

УДК 161.111

АПОРИИ ЗЕНОНА И ПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ ПОНЯТИЯ ДВИЖЕНИЯ

Вилесов Ю.Ф., Лазарев Ф.В.

Революция в физике на рубеже XIX-го и XX-го веков, создание несколько позднее квантовой механики, высветили неприменимость многих традиционных понятий физики (впрочем, и всего естествознания) в новых экспериментальных условиях. Такие понятия как пространство, время, волна, частица и т.д. потеряли однозначный, абсолютный смысл. При этом не были введены новые понятия, заменяющие старые. Так, например, решением уравнения Шредингера является волновая функция, которой приписывают смысл “волны вероятности”. Однако такая интерпретация не устраивает большинство физиков. Например, А. Эйнштейн говорил: “Я не верю, что господь Бог играет в кости”.

Квантовая механика ограничила применимость таких понятий классической физики, как частица, импульс, координата. “Понятия и представления, перенесенные в атомную область из старой физики, оказывались верными лишь наполовину, и, пользуясь старыми средствами, нельзя было заранее указать точные границы их применимости” [1, с. 85]. Экспериментатор сталкивался с ситуацией, когда фиксированная точность определения одной величины (например, координаты), приводила к невозможности точного измерения другой величины - импульса частицы.

Завершена ли инициированная современной физикой революция в наших взглядах на окружающий нас мир? Все ли другие понятия классической физики применимы для описания квантовомеханических объектов? В частности, всегда ли применимо общепринятое, устоявшееся в настоящее время понятие движения?

Ответить на эти вопросы нельзя, опираясь только на общепринятые представления. Каждому понятию необходимо сопоставить соответствующий закон природы, или законы природы, соблюдение которых делает понятие однозначно применимым. Понятие может иметь определяющий, однозначный смысл только в том случае, если изменение характеристики объекта, отображаемой понятием, изменит исследуемое состояние объекта (например, изменение цвета не меняет состояние объекта в гравитационном поле).

УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ ПОНЯТИЯ КООРДИНАТЫ

Для описания состояния физических тел широко используется понятие координаты. Какие законы природы должно отображать понятие координаты? Какая неизменная в пространстве и во времени сущность объекта в нем заключена? Как оно связано с другими понятиями, например, с движением? Что означает утверждение: “физическое тело A имеет координаты x, y, z ”? В каком случае для однозначного описания поведения физического тела достаточно знать три его

координаты? В каком случае эти три числа x , y , z , характеризующие точку в пространстве, полностью, однозначно характеризуют изучаемую физическую систему, т.е. в каком случае, во-первых, свойства физического тела, входящего в систему взаимодействующих физических тел, тождественны свойствам точки (или материальной точки, не имеющей размеров, но имеющей, например, массу), и, во-вторых, определенное расположение этого тела (его координаты) определяют всю систему?

Логический переход от тела конечных размеров, свойства которого зависят от его геометрической формы, к материальной точке, не имеющей размеров и формы, недопустим. Такой переход в процессе абстрагирования означал бы появление у абстракции новых свойств, отсутствующих у реального предмета, и становится непонятным, почему абстракция - одна реальность, и физическое тело конечных размеров - другая реальность, тождественны друг другу. Как можно познавать мир посредством замены вещей из предметного мира на абстракции, если вещи и абстракции не имеют между собой ничего общего?

Переход от предмета с конечными размерами к абстракции материальной точки, не имеющей размеры, может иметь смысл только тогда, когда абстракция отображает объективные законы природы. В основе операции абстрагирования должно лежать объективное свойство предмета сохранять неизменными свои характеристики (например, форму) при изменении геометрических размеров (например, радиуса сферической поверхности), факт инвариантности выделенных характеристик объекта в процессе изменения геометрических размеров. Переход от рассмотрения предмета конечных размеров к абстракции материальной точки не должен приводить к появлению у абстрактного объекта нового свойства или к потере существенных свойств.

Поэтому, для того, чтобы понятие координаты однозначно отображало свойства объекта, во-первых, предмет должен иметь объективное свойство независимости своих свойств от геометрических размеров. Во-вторых, координата должна быть неизменной самодостаточной характеристикой объекта, некоторой константой. Если координата изменится, то либо изменится вещь, которую однозначно отображает эта координата, либо понятие координаты не может однозначно отображать состояние вещи.

Например, в любом механизме, приборе или механической конструкции есть детали, имеющие определенную, неизменную координату (положение относительно других деталей). Координата детали может однозначно определить функцию или предназначение этой детали в машине или конструкции. Если координата детали изменится, то деталь не сможет быть тем, чем была до этого, не сможет выполнять свою функцию, не будет тождественна сама себе, перестанет быть однозначной определенностью.

