

981



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Люй Минь, Ю.Д. Прокошкин

P - 981

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π -МЕЗОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В НУКЛОННЫХ СОУДАРЕНИЯХ,
И ГИПОТЕЗА ИЗОТОПИЧЕСКОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ

Дубна 1962 год

Люй Минь, Ю.Д. Прокошкин

P - 981

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π -МЕЗОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В НУКЛОННЫХ СОУДАРЕНИЯХ,
И ГИПОТЕЗА ИЗОТОПИЧЕСКОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ

Дубна 1962 год

А н н о т а ц и я

Измерено угловое распределение π^0 -мезонов, образованных в нейтрон-протонных соударениях при энергии около 600 Мэв. Проводится сопоставление его с другими, найденными ранее угловыми распределениями π -мезонов с целью проверки гипотезы изотопической инвариантности.

Abstract

The angular distribution of π^0 -mesons produced in neutron-proton collisions has been measured at the energy of about 600 MeV. It is compared with pion distributions found earlier to check the isotopic invariance hypothesis.

В в е д е н и е

В нашей предыдущей работе^{/1/} было указано на возможное существование расхождения между угловыми распределениями нейтральных^{/1,2/} и заряженных^{/3-6/} π -мезонов, образованных в нуклон-нуклонных соударениях, выходящее за рамки гипотезы сохранения изотопического спина. Как известно, согласно этой гипотезе суммарные, нормированные на сечения, угловые распределения π^0 - и π^\pm -мезонов, образованных в $pp \rightarrow$ и $pn \rightarrow$ соударениях, должны быть одинаковыми:

$$f_{pp \rightarrow pn}^{\pi^0}(\theta) = f_{pp \rightarrow pn}^{\pi^\pm}(\theta). \quad (1)$$

Распределение $f_{pp \rightarrow pn}^{\pi^0}(\theta)$ близко к изотропному при энергиях около 650 Мэв^{/1,2/}, в то время как $f_{pp \rightarrow pn}^{\pi^\pm}(\theta)$ существенно анизотропно^{/3-6/} вследствие большой анизотропии распределения π^\pm -мезонов, образованных в $pp \rightarrow$ соударениях^{/3/}. Это различие, как указывалось в работе^{/1/}, не являлось, однако, окончательно установленным экспериментальным фактом. С одной стороны, угловое распределение π^\pm -мезонов $f_{pp}^{\pi^\pm}(\theta)$ может быть в действительности более изотропным, чем получено Негановым и Савченко^{/3/}, в пользу чего свидетельствуют опыты Мешковского, Шаламова и Шебанова^{/7/}. С другой стороны, угловое распределение π^0 -мезонов могло несколько отличаться от полученного в работе^{/1/}, где изучались соударения протонов с нейтронами, связанными в ядре дейтерия, поскольку возможна интерференция между нуклонными состояниями в дейтроне, приводящая к изменению распределения π^0 -мезонов по сравнению с тем, которое имеет место при соударении протона со свободными нуклонами¹⁾.

Чтобы выяснить последнее обстоятельство, необходимо было исследовать с хорошей точностью угловое распределение π^0 -мезонов, образующихся в свободных $pn \rightarrow$ соударениях:

$$n + p \rightarrow \pi^0 + \left\{ \begin{matrix} n \\ d \end{matrix} \right\}^{\pm} p \quad (2)$$

С этой целью нами были выполнены эксперименты на пучке нейтронов, выведенном из фазотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Этот пучок характеризуется широким энергетическим спектром^{/9/}. Соответствующий реакции (2) эффективный спектр нейтронов, найденный путем умножения сечения реакции (2)^{/1/} на спектр нейтронов^{/9/}, представлен на рис.1. При проведении описываемых исследований мы использовали экспериментальный материал,

1) Как было показано в работе^{/8/}, в рассматриваемой области энергий влияние связи нуклонов в дейтроне на величины полных (проинтегрированных по θ) сечений образования мезонов сводится, в основном, к изменению сечений из-за внутриядерного движения нуклонов. Наличие внутриядерного движения приводит к небольшому изменению скорости эффективной системы центра масс для угловых распределений, которое может быть найдено на основании известного^{/8/} импульсного распределения нуклонов в дейтроне.

