

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С246

T-813

1 - 5445

Д. Тувдендорж

**ДВОЙНАЯ ПЕРЕЗАРЯДКА π - МЕЗОНОВ
И ОБРАЗОВАНИЕ МЕЗОНОВ МЕЗОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 170 - 390 МЭВ**

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1970

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук

Ю.А. Батусов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

М.И. Подгорецкий

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

В.П. Перельгин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Московский инженерно-физический институт.

Автореферат разослан " " 1970 г.

Защита диссертации состоится " " 1970 г.

на заседании Ученого Совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Адрес: г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.А. Батусов

1 - 5445

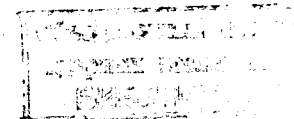
Д. Тувендорж

**ДВОЙНАЯ ПЕРЕЗАРЯДКА π - МЕЗОНОВ
И ОБРАЗОВАНИЕ МЕЗОНОВ МЕЗОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 170 - 390 МЭВ**

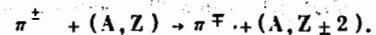
Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

4524 pp.



Изучение взаимодействий π -мезонов с нуклонами и ядрами служит важным источником информации о структуре ядер. К таким взаимодействиям относится явление двойной перезарядки пионов, обнаруженное в Дубне в 1963 г. ^{/1/}, т.е. реакции типа:



При этом оказывается возможным наблюдать изменение заряда ядра на две единицы без изменения числа нуклонов в ядре. Исследование таких переходов с $\Delta T_z = \pm 2$ в ядрах является важным при изучении структуры ядер, их аналоговых состояний с большим избытком нейтронов или протонов, и, возможно, парных корреляций нуклонов одинакового знака в ядрах.

В области энергий выше порога мезообразования при взаимодействии π -мезонов с ядрами становится возможным образование дополнительного мезона по реакции $\pi^{\pm} + A \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\mp} + A' + \dots$. Изучение двойной перезарядки пионов в области энергий больше 170 Мэв до настоящего времени не было выполнено. Трудность выделения этого процесса обусловлена тем, что один из вторичных π -мезонов, образованный в ядре по реакции $\pi^{\pm} + A \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\mp} + A' + \dots$ может поглотиться в этом же ядре, потому события двойной перезарядки и образования мезонов мезонами не будут различимы. Тем не менее, исследование двойной перезарядки π -мезонов при энергиях в несколько сотен Мэв представляет интерес, во-первых, потому, что при этих энергиях мезоны взаимодействуют с нуклонами резонансно и можно ожидать максимально больших сечений двойной перезарядки. Во-вторых, при образовании дополнительного мезона, кроме поглощения или рассеяния его в ядре-

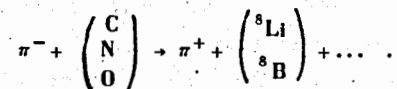
мишени может произойти и двойная перезарядка. В этом случае будет возможно наблюдение реакций типа: $\pi^{\pm} + A \rightarrow \pi^{\mp} + \pi^{\mp} + A' + \dots$, которые в значительной мере расширят возможности применения реакций двойной перезарядки в поисках новых ядер с большим избытком нейтронов или протонов.

Целью настоящей диссертации явилось:

1. Исследование реакций двойной перезарядки π^{\pm} -мезонов в интервале энергий от 170 до 390 Мэв на ядрах в фотоэмульсии.

2. Исследование реакций образования мезонов мезонами на ядрах в фотоэмульсии.

3. Исследование реакций двойной перезарядки π^{-} -мезонов на легких ядрах в фотоэмульсии с испусканием ядер ${}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{B}$ по реакции



Работы, включенные в диссертацию, были выполнены автором совместно с сотрудниками группы В.М. Сидорова в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и Г. Ионице из Ясского университета (Румыния).

Основные результаты работ, вошедших в диссертацию, опубликованы в журналах ЯФ ^{/2,3/}, в препринтах ОИЯИ ^{/4/} и в издании Ясского университета ^{/5/}.

