

Андрей Родин

Онтология квантово-волнового дуализма

Онтология и феноменология

То, что одна та же *вещь* может обладать как свойствами волны, так и свойствами частицы, является твердо установленным экспериментальным фактом. Эксперименты, в которых обнаруживаются квантовые свойства электромагнитного излучения и волновые свойства микрочастиц, например, электронов, стали классическими. Согласно гипотезе Де Бройля, такой дуализм носит универсальный характер, и волновыми свойствами обладают не только микроскопические, но и макроскопические частицы, однако в последнем случае волновые свойства являются труднонаблюдаемыми.

Вопрос о том, каким образом одна и та же вещь может быть сразу и волной, и частицей, является одной из главных загадок или “парадоксов” квантовой механики. Первая, оказавшаяся неудачной, попытка дать объяснение квантово-волновому дуализму, была предпринята Шредингером, который пытался вывести корпускулярные свойства из волновых, рассматривая частицы как своего рода “вихри” электромагнитного поля¹. Неудача Шредингера была связана с техническими моментами - ему не удалось найти решений, соответствующих искомому “вихрям”. Первая успешная попытка прояснения смысла квантово-волнового дуализма принадлежит, как известно, Борну. Борн показал, что волну и частицу можно связать воедино на основе понятия вероятности, рассматривая распределение плотности вероятности нахождения данной частицы в данной точке пространства в данный момент времени. Такое распределение описывается волновым уравнением, которое связывается с данной частицей. Интерпретация Борна сохраняет название *стандартной* - несмотря на то, что успехи квантовой теории поля дают основания считать вслед за Шредингером, что понятие частицы может быть редуцировано к понятию поля.

Заметим, что обе указанных интерпретации квантово-волнового дуализма состоят в том, что один из элементов пары “волна - частица” *онтологически* редуцируется к другому. Согласно интерпретации Шредингера, частица представляет собой особую пространственно-временную структуру поля, а согласно “стандартной” интерпретации Борна, понятие поля является вероятностным описанием поведения микрочастиц. В последнем случае приходится допустить, что поведение микрочастиц сильно отличается от поведения обычных макроскопических частиц, в частности, приходится отказаться от предположения о том, что всякая частица имеет определенную непрерывную траекторию движения. Однако ни одна из этих интерпретаций не объясняет квантово-волновой дуализм *онтологически*, то есть не объясняет, каким образом частица может *быть* волной и каким образом волна может *быть* частицей. Эти интерпретации объясняют квантово-волновой дуализм только *феноменологически*, то есть объясняют то, каким образом одна и та же вещь может *проявлять* как волновые, так и корпускулярные свойства, *будучи* при этом либо волной (интерпретация Шредингера), либо частицей (интерпретация Борна) - но не волной и частицей *сразу*.

Но не все ли равно: сказать, что *X* - это *есть* волна, и сказать, что *X* *проявляет* волновые свойства? Или сказать, что *Y* - это *есть* частица, и сказать, что *Y* *проявляет* корпускулярные

¹ “...die de Broglie-Einsteinsche Undulationstheorie der bewegten Korpuskel, nach welcher dieselbe nichts weiter als eine Art “Schaumkamm” auf einer den Weltgrund bildenden Wellenstrahlung ist” Erwin Shroedinger, *Zur Einsteinschen Gastheorie / Physikalische Zeitschrift*, 1926, Bd.27, S.95-101. Cit. by Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, NY, London, 1967

свойства? Разве указанное различие не является сугубо *метафизическим* и не имеющим отношение к физике?

Это различие существенно для физики по крайней мере в одном отношении. *Быть волной (частицей)* значит иметь **полный** набор свойств, который для этого необходим и достаточен. *Проявлять волновые (корпускулярные) свойства*, значит иметь только **некоторые** свойства волны (частицы). Это уже логика, а не только метафизика. Таким образом, онтологическая трактовка квантово-волнового дуализма требует большей строгости, чем феноменологическая: онтологическая трактовка требует точных определений волны и частицы, тогда как для феноменологической трактовки достаточно только считать некоторые наблюдаемые явления характерными для волн, а некоторые другие - для частиц. Но определить точно, что такое частица и что такое волна - это уже задача метафизики, а не чистой логики.