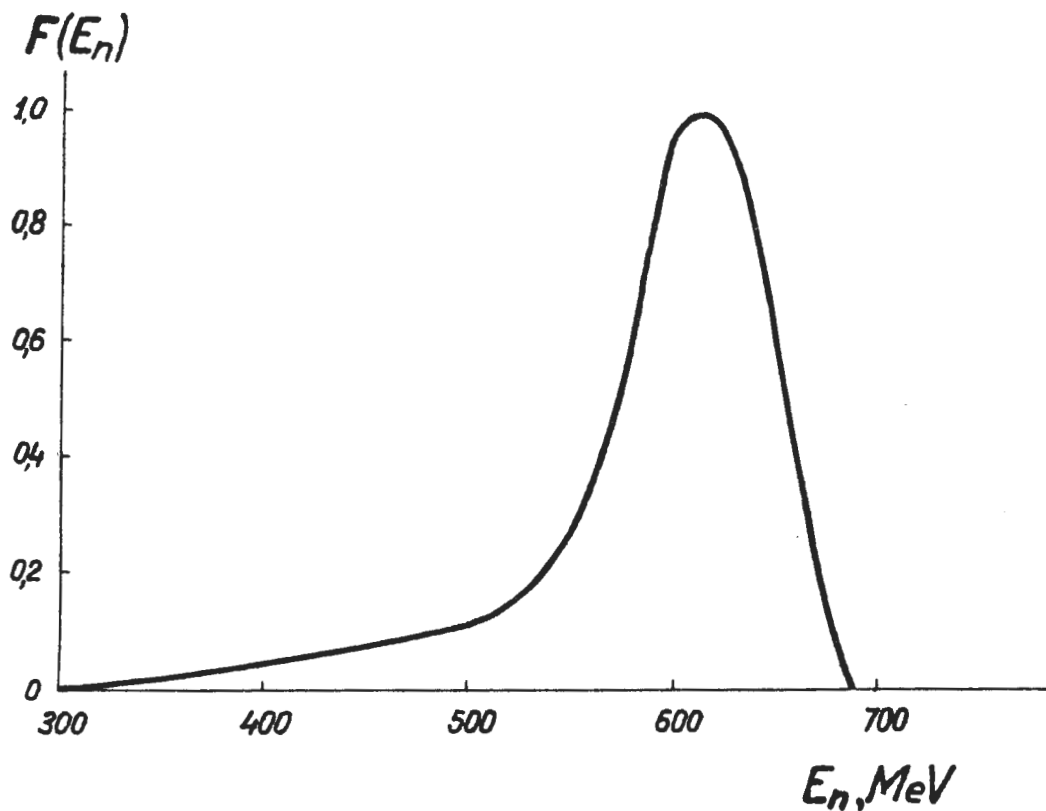


Рис. 1. Эффективный энергетический спектр нейтронов для реакции (2).

накопленный ранее в опытах на пучке протонов ^{1,2/}, что было существенно, так как точные измерения эффективности гамма-телескопа, телесных углов и различного рода поправок не могут быть выполнены на нейтронном пучке ввиду его сравнительно малой интенсивности. Без проведения же таких измерений нельзя получить сколь-нибудь точные данные об угловом распределении π^0 -мезонов.

2. Результаты измерений

Сведения об угловом распределении π^0 -мезонов были получены путем регистрации гамма-квантов от распада π^0 -мезонов, образующихся в мишени при прохождении через нее пучка нейтронов. Схема эксперимента представлена на рис. 2. Для регистрации гамма-квантов использовался гамма-телескоп со свинцовым конвертором, состоящий из сцинтилляционных и черенковского счетчиков. Существенным для проведенных опытов свойством гамма-телескопа являлось сочетание низкого энергетического порога регистрации гамма-квантов с высокой неэффективностью к заряженным частицам и нейтронам. Последнее позволило провести измерения выходов гамма-квантов под малыми углами θ , где фон рассеянных нейтронов особенно велик. Эффективность регистрации нейтронов была определена экспериментально. Для этого гамма-телескоп был поставлен в пучок, содержащий нейтроны и