Диссертация состоит из трех глав. Ниже кратко излагается основное их содержание.

I.

В первой главе приводится обзор теоретических и экспериментальных исследований двойной перезарядки пионов на ядрах.

В настоящее время теоретические исследования процесса двойной перезарядки пионов на ядрах в области энергий первичного π -мезона до 170 Мэв проводятся тремя методами: 1. По методу Монте-Карло ^{/6/}; 2. На основе теории возмущений ^{/7,8/}; 3. В импульсном приближении ^{/9-11/} или по глауберовской теории ^{/12/}.

Интересный механизм двойной перезарядки π -мезонов при энергиях выше порога мезообразования был предложен О.Д. Далькаровым и И.С. Шапиро ^{/13/}. Сущность его заключается в том, что в этих процессах образуется изобара в промежуточном состоянии.

Экспериментальные исследования реакций двойной перезарядки до порога рождения дополнительного π -мезона были проведены наиболее детально Ю.А. Батусовым и др. ^{/14/} в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Одним из интересных результатов этого цикла экспериментов является образование ноль-лучевых "звезд" при двойной перезарядке π^{+} -мезонов. Доля их составляет 5% от всех зарегистрированных событий. Это является указанием на существование связанного состояния конечного ядра мишени. Аналогичные результаты получены Е.П. Бойнтоном и др. ^{/15/} при двойной перезарядке π^{+} -мезонов на ядрах ${}^{51}\text{V}$ и ${}^{90}\text{Zr}$. В работах ^{/15,16/} были попытки исследовать аналоговые состояния.

Результаты различных экспериментов по двойной перезарядке пионов, полученные в настоящее время, представляют большой интерес как для изучения взаимодействий π -мезонов с ядрами, так и для исследования структуры ядер. Однако они показывают, что сделаны лишь первые шаги в экспериментальных исследованиях нового явления. Дальнейшие эксперименты позволяют шире использовать реакции двойной перезарядки в поисках ядер с большим избытком протонов или нейтронов и в исследованиях много-нейтронных систем.

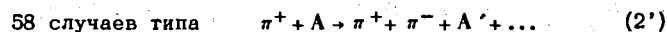
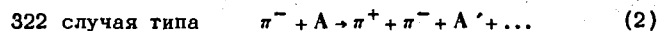
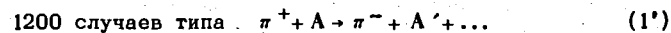
II.

В начале второй главы описывается методика эксперимента. Работы, входящие в настоящую диссертацию, были выполнены с помощью фотоэмульсионной методики.

Эмульсионные камеры облучались в пучках π^{+} и π^{-} -мезонов с энергией соответственно 300 и 390 Мэв.

Эксперименты были проведены на синхротроне Лабора-
тории ядерных проблем ОИЯИ.

В облученных камерах были зарегистрированы:



Полные сечения реакции (1) и (1') приведены на рисунках 1 и 2. Полные сечения реакции (2) (рис. 3) меньше, чем сечения двойной перезарядки π -мезонов вплоть до энергий 200 Мэв. Полное сечение реакций (2) при средней энергии 256 Мэв равно $0,20 \pm 0,05$ Мбн. Это может свидетельствовать о том, что процессы рождения мезонов мезонами будут давать заметный вклад в реакции образования мезонов мезонами лишь при энергиях, больших 200 Мэв. Следовательно, случаи с одним вторичным мезоном (реакции (1) и (1')) могли быть образованы либо в результате двойной перезарядки π -мезонов, либо в процессе образования пары мезонов (π^+ и π^-), при котором отрицательный или положительный π -мезон поглощается тем же ядром. Поэтому по событиям типа (1) и (1') могут быть определены только суммарные сечения двух процессов.

Полученные экспериментальные данные позволили оценить вклад от двойной перезарядки π -мезонов в процессах (1) и (1'), используя распределения зарегистрированных событий по числу лучей.

