динамика квантовых состояний, будучи супервентна над детерминированной онтологической динамикой не является детерминированной в указанном выше смысле, поскольку каноническое<sup>2</sup> фактор отображение  $\hat{R}: \Omega \rightarrow S$ , которое формализует редукцию (коллапс) квантового состояния, суръективно. Отсюда следует важное понимание относительности коллапса. Коллапс имеет место только для внутреннего наблюдателя, тогда, как объективно (с точки зрения внешнего гипотетического наблюдателя) эволюция системы детерминирована, и не испытывает никаких скачков или разрывов.

С точки же зрения внутреннего наблюдателя переходы между наблюдаемыми состояниями имеют вероятностный характер. Сами же вероятности, при этом, подчиняются детерминированной динамике точно так же, как в КМ. Кроме детерминизма должна иметь место эргодичность онтологической динамики. Только в этом случае вероятность может быть определена, как предел:

$$P = \lim_{\theta \rightarrow \infty} \frac{\theta_i}{\theta} \quad (3.3)$$

Где  $\theta_i$  - время пребывания системы в классе, соответствующем состоянию  $|\psi_i\rangle$ , а  $\theta$  текущее онтологическое время.  $\theta_{max} = N^2$ , поэтому бесконечность здесь понимается условно, как достаточно большое  $N$ . Для внутреннего же наблюдателя с числом состояний сознания  $N$ , число онтологических состояний несчетно  $N^2 \cong \infty$ , поэтому предел (3.3) становится строгим. Эргодичность на конечных пространствах может быть обоснована правдоподобной гипотезой о равномерности геометрической прогрессии на поле Галуа [11]. В некотором роде, эта гипотеза эквивалентна постулату статистической физики о равновероятности всех допустимых микросостояний. Основываясь на этом допущении, правило Борна в нашем случае легко получить простым подсчетом проекций вектора эволюции  $|\Phi\rangle$  на подпространства наблюдаемых.

#### 4. Правило Борна

Будем рассматривать многообразие  $\Omega^x \in \Omega$  образуемое векторами  $|\Phi\rangle \in \Omega$  с нормой  $\langle \Phi | \Phi \rangle = N$ , где  $N = \dim(Obj)$ . В рамках аксиоматической теории вероятностей, пространство  $\Omega^x$  можно рассматривать, как пространство элементарных исходов (atomic event or simple event) [12]. Множество проекций  $proj_{\Phi_i}(|\Phi\rangle)$  вектора  $|\Phi\rangle$  на

---

<sup>2</sup> Эта отображение называют каноническим, поскольку оно определяется в теории множеств.

подпространства соответствующих наблюдаемых образует событие. Каждое событие удовлетворяет условию нормировки:

$$\sum_1^N \|proj_{\Phi_i}(|\Phi\rangle)\|^2 = N \quad (4.1)$$

Следует обратить внимание, что термин «событие» здесь соответствует понятию неселективного измерения "nonselective measurement". То есть, ситуации, когда результат измерения не осознан, и поэтому может быть описан только распределением вероятностей. Множество всех возможных событий образует  $\sigma$ -алгебру событий  $\mathcal{E}$ . Пространством событий будет тройка:

$$\mathcal{H} = (\Omega^x, \mathcal{E}, P) \quad (4.2)$$

где  $P$  – вероятностная нормированная мера, которую определим следующим образом:

$$P(x_i) = \frac{1}{N} \langle \Phi | \hat{P}_i | \Phi \rangle = \frac{1}{N} \langle \Phi | \begin{pmatrix} 0 & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & 0 & & & \\ & & & \begin{matrix} \diagup & & \diagdown \\ 1 & & i \\ & \ddots & \\ & & 1 \\ & & & 0 & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & 0 \end{matrix} & & \\ & & & & & & & & & & \end{pmatrix} | \Phi \rangle = \frac{1}{N} \langle \Phi_i | \Phi_i \rangle = \frac{n_i}{N} \quad (4.3)$$

Здесь  $P_i$  – вероятность селективного измерения, соответствующего классу  $\{\Phi\}_i$ .  $\hat{P}_i$  – онтологический проекционный оператор, соответствующий собственному значению наблюдаемой, который мы ввели ранее. Для наглядности проектор мы представили в виде матрицы. Проектор в КМ в случае невырожденных состояний содержит на диагонали всего одну единицу. В нашем случае число единиц в группе  $i$  определяется размерностью подпространства класса эквивалентности.

