

А.А. Кузнецов

2775

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗОНАНСОВ С УЧАСТИЕМ
СТРАННЫХ ЧАСТИЦ И ПРОЦЕССОВ
РОЖДЕНИЯ ПАР $\Lambda + \bar{K}$ И $K + \bar{K}$
В $\pi^+ p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

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

Научный руководитель
академик

В.И. Векслер

2775

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗОНАНСОВ С УЧАСТИЕМ
СТРАННЫХ ЧАСТИЦ И ПРОЦЕССОВ
РОЖДЕНИЯ ПАР $L+K$ И $K+\bar{K}$
В ПР -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

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

Научный руководитель
академик

В.И. Векслер

Дубна 1968

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3681 89

Одним из важных источников наших знаний о природе нуклона является изучение процессов образования странных частиц при столкновении пионов высоких энергий с нуклоном. Изучение этих процессов началось сразу же после открытия странных частиц в космических лучах. Однако систематическое исследование их свойств стало возможным только после того, как были созданы ускорители заряженных частиц на высокие энергии, позволившие получать странные частицы в лабораторных условиях.

Исключительно важную роль в исследовании процессов образования странных частиц имело развитие методики пузырьковых камер, а также развитие вычислительной техники. Это дало возможность за сравнительно короткое время получать большое количество экспериментальных данных о свойствах странных частиц и их взаимодействиях. Кроме того, накопление экспериментальных данных о взаимодействиях элементарных частиц привело к открытию в 1960-61 годах неизвестной ранее группы частиц-резонансов. Характерной чертой резонансов является их малое время жизни ($\tau = 10^{-22} - 10^{-23}$ сек). В настоящее время число открытых резонансов уже значительно превышает число элементарных частиц. В связи с этим возникает ряд принципиальных вопросов о природе всех частиц. В этой ситуации необходимо дальнейшее накопление экспериментальных данных о наиболее важных свойствах реакций с участием сильно взаимодействующих частиц, и, в частности, поиски и изучение новых резонансов.

Образованию странных частиц в π^-p -взаимодействия в области энергий вблизи порога и значительно выше пороговых посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ (см., например, ^{1,2/}). Наиболее подробно свойства странных частиц изучены вблизи порога их образования (см., например, ^{3/}). При этих энергиях основную долю составляют такие реакции, в которых странные частицы образуются без π -мезонного сопровождения.

Образование странных частиц в π^-p -взаимодействиях при высоких энергиях впервые исследовалось в Дубне ^{4/}, а несколько позже - в ЦЕРН ^{5/}. Этими работами

было показано, что с ростом энергии первичной частицы основные характеристики образования странных частиц изменяются. Например, странные частицы рождаются, как правило, в сопровождении большого количества π -мезонов; сечение образования K^0 -мезонных пар быстро растет и при энергии $\approx 6-7$ Гэв становится сравнимым с сечением образования ΛK^0 -пар; в системе центра масс π^+p барионы в основном сохраняют направление своего первоначального движения, а K -мезоны - направление движения первичной частицы и т.д.

В настоящее время нет еще теорий сильных взаимодействий элементарных частиц, которая бы удовлетворительно описывала процессы образования этих частиц и различные особенности их взаимодействий. Большинство имеющихся теорий носят полуфеноменологический характер и ни одна из них не описывает всей совокупности экспериментальных данных. Вот почему и сейчас имеет большое значение получение новых экспериментальных фактов в области физики высоких энергий.

Целью работ, положенных в основу настоящей диссертации, было получение новой информации о механизме образования странных частиц в π^+p -взаимодействиях при различных значениях импульса (4,0; 6,8 и 8,0 Гэв/с), а также поиск резонансов, в распадах которых участвуют странные частицы и u -кванты.

В отличие от экспериментов, в которых процессы образования странных частиц исследовались путем изучения "одиночных" Λ -гиперонов и K^0 -мезонов, в настоящей работе рассматривались события, в которых одновременно регистрировались две (и более) странные частицы. Это позволило получить ряд важных результатов, которые не были известны ранее.

Основные работы, которые вошли в диссертацию, были выполнены в течение 1959-1966 годов.

Диссертация состоит из четырех глав. Каждой теме предпослано свое самостоятельное введение, в котором дан краткий анализ экспериментальных и теоретических результатов.

