

8
Б44



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

В.А. Беляков, Ван Юн-чан, Н.М. Вирясов, Ду Юань-цай, Ким Хи Ин,
Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев,
Е.С. Соколова, М.И. Соловьев

P-1138

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ P^0 -МЕЗОНОВ,
РОЖДАЮЩИХСЯ СО СТРАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ
В P^-p И P^-s ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

ЖЭТФ, 1963, т 44, в 5, с 1474-1480.

В.А.Беляков, Ван Юн-чан, Н.М.Вирясов, Ду Юань-цай, Ким Хи Ин,
Е.Н.Кладническая, А.А.Кузнецов, Нгуен Дни Ты, В.Н.Пенев,
Е.С.Соколова, М.И.Соловьев

P-1138

1735/1, 48.
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ P^0 -МЕЗОНОВ,
РОЖДАЮЩИХСЯ СО СТРАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ
В P^- -р И P^- -с ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Исследовательский институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1962 год

Настоящая работа выполнена на 24-литровой пропановой пузырьковой камере^{/1/} и является продолжением наших работ по изучению генерации странных частиц π^- -мезонами с энергией 7-8 Бэв на водороде и углероде^{/2-5/}. В этой статье приводятся результаты изучения свойств π^0 -мезонов по γ -квантам, сопровождающим рождение Λ и K^0 -частиц. Характеристики π^0 -мезонов сравниваются с характеристиками π^+ и π^- -мезонов из процессов с рождением Λ -гиперонов и K^0 -мезонов. Обращается внимание на возможность существования резонансов с радиационным распадом.

V.A.Belyakov, Wang Yung-chang, N.M. Viryasov,
Du Yuan-cai, Kim Hi In, E.N.Kladnitskaya,
A.A.Kuznetsov, Nguyen Dinh Tu,
V.N.Penev, E.S.Sokolova, M.I.Soloviev

A STUDY OF PROPERTIES OF π^0 MESONS
PRODUCED WITH STRANGE PARTICLES
IN π^-p AND π^-c INTERACTIONS

Abstract

This investigation has been performed with a 24-litre propane bubble chamber^{/1/} and is a continuation of our experiments on strange particle production by 7-8 BeV π^- -mesons on hydrogen and carbon^{/2-5/}. Here are given the results of studying the properties of π^0 mesons by the γ -quanta accompanying the Λ and K^0 production. The specific features of π^0 mesons are compared with those of π^+ and π^- mesons from the processes with the Λ hyperon and K^0 meson production. A possible existence of the resonances with the radiative decay is indicated.

Метод отбора событий

Постановка опыта, характеристики пучка, методика просмотра и обработки фотографий, а также критерии отбора π^-p и π^-C событий описаны в работах^{/2,6/}.

Из событий, использованных в работе^{/5/}, мы отобрали 188 случаев, когда рождение Λ - и K^0 -частиц сопровождается по крайней мере одной электронно-позитронной парой от конверсии γ -кванта. Эти события представлены в таблице 1.

Принадлежность γ -кванта к данной звезде определялась путем измерения направления его импульса относительно точки взаимодействия. События считались коллинеарными, если угол отклонения от коллинеарности не превышал $1,5^\circ$.

Вероятность конвертирования γ -кванта на электронно-позитронную пару в камере размером $55 \times 28 \times 14$ см³ очень невелика, так как радиационная длина в пропане 1,1 м. Статистический вес каждого γ -кванта вычислялся по формуле:

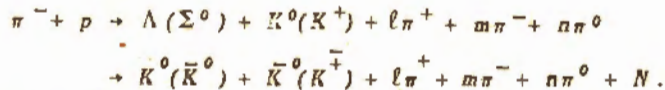
$$W_i = \{1 - \exp[-L_\gamma \mu(E_\gamma)]\}^{-1},$$

где L_γ - потенциальный пробег γ -кванта в радиационных единицах^{x)}, $\mu(E_\gamma)$ - полная вероятность образования пары e^+e^- на радиационной длине.