Ниже приводятся результаты этих оценок:

$(53 \pm 14)\%$ в интервале энергий (195-228) Мэв

$(22 \pm 6)\%$ в интервале энергий (200-300) Мэв

$(12 \pm 18)_{-12}^{+18}\%$ в интервале энергий (360-390) Мэв для реакций (1).

$(27 \pm 16)\%$ в интервале энергий (200-300) Мэв для реакций (1').

Полученный результат показал, что зависимость полных сечений реакций (1) и (1') от энергии первичных мезонов примерно одинакова.

В исследуемом интервале энергий сечения обоих процессов возрастают, достигая максимального значения при энергии около 250 Мэв. Экспериментальные данные, полученные при изучении реакций (1) и (1') в области энергий выше порога образования мезонов мезонами позволяют определить вероятности поглощения одного из вторичных π -мезонов в ядрах.

Величина вероятности поглощения вторичных мезонов в среднем для ядер в фотоэмульсии (α) получена равной соответственно

$$\alpha_{\pi^-} = 0,94 \pm 0,15, \quad \alpha_{\pi^+} = 0,93 \pm 0,10.$$

Полученные значения (α) характеризуют поглощение π -мезонов при средней энергии 40 Мэв.

Угловые распределения (рис.4) вторичных π^+ и π^- -мезонов идентичны. Они близки к изотропным и не показывают заметного различия с распределениями, измеренными в области более низких энергий (50-176) Мэв ^{/14/}.

Энергетические спектры показывают, что изменение знака заряда π -мезона при взаимодействии с ядром в реакциях (1) и (1') сопровождается большим сбросом энергии. Это в свою очередь свидетельствует о том, что исследуемые реакции осуществляются при глубокой перестройке в структуре ядра-мишени. Различие в спектрах вторичных положительных и отрицательных π -мезонов невелико и может быть объяснено кулоновским взаимодействием вторичных мезонов с ядром. Большое число вторичных заряженных частиц (до 8 включительно) наблюдается в реакции (1')(рис. 5). Такие события, по-видимому, соответствуют реакциям на легких ядрах в фотоэмульсии, которые сопровождаются полным развалом ядра мишени.

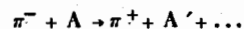
Основываясь на результатах, представленных на рис. 5, можно отметить, что среднее число лучей (не включая π -мезоны)

в исследуемом интервале энергий больше, чем при энергиях 50-176 Мэв /14/, однако разница в 2 луча между реакциями (1) и (1') сохраняется.

III

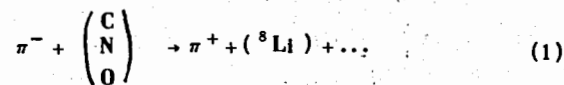
В главе 3 рассматривается процесс образования ${}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{B}$ при двойной перезарядке π^- -мезонов на легких ядрах в фотоэмульсии в интервале энергий (200-300) Мэв.

Среди зарегистрированных 30.000 событий типа:



были найдены 120 событий, в которых среди вторичных лучей присутствовал T-образный след.

На основании зарегистрированных событий были вычислены полные сечения процесса



для трех энергетических значений первичного π^- -мезона (таблица 1).

Таблица 1

Энергия первичного π^- -мезона (Мэв)	200 \pm 6	222 \pm 5	276 \pm 10
Полное сечение реакции $\pi^- + \begin{pmatrix} C \\ N \\ O \end{pmatrix} \rightarrow \pi^+ + {}^8\text{Li} + \dots$ 10^{-30} см^2	2,8 \pm 1,0	6,5 \pm 1,4	4,8 \pm 1,8

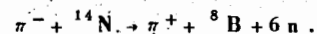
Энергетические и угловые распределения ядер ${}^8\text{Li}$, в реакции (1) представлены на рис. 6.

Были рассмотрены все возможные каналы реакций образования ${}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{B}$ в процессах 1. Их оказалось всего 35. По

результатам кинематического расчета на ЭВМ не было найдено ни одного случая реакций с испусканием только заряженных частиц. Верхняя граница сечения таких реакций оказалась меньше, чем $0,4 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2$.

