

*А. Ю. Севальников*

## **Квант и время в современной физической парадигме**

В 2000 году исполнилось 100 лет со дня рождения квантовой механики. Переход через рубеж столетий и веков — повод поговорить о времени, и в данном случае как раз в связи с юбилеем кванта.

Привязка понятия времени к идеям квантовой механики могла бы показаться искусственной и надуманной, если бы не одно обстоятельство. Мы до сих пор не понимаем смысла этой теории. «Можно с полной уверенностью говорить, что никто не понимает смысла квантовой механики», — утверждал Ричард Фейнман. Столкнувшись с микроявлениями, мы столкнулись с некоторой тайной, которую пытаемся разгадать уже целый век. Как не вспомнить слова великого Гераклита, что «природа любит таиться».

Квантовая механика полна парадоксов. Не отражают ли они саму суть этой теории? У нас есть совершенный математический аппарат, красивая математическая теория, выводы которой неизменно подтверждаются на опыте, и при этом отсутствуют сколь ни будь «ясные и отчетливые» представления о сути квантовых феноменов. Теория здесь выступает скорее символом, за которой скрыта иная реальность, проявляющаяся в неустранимых квантовых парадоксах. «Оракул не открывает и не скрывает, он намекает», как говорил тот же Гераклит. Так о чем же намекает квантовая механика?

У истоков ее создания стояли М. Планк и А. Эйнштейн. В центре внимания была проблема излучения и поглощения света, т.е. проблема становления в широком философском смысле, а следовательно, и движения. Эта проблема как таковая до сих пор не становилась в центр внимания. При дискуссиях вокруг квантовой механики рассматривались прежде всего проблемы вероятности и причинности,

корпускулярно-волнового дуализма, проблемы измерения, нелокальности, участия сознания и целый ряд других, тесно связанных непосредственно с философией физики. Однако рискнем утверждать, именно проблема становления, древнейшая философская проблема и является основной проблемой квантовой механики.

Эта проблема всегда была тесно связана с теорией квантов, от проблемы излучения и поглощения света в работах Планка и Эйнштейна до последних экспериментов и интерпретаций квантовой механики, но всегда неявно, имплицитно, как некий скрытый подтекст. Фактически с проблемой становления тесно связаны практически все ее дискуссионные вопросы.

Так в настоящее время активно обсуждается т.н. «проблема измерения», которая в интерпретациях квантовой механики играет ключевую роль. Измерение резко меняет состояние квантовой системы, форму волновой функции  $\Psi(r,t)$ . Например, если при измерении положения частицы мы получаем более или менее точное значение ее координаты, то волновой пакет, который представляла собой функция  $\Psi$  до измерения, «редуцируется» в менее протяженный волновой пакет, который может быть даже точечным, если измерение проведено очень точно. С этим и связано введение В.Гейзенбергом понятия «редукция пакета вероятностей», характеризующей такого рода резкое изменение волновой функции  $\Psi(r,t)$ .

Редукция всегда приводит к новому состоянию, которое нельзя предвидеть заранее, поскольку до измерения мы можем предсказать лишь вероятности различных возможных вариантов.

Совсем иная ситуация в классике. Здесь если измерение выполняется достаточно аккуратно, то это является констатацией лишь «наличного состояния». Мы получаем истинное значение величины, которое объективно существует в момент измерения.

Различие классической механики и квантовой — это различие их объектов. В классике — это налично существующее состояние, в квантовом случае — это объект возникающий, становящийся, объект, принципиально изменяющий свое состояние. Более того, употребление понятия «объект» не совсем правомерно, мы имеем скорее актуализацию потенциального бытия, причем сам этот акт принципиально не описывается аппаратом квантовой механики. Редукция волновой функции всегда есть разрыв, скачок в состоянии.

Гейзенберг был одним из первых, кто стал утверждать, что квантовая механика возвращает нас к аристотелевскому понятию бытия в возможности. Такая точка зрения в квантовой теории возвращает

нас к двухмодусной онтологической картине, где есть модус бытия в возможности и модус бытия действительного, т.е. мир осуществившегося.