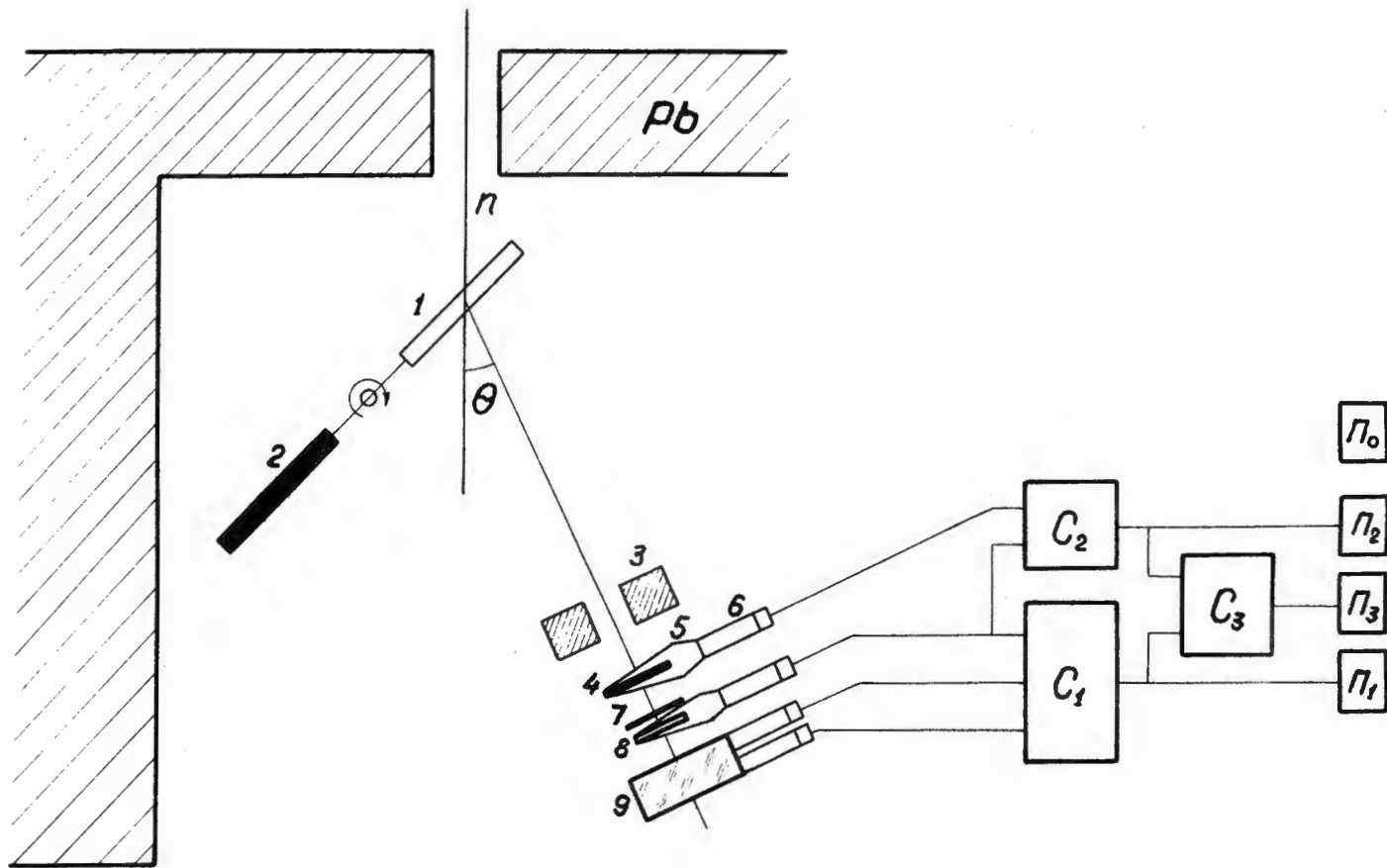


Рис. 2. Постановка эксперимента. n - нейтронный пучок; 1,2 - полиэтиленовая и графитовая мишени; 3 - свинцовая диафрагма; 4 - сцинтилляционный счетчик, включенный на антисовпадение; 5 - полый световод; 6 - фотоэлектронный умножитель ФЭУ-33; 7 - свинцовый конвертор; 8 - сцинтилляционный счетчик; 9 - черенковский счетчик с радиатором из плексигласа; C_1, C_2 - схемы совпадений; C_3 - схема антисовпадений; $\Pi_0 - \Pi_3$ - пересчетные устройства (Π_0 - регистратор интенсивности нейтронного пучка).

гамма-кванты (в пропорции 10:1) и при различных конверторах были измерены зависимости скорости счета телескопа от толщины свинцового фильтра, который помещался в пучок перед телескопом в условиях "хорошей геометрии" (см. рис. 3). С увеличением толщины

