

ОТТАЛКИВАНИЕ БАРИОНОВ КАК СЛЕДСТВИЕ КВАРКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Я.Б.Зельдович

В кварковой модели адронов отмечается, что наличие в составе двух сталкивающихся адронов одинаковых и с параллельными спинами кварков должно проявляться как эффективное отталкивание сталкивающихся адронов.

Экспериментальное обнаружение большого числа "резонансов" породило два направления в теории элементарных частиц. Одно направление (глашатай-Чу) предлагает считать все частицы одинаково элементарными, называя такой подход "полной демократией". Другое направление вводит новые частицы – кварки, считает эти частицы истинно-элементарными или во всяком случае более элементарными по сравнению с барионами и мезонами, наблюдаемыми до настоящего времени на опыте. У колыбели этого направления стояли Ферми и Янг (мезоны как связанное состояние бариона и антибариона), идею кварков сформулировали

Гелл-Манн и Цвейг, современные кварковые модели восходят к Боголюбову с сотрудниками [1], Хану и Намбу [2], Миямото [3] (подробный обзор см. лекции Окуня [4]).

Возникает вопрос: можно ли обнаружить составную, элементарную природу адронов в опытах, в которых энергия не достаточна для рождения реальных кварков?

В данной статье предлагается использовать тот факт, что кварки являются фермионами и подчиняются принципу Паули.

Качественно очевидно, что это обстоятельство должно затруднить сближение частиц, содержащих одинаковые кварки с параллельными спинами. При описании рассеяния с помощью эффективного потенциала взаимодействия составных частиц это обстоятельство проявится как дополнительное отталкивание на близких расстояниях.

Заметим, что принцип Паули сам по себе не есть отталкивание: принцип Паули приводит к тому, что состояние двух электронов с параллельными спинами и симметричной пространственной волновой функцией просто не существует – а не к увеличению энергии в этом состоянии по сравнению с состоянием, с антипараллельным спином, не к сдвигу фазы рассеяния в сплошном спектре для 3S -волны (которой просто нет) по сравнению с 1S -волной, Эффективное отталкивание относится к взаимодействию составных частиц в состояниях, разрешенных принципом Паули для этих частиц, рассматриваемых каждая как целое. Так, например, Δ^{++} изображается в простейшей схеме окрашенных кварков как (p_1, p_2, p_3) , Δ^+ есть суперпозиция

$$1/\sqrt{3}[(p_1 p_2 n_3) + (p_1 n_2, p_3) + (n_1, p_2, p_3)].$$

Так как Δ^{++} и Δ^+ есть две разные частицы, то состояние пары 7S_3 с параллельными спинами ($s = 3, 2s + 1 = 7$) с симметричной пространственной (S) волновой функцией разрешено. Однако при сближении Δ^{++} и Δ^+ пары кварков p_1 или (u) p_2, p_3 с параллельными спинами из Δ^{++} и Δ^+ должны оказаться в \mathcal{T} -состоянии. Появится центробежный потенциал во взаимодействии пар одинаковых кварков. Но система Δ^{++}, Δ^+ находится в S -состоянии. Дополнительная кинетическая энергия внутренних движений будет эффективно проявляться как отталкивание Δ^{++} и Δ^+ . Отталкивание проявится хотя и в меньшей степени в 3S_1 (т.е. дейтонном) состоянии системы $P + N$.

Такого отталкивания не должно быть при взаимодействии Δ^{++} ($p_1 p_2 p_3$) и Δ^- ($n_1 n_2 n_3$) или Δ^{++} и Ω^- ($\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$).

Наконец, отталкивания на малых расстояниях не должно быть и при взаимодействии барионов с антибарионами. Однако здесь осложняет вопрос аннигиляция, дающая мнимую добавку к эффективному потенциалу. Отталкивание предсказывается и в определенных комбинациях барион-мезон, например, $\Omega^- + k^-$, где $\Omega^- = (\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3)$, $k^- = [(\lambda_1 \bar{n}_1) + (\lambda_2 \bar{n}_2) + (\lambda_3 \bar{n}_3)]$. Возможно, что именно это отталкивание мешает образованию так называемых очарованных резонансов, выходящих по заряду и странности за пределы октета и декаплета. При рассмотрении атомных столкновений учет принципа Паули для электронов тривиален.



При рассмотрении альфа-частичной модели ядра принцип Паули для протонов и нейтронов учитывается с помощью особого приема, в работе [5]. В общей форме ранее эффект рассмотрел Базь [7].

Обратимся к интересующим нас элементарным частицам. Основная идея, изложенная выше, была высказана в другой форме давно [6]. На примере взаимодействия протона P и мезоатома $A (= \pi^-, \mathcal{P})$ можно было проследить, как 3S_1 -состояние системы $AP (= \pi^-, pp)$ вблизи представляет собой два протона в состоянии с $l = 1$ и соответственным центробежным потенциалом и пион также в состоянии с $l = 1$. В этой модели эффективное отталкивание можно было рассчитать количественно.

Применить идею к кварковым моделям Гелл-Манна и Цвейга было невозможно, поскольку в этих моделях принцип Паули к кваркам не применялся, говорили о парастатистике (?) и т.п. извращениях.

Современные кварковые модели [1, 2, 3] оперируют с кварками-фермионами со спином $1/2$. Поэтому именно теперь, естественно и законно поставить вопрос о том как проявляется статистика кварков во взаимодействии адронов.

Институт прикладной математики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 мая 1974 г.

Литература

- [1] Н.Н.Боголюбов, В.А.Матвеев, Нгуен Ван Хеу, Д. Стоянов, Б.В.Струминский, А.Н.Тавхелидзе, В.П.Шелест. Вопросы физики элементарных частиц, 5, 406, Ереван, 1966.
- [2] М.У.Нап, Y.Nambu. Phys. Rev., 139, 1038, 1965.
- [3] Y.Miyamoto. Progr. Theor. Phys. Suppl. Extra, N 87, 1965.
- [4] Л.Б.Окунь. Адроны и кварки, лекции в зимней школе ИТЭФ, 1974.
- [5] Ю.Ф.Смирнов, И.Т.Обуховский, В.Т.Неудачин, Ю.М.Чувильский, М.И.Мухтаров. Письма в ЖЭТФ, 19, 542, 1974.
- [6] Я.Е.Зельдович. ЖЭТФ, 37, 569, 1959.
- [7] А.И.Базь. Письма в ЖЭТФ, 14, 607, 1971.