

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

3-634

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ π^- -МЕЗОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ
307 МЭВ НА ВОДОРОДЕ^{х)}

В.Г.Зинов и С.И.Коренченко

март 1957 года

х) Работа направлена в "Журнал экспериментальной и теоретической физики".

Угловое распределение π^+ -мезонов, рассеянных на водороде, до последнего времени было детально изучено только до энергии 220 Мэв. Данные по взаимодействию π^+ -мезонов с водородом при энергиях ~ 300 Мэв, полученные на пучках π^+ -мезонов синхроциклотрона Объединенного института ядерных исследований^(1,2), имеют малую статистическую точность. В данной работе методом сцинтилляционных счетчиков началось угловое распределение π^+ -мезонов в процессе $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$.

Мезоны, полученные на π^+ -с мишени внутри камеры синхроциклотрона ОИЯИ, проходили через коллиматор в ярме магнита синхроциклотрона, отклонялись дополнительным (фокусирующим) магнитом и попадали на водородную мишень. Энергия π^+ -мезонов равнялась 307 ± 9 Мэв, причем интенсивность пучка составляла ~ 100 мезонов/см² сек. Геометрия опыта представлена на рис. 1. Пучок, падающий на водородную мишень, детектировался счетчиками 1 и 2 размером 6x6 см, включенными на совпадения. Рассеянные мезоны регистрировались одновременно под двумя углами телескопами, каждый из которых состоял из 2-х жидкостных сцинтилляционных счетчиков 3,4 и 5,6 размером 12,6x11,5 см.

Импульсы от фотоумножителей поступали на формирующее устройство, а затем по высокочастотным кабелям на многоканальную схему совпадений с разрешающим временем $\sim 1,2 \cdot 10^{-8}$ сек. Схема совпадений была выполнена на германиевых детекторах и имела чувствительность $\sim 0,5$ в. Число двойных совпадений (D) импульсов от счетчиков 1 и 2 регистрировалось с помощью пересчета с разрешающим временем $\sim 10^{-7}$ сек. Четверные совпадения импульсов от счетчиков 1,2,3,4 и 1,2,5,6 (Q) поступали на пропускающее устройство, управляемое

счетчиком 7, включенным на антисовпадения со счетчиками 1 и 2, а затем регистрировались механическими счетчиками.

Применение счетчика антисовпадений 7 было вызвано необходимостью уменьшить фон случайных совпадений. Схема антисовпадений была выполнена на германиевых детекторах и имела разрешающее время $\sim 2,2 \cdot 10^{-8}$ сек.

В качестве мишени использовался жидкий водород, помещенный в пенополистироловый сосуд. Количество водорода на пути пучка составляло в среднем $0,735 \text{ г/см}^2$, количество вещества мишени - $0,35 \text{ г/см}^2$.

Измерения производились под углами 30° , 45° , 60° , 80° , 100° , 125° и 152° в лабораторной системе координат. При измерениях под углами 30° , 45° и 60° перед счетчиками 4 и 6 для поглощения протонов отдачи ставились алюминиевые фильтры толщиной 28,4; 20,2 и 9,4 г/см^2 , соответственно. При измерениях под остальными углами перед счетчиками 4 и 6 ставились алюминиевые фильтры толщиной 5,4 г/см^2 для поглощения протонов, возникающих в звездах.

Дифференциальное сечение вычислялось по формуле

$$\frac{d\sigma}{d\omega} \text{ лад} = \frac{(Q/D) \text{ с водородом} - (Q/D) \text{ без водорода}}{K \cdot N \cdot \omega}$$

где $N = 0,443 \cdot 10^{24}$ - число атомов водорода на 1 см^2 ,

ω - телесный угол, выделяемый угловыми телескопами,

K - коэффициент, учитывающий следующее: уменьшение эффективности телескопов из-за алюминиевого фильтра, увеличение счета из-за конверсии в счетчиках 3 и 5 γ -лучей от Π^0 -мезонов, примесь

μ -мезонов в пучке, поглощение мезонов в стенках мишени и в счетчиках 3 и 5, просчеты в быстром пересчете, а также еще ряд небольших поправок.

Специально проведенные измерения (о которых будет сообщено отдельно) показали, что при энергии Π^- мезонов 307 Мэв уже становится заметным эффект рождения мезонов мезонами. Под углом 80° в лабораторной системе координат регистрируемое число мезонов, рождающихся на водороде, составляет $\sim 7\%$ от числа упруго рассеянных Π^- мезонов. Поправки на этот эффект под другими углами были сделаны при следующих схематических предположениях: вся кинетическая энергия в системе центра масс уносится Π^- мезонами, энергетический спектр мезонов имеет треугольную форму, угловое распределение этих мезонов изотропно.