Гейзенберг не развил последовательным образом этих идей. Это было осуществлено чуть позднее В.А.Фоком. Введенные им понятия «потенциальной возможности» и «осуществившегося» очень близки к аристотелевским понятиям «бытие в возможности» и «бытие в стадии завершения».

По Фоку, описываемое волновой функцией состояние системы является объективным в том смысле, что представляет объективную (независимую от наблюдателя) характеристику потенциальных возможностей того или иного акта взаимодействия микрообъекта с прибором. Такое «объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились, переход от потенциальных возможностей к осуществившемуся происходит на заключительной стадии эксперимента»<sup>1</sup>. Статистическое распределение вероятностей, возникающее при измерении и отражает объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности. Актуализация, «осуществление» по Фоку — не что иное как «становление», «изменение», или «движение» в широком филозофском смысле. Актуализация потенциального вносит необратимость, что тесно связано с существованием «стрелы времени».

Интересно, что Аристотель связывает непосредственно время с движением (см., напр., его «Физику» — «время не существует без изменения», 222b 30ff, кн. IV особенно, а также трактаты — «О небе», «О возникновении и уничтожении»). Не рассматривая пока подробно аристотелевское понимание времени, отметим, что у него это — прежде всего мера движения, а говоря шире — мера становления бытия.

В таком понимании время приобретает особый, выделенный статус, и если квантовая механика действительно указывает на существование бытия потенциального и его актуализацию, то в ней этот особый характер времени должен быть явным.

Как раз именно этот особый статус времени в квантовой механике хорошо известен и неоднократно отмечался разными авторами. Например, де Бройль в книге «Соотношения неопределенностей Гейзенберга и волновая интерпретация квантовой механики» пишет, что КМ «не устанавливает истинной симметрии между пространственными и временной переменной. Координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  частицы считаются наблюдаемыми соответствующими неким операторам и имею-

щими в любом состоянии (описываемом волновой функцией  $\Psi$ ) некоторое вероятностное распределение значений, тогда как время  $t$  по-прежнему считается вполне детерминированной величиной.

Это можно уточнить следующим образом. Представим себе галилеева наблюдателя, проводящего измерения. Он пользуется координатами  $x, y, z, t$ , наблюдая события в своей макроскопической системе отсчета. Переменные  $x, y, z, t$  — это числовые параметры, и именно эти числа входят в волновое уравнение и волновую функцию. Но каждой частице атомной физики соответствуют «наблюдаемые величины», которые являются координатами частицы. Связь между наблюдаемыми величинами  $x, y, z$  и пространственными координатами  $x, y, z$  галилеева наблюдателя носит статистический характер; каждой из наблюдаемых величин  $x, y, z$  в общем случае может соответствовать целый набор значений с некоторым распределением вероятностей. Что же касается времени, то в современной волновой механике нет наблюдаемой величины  $t$ , связанной с частицей. Есть лишь переменная  $t$ , одна из пространственно-временных переменных наблюдателя, определяемая по часам (существенно макроскопическим), которые имеются у этого наблюдателя»<sup>2</sup>.

То же самое утверждает и Эрвин Шредингер. «В КМ время выделено по сравнению с координатами. В отличие от всех остальных физических величин ему соответствует не оператор, не статистика, а лишь значение, точно считываемое, как в доброй старой классической механике, по привычным надежным часам. Выделенный характер времени делает квантовую механику в ее современной интерпретации от начала и до конца нерелятивистской теорией. Эта особенность КМ не устраняется при установлении чисто внешнего «равноправия» времени и координат, т.е. формальной инвариантности относительно преобразований Лоренца, с помощью надлежащих изменений математического аппарата.

Все утверждения КМ имеют следующий вид: если теперь, в момент времени  $t$ , провести некое измерение, то с вероятностью  $p$  его результат окажется равным  $a$ . Все статистики квантовая механика описывает как функции одного точного временного параметра... В КМ бессмысленно спрашивать, с какой вероятностью измерение будет произведено в интервал времени  $(t, t + dt)$ , т.к. время измерения  $a$  всегда могут выбрать по своему произволу»<sup>3</sup>.

