

## В поисках информационной интерпретации квантовой механики

*Мамчур Е.А.*

**Аннотация:** Статья посвящена проекту создания информационной интерпретации квантовой механики. Авторы проекта Дж.Баб, Дж.Хартле, А. Цайлингер, М.Зуковски, Р. Спеккенс и др. Предполагается, что эта интерпретация поможет решить ряд проблем, с которыми столкнулась стандартная интерпретация. Стимулировали выдвижение проекта два момента: 1) появление новой области технологических инноваций, сделанных на основе квантовой теории информации (КТИ) - квантовых компьютеров, квантовой криптографии, квантовой телепортации и 2) убеждение многих физиков в том, что информационная интерпретация уже существовала в истории физики: в качестве таковой выступала ранняя версия копенгагенской интерпретации, разрабатываемая в свое время Н.Бором.

Обосновано, что критика противников информационного поворота в сфере интерпретации квантовой теории, согласно которой этот поворот ведет к усилению позиций антиреализма в современной науке, не верна. Противники поворота смешивают два различных понятия информации – то, которым оперирует Дж.А.Уилер и то, которым оперировала ранняя (боровская) версия копенгагенской интерпретации. Упускается из вида, что уилеровская информация имела отношение к онтологическому аспекту рассмотрения проблемы и касалась вопроса о природе реальности, в то время как боровская касалась эпистемологического ракурса проблемы.

К усилению антиреализма (к имматериализму) ведет онтологическая версия истолкования понятия информации (уилеровская), но не боровская, имеющая отношение к эпистемологии.

**Ключевые слова:** информационная интерпретация, квантовая теория информации, антиреализм.

---

В последние годы наблюдается рост интереса к информационной трактовке квантовой механики. Одна из причин – появление весьма успешных технологических достижений квантовой информатики, которое проявляется в создании новых технологических новаций: квантовых компьютеров, квантовой телепортации, квантовой криптографии. Вторая причина – в том, что многие исследователи связывают с информационной интерпретацией надежды на то, что она поможет разрешить трудности стандартной интерпретации квантовой теории. Ведь несмотря на то, что квантовая механика является очень продуктивной и прекрасно работающей теорией, до сих пор нет общепризнанной ее интерпретации, принимаемой всеми исследователями.

В настоящее время наиболее распространенной является копенгагенская интерпретация. На втором месте находится многомировая (эвереттовская), затем боровская и далее, с большим отрывом по такому показателю как число сторонников, все остальные многочисленные истолкования теории. Но в последние два десятилетия XXв. в сфере интерпретации начал проявляться интерес к созданию информационной интерпретации квантовой теории. Такая мысль прозвучала в частности, на 14-ом Международном Конгрессе по логике, методологии и философии науки (Франция, Нанси, 19-26 июня, 2011), в нескольких

выступлениях. Специально этому вопросу был посвящен доклад американского философа науки Джеффри Баба (J.Bub).

На поле исследований проблемы интерпретации квантовой механики, появился новый игрок – квантовая теория информации (КТИ). Для квантовой механики она выступает как прикладное знание. Это еще не наука, а скорее область исследований, причем находящаяся в стадии становления. На основе КТИ разрабатываются упомянутые выше технологические приложения. Без КТИ разработка этих приложений была бы невозможна.

Но когда говорят об информационной интерпретации, имеют в виду не только практический интерес: высказываются надежды, что она сможет способствовать выработке адекватной и интуитивно приемлемой интерпретации квантовой механики, которая стала бы общепризнанной, положив конец давно ведущимся в этой области дискуссиям. Ставится вопрос: «Что мы можем узнать о квантовой физике, используя понятие информации?»<sup>1</sup> Доклад Дж. Баба на упомянутом конгрессе был озаглавлен так: “Einstein and Bohr meet Alice and Bob”<sup>2</sup> (где Alice и Bob – условные персонажи при обсуждении квантово-информационных технологий) что, очевидно, и выражает суть ожиданий.

Насколько, однако, сами эти ожидания оправданы? И на чем они основываются? Сначала попробуем ответить на второй вопрос, следуя многочисленным авторам, среди которых есть как приверженцы, так и противники информационной интерпретации<sup>3</sup>.

### ***Что лежит в основании пробуждения интереса к информационной трактовке квантовой механики?***

Сторонники разработки информационной интерпретации основываются на том, что уже существовала интерпретация квантовой теории, главным действующим лицом которой являлась информация. Это копенгагенская интерпретация в ее ранней (боровской) версии. Она была сформулирована в 1922-1927 гг. Н.Бором, В.Гейзенбергом (позиция Гейзенберга была сложнее и не во всем совпадала с Боровской) и др.<sup>4</sup> В это время был уже построен математический формализм квантовой теории и выдвинут ряд принципов, которые можно было охарактеризовать как интерпретацию этого формализма. Конечно, все это было только началом, потом эта интерпретация дотраивалась, многократно обсуждалась, в результате чего превратилась в конгломерат различных концепций и взглядов. Да уже и на ранней стадии существования копенгагенской интерпретации историки науки фиксируют отсутствие полного единства взглядов между ее авторами и приверженцами. Никакого совместного текста, подготовленного ее главными создателями, который мог бы свидетельствовать о совпадении их мнений, представлено не было. Напротив, при знакомстве с тем, что до сих пор считается ранней и радикальной версией копенгагенской интерпретации, бросается в глаза, что ее авторы не всегда были согласны друг с другом, и даже в своих собственных высказываниях не всегда были последовательными.

