



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

---

С.346  
В-529

Н.М. Вирясов

1585

ГЕНЕРАЦИЯ ЧАСТИЦ  $\pi^-$ -МЕЗОНАМИ  
С ИМПУЛЬСОМ 7 ГЭВ/С  
В УГЛЕРОДЕ И ДРУГИХ ЯДРАХ

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1964

Н.М. Вирасов

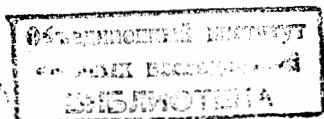
1585

C 346

B-589

ГЕНЕРАЦИЯ ЧАСТИЦ  $\pi^-$ -МЕЗОНАМИ  
С ИМПУЛЬСОМ 7 ГЭВ/С  
В УГЛЕРОДЕ И ДРУГИХ ЯДРАХ

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата физико-математических наук



Дубна 1964

Ряд задач физики высоких энергий связан с применением сред, содержащих сложные ядра (фотоэмульсии, пропановые, фреоновые, ксенонные и т.д. пузырьковые камеры и другие детекторы). В частности, изучение реакций с рождением  $\gamma$ -квантов можно проводить только в средах с большими тормозными способностями. Стремление изучать такие реакции, например, с помощью жидководородных камер потребовало бы создания камер огромных размеров - в несколько десятков кубометров, поскольку пробег  $\gamma$ -квантов до конверсии в жидком водороде составляет 28 метров<sup>1/1</sup>. В то же время совершенно ясно, что для полного описания взаимодействий необходимо знать характеристики всех рождающихся в реакциях частиц, в том числе и тех, которые регистрируются по радиационному распаду.

Знание специфики реакций на сложных ядрах необходимо при выборе оптимальных условий генерации и регистрации частиц определенного сорта и при решении проблемных задач, среди которых отметим изучение взаимодействий короткоживущих частиц. Для изучения взаимодействий короткоживущих частиц, пробег до распада у которых меньше пробега до взаимодействия, если при этом в качестве детектора используется даже плотная среда, кажется перспективным изучить их поведение внутри родительского ядра. Большая плотность ядерного вещества дает основание полагать, что вероятность взаимодействий короткоживущих частиц внутри родительских ядер много больше, чем с другими ядрами. Для решения этой задачи нужно уметь отличать частицы, испытавшие взаимодействие в ядре, от тех, которые вышли из ядра сразу после рождения. Для высоких энергий эта задача не кажется неразрешимой, поскольку есть возможность сравнивать характеристики частиц, генерированных на свободных нуклонах и ядрах.

В реферируемой диссертации основное внимание было уделено изучению особенностей рождения на ядрах углерода  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов. Полученные результаты позволили также сделать ряд заключений и по обычным частицам. Описанный в диссертации метод расчета каскадов в ядре углерода дал хорошее согласие с излагаемым здесь экспериментом и оказался настолько плодотворным, что позволил провести расчет характеристик генерации частиц на легких, средних и тяжелых ядрах, наиболее часто используемых в экспериментах.

Наряду с изучением особенностей генерации частиц на ядрах автор ставил перед собой задачу проверить результаты исследования генерации странных частиц  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 7-8 Гэв/с на водороде пропана, на которых могло сказаться влияние примеси углеродных событий. В частности, эта примесь могла сказаться на выводах

по изучению продольной поляризации  $\Lambda$ -гиперонов при рождении. Продольная поляризация проявляется в асимметрии вперед-назад углового распределения протонов (или  $\pi^-$ -мезоны) от распада  $\Lambda$ -гиперонов в системе покоя  $\Lambda$ -гиперона относительно направления его импульса. К началу описываемой в диссертации работы очень большая асимметрия вперед-назад была получена при изучении рождения  $\Lambda$ -гиперонов космическими лучами на сложных ядрах<sup>/2/</sup>, отличная от нуля поляризация была получена на небольшом статистическом материале в нашей группе<sup>/3,4/</sup>, а при рождении  $\Lambda$ -гиперонов отрицательными  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 1,12 и 1,23 Гэв/с на водороде асимметрия отсутствовала<sup>/5,6/</sup>. Проблема представляла определенный интерес, так как наличие или отсутствие продольной поляризации говорило бы о нарушении или выполнении закона сохранения пространственной четности в сильных взаимодействиях<sup>/7,8/</sup>. Очень важно было проверить, отчего зависит полученная в<sup>/2/</sup> асимметрия углового распределения: от энергии ли падающих частиц, или от того, что взаимодействие идет со сложными ядрами. Поэтому наряду с поисками поляризации у  $\Lambda$ -гиперонов, рожденных в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при энергии  $\pi^-$ -мезонов 7-8 Гэв<sup>/9/</sup>, проводилась работа по изучению поляризации в  $\pi^-C$ -реакциях.