Кинематический анализ показал, что образование ядер ${}^8\text{Li}$ при двойной перезарядке π^- -мезона на легких ядрах фотоэмульсии в основном сопровождается вылетом двух или более нейтронов. Показано, что вероятность образования ${}^8\text{Li}$ при двойной перезарядке π^- -мезона в 2 раза превышает вероятность образования при захвате π^- -мезона ядрами в фотоэмульсии.

Были идентифицированы два события типа:



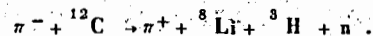
Энергетические характеристики зарегистрированных событий представлены в таблице 2.

Таблица 2

	Энергия первичного π^- -мезона (Мэв)	Энергия вторичного π^+ -мезона (Мэв)	Энергия ${}^8\text{B}$ (Мэв)	Величина недостающей массы	$M_{\text{eff}} - 6M_{\text{n}}$
Случай №1	174	48,7	1,9	5678,5	38,6
Случай №2	221	16	14,9	5756	71,5

Из таблицы видно, что в обоих случаях величина недостающей массы несколько больше массы шести нейтронов. Это свидетельствует о том, что мы не наблюдаем ядро ${}^6\text{n}$ в связанном состоянии. Полное сечение реакции равно $(1,3 \pm 0,9) \cdot 10^{-30} \text{ см}^2$.

Среди реакций с испусканием одного нейтрона был выделен канал



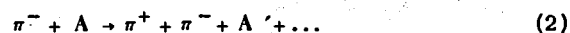
Оценка сечения этой реакции дает величину

$$\sigma = (3,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-30} \text{ см}^2.$$

Закключение

Основные результаты и выводы, полученные в диссертации, можно кратко сформулировать следующим образом:

1. Измерены полные сечения реакций



в интервале энергий 170–390 Мэв на ядрах в фотоэмульсии.

2. По результатам измерений полных сечений образования π^+ и π^- -мезонов (реакции (1) и (1')) сделаны следующие заключения:

а) Полное сечение процесса $\pi^- + A \rightarrow \pi^+ + A' + \dots$ во всем исследуемом энергетическом интервале, остается меньше полного сечения процесса $\pi^+ + A \rightarrow \pi^- + A' + \dots$

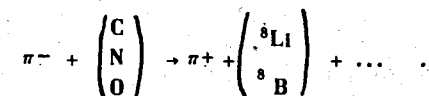
б) Показано, что в реакции (1) и (1') дают вклад два разных процесса, а именно – двойная перезарядка π^- -мезонов и образования двух π^- -мезонов с последующим поглощением одного из них;

в) Произведена оценка вклада реакций двойной перезарядки π^+ и π^- -мезонов в процессе образования мезонов мезонами в энергетической области выше порога мезообразования.

3. Измерены энергетические и угловые распределения вторичных π^- -мезонов, образованных в процессах (1) и (1').

4. Произведена оценка вероятности поглощения π^+ и π^- -мезонов после их образования в ядре. Получено, что эти вероятности соответственно равны $0,93 \pm 0,10$ и $0,94 \pm 0,15$.

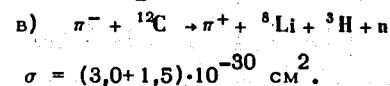
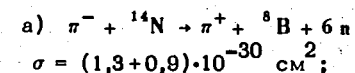
Измерены полные сечения образования ${}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{B}$ и произведен анализ событий в процессе:



Показано, что вероятность образования ${}^8\text{Li}$ в процессе двойной перезарядки на легких ядрах C, N, O в два раза превышает вероятность образования ${}^8\text{Li}$ при захвате медленных π^- -мезонов на этих же ядрах.

Показано, что образование ${}^8\text{Li}$ при двойной перезарядке π^- -мезонов на легких ядрах в основном сопровождается вылетом двух и более нейтронов.

