

НЕЙТРАЛЬНЫЕ СЛАБЫЕ ТОКИ?

Б.Понтекорво

Рассматривается один вариант четырехфермионного взаимодействия, не связанного ни с промежуточными частицами, ни с концепцией слабых нейтральных токов. В принципе этот вариант мог бы привести к существованию процессов типа $\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + \text{адроны}$ и $\nu_\mu + e \rightarrow \nu_\mu + e$.

Недавно на нейтринных пучках высокой энергии были выполнены опыты [1, 2], в которых наблюдались безмюонные нейтринные события типа

$$\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + \text{адроны}, \quad (1)$$

Эти опыты, по мнению авторов, указывают на существование тяжелых лептонов или нейтральных слабых токов. Нейтральные токи в слабом взаимодействии искали раньше, но особую актуальность вопрос об их существовании приобрел после попыток сформулировать перенормируемую единую теорию слабого и электромагнитного взаимодействия [3, 4].

Работы [3, 4] не только имеют громадное теоретическое значение, они также способствовали новым экспериментальным исследованиям в области нейтринной физики [1, 2], о которых идет речь.

Однако, кажется, слишком рано интерпретировать экспериментальные данные *только* с точки зрения теории Вайнберга – Салама, в которой нейтральные токи связаны с существованием нейтрального промежуточного бозона Z . Можно показать, что процессы типа (1) допускают другие схемы, кроме существования тяжелых лептонов и нейтральных токов. Альтернативы, о которых идет речь ниже, не особенно привлекательны, но они относительно "экономичны" и должны быть отвергнуты только на основе опытов. Я остановлюсь на одной из этих возможностей.

Представим, что в четырехфермионном взаимодействии каким-то образом решающую роль играет электрический заряд, и что взаимодействие имеет место между двумя любыми парами фермионов только тогда, когда каждая пара имеет суммарный электрический заряд, отличный от нуля. Иными словами, четырехфермионное взаимодействие имеет место, когда два и только два из фермионов являются заряженными.

Характерно для четырехфермионного взаимодействия – его способность вызывать как рассеяние, так и превращение частиц; но, конечно, процессы превращения ограничиваются по количеству тем, что должны выполняться минимальное нарушение странности (т. е. $\Delta s = 0, 1$), которое является естественным во всех составных моделях адронов, и некоторые законы сохранения (барионного, лептонного, электрического зарядов). Кроме того, делается одно "ad hoc" допущение: требуется, чтобы в лептонных распадах странных частиц изменение электрического заряда Δa адронов равнялось бы изменению странности Δs адронов (расширенное правило $\Delta a = \Delta s$). Это требование связано с эмпирическими данными и, в частности, с отсутствием процессов типа $K^+ \rightarrow \pi^+ + e^+ + e^-$ и т. д.

Пары, скажем, с положительным зарядом, в таблице классифицируются в три группы, согласно некоторым очевидным признакам. Напри-

мер, схема взаимодействия пар первой группы аналогична классической схеме Фейнмана – Гелл Манна и Маршака – Сударшана с заряженными токами.

Взаимодействие имеет место между парами каждой группы, конечно, если при этом соблюдаются законы сохранения и правило $\Delta a = \Delta s$. Имеет место и взаимодействие каждой пары с самой собой. Соответствующие основные процессы указаны в таблице.

Группа	Заряженная пара	Основные процессы
1	e^+ – эльнейтрино	ν_e – e -рассеяние; слабые нуклонные силы; μ -распад; β -распад, μ -захват и их обратные процессы; нелептонные и лептонные распады странных частиц.
	μ^+ – мюнейтрино	
	протон-нейтрон	
	протон-лямбда	
2		
		
3	e^+ – мюнейтрино	ν_μ – e -рассеяние;
	μ^+ – эльнейтрино	
		
		
	протон-эльнейтрино	Упругое рассеяние обоих нейтрино на нуклонах; слабое упругое рассеяние электронов и мюонов на нуклонах; β -распад, μ -захват и их обратные процессы; рассеяние электронов и мюонов на Λ -частицах.
	протон-мюнейтрино	
	e^+ – нейтрон	
	μ^+ – нейтрон	
	e^+ – Λ	
	μ^+ – Λ	
		
		

Важное отличие этого взаимодействия от взаимодействия с промежуточными заряженными бозонами состоит в том, что первое допускает некоторые упругие процессы, недопускаемые вторым. Например, появляются процессы нейтрино-нуклонного рассеяния, которые недавно наблюдались [1, 2]. Процесс ν_μ – e -рассеяния должен существовать [5], а процесс $\mu \rightarrow e + \gamma$ отсутствовать. Отсутствует также процесс $\mu^- + A \rightarrow e^+ +$ адроны, который в некоторых схемах не противоречит закону сохранения лептонов. Процессы типа $K^+ \rightarrow \pi^+ + e^+ + e^-$, $K^+ \rightarrow \pi^+ + \nu + \bar{\nu}$ и т. д. отсутствуют, так как они запрещены с самого начала требованием $\Delta a = \Delta s$. Отсутствие процессов $K^+ \rightarrow \pi^+ + e^+ + e^-$ и т. д. – самая большая трудность в схеме Вайнберга с нейтральными токами, так как эти процессы должны появляться уже в первом порядке слабой константы.

Формулировка данной схемы в терминах промежуточных частиц непривлекательна, так как, кроме обычных промежуточных заряженных бозо-

нов, появлялись бы довольно экзотические частицы ("бариолептоны" и т. д.). По существу, в схеме теряется концепция о слабых токах, несмотря на то, что токи каким-то образом сохранились на языке "пар". Это было сделано для того, чтобы облегчить экспозицию данной схемы использованием хорошо известного языка. Однако более последовательно было бы избегать слова "пара" и сказать, что предполагается существование истинного четырехфермионного взаимодействия между любыми фермионами, из которых два и только два являются электрически заряженными. В первом порядке слабой константы имеют место те процессы, в которых выполняются законы сохранения различных зарядов, а также правило $\Delta a = \Delta s$ — в лептонных распадах странных адронов. Можно заметить, что в схеме запрещены (в первом порядке) процессы с $\Delta s = 2$ и процессы типа $K \rightarrow \pi + e^+ + e^-$ и т. д., но разрешены процессы $e + \Lambda \rightarrow e + \Lambda$, $\mu + \Lambda \rightarrow \mu + \Lambda$ и т. д.

Чем отличается эта схема от других? Нейтрино-нейтринное рассеяние первого порядка в данной схеме отсутствует. Должен отсутствовать также процесс электрон-электронного рассеяния первого порядка по константе слабого взаимодействия, который в схеме Вайнберга имеет место. Последний процесс уже не так далек от наблюдения.

Мне приятно поблагодарить Д.Ю.Бардина и С.М.Биленького за обсуждения.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступила в редакцию
26 декабря 1973 г.

Литература

- [1] F.J.Hasert et al. Phys. Lett., 46B, 138, 1973.
- [2] A.Benvenuti et al. Second Aix — en — Provence Conference on high energy Physics, 1973.
- [3] S.Weinberg. Phys. Rev. Lett., 19, 1264, 1967; Phys. Rev., D5, 1412, 1972.
- [4] A.Salam, J.Ward. Physics Lett., 13, 168, 1961.
- [5] F.J.Hasert et al. Phys. Lett., 46B, 121, 1973.