Проверки требовал также факт существования в импульсном спектре  $\Lambda$ -гиперонов в с.д.м. пион-нуклон при их рождении на водороде пропана двух областей, одна из которых соответствует большой, а другая малой передаче четырехмерного импульса<sup>/10,11/</sup>. Это могло быть обусловлено как особенностями рождения частиц при высоких энергиях, так и примесью углеродных событий. Из этого факта следуют вполне определенные заключения<sup>/12/</sup> о структуре нуклона<sup>x)</sup>.

На этом же материале изучались резонансы со странными частицами<sup>/13,14/</sup>. Для надежности этих результатов также важно выяснить влияние примеси углеродных событий.

Решение такого широкого круга вопросов требует хорошего знания специфики генерации частиц всех сортов на ядрах.

Реферируемая диссертация состоит из вводной части и 5 глав. Во вводной части обсуждается постановка проблемы и дается обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных вопросу генерации частиц на ядрах при энергиях падающих частиц выше порога рождения странных частиц.

В 1 главе описаны постановка опыта и метод анализа. Работа выполнена с помощью 55 см пропановой пузырьковой камеры<sup>/15/</sup>, установленной на пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $(6,8 \pm 0,6)$  Гэв/с. Импульс первичных частиц измерялся двумя методами: 1) с помощью токнесущей нити<sup>/17/</sup>, 2) прямыми измерениями пучковых треков

x) Позже такой же результат был получен группой Пейру<sup>/16/</sup>.

на снимках камеры. Оба метода дали согласующийся результат. Величина магнитного поля в центре камеры равна 13700 эрстед с максимальной неоднородностью  $\pm 3\%$ . Точность измерения импульса заряженных частиц в среднем равна 10%, а среднеквадратичная ошибка в измерении углов при длине треков более 5 см равна  $34'$ .

Эффективность двукратного просмотра для обнаружения  $\Lambda$ - и  $K^0$ -частиц найдена равной 96%. Описываются критерии отбора  $\pi^-C$ -реакций.

Идентификация проводилась по методу  $\chi^2$  на электронно-счетной машине, а в случае, где это возможно, привлекались и другие методы, такие как измерение ионизации, измерение импульсов  $\delta$ -электронов, анализ вторичных взаимодействий положительных частиц от распада  $V^0$ -событий.

Во второй главе описываются результаты эксперимента<sup>/18/</sup>. После обсчета и идентификации событий, отобранных на 12000 фотографиях, осталось 550 звезд с 607  $V^0$ -частицами. Из этого числа в эффективной области камеры оказалось 206  $\Lambda$ -гиперонов, 209  $K^0$ -мезонов, 37  $\Lambda K^0$ -пар, 8  $K^0 \bar{K}^0$ -пар, одна пара  $\Lambda \Lambda$ , одно событие с тремя  $V^0$ -частицами ( $K^0 \Lambda K^0$ ) и одна пара, в которой идентифицирован  $\Lambda$ -гиперон, а вторая  $V^0$ -частица не идентифицирована из-за больших ошибок в измерениях импульсов частиц от распада. Обсуждаются поправки, которые необходимо ввести для определения сечений генерации  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов. Показано, что полный поправочный коэффициент для числа  $\Lambda$ -гиперонов равен 2,69, а для числа  $K^0$ -мезонов - 4,29.

Найдено, что сечение рождения  $\Lambda$ -гиперонов  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 7 Гэв/с на ядре углерода равно  $(7,3 \pm 0,5)$  мб, а  $K^0$ -мезонов  $(12,8 \pm 0,8)$  мб.

