

МОДЕЛЬ ВЕЙНБЕРГА СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И СТРУКТУРА АДРОНОВ И ЛЕПТОНОВ

Л. В. Прохоров

Исследованию предложенной несколько лет тому назад Вайнбергом [1] модели слабых и электромагнитных взаимодействий последнее время было посвящено значительное число работ.

В настоящей статье обращается внимание на то, что включение в эту модель адронов ведет к определенным следствиям, касающимся структуры адронов и лептонов.

Рассмотрим лагранжиан, описывающий слабые и электромагнитные (СЭМ) взаимодействия как адронов, так и лептонов (симметрия не нарушена):

$$L = L_h(h, V_\mu) + L_\ell(\ell, V_\mu) + L'. \quad (1)$$

Здесь L_h, L_ℓ — описывают СЭМ взаимодействия соответственно адронов и лептонов, V_μ — четверка (или тройка в зависимости от модели [1, 2]) векторных полей, содержащая бозоны w_μ^\pm и электромагнитное поле A_μ . L' описывает остальные взаимодействия адронов и лептонов. Согласно обсуждаемой модели, L_h и L_ℓ инвариантны относительно некоторой группы симметрии G_w (это или группа $SU_2 \times U_1$ или O_3 , см. [1, 2]). Поля h, ℓ и V_μ реализуют некоторые представления этой группы. Важным, однако, является то, что преобразования из этой группы являются подгруппами групп симметрии как адронов, так и лептонов (если группа симметрии лептонов G_ℓ есть $SU_3 \times SU_3$, то G_w является ее подгруппой по построению [3]). Это верно и в отношении адронной группы G_h). Поскольку G_h и G_ℓ имеют общую подгруппу G_w , то адроны (кварки) и лептоны реализуют некоторые представления G_w и, следовательно, кварки (лептоны) реализуют некоторое представление G_ℓ (G_h), или являются частью такового. Естественно предположить, что и G_ℓ и G_h являются подгруппами некоторой объемлющей группы G . Пусть G — полупростая, компактная. Тогда имеются следующие три возможности: 1) $G = G_h, G_\ell \subset G$ 2) $G = G_\ell, G_h \subset G$ 3) $G_\ell \subset G, G_h \subset G$.

Рассмотрим первую возможность. В этом случае приходится признать, что лептоны построены из кварков. Выберем какую-нибудь простую подгруппу G_s группы G (если G — непростая, например, для $G = SU_3 \times SU_3$ группа $G_s = SU_3$). Тогда и кварки и лептоны реализуют некоторые представления этой группы, причем кваркам и антикваркам сопоставляются элементарные представления. Но, поскольку простые группы обладают не более, чем тремя элементарными представлениями [4] (а группы типа SU_n — только двумя), то приходится признать, что лептоны преобразуются по неэлементарному представлению группы G_s и, следовательно, могут рассматриваться как составленные из кварков. По-видимому, эту возможность следует отбросить, иначе лептоны должны были бы принимать участие в сильных взаимодействиях.

Аналогичное рассмотрение случая 2) (в предположении, что известные лептоны реализуют элементарное представление группы G_ℓ) приводит к выводу о том, что адроны построены из лептонов. Нетрудно убедиться, что это также неприемлемо.

Таким образом, остается лишь третья возможность. В этом случае имеется альтернатива: или а) лептоны и адроны построены из каких-то (одних и тех же) простейших объектов или б) лептоны и кварки являются компонентами единого мультиплетта, реализующего элементарное представление группы G . Случай а) заслуживает специального обсуждения и здесь рассматриваться не будет. Обсудим возможность б). Если лептоны и кварки объединены в один мультиплет $\psi = (\ell, q, \dots)$ (точки подразумевают возможное существование других членов этого мультиплетта), то возникает вопрос: каким образом частицы, выступающие первоначально совершенно равноправно, могут в конечном счете столь сильно различаться по своим свойствам? В рамках общего подхода Вейнберга в качестве ответа на этот вопрос можно предложить две различные схемы.

1. Постулировать существование короткодействующих сил, зависящих от массы. Это достигается введением (калибровочно-инвариантным образом) массивных полей со спином 2, реализующих нетривиальное представление группы G . Тогда кварки, приобретающие большую массу в результате нарушения симметрии, окажутся сильно взаимодействующими частицами, лептоны же будут взаимодействовать слабо. Такая теория будет перенормируемой в обычном смысле.

2. Другая возможность, сохраняющая перенормируемость теории, заключается в предположении существования глюонных векторных и/или скалярных (нейтральных) полей, сильно взаимодействующих ($g \sim 1$) как с кварками, так и с лептонами. Если предположить, что эти поля обладают (или приобретают) большую массу M (порядка массы кварков), то, несмотря на их сильное взаимодействие с лептонами, последние не будут образовывать связанных состояний в силу неравенства $m_\ell \ll M$ (т. е. радиус действия сил $1/M \ll 1/m_\ell$ — комптоновской длины волны). При низких энергиях эти силы сведутся к четырех-фермионному взаимодействию лептонов с нейтральными токами и константой связи $\sim g^2/M^2$. Экспериментальная оценка соответствующих констант [5]: $G_{\ell\ell} \lesssim 0,3 G_F$, $G_{\ell q} \lesssim 0,6 G_F$. Это дает оценку для массы глюонов

$M \gg 580 m_p$, которая одновременно будет и оценкой для массы кварков. Изолированный протон останется стабильным, хотя барионный заряд, в зависимости от деталей модели, будет либо сохраняться строго, либо по модулю 2. Соответствующая вероятность перехода может быть сделана достаточно маленькой, чтобы не противоречить эксперименту.

Автор благодарен участникам теоретического семинара ЛГУ за полезное обсуждение.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
8 октября 1972 г.

Литература

- [1] S.Weinberg. Phys. Rev. Lett., 19, 1264, 1967.
 - [2] H.Georgi, S.Glashow. Phys. Rev. Lett., 28, 1494, 1972.
 - [3] S.Weinberg. Phys. Rev., 5D, 1962, 1972.
 - [4] A.Salam. Полупростые группы и систематика элементарных частиц. Сб. статей. 1, 73, 1965, Дубна.
 - [5] В.С.Кафтанов и др. Материалы VII зимней школы ЛИЯФ, ч. II Л., 1972 г., стр. 313.
-