

МАССОВАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ МЕЗОНОВ И БАРИОНОВ С УЧЕТОМ ШАРМА

А. Д. Сахаров

Массовая формула для мезонов и барионов, предложенная ранее Я. Б. Зельдовичем и автором, применена к частицам, обладающим шармом.

Недавнее открытие векторной частицы ψ с массой $3,105 \text{ Гэв}$ и аномально малой шириной адронных распадов и интерпретация ее как состоящей из шарм-кварков [1], делают особенно необходимым всесторонний анализ следствий из гипотезы о существовании четвертого кварка. В этой статье мы делаем попытку дать оценку масс мезонов и барионов, обладающих шармом, с помощью предложенной ранее Я. Б. Зельдовичем и автором массовой формулы [2]. Эта формула основана на "наивной" модели нерелятивистских кварков и записывается единообразно для мезонов и барионов, а именно аддитивно по массам.

$$M = \delta + \sum m_q + b \sum \xi_i \xi_k (\vec{\sigma}_i \vec{\sigma}_k) = \quad (1)$$

$$= a + \sum (m_\lambda - m_0) |s| + \sum (m_\chi - m_0) |c| + b \sum \xi_i \xi_k (\vec{\sigma}_i \vec{\sigma}_k).$$

Здесь s — странность, c — аналогичное новое аддитивное квантовое число, которое мы в соответствии с традицией называем "шарм", равное разности числа шарм-кварков и антикварков χ и $\bar{\chi}$. m_q — масса кварка, $m_q = m_0$ для "обычных" кварков p и n — 0 -кварков.

δ, b, a – константы, различные для мезонов и барионов. Последний член описывает спин-спиновое взаимодействие кварков. $\vec{\sigma}_i$ – спин i -го кварка. ξ_i – коэффициент ослабления спин-спинового взаимодействия, $\xi_X < \xi_\lambda < \xi_0 = 1$.

Оказывается, что постоянная ξ_λ и разность $m_\lambda - m_0$ приблизительно одинаковы для барионов и мезонов. Для мезонов $\xi_\lambda = (K^* - K) / (\rho - \pi) = 0,645$,

$$m_\lambda - m_0 = \frac{1}{4} (3K^* + K) - \frac{1}{4} (3\rho + \pi) = 194 \text{ Мэв.}$$

Для барионов

$$\xi_\lambda = 1 - \frac{3}{2} \frac{\Sigma - \Lambda}{\Delta - N} = 0,61, \quad m_\lambda - m_0 = \Lambda - N = 176 \text{ Мэв.}$$

Эти совпадения, возможно, свидетельствуют о наличии физического смысла в формуле (1).

Для определения постоянных, относящихся к шарм-кварку, мы пока располагаем лишь знанием массы ψ . Считаем эту частицу состоящей из $X\bar{X}$, пренебрегая смешиванием с парами $\lambda\bar{\lambda}$ и $O\bar{O}$. Делаем дополнительное предположение, связывающее постоянные ξ с массами кварков:

$$\xi_\lambda = \frac{m_0}{m_\lambda}, \quad \xi_X = \frac{m_0}{m_X}, \quad \text{т. е.} \quad \xi_\lambda^{-1} = 1 + \frac{m_X - m_0}{m_\lambda - m_0} (\xi_\lambda^{-1} - 1). \quad (2)$$

Входящие в (1) постоянные определяются тем самым достаточно однозначным образом.

Для численных оценок примем также, что разности $m_X - m_0$ различны для мезонов и барионов и находятся в том же отношении, что разности $m_\lambda - m_0$. Окончательно имеем систему постоянных.