Подробно анализируются каналы реакций, которые ответственны за генерацию зарегистрированных частиц. Результаты этого анализа показаны в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Распределение событий по каналам реакций

Пара	$\gamma^0 K^0$	$\gamma^0 K^+$	$K^0 \bar{K}^0$	$K^0 K^- + \bar{K}^0 K^+$	$K^0 \Sigma^+$	$\gamma^0 \gamma^0 K K$
Число случаев	$427 \pm 70$	$223 \pm 81$	$147 \pm 52$	$323 \pm 127$	$80 \pm 31$	4
Сечение образования	$4,8 \pm 0,8$	$2,5 \pm 0,9$	$1,7 \pm 0,6$	$3,6 \pm 1,4$	$0,9 \pm 0,4$	$\approx 0,04$

Найдено, что суммарное сечение образования пар ( $\gamma^0 K^+ \gamma^0$ ) и ( $K^0 \bar{K}^0$ ) составляет  $(5,0 \pm 1,7)$  мб от полного сечения взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов нашей энергии с углеродом, которое бралось равным  $\sigma_{tot}(\pi^-C) = (250 \pm 20)$  мб<sup>/19/</sup>.

Приводятся угловые и импульсные распределения  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов и обсуждается вопрос о ходе сечения генерации этих частиц с увеличением энергии первичных пионов.

Проведена проверка применимости закона  $A^{2/3}$  для определения сечения генерации странных частиц на ядрах. Показано, что непосредственно приложение этого закона без учета дополнительных факторов типа объемности эффекта и вторичных взаимодействий внутри родительского ядра уже для углерода дает ошибку примерно в 100%. Так, например, сечение генерации  $\Lambda$ -гиперонов на углероде, найденное по закону  $A^{2/3}$ , примерно в 2 раза меньше экспериментального. На основании опытных данных для учета влияния вторичных процессов вводится "мера особенности рождения странных частиц"  $D$ , которая определяется как

$$D = \frac{\sigma_{\text{эксп}} \cdot \sigma(A^{2/3})}{\sigma(A^{2/3})}$$

Для  $K^0$ -мезонов  $D = 0,39 \pm 0,22$ .

В обсуждении результатов в этой главе проводится сравнение угловых и импульсных спектров  $\Lambda$  и  $K^0$ -частиц от  $\pi^-C$  и  $\pi^-p$ -взаимодействий в лабораторной системе и в с.п.м. пион-нуклон. Спектры  $\Lambda$ -гиперонов в с.п.м. пион-нуклон показаны на рис. 1. Из сравнения спектров этих частиц от реакций на водороде и углероде видно, что отмечавшийся в работе /11/ факт наличия второго максимума для углеродных событий выражен слабее. Из этого следует, что примесь углеродных событий к событиям на водороде не могла привести к появлению ложного максимума в области импульсов 1300-1800 Мэв/с.

Предлагается метод определения сечения неупругого взаимодействия  $\Lambda$ -гиперонов с нуклонами. Метод основан на сравнении отношений сечений рождения  $\Lambda K^0$ -пар к сечению неупругого взаимодействия для водородных и углеродных событий при разных энергиях. Он может быть использован в том случае, если экспериментальные ошибки определения сечений генерации  $\Lambda K^0$ -пар будут уменьшены в несколько раз (до уровня 5-10%).

Делается оценка доли  $\Lambda$ -гиперонов, рождающихся только во вторичных процессах, среди всех  $\Lambda$ -частиц, выходящих из ядра углерода. Найдено, что около 35%-40%  $\Lambda$ -гиперонов рождается во вторичных процессах.

Сравнение сечений генерации одной и двух пар странных частиц в одном взаимодействии с ядром (см. таблицу 1) позволяет сделать вывод, что подавляющее большинство пар странных частиц рождается в одном акте взаимодействия - первичном или вторичном. Это говорит о принципиальной возможности изучения резонансов в парах странных частиц ( $\Lambda K$ ,  $KK$  и т.д.), генерированных на углероде.

Глава 3 посвящена поискам поляризации  $\Lambda$ -гиперонов при рождении в  $\pi^-C$ -взаимодействиях /11, 20/. Дается краткий обзор проблемы сохранения пространственной четности в сильных взаимодействиях, описывается постановка опыта и обращается особое внимание на способы введения поправок. Недооценка некоторых из них может существенно исказить результат.

Коэффициент асимметрии рассчитывался по известной формуле

$$aP = \frac{3}{N} \sum_i \cos \theta_i + \sqrt{\frac{3}{N} [1 - (aP)^2]}$$

Для 260  $\Lambda$ -гиперонов получено:

$$aP_1 \text{ (вперед-назад)} = -0,01 \pm 0,11$$

$$aP_2 \text{ (влево-вправо)} = -0,06 \pm 0,11$$

$$aP_3 \text{ (вверх-вниз)} = +0,04 \pm 0,11.$$

Этот результат указывает на отсутствие поляризации у  $\Lambda$ -гиперонов при рождении во взаимодействиях с ядрами. На Женевской конференции 1962 года подведен итог исследованиям степени нарушения четности в сильных взаимодействиях по результатам /21/ многих лабораторий мира. При подведении итогов учтен и результат, сообщаемый в диссертации.