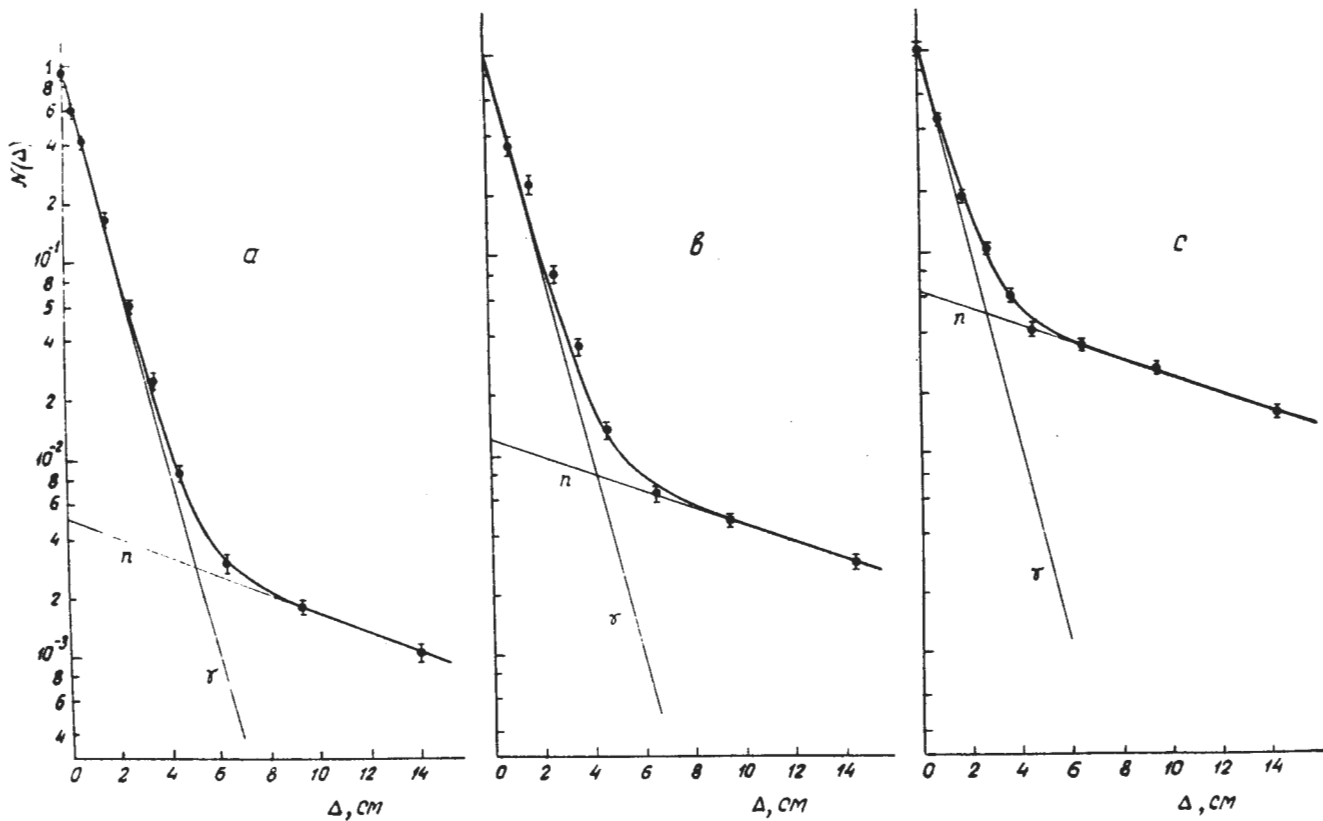


Рис. 3. Зависимость скорости счета N гамма-телескопа, помещенного в пучок нейтронов и гамма-квантов, от толщины Δ свинцового фильтра, закрывающего этот пучок. ● - результаты измерений, а - измерено при толщине свинцового конвертора $d = 2 \text{ мм}$, б - $d = 10 \text{ мм}$, с - конвертор графитовый, $d = 15 \text{ мм}$. Прямые "γ" и "n" описывают поглощение гамма-квантов и нейтронов в свинце. Жирная кривая - результат сложения этих прямых.

фильтра относительное содержание гамма-квантов в пучке быстро уменьшалось, и при больших толщинах фильтра телескоп регистрировал практически только нейтроны. Эффективность телескопа к нейтронам была найдена из полученной зависимости путем экстраполяции. Полученные в результате этих измерений поправки, учитывающие вклад от рассеянных нейтронов, оказались очень малыми. Эффективность гамма-телескопа к гамма-квантам определялась экспериментально с точностью около 2% методом, описанным ранее ^[2,10].