<sup>1</sup> По материалам конференции «Квантовая физика и природа реальности», 26-29 сентября 2010, Оксфорд. <http://www.physics.ox.ac.uk/polkinghorne2010/home.shtml>

<sup>2</sup>Bub J. “Einshtein and Bohr meet Alice and Bob”// Vol. of Abstract 14-th Kongress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, July 19-26, 2011 Nancy (France) p. 4

<sup>3</sup> На 14 Конгрессе среди приверженцев и сторонников были J.Bub. “Einshtein and Bohr meet Alice and Bob”// Vol. of Abstract 14-th Kongress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, July 19-26, 2011 Nancy (France) p. 4 ; Spekkens Robert The Invasion of physics by Informational Theory, Op.cit, P. 12 ; Zukovski Marek , Bell’s Theorem and EPR correlation, Op.cit, P, 12. Среди противников были такие исследователи как Tait Morgan. The case for quantum state realism // Op.cit, P. 249 and others.

<sup>4</sup> Bohr N. Atomic Physics and Human Knowledge. N.Y, 1958. Heisenberg W. Daedalus, **87**, 95, 1958

С позиции ранней версии копенгагенской интерпретации то, что в квантовой механике характеризуется как состояние квантовой системы, не имеет отношения к реальному миру, а представляет собой лишь наши знания, информацию, полученную в процессе измерения квантовых систем. Много позже приверженец этих взглядов Дж.Б.Хартле выразил эту установку так: «(Квантовое) состояние это не объективное свойство индивидуальной квантовой системы, а информация, добытая из знания о том, как система была подготовлена, и как она может быть использована для того, чтобы делать предсказания относительно будущих измерений»<sup>5</sup>. Такую же, «информационную» природу имеет, с точки зрения Хартле, и центральное для копенгагенской интерпретации понятие «редукция волнового пакета». «Редукция, пишет Хартле, происходит в сознании наблюдателя, и не потому, что здесь осуществляется некий уникальный физический процесс, а потому, что состояние квантовой системы является конструктом наблюдателя, а не объективным свойством физической системы»<sup>6</sup>. Такой же точки зрения придерживался и В.Гейзенберг, один из авторов ранней версии копенгагенской интерпретации. Он избегал таких слов как «коллапс волновой функции», предпочитая говорить о волновой функции как представляющей собой наше знание о системе, а коллапс трактовал как «скачок» волновой функции в новое состояние. Этот скачок характеризует изменение в нашем знании, совершающееся тогда, когда некоторый феномен регистрируется экспериментатором (совершается акт наблюдения).

Короче, с позиции ранних копенгагенцев квантовая механика не о внешнем, объективном мире, а о той информации, которую мы получаем в результате измерения параметров квантовых систем. Именно в этом состоял основной дух этой версии копенгагенской интерпретации. Фактически это был взгляд Бора, под сильным влиянием которого находились все его ученики. Среди них – В.Гейзенберг, Д.Мермин, Р.Пейерлс, Дж.А.Уилер, А.Цайлингер и др.

Как утверждал Ааге Петерсен – исследователь философских взглядов Бора, «Когда у Бора спрашивали, может ли алгоритм квантовой механики рассматриваться как в какой-то мере отражающий лежащий в основе квантовый мир, Бор отвечал: «Нет никакого квантового мира. Есть только абстрактное квантово-физическое описание. Неверно думать, что задача физики состоит в том, чтобы открывать, что собой представляет природа. Физику интересует, что мы можем сказать о природе».<sup>7</sup>

Эта позиция Бора находилась в полном согласии с его утверждениями о том что « все мы подвешены в языке». «Традиционная философия приучила нас рассматривать язык как нечто вторичное, а реальность как нечто первичное, – писал Петерсен. Бор рассматривал этот подход к взаимоотношению между языком и реальностью как непродуктивный. Когда ему говорили, что фундаментальным является не язык, но сама реальность, лежащая в основании языка, Бор отвечал: «Мы так подвешены в языке, что не можем сказать, что есть верх, а что низ. Слово «реальность» является также только словом, которое мы должны научиться употреблять правильно»<sup>8</sup>. Заметим, что мнение Бора в данном случае перекликается с точкой зрения современного космолога С.Хокинга, утверждающего: «Реальность (понятий – *Е.М.*) – это не то качество, которое можно проверить с помощью лакмусовой бумажки. Все что мне нужно – это чтобы теория предсказывала результаты измерений».

Позиция Бора, Хартле, также как и позиция Хокинга называется инструментализмом. Бор не был идеалистом, он не отрицал существования электронов и других элементарных частиц. Известный физик академик М.А.Марков цитирует высказывание другого отечественного физика (Л.А.Слива), некоторое время стажировавшегося в Копенгагене в

<sup>5</sup> Hartle J.B. Quantum mechanics of individual systems // American Journal of Physics, V.36, № 8, 1968, p. 709.

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> Petersen A. The Philosophy of Niels Bohr. // Niels Bohr. A centenary volume. Ed. By A.P.French and P.J.Kennedy, Cambridge University Press, 1985, P. 305

<sup>8</sup> Op.cit. P. 302

Институте Нильса Бора. Когда Слив задал Бору вопрос, считает ли он, что микрообъект, например электрон, существует объективно вне нашего сознания, Бор, по его словам, даже не сразу понял вопрос. Но, поняв, он ответил: «Как же иначе ... конечно, существует объективно, вне нашего сознания»<sup>9</sup>. Для Бора микрообъекты были кантовской вещью в себе. Правда, в отличие от Канта, Бор мало интересовался тем, что собой представляет эта вещь в себе. Его интересовали результаты измерений и возможность на их основе делать успешные предсказания.