Но может быть никакие другие явления и свойства помимо наблюдаемых в квантово-механических экспериментах и не должны приниматься во внимание? Эту точку зрения можно было бы считать правильной, если бы задача теории состояла только в том, чтобы систематически описать ограниченную область явлений, которые мы считаем *квантовыми*. Однако задачей теории является также согласованная трактовка квантовых явлений и явлений из других областей опыта, включая всю область макроскопических явлений. Если отказаться от этой последней задачи, то придется допустить, что квантовые явления относятся к какой-то обособленной области опыта, к “квантовому миру”, изолированному от макроскопического мира. Однако изолировать квантовый мир невозможно по крайней мере по следующим трем причинам. Во-первых, потому что всякий квантовый эксперимент обязательно предполагает непосредственно наблюдаемый макроскопический эффект (физическая невозможность). Во-вторых, потому что согласование всевозможных явлений это, с моей точки зрения, безусловная методологическая максима науки как таковой. Даже если отказаться от картезианского идеала построения единой физической теории, которая должна трактовать все природные явления сразу, необходимо заменить этот идеал каким-то другим методологическим принципом, который предлагал бы другой вариант глобальной связи явлений, например предложенным Бором принципом соответствия (эпистемологическая невозможность). В-третьих, если считать, что в гипотезе квантово-волнового дуализма речь идет о волнах и частицах не в обычном классическом смысле, в котором мы говорим о макроскопических волнах и частицах, а в каком-то совершенно ином смысле, то возникает и чисто семантическая трудность: нет никаких оснований называть “волной” и “частицей” такие вещи, которые не имеют ничего общего с волной и частицей в обычном смысле (семантическая невозможность)².

Итак, онтологическая трактовка квантово-волнового дуализма требует определить понятия волны и частицы достаточно широко, чтобы их можно было было специфицировать для классического и неклассического случаев. Основная цель данной работы - предложить такие определения. Исследование проблемы я начну с обзора онтологии классической физики. Это введение я хочу завершить следующим замечанием. Возможность сильной онтологической трактовки квантово-волнового дуализма, которую я собираюсь продемонстрировать, не означает, что такой дуализм имеет место в действительности. Принимать гипотезу квантово-волнового дуализма в любой из ее трактовок или нет - это дело опытной науки, а не метафизической спекуляции. Однако если возможность квантово-волнового дуализма не удостоверена с помощью метафизической спекуляции, эта гипотеза не может быть принята даже при наличии подтверждающих опытных данных.

² По сходным причинам мир физики невозможно изолировать от мира обыденного опыта.

Две онтологии классической физики.

В классической физике используются две конкурирующие онтологии, различие между которыми восходит к старому метафизическому спору о том, сколько всего существует вещей - одна или много.

Согласно точке зрения онтологического *холизма*, существует единственная вещь, которую можно назвать Миром, Вселенной или Бытием. С этой точки зрения всякая множественность является вторичной - в том смысле, что множественными являются только *части* мира, которые сами по себе существовать не могут, наподобие того, как не могут самостоятельно существовать части единого организма, например рука или глаз. С этой точки зрения, мир - это единственная конкретная вещь, а многочисленные части мира представляют собой абстракции, то есть вещи, существующие только на словах и в воображении. Поскольку чтобы говорить о движении и изменении необходимо вводить в рассмотрение множества (мест, времен и состояний), движение и изменение также оказываются вторичными абстракциями.

Согласно точке зрения онтологического *партикуляризма*, есть много конкретных “единичных” вещей, сосуществующих и движущихся в пустоте³. Эта пустота (пустое пространство, вакуум), которую оказывается необходимым вводить в рассмотрение, оказывается проблематичным понятием. Проблема состоит в том, что пустота между существующими вещами это, очевидно, просто *ничто*. Однако в этом случае утверждать, что существует пустота (пустое пространство) значит утверждать, что существует ничто, то есть что существует несущее, что противоречиво⁴. С точки зрения онтологического партикуляризма абстрактными оказываются общие признаки единичных вещей и в некотором смысле также классы вещей, обладающих тем или иным признаком, например, признак *красный* и класс всех красных вещей.

