

С. п. а. л. с. е. н.

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

1958

Том 122, № 3

А. БАЛДИН и П. КАБИР

О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ ВТОРОГО НЕЙТРАЛЬНОГО π -МЕЗОНА

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 5 VI 1958)

Анализ данных ⁽¹⁾ по фоторождению π^- - и π^+ -мезонов на свободных нуклонах показал, что отношение сечений этих процессов вблизи порога постоянно и равно примерно 1,4 (точность $\sim 10\%$) — это находится в хорошем согласии с результатами полевой теории, использующей перенормированную константу связи $f^2 = 0,08$. Если скомбинировать этот результат с последними данными о фазах S -рассеяния π -мезонов на нуклонах ⁽²⁾, то можно получить следующее значение для соотношения Пановского:

$$P = \frac{\sigma(\pi^- + p \rightarrow n + \pi^0)}{\sigma(\pi^- + p \rightarrow n + \gamma)} = 2,4 \pm 0,4.$$

Ошибка включает ошибки в измерении сечения $\sigma(\gamma + n \rightarrow p + \pi^-)$, в измерении фаз рассеяния и разности масс π^- - и π^0 -мезонов. Средневзвешенное измеренных значений этой величины ⁽³⁾ составляет $1,66 \pm 0,10$. Таким образом, различие вычисленной и измеренной величин P составляет около двух стандартных отклонений, что позволяет говорить о противоречии в экспериментальных данных. В качестве возможного выхода из этой трудности в работе ⁽¹⁾ была предложена гипотеза двухкомпонентного π^0 -мезона. Предполагалось, что при поглощении π^- -мезонов в водороде испускается в основном не нейтральный мезон с изотопическим спином $T = 1$ (существование которого вытекает из гипотезы изотопической инвариантности), а нейтральный мезон с изотопическим спином $T = 0$. Из этого предположения автоматически вытекают свойства этого второго нейтрального мезона, его спин, четность, масса, сила взаимодействия с нуклонами. В работе ⁽¹⁾ утверждалось, что в настоящее время, по-видимому, не существует опытных фактов, находящихся в прямом противоречии с предложенной гипотезой. В настоящей заметке мы обсуждаем этот пункт и другие следствия гипотезы*.

Согласно ⁽¹⁾ мы принимаем, что массу нейтрального мезона $m_{\pi^0} = 264,3 m_e$, измеренную Пановским и др. ⁽⁴⁾ и Чиновским и Штейнбергером ⁽⁵⁾, следует приписать π^0 -мезону (изотопически скалярному π -мезону), который за исключением изотопического спина наследует почти все свойства обычного π^0 -мезона; обычный π^0 -мезон мы будем обозначать π_1^0 и будем считать, что масса его близка к массе π^\pm -мезонов. Старое обозначение нейтрального мезона π^0 мы используем, когда не различаем эти два типа мезонов.

π_0^0 -мезон должен взаимодействовать с нуклоном примерно столь же

* После того как значительная часть работы была закончена, мы получили рукопись статьи Я. Ямагучи, в которой также указывается на отсутствие прямых экспериментальных указаний против гипотезы о существовании изотопически скалярного π -мезона.

сильно, как и обычные π -мезоны. Так же как и обычный π_1^0 -мезон, π_0^0 -мезон нестабилен по отношению к распаду на два фотона:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

Для времени жизни, сравнимого со временем жизни π_1^0 -мезона, техника регистрации γ -квантов еще не достигла того уровня, чтобы различать γ -кванты распада π_0^0 и π_1^0 . Заметим, что распад

$$\pi_1^0 \rightarrow \pi_0^0 + \gamma$$

сильно запрещен.

Если принять нашу гипотезу, то простая связь между сечением фоторождения π^- -мезонов, соотношением Пановского и S -фазами рассеяния перестает существовать, так как основной вклад в соотношение Пановского по нашей гипотезе дает π_0^0 -мезон. Тем самым отмеченное выше противоречие снимается.