Между тем, уже на ранней стадии становления квантовой механики среди копенгагенцев были и те, кто полагал, что квантовая механика все-таки о природе. Это были взгляды реалистически настроенных ученых. Они значительно лучше соответствовали тому, что Эйнштейн называл «научным инстинктом ученого». Большая часть ученых была убеждена в том, что квантовые состояния описывают реально существующие элементарные частицы. Вот весьма распространенное мнение: «Многие физики не совсем искренне высказывают свою приверженность копенгагенской интерпретации, в частности ее утверждению, что она о результатах измерений. Но едва ли кто-нибудь действительно еще верит в это, и трудно представить, что кто-нибудь когда-нибудь так считал. Сейчас любому исследователю этой проблемы ясно, что квантовая механика – об атомах, электронах, кварках и струнах...»<sup>10</sup>.

Как бы ни различались между собой взгляды реалистически настроенных копенгагенцев и сторонников боровской версии, в одном они, были согласны: квантовая система полностью описывается волновой функцией  $\Psi$ , представляющей собой математическое выражение для вычисления вероятности... Но вот только вероятности чего? На этот вопрос рассматриваемые интерпретации отвечают по-разному: 1) вероятности получения того или иного результата при измерении состояния квантовой системы (утверждали сторонники боровской версии копенгагенской интерпретации); и 2) вероятности того, что квантовая система *находится* в этом состоянии – утверждали реалисты.

Меняется язык описания. Допустим, мы хотим определить местоположение частицы. Реалисты говорят: мы определяем вероятность того, что частица находится в данном месте. Копенгагенцы говорят: мы определяем вероятность *обнаружить* частицу в данном месте в случае *измерения* ее координаты.

Однако, реалистическая установка, будучи интуитивно значительно более приемлемой для исследователей, породила многочисленные трудности и парадоксы при истолковании квантовых явлений. При переходе к «информационной» интерпретации они исчезали. Получалось так: или реализм, но с парадоксами и известными трудностями интерпретации, или – отсутствие парадоксов, но инструментализм. Так что Бор выбрал информационную интерпретацию не только потому, что его интересовали только предсказательные возможности теории. Не меньшее значение имело стремление копенгагенцев избавиться от трудностей и парадоксов реалистической интерпретации.

### ***Трудности реалистической интерпретации***

Чтобы не быть голословными, приведем конкретные примеры. Мы не будем останавливаться подробно на том, в чем суть того или иного парадокса и почему он возникал:

---

<sup>9</sup> Марков М.А. О трех интерпретациях квантовой механики. Об образовании понятий объективной реальности в человеческой практике. Москва, 2010, с.96

<sup>10</sup> Durr D. Goldshtein S. and Zanchi N. *Bornian mechanics and the meaning of the wave function // Experimental Metaphysics. Quantum mechanical Studies for Abner Shimony, Vol. One.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1997, p. 25

этим вопросам посвящена большая литература. Нас будет интересовать вопрос о том, как с ними «справлялась» боровская интерпретация<sup>11</sup>.

**Парадокс «кота Шредингера».** Этот мысленный эксперимент, изобретенный Э.Шредингером, показывает, что квантовая механика, являясь универсальной теорией, и, следовательно, долженствующей быть справедливой и для микро, и для макромира, будучи приложенной к макромиру, ведет к парадоксам. Суть эксперимента в следующем. Живой кот помещается в закрытый ящик, в котором установлен счетчик Гейгера и очень слабый источник радиоактивного излучения. Если счетчик срабатывает, он приводит в действие реле, которое разбивает ампулу с ядом, убивающим кота. Источник радиации подобран так, что существует 50% шансов за то, что счетчик Гейгера сработает в течение одного часа, и, соответственно, 50% шансов за то, что он не сработает. Получается, что в течение часа, пока мы не открыли запечатанный ящик, мы, в согласии с законами квантовой механики, должны утверждать, что кот находится в суперпозиции двух состояний: живого и мертвого кота. Как кот может быть не жив *или* мертв, а *и* жив, *и* мертв одновременно? Существует противоречие между утверждением о том, что квантовая механика универсальна, и тем, что она, фактически, не применима к макромиру. Шредингер отказывался принимать в качестве адекватной столь «смутную» (blurred) модель реальности.

Сторонники информационной версии копенгагенской интерпретации говорили, что никакого противоречия здесь нет. Оно возникает лишь у реалистов, поскольку те считают, что квантовая механика описывает положение дел в реальном мире. В макромире нет явления суперпозиции состояний. Но в микромире она есть. Простейший пример – двухщелевой эксперимент, где частица одновременно проходит сразу через две щели. Доказательство существования суперпозиции – появление интерференционной картины. Если для объяснения эксперимента с котом Шредингера применять не реалистическую интерпретацию, а информационную, согласно которой квантовая механика лишь о нашем знании, о нашей информации о результатах измерения, то следует сказать: пока кот находится в запечатанном ящике, в течение часа, отведенного на распад частицы, мы обладаем такой информацией: кот и жив, и мертв одновременно. Причем, 50% шансов будет за то, что кот жив, а 50% , что он мертв. После того как мы откроем ящик, наша информация изменится, мы будем с вероятностью, равной 1, знать, жив кот или мертв. Но изменится только информация. В реальном мире никаких изменений не произойдет.

**Парадокс «друга Вигнера».** Это усложненный парадокс «кота Шредингера», сформулированный одним из творцов квантовой механики Юджином Вигнером. Суть парадокса в следующем. Вигнер оставляет своего друга в лаборатории, где находится ящик с котом. Сам он остается за дверью запечатанной лаборатории. Когда друг Вигнера открывает ящик, в котором находится кот, он видит или живого кота (и не распавшуюся радиоактивную частицу, а, значит, не сработавшее реле и не разбитую ампулу с ядом), или мертвого кота (и распавшуюся радиоактивную частицу, сработавшее реле и разбитую ампулу с ядом, убитым котом). Если до того, как друг Вигнера открыл ящик, кот находился для него в суперпозиции состояний, то после того как он открыл ящик, кот переходит в одно из собственных состояний. Для Вигнера, находящегося за дверью запечатанной лаборатории, кот по-прежнему находится в суперпозиции состояний: он и жив, и мертв одновременно. Значит, для друга Вигнера и самого Вигнера существуют одновременно два различных состояния кота, описываемые двумя различными волновыми функциями. Как это возможно?