Партикуляристская онтология лежит в основании классической механики, уравнения которой описывают движения *тел* в пространстве⁵. Однако уже в классической механике возникает понятие, которое не вполне укладывается в партикуляристскую онтологию, а именно понятие *силы*. Понятие силы с точки зрения партикуляристской онтологии оказывается проблематичным по крайней мере в двух отношениях. Во-первых, непонятно, как вещи могут взаимодействовать через пустоту (проблема дальнего действия). Вторая, более общая проблема

³ Историческое название для онтологического партикуляризма - это *атомизм*, впервые сформулированный Демокритом. Согласно атомизму, существующими в точном смысле слова можно назвать только неделимые, неизменные и вечные *атомы*, тогда как любые другие вещи составлены из атомов и в этом смысле не существуют вполне самостоятельно и независимо. Однако это историческое название следует признать неточным, поскольку тезис о неделимости “истинно сущего” составляющий буквальный смысл термина “атомизм”, совместим также с холизмом. Парменид как и Демокрит считал, что бытие неделимо (точнее, делимо только на словах), вечно и неизменно. В этом смысле бытие Парменида - это тоже *атом*. Разница между двумя точками зрения состоит в том, что Парменид считает что есть только один атом, а Демокрит - что атомов много. (Отсюда сразу следует еще одно важное различие - парменидовский атом неподвижен, а демокритовские атомы движутся.) Поэтому лучше называть эти точки зрения, соответственно, холизмом и партикуляризмом.

⁴ Ср. фрагмент 6 поэмы Парменида:

бытие ведь есть, а ничто не есть: прошу тебя это обдумать.

(Фрагменты ранних греческих философов / пред. А. Лебедева, Наука 1989, стр. 296)

⁵ Чтобы избежать парадоксального предположения о существовании пустоты (как небытия) Ньютону пришлось предположить, что пространство является сущностью особого рода (другого чем тела), а именно неким божественным органом (*sensorium Dei*). Альтернативную точку зрения на пространство (которую сейчас называют *реляционной*) предложил Лейбниц. Согласно этой последней точке зрения пространство это особое *отношение*, в котором тела находятся относительно друг друга.

состоит в том, что взаимодействующие тела невозможно рассматривать как существующие вполне независимо друг от друга. В ряде случаев, гораздо естественнее считать онтологически первичной некоторую систему взаимодействующих тел, а не сами взаимодействующие тела по-отдельности. С понятием силы еще можно было мириться в рамках партикуляристской онтологии, пока речь шла о *центральных* силах, то есть силах, действующих на точечные тела по соединяющей эти тела прямой, считая, что эти тела каким-то таинственным образом “чувствуют” присутствие друг друга и притягиваются или отталкиваются. Однако обнаружение нецентральных магнитных сил показало неубедительность такого описания. Поэтому предложенное первоначально в качестве вспомогательного понятие *поля сил* физики очень скоро стали понимать онтологически, то есть стали верить, что поле это не просто удобная математическая конструкция, а реально существующая вещь. Как писали Эйнштейн и Инфельд в 1938 году, “для современного физика электромагнитное поле столь же реально, как и стул, на котором он сидит”⁶. Понятие поля является существенно холистическим. Электрическое поле, создаваемое единственной заряженной частицей, распространяется, строго говоря, на весь мир⁷. Саму заряженную частицу при таком подходе можно считать *особенностью* поля. Если к первой заряженной частице добавить вторую, то это поле изменится, однако второго поля не возникнет: поля, создаваемые первой и второй частицей можно различать только абстрактно (принцип суперпозиции). Новое поле возникнет только в том случае, если будет введен в рассмотрение новый тип взаимодействия (то есть сил), не сводимый к первому. Однако идеалом теории поля является *объединение* всех взаимодействий в рамках *общей* теории поля. Эта теория в духе Парменида предполагала бы единственный онтологический примитив - единое поле сил, описывающее все известные взаимодействия. Объединение электростатического и магнитного полей в рамках классической электродинамики, а затем объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий - это шаги на пути реализации этой программы.

