

А. СОКОЛОВ и Б. КЕРИМОВ

О МАССЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ МЕЗОНОВ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 20 XI 1948)

Как известно, теория скалярных мезонов приводит к следующему закону взаимодействия между двумя нуклеонами, т. е. между протонами или нейтронами:

$$U = -g^2 \frac{e^{-k_0 r}}{r}, \quad (1)$$

где g является специфическим ядерным зарядом, а k_0 связано с массой мезона μ соотношением: $k_0 = 2\pi\mu c/h$.

Формула (1) не может привести к спиновым нецентральной силам, действующим между нуклеонами. Наряду со скалярными мезонами, мы можем ввести также псевдоскалярные, векторные и псевдовекторные мезоны.

В общем случае, комбинируя различные мезонные поля, мы получаем следующий статический закон взаимодействия между двумя нуклеонами:

$$U = \left(g^2 + f^2 (\vec{\sigma}_1 \vec{\sigma}_2) + f_1^2 (\vec{\sigma}_1 \nabla) (\vec{\sigma}_2 \nabla) \right) \frac{e^{-k_0 r}}{r}. \quad (2)$$

Постоянные g , f , f_1 и k_0 , как правило, подбираются таким образом, чтобы получить правильные значения энергии связи и других величин в задаче дейтерона или в задаче рассеяния одного нуклона на другом.

Укажем, что к определению этих постоянных мы можем подойти, исследуя равновесие системы, состоящей из многих нуклеонов*. Для простоты ограничимся лишь нейтральными мезонами.

Тогда, отбрасывая дипольные члены, пропорциональные f_1^2 , которые не могут дать устойчивого состояния, мы, применяя метод Хартри—Фока, находим, что энергия системы нуклеонов складывается из кинетической энергии нуклеонов T , потенциальной энергии V^0 и обменной энергии V^a :

$$E = V^0 + V^a + T.$$

Пренебрегая поверхностными эффектами, а также кулоновским отталкиванием, мы получим для кинетической энергии:

$$T = \frac{3}{5} \frac{h^2}{MR^2} \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{2/3} \left(\frac{A}{2} \right)^{2/3} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{2/3}, \quad (3)$$

* Определение массы мезона из условия равновесия двух нуклеонов (задача дейтерона) было впервые произведено Д. Иваненко и В. Родичевым⁽¹⁾.

где M — масса нуклеона, R — радиус системы, A — общее число нуклеонов и n — максимальное число частиц, которое может находиться в заданном энергетическом состоянии (в нашем случае $n=4$, два протона и два нейтрона).

Аналогичным образом закон взаимодействия (2) приводит при малых значениях R к следующему выражению для потенциальной энергии:

$$V^0 = \frac{3}{2} \frac{g^2 A^2}{k_0^2 R^3}. \quad (4)$$

Наконец, для обменной энергии мы имеем при $R \ll \frac{2}{k_0} \left(\frac{9\pi A}{2n} \right)^{1/3}$:

$$V^a = -\frac{1}{4} (g^2 + 3f^2) \left(\frac{9\pi A}{2n} \right)^{4/3} \frac{n^2}{3\pi^2 R} + \frac{n}{4} (g^2 + 3f^2) k_0 A. \quad (5)$$

В другом крайнем случае $R \gg \frac{2}{k_0} \left(\frac{9\pi A}{2n} \right)^{1/3}$ получим:

$$V^a = -\frac{0,75(g^2 + 3f^2) A^2}{k_0^2 R^3}.$$

Вводя вместо R новую безразмерную величину x :

$$R = r_0 \sqrt[3]{A} x,$$

находим для полной энергии системы нуклеонов значение

$$E = A \left\{ a_0 - \frac{a_1}{x} + \frac{a_2}{x^2} + \frac{a_3}{x^3} \right\}, \quad (6)$$

где

$$a_0 = k_0 (g^2 + 3f^2), \quad a_1 = \left(\frac{3}{\pi} \right)^{2/3} \frac{3}{4} \frac{(g^2 + 3f^2)}{r_0}, \quad (7)$$

$$a_2 = \left(\frac{3}{\pi} \right)^{4/3} \frac{3}{160} \frac{\hbar^2}{M r_0^2}, \quad a_3 = \frac{3g^2}{2k_0^2 r_0^3}.$$

Учитывая условия равновесия

$$\left. \frac{\partial E(x)}{\partial x} \right|_{x=1} = 0,$$

а также соотношение, которое должно, согласно эмпирическим данным о дефекте масс, примерно соблюдаться в положении равновесия:

$$a_0 - a_1 + a_2 + a_3 \cong -a_2,$$

имеем

$$a_0 = 2a_2, \quad a_2 = \frac{a_1 - 3a_3}{2} > 0. \quad (8)$$

Отсюда можно заключить, что масса нейтральных мезонов, приводящая к равновесию системы нуклеонов, не может превосходить значения $130 m$ (m — масса электрона).

Таким образом, исследование статистической модели, имеющей известные ограничения, позволяет указать верхнюю границу для возможного значения массы нейтрального мезона.

Учет нецентральных сил, пропорциональных f_1^2 , а также учет поверхностных эффектов или различия сил между протонами и нейтронами вряд ли может в корне изменить принципиальную сторону вопроса, хотя предельное значение для массы мезона может быть несколько другое.

В связи с этим представляет интерес недавно открытый группой Тауэлла в толстослойных фотоэмульсиях спонтанный распад тяжелых заряженных π -мезонов на заряженные μ -мезоны и нейтральные мезоны*, масса которых не должна превышать $115 \pm 30 m$. Недавние фотографии Андерсона и др. также указывают распад мезонов космических лучей с массой $200 m$ на электроны и нейтральные мезоны, масса которых не должна превышать $130 m$. Возможно, что как раз эти нейтральные мезоны играют заметную роль при нуклеонных взаимодействиях.

Научно-исследовательский институт физики
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
6 XI 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Д. Иваненко и В. Родичев, ЖЭТФ, 9, 526 (1939).

* Распад мезонов был подтвержден также в известных опытах А. Алиханова, А. Алиханяна и др.