---

<sup>11</sup> Многие современные авторы, занимающиеся проблемами копенгагенской интерпретации, высказывают мнение, что пора наконец-то перестать упоминать о парадоксах, ссылаясь на то, что уж больно они «заезжены». Особенно достается при этом парадоксу с котом Шредингера. Такое мнение сложилось не без влияния С.Хокинга, который как-то сказал, что как только он слышит о коте Шредингера, ему хочется схватиться за пистолет. Хокинг, конечно, пошутил. Что касается других авторов, хотелось бы напомнить им, что именно парадоксы и трудности реалистической интерпретации заставили Н.Бора отказаться от нее.

Как избавляются от этого парадокса копенгагенцы? Как и в случае с парадоксом кота Шредингера, они утверждают, что парадокс возникает потому, что его авторы и сторонники придерживаются реалистической трактовки квантовой механики. Реалисты считают, что квантовая механика описывает состояние дел в реальном мире. В реальном мире кот не может быть и в одном из собственных состояний (т.е. быть либо живым, либо мертвым), и в суперпозиции состояний (быть и живым, и мертвым).

С точки зрения ранней «информационной» интерпретации какого-либо единственно верного состояния квантовой системы нет. Вигнер и его друг приписывают разное состояние системе, в соответствии с той информацией, которой они обладают. Войдя в лабораторию, Вигнер *обновляет* свою информацию, увидев живого (или мертвого кота). Но это обновление не соответствует какому-либо изменению в реальном мире, это только изменение в знании, которым обладает Вигнер. В объективном мире при этом ничего не меняется, ничего мистического не происходит.

*ЭПР-парадокс* был сформулирован А.Эйнштейном, Б. Подольским и Н.Розеном<sup>12</sup> с целью продемонстрировать неполноту квантовой механики. Один из главных принципов квантовой механики – принцип неопределенности, сформулированный В.Гейзенбергом. Согласно этому принципу в результате воздействия инструментов измерения на квантовые системы невозможно одновременно с точностью определить значение координаты и импульса (а также времени и энергии и других, характеризующих квантовую систему физических наблюдаемых, описываемых некоммутирующими операторами). В отличие от макромира в микромире измерение изменяет значение измеряемой величины.

Авторы ЭПР-парадокса утверждали, что соотношение неопределенности можно «обойти» с помощью косвенных измерений. Суть предложенного ими мысленного эксперимента состояла в следующем. Пусть у нас есть две частицы, которые образовались при распаде третьей частицы. Провзаимодействовав, они разлетаются в разные стороны на сколь угодно большое расстояние. По закону сохранения импульса их суммарный импульс должен быть равен исходному импульсу их прародительницы – третьей частицы. Импульсы разлетевшихся частиц, таким образом, связаны. Измерив импульс первой из разлетевшихся частиц, мы можем рассчитать импульс второй частицы, не внося никаких изменений в ее движение. От суммарного импульса мы просто вычитаем импульс первой частицы, который мы знаем из измерения.

Теперь мы можем измерить координату второй частицы. Таким образом мы получаем точное значение координаты и импульса частицы, что противоречит принципу неопределенности Гейзенберга. Так что квантовая механика неполна, поскольку удается получить больше информации об объекте, чем она разрешает.

Кроме того, авторов парадокса не устраивало то, что величина второго из сопряженных параметров становится известной мгновенно. Получается, утверждали они, что воздействие передается на любые расстояния (например, из одной галактики в другую) с бесконечно большой скоростью, что противоречит специальной теории относительности Эйнштейна.

Сторонники ранней информационной версии копенгагенской интерпретации устраняют эти трудности, утверждая, опять-таки, что их причина лежит в характере интерпретации квантовой теории. Трудности, порождаемые ЭПР-парадоксом, возникают только при реалистической интерпретации, когда состояние квантовых систем трактуется как присущее объектам реального мира. На самом деле квантовая теория только о наших знаниях о

---

<sup>12</sup> Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Can quantum –mechanical description of physical reality be consider complete? // Phys. Rev. 47, 777-780, 1953

результатах наблюдений (измерений). (Недаром Шредингер, сам введший термин перепутанность (entanglement) состояний, говорил о перепутанности знаний). Никакой передачи информации со скоростью равной или большей скорости света не происходит. Мы действительно сразу после измерения импульса первой частицы знаем о том, какой импульс у второй. Но эта информация получена нами из знания закона сохранения импульса. Чтобы переслать эту информацию другому участнику эксперимента или вообще использовать ее, мы должны воспользоваться обычным каналом связи, где она передается со скоростью равной или меньшей скорости света. Так что противоречия между квантовой механикой и СТО не возникает. В отличие от реалистической интерпретации, в которой квантовая механика оказывается нелокальной, в копенгагенской «информационной» интерпретации она локальна.

Очень точно ситуацию с ЭПР-парадоксом выразил В.Фок: «Эйнштейн понимал слово «состояние» ... в смысле чего-то вполне объективного и совершенно не зависящего от каких либо сведений о нем. Отсюда и проистекают ее парадоксы... В квантовой механике понятие состояния сливается с понятием «сведения о состоянии, получаемые в результате определенного максимально точного опыта». В ней волновая функция описывает не состояние в объективном смысле, а, скорее, сведения о состоянии»<sup>13</sup>.