Классический и квантово-волновой дуализм

Усилия Эйнштейна по совмещению механики с электромагнетизмом (в частности, факта независимости скорости света от выбора инерциальной системы отсчета с фактом независимости скорости света от скорости источника) потребовали от него отказаться в механике от партикуляристской онтологии. С формальной точки зрения это оказалось на удивление легко сделать. Рассмотрим траекторию движущейся частицы. Эта траектория представляет собой совокупность всех мгновенных положений частицы и содержит всю информацию о ее движении. Если частица является материальной точкой, то каждое мгновенное положение частицы представляет собой атомарное *событие* - материальную точку в пространстве-времени; всякая совокупность таких точек, в том числе обладающая свойствами, которые мы обычно предполагаем у траектории частицы (в частности, топологической связностью), это некоторое сложное событие. Почему бы нам не отказаться вовсе от представления о частицах и говорить только о траекториях и других событиях? Хотя траектория данной частицы выглядит по-разному в разных системах координат, правила преобразования координат позволяют взаимно-однозначно отождествлять атомарные события (в классическом случае - любые атомарные события).

Как считают Эйнштейн и Инфельд, в классическом случае выбор между языком частиц, движущихся в пространстве, и языком событий (траекторий), локализуемых в пространстве-времени, является “делом вкуса”. Однако уже специальная теория относительности дает

⁶ А. Эйнштейн и Л. Инфельд *Эволюция физики*, Гостехиздат, 1948, стр.144

⁷ Поэтому понятие поля несовместимо с понятием пустого пространства.

решающий аргумент в пользу языка событий.⁸ Непосредственная причина такого выбора состоит в том, что релятивизируя отношение одновременности удаленных в пространстве событий, теория относительности также релятивизирует различие между временем и пространством: события, которые в одной системе координат описываются как происходящие одновременно в разных местах, в другой системе координат могут описываться как происходящие в одном и том же месте в разное время.

Даже если не принимать во внимание аргументы, связанные с теорией относительности, можно увидеть, что альтернативные онтологии частиц и событий различаются столь разительно, что вряд ли стоит относиться к выбору между ними легкомысленно. В отличие от самих частиц их траектории движения не движутся и не меняются. Кроме того, понятие события, как оно используется в теории относительности, не допускает представления о “пустом” абсолютном пространстве-времени - это исходный пункт теории. С формальной точки зрения пространство-время событий теории относительности весьма похоже на поле: в обоих случаях рассматривается геометрическое пространство, каждой точке которого приписываются значения определенных параметров. Чтобы сделать эту аналогию более полной, достаточно рассматривать поля также не в пространстве, а в пространстве-времени, фиксируя все их изменения на временной шкале. На первый взгляд онтология событий не кажется холистической: в частности, никакая траектория не занимает всего пространства-времени, а является ограниченным в пространстве-времени событием. Однако чтобы ограничить (выделить) событие в пространстве-времени, необходимо заранее предположить это пространство-время. Если отказаться от идеи о “пространстве-времени без событий” и считать, что пространство-время это не что иное как совокупность (геометрическое многообразие) событий, то придется допустить, что совокупность событий онтологически предшествует каждому отдельному событию, то есть придется принять холистическую онтологию, рассматривая мир как одно событие.

Тем не менее, кажется очевидным, что говоря о движущихся частицах и их траекториях, мы говорим об одном и том же. Кажется вполне разумным допустить, что частица и ее траектория - это не две разных вещи, а два разных описания одной и той же вещи.