Существуют и другие аргументы, показывающие выделенный характер времени, они известны и я не буду здесь на этом останавливаться. Существуют и попытки преодоления такой выделенности вплоть до такой, когда Дирак, Фок и Подольский предложили для

обеспечения ковариантности уравнений т.н. «многовременную» теорию, когда каждой частице приписывается не только своя координата, но и свое время.

В упоминаемой выше книге де Бройль показывает, что и такая теория не может избежать особого статуса времени, и весьма характерно, что книгу он заканчивает следующей фразой: «Таким образом, мне представляется невозможным устранить особую роль, которую в квантовой теории играет времени подобная переменная»<sup>4</sup>.

На основе подобных рассуждений можно с уверенностью утверждать, что квантовая механика заставляет нас говорить о выделенности времени, о его особом статусе.

Существует и еще один аспект квантовой механики, никем до сих пор не рассматриваемый.

На мой взгляд, правомерно говорить о двух «временах». Одно из них это наше обычное время – конечное, однонаправленное, оно тесно связано с актуализацией и принадлежит миру осуществившегося. Другое – это существующее для модуса бытия в возможности. Его трудно охарактеризовать в наших обычных понятиях, так как на этом уровне нет понятий «позже» или «раньше». Принцип суперпозиций как раз показывает, что в потенции все возможности существуют одновременно. На этом уровне бытия невозможно введение пространственных понятий «здесь», «там», так как они появляются только после «развертывания» мира, в процессе которого время играет ключевую роль.

Проиллюстрировать такое утверждение легко на знаменитом мысленном двухщелевом эксперименте, который, по словам Ричарда Фейнмана, содержит всю тайну квантовой механики.

Направим луч света на пластину с двумя узкими щелями. Через них свет попадает на экран, помещенный за пластиной. Если бы свет состоял из обычных «классических» частиц, то на экране мы бы получили две светлые полосы. Вместо этого, как известно, наблюдается серия линий – интерференционная картина. Интерференция объясняется тем, что свет распространяется не просто как поток частиц-фотонов, а в виде волн.

Если же мы попытаемся проследить путь фотонов и разместим возле щелей детекторы, то в этом случае фотоны начинают проходить только через какую-либо одну щель и интерференционная картина при этом исчезает. «Создается впечатление, будто фотоны ведут себя как волны до тех пор, пока им «разрешают» вести себя подобно волнам, т.е. распространяться через пространство, не занимая какого-либо определенного положения. Однако в тот момент, когда

кто-нибудь «спрашивает», где именно фотоны находятся – либо путем определения щели, через которую они прошли, либо заставляя их попадать на экран только через одну щель, – они мгновенно становятся частицами...

В экспериментах с двухщелевой пластиной выбор физиком измерительного прибора заставляет фотон «выбирать» между прохождением через обе щели одновременно подобно волне, либо только через одну щель подобно частице. Однако, что случилось бы, спросил Уилер, если экспериментатор, прежде чем выбрать способ наблюдения, мог бы как-нибудь подождать до тех пор, пока свет не пройдет через щели?»<sup>5</sup>.

Более ярко такой эксперимент с «отложенным выбором» можно продемонстрировать на излучении квазаров. Вместо пластины с двумя щелями «в таком эксперименте должна использоваться гравитационная линза – галактика или другой массивный объект, который может расщепить излучение квазара и затем сфокусировать его в направлении отдаленного наблюдателя, создавая два или более изображений квазара...

Выбор астронома – каким способом наблюдать фотоны от квазара в настоящее время – определяется тем, прошел ли каждый фотон по обоим путям или только по одному пути около гравитационной линзы миллиарды лет назад. В момент, когда фотоны долетали до «галактического светоделиителя», они как бы должны были иметь нечто вроде предчувствия, указывающего им, каким образом себя вести, чтобы отвечать выбору, который будет сделан неродившимися существами на еще не существующей планете»<sup>6</sup>.

Как верно замечает Уилер, такие умозрительные построения возникают вследствие ошибочного предположения о том, что фотоны имеют какую-ту форму еще до того, как произведено измерение. На самом деле «квантовые явления сами по себе не имеют ни корпускулярного, ни волнового характера; их природа не определена вплоть до того момента, когда их начинают измерять»<sup>7</sup>.

