

5-28

P-335

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-335

Ю.А. Батусов, Н.П. Богачев, В.М. Сидоров, И. Чулли

ОБРАЗОВАНИЕ МЕЗОНОВ π^+ -МЕЗОНАМИ

С ЭНЕРГИЕЙ 280 МЭВ

НА ЯДРАХ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

ДАН, 1959, т128, №3, с491-494.

Дубна 1959 год

15-28

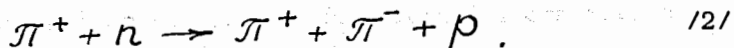
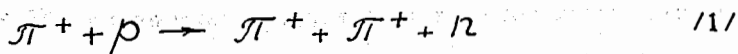
P-335

Ю.А. Батусов, Н.П. Богачев, В.М. Сидоров, И. Чулли

ОБРАЗОВАНИЕ МЕЗОНОВ π^+ -МЕЗОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 280 МЭВ
НА ЯДРАХ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Объединенный институт
ядерной энергии
Библиотека

При столкновении π^+ -мезона с нуклоном в сложном ядре два заряженных мезона могут образоваться в результате следующих реакций:



Регистрация остановившихся мезонов представляет удобный способ наблюдения этих процессов, как это было сделано, например, в работе^{1/}. Применение эмульсионных камер дает возможность наблюдать акты образования мезонов мезонами на ядрах в фотоэмульсии. В настоящей работе принята попытка изучения реакций /1/ и /2/ при взаимодействии быстрых π^+ -мезонов с ядрами в фотоэмульсии.

Эмульсионная камера из 10 слоев НИКФИ типа "Р" толщиной 400μ и диаметром 80 мм облучалась на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в пучке π^+ -мезонов с энергией 307 Мэв. С учетом торможения мезонов в эмульсии результаты измерений отнесены к энергии первичных мезонов, равной 280 ± 20 Мэв. Экспозиция была выбрана таким образом, чтобы плотность мезонных следов в камере составляла в среднем $2,5 \cdot 10^5 / \text{см}^2$. На поверхность каждого эмульсионного слоя была нанесена координатная сетка, которая обеспечивала возможность продолжения следов заряженных частиц из одного слоя в другой^{2/}. Плотность зерен в следах первичных π^+ -мезонов составляла $22,7 \pm 0,5$ зерен/ 100μ .

В ядерных расщеплениях, зарегистрированных при просмотре эмульсионных слоев, проводился поиск заряженных π -мезонов. Следы мезонов отделялись от следов протонов по плотности зерен. С этой целью были проведены вспомогательные измерения на случаях упругого $\pi^+ - p$ рассеяния, найденных в той же самой эмульсионной камере. Результаты этих измерений показаны на рис. 1. Кривые α и β показывают отношение плотности зерен к минимальной плотности зерен для следов протонов и π -мезонов, соответственно, в зависимости от углов испускания. Видно хорошее совпадение экспериментальных точек с расчетными кривыми. Плотности зерен в следах мезона

и протона отличаются более чем в два раза. При упругом π^+p рассеянии протон, вылетающий под углом, близким к 90° , имеет сравнительно малую энергию. Однако при взаимодействии мезона с нуклоном в сложном ядре могут происходить два последовательных упругих рассеяния π^- -мезона на нуклонах ядра. Тогда, если мезон после первого рассеяния, столкнувшись с нуклоном вторично, выбивает его в направлении вперед, то протоны могут вылетать из ядра под углами, превышающими 90° , имея значительную энергию. Кривая, показывающая зависимость отношения плотности зерен в протонном следе к n_{min} от угла вылета протона для таких случаев, изображена на рис.1с. В дальнейшем принималось, что все следы, имеющие плотность зерен меньшую $2n_{min}$, являются следами мезонов. Отождествление следов частиц с плотностью зерен в интервале $2 - 5/n_{min}$ производилось по изменению плотности зерен^{13/}. Мезоны, образующие следы с ионизацией большей $5n_{min}$, отделялись от протонов визуально.

Среди 3000 "звезд", найденных путем просмотра "по площади", было зарегистрировано 13 /+ 4 вероятных/ случаев, имеющих два вторичных мезона. Таким образом, приблизительно 0,5% ядерных расщеплений, образованных π^+ -мезонами с энергией 280 Мэв, имеют два заряженных мезона. Было найдено также, что приблизительно в 40% случаев имеется след только одного вторичного заряженного мезона. Сравнение с данными других работ^{14-7/} показывает, что при столкновении с ядрами в фотоэмульсии π^+ -мезоны с энергией 280 Мэв поглощаются в ядре так же часто, как и π^- -мезоны.