Успех специальной теории относительности заставил многих философов (например, У. Квайна) отказаться от онтологии частиц и предпочесть ей онтологию событий. Аргумент сторонников событий состоит в том, что всякая траектория является множеством атомарных событий, но не всякое множество атомарных событий является траекторией (или может быть представлено в виде траектории). Поскольку только множества атомарных событий специального вида могут считаться траекториями частиц, онтология событий является более общей. Кроме того онтологическая редукция частиц к их траекториям позволяет раз и навсегда избавиться от всех каверзных вопросов, связанных с движением и сохранением тождества во времени, вроде парадоксов Зенона, а также парадоксов “статуя” и “корабль Тезея”.

Чтобы увидеть проблематичность такого подхода достаточно принять во внимание ограничения, возникающие в *общей* теории относительности. Общая теория относительности не допускает глобальной системы координат и позволяет использовать системы координат, о которых идет речь в специальной теории, только *локально*. Это означает, что говоря мире как о совокупности *всех* событий, мы не можем одновременно *идентифицировать* (то есть локализовать в пространстве-времени) все эти события. Разговор о неидентифицируемых сущностях является сомнительным⁹. С точки зрения общей теории относительности мы не

⁸ Цит. соч. стр. 191

⁹ Ср. принцип Квайна: *no entity without identity* (никаких сущностей без идентичности). См. по этому поводу также статью Т. Цао в этом сборнике.

можем исключить из рассмотрения движение, хотя речь здесь идет не о движении частиц, а о движении наблюдателя, с которым связывается начало системы координат.

Мое предположение состоит в том, что и язык частиц, и язык событий являются необходимыми и нередуцируемыми друг к другу. Разумеется, говоря о движущихся частицах, мы не можем не принимать во внимание их траектории. Однако я предполагаю, что верно и обратное - понятие траектории и вообще понятие события потеряет свой смысл без понятий движения и изменения. А эти последние понятия предполагают понятие о вещи, которая движется и изменяется, оставаясь при этом самой собой. Такая вещь и называется в физике частицей. Это допущение я буду называть *классическим дуализмом*.

Классический дуализм имеет много общих черт с квантовым. С одной стороны, в обоих случаях мы имеем частицу. С другой стороны, в одном случае мы имеем траекторию (событие), а в другом случае волну, то есть некоторую структуру поля. С формальной точки зрения и волна, и траектория могут быть описаны как некоторые пространственно-временные области. Не противореча ни здравому смыслу, ни физике мы можем также считать электромагнитные волны *событиями*. Проблема состоит в том, что электромагнитную волну невозможно считать траекторией соответствующей частицы в обычном смысле, поскольку описание этой волны не позволяет ответить на вопрос в какой точке пространства находится движущаяся точечная частица в каждый момент своего движения. Однако все это рассуждение является очень нестрогим - пока мы не определили формально ни что такое частица, ни что такое событие, ни что такое траектория, ни что такое точка, ни в каком смысле языки частиц и событий служат для описания "одного и того же". Хотя классический дуализм кажется гораздо более естественным, чем квантовый, эта естественность основывается скорее на привычке, чем на точных теоретических основаниях. Мы не продвинемся дальше, если при обсуждении данных вопросов будем опираться только на интуицию и здравый смысл. Поэтому нашей следующей задачей будет определить все указанные выше понятия и объединить их в рамках единой теории, которая годилась бы как для классического, так и для квантового случая.

Декартовы координаты

Декартовы координаты повсеместно используются в современной физике и математике. Мы настолько привыкли к декартовым координатам, что можем подумать, что это единственное средство, позволяющее говорить точно и строго о пространстве, времени и пространстве-времени. Однако идея декартовых координат связана с метафизическими предположениями, от которых современная физика заставляет нас отказаться. Основными являются следующие два предположения:

- 1) пространство¹⁰ состоит из точек;
- 2) пространство бесконечно.

Восходящие к Аристотелю попытки ослабить 1) с помощью модального различия между актуальными и потенциальными точками (а также между актуальной и потенциальной бесконечностью) перестали быть популярными после появления теории множеств. Однако если даже не говорить, что пространство *состоит* из точек, а ограничиться тем, что в любой области пространства *можно выделить* сколько угодно точек, мы все равно приходим в противоречие с квантовой механикой, если будем интерпретировать снабженное декартовыми координатами геометрическое пространство как физическое пространство-время: согласно квантовой механике, пространство-время не непрерывно, а дискретно. С другой стороны, 2) непосредственно не совместимо с общей теорией относительности,

¹⁰ Я здесь имею в виду *геометрическое* пространство, которое, в частности, используется для представления пространства-времени.