### *Плюсы и минусы копенгагенской интерпретации*

Подведем некоторые предварительные итоги изложенного выше. Как мы пытались показать, сильной стороной ранней информационной версии являлось то, что она снимала трудности квантовой теории и разрешала многие ее парадоксы. Это несомненное преимущество ее по сравнению с реалистической версией. И это, возможно, одна из причин, почему происходит информационный поворот в трактовке квантовой теории в наше время. Появились надежды на то, что новая область исследования – КТИ – сможет помочь в понимании самой квантовой теории. Ведь КТИ – это квантовая теория информации! Но как мы видим, это преимущество покупается дорогой ценой. Как уже неоднократно говорилось выше, рассматриваемая интерпретация является по своему характеру инструменталистской. Ее приверженцы основную цель научной теории видят в ее способности вычислять и успешно предсказывать новые данные.

### *Но причем здесь имматериализм?*

Противники возврата к информационной интерпретации Н.Бора связывают его взгляды не только с инструментализмом, но и с имматериализмом. Это можно легко увидеть при рассмотрении приводимых цитат из работ сторонников совершающегося поворота<sup>14</sup>. Наиболее значимой фигурой оказывается при этом Дж.А.Уилер. Широко известен уилеровский тезис “It from Bit” (все вещи - из битов) и его концепция “participatory universe”. Вот одно из самых цитируемых высказываний Уилера: «It from Bit, символизирует идею, что каждый элемент физического мира имеет в своей основе – на самом глубинном уровне, в большинстве случаев нематериальный источник и объяснение; что то, что мы называем реальностью в конечном счете возникает из постановки *да - нет* вопросов, на которые призваны отвечать

<sup>13</sup> А.Эйнштейн, Б.Подольский, В.А.Фок, Н.Бор, Н.Розен. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? // УФН, т. XVI, вып. 4, 1935, с. 436-457

<sup>14</sup> См., напр., Timpson C. Information, Immaterialism, Instrumentalism: Old and New in Quantum Information// [http://users.ox.ac.uk/~bras2317/iii\\_2.pdf](http://users.ox.ac.uk/~bras2317/iii_2.pdf)

регистрирующие оборудования; короче, что все физические вещи имеют информационно-теоретическое происхождение, и что Вселенной для своего бытия необходимо наше участие»<sup>15</sup>.

Цитата говорит сама за себя. Провозглашенная позиция не является материалистической (или, по крайней мере, последовательно материалистической). Но почему мы должны рассматривать концепцию Уилера как одно из оснований строящейся информационной интерпретации? Ведь поворот к информационной трактовке ведет нас, как утверждают его критики, к ранним взглядам Бора. Между тем, между взглядами Бора и Уилера есть существенное различие, которое, возможно, упускают из вида противники поворота и ранней копенгагенской интерпретации: Бора не интересовало, что собой представляет природа; а Уиллер как раз наоборот, интересуется тем, как устроена природа. Он выдвигает гипотезу о структуре природы, о том, что лежит в ее основе в качестве последних «кирпичиков». Поскольку Уилер считает, что эти «кирпичики» являются кусочками информации, его концепция не считается материалистической. (Хотя это может быть и неверно. Все зависит от того, что Уилер, понимает под информацией. Мы вернемся к этому моменту чуть позже).

Критики информационного поворота в трактовке квантовой механики смешивают два разных плана рассмотрения – эпистемологический и онтологический. Это ключевой момент в дискуссиях между сторонниками и критиками информационного поворота. Бор занимался эпистемологической проблемой. Уилер – онтологической. Отождествлять эти два аспекта – неправомерно. Как раз в онтологическом плане Бор был реалистом, если говорить о дилемме материализм – имматериализм. Он был убежден в реальном существовании элементарных частиц. (Вспомним цитату из работы М.А.Маркова, приведенную выше! Бор был инструменталистом, а инструментализм и имматериализм вещи разные. Обе установки противостоят реализму, но в разных отношениях. Инструментализм – в эпистемологическом, а имматериализм – в онтологическом.

Отождествление эпистемологического и онтологического аспектов рассмотрения совершает и А. Цайлингер, когда пишет: «Мы научились у истории науки тому, что важно не делать различий там, где для этого нет оснований, как это делалось в доньютоновской физике, где проводилось необоснованное различие между законами поведения земных и небесных тел. Я предполагаю, что подобным же образом мы не должны проводить разделения между реальностью и нашим знанием о реальности, между реальностью и информацией»<sup>16</sup>.

Цайлингер был бы прав, только если бы речь шла о ранней, копенгагенской «информационной» интерпретации квантовой механики. В реалистической трактовке как раз вполне законно проводить разделение (различение) между реальностью и нашим знанием о ней, если иметь в виду онтологический аспект рассмотрения. Реальный микрообъект существует независимо от нашего сознания, от нашей информации о нем. Не нужно только путать этот онтологический аспект с *эпистемологическим*. Мы не можем описать познаваемый объект без отсылки к прибору или наблюдателю. Мы не можем описать объект, как он существует сам по себе, мы должны включать в это описание наши знания о результатах воздействия на этот микрообъект измерительного прибора.

### ***Трудности интерпретации самого понятия информации***

Гипотеза Уилера послужила одним из оснований для создания целого направления в науке – цифровой физики. В данной статье мы не будем углубляться в сущность цифровой физики, гипотезы цифровой Вселенной и т.д. Это увело бы нас далеко от нашей проблемы. Да

<sup>15</sup> Wheeler J.A. Information, Physics, Quantum: The search for Links // Complexity, Entrophy and the Physics of Information. Ed. By Zurec, Eddison Wesley, Redwood city, CA, P. 3

<sup>16</sup> Zeilinger A. The Message of the Quantum. // Nature, 2005, 438:743.



