

и каждой парой позитронных внешних концов, если эти концы — начало и конец одной последовательности сплошных линий. Если среди начальных или среди конечных частиц имеется несколько электронов или позитронов, то относительный знак диаграмм, различающихся нечетным числом перестановок пар тождественных частиц (т. е. соответствующих им внешних концов), должен быть противоположным.

Для уточнения последнего правила добавим, что одинаковыми знаками должны во всяком случае обладать диаграммы с одинаковыми сплошными линиями, т. е. диаграммы, которые оказались бы тождественными после снятия с них всех фотонных линий. Напомним также, что при наличии тождественных фермионов общий знак амплитуды условен.

§ 78. Перекрестная инвариантность

Представление амплитуд рассеяния M_{fi} интегралами Фейнмана обнаруживает их замечательную симметрию, состоящую в следующем.

Любую из входящих внешних линий диаграммы Фейнмана можно рассматривать (без изменения ее направления) как частицу в начальном или античастицу в конечном состоянии, а каждую выходящую линию — как конечную частицу или начальную античастицу. Одновременно с переходом от частицы к античастице меняется также и смысл приписываемого линии 4-импульса p : $p = p_z$ для частицы (скажем, электрона) и $p = -p_n$ для позитрона. Меняется также и приписываемая частице поляризация. Поскольку входящей внешней линии должна сопоставляться волновая амплитуда u , а выходящей u^* , для электрона $u = u_z$, а для позитрона $u = u_n^*$. Но переход от u к u^* означает изменение знака проекции спина частицы (или ее спиральности).

Для фотона, как истинно нейтральной частицы, изменение смысла внешней линии означает просто переход от испускания фотона к его поглощению или наоборот: внешняя фотонная линия с импульсом k отвечает либо поглощению фотона с импульсом $k_{\text{погл}} = k$, либо испусканию фотона с импульсом $k_{\text{исп}} = -k$ и с противоположным знаком спиральности.

Такое изменение смысла внешних линий эквивалентно переходу от одного перекрестного канала реакции к другим каналам. Отсюда следует, что одна и та же амплитуда как функция импульсов свободных концов диаграмм описывает все каналы реакции¹⁾. В зависимости от канала меняется лишь смысл

¹⁾ Если тот или иной канал запрещен сохранением 4-импульса, то вероятность перехода автоматически обращается в нуль δ -функцией, фигурирующей в (64,5) в качестве общего множителя.

аргументов функции: при переходе от частицы к античастице заменяется $p_i \rightarrow -p_i$, где p_i — 4-импульс начальной (в одном канале), а p_f — 4-импульс конечной (в другом канале) частицы. Об этом свойстве амплитуды рассеяния говорят как о *перекрестной симметрии*, или *перекрестной инвариантности*.

В терминах введенных в § 70 инвариантных амплитуд, функций кинематических инвариантов, можно сказать, что эти функции будут одни и те же для всех каналов, но для каждого канала их аргументы пробегают значения в своей физической области. Другими словами, интегралы Фейнмана определяют инвариантные амплитуды как аналитические функции; их значения в разных физических областях являются аналитическим продолжением функции, заданной в одной из областей. Так как подынтегральные выражения интегралов Фейнмана содержат особенности, то и инвариантные амплитуды имеют особенности, определяемые из выражений для этих интегралов (с учетом правила обхода полюсов). Если инвариантные амплитуды вычислены для какого-либо канала по интегралам Фейнмана, то и их аналитическое продолжение к другим каналам будет автоматически учитывать эти особенности.

Подчеркнем, что перекрестная инвариантность есть нечто большее, чем свойства матрицы рассеяния, вытекающие из общих требований пространственно-временной симметрии. Последние требуют равенства амплитуд процессов, получающихся друг из друга перестановкой начального и конечного состояний с заменой всех частиц античастицами (при неизменных импульсах p всех частиц и измененных по знаку проекциях их моментов). Это — требование *CPT*-инвариантности¹⁾. Перекрестная же инвариантность позволяет делать такое преобразование не только для всех частиц сразу, но и для любой частицы в отдельности.

§ 79. Виртуальные частицы

Внутренние линии диаграмм Фейнмана играют в инвариантной теории возмущений роль, аналогичную роли промежуточных состояний в «обычной» теории. Характер этих состояний, однако, в обеих теориях различен. В обычной теории в промежуточных состояниях сохраняется импульс (трехмерный), но не сохраняется энергия; в этом смысле о них говорят как о *виртуальных состояниях*. В инвариантной же теории импульс и энергия входят равноправно: в промежуточных состояниях сохраняются все компоненты 4-импульса (результат того, что в эле-

¹⁾ Обратим внимание на то, что формальное описание перехода от одной из указанных реакций к другой путем изменения знака всех 4-импульсов на диаграммах Фейнмана отвечает смыслу операции *CPT* как 4-инверсии.