В первой главе описывается конструкция и рабочие параметры 24-литровой пропановой пузырьковой камеры /8/, с помощью которой производились опыты, а также подробно обсуждаются возможные ошибки и определяются точности измеряемых в камере величин. Камера облучалась в пучках π^- -мезонов с импульсами 4,0; 6,8 и 8,0 Гэв/с /7,8/. В таблице 1 приведены основные величины, характеризующие пучки триплетных π^- -мезонов, магнитное поле в рабочем объеме камеры и количество фотографий, использованных для анализа.

Т а б л и ц а 1

$P \pm \Delta P$ /Гэв/с/	$N \pm \Delta N$ /э/	Число кадров
$4,00 \pm 0,08$	14400 ± 430	120000
$6,8 \pm 0,8$	13700 ± 410	14000
$8,0 \pm 0,8$	--	48000

Был проведен анализ реальной точности измерения и ее влияния на получение окончательных результатов. Показано, что нет систематически неучитываемых искажений в камере и нет систематических ошибок в измерениях координат, импульсов и углов. Средняя квадратичная ошибка в измерении координат равна 0,08 мм по оси X , 0,19 мм по оси Y и 0,5 мм по оси Z ; в измерении углов - $34'$ (при длине треков более 5 см); в измерении импульсов - (8-12 %) в основном из-за многократного рассеяния).

Во второй главе обсуждаются вопросы методики обработки и идентификации отобранных для изучения событий. Просмотр фотографий производился на стереолупах и репродукторах, как минимум, дважды. В некоторых случаях пленки просматривались три-четыре раза. Средняя эффективность двукратного просмотра равнялась $(0,86 \pm 0,05)$, а трехкратного - $(0,94 \pm 0,03)$. Измерения производились на микроскопах УИМ-21, либо на полуавтоматах измерительной группы ЛВЭ. На треке измерялось от 6 до 20 точек. Обсчет всех отобранных и измеренных событий производился сначала на электронно-счетных машинах "Урал-1" и "Киев", а позднее - на "М-20".

Исследуемые V^0 -частицы были идентифицированы по кинематике с применением метода χ^2 . Для идентификации дополнительно привлекались и другие методы: измерение ионизации, измерение импульсов δ -электронов, если они были на следах заряженных частиц, анализ взаимодействий вторичных положительных частиц от V^0 -распадов.

Выделение отдельных каналов реакций при импульсе 4,0 Гэв/с производилось по методу χ^2 с помощью fit-программы. Результаты анализа по fit-программе всех исследуемых событий дали следующее: - 40% событий удовлетворяли только одной гипотезе, имелось - 50% событий, которые не были разделены, т.е. с равной вероятностью проходили две-три и более гипотез, около 10% событий удовлетворяли реакциям с недостающей массой, величина которой равнялась более чем одной нейтральной частице. В дальнейшем все события, которые удовлетворяли с равной вероятностью двум и более гипотезам, подвергались подробному изучению. Для разделения каналов реакций в этой группе использовались данные ионизационных измерений и визуальная картина распадов заряженных частиц в камере. Это позволило дополнительно уменьшить некоторое количество неразделенных случаев.

В третьей главе изложены результаты экспериментов по изучению образования странных частиц в π^-p -взаимодействиях с импульсом 4,0; 6,8 и 8,0 Гэв/с и обсуждаются поправки, которые необходимо ввести для определения сечений их генерации.

Найдено, что при импульсе 6,8 - 8,0 Гэв/с сечения образования ΛK^0 -пар и $K^0 K^{\pm}$ пар равны $(0,49 \pm 0,06)$ мб и $(0,52 \pm 0,09)$ мб соответственно.

Определяется величина средней множественности заряженных пионов, образующихся вместе с ΛK^- и $K\bar{K}$ -парами. В таблице 2 приведены экспериментальные значения этой величины в зависимости от импульса налетающей частицы.