6. Получены оценки полного сечения следующих процессов:



Л и т е р а т у р а

1. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба. Препринт ОИЯИ Р-1474, Дубна, 1963; ЖЭТФ 46, 817 (1964).
2. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, Г. Иониче, Э. Лозняну, В. Михул, Н. Далхажав, Д. Тувдендорж. ЯФ, т. 9, 378 (1968).
3. Ю.А. Батусов, Б.Ж. Залиханов, В.М. Сидоров, Д. Тувдендорж, В.А. Ярба. ЯФ, 11, 376 (1970).
4. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, Г. Иониче, Э. Лозняну, В. Михул, Д. Тувдендорж, Д. Далхажав. Препринты ОИЯИ Р1-3947, Дубна, 1968; 3501, 1967; 1-3974, 1968; Р1-4703, Дубна, 1969.

5. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, Г. Ионице, Э. Лозьяну, В. Михул, Д. Тувдэндорж, Д. Далхажав, Д. Чулгем. *Analele stiintifice Ale Universitatii "Al.I.Cusa", DINIASI Sectinea I, b) Fizica, Tomul XIV, 1, Anul 1968. Sectinea 1, b) Fizica, Tomul XVI, 63, Anul, 1970.*
6. Ю.А. Батусов, В.Н. Кочкин, В.И. Мальцев. *ЯФ, 6, 158 (1967).*
7. T. Kohmura. *Prog.Theoret.Phys., 33, 480 (1965),*
8. D.S. Koltun and A. Reiten. *Phys.Letters 139, B1, 372, 1965*
9. F. Bekker and L. Maric. *Nuovo Cimento, 41B, 174 (1966).*
10. S. Barachay and G.E. Bronn. *Phys.Letters 16, 165 (1965).*
11. R.G. Parson, J.S. Trefil, S.D. Drell. *Phys.Rev., 138B, 847 (1965).*
12. M.A. Locci and P. Pich. *Nuovo Cimento 57A, 803 (1968).*
13. О.Д. Далькаров, И.С. Шапиро. *ЯФ 7, 562 (1968).*
14. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба. *ЯФ 6, 998, 1967.*
15. P.E. Boynton, T. Delvin, J. Solomon, V. Perez-Mendes. *Phys.Rev., 174, 1083 (1968).*
16. C.J. Cook, M.E. Nordberg, Jr, and R.L. Burman. *Phys.Rev., 174, 1374 (1968).*

Рукопись поступила в издательский отдел

4 ноября 1970 года.

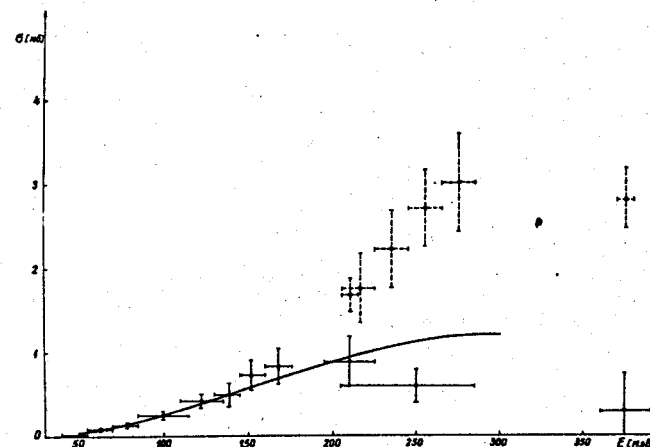


Рис. 1. Полные сечения образования π^+ -мезонов π^- -мезонами на ядрах фотоэмульсии в реакции $\pi^- + A \rightarrow \pi^+ + A' + \dots$ (1) (пунктир) и сечения двойной перезарядки π^- -мезонов. Кривая - расчет по каскадной модели.

