

СИММЕТРИЯ В ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Адольф Филиппов

История естественных наук знает множество озарений и заблуждений. Большое число частных законов и правил установлено опытно, а основополагающие теории всегда базировались на данных экспериментов. Вместе с тем, "понять замыслы Бога", как считал великий И. Ньютон [1], можно лишь руководствуясь общими методологическими принципами. Примером такого обобщения служит идея баланса субстанции, широко применяемая в науке.

Удобно, что идея баланса выражается в математической форме (после применения формулы Остроградского-Гаусса к интегралам по объёму и поверхности):

$$da/dt = \text{div } aV - I,$$

где a - плотность субстанции, V - вектор скорости её движения, I - интенсивность генерации субстанции внутри рассматриваемого объёма.

Привлекательность идеи баланса связана с тем, что из указанного уравнения легко получается первое начало термодинамики, если под субстанцией понимать количество теплоты. Если субстанция есть плотность вещества, то задача сводится к решению уравнения турбулентной диффузии. Автор успешно применил уравнение баланса для расчёта электрического поля объёмного заряда в атмосфере [2].

Идея баланса не является единственным обобщением опытных законов. Пьер Кюри [3] обратил внимание ещё на один фундаментальный закон природы - правило симметрии. Попытка рассмотреть проявление этого закона в физике и составляет цель настоящей статьи.

Рассмотрим некоторые аспекты этой проблемы в исторической последовательности.

Классическая механика Галилея-Ньютона [1] базируется на трёх законах движения и на законе всемирного притяжения, представленных на Рис.1.

Именно закон притяжения служит ярким примером симметрии взаимодействия двух тел. Действительно, сила гравитационного притяжения пропорциональна произведению масс тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. При этом сами тела равноправны, их можно симметрично менять местами, что не нарушит их взаимодействие. Аналогичной иллюстрацией симметрии является закон Кулона, в соответствии с которым сила притяжения или отталкивания зарядов пропорциональна их величине и инвариантна по отношению к их расположению [3].

Более глубокие идеи симметрии заложены в механической теории относительности Галилея-Ньютона [1]. Здесь речь идёт о преобразовании координат при переходе от одной системы координат к другой. Выводы механической теории относительности относятся к так называемым инерциальным системам координат - условиям, при которых системы движутся равномерно и прямолинейно и в них соблюдаются законы Ньютона.

Позднее, А. Эйнштейн установил, что принцип относительности справедлив и для систем отсчёта, движущихся с неинерциальным ускорением. Более того, в общей и специальной теориях относительности Эйнштейна доказывается, что симметричность систем отсчёта свойственна всем физическим процессам, а не только механическим.

Преобразования Галилея-Ньютона имеют вид:

$$X = X'' + U t \quad Y = Y'' \quad Z = Z'' \quad t = t'',$$

где X , Y , Z координаты в неподвижной системе координат (без штриха) и в подвижной - со штрихом. t - время, соответственно в той и другой системах, U - скорость относительного движения систем. При таких условиях, как показывает анализ, системы

равнозначны, и процессы в них симметричны. Важным методологическим выводом Ньютона является введение в науку понятий абсолютного пространства и времени, которые считаются инвариантами, как и масса.

Исаак Ньютон аксиоматически сформулировал три закона механики :

1. Любое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока и поскольку внешние воздействия не выведут его из этого состояния

2. Ускорение движения тела равно сумме сил, действующих на это тело.

$$d(m\vec{v}) = \vec{F} dt$$

3. Действие одного тела на другое всегда равно противодействию.

Исходя из второго закона и трёх кинематических законов движения планет, Ньютон получил закон ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

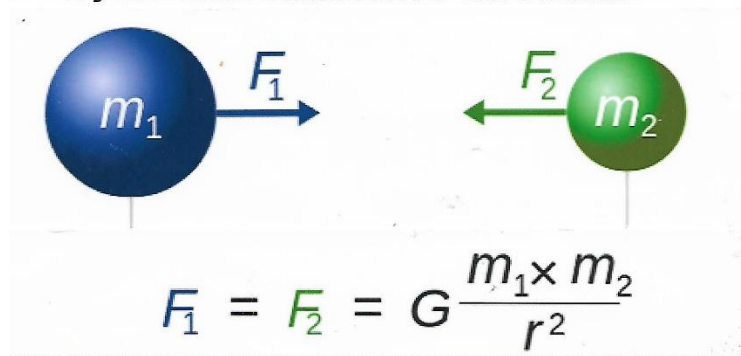


Рис 1. Законы классической механики Ньютона. В их основе лежат принципы симметрии инерциальных систем отсчёта и инвариантность времени и массы.

ситуация имеет место в микромире применительно к элементарным частицам. Теория преобразования координат в этих условиях создана Г. Лоренцом [6]. В несколько упрощённом виде они выражаются соотношениями:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \\ y' &= y, \\ z' &= z, \\ t' &= \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \end{aligned}$$

В полном мере эти соотношения использовал А. Эйнштейн в теории относительности, показав, что для микромира скорость света как инвариант служит своего рода центром симметрии. Триумфом современной физики является открытие Луи де Бройлем двойственной природы элементарных частиц [7]. Рис. 2 показывает схематическое изображение волнового процесса.

Квантовые объекты, по де Бройлю, не являются ни классическими частицами с характерными энергией и импульсом, ни классическими волнами с конкретными длиной волны и частотой. Каждый микрообъект обладает как корпускулярными, так и волновыми свойствами в зависимости от условий его существования. Представляется, что критерии симметричности также изменяются с проявлением указанного дуализма частица-волна.