Т а б л и ц а 2

\bar{n}_\pm / p (Гэв/с)	4,0	6,8 - 8,0
ΛK^0	$1,15 \pm 0,07$	$1,6 \pm 0,2$
$K^0 K^0$	$1,64 \pm 0,08$	$1,7 \pm 0,3$
$K^0 K^\pm$	$1,27 \pm 0,09$	$2,78 \pm 0,3$

Обсуждаются импульсные и угловые характеристики странных частиц и π^- -мезонов, сопровождающих их образование. Установлено, что при рассматриваемых энергиях барионы в системе центра масс π^-p стремятся сохранить направление своего первоначального движения, в то время как K^- -мезоны сохраняют направление движения первичной частицы. Импульсные и угловые распределения Λ -гиперонов и K^- -мезонов зависят от множественности заряженных частиц, образовавшихся вместе со странными частицами. Дается сравнение экспериментальных данных с расчетами по некоторым феноменологическим моделям. Получено, что наблюдающийся характер импульсных и угловых распределений в системе центра масс π^-p для барионов и K^- -мезонов можно качественно объяснить подходящей смесью вариантов периферических диаграмм, в которых обменной частицей является бозон.

Изучены распределения по четырехмерному переданному импульсу Δ от нуклона - Λ -гиперону. Установлено, что доля реакций, в которых Λ -гипероны имеют $\Delta < 800$ Мэв/с, равна $\approx 30\%$ от всех событий и остается постоянной в широком интервале энергий первичного π^- -мезона. Эти реакции характеризуются малой множественностью заряженных пионов ($\bar{n}_\pm = 0$ или 2), сильной асимметрией угловых распределений Λ -гиперонов и K^- -мезонов в системе центра масс π^-p и большой величиной импульса этих частиц в той же системе координат. Установлено также,

что имеется - 20% событий, в которых Λ -гипероны вылетают вперед в системе центра масс π^+ относительно направления движения первичной частицы, а K^- -мезоны - произвольно. Эти реакции характеризуются большой величиной четырехмерного переданного импульса $\Delta > 1200$ Мэв/с, большой множественностью заряженных пионов ($\bar{n}_+ > 2$) и малой величиной импульса Λ -гиперонов и K^- -мезонов в системе центра масс π^+ . Интересно отметить, что эта доля событий также остается постоянной в широком интервале импульсов первичной частицы. Остальная часть реакций с образованием ΛK^- -пар имеет величину четырехмерного переданного импульса в пределах $800 \text{ Мэв/с} > \Delta > 1200 \text{ Мэв/с}$ и характеризуется промежуточными значениями величин, описывающих свойства ΛK^- -пар.

На основе изучения ΛK^0 -пар при импульсе 6,8-8,0 Гэв/с построено угловое распределение плоскостей рождения Λ -гиперонов относительно плоскости рождения K^0 -мезонов. Коэффициент асимметрии ($A = 0,07 \pm 0,12$) говорит об отсутствии асимметрии в этом распределении, что, в свою очередь, указывает на сохранение пространственной четности в сильных взаимодействиях с участием странных частиц ^{/9/}.

Обсуждается вопрос об образовании странных частиц в $\pi^- C$ -взаимодействиях при импульсе 6,8 и 8,0 Гэв/с. Найдено, что сечение образования ΛK^0 и $K^0 K^+$ -пар, образующихся в этих взаимодействиях, равно $(4,2 \pm 0,6)$ мб и $(1,9 \pm 0,5)$ мб соответственно. Доля Λ -гиперонов, образующихся во вторичных процессах, от всех Λ -частиц, выходящих из ядра углерода, составляет около (30-40)%. В этой же главе дается описание Σ^- -гиперона (см. рис. 1), впервые обнаруженного в марте 1960 года.

В четвертой главе приводятся результаты поиска резонансов, в распаде которых участвуют странные частицы и γ -кванты.

Полученные данные подтверждают существование резонанса с массой ≈ 1700 Мэв, распадающегося на Λ -гиперон и K^0 -мезон. Этот резонанс был предсказан теоретически в работе ^{/10/} и впервые обнаружен экспериментально в работе ^{/11/}. Из вида угловых распределений Λ -гиперонов, взятых из области резонанса, в системе покоя ΛK^0 -пары следует, что возможное значение спина равно 1/2.

Доказывается существование резонанса в системе двух K^0 -мезонов. В настоящее время этот резонанс подтвержден во многих других работах ^{/12/}. Масса резонанса равна (1060 ± 30) Мэв.