Средняя эффективность регистрации γ -кванта, определяемая из соотношения $\bar{P} = \frac{1}{W_i}$, для нашей камеры равна $0,09 \pm 0,01$ ^{xx)}. При вычислении полного числа γ -квантов вводились следующие поправки:

- 1) на потерю γ -квантов, вылетающих под большими азимутальными углами;
- 2) на несимметричность падающего пучка относительно продольной оси камеры.

Суммарный поправочный множитель найден равным $1,51 \pm 0,40$. Изучались π^0 -мезоны из следующих реакций



Рождение π^0 -мезонов на ядре углерода идет по таким же каналам.

Известно, что подавляющая часть π^0 -мезонов распадается по схеме



Все события с γ -квантами были разбиты нами на 2 группы по признаку сорта странной частицы, с которой зарегистрирован γ -квант, т.е. на группы

x) Под потенциальным пробегом понимается расстояние от точки рождения до границы эффективной области камеры, на котором может быть наблюдеено конвертирование γ -кванта.

xx) Эффективность регистрации γ -кванта с учетом эффективного объема для регистрации Λ и K^0 -частиц.

$$[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-p \quad \text{и} \quad [K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-p$$

для π^-p -взаимодействий, и, соответственно,

$$[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-C \quad \text{и} \quad [K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-C$$

для взаимодействий на углероде.

γ - кванты, зарегистрированные с ΛK^0 -парой, включались в обе группы.

Анализ экспериментальных данных

1. Среднее число π^0 -мезонов

Если предположить, что все γ -кванты возникают от распада π^0 -мезонов, то среднее число π^0 -мезонов можно вычислить по формуле

$$n = \frac{1,51 \sum W_i}{2N},$$

где W - статистический вес γ -кванта, 1,51 - геометрическая поправка, N - полное число событий с рождением Λ -гиперонов или K^0 -мезонов (с γ -квантами и без них).

По этой формуле было вычислено среднее число π^0 -мезонов, сопровождающих рождение Λ -гиперонов и K^0 -мезонов в π^-p -взаимодействиях для звезд с числом заряженных частиц 0;2 и 4;6. Результаты приведены в таблице II. Как видно из этой таблицы, среднее число π^0 -мезонов уменьшается с увеличением множественности заряженных частиц, хотя ошибки довольно велики.

В таблице III делается сравнение среднего числа π^0 -мезонов, рождающихся вместе со странными частицами, с их средним числом, когда они рождаются без странных частиц¹⁸⁾. Как видно из таблицы, среднее число π^0 -мезонов слабо зависит от наличия, от сорта странных частиц и от мишени, с которой происходит взаимодействие.

2. Угловые распределения γ -квантов

Угловые распределения γ -квантов в с.ц.м. пион-нуклон для реакций $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-p$ и $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-p$ показаны на рис. 1 и обозначены через a и b соответственно. Пунктиром даны нормированные распределения π^- -мезонов для тех же реакций. Видно, что при нашей статистике угловые распределения γ -квантов и π^- -мезонов практически совпадают. Угловое распределение γ -квантов из реакции $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-p$ изотропно, а γ -квантов из реакции $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-p$ имеет пик вперед, подобно распределению отрицательных пионов из таких же взаимодействий.

На рис. 2 приводятся угловые распределения γ -квантов из реакций $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-C$ и $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-C$. Для сравнения на этом же рисунке пунктиром даны аналогичные распределения для реакций с протоном, нормированные на ту же площадь. Оба распределения приводятся в с.ц.м. пион-нуклон. Из рисунка видно, что имеется различие, особенно

для распределения γ -квантов, рожденных вместе с Λ -гиперонами на ядре углерода и на водороде. Распределения для взаимодействий с углеродом более изотропны.

