Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 3

ФИЗИКА

Б. М. ПОНТЕКОРВО и Г. И. СЕЛИВАНОВ

ОБРАЗОВАНИЕ π^0-МЕЗОНОВ НА ВОДОРОДЕ И ДЕЙТЕРИИ НЕЙТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 400 Мэв*

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 26 IV 1955)

Ввиду полного отсутствия сведений о рождении π^0-мезонов в (n — n) и (n — p)-соударениях нами была выполнена серия опытов по исследованию процесса образования π^0-мезонов нейтронами на водороде и дейтерии. Нейтроны получались в результате обменного взаимодействия протонов, ускоренных в синхроциклотроне, с ядрами бериллия. Энергетический спектр этих нейтронов имеет максимум в районе 380 Мэв. Полуширина спектра в максимуме составляет 100 Мэв. Как указывалось в работе [2], «номинальная» энергия нейтронов принята нами равной 400 Мэв. В опытах использовалось описанное ранее экспериментальное устройство [2] для наблюдения γ-лучей от распада π^0-мезонов.

Дифференциальное сечение образования γ-лучей на водороде было измерено методом сравнения интенсивностей γ-лучей, испускаемых из образцов парафина и графита. Чтобы исключить ошибки, обусловленные неравномерным распределением числа нейтронов по сечению пучка, а также неодинаковым поглощением γ-лучей в графите и парафине, используемые образцы выбирались одинаковой формы с равным числом ядер углерода. Уменьшение плотности графита достигалось сверлением образца равномерно по всему объему.

Дифференциальное сечение образования γ-лучей под углом 90° к пучку нейтронов найдено равным:

$$\left(\frac{d\sigma_н}{d\Omega}\right)^{\gamma}_{90^\circ} = (0{,}48 \pm 0{,}25)\cdot 10^{-28}\ \text{см}^2/\text{стерадиан}.$$

Полученный результат был использован для определения величины интегрального сечения $(\sigma_н)^{\pi^0}$ рождения нейтральных мезонов на водороде. Сечение оценивалось при двух предположениях о типе углового распределения π^0-мезонов в системе центра инерции. Изотропному угловому распределению соответствует $(\sigma_н)^{\pi^0} = 3{,}7\cdot 10^{-28}$ см^2, в то время как для распределения $\cos^2\vartheta$ получается $(\sigma_н)^{\pi^0} = 4{,}1\cdot 10^{-28}$ см^2.

В пределах ошибок измерений оба значения оказываются равными, что приводит к величине сечения

$$(\sigma_н)^{\pi^0} = (4 \pm 2)\cdot 10^{-28}\ \text{см}^2.$$

Интересно сопоставить полученный результат с данными опытов по фоторасщеплению дейтона γ-лучами большой энергии. И. Я. Померанчук и И. М. Шмушкевич [3], пользуясь принципом детального равно-

* Это сообщение основано на результатах работ, выполненных в 1951—1952 гг. и ранее описанных в отчетах Института ядерных проблем Академии наук СССР [1]. Сообщения, появившиеся в литературе после написания отчетов, не обсуждаются.

весия, оценили на основании величины сечения фоторасщепления дейтона сечение обратной реакции $n + p \to \gamma + d$, а также сечение тормозного излучения в реакции $n + p \to n + p + \gamma$. При энергии нейтронов 400 Мэв сумма сечений указанных радиационных (n — p)-соударений значительно меньше наблюдаемого нами сечения образования γ-лучей. Это означает, что основная часть γ-излучения, возникающего при (n — p)-соударениях, имеет мезонную природу.

Сечение образования π^0-мезонов на водороде, полученное, в наших опытах, приблизительно вдвое меньше сечения ([4]) рождения π^+-мезонов в (p — p)-соударениях при энергии протонов 380 Мэв. Основываясь на гипотезе зарядовой инвариантности, этот результат в пределах точности экспериментальных данных можно расценивать как некоторое указание на малую вероятность образования π^+-мезонов в (n — p)-соударениях, что можно видеть из соотношения:

$$\sigma^{\pi^0}_{n-p} = \frac{1}{2}\sigma^{\pi^+}_{p-p} + \sigma^{\pi^+}_{n-p},$$

которое вблизи порога мезонообразования должно выполняться для псевдоскалярных мезонов, испускаемых в p-состоянии ([5]).

Дальнейшее обсуждение запрета процесса образования заряженных мезонов при (n — p)-соударениях проводится совместно с анализом данных, полученных в наших опытах с дейтерием.

Как и в предыдущем случае, измерения в этих опытах проводились разностным методом. Мишенями служили обычная и тяжелая вода. γ-лучи, испускаемые из образцов D_2O и H_2O, регистрировались под углом 90° к пучку нейтронов. Выполнение измерений под одним углом не вызывает серьезных трудностей в интерпретации. При использованной нами энергии нейтронов с достаточной для наших целей точностью можно считать, что интегральное сечение образования π^0-мезонов, полученное из измерений дифференциального сечения испускания γ-лучей под углом 90°, мало зависит от принятого углового распределения π^0-мезонов.