и сама по себе эта концепция представляет собой пока нечто спекулятивное. Но кое на чем хотелось бы остановиться чуть подробнее.

Начнем с того, что предположение Уилера, согласно которому в основе мира лежат «кусочки» информации – это гипотеза. Причем, пока совершенно не обоснованная. Л.Витгенштейн утверждал, что почти все недоразумения и взаимонепонимания в философских дискуссиях по поводу науки возникают из-за неправильного употребления языка<sup>17</sup>. В рамках обсуждаемой нами проблемы трудности порождаются неоднозначностью самого термина «информация». Оно толкуется в самых разных смыслах. Давно стало легитимным признание существования двух различных аспектов этого понятия: синтаксического и семантического. К ним следует добавить еще один аспект – прагматический. И если синтаксический аспект имеет отношение к количественному и/или символическому аспектам информации, семантический – к смысловому, то прагматический – к таким вещам как полезность информации. Это различие совершенно необходимо учитывать при анализе взглядов разных авторов и формулируемых ими концепций. Уилер, как мы уже писали, в своей гипотезе о структуре фундаментального уровня реальности, по-видимому, имеет в виду количественный и символический аспекты информации. В его гипотезе кусочки информации, являющиеся последними элементами структуры реальности, это кубиты. Никакой смысловой нагрузки эти кубиты не несут. В то же время внимательное ознакомление с ранней версией копенгагенской интерпретации показывает, что ее сторонники употребляют термин информация в другом смысле. Для них информация – это *знание*, которое исследователи получают в результате измерений физических характеристик квантовых систем. Знание, конечно, не в обыденном смысле этого слова, но все-таки знание.

### *Может ли КТИ помочь в понимании фундаментальных проблем квантовой механики?*

То, что квантовая механика как фундаментальная теория «помогла» возникновению и становлению КТИ (квантовой теории информации) и квантовой информатики (технологических инноваций) является общеизвестным фактом. Она выступила основой КТИ при самом создании этого направления исследований и в качестве теоретического базиса участвует в разработке технологических приложений квантовой механики – квантовых компьютеров, квантовой телепортации, квантовой криптографии. Так что насчет полезности квантовой механики для КТИ все, более или менее, ясно, по крайней мере в принципе. Но вот есть ли при этом обратная связь? Сможет ли помочь КТИ в формулировке адекватной интерпретации формализма квантовой механики?

Как мы постоянно напоминаем, высказываются опасения, что информационная интерпретация возвратит нас к ранней, радикальной боровской интерпретации квантовой механики, которая и сама-то «грешила» инструментализмом, а, выступив в качестве основы новой интерпретации квантовой механики, еще больше ослабит позиции реализма в науке.

На вопрос о том, есть ли какая-либо польза от совершающегося поворота, его противники К. Тимпсон, М.Тайт и др. отвечают отрицательно. Тимпсон, например, говорит о том, что ничего, кроме возврата к инструментализму ранней копенгагенской интерпретации, этот поворот не несет<sup>18</sup>. К тому же, как уже говорилось выше, противники поворота (как мы полагаем, ошибочно) считают, что он усиливает позиции имматериализма в трактовке явлений микромира, поскольку опирается не только на раннюю копенгагенскую трактовку квантовой

<sup>17</sup> Витгенштейн Людвиг. Логико-философский трактат. М., 2012, с.32

<sup>18</sup> Timpson Ch. Gordon. Quantum Information Theory and the Foundations of Quantum Mechanics// A Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Oxford, 2004 <http://philsci-archive.pitt.edu/2344/1/qinfandfoundsqm.pdf>

механики, но и на онтологическую концепцию Уилера, которая, как они (не без оснований) считают «заражена» имматериализмом.

Вывод Тимпсона, по крайней мере в том его виде, как он сформулирован в его статье 2007г., звучит достаточно резко и определенно: информационный поворот означает только одно – новую угрозу реализму. Антиреализм в философии науки опять начинает набирать силу. Ранняя «информационная» трактовка квантовой теории теперь уже «на спине КТИ (квантовой теории информации)» вновь «въезжает» в дискуссии, приобретя, благодаря КТИ, значительно большую респектабельность.<sup>19</sup>

Вывод категоричен. Но верен ли он? Многочисленные работы философствующих физиков и философов науки последних лет показывают, что это не так. Сетую на то, что дискуссии по поводу интерпретации квантовой механики продолжаются уже более 75 лет без особого продвижения вперед, и, пытаясь определить верное направление для выхода из этого тупика, американский философ науки Кристофер Фукс пишет: «Я не вижу другой альтернативы как только провести глубокий анализ задач, техник и смыслов квантовой теории информации. Довод прост и, думаю, неизбежен: квантовая механика всегда была об информации; просто сообщество физиков забыло об этом»<sup>20</sup>.

Противники информационного поворота с самого начала сделали ошибку, когда выступили с критикой проекта на том основании, что он означает возврат к ранней версии копенгагенской интерпретации. Боровская версия была об эпистемологии; онтологических вопросов она не касалась. Точка зрения Бора была вполне реалистической: существует нечто. Существует то, что измеряют. Но в дискуссии по поводу информационного поворота была вмешана другая гипотеза, хотя она была онтологической по своей природе. Это, как уже говорилось выше, была гипотеза Уилера, согласно которой информация лежит в основе реальности. Исследователи не заметили, что в данном случае речь идет о двух *разных* понятиях информации.