3. Средняя энергия π^0 -мезонов

Средняя энергия π^0 -мезонов вычислялась в предположении, что она равна удвоенной средней энергии γ -кванта^{/9/}. Средняя энергия π^0 -мезонов, рожденных вместе со странными частицами, сравнивалась нами со средней энергией заряженных пионов, а также со средней энергией π^- -мезонов при их рождении без странных частиц^{/8/}. Результаты даны в таблице IУ. Из таблицы видно, что средние энергии всех пионов, рожденных со странными частицами, если не учитывать множественность, мало отличаются друг от друга. Однако средняя энергия π^- -мезонов, рожденных со странными частицами, существенно меньше средней энергии π^- -мезонов, рожденных без странных частиц.

4. Энергетический спектр γ -квантов в л.с.

Экспериментальный энергетический спектр γ -квантов из взаимодействий с рождением Λ -частиц приведен на рис. 3а и с рождением K^0 - на рис. 3в. Как уже указывалось выше, возможно, что не все γ -кванты возникают от распада π^0 -мезонов. Для выделения части спектра γ -квантов, относящейся к π^0 -мезонам, воспользуемся предположением об аналогии угловых распределений π^- - и π^0 -мезонов и предположим, что импульсное распределение π^0 -мезонов совпадает с импульсным распределением π^- -мезонов для тех же реакций. Импульсный спектр π^- -мезонов показан на рис. 4.

Считая теперь π^- -мезоны эквивалентными π^0 -мезонам, транспонируем спектр π^- -мезонов в спектр γ -квантов.

Известно, что связь между энергией γ -квантов и скоростью π^0 -мезона β дается соотношением:

$$E_{\gamma} = \frac{m_{\pi^0}}{2(1 - \beta \cos \theta)} \sqrt{1 - \beta^2},$$

где m_{π^0} - масса π^0 -мезона, а θ - угол между направлениями движения π^0 -мезона и вылета γ -кванта.

Из этого соотношения мы можем определить максимальную $E_{\gamma \max}$ и минимальную $E_{\gamma \min}$ энергию γ -квантов, возникающих от π^0 -мезона со скоростью β .

$$E_{\gamma \max} = \frac{B m_{\pi^0}}{2} (1 + \beta),$$

$$E_{\gamma \min} = \frac{B m_{\pi^0}}{2} (1 - \beta),$$

где

$$B = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Как показано в работе^{/10/}, при постоянном β в интервале от $E_{\gamma \min}$ до $E_{\gamma \max}$

плотность распределения γ -квантов постоянна, поэтому каждый энергетический интервал в распределении π^- -мезонов транспонируется в распределение γ -квантов в виде прямоугольника со стороной $E_{\gamma \max} - E_{\gamma \min}$ и с высотой, определяемой из условия равенства площадей.

Транспонированный таким образом и нормированный спектр γ -квантов от π^0 (π^-)-мезонов изображен на экспериментальном спектре γ -квантов сплошной линией, проведенной через середины интервалов.

Как видно из рисунка 3, экспериментальное импульсное распределение γ -квантов в л.с. отличается от транспонированного спектра (т.е. от спектра γ -квантов от распада π^0 -мезонов) в области импульсов 300-700 Мэв/с. Мы считаем, что это отличие не может быть объяснено только статистической флуктуацией. Скорее всего оно объясняется наличием источников γ -квантов, отличных от π^0 -мезонов. Примесью γ -квантов от реакции $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$ эту немонотонность в спектре объяснить нельзя, поскольку, как показано в работе /8/, эта немонотонность обнаружена также в процессах обычного рождения π^- -мезонов.

5. Поиски резонансов с радиационным распадом

Нами были построены распределения по эффективным массам для комбинаций $M(\Lambda + \gamma)$, $M(K^0 + \gamma)$, $M(\pi^+ + \gamma)$ и $M(\pi^- + \gamma)$ по соотношению:

$$M_{1\gamma} = \sqrt{2(E_1 E_\gamma - P_1 E_\gamma \cos \theta_{1\gamma}) + m_1^2},$$

где E_1 - энергия частицы ($\Lambda, K^0, \pi^+, \pi^-$), E_γ - энергия γ -кванта, $\theta_{1\gamma}$ - угол разлета между частицей и γ -квантом. Для этих комбинаций аномалий в спектре эффективных масс не обнаружено.