Так как систематическую разницу интенсивностей γ-лучей от образцов D_2O и H_2O наблюдать не удалось, то был оценен верхний предел этой разницы. Найдено, что

$$\sigma^{\pi^0}_{n,\,H} > 4\,(\sigma^{\pi^0}_{n,\,D} - \sigma^{\pi^0}_{n,\,H}).$$

Полученный результат позволяет сделать вывод, что процесс образования π^0-мезонов в (n — n)-соударениях имеет малую вероятность в сравнении с процессом образования π^0-мезонов в (n — p)-соударениях. Оценка величины сечения, сделанная на основе импульсного приближения, приводит к заключению, что $\sigma^{\pi^0}_{n-n} \leqslant 10^{-28}$ см^2 при энергии нейтронов 400 Мэв.

Тот факт, что сечение рождения π^0-мезонов вблизи порога оказывается малым одновременно в (n — n)-соударениях, как это показано в наших опытах, и в (p — p)-соударениях, как это было обнаружено в работе ([6]), подтверждает справедливость гипотезы зарядовой симметрии. Малая вероятность образования π^0-мезонов при соударениях одинаковых нуклонов следует из законов сохранения углового момента и четности, если мезоны псевдоскалярные и испускаются в p-состоянии.

На основании результатов наших опытов нами предложена следующая схема процессов образования π-мезонов при энергии взаимодействующих нуклонов вблизи порога.

Процессы разрешенные	Процессы запрещенные*
$p + p \to \pi^+$	$p + p \to \pi^0$
$n + n \to \pi^-$	$n + n \to \pi^0$
$n + p \to \pi^0$	$n + p \to \begin{cases} \pi^+ \\ \pi^- \end{cases}$

К такой классификации процессов мезонообразования приводит также анализ ([1]) результатов, полученных в опытах по образованию заряженных мезонов протонами на сложных ядрах. Наряду с этим значительным аргументом в пользу приведенной схемы является большая величина отношения π^+/π^-, наблюдаемая в случае взаимодействия протонов с дейтронами ([7]).

Рождение мезонов по этой схеме наиболее вероятно в том случае, когда изотопический спин $T_н$ начального состояния двух нуклонов равен единице, а изотопический спин их конечного состояния $T_к$ равен нулю. Переход из состояния $T_н = 0$ в состояние $T_к = 1$, повидимому, является запрещенным. Отсюда нетрудно видеть, что имеется запрет образования системы мезон — нуклон в состоянии с изотопическим спином $T_и = {}^1/_2$. Последнее указывает на слабое взаимодействие мезона с нуклоном в этом состоянии. Таким образом, из схемы следует, что наиболее сильное взаимодействие осуществляется, когда $T_и = {}^3/_2$. Угловой момент j в этом состоянии равен ${}^3/_2$, как об этом свидетельствуют эксперименты ([8]) по изучению углового распределения π^+-мезонов, рождающихся в реакции $p + p \to \pi^+ + d$. Как известно, вывод о том, что в состоянии с $T_и = {}^3/_2$ и $j = {}^3/_2$ имеется сильное взаимодействие, был также сделан на основе опытов по рассеянию мезонов нуклонами и фоторождению мезонов ([9]).

Авторы признательны Я. А. Смородинскому за обсуждение результатов и ряд ценных замечаний.

Институт ядерных проблем
Академии наук СССР

Поступило
14 IV 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. М. Понтекорво, Г. И. Селиванов, Отчеты Института ядерных проблем АН СССР, 1951 и 1952. [2] Б. М. Понтекорво, Г. И. Селиванов, ДАН, **102**, № 2 (1955). [3] И. Я. Померанчук, И. М. Шмушкевич, ДАН, **87**, 385 (1952). [4] S. Passman, M. M. Block, W. W. Havens, Phys. Rev., **83**, 167 (1951). [5] K. M. Watson, K. A. Brueckner, Phys. Rev., **83**, 1 (1951). [6] R. W. Hales et al., Phys. Rev., **85**, 373 (1952). [7] S. Passman, M. Block, W. W. Havens, Phys. Rev., **85**, 370 (1952). [8] R. Durbin, H. Loar, J. Steinberger, Phys. Rev., **83**, 646 (1951); М. Мещеряков, Б. Неганов, Н. Богачев, В. Сидоров, Отчет Института ядерных проблем АН СССР, 1952. [9] См., например, H. L. Anderson, E. Fermi, E. A. Long, R. Martin, D. E. Nagle, Phys. Rev., **85**, 934 (1952); K. A. Brueckner, Phys. Rev., **86**, 105 (1952).

* Под «запрещенными» понимаются процессы, идущие с относительно малой вероятностью.