При просмотре эмульсионной камеры "по площади" регистрировались также остановившиеся мезоны. Следы этих мезонов продолжались затем в эмульсионной камере до актов образования их в ядерном расщеплении. Всего было зарегистрировано 92 случая расщеплений с остановившимися π^- -мезонами и 106 - с π^+ -мезонами. Среди этих 198 расщеплений при дальнейшей обработке было обнаружено 39 расщеплений, содержащих два вторичных заряженных мезона.

Энергетическое распределение мезонов, испущенных в случаях, содержащих два вторичных мезона, представлено на рис.2. Энергия мезонов определялась по пробегу в эмульсии или плотности зерен. В распределение включено 112 мезонов; 7 из них имеют энергию выше 80 Мэв. При построении энерге-

тического и углового распределений поправка на краевой эффект учитывалась согласно работе^{/8/}. Спектр имеет максимум в районе 30-40 Мэв. Основная доля вторичных мезонов имеет энергию, не превышающую 60 Мэв. Средняя энергия вторичных мезонов равна 30 Мэв. На долю двух мезонов, испускаемых в ядерном расщеплении, в среднем приходится 40-50% кинетической энергии, выделяющейся в результате реакции.

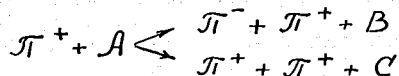
На рис. 3 представлен спектр остановившихся π^- -мезонов. В данное энергетическое распределение вошли 92 случая, когда при попадании π^+ -мезона в ядро в результате расщепления образуется π^- -мезон, независимо от того, имеется или отсутствует второй мезон в расщеплении. Спектр аналогичен указанному на рис.2, но заметно сдвинут в сторону более низких энергий. Средняя энергия π^- -мезонов равна 16 Мэв. На этом же рисунке показан спектр остановившихся π^+ -мезонов. Различие в средних энергиях π^+ и π^- -мезонов / ~ 14 Мэв / обусловлено действием кулоновского поля ядра. Эта величина согласуется со средним значением высоты кулоновского барьера для ядер в фотоэмульсии^{/8/}. Характер спектра π^- -мезонов согласуется с предположением о том, что отрицательные мезоны образованы в ядре в результате процесса /2/. В ядерных расщеплениях, в которых из "звезды" выходит один π^- -мезон, по-видимому, имеет место поглощение второго π^+ -мезона в сложном ядре. Следует отметить, что в каждом отдельном акте с учетом кулоновского сдвига не наблюдается большой разницы в энергиях двух испускаемых π^- -мезонов.

Угловые распределения мезонов представлены на рис. 4 и 5. При переходе в систему центра инерции сталкивающихся мезона и нуклона движение нуклонов в ядре не учитывалось. Угловое распределение π^- -мезонов в с.ц.и. не является изотропным и имеет широкий максимум в области углов, прилежащих к 180° . Угловые распределения мезонов для случаев, содержащих два мезона, представлены в таблице 1. Наблюдается заметная корреляция в направлении испускания двух вторичных мезонов: распределение по углам между импульсами мезонов имеет максимум в области больших углов /рис. 5 /.

Сечения образования мезонов при столкновении π^+ -мезонов с ядрами в фотоэмульсии были получены путем сравнения числа актов рождения с коли-

Т а б л и ц а 1

Угловое распределение мезонов /112 случаев/, образованных в процессах:



| $\cos \theta$ | $\frac{dG}{d\Omega}$ /отн.един./ в лабораторной системе координат | $\frac{dG}{d\Omega}$ /отн.един./ в системе координат центра инерции |
|---------------|---|---|
| 1,0 - 0,6 | 236 ± 25 | 139 ± 31 |
| 0,6 - 0,2 | 40 ± 10 | 81 ± 17 |
| 0,2 - -0,2 | 91 ± 29 | 32 ± 7 |
| -0,2 - -0,6 | 75 ± 18 | 88 ± 24 |
| -0,6 - -1,0 | 36 ± 9 | 139 ± 22 |

чаством "звезд", образованных мезонами в том же объеме эмульсии. Средняя длина пробега π^+ -мезонов для звездообразования в эмульсии, найденная путем просмотра вдоль следа, равна /32,4±2,3/ см. Распределение "звезд" по числу лучей показано в таблице 2. Величина средней длины пробега в пределах