Впрочем, машина или механическая конструкция также перестанет быть тождественной сама себе, потеряет возможность выполнять свои функции, в ней нарушатся связи между элементами, можно сказать, что перестанут действовать заложенные в ней закономерности. Механическую конструкцию можно сравнить с маленьким замкнутым миром, монадой, внутри которой действуют свои локальные

законы, обусловленные взаимосвязями между деталями. Все взаимодействия внутри механической конструкции обусловлены взаимным расположением деталей в ней, т.е., можно сказать, координатой. Изменение положения одной детали нарушит все взаимосвязи в конструкции, разрушит эту конструкцию как конкретную определенность, преобразует ее в другую. Поэтому координата детали неизменна. Изменение координаты означает исчезновение детали как однозначной определенности, и, одновременно, “гибель” монады с ее законами.

Взаимное расположение деталей в конструкции можно однозначно задать с помощью трех чисел - координат. Каждой детали конструкции соответствуют свои координаты. Любое строение или машину сперва конструируют, используя ее изображение на бумаге, где приведены все детали конструкции и их координаты. По известным координатам деталей всегда можно воспроизвести конструкцию. Координаты деталей конструкции и сама конструкция оказываются, в определенном смысле, тождественны друг другу. Координаты деталей конструкции однозначно и полно отображают сущность этой конструкции.

ПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ ПОНЯТИЯ ДВИЖЕНИЯ.

Понятие координаты однозначно определяет состояние объекта как неизменной сущности (например, в строительной конструкции). Однако, далеко не все вещи окружающего нас мира неподвижны. Как быть с наблюдаемыми предметами внешнего мира, которые двигаются, которые изменяют свое положение относительно других предметов? Координата тела, как характеристика неизменная, абсолютная (по Канту) и понятие движения, несовместимы. Получается парадокс: с одной стороны, понятие как абстракция однозначно отображает законы мира, которые проявились в данной вещи, с другой стороны, при определенных условиях абстракция не отображает свойств вещи. Этот логический парадокс отображен еще в апориях Зенона. Зенон обнаружил противоречивый характер движения, выразившийся в том, что движущееся тело должно одновременно быть там, где оно есть, и там, где его нет [2, с. 19]. Поскольку это противоречие, по его мнению, невозможно, то никакого движения не существует.

Зенон прав в том смысле, что если говорить о координате объекта как о его неотъемлемой характеристике, проходящей через все время, то движение, как понятие, отрицающее неизменность этой характеристики, невозможно. Можно говорить либо о координате тела, либо о его движении.

Как же быть с наблюдаемым движением любого тела. Давайте внимательно прочтем первый закон Ньютона: “тело находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения, если равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю”. Мы обнаружим, что вместо одной константы, однозначно характеризующей состояние объекта в каждый момент времени, появляется другая. Через все время в качестве однозначной определенности, константы, проходит скорость тела.

В изменившемся интервале абстракции изменяется и его константа. В новом интервале абстракции координата уже не является однозначной определенностью, полностью характеризующей состояние объекта. Она является переменной,

функцией от скорости и времени. Причем это не координата в выше рассмотренном понимании, а текущая координата, понятие, отличное от первоначального, другими словами, перед нами два понятия, семантика которых в определенной степени несовместима.

Состояние объекта в новом интервале абстракции однозначно определяет не одна характеристика, как в первом интервале абстракции, а три - скорость, текущая координата и момент времени наблюдения. Константа интервала абстракции - скорость, является соотношением между переменными интервала абстракции и определяется как частное от деления изменения текущей координаты Δx на отрезок времени Δt , в течении которого произошло это изменение координаты:
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Жесткая зависимость между переменными интервала абстракции и его константой дает возможность определить неизвестную переменную по константе и известной переменной. Так, текущую координату можно определить по известной текущей координате в начальный момент времени, сложив ее с произведением константы интервала абстракции на отрезок времени от первоначального до текущего момента. Константа интервала абстракции однозначно определяет текущую координату в каждый момент времени. Аналогично, константа интервала абстракции однозначно определяет момент времени, которому может соответствовать данная текущая координата.

Новая константа интервала абстракции отрицает исходные понятия. В частности, координата движущегося тела частично теряет реальный смысл в качестве однозначно определяющей состояние объекта характеристики. Если в некоторой конструкции деталь, изменившая свое положение, не тождественна детали в исходном состоянии, сама изменившаяся конструкция также не тождественна исходной, то при исследовании движущегося тела предполагается тождественность его самому себе в любой точке пространства. Соответственно предполагается, что и пространство не изменяется в процессе движения по нему физического тела. Однако, если при изменении координаты тела ничего в исследуемой системе не изменяется, то нет смысла говорить о координате. По критерию отличия существует только то, что отличается. Поэтому координата движущегося тела существует, имеет смысл только потому, что имеет место изменение положения тела относительно других, посторонних к данному физическим тел. Координата тела является "посторонней", второстепенной характеристикой движущегося тела.