Запишем сечение процесса

$$\pi^- + p \rightarrow \begin{cases} \pi_0^0 + n & (1^0) \\ \pi_1^0 + n & (1^1) \end{cases}$$

в области положительных энергий π^- -мезона.

Легко показать, что при малых энергиях π^- -мезонов понятия амплитуд рассеяния в состоянии с изотопическим спином $1/2 a_1$ и изотопическим спином $3/2 a_3$ сохраняют свой прежний смысл и сечение процесса (1¹) запишется в виде

$$\sigma(\pi^- \rightarrow \pi^0) = 4\pi \left\{ \frac{v_1^0}{v} \frac{2}{3} |a_3 - a_1|^2 + \frac{v_0^0}{v} \frac{1}{6} |a_0|^2 \right\}, \quad (2)$$

где v , v_1^0 и v_0^0 — скорости соответственно π^- , π_1^0 - и π_0^0 -мезонов.

Амплитуду процесса (1⁰) можно найти из величины соотношения Пановского ($P = 1,66$), считая, что этот эффект полностью обусловлен π_0^0 -мезоном*:

$$a_0 = 0,27.$$

Таким образом, в области положительных энергий π^- -мезонов сечение рассеяния с перезарядкой может оказаться слишком большим. Эту трудность можно обойти двумя путями. Первый, наиболее простой, вариант заключается в том, что, используя некоторую свободу в выборе величины массы π_1^0 -мезона и величины a_0 , можно сделать сечение $\sigma(\pi^- \rightarrow \pi^0)$ совпадающим в пределах ошибок с измеренным на опыте и не прийти в противоречие с данными по эффекту Пановского. При этом в эффект Пановского будут, очевидно, давать вклад оба мезона.

Второй вариант заключается в том, что предполагается

$$a_1 \approx a_3. \quad (3)$$

Мы считаем, что величина $a_3 = -0,11$ определена хорошо из опытов по рассеянию π^+ -мезонов на водороде, поэтому наше предположение (3) означает изменение величины a_1 . Может показаться на первый взгляд, что такое изменение величины a_1 будет находиться в противоречии с экспериментальными данными по рассеянию π^- -мезонов малой энергии на водороде, которые дали для a_1 величину $+0,17$.

Мы, однако, обнаружили, что эти экспериментальные данные допускают также и другое решение, которое как раз соответствует нашему предполо-

* $\hbar = c = \mu = 1$.

ложению (3). Для более точного определения q_1 необходим такой же анализ, который был проведен при нахождении величины 0,17, но он не изменит соотношения (3). Если наше решение окажется верным, то оно даст ответ на один из наиболее интенсивно обсуждавшихся вопросов π -мезонной физики — вопрос о зависимости S -фаз от изотопического спина.

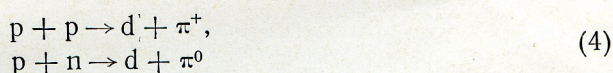
В области 40 Мэв новое решение приводит к значительно большей величине сечения взаимодействия π^- -мезонов с протонами, чем старое решение, вследствие уменьшения роли интерференции кулоновского и ядерного рассеяния в области больших энергий. (Эта интерференция положительна для старого решения и отрицательна для нового решения.) Этот результат не находится в противоречии с экспериментальными данными (6).

В области энергий π -мезонов ~ 60 Мэв и выше существенную роль в рассеянии начинают играть P -волны, кроме того в этой области зависимость фаз от энергии может существенно отличаться от ak^{2l+1} , где k — импульс мезона.

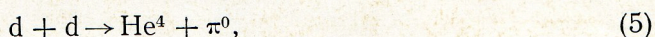
Поэтому анализ данных, в котором надо еще учесть возможное существование π_0^0 , носит довольно сложный и неоднозначный характер. Проявлений существования π_0^0 -мезона вообще следует ожидать вне области энергий π -мезонов 60—300 Мэв, так как в этой области основные закономерности мезонных явлений определяются резонансом в состояниях ($^3/2$, $^3/2$), тогда как π_0^0 и нуклон в этом состоянии находиться не могут.