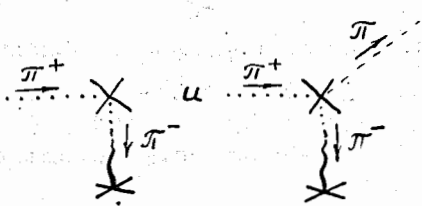
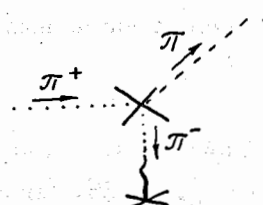
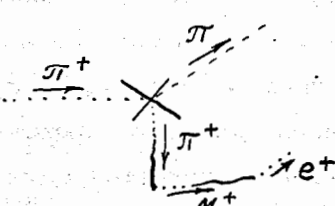
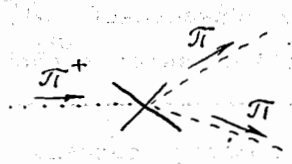
Т а б л и ц а 2

| Общее число "звезд" | Вид просмотра | Число лучей в "звездах" | | | | | | | | | | | Средн. число лучей на "звезду" |
|---------------------|---------------|---------------------------|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|--------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| | | число "звезд" в процентах | | | | | | | | | | | |
| 142 | "Вдоль следа" | 8 | 19 | 21 | 18 | 13 | 13 | 5 | ~1 | ~1 | <1 | <1 | 3,8 |
| 3258 | "По площади" | 2 | 18 | 17 | 21 | 18 | 14 | 6 | 3 | ~1 | <1 | <1 | 4,2 |

ошибок измерений совпадает с результатом работы /9/, в которой изучалось взаимодействие π^- -мезонов с энергией 300 Мэв в фотоэмульсии.

Сечения образования мезонов при столкновении π^+ -мезона с энергией 280 Мэв с ядрами в фотоэмульсии приведены в таблице 3. Сопоставление

Т а б л и ц а 3

| № № пп | Процесс взаимодействия π^+ -мезона с ядром | Величина сечения в мб | Схема "звезды", зарегистри- рованной в эмульсионной ка- мере |
|-----------|---|-----------------------------|--|
| 1. | $\pi^+ + \text{ядро} \rightarrow \pi^-$ | $1,5 \pm 0,4$ |  |
| 2. | $\pi^+ + \text{ядро} \rightarrow \pi^- + \pi^+$ | $0,3 \pm 0,1$ |  |
| 3. | $\pi^+ + \text{ядро} \rightarrow \begin{cases} \pi^+ + \pi^- \\ 2(\pi^+ + \pi^+) \end{cases}$ | $0,7 \pm 0,2^x$ |  |
| 4. | $\pi^+ + \text{ядро} \rightarrow \pi + \pi$ | ~ 1 |  |

x/ Величина сечения измерена в интервале энергии остановившихся π^+ -мезонов от 6 до 40 Мэв.

результатов работ /1,10/ и настоящей работы указывает на то, что сечения образования заряженных мезонов в процессах $\pi^+ + \text{ядро} \rightarrow \pi^-$ и $\pi^- + \text{ядро} \rightarrow \pi^+$, сравнимы по величине.

Наблюдаемое в опыте число случаев, когда в результате расщепления из ядра выходят или два заряженных мезона, или один мезон, а второй мезон поглощается в ядре, позволяют рассчитать вероятность поглощения мезона в сложном ядре после его образования - α . Отношение вероятностей выхода двух мезонов из ядра и одного мезона определенного знака равно:

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} = 0,24 \text{ и, следовательно, } \alpha = 0,81 \pm 0,04.$$

Используя полученную величину α и предполагая, что вероятности поглощения для π^+ и π^- -мезонов одинаковы, имеем:

а/ вероятность выхода одного мезона "пары" из ядра

$$\alpha(1-\alpha) = 0,15,$$

б/ вероятность выхода двух мезонов

$$(1-\alpha)^2 = 0,04.$$

Таким образом, в большинстве случаев образовавшиеся мезоны поглощаются в том же ядре. Это является указанием на то, что π^+ и π^- -мезоны, образующиеся в результате взаимодействия первичного π^+ -мезона с одним из нуклонов ядра, с большой вероятностью испытывают вторичные столкновения с нуклонами в том же ядре. Приблизительно 10% ядерных расщеплений, вызванных π^+ -мезонами с энергией 280 Мэв в фотоэмульсии, сопровождаются образованием двух заряженных мезонов по реакциям /1/ и /2/; из них в 15% случаев испускается один мезон и только в 4% случаев - два мезона.