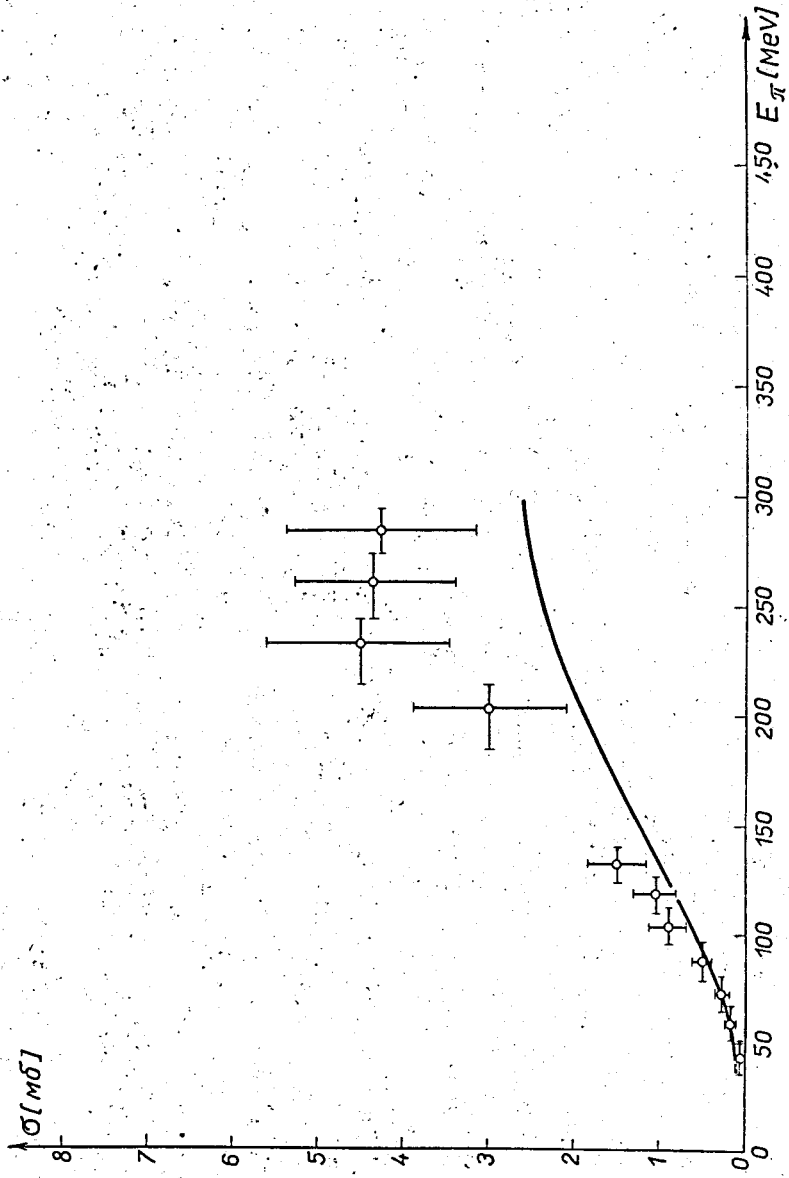


Рис. 2. Полные сечения образования π^- -мезонов π^+ -мезонами.

