

ГЛАВА III

ЗАРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

§ 15. Элементарные частицы в теории относительности

Взаимодействие частиц друг с другом можно описывать с помощью понятия силового поля. Вместо того чтобы говорить о том, что одна частица действует на другую, можно сказать, что частица создает вокруг себя поле; на всякую другую частицу, находящуюся в этом поле, действует некоторая сила. В классической механике поле является лишь некоторым способом описания физического явления — взаимодействия частиц. В теории же относительности благодаря конечности скорости распространения взаимодействий положение вещей существенным образом меняется. Силы, действующие в данный момент на частицу, не определяются их расположением в этот момент. Изменение положения одной из частиц отражается на других частицах лишь спустя некоторый промежуток времени. Это значит, что поле само по себе становится физической реальностью. Мы не можем говорить о непосредственном взаимодействии частиц, находящихся на расстоянии друг от друга. Взаимодействие может происходить в каждый момент лишь между соседними точками пространства (близкодействие). Поэтому мы должны говорить о взаимодействии одной частицы с полем и о последующем взаимодействии поля с другой частицей.

Мы будем рассматривать два вида полей: поля гравитационные и электромагнитные. Гравитационным полям посвящены главы X—XIV. В остальных главах рассматриваются только электромагнитные поля.

Изучению взаимодействий частиц с электромагнитным полем предшествуют некоторые общие соображения, относящиеся к понятию «частицы» в релятивистской механике.

В классической механике можно ввести понятие абсолютно твердого тела, т. е. тела, которое ни при каких условиях не может быть деформировано. В теории относительности под абсолютно твердыми телами следовало бы соответственно подразумевать тела, все размеры которых остаются неизменными в той системе отсчета, где они покоятся. Легко, однако, видеть, что теория относительности делает вообще невозможным существование абсолютно твердых тел.

Рассмотрим, например, круглый диск, вращающийся вокруг своей оси, и предположим, что он абсолютно тверд. Связанная

с этим диском система отсчета, конечно, не является инерциальной. Можно, однако, ввести для каждого из небольших элементов диска инерциальную систему отсчета, в которой бы этот элемент в данный момент покоялся; для разных элементов диска, обладающих различными скоростями, эти системы будут, конечно, тоже различные. Рассмотрим ряд элементов длины, расположенных вдоль какого-нибудь радиуса диска. Благодаря абсолютной твердости диска длины каждого из этих отрезков в соответствующей инерциальной системе отсчета остаются такими же, какими они являются у неподвижного диска. Эти же длины получит и измеряющий их неподвижный наблюдатель, мимо которого проходит в данный момент рассматриваемый радиус диска, поскольку каждый из отрезков перпендикулярен к своей скорости, а в таком случае не происходит лоренцева сокращения. Поэтому и весь радиус, измеренный неподвижным наблюдателем как сумма составляющих его отрезков, будет таким же, каким он является у неподвижного диска. С другой стороны, длина каждого из элементов окружности диска, проходящего в данный момент мимо неподвижного наблюдателя, подвергается лоренцеву сокращению, так что и длина всей окружности (измеренная неподвижным наблюдателем как сумма длин отдельных ее отрезков) окажется меньше, чем длина окружности покоящегося диска. Мы приходим, таким образом, к результату, что при вращении диска отношение длины его окружности к радиусу (измеряемое неподвижным наблюдателем) должно было бы измениться вместо того, чтобы остаться равным 2π . Противоречие этого результата со сделанным предположением и показывает, что в действительности диск не может быть абсолютно твердым и при вращении неизбежно подвергается некоторой сложной деформации, зависящей от упругих свойств материала, из которого сделан диск.

В невозможности существования абсолютно твердых тел можно убедиться и другим путем. Пусть какое-нибудь твердое тело внешним воздействием в какой-нибудь одной его точке приводится в движение. Если бы тело было абсолютно твердым, то все его точки должны были бы прийти в движение одновременно с той, которая подверглась воздействию; в противном случае тело деформировалось бы. Теория относительности, однако, делает это невозможным, так как воздействие от данной точки передается к остальным с конечной скоростью, а потому все точки тела не могут одновременно начать двигаться.

Из сказанного вытекают определенные выводы, относящиеся к рассмотрению элементарных частиц, т. е. частиц, для которых мы считаем, что их механическое состояние полностью описывается заданием трех координат и трех компонент скорости движения как целого. Очевидно, что если бы элементарная частица обладала конечными размерами, т. е. была бы протяженной, то

она не могла бы деформироваться, так как понятие деформации связано с возможностью независимого движения отдельных частей тела. Но, как мы только что видели, теория относительности показывает невозможность существования абсолютно твердых тел.

Таким образом, в классической (неквантовой) релятивистской механике частицам, которые мы рассматриваем как элементарные, нельзя приписывать конечных размеров. Другими словами, в пределах классической теории элементарные частицы должны рассматриваться как точечные¹⁾.

§ 16. Четырехмерный потенциал поля

Действие для частицы, движущейся в заданном электромагнитном поле, складывается из двух частей: из действия (8,1) свободной частицы и из члена, описывающего взаимодействие частицы с полем. Последний должен содержать как величины, характеризующие частицу, так и величины, характеризующие поле.

Оказывается²⁾, что свойства частицы в отношении ее взаимодействия с электромагнитным полем определяются всего одним параметром — так называемым зарядом частицы e , который может быть как положительной, так и отрицательной (или равной нулю) величиной. Свойства же поля характеризуются 4-вектором A_i , так называемым 4-потенциалом, компоненты которого являются функциями координат и времени. Эти величины входят в действие в виде члена

$$-\frac{e}{c} \int_a^b A_i dx^i,$$

где функции A_i берутся в точках мировой линии частицы. Множитель $1/c$ введен здесь для удобства. Следует отметить, что до тех пор, пока у нас нет никаких формул, связывающих заряд

¹⁾ Хотя квантовая механика существенно меняет ситуацию, однако и здесь теория относительности делает крайне трудным введение неточечного взаимодействия.

²⁾ Следующие ниже утверждения надо рассматривать в значительной степени как результат опытных данных. Вид действия для частицы в электромагнитном поле не может быть установлен на основании одних только общих соображений, таких, как требование релятивистской инвариантности (последнее допускало бы, например, в действии также и член вида $\int A ds$, где A — скалярная функция).

Во избежание недоразумений напомним, что речь идет везде о классической (не квантовой) теории, и потому нигде не учитываются эффекты, связанные со спином частиц.