Если точка зрения Уилера окажется верной, это откроет путь для нового представления о реальности. В проекте Дж.Баба, для разработки которого он получил большой грант, содержится смелая и оригинальная гипотеза, согласно которой если одно из новых понятий проявляет себя на самом фундаментальном теоретическом уровне и работает в фундаментальных теориях, можно предположить, что это понятие действительно имеет отношение к природе реальности. Дж.Баб формулирует эту гипотезу так: «Присутствие информационно-теоретических понятий в теоретической физике отражает нечто глубокое, относящееся к вопросу о природе физической реальности»<sup>21</sup> Значит можно предположить, что если понятие информации встречается в фундаментальных теориях о структуре мира, можно утверждать, что гипотеза Уилера о том, что все вещи из информации – верна. И в основе мира лежит информация.

Правда, Фукс уже предупреждает о том, что уилеровская программа в целом не может быть реализована. Называя свою статью «Quantum Mechanics as Quantum Information», он добавил в название слово Mostly (главным образом, почти). Этим он хотел выразить свое убеждение в том, что уилеровская программа в целом не пройдет: останется нечто, не покрываемое понятием «информации», поскольку относится к самому миру. Остается, однако, без ответа все тот же, уже ставившийся нами вопрос об аутентичности понимания позиции Уилера, на этот раз Фуксом.

<sup>19</sup> Timpson Ch. Gordon. Information, Immaterialism, Instrumentalism. Old and New in Quantum Information, 2007// [http://users.ox.ac.uk/~bras2317/iii\\_2.pdf](http://users.ox.ac.uk/~bras2317/iii_2.pdf) P. 5

<sup>20</sup> Fuchs C.A. Quantum Mechanics as Qquantum Information. Mostly// <http://perimeterinstitute.ca/personal/cfuchs/Oviedo.pdf>, P.3

<sup>21</sup> mhtm:file: // The information-theoretic turn in Quantum foundation the John Templeton foundation

*Возможные сценарии развития интерпретации квантовой механики в случае, если информационный поворот реализуется*

Многие исследователи отмечают, что отношение к некоторым специфическим особенностям квантовой теории в последнее время изменилось. Если раньше они рассматривались как ее недостатки, порождающие трудности в попытках ее рационального истолкования, то после создания КТИ и начала разработки технологических приложений квантовой механики они стали расцениваться как ее несомненные достоинства<sup>22</sup>. ***И это тот результат, который мы уже получили благодаря совершающемуся информационному повороту.*** Так, раньше считалось, что квантовая теория ограничивает наши возможности познания мира, проигрывая в этом плане классическому взгляду на мир: если, скажем, классическая физика позволяла измерять координату и импульс частиц с любой степенью точности, то центральное для квантовой теории соотношение неопределенностей лишает нас такой возможности. Между тем, разработка технологических приложений квантовой механики выявила эвристические возможности самой квантовой неопределенности.

Это обстоятельство вселяет оптимизм в сторонников информационной интерпретации и порождает надежды, что в результате ее построения квантовая механика трансформируется в информационную теорию микромира, в которой «кажущиеся смущающими (perplexing) квантовые феномены, такие как проблема измерения и нелокальность, могут оказаться не такими уж плохими»<sup>23</sup>.

Возьмем, например, квантовую криптографию. Суть этого технологического приложения – в разработке способов сохранения секретности передаваемой информации, защиты ее от попыток перехвата. Из истории известны различные способы защиты передаваемых сообщений от несанкционированного использования. Такая процедура как шифрование сообщений использовалась уже в далекой древности. Если шифр был достаточно надежен, удавалось сохранить секретность информации в течение длительного времени. Но часто находились злоумышленники, которым удавалось разгадать шифр и получить доступ к сообщению. В связи с этим работы по совершенствованию методов сохранения секретности сообщений велись постоянно.

Положение изменилось в лучшую сторону при появлении квантовой теории информации. Идея использовать квантовые системы для передачи и сохранения секретности информации возникла благодаря некоторым особенностям квантовых систем. Состояние квантовой системы определяется измерением, после которого она переходит в другое состояние, причем однозначно предсказать результаты измерения невозможно. И если в качестве носителей информации используются квантовые системы, попытка перехватить сообщение приведет к изменению состояния квантовой системы, которая и укажет на то, что такая попытка была реализована. При этом измерение не позволяет получить полную информацию о квантовой системе, и ее невозможно клонировать (копировать), что делает их очень удобным средством для передачи информации и сохранения ее секретности.

Так что, один из возможных сценариев дальнейшего превращения квантовой механики в теорию информации может состоять в постепенной переоценке ценностей: те моменты в интерпретации квантовой механики, которые беспокоили ученых на протяжении всей истории существования этой теории, под влиянием все больших успехов технологических новаций, созданных на базе квантовой механики, начнут считаться достоинствами.

<sup>22</sup> Fuchs C.A. Quantum Mechanics as Quantum Information. Mostly// <http://perimeterinstitute.ca/personal/cfuchs/Oviedo.pdf>

<sup>23</sup> Duwell Armond. Re-conceiving quantum theories in term of information-theoretic constrains <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355219806000906>, P, 2

Конечно, такой сценарий приверженцев копенгагенской интерпретации может не устроить. Им по-прежнему будет важно понять, почему, скажем, частица в двухщелевом эксперименте может проходить одновременно через две щели, порождая интерференционную картину. И если такое объяснение так и не будет найдено, возможен другой, значительно более радикальный сценарий. Может произойти изменение объяснительной стратегии в теории микромира: на смену каузальному, причинному объяснению придет другая тенденция, когда не поддающийся рациональному истолкованию эффект будет объявляться «естественным феноменом», не требующим объяснения через что-то другое.