Исследовались также трехчастичные комбинации

$$M(\Lambda + \pi^+ + \gamma), M(\Lambda + \pi^- + \gamma), M(K^0 + \pi^+ + \gamma), M(K^0 + \pi^- + \gamma)$$

по соотношению:

$$M_{12\gamma} = \sqrt{M_{12}^2 + M_{1\gamma}^2 + M_{2\gamma}^2 - (m_1^2 + m_2^2)},$$

где M_{12} - эффективная масса 2-х частиц (без γ -кванта), $M_{1\gamma}$ - эффективная масса первой частицы и γ -кванта, $M_{2\gamma}$ - второй частицы и γ -кванта и m_1, m_2 - массы первой и второй частиц соответственно.

В распределении по эффективным массам только для $M(\pi^+ + \pi^- + \gamma)$ появляется пик в районе 760 Мэв (рис. 5). Поэтому наш результат возможно дает указание на существование распада ω^0 или ρ^0 по каналу

$$\omega^0(\rho^0) \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma. \quad /11, 12/$$

В заключение авторы выражают благодарность академику В.И.Векслеру, профессору Чжан Вен-юй, М.И.Подгорецкому, А.М.Балдину, А.В.Никитину, В.Б.Любимову и Янь У-гуану за полезные обсуждения и ряд ценных замечаний, сотрудникам расчетного центра - за проведение вычислений и коллективу лаборантов - за измерения.

1. Ван Ган-чан, М.И. Соловьев, Ю.Н. Шкобин. ИТЭ 1, 41, 1959.
2. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзэн, В.И. Векслер, И. Врана, Дин Да-цао, В.Г. Иблон, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Соловьев, Чен Лин-янь. ЖЭТФ, 40, 464 (1961).
3. В.И. Векслер, И. Врана, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, А.К. Михул, Э.К. Михул, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, М.И. Соловьев, Т. Хофмокл, Чен Лин-янь. Препринт ОИЯИ, Ц-806, Дубна 1961.
4. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзэн, Н.М. Вирясов, Дин Да-цао, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, А. Михул, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Соловьев. ЖЭТФ, 40, 732 (1961).
5. V.A. Belyakov, Wang Yung-chang, V.I. Veksler, N.M. Viryasov, I. Vrana, Du Yuan-cai, Kim Hi In, E.N. Kladnitskaya, A.A. Kuznetsov, A. Mikhul, E. Mihul, Nguyen Dinh Tu, I. Patera, V.N. Penev, E.S. Sokolova, M.I. Soloviev, T. Hofmohl, Tshen Lin-yen, M. Schneeberger. 1962, Intern. Conf. on High Energy Physics at CERN, p. - 252 - 265.
6. Ван Ган-чан и др. ЖЭТФ 36, 426 (1960).
7. Н.Г. Биргер и др. Препринт ОИЯИ, Р-789, Дубна 1960 г.
8. В.Б. Любимов, А.В. Никитин, З.Трка. Препринт ОИЯИ Р-974, Дубна 1961 г.
9. Б.Росси. Частицы больших энергий, изд. Москва, 1955 г.
10. A.C. Garison et al. Phil. Mag. 41, 318, 699 (1950).
11. Nguyen Dinh Tu, 1962. International Conference on High-Energy Physics at CERN, p. 111.
12. B. Maglic, 1962, International Conference on High-Energy Physics at CERN, p. 725.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 декабря 1962 года.