В главе 4 излагаются данные по изучению механизма образования и взаимодействия частиц в ядре углерода /22/.

По методу Монте-Карло выполнен расчет каскадов, инициируемых  $\pi^-$ -мезонами с энергией 7 Гэв в ядре углерода. Особенностью этого расчета является, то что в нем  $K^-$ -мезонная и гиперонная компоненты учитывались в процессе наравне с пионной и нуклонной компонентами. Из-за усреднения по изотопическому спину в каскаде участвовало пять сортов частиц: нуклоны,  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезоны,  $\Lambda^-$  и  $\Sigma^-$ -гипероны. Учитывались все реакции, совместимые с законами сохранения энергии, барионного числа и странности. В качестве ядерной модели была использована модель ферми-газа, с равномерной плотностью заполняющего сферу радиуса  $R$  ( $R$ -радиус ядра). Подробно обсуждаются метод расчета и вводимые в расчет входные данные.

В результате расчета получены сечения реакций, значения и степень согласия которых с экспериментом можно видеть из таблицы 2.

Т а б л и ц а 2

Сравнение расчетных сечений реакций с экспериментальными		
Сечения процессов	Расчетное значение (мб)	Экспериментальное значение (мб)
$\sigma_r$	216	$250 \pm 20$ /19/
$\sigma_{sel}$	23,9	-
$\sigma_{in}$	192	$197 \pm 7$ /19/
$\sigma_{str}$	18,1	$16,2 \pm 2,1$ /18/

В этой таблице  $\sigma_r$  означает полное сечение,  $\sigma_{sel}$  - сечение, квазиупругого, недифракционного рассеяния,  $\sigma_n$  - неупругое сечение,  $\sigma_{str}$  - сечение рождения странных частиц.

В диссертации представлены полученные путем расчета наглядные схемы рождения  $\Lambda$  - и  $K^0$ -частиц, дающие возможность проследить все соотношения между каналами реакций с рождением и взаимодействиями этих частиц в ядре. Получены сечения генерации  $K^0$  и  $K^0K$  -пар, хорошо согласующиеся с опытными. Импульсные и угловые спектры  $\Lambda$  -гиперонов,  $K$ - и  $\pi$ -мезонов также удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Средняя множественность  $\pi^-$ -мезонов  $\bar{n}_\pi$  по расчету методом Монте-Карло получена равной  $\bar{n}_\pi$  (расч)=5,2, а по экспериментальным данным, приводимым в диссертации, она равна  $\bar{n}_\pi$  (эксп)=5,4, т.е. согласие с экспериментом хорошее. С опытом согласуются и другие характеристики (средний импульс частиц и т.д.).

Основываясь на хорошем согласии результатов расчета с опытом сделана попытка этим путем, т.е. без привлечения статистической теории множественного образования частиц, выделить источники  $\gamma$ -квантов, отличающиеся от канала  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ . Однако эта попытка к успеху не привела и присутствие источников  $\gamma$ -квантов, отличающихся от  $\pi^0$ -мезонов, почувствовать не удалось. Это можно объяснить тем, что суммарный вклад таких источников очень мал и составляет малую долю  $\gamma$ -квантов, наблюдаемых на опыте.

В 5 главе диссертации приводятся результаты расчета каскадов от  $\pi^-$ -мезонов с энергией 7 Гэв в десяти часто встречающихся на опыте ядрах ( $Be^9$ ,  $C^{12}$ ,  $O^{16}$ ,  $F_9^{19}$ ,  $Al_{13}^{27}$ ,  $Cl_{17}^{35}$ ,  $Cu_{29}^{64}$ ,  $Br_{35}^{80}$ ,  $Xe_{54}^{131}$ ,  $Pb_{82}^{207}$ )/23/. Получены сечения генерации  $\pi^-$  и  $K$ -мезонов, нуклонов,  $\Lambda$  - и  $\Sigma$ -гиперонов на этих ядрах, а также угловые и импульсные характеристики. Даются коэффициенты прозрачности исследованных ядер по отношению к падающим  $\pi^-$ -мезонам и проводится сравнение этих коэффициентов со значениями, определяемыми по обычным формулам (см. рис. 2). Обсуждается зависимость сечений генерации частиц от массы ядер при заданной энергии падающих частиц. Автор считает, что результаты, приводимые в этой главе, могут быть полезны при выборе оптимальных условий для генерации и регистрации частиц, и, в частности, при создании каналов чистых пучков.