Оценка сечения реакции $\pi^+ + n \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$ из данных о сечениях образования π^- -мезонов π^+ -мезонами в процессах /1/ и /2/ таблицы 3 с учетом поглощения мезонов в ядрах дает величину $0,3 \pm 0,2 / \text{мб}^x$.

^{x/} Расчет сечения на один нуклон и величина вероятности поглощения мезона при выходе из ядра сделаны в предположении, что доля π^- -мезонов с энергией /0-40/ Мэв, образованных в результате двойной перезарядки π^+ -мезона по схеме $\pi^+ \rightarrow \pi^0 \rightarrow \pi^-$, невелика.

Величина сечения для реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n$, рассчитанная теоретически в работах /11/ и /12/ при энергии налетающего π^- -мезона 280 Мэв, равна приблизительно 0,1 мб.

Из 106 расщеплений, содержащих по крайней мере один π^+ -мезон, наблюдалось 3 случая реакции $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + n$ и 2 случая реакции $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^0 + p$. Оценка сечения этих процессов при энергии 280 Мэв дает величину около 10^{-28} см².

Авторы благодарны проф. В.П.Джелепову за интерес и внимание к работе.

Работа поступила в издательский отдел 10 апреля 1959 г.

Л и т е р а т у р а

1. А.А.Реут, В.В.Кривицкий, ДАН, 112, 232 /1957/.
2. В.М.Сидоров, М.И.Трухин, ПТЭ, 6, 109 /1957/.
3. См., например, M.Petrasco et C.Besliu, Revue de Physique, I(1957)
4. Б.А.Никольский, Диссертация /1958/.
5. А.Н.Morrish, Phil.Mag., 45, 47 (1954).
6. М.Влау and М.Caulton, Phys.Rev, 96, 150 (1954).
7. М.Влау and А.Р.Оливер, Phys.Rev., 102, 489 (1956).
8. В.В.Алперс, Л.М.Барков и др., ЖЭТФ, 30, 1025 /1956/.
9. Л.С.Дулькова, Т.А.Романова и др., ДАН, 107, 43 /1956/.
10. Б.А.Никольский, Ю.П.Добрецов, ЖЭТФ, 34, 510, /1958/.
11. J.Franklin, Phys.Rev., 105, 1101 (1957).
12. E.Kazes, Phys.Rev., 107, 1131 (1957).

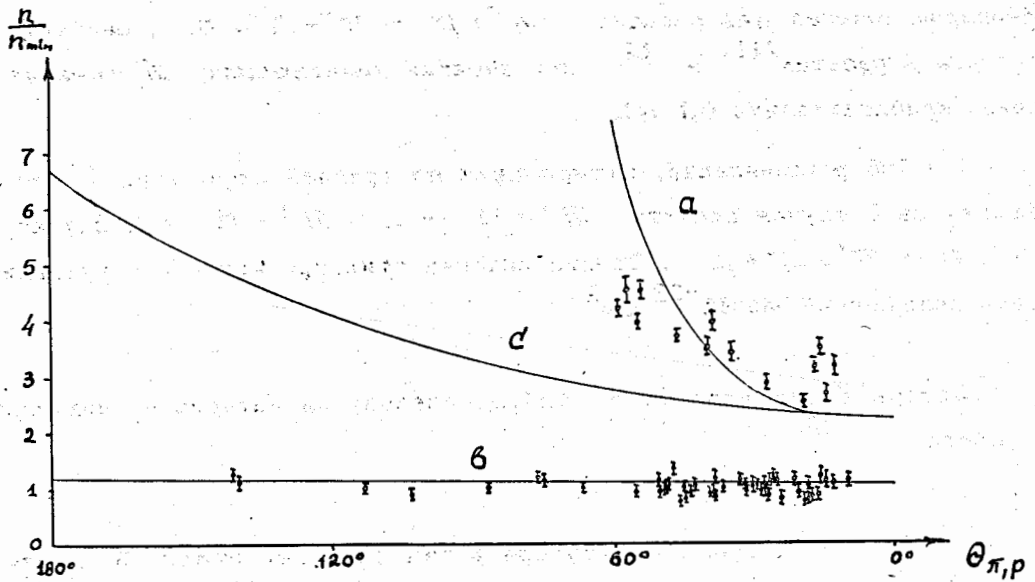


Рис. 1.