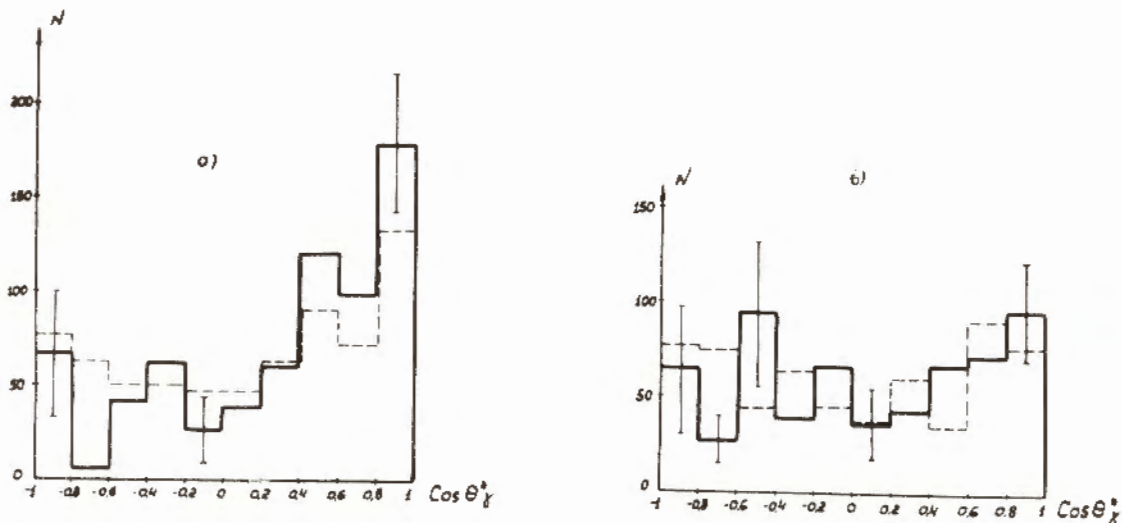


Рис. 1. Угловые распределения γ -квантов из $\pi^- p$ -взаимодействий в с.п.м. пион-нуклон и нормированные распределения (пунктиром) π^- -мезонов для реакций
 а) $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^- p$ и б) $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^- p$.

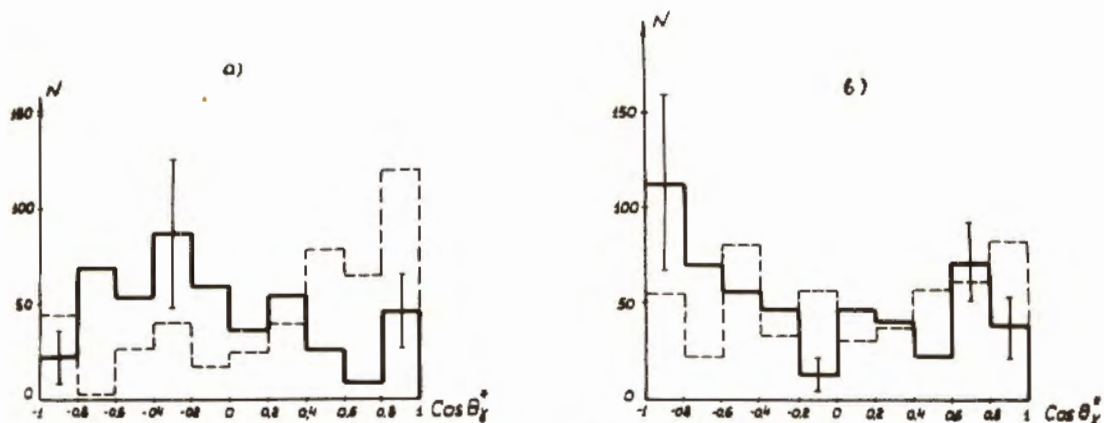


Рис. 2. Угловые распределения γ -квантов из π^- -C-взаимодействий (сплошная линия) и из π^- -p-взаимодействий (пунктирная линия), нормированные на одинаковую площадь.

а) распределения для реакции $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-C$, в) для реакции $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-C$.