#### Основные выводы диссертации

1. Полученное при изучении взаимодействий на водороде пропана указание на то, что значительная часть  $\Lambda$  -гиперонов рождается в процессах с малой передачей четырехмерного импульса не обусловлено примесью  $\Lambda$ -гиперонов от  $\pi$ -С-реакций.

2. Показано, что можно изучать резонансы в парах странных частиц на легких ядрах. Примесь пар странных частиц от  $\pi$ -С-реакций не является причиной, определяющей появление ложных резонансов.

3. Доказано, что  $\Lambda$ -гипероны, рождающиеся при взаимодействии  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 7 Гэв/с с углеродом, не поляризованы.

4. Найдены сечения рождения  $\Lambda$  - и  $K^0$ -частиц на углероде.

5. Определены сечения различных каналов реакций с рождением пар странных частиц на углероде.

6. Получены импульсные и угловые распределения  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов, рождающихся на углероде.

7. Найдено, что во вторичных взаимодействиях рождается около 40%  $\Lambda$ -гиперонов и ~25%  $K^0$ -мезонов из общего числа этих частиц, вылетающих из ядра углерода.

8. Установлено, что сечение рождения странных частиц составляет  $(5,0 \pm 1,7)\%$  от полного сечения взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 7 Гэв/с с ядром углерода.

9. Показано, что закон  $A^{2/3}$  можно применять для определения сечения генерации странных частиц на ядрах только при условии учета дополнительных факторов типа объемности эффекта и рождения (или исчезновения) частиц во вторичных процессах.

10. В результате расчетов доказано, что каскадная модель дает хорошее согласие с опытом и позволяет выяснить дополнительные детали взаимодействий с ядрами.

11. Расчетом каскадов от  $\pi^-$ -мезонов с энергией 7 Гэв в десяти часто встречающихся на опыте ядрах получены все основные характеристики генерации частиц. Эта часть данных может быть полезна при выборе оптимальных условий для генерации и регистрации частиц и, в частности, при создании каналов чистых пучков.

Основные данные, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах /3,11,13,18,20,22-25/.

#### Литература

1. Ю.А. Александров, Г.С. Воронов, В.М. Горбунков, Н.Б. Делоне, Ю.И. Нечаев. Пузырьковые камеры. Гос. изд. лит. по атомной науке и техн., 1963.
2. R.A. Salmeron, A. Zichichi. Nuovo Cim., 11, 461 (1959).
3. M.I. Soloviev. Pros. of the 1960 An. Int. Conf. on High Energy Phys. at Rochester, p. 388.
4. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзэн и др. ЖЭТФ, 39, 1854, 1960.
5. F.S. Crawford, M. Cresti et al., Phys. Rev. Lett., 1, 209, 1958; 2, 11, (1959).

6. R.L.Lander, W.M.Powell, H.S.White. Phys. Rev. Lett., 3, 236 (1959).
7. В.Г.Соловьев. ЖЭТФ, 33, 537, 796, 1957, Nucl. Phys., 6, 618, 1958., ЖЭТФ 36, 628, 1959., ДАН, 129, 68, 1959.
8. A.Pais. Phys. Rev. Lett., 1, 418 (1958).
9. В.И.Векслер, Н.М.Вирясов, И.Врана и др. ЖЭТФ, 44, 84, 1963.
10. В.И.Векслер, И.Врана и др. Препринт ОИЯИ Р-806, 1961.
11. V.A.Belyakov et al, 1962 Int. Conf. on High Energy Phys. at CERN, p. 252
12. В.С.Барашенков, В.М.Мальцев, И.Патера. Препринт ОИЯИ Р-1577, 1964.
13. V.A.Belyakov et al. 1962 In Conf. on High En. Phys. at CERN, p. 336
14. В.А.Беляков, В.И.Векслер, Н.М.Вирясов, Е.Н.Кладницкая и др.Препринт ОИЯИ Р-1506, 1964.
15. Ван Ган-чан, М.И.Соловьев, Ю.Н.Шкобин. ПТЭ, 1, 41, 1959.
16. I.Bartke et al. Nuovo Cim., 24, 876 (1962).
17. М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин. ПТЭ, 1, 21, 1956.
18. В.А.Беляков, А.В.Бояджиев, Ван Юн-чан, В.И.Векслер, Н.М.Вирясов, Ким Хи Ин и др. Препринт ОИЯИ Р-1472, 1963;
19. Б.П.Банник и др. ЖЭТФ, 41, 1394, 1961; Препринт ОИЯИ Д-743, 1961.
20. В.А.Беляков, Ван Юн-чан, В.И.Векслер, Н.М.Вирясов, Ду Юань-чай и др., ЖЭТФ, 45, 90, 1963.
21. B.P.Gregory. 1962 Int. Conf. on High Energy Phys. at CERN, p. 779.
22. В.А.Беляков, А.В.Бояджиев, Н.М.Вирясов, В.М.Мальцев. Препринт ОИЯИ Р-1452, 1963.
23. В.А.Беляков, А.В.Бояджиев, Н.М.Вирясов, В.М.Мальцев. Препринт ОИЯИ Р-1584, 1964.
24. В.А.Беляков, Ван Юн-чан, В.И.Векслер, Н.М.Вирясов, И.Врана и др. ЖЭТФ, 44, 431, 1963.
25. В.А.Беляков, Ван Юн-чан, Н.М.Вирясов, Ду Юань-чай. и др. ЖЭТФ, 44, 1474, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 марта 1964 г.