Выраженное в апории "Дихотомия" противоречие, заключающееся в том, что "прежде чем пройти какое-либо расстояние, необходимо пройти его половину, чтобы пройти половину, нужно пройти половину этой половины и т.д. до бесконечности. Отсюда делается вывод: движение не может и начаться" [3, с. 24]. Постановка проблемы в апории предполагает изменение состояния объекта с момента начала движения, нетождественность неподвижного объекта и объекта, начавшего движение. Физическое тело представляется одновременно движущимся и неподвижным. Как неоднократно отмечалось, имеет место диалектика прерывного

и непрерывного. Однако более существенной является другая проблема, отображенная в апории.

В постановке задачи предполагается, что состояние объекта определяется его положением в пространстве. Кроме того, утверждается, что прежде чем попасть из начального положения в пространстве в конечное, физический объект должен последовательно пройти все промежуточные положения в пространстве. Причем все промежуточные положения также однозначно определяют сущность объекта. Естественно, что при такой постановке вопроса движение, если оно даже начнется, будет происходить бесконечно долго и не будет наблюдаемо.

Можно ли утверждать, что физическое тело всегда проходит все промежуточные положения в пространстве? Если состояние объекта однозначно определяется его скоростью, то любое положение объекта в пространстве является функцией от скорости тела и времени. Само определение скорости предполагает последовательное движение физического тела через все промежуточные состояния. Однако всегда ли имеет место именно такое движение. Когда исследуется механическое движение физических тел в классической физике, действуют законы Ньютона. Первый и второй законы Ньютона предопределяют последовательное прохождение физическими телами всех промежуточных положений в пространстве.

При исследовании движения квантовомеханических объектов законы, предопределяющие последовательное прохождение промежуточных положений, неизвестны. Например, какие законы регулируют перемещение электрона в атоме с одной орбиты на другую, какие законы определяют движение частиц при туннельном переходе, какие законы определяют движение частиц при дифракции на отверстиях? Невозможность определения траектории, по которой электрон перемещается с одной атомной орбиты на другую, неизвестная локализация "туннеля" или невозможность определить, через какое конкретно отверстие прошла частица в процессе дифракции на щелях, воспринимается как квантовомеханические феномены.

Однако на самом деле здесь проявляется противоречивость самого понятия движения, подмеченная еще Зеноном. С одной стороны, движение - это переход объекта из одного состояния в другое, перемещение из одной области пространства в другую. Движение - это событие перемещения из одного состояния в другое. Объект первоначально находится в одном состоянии, в интервальной ситуации неподвижного объекта, характеризуемой константой интервала абстракции - первоначальной координатой. Затем оно совершает перемещение в пространстве и находится в неизвестной интервальной ситуации, с неизвестными законами, определяющими состояние объекта. Неизвестно, чем можно характеризовать это промежуточное состояние. После чего объект переходит в новое состояние, в интервальную ситуацию неподвижного объекта, характеризуемое константой интервала абстракции - новой координатой.

С другой стороны - движение является состоянием, в котором скорость однозначно характеризует объект. В процессе такого движения не происходит события перехода из одного состояния в другое, состояние объекта неизменно. Объект постоянно находится в одной интервальной ситуации, его состояние

определяется постоянной совокупностью законов и характеризуется одной константой интервала абстракции - скоростью.

Перемещение в пространстве квантовомеханических объектов характеризуется первым типом движения, когда траектория физического тела неизвестна и утверждение о последовательном прохождении всех промежуточных положений в пространстве ничем не обосновано. Нахождение квантовомеханического объекта при туннельном переходе в промежуточном положении противоречит закону сохранения энергии. Выявление конкретной щели, через которую прошла одиночная дифрагирующая частица, противоречит законам распространения волн. Поэтому экспериментальная регистрация щели, через которую прошла одиночная дифрагирующая частица, приводит к исчезновению у нее волновых свойств. Частица теряет способность участвовать в интерференции. И дело здесь не в принципиальном запрете природы на возможность определения щели, через которую прошла интерферирующая частица, как считают авторы эксперимента, а в том, что в процессе определения частица изменила свое состояние. Интерферировать могут только частицы, прошедшие одновременно через обе щели, хотя это и звучит парадоксально.

Во всех приведенных примерах мы хорошо знаем, в каком состоянии находился объект до перехода, и в каком состоянии он очутился после перехода. Но мы не знаем, где находился, и находился ли вообще, объект в процессе перехода. Для уточнения этого вопроса рассмотрим еще одну апорию Зенона.

В апии "Ахилл и черепаха" говорится, что быстроногий Ахилл никогда не догонит черепахи, так как за то время, пока бегун достигнет того места, где находилась черепаха в момент "старта", черепаха успеет продвинуться на какое-то расстояние вперед, и т.д. В апии утверждается, что Ахиллес тождественен самому себе только в точках, в которых находилась черепаха в предыдущий момент тождественности. В отличие от апии "Дихотомия", здесь рассматриваются промежуточные положения во времени.