Для мезонов:

$$\begin{aligned} a &= 597 \text{ Мэв,} \\ b &= 613 \text{ Мэв,} \\ m_\lambda - m_0 &= 194 \text{ Мэв,} \\ m_X - m_0 &= 1250,5 \text{ Мэв,} \\ \xi_\lambda &= 0,645, \\ \xi_X &= 0,216. \end{aligned}$$

Для барионов:

$$\begin{aligned} a &= 1088,5 \text{ Мэв,} \\ b &= 200,0 \text{ Мэв,} \\ m_\lambda - m_0 &= 176 \text{ Мэв,} \\ m_X - m_0 &= 1140 \text{ Мэв,} \\ \xi_\lambda &= 0,61, \\ \xi_X &= 0,195. \end{aligned}$$

Поясним, как вычисляется третий член формулы (1), на примере барионов, содержащих три разных кварка O, λ, X . Оператор $H_{\sigma\sigma}$ (где $A = b \xi_1 \xi_2$ и т. д.)

$$H_{\sigma\sigma} = A(\vec{\sigma}_1 \vec{\sigma}_2) + B(\vec{\sigma}_2 \vec{\sigma}_3) + C(\vec{\sigma}_3 \vec{\sigma}_1)$$

имеет собственные значения

$$E_1 = \frac{A+B+C}{4} \quad (\text{спин } 3/2)$$

$$E_{2,3} = -\frac{A+B+C}{4} \pm \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 - AB - BC - CA} \quad (\text{спин } 1/2).$$

Собственные значения для спина 1/2 найдены из двумерного секулярного уравнения, которое легко составляется, если учесть, что три оператора $(\vec{\sigma}_1 \vec{\sigma}_2)$, $(\vec{\sigma}_2 \vec{\sigma}_3)$, $(\vec{\sigma}_3 \vec{\sigma}_1)$ имеют одинаковые собственные значения и получаются друг из друга поворотом на угол 120° в двумерной плоскости.

Трем собственным значениям соответствуют три частицы Ξ'_c , Ξ''_c , Ξ_c^* (изодублеты) в табл. 3. Остальные случаи еще проще.

Массы мезонов π , ρ , K , K^* , ψ и барионов N , Δ , Σ , Λ при принятой системе постоянных удовлетворены тождественно. Для мезона ϕ и барионов Σ^* , Ξ , Ξ^* , Ω формула (1) дает значения масс, которые очень близки к экспериментальным (табл. 1).

В табл. 2 сведены предсказания формулы (1) для мезонов, содержащих один или два шарм-кварка, а в табл. 3 – для барионов, содержащих 1, 2 или 3 шарм-кварка.

Заметим, что предсказанная по линейной массовой формуле (1) масса псевдоскалярного мезона $O \bar{X}$ (назовем его K_c) такова, что возможен распад $\psi' \rightarrow K_c + \bar{K}_c$, здесь ψ' – второй векторный мезон с аномально-малой шириной адронных распадов, масса которого $3,77 \text{ эв}$. В настоящее время такие распады не обнаружены. Предсказанная масса псевдоскалярного мезона $X \bar{X}$ вычислена без учета смешивания с X и η .

Т а б л и ц а 1

	ϕ	Σ^*	Ξ	Ξ^*	Ω
Формула	1049	1375,5	1337	1520	1672
Эксперимент	1020	1385	1317	1530	1675

Т а б л и ц а 2

I	$O \bar{X}, \bar{O} X$	$\lambda \bar{X}, \bar{\lambda} X$	$X \bar{X}$
0	1748,5	1977,5	3076
1	1880,5	2062,5	—

Т а б л и ц а 3

J	OOX		OλX			λλX	OXX	λXX	XXX
	Σ_c, Σ_c^*	Λ_c	Ξ_c'	Ξ_c^*	Ξ_c''	Ω_c	N_{ccc}	Ω_{ccc}	Ω_{cccc}
1/2	2239,5	2078	2313	2404		2575	3331,5	3522,5	—
3/2	2298	—		2450,5		2611	3390	3559,0	4514

Таким образом, с помощью линейной формулы предсказаны массы 5 мезонов и 13 барионов.

Я выражаю благодарность сотрудникам теоретического отдела ФИАН за обсуждение этой работы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 апреля 1975 г.

Литература

- [1] Ref. TH 1964-CERN, 6 December 1974.
[2] Я.Б.Зельдович. А.Д.Сахаров. ЯФ, 4, 349, 1966.