Полученные после введения всех поправок величины дифференциальных сечений рассеяния в системе центра масс приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Угол в с.ц.м.	$41^\circ 20'$	$60^\circ 35'$	$78^\circ 28'$	$99^\circ 57'$	$118^\circ 59'$	$140^\circ 01'$	$160^\circ 16'$
Дифференциальное сечение в 10^{-27} см ² стер. ⁻¹	$1,30 \pm 0,27$	$1,05 \pm 0,13$	$0,75 \pm 0,09$	$0,49 \pm 0,06$	$0,61 \pm 0,07$	$0,89 \pm 0,10$	$1,12 \pm 0,12$

Для всех углов, кроме угла 41° , в качестве ошибки указаны стандартные отклонения. Результаты измерений под углом 41° в различных сериях измерений отличались друг от друга на величины, превышающие статистические ошибки. Для этого угла в качестве ошибки приведена средняя квадратичная ошибка отдельного измерения.

Представление с помощью метода наименьших квадратов зависимости дифференциальных сечений от угла рассеяния в системе ц.м. в виде выражения:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\omega}\right)_{\text{ц.м.}} = a_- + b_- \cos^2 \vartheta + c_- \cos^4 \vartheta \quad (1)$$

приводит к следующим значениям коэффициентов в $\frac{10^{-27} \text{ см}^2}{\text{стерад}}$:

$$a_- = 0,56 \pm 0,05; \quad b_- = 0,42 \pm 0,11; \quad c_- = 1,1 \pm 0,16 \quad (2)$$

Если проинтегрировать зависимость (1), то получается величина интегрального сечения процесса $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p$ $\sigma_{\pi^+ \rightarrow \pi^+} = / 11,3 \pm 0,9 / \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$, в работах (1 и 2) было получено, соответственно,

$$\sigma_{\pi^+ \rightarrow \pi^+} = / 14 \pm 3,5 / \cdot 10^{-27} \text{ см}^2 \quad \text{и} \quad \sigma_{\pi^+ \rightarrow \pi^+} = / 11 \pm 4 / \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

При предварительном анализе полученных данных для простоты были сделаны следующие предположения:

1) в рассеянии участвуют только S и P волны;

2) угловое распределение ^{упруго}рассеянных π^- -мезонов при энергии ~ 300 Мэв определяется через фазовые сдвиги теми же уравнениями, что и при отсутствии неупругих процессов.

Фазовые сдвиги, определяющие взаимодействия в S^- , $P_{1/2}^-$, $P_{3/2}^-$ - состояниях с изотопическим спином $3/2$, обозначены соответственно α_3 , α_{31} и α_{33} . Значения этих фазовых сдвигов $\alpha_3 = -23,2^\circ$, $\alpha_{31} = -8,4^\circ$, $\alpha_{33} = 133,2^\circ$ были взяты из работы (3). Фазовые сдвиги, определяющие взаимодействия в S^- , $P_{1/2}^-$ и $P_{3/2}^-$ - состояниях с изотопическим спином $1/2$, обозначены соответственно α_1 , α_{11} и α_{13} . Найдено четыре набора фазовых сдвигов, дающих минимальное значение величины $M = \sum_i (\Delta_i / \epsilon_i)^2$, где Δ_i - отклонение вычисленного из фаз значения дифференциального сечения для данного угла от экспериментального. ϵ_i - экспериментальная ошибка в измеренном дифференциальном сечении. Полученные фазовые сдвиги и соответствующая величина M приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

α_1	α_{11}	α_{13}	M
5°	8°	$-8,2^\circ$	1,4
$I,5^\circ$	-22°	18°	1,5
15°	$-19,5^\circ$	$19,5^\circ$	1,3
$II,8^\circ$	$35,5^\circ$	7°	1,3

Необходимо отметить, что, хотя имеется четыре набора фазовых сдвигов, одинаково хорошо описывающих наблюдаемое угловое распределение упруго-рассеянных π^- -мезонов ($M \sim 1,5$ при ожидаемом значении 4), ни один из этих наборов не описывает удовлетворительно угловое распределение π^0 -мезонов от процесса $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$, полученное нами в предварительных измерениях. Причина этого, возможно, станет ясной после дополнительных измерений обменного рассеяния и проведения более полного фазового анализа с учетом D -волн. Следует также выяснить с теоретической точки зрения законность пренебрежения при фазовом анализе неупругими процессами.

Из проведенных измерений упругого рассеяния π^- -мезонов можно получить сведения о величине константы связи мезон-нуклонного взаимодействия f . Известно, что из дисперсионных соотношений (4) можно получить кривую зависимости от энергии величины действительной части $D_-(0)$ амплитуды рассеяния π^- -мезонов под 0° . При этом поведение кривой зависит от значения f^2 . Дж. Пуппи и А. Штангеллини (5) обратили внимание на то, что для получения удовлетворительного согласия такой кривой с экспериментальными данными при энергиях π^- -мезонов меньше 180 Мэв нужно принимать значение $f^2 \sim 0,04$, а данные при энергиях π^- -мезонов ~ 220 Мэв согласуются с кривой, полученной при значении $f^2 \sim 0,08$. Напомним, что из экспериментов по взаимодействию π^+ -мезонов с протонами вплоть до энергии 400 Мэв получается $f^2 \sim 0,08-0,1$ (5). Если выразить $D_-(0)$ через коэффициенты разложения (I) и полное сечение взаимодействия π^- -мезонов с водородом σ_t x)

$$\text{то получим } |D_-(0)| = \sqrt{(a_- + b_- + c_-) + \left(\frac{k\sigma_t}{4\pi}\right)^2}$$

x) Значение $\sigma_t = (31,6 + 1,6) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ было получено путем интерполяции данных (7).