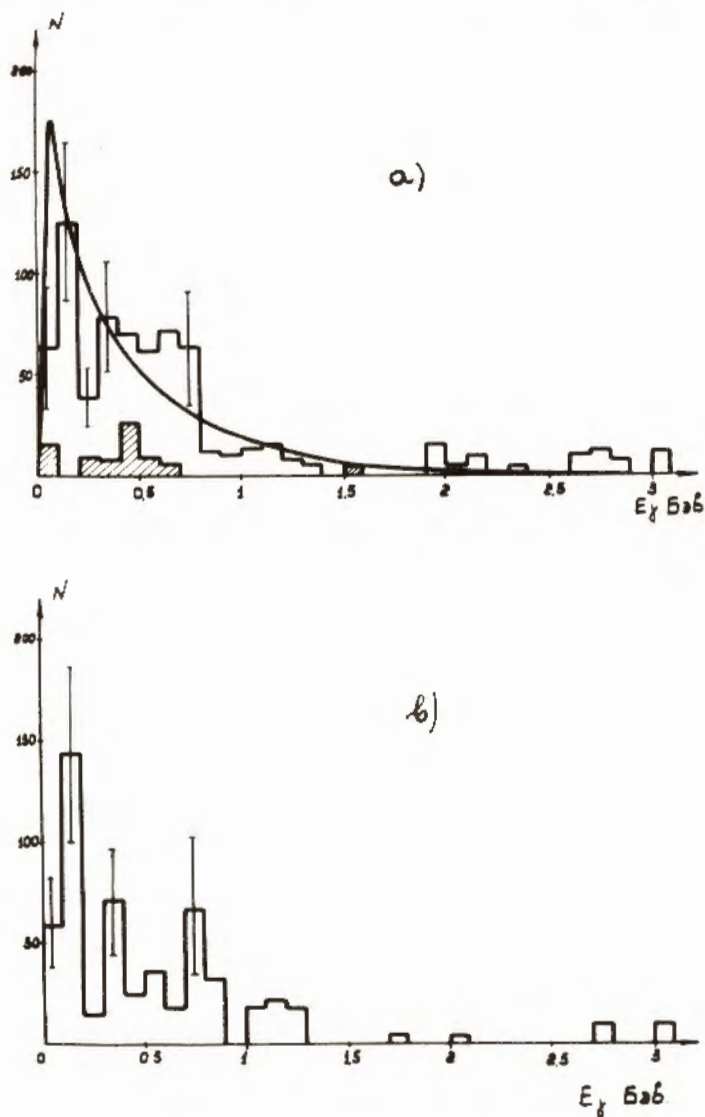


Рис. 3. Энергетические распределения γ -квантов для реакции

а) $[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-p$ и в) $[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-p$

Сплошная кривая на рис. а) представляет транспонированный спектр $\pi^-(\pi^0)$ -мезонов, нормированный на ту же площадь. Заштрихован спектр γ -квантов от реакции $\rho^0(\omega^0) \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$.