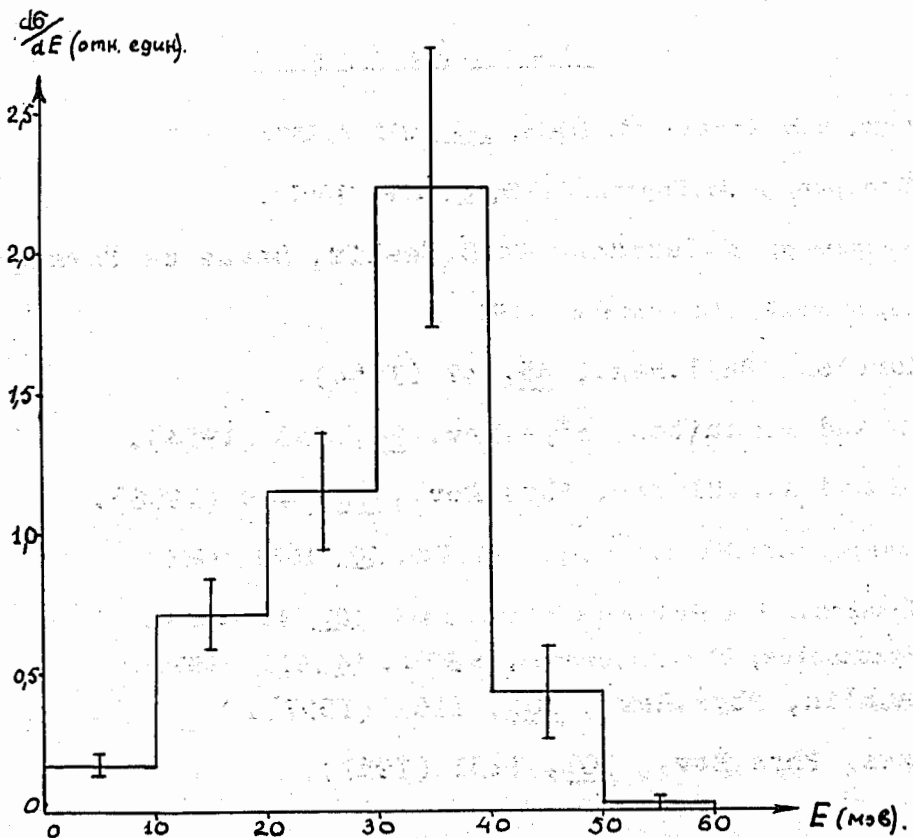


Рис. 2. Энергетическое распределение мезонов от реакций $\pi^+ + A \leftarrow \begin{matrix} \pi^- + \pi^+ + B \\ \pi^+ + \pi^+ + C \end{matrix}$ при энергии 280 мэв.

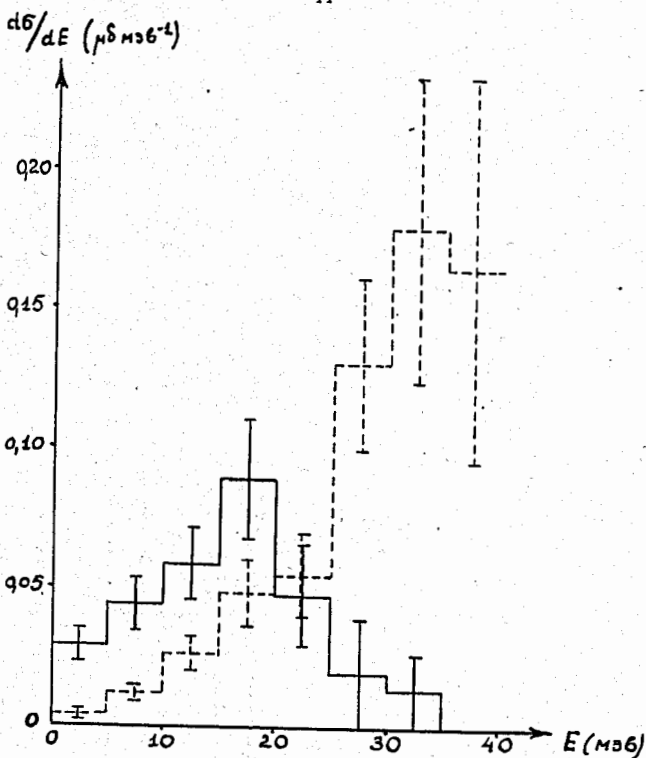


Рис. 3. Энергетическое распределение заряженных мезонов, образованных π^+ мезонами с энергией 280 мэв на ядрах в фотозумльсии.
 — Спектр π^- мезонов
 --- Спектр π^+ мезонов