Отличие между Ахиллом и черепахой в том, что за равные промежутки времени Ахилл совершает переход в состояния, сильнее отличающиеся от первоначальных, чем черепаха. Имеет ли смысл говорить о времени, в течении которого произошел этот переход, в реальных физических процессах? Поскольку и Ахилл, и черепаха проходят через тождественные состояния, то аналогом задачи является переход электрона между уровнями в атоме под воздействием поглощенных фотонов. Ахилл - это фотоны с большой энергией, инициирующие переход между уровнями с большой разницей энергии, черепаха - фотоны с малой энергией, инициирующие переход между уровнями с малой разницей энергии. От чего зависит время перехода - от разницы энергии или от геометрического расстояния между орбитами?

В многоэлектронных атомах внутренние электронные орбиты расположены довольно близко друг от друга геометрически, но обладают большой разницей энергии. Внешние электронные орбиты атома расположены сравнительно далеко друг от друга геометрически, и обладают малой разностью энергии. Что в такой ситуации понимать под скоростью?

С чисто классической точки зрения, чем больше энергия фотона, тем большая сила действует на электрон и тем выше скорость электрона. Чем меньше расстояние между орбитами (мы пока упускаем факт перекрытия орбит, так как рассматриваем задачу с точки зрения классической физики), тем быстрее произойдет переход между ними. Поэтому в ионизованном газе с большой вероятностью должны осуществляться переходы с верхних уровней на нижние и с малой вероятностью с верхних уровней на средние. Однако экспериментально такая ситуация не реализуется. Если не учитывать правила отбора квантовой механики, то вероятность всех переходов примерно одинакова.

За какое же время происходят переходы между состояниями квантовомеханических объектов? Классические критерии - расстояние, интенсивность воздействия, для оценки времени перехода неприменимы. Допустим, нам необходимо узнать, за какое время к нам дойдет квант света, испущенный в соседней галактике. Допустим, там есть наблюдатель, засекший момент испускания этого кванта. Для точного измерения времени часы наблюдателя в нашей галактике и наблюдателя в соседней должны быть синхронизированы. Поэтому, засекши испускание кванта в соседней галактике, наблюдатель посылает в нашу галактику, например, синхронизирующий измерения радиосигнал. Наблюдатель в нашей галактике измеряет промежуток времени между прибытием кванта света и синхронизирующего радиосигнала. Этот промежуток времени оказывается равным нулю. Для того, чтобы преодолеть колоссальное по земным меркам расстояние между двумя галактиками, кванту света нужно нулевое время. Переход осуществляется мгновенно.

С точки зрения релятивистской механики понятия расстояния и отрезков времени относительны, зависят от выбора системы отсчета. Инвариантом является интервал. Интервал между двумя событиями - испусканием кванта света атомом в соседней галактике и поглощением его другим атомом в нашей галактике равен нулю. Оба атома - испустивший квант света и поглотивший его, находятся в одной точке четырехмерного пространства-времени (атомы соприкасаются в четырехмерном пространстве-времени). В четырехмерном пространстве-времени при взаимодействии двух атомов никакого движения фотона просто не происходит. Но если, с одной стороны, квант света не двигается, а с другой стороны, ни один объект в мире не может двигаться со скоростью равной или превышающей скорость света, то можно ли вообще говорить о движении?

Время перехода объекта из одного состояния в другое характеризует не само событие, а систему отсчета, в которой изучают или описывают это событие. Объективной реальностью являются взаимодействия атомов, а пространство, время, движение фотона - способ восприятия наблюдателем этой реальности. Поэтому можно согласиться с утверждением Зенона, что при переходе из одного состояния в другое непрерывное механическое движение невозможно и не происходит.

Понятия координаты и время были отвергнуты релятивистской и квантовой механикой как не отображающие однозначно сущность описываемых явлений, как не являющиеся инвариантами. В данной статье показана противоречивость понятия движения. На первый план выходит понятие *состояния объекта* и изменения этого

состояния. Понятие состояния объекта и его изменения характеризуют как классические объекты, так и квантовомеханические, являются инвариантами. Объединение классической физики и квантовой механики окажется возможным лишь тогда, когда будет создана общая понятийная база. Одним из путей такого объединения является переформулировка законов и понятий классической физики через понятие состояния (естественно, и других, не обсуждаемых в данной статье).

Список литературы

1. Гейзенберг В. Квантовая механика и беседы с Эйнштейном // Природа. 1972. №5.
2. Краткий словарь по философии - М.: Издательство политической литературы, 1982.
3. Философский словарь. - М.: Издательство политической литературы, 1975.