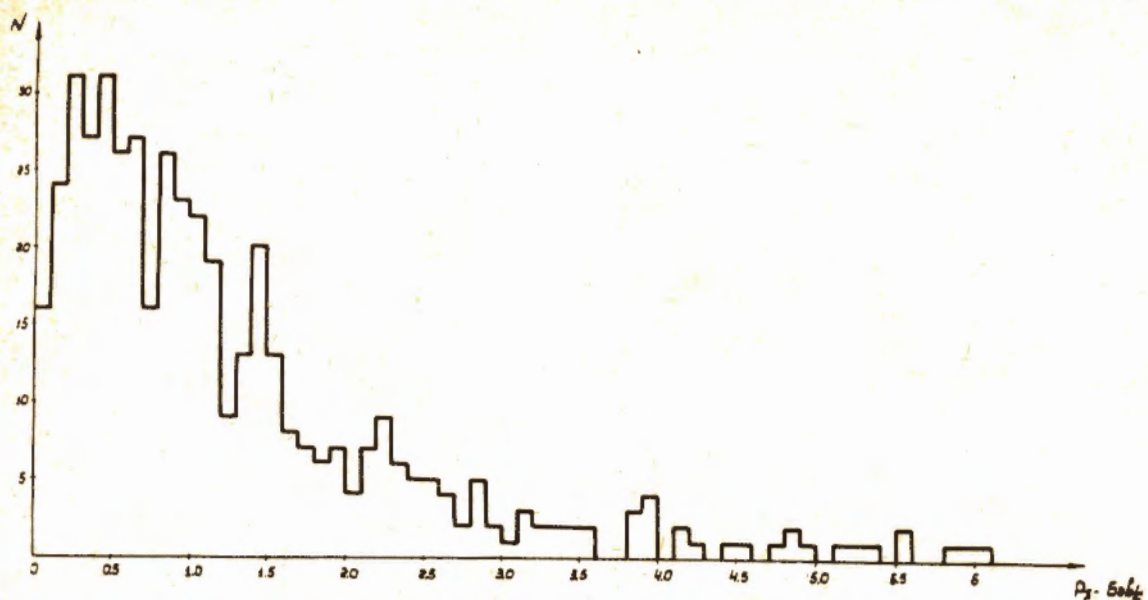


Рис. 4. Импульсный спектр π^- -мезонов из π^- - p -взаимодействий с рождением Λ -гиперона.

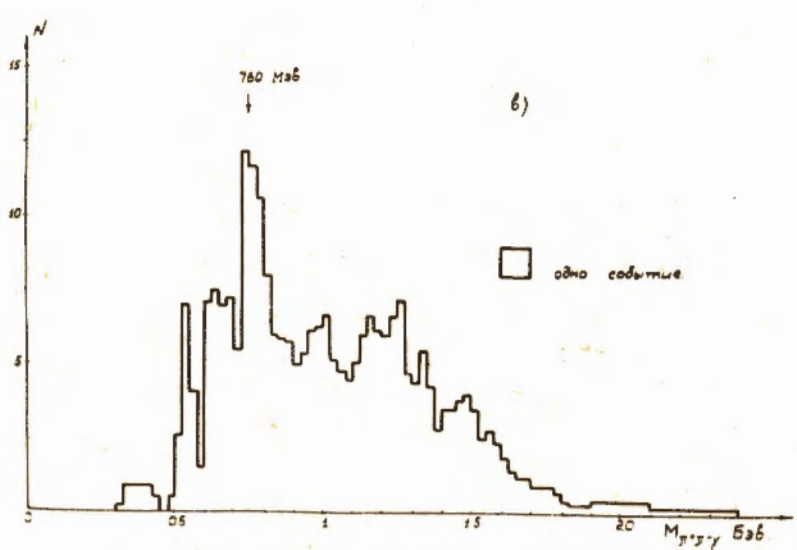
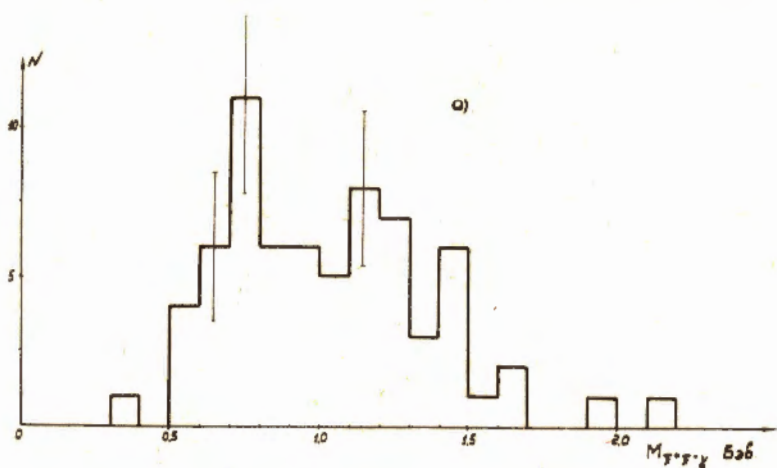