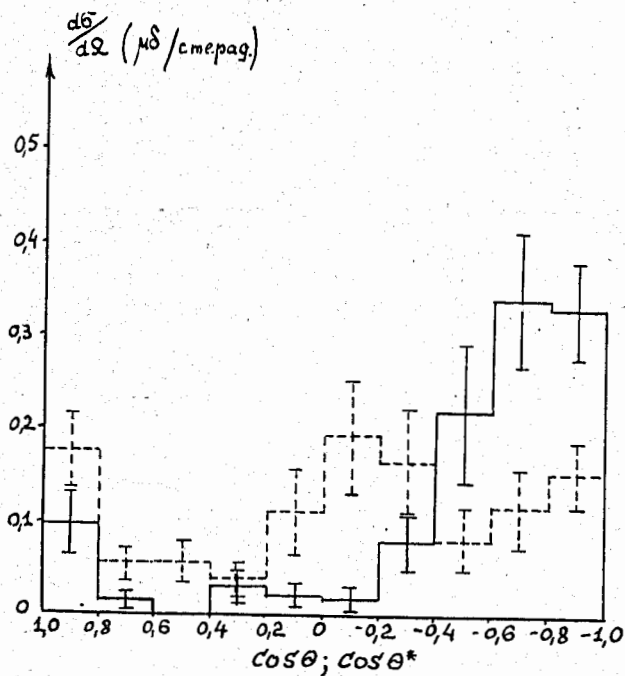


Рис. 4. Угловое распределение π^- мезонов, образованных в процессах $\pi^+ + A \rightarrow \pi^- + \pi^+ + B$
 $\pi^- + B'$
 — с.ч.и.
 --- лаб. с.

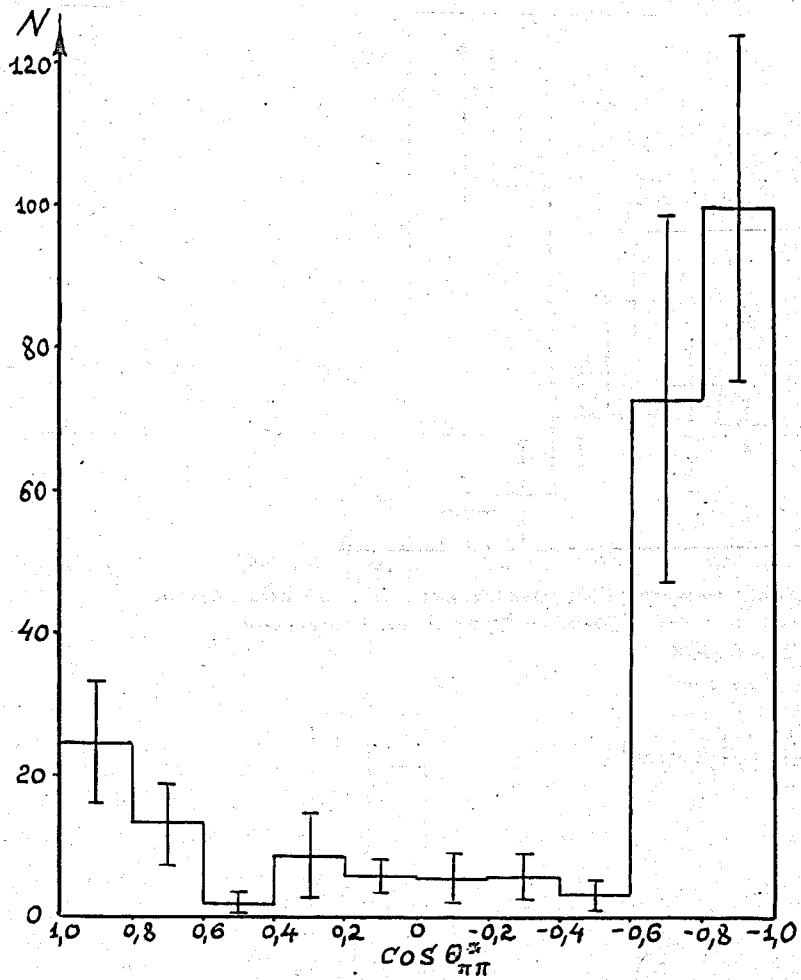


Рис.5 Распределение углов между импульсами вторичных мезонов.