

Член-корреспондент АН СССР Я. И. ФРЕНКЕЛЬ

ПОНЯТИЕ ДВИЖЕНИЯ В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Изменения в свойствах макроскопических тел и частиц сводятся нерелятивистской—классической и квантовой—механикой к изменениям их положения в пространстве, т. е. к движению в обычном классическом смысле слова, причем самые тела или образующие их частицы предполагаются абсолютно неизменными.

В случае элементарных частиц—атомов, электронов, нуклонов—наряду с процессами движения, обнаруживающимися, например, в камере Вильсона, с помощью „треков“, оставляемых этими частицами, наблюдаются процессы совершенно иного рода, характеризующиеся возникновением новых частиц или их исчезновением (например, при испускании и поглощении фотонов), появлением и исчезновением электронных пар или, наконец, их взаимными превращениями (распад мезонов, бета-процессы и т. д.).

Эти процессы в корне противоречат принципам классической механики, поскольку основным из них является принцип неизменности элементарных частиц.

Для преодоления этого принципа современная квантовая теория поля создала новый аппарат, позволяющий описывать эти процессы и вычислять их вероятность. При этом в теорию существенным образом входит скорость света, связанная с требованиями релятивистской инвариантности и, в частности, с законом эквивалентности энергии и массы.

В настоящей заметке я хочу обратить внимание на то обстоятельство, что эта теория взаимных превращений элементарных частиц (включая их возникновение и исчезновение—в одиночку или парами) не применялась до сих пор к более простому вопросу об их обычном поступательном движении.

Между тем, последнее представляется возможным рассматривать с той же более общей точки зрения, а именно, как исчезновение частицы в исходной точке и возникновение ее в другой точке. В случае нечетных частиц, какими являются, например, электроны, этот процесс связан с виртуальным возникновением пары электрон—позитрон, взаимным уничтожением последнего с рассматриваемым электроном и заменой его новым электроном в новом месте.

Именно с этим обстоятельством связано явление „дрожащего движения“ электрона, вытекающее, согласно Шредингеру, из уравнения Дирака. Согласно предлагаемой концепции, дело заключается не в „дрожании“ электрона, а в виртуальном появлении пар электрон—позитрон, что связано с энергией $2mc^2$ (где m —масса электрона) и частотой $\nu = 2mc^2/h$.

Аналогичным образом, рассеяние света электроном связано, согласно И. Е. Тамму, с прохождением последнего через промежуточное

состояние с отрицательной энергией, т. е., следовательно, с возникновением и исчезновением пары электрон—позитрон, если вакантные состояния с отрицательной энергией заменить позитронами.

Следует отметить, что уравнение Дирака, строго говоря, не описывает движения одной частицы, а относится к неопределенному числу частиц и приобретает определенный физический смысл лишь при условии вторичного квантования поля дираковской функции ψ .

В случае фотонов, т. е. частиц с покоящейся массой, равной нулю, понятие движения в обычном—классическом—значении этого слова утрачивает всякий смысл; проследить это движение по методу треков, как известно, невозможно, с чем связана также невозможность теоретического описания фотона или совокупности фотонов методом волновых функций в конфигурационном пространстве.

Движение фотонов сводится к их возникновению в одном месте, т. е. испусканию, и исчезновению в другом, т. е. поглощению. Промежуточные состояния, которые соответствуют движению фотона на световом конусе, фактически не включаются в его описание.

В случае электронов и других частиц с покоящейся массой, отличной от нуля, квантовая теория допускает нерелятивистское приближение, которое „смазывает“ процессы возникновения и исчезновения этих частиц, и трактует их приближенным образом как неизменные и вечные, в смысле классической механики.

Согласно классической концепции материи, последняя представляется с физической точки зрения совокупностью неизменных элементарных частиц; поскольку эти частицы могут возникать, исчезать и превращаться друг в друга, эта корпускулярная концепция должна быть заменена „полевою“, т. е. концепцией динамического поля, порождающего частицы и являющегося носителем всех механических свойств, которые им приписывались,—энергии, количества движения, спина и т. д.

Сохранение этих свойств обеспечивает полю ту реальность и неизменность, которая характеризует материю в более глубоком—философском—смысле слова. Что касается частиц, то их следует рассматривать с этой точки зрения как грубые модели, с помощью которых мы пытаемся наглядно представить себе квантовые эффекты поля.

Наивность этого представления явствует из рассмотрения, например, явления поглощения света согласно квантовой механике. При этом свет, длина волны которого велика по сравнению с „размерами“ атома, фактически рассматривается не как волна, а как электростатическое поле, колеблющееся гармонически во времени с достаточно высокой частотой.

Это представление приводит, как известно, к формуле $h\nu = w_2 - w_1$ для энергии, поглощаемой атомом, причем эта формула интерпретируется как выражение того обстоятельства, что свет частоты ν состоит из фотонов с энергией $h\nu$.

Понятие фотонов вряд ли, однако, можно связывать с электростатическим полем, хотя бы и колеблющимся во времени, хотя бы по той причине, что таким фотонам пришлось бы приписывать импульс, равный нулю.

„Частицы“, из которых, согласно обычной концепции, состоит вещество, представляют собой лишь квантовые эффекты поля, чем, кстати, и объясняется тождественность элементарных частиц одинакового сорта (например, электронов), подобно тому, как тождественность сложных частиц (например, атомов водорода) объясняется в обычной—нерелятивистской—квантовой теории условиями квантования их движения по отношению друг к другу.

В строго релятивистской теории это понятие „внутреннего движе-

ния“ утрачивает смысл, и „сложные“ частицы оказываются необходимым рассматривать как элементарные частицы, т. е. материальные точки, с внутренними свойствами, которые могут быть сведены к движению в смысле обычной—нерелятивистской—квантовой механики лишь приближенным образом, поскольку энергия связи этих частиц мала в сравнении с их покоящейся энергией. Этот вопрос разобран мною более подробно в другом месте ⁽¹⁾.

Заметим в заключение, что излагаемая здесь квантово-релятивистская трактовка движения элементарных частиц как их непрерывной регенерации устраняет ряд гносеологических трудностей, которые в нерелятивистской теории связаны с так называемым „принципом неопределенности“ и которые рассматриваются рядом идеалистически настроенных физиков и философов как угроза принципу детерминизма, или принципу причинности.

С точки зрения нашей концепции „частиц“ как моделей, служащих для описания квантовых эффектов поля, и их „движения“ как регенерации, нет ничего удивительного в том, что понятие траектории частицы не может иметь определенного смысла, что не мешает, однако, строгой детерминированности процесса „движения“ квантованных динамических полей.

Поступило
14 XII 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Я. И. Френкель, ЖЭТФ. 16. 326 (1946).