Авторов многочисленных интерпретаций КМ беспокоит так называемая проблема предпочтительного базиса. Вопрос ставится так - почему при измерении квантовая система "выбирает" одно определённое состояние вместо того, чтобы оставаться в суперпозиции нескольких состояний? Или, другими словами, почему наш мир выглядит классическим?

В контексте нашей модели, которая направлена на поиски оснований КМ, более чем на ее интерпретацию, этот вопрос теряет смысл, поскольку выбор осуществляет не система, а наблюдатель, ограниченный конечным множеством состояний сознания. И то, что он наблюдает – то и объявляет базисом. Другими словами, базис не существует априорно, он сам назначается наблюдателем. Рассуждения о суперпозиции при этом носят контрафактический характер.

## 5. Выводы:

В последнее время все чаще делаются попытки включить наблюдателя в ткань физической теории. Следует отметить близость рассматриваемого нами подхода к реляционной интерпретации Ровели (RQM) [14], отвергающей понятие абсолютного независимого наблюдателя, а также к работам [15, 16], по форме очень близким нашему подходу, где авторы *ad hoc* привносят в свои рассуждения идею неразличимости сознательным агентом (наблюдателем) близких «микросостояний», и на этой основе получают правило Борна. Девид Хоффман, аналогично нашему подходу, прибегает к обратному редукционизму, пытаясь получить квантовую механику из сознания [17].

В настоящей работе мы показали, как на основе формализованного представления о сознании получить квантовую механику. В нашей модели, наблюдателем является абстрактный субъект, наблюдающий сам себя. По форме, это напоминает «Participatory Universe» Д.А.Уилера [2], однако, акцент делается на самореференции, которая в случае конечных систем, по аналогии с Геделевскими ограничительными теоремами, порождает «физическую неполноту». В результате чего мир для внутреннего наблюдателя приобретает не классические свойства, которые описываются квантовой механикой.

## Литература

1. John Archibald Wheeler (1990). *A Journey Into Gravity and Spacetime*. Scientific American Library. New York: W.H. Freeman. ISBN 0-7167-6034-7
2. John Archibald Wheeler with Kenneth Ford. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. Published by W.W. Norton and Company
3. A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen., *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* *Phys. Rev.* **47**, 777 – Published 15 May 1935
4. D. Song. *Einstein's Moon*. *Physics – Uspekhi* 55 (9) (2012)
5. E.P. Wigner, *The scientist speculates - An anthology of Partly-Baked ideas*, ed. I.J. Good (Heinemann, London 1961) p. 284
6. Andrey Linde. *Theory of the inflationary Universe, or the theory of the Multiverse*. Lecture on June 10, 2007, Moscow, Lebedev Physical Institute
7. M. B. Mensky, *Quantum mechanics: New experiments, new applications and new formulations of old questions*, *Physics-Uspekhi*, 43, 585-600, 2000



8. M. B. Mensky, "Postcorrection and mathematical model of life in Extended Everett's concept", *NeuroQuantology*, vol. 5, pp. 363–376, 2007
9. David H. Wolpert (2008). "Physical limits of inference". *Physica D*. 237 (9): 1257–1281. [arXiv:0708.1362](https://arxiv.org/abs/0708.1362). doi:10.1016/j.physd.2008.03.040. *full text*
10. Aristotle's *Physics*, book 4 (Oxford: Oxford Clarendon Press 1983)
11. V. I. Arnold, *Dynamics, Statistics and Projective Geometry of Galois Fields*,. Cambridge University Press 2011
12. A. N. Kolmogorov., *Foundations of the Theory of Probability*,. Chelsea Publishing Company 1950
13. A. Heslot, "Quantum mechanics as a classical theory", *Phys, Rev. D*31, 1341–1348 (1985)
14. C. Rovelli: "Relational Quantum Mechanics"; *International Journal of Theoretical Physics* 35; 1996: 1637–1678; [arXiv:quant-ph/9609002](https://arxiv.org/abs/quant-ph/9609002)
15. S. Saunders. Branch-counting in the Everett interpretation of quantum mechanics. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A*, 477(2255):20210600, 2021
16. O.C. Stoica. «Born rule: quantum probability as classical probability»., [arXiv:2209.08621v5 \[quant-ph\]](https://arxiv.org/abs/2209.08621v5) 12 Jan 2023
17. Hoffman DD and Prakash C(2014) Objects of consciousness. *Front. Psychol.* 5:577. doi:10.3389/fpsyg.2014.00577