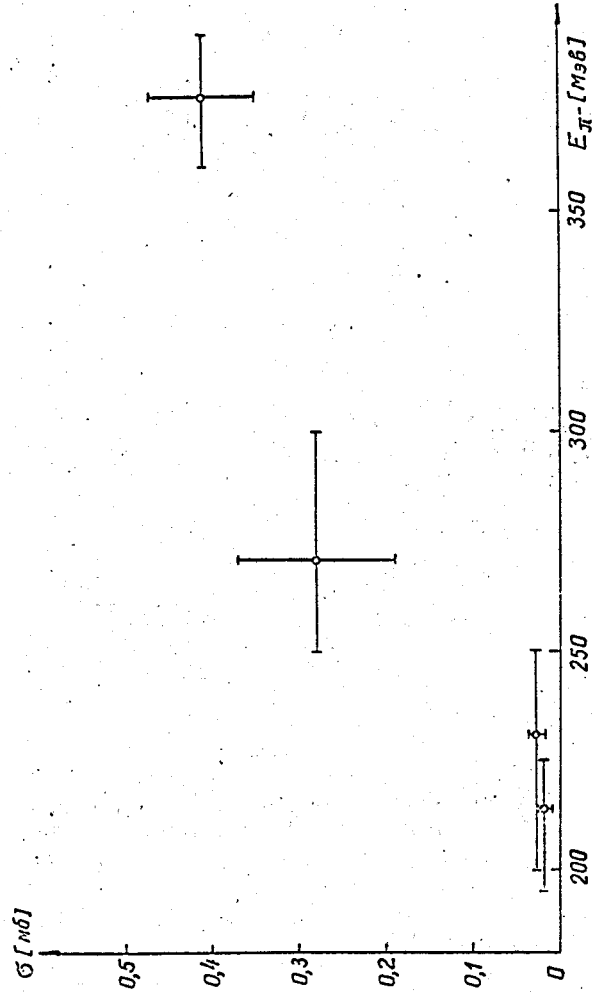


Рис. 3. Полные сечения образования мезонов мезонами по реакции $\pi^- + \Lambda \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Lambda' + \dots$.

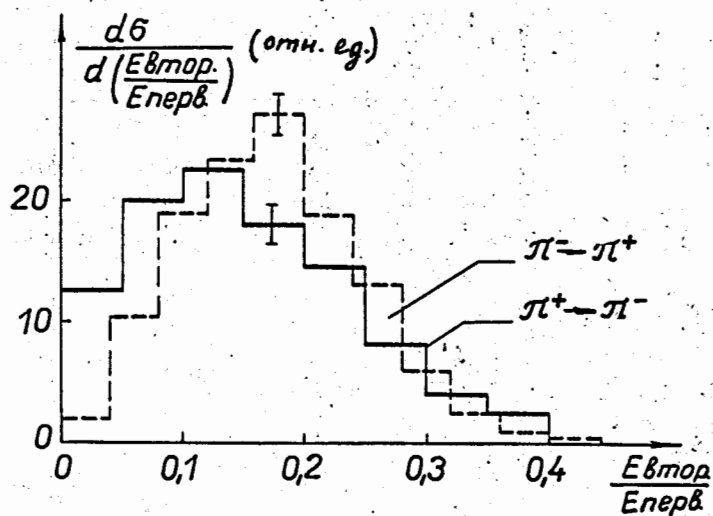
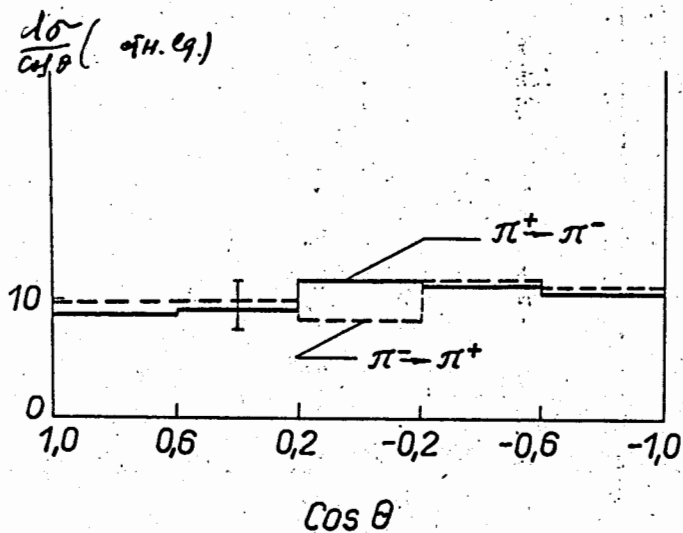


Рис. 4. Угловые и энергетические распределения вторичных π^\pm -мезонов в реакциях $\pi^- + A \rightarrow \pi^+ + A' + \dots$ и $\pi^+ + A \rightarrow \pi^- + A' + \dots$