Эксперименты, проведенные в 90-х годах, подтверждают такие «странные» выводы из квантовой теории. Квантовый объект действительно «не существует» до момента измерения, когда он получает актуальное бытие.

Один из аспектов таких экспериментов до сих пор практически не обсуждался исследователями, а именно – временной аспект. Ведь квантовые объекты получают свое существование не только в смысле своей пространственной локализации, но и начинают «быть» во

времени. Допустив существование бытия потенциального, необходимо сделать вывод и о качественно ином характере существования на этом уровне бытия, в том числе и в временном.

Как следует из принципа суперпозиции, различные квантовые состояния существуют «одновременно», т.е. квантовый объект изначально, до актуализации своего состояния, существует сразу во всех допустимых состояниях. При редукции волновой функции от «суперпонируемого» состояния остается лишь одно из них. Наше обычное время тесно связано с такого рода «событиями», с процессом актуализации потенциального. Суть «стрелы времени» в таком понимании и состоит в том, что объекты приходят к бытию, «во-существляются», и именно с этим процессом и связана однонаправленность времени и его необратимость. Квантовая механика, уравнение Шредингера описывает грань между уровнем бытия возможного и бытия действительного, точнее, дает динамику, вероятность осуществления потенциального. Само же потенциальное нам не дано, квантовая механика лишь указывает на него. Наше знание пока принципиально неполно. Мы имеем аппарат, описывающий классический мир, то есть мир актуальный, явленный — это аппарат классической физики, включая теорию относительности. И у нас есть математический формализм квантовой механики, описывающий становление. Сам же формализм «угадан» (здесь стоит вспомнить, как было открыто уравнение Шредингера), он ниоткуда не выводится, что дает повод поставить вопрос о более полной теории. По нашему мнению, квантовая механика лишь подводит нас к грани бытия явленного, дает возможность приоткрытия тайны бытия и времени, не раскрывая и не имея такой возможности раскрыть ее полностью. Мы можем лишь сделать вывод о более сложной структуре времени, о его особом статусе.

Обоснованию такой точки зрения поможет и обращение к философской традиции. Как известно, еще Платон дает различие двух времен — собственно времени и вечности. Время и вечность у него несоизмеримы<sup>8</sup>, время есть только движущееся подобие вечности. При сотворении демиургом Вселенной, как рассказывается об этом в «Тимее», демиург «замыслил сотворить некое движущееся подобие вечности; устроив небо, он вместе с ним творит для вечности, пребывающей в едином, вечный же образ, движущийся от числа к числу, который мы назвали временем»<sup>9</sup>.

Платоновская концепция — это первая попытка преодоления, синтеза двух подходов ко времени и миру. Одна из них — это парменидовская линия, дух школы элеатов, где отрицалось всякое движе-

ние, изменение, где истинно сущим признавалось лишь вечное бытие, другая – связанная с философией Гераклита, утверждавшего, что мир есть непрерывный процесс, своего рода горение или безостановочное течение.

Другой попыткой преодоления такой двойственности явилась философия Аристотеля. Введя понятие бытия потенциального, ему удалось впервые описать движение, учение о котором он излагает в тесной связи с учением о природе.

Опираясь на платоновскую дуалистическую схему «бытие-небытие», оказывается невозможным описать движение, необходимо «найти «лежащее в основе» третье, которое было бы посредником между противоположностями»<sup>10</sup>.

Введение Аристотелем понятия *dynamis* – «бытие в возможности» вызвано его неприятием метода Платона, исходившего из противоположностей «сущее-несущее». В результате такого подхода, пишет Аристотель, Платон отрезал себе путь к постижению изменения, составляющего главную черту природных явлений. «...Если взять тех, кто приписывает вещам бытие-небытие вместе, из их слов скорее получается, что все вещи находятся в покое, а не в движении: в самом деле, изменению уже не во что произойти, ибо все свойства имеются <уже> у всех вещей». [Метафизика, IV, 5].