поскольку применительно к физическому пространству-времени 2) означает, что данная система координат глобальна (то есть позволяет локализовать *любое* событие), тогда как общая теория относительности, как уже было сказано, допускает только локальные координаты. Конечно, в обоих случаях мы можем выйти из положения, различая реальное физическое пространство-время и геометрическое пространство, с помощью которого мы его описываем. Однако это не является хорошим выходом из положения: настаивая на различии геометрического и физического пространства и пытаясь приспособить геометрическое пространство к физическому с помощью внешних ограничений и дополнительных условий (например, с помощью ограничения применения декартовых координат окрестностью точки начала координат), мы демонстрируем несоответствие используемого концептуального аппарата исследуемой реальности. Даже если по эпистемологическим или метафизическим соображениям считать необходимым сохранять дистанцию между геометрией и физикой, мы должны стремиться к тому, чтобы математические средства, используемые в физике, делали физические теории более простыми и более общими.

Ниже я предлагаю альтернативу декартовым координатам как средству построения геометрического пространства и показываю, что предлагаемый аппарат лучше соответствует требованиям физики и в отличие от декартовых координат не использует неприемлемых метафизических предположений, о которых мы говорили выше.

Категории вместо координат

Предлагаемый аппарат представляет собой интерпретацию элементарных понятий абстрактной теории категорий в терминах пространства, времени и движения. Для экономии места я даю сразу интерпретированную версию теории категорий, приводя в скобках соответствующие термины абстрактной теории¹¹.

Предположим взаимные *размещения* f, g, \dots вещей A, B, \dots : $f: A \rightarrow B$ (читается *A находится на/в B* или *A размещена на/в B* или *A расположена на/в B*). Интуитивные примеры размещений - книжка на полке и пальто на вешалке.

Заметим, что вещь A может быть размещена на вещи B , вообще говоря, многими способами f, g, \dots . Далее примем следующие две аксиомы:

- 1) Размещения допускают композицию: размещения $f: A \rightarrow B$ и $g: B \rightarrow C$ определяют единственное размещение $gf: A \rightarrow C$;
- 2) Всякая вещь размещена сама на себе тождественным образом $1_A : A \rightarrow A$, так что для любого размещения *на* A $f: X \rightarrow A$ $1_A f = f$ и для любого размещения A на другой вещи $g: A \rightarrow Y$ $g 1_A = g$.

(1) и 2) - это стандартные аксиомы абстрактной категории.)

Категория - это некоторое множество *вещей*, которые какими-то способами *размещены* друг на друге. Мы не предполагаем, что *каждая* из рассматриваемых вещей каким-то образом размещена на каждой другой. Всю рассматриваемую как категорию нужно понимать как представляющую некоторую ограниченную *ситуацию*. Это значит, что в отличие от декартовых координат категории работают только *локально*.

Опр.1: A *покоится* относительно B ттт¹² существует ровно одно размещение A на B ; A *движется* относительно B ттт существует более одного размещения A на B .

Интуитивно это значит, что если A бывает по-разному расположена на B , то A движется относительно B ; если A располагается на B единственным образом, то A покоится относительно B . Идея состоит в том, что если A движется относительно B , то A бывает

¹¹ Стандартное введение в теорию категорий см., например, Голдблатт. Топосы: категорный анализ логики. М.1983

¹² тогда и только тогда, когда

расположена на V по-разному *в разное время*. Но время я еще не определил: я определяю время через движение, а не наоборот.

Опр.2: Вещь S называется **пространством** ттт всякая вещь A данной категории размещена на S , то есть ттт для всякой A существует размещение $f:A \rightarrow S$.

Идея проста: в пространстве расположены *все* вещи. Однако следующее определение показывает, что Опр.2 определяет скорее *пространство-время*, тогда как собственно *пространство* - это частный случай предыдущего определения.