Изменение знака a_1 , а следовательно, и знака длины рассеяния π^- — p можно в принципе проверить, определить знак сдвига π -мезоатомного уровня в водороде; однако такой опыт осуществлен не был. Для других атомов величина π -мезоатомного сдвига с новым выбором фаз оказывается того же знака, что и раньше, но примерно в 5 раз больше наблюдаемой экспериментально, если принять, что теория Дезера и др. (7) справедлива. Однако теория взаимодействия мезонов со сложными ядрами пока оставляет желать много лучшего, и мы не склонны рассматривать эту трудность как полностью закрывающую нам второй вариант.

Можно думать, что одинаковость угловых распределений и отношение сечений 2 : 1, обнаруженные (8) для реакций



противоречат существованию π_0^0 . Это не так, ибо указанный результат означает только, что амплитуды для реакций (4) в состоянии с $T = 0$ малы по сравнению с амплитудами в состоянии с $T = 1$. Если учесть резонансное взаимодействие мезонов с одним из нуклонов в состоянии ($^3/2$, $^3/2$), то это соотношение амплитуд не является несовместимым с существованием π_0^0 . Нам представляется, что экспериментальных данных, строго исключающих гипотезу, нет. Поэтому вопрос о ее прямой экспериментальной проверке является крайне желательным. К счастью, такую проверку можно осуществить довольно легко. Прямым доказательством существования π_0^0 была бы регистрация образования единичных π_0^0 -мезонов в реакциях, в которых участвуют только частицы с изотопическим спином, равным нулю. Наиболее удобна для этого эксперимента реакция



предложенная в работе (1)*.

Если наблюдение реакции (5) докажет существование π_0^0 , то появится необходимость заново исследовать довольно большой круг явлений, напри-

* Эта реакция также упоминается в рукописи Я. Ямагучи, хотя он утверждает, что она запрещена для псевдоскалярного π_0^0 -мезона. Мы не согласны с этим утверждением.

мер проблемы электромагнитной структуры нуклона, второго максимума во взаимодействии π^- -мезонов с протонами, образования и распадов странных частиц и многие другие.

Мы выражаем благодарность проф. Р. Е. Пайерлсу за постоянный интерес к работе и ценные обсуждения, доктору Л. Кастилео за критику и другим членам Отдела математической физики Бирмингемского университета за интересные дискуссии.

Отдел математической физики
Бирмингемского университета
Англия

Поступило
5 VI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. М. Балдин, *Nuovo Cim.* (в печати). ² D. E. Nagle, R. H. Hildebrand, R. I. Plano, *Phys. Rev.*, **105**, 718 (1957); J. Orear, *Nuovo Cim.*, **4**, 854 (1956); M. C. Rinehart, K. C. Rogers, L. M. Lederman, *Phys. Rev.*, **100**, 883 (1955).
³ J. L. Cassels, Proc. VII Ann. Rochester Conference, 1957; J. Fischer, R. March, L. Marshall, *Phys. Rev.*, **109**, 533 (1958). ⁴ W. K. H. Panofsky, R. L. Amoldt, J. Hedley, *Phys. Rev.*, **81**, 565 (1951). ⁵ W. Chinowsky, I. Steinberger, *Phys. Rev.*, **93**, 586 (1953). ⁶ J. P. Perry, C. E. Angell, *Phys. Rev.*, **92**, 835 (1953); C. E. Angell et al., *Phys. Rev.*, **92**, 1327 (1953). ⁷ S. Deser, M. L. Goldberger, K. Bauman, W. Thirring, *Phys. Rev.*, **96**, 774 (1954). ⁸ R. H. Hildebrand, *Phys. Rev.*, **89**, 1090 (1953); R. A. Schuler, *Phys. Rev.*, **96**, 734 (1954).