где k — волновое число π^- -мезона.

Вычисленная таким образом величина $D(\theta) = -0,24 \pm 0,05 \cdot 10^{-13}$ см для энергии 307 Мэв находится в удовлетворительном согласии с кривой, полученной при $\phi^2 = 0,08$ (5,6). Это подтверждает противоречие, отмеченное Дж. Пуппи и А. Стангеллини. Расхождение при энергиях π^- -мезонов меньше 180 Мэв, возможно (как полагают Дж. Пуппи и А. Стангеллини), объясняется электромагнитными эффектами и разностью масс π^+ и π^0 -мезонов.

Авторам приятно поблагодарить Б.М. Понтекорво за постоянное внимание и помощь в работе, Л.И. Липидуса за обсуждение результатов, а также Дж. Пуппи и А. Стангеллини за любезно присланную до опубликования работу.

Л и т е р а т у р а :

- (1) Л.С. Дулькова, Т.А. Романова, И.Б. Соколова, А.В. Сухова, К.Д. Толстов и М.Г. Шафранова. ДАН СССР 107, 43 (1956).
- (2) М.С. Козодаев, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов и Ю.А. Щербаков. ДАН СССР 107, 236 (1956).
- (3) А.И. Мухин, Б.Понтекорво. ЖЭТФ 31, 550 (1956)
- (4) H.L. Anderson, W.C. Davidon and U.E. Kruse, Phys.Rev. 100, 339 (1955).
- (5) G. Puppi and A. Stanghellini, Progress Report N 4, Dec.1955 Istituto " A. Righi" - Bologna.
- (6) R.M. Sterheimer, Phys.Rev. 101, 384 (1956).
- (7) А.Е. Игнатенко, А.И. Мухин, Е.Б. Озеров и Б.М. Понтекорво, ДАН СССР 103, 45 (1955).

Жесткий
водород

счетчик
антисовпадения
12,6 x 11,5

сцинтиляционные
счетчики 6 x 6

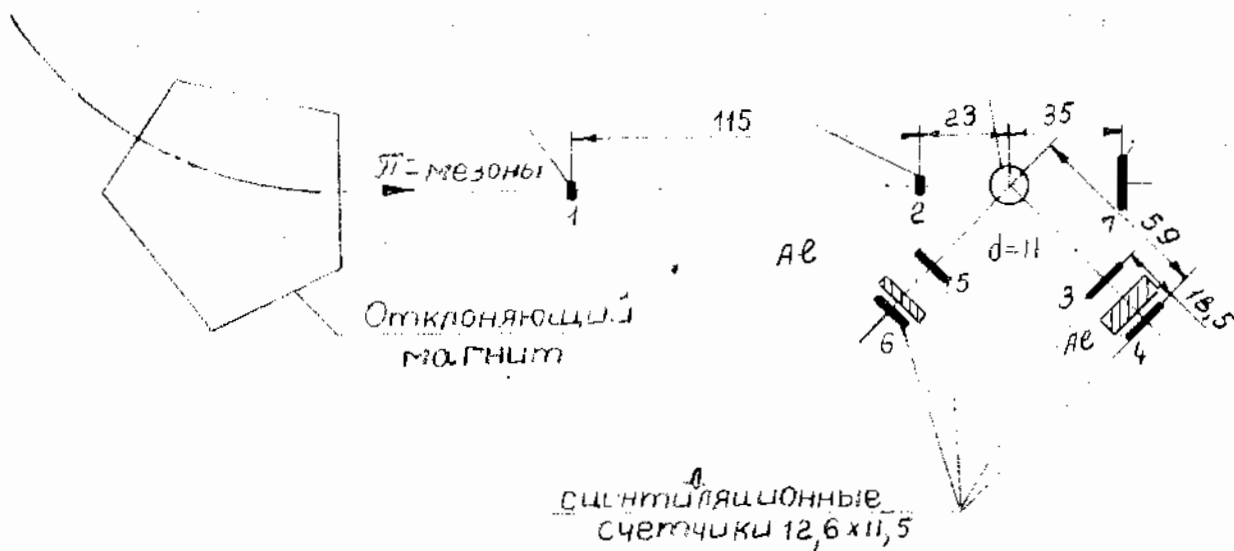


Рис. 1 Геометрия опыта