Опр.3: Пространство S данной категории называется **статическим** ттт каждая вещь *покоится* в S ; в противном случае пространство называется **динамическим**.

(Статическое пространство это *терминальный объект* категории.)

Лемма 1: Если категория имеет статическое пространство, оно единственно (с точностью до изоморфизма).

(Единственность терминального объекта.)

Статическое пространство можно мыслить как “моментальную фотографию” категории в целом. Это позволит нам дать определение момента времени (Опр.6).

Опр.4: Вещь T называется **траекторией** вещи A ттт (1) A размещено на T и (2) всякая вещь V , размещенная на T размещена на A .

Идея состоит в том, что траектория является *эксклюзивной* в следующем смысле: в отличие от любого *пути* данная траектория может быть пройдена только *единственной* вещью A и всякой вещью, размещенной на A . (Ср. траекторию частицы в классическом четырехмерном пространстве-времени.)

Опр.5: **Время** это траектория статического пространства (S) данной категории.

Идея состоит в том, что только пространство (ср. классическое пространство) может “двигаться во времени”. Правильность выбора этого определения показывает следующая лемма:

Лемма 2: Пусть статическое пространство S размещено на T . Тогда T - траектория S и, следовательно - время.

Заметим, что определенное таким образом время - это динамическое пространство (по композиции размещений).

Опр.6: Размещение статического пространства $S \rightarrow T$ называется **моментом**.

(Это стандартное категорное определение *точки*.)

С помощью определения момента легко определить *одновременность размещений* в данном динамическом пространстве. Однако не существует естественного способа определения одновременности размещений сразу на всех вещах данной категории: определение такого понятия обязательно предполагает условную “синхронизацию” различных “времен”. Тем не менее, предположив такую синхронизацию, можно определить пространственные *точки* как одновременные моменты различных динамических пространств. Тот факт, что понятие точки здесь не предполагается заранее, а строго определяется, является важным преимуществом категорного подхода. Согласно этому подходу, пространство не “состоит” из точек, а может лишь *иметь* точки при определенных условиях.

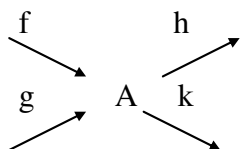
Заметим, что из определений 5, 6 не следует, что моменты времени как-то упорядочены, и не следует существование “стрелы времени”. Тем не менее, можно показать, что порядок моментов и “стрела времени” возникают в общем случае. Для этого достаточно рассмотреть момент $m_0: S \rightarrow T$ и дополнительное размещение $t: T \rightarrow T$, которое можно назвать “часами”.

Беря композицию t с m_0 и с собой, мы получаем последовательность (т.е. линейно упорядоченное множество) моментов $t^n m_0$. На самом деле существование часов не является специальным свойством данного времени T . Всякое время T обладает “естественными” часами $m_0 s$, где $s: T \rightarrow S$ это единственное размещение времени T в статическом пространстве

S (Опр.3). Так что *всякий* момент времени порождает линейно упорядоченную и направленную последовательность моментов. Однако из данных определений не следует, что всякий момент данного времени порождает *одну и ту же* последовательность моментов (или что эти последовательности хотя бы частично совпадают). Поэтому, вообще говоря, моменты одного и того же времени не упорядочены.

Экстенционал и интенционал

Что представляют собой *вещи*, о которых идет речь в нашей теории? Аксиома 2 позволяет редуцировать вещи к размещениям: для этого достаточно отождествить вещи с их *тождественными* размещениями. Однако этого недостаточно для наших целей. Рассмотрим общий случай. На всякую вещь в нашей теории можно посмотреть двояко: как на “место”, где что-то размещается, и как на то, что само где-то и как-то размещается. Формально это означает, что всякая вещь характеризуется *входящими* размещениями (стрелками) и *исходящими* размещениями. Например, вещь A на диаграмме внизу имеет входящие размещения f,g и исходящие размещения h,k.