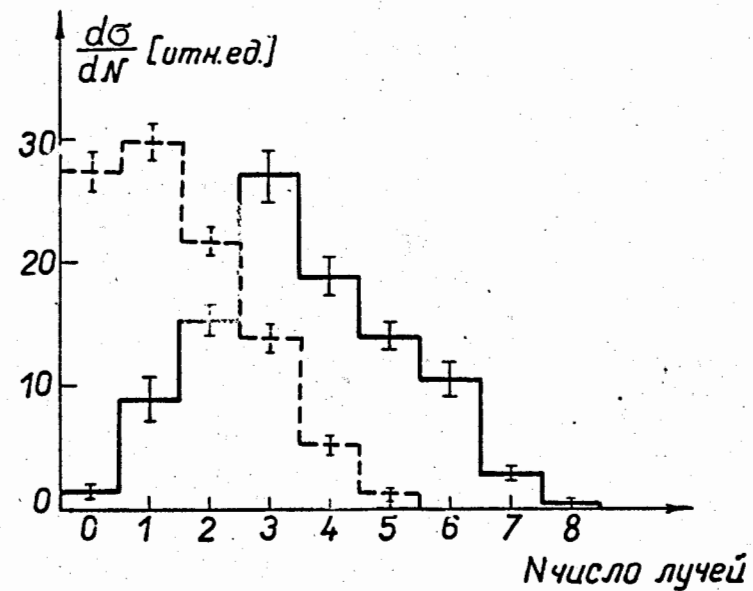


Рис. 5. Лучевые распределения. Сплошная линия - события типа $\pi^+ + A \rightarrow \pi^- + A' + \dots$. Пунктир - события типа $\pi^- + A \rightarrow \pi^+ + A' + \dots$.

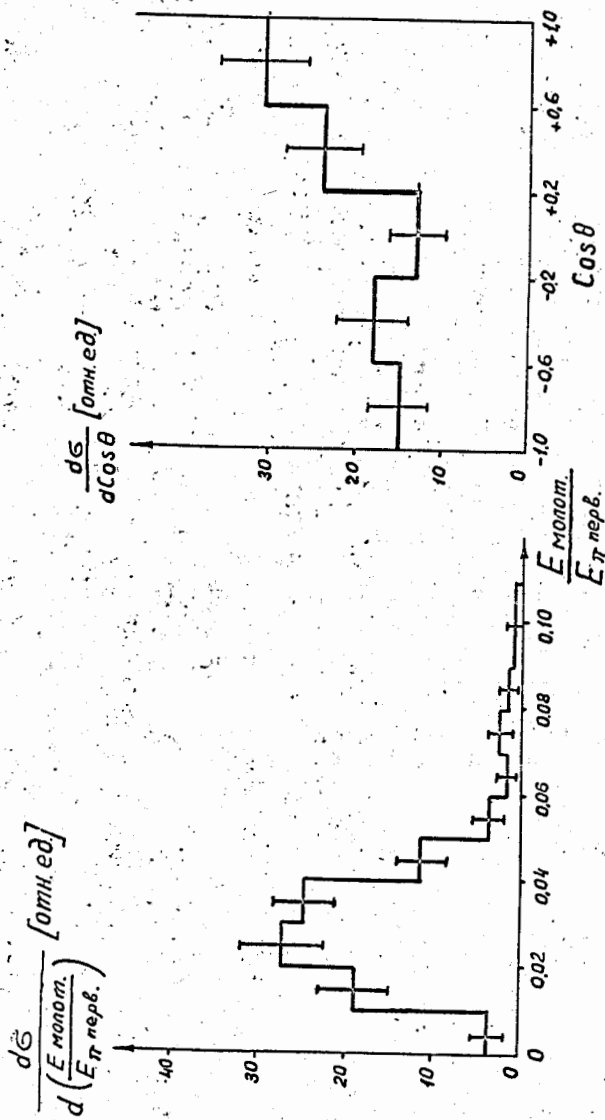


Рис. 6. Энергетические и угловые распределения ядер ${}^8\text{Li}$ в реакции $\pi^- + \begin{pmatrix} C \\ N \end{pmatrix} + \pi^+ + {}^8\text{Li} + \dots$