«Итак, противоположность бытие-небытие, говорит Аристотель, нужно опосредовать чем-то третьим: таким посредником между ними выступает у Аристотеля понятие «бытия в возможности». Понятие возможности Аристотель вводит, таким образом, для того, чтобы можно было бы объяснить изменение, возникновение и гибель всего природного и тем самым избежать такой ситуации, которая сложилась в системе платоновского мышления: возникновение из не сущего – это случайное возникновение. И действительно, все в мире преходящих вещей для Платона непознаваемо, ибо носит случайный характер. Такой упрек по отношению к великому диалектику античности может показаться странным: ведь, как известно, именно диалектика рассматривает предметы с точки зрения изменения и развития, чего никак нельзя сказать о формально-логическом методе, создателем которого справедливо считают Аристотеля»<sup>11</sup>.

Однако этот упрек Аристотеля вполне оправдан. Действительно, парадоксальным образом в поле зрения Платона не попадает то изменение, которое происходит с чувственными вещами. Его диалектика рассматривает предмет в его изменении, но это, как справедливо замечает П. П. Гайденко, особый предмет – логический. У Аристотеля же субъект изменения из сферы логической перемес-

тился в сферу сущего, а сами логические формы перестали быть субъектом изменения. Сущее у Стагирита имеет двойкий характер: сущее в действительности и сущее в возможности, и поскольку оно имеет «двойкий характер, то все изменяется из существующего в возможности в существующее в действительности... А потому возникновение может совершаться не только — приводящим образом — из несуществующего, но также <можно сказать, что> возникает из существующего, именно из того, что существует в возможности, но не существует в действительности» (Метафизика, XII, 2). Понятие *dynamis* имеет несколько различных значений, которые Аристотель выявляет в V книге «Метафизики». Два главных значения впоследствии получили и терминологическое различие в латинском языке — *potentia* и *possibilitas*, которые часто переводят как «способность» и «возможность» (ср. нем. способность — *Vermögen*, и возможность — *Möglichkeit*). «Названием возможности (*dynamis*) прежде всего обозначается начало движения или изменения, которое находится в другом или поскольку оно — другое, как, например, строительное искусство есть способность, которая не находится в том, что строится; а врачебное искусство, будучи некоторою способностью, может находиться в том, кто лечится, но не поскольку он лечится» (Метафизика, V, 12).

Время для Аристотеля тесно связано с движением (в самом широком смысле). «Невозможно, чтобы время существовало без движения»<sup>12</sup>. По Аристотелю, это очевидно, так как «если имеется время, очевидно, должно и существовать и движение, раз время есть некоторое свойство движения»<sup>13</sup>. Это означает, что не существует движения самого по себе, а только изменяющееся, становящееся бытие, и «время есть мера движения и нахождения [тела] в состоянии движения»<sup>14</sup>. Отсюда становится ясно, что время с этим становится и мерой бытия, ведь «и для всего прочего нахождение во времени означает измерение его бытия временем»<sup>15</sup>.

Имеется существенное отличие между подходами Платона и Аристотеля в понимании времени. У Платона время и вечность несоизмеримы, они качественно различны. Время у него только движущееся подобие вечности (Тимей, 38а), ибо все возникшее не причастно вечности, имея начало, а следовательно, и конец, т.е. оно было и будет, тогда как вечность только есть.

Аристотель отрицает вечное существование вещей, и хотя он и вводит понятие вечности, это понятие является для него скорее бесконечной длительностью, вечного существования мира. Его логи-

ческий анализ, сколь бы он гениальным ни являлся, не способен схватить существование качественно иного. Платоновский подход, хотя и не описывает движение в чувственном мире, оказывается в отношении времени более дальновидным. В дальнейшем концепции времени разрабатывались в рамках неоплатоновской школы и христианской метафизики. Не имея возможности входить в анализ этих учений, отметим только то общее, что их объединяет. Все они говорят о существовании двух времен — обычного времени, связанного с нашим миром, и вечности, эона ( $\alpha\iota\omega\nu$ ), связанного с бытием сверхчувственным<sup>16</sup>.