Выходы гамма-квантов, образованных в pn -соударениях, были определены разностным методом путем облучения мишеней из полиэтилена (CH_2) и легкого графита (использовались те же мишени, что и в работе ^[2]). Измерения проводились в две стадии: было найдено угловое распределение гамма-квантов, образованных в соударениях нейтронов с

ядрами углерода $f_{nC}^{\gamma}(\theta)$, а затем для десяти углов наблюдения были измерены разностным методом отношения дифференциальных сечений для водорода и углерода

$$\sigma'_{np}(\theta) = (d\sigma_{np}^{\gamma} / d\Omega) / (d\sigma_{nC}^{\gamma} / d\Omega).$$

Имевшиеся у нас экспериментальные сведения об угловых распределениях $f_{pC}^{\gamma}(\theta)$ полученные ранее на пучке протонов различной энергии при проведении исследований^{/2/}, позволяли найти распределение $f_{nC}^{\gamma}(\theta)$ расчетным путем, поскольку вследствие зарядовой симметрии

$$f_{pC}^{\gamma}(\theta) = f_{nC}^{\gamma}(\theta). \quad (3)$$

Однако для того, чтобы иметь уверенность в отсутствии каких-либо систематических погрешностей, мы измерили выходы гамма-квантов из углерода под несколькими углами. Сравнение измеренного распределения $f_{nC}^{\gamma}(\theta)$ с вычисленным по данным, полученным на протонном пучке, показало, что соотношение (3) выполняется (см. рис. 4).