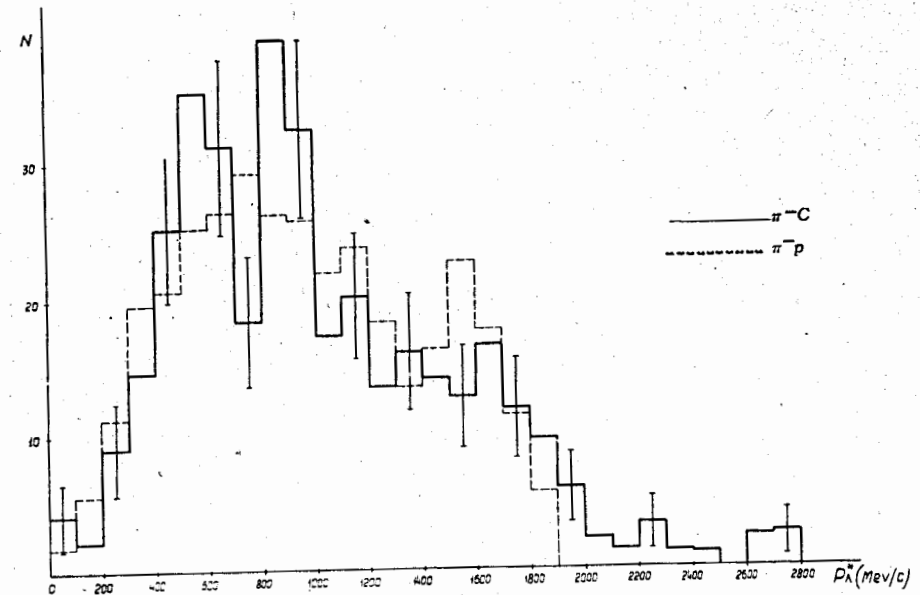


Рис. 1.

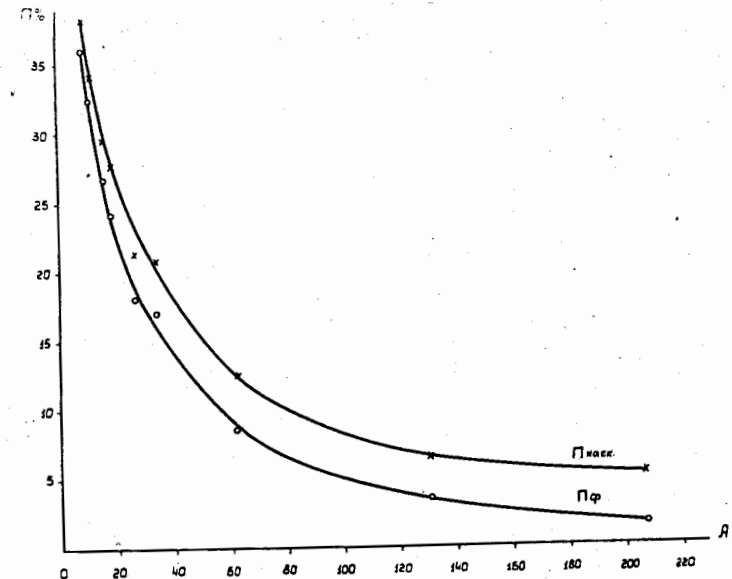


Рис. 2.