Рис. 5. а) Гистограмма и в) идеограмма распределения эффективных масс для комбинации $(\pi^+\pi^-\gamma)$,

Таблица I
 Распределение событий с γ -квантами по категории
 странных частиц

взаимодействие	Тип событий	Сумма									
		$\Lambda + \gamma$	$\Lambda + 2\gamma$	$\Lambda + 3\gamma$	$K^0 + \gamma$	$K^0 + 2\gamma$	$K^0 + 3\gamma$	$K^0 \bar{K}^0 + \gamma$	$\Lambda K^0 + \gamma$	$\Lambda K^0 + 2\gamma$	
$\pi^- + p$		52	6	-	46	2	0	5	7	3	121
$\pi^- + c$		20	5	1	24	4	1	0	9	3	67

Таблица II
 Среднее число π^0 -мезонов для звезд с различной
 множественностью заряженных частиц

\bar{n}_{π^0}	n_c		
	0	2	4 и 6
$\bar{n}(\Lambda \gamma)$	$1,56 \pm 0,40$	$1,37 \pm 0,20$	$0,80 \pm 0,20$
$\bar{n}(K^0 \gamma)$	$1,42 \pm 0,39$	$0,88 \pm 0,15$	$0,68 \pm 0,17$

Первая строка - среднее число π^0 -мезонов, сопровождающих рождение Λ -гиперонов, вторая - сопровождающих рождение K^0 -мезонов.

Таблица III
 Сравнение средней множественности π^0 -мезонов,
 рождающихся в разных реакциях

Вид взаимодействия	С рождением странных частиц				Без странных частиц	
	$[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^- p$	$[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^- p$	$[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^- c$	$[K^0(\bar{K}^0)\gamma]\pi^- c$	$(N\gamma)\pi^- p$	$(N\gamma)\pi^- c$
\bar{n}_{π^0}	$1,23 \pm 0,17$	$0,92 \pm 0,13$	$1,24 \pm 0,20$	$1,40 \pm 0,29$	$1,48 \pm 0,18$	$1,50 \pm 0,32$

Таблица IV

Средняя энергия π -мезонов для различных реакций и множественностей рождаемых π -мезонов

Реакция	Средняя энергия π -мезонов (Бэв)	Множественность			Без учета множественности
		0	2	4 - 6	
$[\Lambda(\Sigma^0)\gamma]\pi^-p$	E_{π^0}	$1,38 \pm 0,19$	$1,34 \pm 0,14$	$1,54 \pm 0,32$	$1,38 \pm 0,12$
	E_{π^-}	-	$1,56 \pm 0,10$	$0,99 \pm 0,06$	$1,28 \pm 0,06$
	E_{π^+}	-	$1,73 \pm 0,10$	$1,25 \pm 0,08$	$1,49 \pm 0,06$
$[K(\bar{K}^0)\gamma]\pi^-p$	E_{π^0}	$1,66 \pm 0,30$	$0,97 \pm 0,16$	$1,07 \pm 0,20$	$1,10 \pm 0,25$
	E_{π^-}	-	$1,46 \pm 0,08$	$1,05 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,05$
	E_{π^+}	-	$1,04 \pm 0,05$	$1,13 \pm 0,05$	$1,08 \pm 0,04$
$(N\gamma)\pi^-p$ [8]	E_{π^0}	$2,04 \pm 0,12$	$1,29 \pm 0,30$	$0,77 \pm 0,12$	$1,08 \pm 0,08$
	E_{π^-}	-	$2,60 \pm 0,19$	$1,40 \pm 0,09$	$1,64 \pm 0,08$
	p x/	-	$1,22 \pm 0,07$	$1,22 \pm 0,07$	$1,23 \pm 0,06$

x/ Поскольку при наших энергиях положительная частица не могла быть надежно идентифицирована (она могла быть π^+ , K^+ -мезонами или p), то энергия для положительных частиц не вычислялась, а приводится значение импульса.