Физика микромира ушла далеко вперёд от утилитарных классических представлений о симметрии. К простым характеристикам механического движения здесь прибавились такие параметры, как спин частиц, орбитальное и магнитное квантовые числа, лептонный заряд, чётность, цвет элементарных частиц и т.п.

Обнаружено антивещество и таинственная тёмная материя и энергия. Уходящая в прошлое науки планетарная модель атома Бора [5], представляет собой сферически симметричную структуру ядра и электронных орбит. Её разрушение (например, при ионизации атома) приводит к диссимметрии, которая может снова создать устойчивое состояние через рекомбинацию.

Классическая механика описывает движение крупных тел, движущихся с малыми скоростями. Принципиально другая картина возникает при преобразовании координат систем, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. Такая

Замечательным примером симметрии в микромире служит рождение и аннигиляция пары электрон-позитрон. Как известно, эти частицы почти идентичны, но отличаются только знаком электрического заряда. Такие пары возникают, например, в термоядерных реакциях в недрах Солнца, или при бета-распаде ядер (Рис. 2). Пара электрон-позитрон неустойчива, частицы аннигилируют с возникновением гамма-квантов энергии.

Симметрия квантовых пар экспериментально подтверждает фундаментальный закон природы - связь энергии и массы. Однозначность этой связи, в частности, делает возможным всюду в ядерной физике выражать массу в единицах энергии. Уместно заметить, что позитрон был предсказан Дираком, исходя из симметрии решения уравнения квантовой электродинамики как результат решения с отрицательной энергией. Далее Дирак пришёл к выводу, что в силу симметрии все элементарные частицы должны иметь соответствующие античастицы.

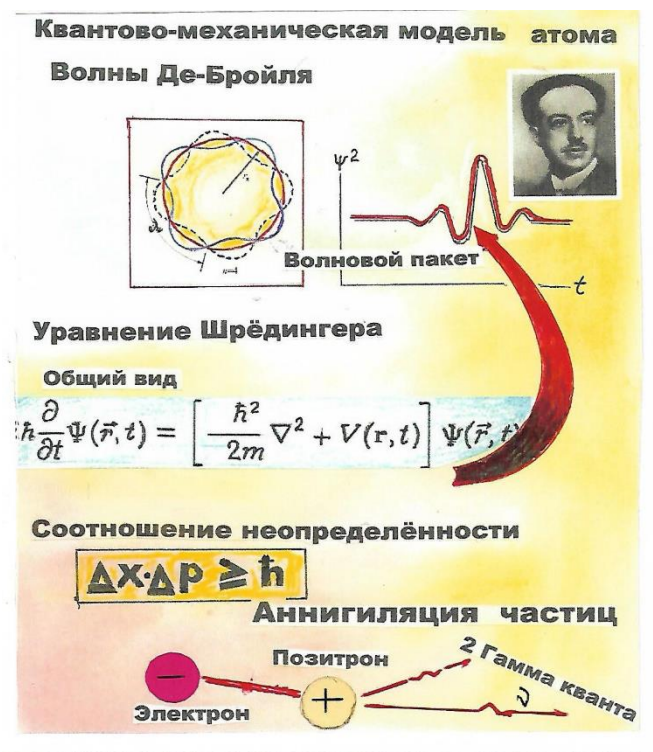


Рис.2. Схематическое изображение волнового процесса электрона. Волны описываются уравнением релятивистской механики Шрёдингера. В микромире нельзя одинаково точно найти координату и импульс частиц. Это подтверждается соотношением неопределённости Гейзенберга. Внизу рисунка - аннигиляция электрона и позитрона с появлением двух гамма-квантов и нейтрино.

процессе взаимодействий. В свою очередь, взаимодействие коррелирует с показателями симметрии, что, как известно, означает "соразмерность".

В естественных науках под симметрией понимают такие изменения системы, при которых некоторые её свойства остаются постоянными, т.е. являются инвариантами. Процесс познания мира представляется в виде иерархии событий. Их понимают по-разному. Так, Нобелевский лауреат Е. Вигнер оценивает познание триадой - единичные события-законы - процессы инвариантности (симметрии). Нам представляется, что такая схема вполне соответствует реальности.

Некоторые сомнения в правильности решения вскоре было рассеяно опытным открытием позитрона Андерсеном. Мы говорим об этом не только потому, что было установлено полное согласие теории и опыта.

Позитрон - это первая обнаруженная физиками частица антивещества. Событие можно образно назвать Большой Симметрией, поскольку выяснилось, что Вселенная состоит из двух видов материи. Если наш мир представлен "обычной" материей, то, несомненно, где-то в бесконечной Вселенной также занимаются поисками своих симметричных братьев.

В заключение снова отметим фундаментальный характер закона симметрии. Характерным свойством всех динамических процессов являются законы сохранения. В физике - это законы сохранения энергии, массы, импульса, момента импульса, электрических зарядов и т.п. Сохранение многих величин (инвариантность) реализуется в

Источники

1. Christianson G. E. Isaac Newton, Lives and Legacies. – Oxford: University Press, 2005.
2. Филиппов А. Х. Электрические явления в атмосфере. – Бостон, 2017.
3. Льюис М. История физики, - М.: Мир, 1970.
4. Эйнштейн А. Работы по теории относительности. - М.: Амфора, 2008.
5. Бор Нильс. О строении атомов. Успехи физ. наук, 1985, т. 3, N 4.
6. Ландау Л. Д, Лифшиц Е. М. Теория поля. - М.: Наука, т. 2, 1988.
7. Луи де Бройль. Революция в физике (новая физика и кванты), 2-е издание. - М.: Атомиздат, 1965.