В современной неклассической науке такая тенденция характерна для многих областей научного знания. а) Она присутствует в самой стандартной интерпретации квантовой механики. Согласно этой интерпретации невозможно указать причину того, почему один из атомов в куске радиоактивного урана распадается в настоящий момент, а другой пролежит не распавшимся еще тысячи лет. Причем, как отмечает Р. Фейнман, этого не знаем не только мы, не знает сама Природа. Вдумаемся в эти слова. Если бы причины такого вероятностного поведения радиоактивного атома знала Природа, то существовала бы надежда, что и человек когда-нибудь смог бы это понять. Но утверждение о том, что сама Природа не знает этого, равносильно тому, что разумных оснований для такого поведения микрообъекта просто не существует.

Следует упомянуть, что аналогичная стратегия присутствует в науке Нового времени, начиная с момента ее возникновения. Как известно, в физике Галилея и Ньютона «естественным феноменом» считалось инерциальное движение. В отличие от аристотелевской физики, согласно которой для движения тел нужна сила, в галилей-ньютоновской физике утверждалось, что равномерное и прямолинейное движение тел не нуждается в силе. Сила нужна только для того, чтобы изменить характер движения – ускорить, замедлить или остановить его. Таким образом, инерциальное движение приобрело статус «естественного феномена», не требующего объяснения через что-то другое.

Эйнштейн расширил понятие «естественного движения», включив в него то, что до него трактовалось как ускоренное движение тел под действием сил гравитации. Движение в поле тяготения является не результатом действия гравитационных сил, оно представляет собой движение по инерции в неевклидовом пространстве. В общей теории относительности (ОТО) гравитация перестает быть причиной ускорения. Являясь кривизной пространства, она выступает, скорее, как некоторое ограничение, накладываемое на самодвижение тел. Эйнштейн предпринимал большие усилия (не увенчавшиеся, однако, успехом) для распространения своего геометрического подхода на всю физику с тем, чтобы получить возможность истолковать как «естественные» и, следовательно, беспричинные все состояния движения.

Рассматриваемая тенденция наметилась и в других областях научного знания. Такое же по типу объяснение предлагают нам финалисты в биологии. Пытаясь дать разумную интерпретацию явлению целесообразности в живой природе (проблема, которую, как полагают многие биологи, классический дарвинизм не может решить), финалисты говорят о том, что целесообразность является имманентно присущей живым системам. Имманентная целесообразность не нуждается в объяснении через что-то другое. Таким образом, в построении финалистов целесообразность также оказывается «естественным феноменом».

Аналогичная ситуация складывается и в синергетике. Известно, что важнейшей особенностью процессов самоорганизации в некоторых системах является когерентное, кооперативное поведение составляющих их элементов. Один из примеров процессов самоорганизации в неорганической природе – открытое Бенаром явление, получившее название «ячейки Бенара». Его суть в том, что в подогреваемом минеральном масле (к которому подмешаны для наглядности алюминиевые опилки) при определенном критическом перепаде температур между нижним и верхним слоями масла возникают упорядоченные структуры – шестигранные ячейки. Они представляют собой результат происходящих в рассматриваемой

среде процессов самоорганизации, главной отличительной особенностью которых оказывается когерентное поведение молекул. Причины кооперативного поведения молекул остаются неясными. «Когда наступает неустойчивость Бенара, – пишут по этому поводу теоретики синергетики И.Пригожин и И.Стенгерс, – в одной точке пространства молекулы поднимаются, в другой опускаются как по команде. Однако никакой команды в действительности «не раздается», поскольку в систему не вводится никакая новая упорядочивающая сила... Открытие диссипативных структур,- продолжают они, – потому и вызвало столь большое удивление, что в результате одной единственной тепловой связи, наложенной на слой жидкости, одни и те же молекулы, взаимодействующие посредством случайных столкновений, могут начать когерентное кооперативное движение» (курсив мой – Е.М.)<sup>24</sup>.

Пытаясь охарактеризовать механизмы возникновения кооперативного поведения элементов самоорганизующихся систем, Пригожин и Стенгерс говорят о существовании «коммуникации» между молекулами. Однако природа и характер этой «коммуникации» остаются у них не раскрытыми. И то, что они берут это слово в кавычки, говорит о том, что они употребляют его в чисто метафорическом смысле.

Большая часть синергетиков принимают нераскрытость механизмов самоорганизации как должное. Возможно, они считают, что кооперативное движение и вообще самоорганизация являются «естественными феноменами», не нуждающимися в объяснении через что-то другое.

Примеры можно множить. Важно отметить, однако, что, несмотря на кажущееся удобство последнего сценария, фактически он означает отказ от объяснения, а значит отказ от аподиктичности *Закона достаточного основания Лейбница*, считавшегося до сих пор краеугольным камнем человеческого мышления.

Когда-то один из великих реформаторов классического естествознания Вернер Гейзенберг, утверждал, что действительно революционными преобразования в науке являются тогда, когда они приводят к изменению не просто содержания знания, а структуры нашего мышления. «Ученый, – пишет Гейзенберг, – всегда готов наполнить свою мысль новым содержанием. Для него...вовсе не характерно консервативное стремление держаться только издавна привычных образцов. Поэтому прогресс в науке обходится как правило без сопротивления и пререканий. Дело, однако, оборачивается иначе, когда новая группа явлений заставляет произвести изменения в структуре мышления. Здесь даже выдающиеся физики испытывают величайшие затруднения, ибо требование изменить структуру мышления, вызывает такое ощущение, будто почва уходит из-под ног»<sup>25</sup>. Ослабление позиции закона достаточного основания будет означать именно такое революционное преобразование в структуре и характере человеческого мышления. Имея это в виду, следует взвесить все последствия предпринимаемого шага и прежде чем совершать его, испытать все другие менее радикальные шаги.

<sup>24</sup> Пригожин И., Стенгерс И. *Время, хаос, квант*. М., 1986, с.55

<sup>25</sup> Гейзенберг В. *Шаги за горизонт*. М., 1987, с 197