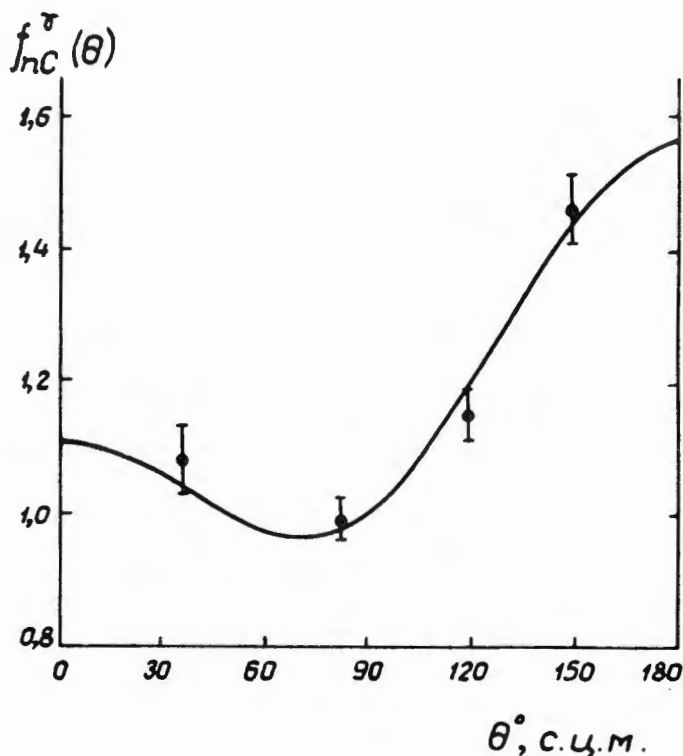


Рис. 4. Угловое распределение $f_{nC}^{\gamma}(\theta)$ гамма-квантов от распада π^0 - мезонов, образованных в соударениях нейтронов с ядрами углерода. Кривая вычислена по данным о pC -соударениях^{/2/}.

Определение величин относительных сечений $\sigma'_{np}(\theta)$ потребовало проведения трудоемких экспериментов, продолжавшихся длительное время вследствие малой интенсивности нейтронного пучка и необходимости точного экспериментального определения поправок, учитывающих различие в спектрах гамма-квантов, образованных в pr - и pC - соударениях. Найденные величины $\sigma'_{np}(\theta)$ (см. таблицу) и приведенное на рис. 4 распределение $f_{nC}^{\gamma}(\theta)$

Т а б л и ц а

θ^0 , лаб.с.к.	θ^0 , с.ц.м.	$\sigma'_{np}(\theta)$
10	17,0	0,275 \pm 0,019
14	23,9	0,284 \pm 0,010
20	33,4	0,296 \pm 0,010
35	56,5	0,264 \pm 0,007
48	74,3	0,231 \pm 0,008
60	89,2	0,228 \pm 0,007
75	105,3	0,225 \pm 0,009
90	119,4	0,227 \pm 0,006
130	149,4	0,205 \pm 0,007
150	162,2	0,190 \pm 0,008

были использованы для получения углового распределения гамма-квантов $f_{np}^{\gamma}(\theta)$. Это распределение представлено на рис. 5.