Тождественное размещение, (как и любое другое размещение на себе) является одновременно входящим и исходящим. За исключением тривиального случая, когда вещь не имеет других размещений кроме тождественного, некоторые размещения (стрелки) сходятся на этой вещи и/или некоторые размещения расходятся из этой вещи (как на приведенной выше диаграмме).

Опр.7: Схождение размещений называется *экстенционалом*, а расхождение размещений называется *интенционалом* данной вещи.

Итак, экстенционал характеризует вещь как “место”. Поскольку сходящиеся размещения, вообще говоря, не одновременны, “место” нужно в данном случае понимать как место в пространстве-времени, то есть ситуацию или событие. Расходящиеся размещения тоже, вообще говоря, не одновременны и, в частности, могут характеризовать вещь как движущуюся частицу (ср. опр.1). Таким образом, одна и та же вещь может иметь характеристики как события (экстенционал), так и частицы (интенционал). В частности, категория, состоящая из единственной вещи, снабженной некоторым множеством размещений на себе (моноид), согласно такой интерпретации, будет сразу движущейся частицей и траекторией этой частицы (опр.4).

Физика и метафизика

Введенные выше определения достаточно широки, чтобы включить в себя классический и неклассический случаи. Действительно, опр.1, 4 позволяют говорить о траектории движения, не предполагая, что эта траектория представляет собой линейно упорядоченное множество мгновенных положений этой частицы и даже не предполагая, что это движение связано с пространством и временем.

Согласно нашей теории, пространство не состоит из точек, однако время состоит из моментов. Это значит, что вопрос “где находится данная частица в данный момент времени” в рамках этой теории всегда имеет определенный ответ (если данный момент относится к траектории данной частицы), однако этот ответ, вообще говоря, дается не в терминах точек,

а в терминах размещений общего вида. Кроме того, эта теория допускает размещения, которые не связаны ни с каким определенным моментом времени.

Рассмотрим теперь неклассическую частицу и соответствующую этой частице волну. Будем понимать волну как событие (в пространстве-времени). Тогда наша теория позволяет считать данную волну траекторией данной частицы. То обстоятельство, что мы не можем определить положение этой частицы поточечно и помоментно, уже не является для этого препятствием. Таким образом, наша теория позволяет говорить о классическом и квантовом дуализме в единых терминах.

Далее, асимметричность размещения (т.е. тот факт, что если А как-то размещено на В, это не говорит ничего о том, как В размещено на А и размещено ли вообще) позволяет говорить о размещениях микроскопических вещей на макроскопических, не предполагая, что макроскопические вещи как-то размещены на микроскопических. Это в свою очередь позволяет объяснить квантовую “нелокальность” только разностью масштабов между микрочастицами и макроскопическими средствами наблюдения (в частности, часами), не предполагая, что на микроскопическом уровне пространство, время и движение подчиняются каким-то другим законам и имеют иной смысл, чем на макроскопическом уровне¹³.

Заметим, однако, что речь здесь идет только о метафизической возможности. Наша теория дает новый и более широкий взгляд на понятия частицы и события - причем не только на уровне интуиции, но и на уровне формальных определений - который позволяет посмотреть на классический и неклассический случаи с единой точки зрения и таким образом оправдать парадоксальные с классической точки зрения выводы квантовой механики, в частности, тезис о квантово-волновом дуализме (в сильной онтологической формулировке). Однако формальный аппарат нашей теории в том виде, как он был представлен выше, не приспособлен к применению к существующим физическим теориям, и в частности, к квантовой механике. В этом смысле представленная теория является метафизической, а не физической. Тем не менее, дистанция между физикой и метафизикой в данном случае не кажется непроходимой. Шагом на пути наведения мостов могла бы быть попытка использовать не абстрактную теорию категорий, а конкретные категории, связанные с математическим аппаратом соответствующих теорий. В частности, если речь идет о квантовой механике и теории поля, естественными кандидатами являются, соответственно, категории гильбертовых пространств и дифференцируемых многообразий.

¹³ Подробнее см. Andrei Rodin, *Endurance, Perdurance, and Quantum Duality*, to appear in *International Journal of Philosophy of Science*.