Возвращаясь к анализу квантовой механики, заметим, что волновая функция определяется на конфигурационном пространстве системы, а сама функция  $\Psi$  является вектором бесконечномерного гильбертова пространства. Если волновая функция не просто абстрактный математический конструкт, а имеет некоторый референт в бытии, то необходимо сделать вывод о ее «инобытийности», непринадлежности к актуальному четырехмерному пространству-времени. Этот же тезис демонстрирует и хорошо известная «ненаблюдаемость» волновой функции, и ее вполне ощутимая реальность, например в эффекте Ааронова-Бома.

Одновременно с аристотелевским заключением, что время есть мера бытия, можно сделать вывод, что квантовая механика позволяет, по крайней мере, поставить вопрос о множественности времени. Здесь современная наука, по образному выражению В.П. Визгина, «вступает в плодотворную «идейную перекличку» с античным наследием»<sup>17</sup>. Действительно, уже «теория относительности Эйнштейна ближе к представлениям древних о пространстве и времени как свойств бытия, неотделимых от порядка вещей и порядка их движений, чем к ньютоновским представлениям об абсолютных пространстве и времени, мыслимых как совершенно индифферентные к вещам и их движениям, как не зависящие от них»<sup>18</sup>.

Время тесно связано с «событием». «В мире, где есть одна «действительность», где «возможности» не существует, не существует и времени, время есть трудно предсказуемое создание и исчезновение, переоформление «пакета возможностей» того или иного существования»<sup>19</sup>. Но сам «пакет возможностей» бытийствует, как мы хотели показать, в условиях иного времени. Данное утверждение является некой «метафизической гипотезой», однако, если принять во внимание, что квантовая механика становится в последнее время «экспериментальной метафизикой», то можно поставить вопрос об опыт-

ном обнаружении таких «надвременных» структур, связанных с волновой функцией системы. На наличие таких иновременных структур уже косвенно указывают эксперименты «с отложенным выбором» и мысленный эксперимент Уилера с «галактической линзой»<sup>20</sup>, где демонстрируется возможная «отсрочка» эксперимента во времени. Насколько же такая гипотеза является верной, покажет само время.

## Примечания

- <sup>1</sup> Фок В.А. Об интерпретации квантовой механики. М., 1957. С. 12.
- <sup>2</sup> Л. де Бройль. Соотношения неопределенностей Гейзенберга и волновая интерпретация квантовой механики. М., 1986. С. 141-142.
- <sup>3</sup> Шредингер Э. Специальная теория относительности и квантовая механика // Эйнштейновский сборник. 1982-1983. М., 1983. С. 265.
- <sup>4</sup> Л. де Бройль. Указ. произведение. С. 324.
- <sup>5</sup> Хорган Дж. Квантовая философия // В мире науки. 1992. № 9-10. С. 73.
- <sup>6</sup> Хорган Дж. Там же. С. 73.
- <sup>7</sup> Там же. С. 74.
- <sup>8</sup> Платон. Тимей, 38а.
- <sup>9</sup> Там же. 37 с.
- <sup>10</sup> Гайденко П.П. Эволюция понятия науки. М., 1980. С. 280.
- <sup>11</sup> Там же. С. 282.
- <sup>12</sup> Аристотель. О возникновении и уничтожении, 337 а 23f.
- <sup>13</sup> Аристотель. Физика, 251 б 27ff.
- <sup>14</sup> Там же, 221а.
- <sup>15</sup> Там же, 221а 9f.
- <sup>16</sup> К характеристике неоплатонической концепции см., к примеру: Лосев А.Ф. Бытие. Имя. Космос. М., 1993. С. 414-436; о понимании времени в христианском богословии: Лосский В.Н. Очерк мистического богословия Восточной Церкви. М., 1991. Гл. V.
- <sup>17</sup> Визгин В.П. Этюд времени // Филос. исслед. М., 1999. № 3. С. 149.
- <sup>18</sup> Там же. С. 149.
- <sup>19</sup> Там же. С. 157.
- <sup>20</sup> Horgan, John. Quanten-Philosophie // Quantenphilosophie. Heidelberg, 1996. S. 130-139.