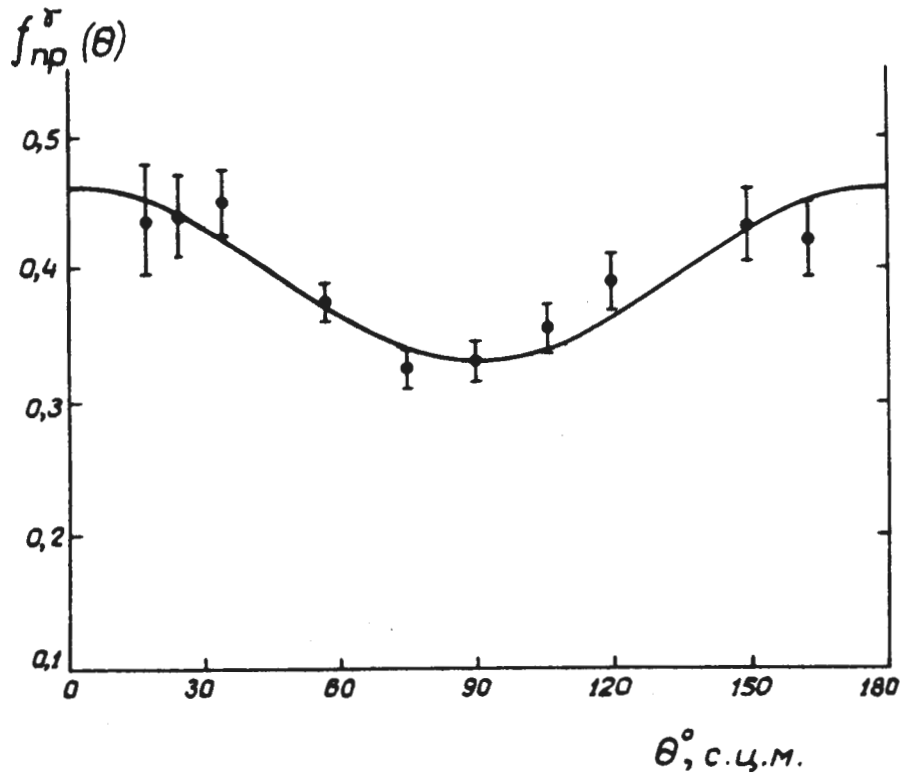


Рис. 5. Угловое распределение $f_{np}^{\gamma}(\theta)$ гамма-квантов от распада π^0 -мезонов, образованных в np -соударениях. Кривая проведена методом наименьших квадратов и представляет собой полином

$$f_{np}^{\gamma}(\theta) \sim 1/3 + 0,12 \cos^2 \theta$$

3. Обсуждение

Угловое распределение $f_{np}^Y(\theta)$ должно быть симметрично относительно 90° в эффективной системе центра масс сталкивающихся нуклонов, если справедлива гипотеза сохранения изотопического спина. Полученное распределение $f_{np}^Y(\theta)$ действительно оказалось симметричным: вклад в него члена, пропорционального $\cos \theta$, составляет всего $(0,002 \pm 0,011) \cos \theta$. Это подтверждает, что использованному нами методу измерения не сопутствуют заметные систематические погрешности. Найденное экспериментально угловое распределение $f_{np}^Y(\theta)$ хорошо описывается полиномом второй степени

$$f_{np}^Y(\theta) \sim 1/3 + (0,12 \pm 0,02) \cos^2 \theta.$$

Исходя из этого распределения и используя сведения об энергетических спектрах π^- -мезонов ^{/3, 5, 7, 11, 12, 13/}, можно восстановить угловое распределение π^0 -мезонов, следуя процедуре, описанной в работе ^{/2/}:

$$f_{np}^{\pi^0}(\theta) \sim 1/3 + (0,40 \pm 0,07) \cos^2 \theta.$$

Сопоставим полученные распределения с распределениями $f_{pn}(\theta)$, найденными ранее для случая связанного нейтрона ^{/1/}. Усредненное с учетом спектра нейтронов ^{/9/} угловое распределение гамма-квантов ^{/11/} оказывается равным

$$f_{pn}^Y(\theta) \sim 1/3 + (0,13 \pm 0,02) \cos^2 \theta,$$

что совпадает с найденным в настоящей работе распределением $f_{np}^Y(\theta)$. Это показывает, что эффекты интерференции, сколь-нибудь заметно искажающие угловое распределение π^0 -мезонов, образованных при соударении протона со связанным в дейтроне нейтроном, не имеют места. Тем самым отклоняется одно из возможных объяснений указанного во Введении расхождения угловых распределений нейтральных и заряженных π^- -мезонов при энергии около 650 Мэв. Вследствие этого становится весьма важным проверить другое возможное объяснение, связанное с уточнением углового распределения π^+ -мезонов, образованных в pp -соударениях при энергии 650 Мэв.

В заключение проведем сопоставление имеющихся в настоящее время данных об угловых распределениях π^- -мезонов, образованных нуклонами с энергией около 600 Мэв. С этой целью усредним все известные распределения с учетом спектра ^{/9/}. Такое усреднение дает возможность с хорошей точностью определить сечения, характеризующие рассеяние нуклонов в состоянии с изотопическим спином $T=0$, и проверить справедливость гипотезы сохранения изотопического спина ^{/14/}. Усредненное угловое распределение нейтральных π^- -мезонов ¹⁾ оказывается при этом довольно изотропным:

$$f_{pp+\pi^0}^{\pi^0}(\theta) \sim 1/3 + (0,32 \pm 0,06) \cos^2 \theta.$$

Распределение заряженных π^- -мезонов, найденное по данным ^{/3-8, 13, 15/}, более анизотропно:

$$f_{pp+\pi^\pm}^{\pi^\pm}(\theta) \sim 1/3 + (0,59 \pm 0,12) \cos^2 \theta,$$

¹⁾ Используемые при проведении этого усреднения угловые распределения π^0 -мезонов более анизотропны, чем приведенные в работах ^{/1, 2/}, где переход от углового распределения гамма-квантов к угловому распределению π^0 -мезонов был проведен на основании энергетических спектров, которые, как оказалось в дальнейшем, были взяты слишком "жесткими". Указанное различие не выходит, однако, за пределы экспериментальных погрешностей.

то есть имеет место расхождение, аналогичное отмеченному ранее^{/1/} при несколько более высокой энергии (около 650 Мэв). Так же как и в том случае, различие в усредненных угловых распределениях исчезает, если вместо данных Неганова и Савченко^{/3/} использовать данные Мешковского, Шаламова и Шебанова^{/7/}:

$$f_{pp+pr}^{\pi^{\pm}}(\theta) \sim 1/3 + (0,33 \pm 0,08) \cos^2 \theta.$$

Обсуждавшееся выше расхождение в угловых распределениях нейтральных и заряженных π -мезонов, образованных при энергии 600-650 Мэв, возможно, является следствием нарушения изотопической инвариантности в области высоких энергий. Эта проблема приобрела в последнее время особый интерес в связи с высказанным в ряде работ предположением^{/16/} о том, что ρ^0 - и ω^0 -мезоны являются одной и той же частицей, при распаде которой изотопический спин перестает быть "хорошим" квантовым числом.

Мы пользуемся случаем выразить благодарность А.Ф. Дунайцеву и Тан Сяо-вэю за помощь в наладке аппаратуры и В.П. Дзелепову, Ю.М. Казаринову и Л.И. Лapidусу за обсуждение результатов работы.

Л и т е р а т у р а

1. А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин. ЖЭТФ, 38, 747, 1960.
2. А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин. ЖЭТФ, 36, 1656, 1959.
3. Б.С. Неганов, О.В. Савченко. ЖЭТФ, 32, 1265, 1957.
4. М.Г. Мещеряков, Б.С. Неганов. ДАН СССР, 100, 677, 1955; Б.С. Неганов, Л.Б. Парфенов. ЖЭТФ, 34, 767, 1958.
5. V.P. Dzheleпов, V.S. Kiselev, K.O. Oganesyan, V.B. Flyagin, Proc. 1960 Intern. Conf., Rochester, 46, 1960.
6. Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов. ЖЭТФ, 35, 78, 1958.
7. А.Г. Мешковский, Я.Я. Шаламов, В.А. Шебанов. ЖЭТФ, 35, 64, 1958.
8. Ю.Д. Прокошкин. ЖЭТФ, 38, 455, 1960.
9. В.С. Киселев, К.О. Оганесян, Р.Г. Позе, В.Б. Флягин. ЖЭТФ, 35, 812, 1958.
10. Ю.Д. Прокошкин, А.А. Тяпкин. ЖЭТФ, 32, 750, 1957.
11. Ю.Д. Баяков, М.С. Козодаев, А.А. Тяпкин. ЖЭТФ, 32, 667, 1957.
12. M.G. Mescheryakov, V.P. Zrellov, B.S. Neganov, I.K. Vzorov, A.F. Shabudin, Proc. CERN Symposium, 2, 347, 1956.
13. L.G. Pondrom, Phys. Rev., 114, 1623, 1959.
14. Ю.Д. Прокошкин. "Сохранение изотопического спина и образование π -мезонов (обзор)". Доклад на VIII Сессии Ученого Совета ОИЯИ, май 1960 г. Препринт Д-569, 1960.
15. A.H. Rosenfeld, Phys. Rev. 96, 139, 1954.
16. J.J. Sakurai, Phys. Rev. Lett. 7, 466, 1961; L.S. Glashow, Phys. Rev. Lett. 7, 469, 1961; S. Fubini, Preprint CERN, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1962 года.