Далее, в этом же разделе приводятся экспериментальные доказательства существования нового резонанса с массой ≈ 1680 Мэв, распадающегося на Λ -гиперон и η^0 -мезон. Этот резонанс предсказан Б.Л. Иоффе ^{/13/} на основе анализа поведения хода сечения рождения η^0 -мезона в реакции $K^- p \rightarrow \Lambda \eta^0$.

$\Lambda \eta^0$ - резонанс обнаружен на основе анализа событий, в которых совместно с Λ -гипероном наблюдалась хотя бы одна электрон-позитронная пара от конверсии γ -квантов, генерируемых в том же взаимодействии. Распределение по эффективным массам комбинаций Λ -гиперонов и γ -квантов (см. рис. 2) характеризуется двумя максимумами. Показывается, что первый максимум в области $M_{\Lambda\gamma} = (1150-1200)$ Мэв обязан своим происхождением Σ^0 -гиперону, а второй, в области $M_{\Lambda\gamma} = (1300-1400)$ Мэв, послужил указанием на образование нового резонанса $\Lambda \eta^0$ с массой 1680 Мэв. Приводятся доказательства того, что второй пик нельзя объяснить кинематическим отражением известных уже гиперонных резонансов в распределении по эффективным массам $\Lambda + \gamma$ -комбинаций. В пользу существования $\Lambda \eta^0$ -резонанса говорит также импульсное распределение γ -квантов, взятых из области $M_{\Lambda\gamma} = (1300-1400)$ Мэв, в лабораторной системе координат. Оно отличается от распределений γ -квантов, полученных при распаде π^0 -мезонов и Σ^0 -гиперонов, и не противоречит ожидаемому импульсному распределению γ -квантов от распада η^0 -мезона. Угловое распределение Λ -гиперонов из области второго пика в распределении $M_{\Lambda\gamma}$ в системе покоя $\Lambda \eta^0$, пересчитанного в систему покоя $\Lambda\gamma$, указывает на то, что спин этого резонанса, по видимому, равен $1/2$ (см. рис. 3). Существование $\Lambda \eta^0$ -резонанса позже было подтверждено группой американских физиков другим методом ^{14/}.

Приводятся результаты поиска радиационных каналов распада резонансов с участием K^0 -мезонов. Показывается, что наблюдаемый пик в распределении эффективной массы $M_{K\gamma}$ в области K^* (730)-резонанса можно объяснить кинематическим отражением резонанса K^* с массой 890 Мэв.

Основные выводы диссертации

1. Установлено, что с увеличением импульса первичного π^- -мезона сечение рождения K^0 -мезонных пар быстро растет по отношению к сечению образования ΛK^0 -пар.
2. Впервые экспериментально установлен факт множественного образования странных частиц. Сечение образования более чем двух странных частиц найдено равным ~ 10 мкб.
3. Впервые наблюдалось рождение заряженного антигиперона - $\bar{\Sigma}^-$.
4. Показано, что реакции с образованием ΛK и $\bar{K} K$ -пар при рассматриваемых импульсах в основном являются многочастичными. Средняя множественность заряженных частиц, образующихся вместе со странными частицами, заметно меньше их множественности во взаимодействиях без образования странных частиц.

5. Установлено, что в π^-p -взаимодействиях при высоких энергиях барионы в системе центра масс стремятся сохранить направление своего первоначального движения, в то время как K^- -мезоны, в основном, сохраняют направление движения первичного π^- -мезона.

6. Показано, что при переходе от одного канала реакций (с малым числом частиц) к другому (с большим числом частиц) вид импульсных и угловых распределений барионов и K^- -мезонов меняется. В угловых распределениях появляется доля событий, у которых частицы вылетают равновероятно в разные стороны относительно направления первичной, а импульсные распределения характеризуются большим числом частиц с малыми значениями импульса в системе центра масс π^-p .

7. Изучены распределения по четырехмерному переданному импульсу Δ от пуклона Λ -гиперону. Установлено, что имеется две группы реакций с образованием ΛK^- -пар, имеющих значения $\Delta < 800$ Мэв/с и $\Delta > 1200$ Мэв/с, доля которых в общем числе событий равна $\approx 30\%$ и $\approx 20\%$ соответственно и остается постоянной в широком интервале энергий первичного π^- -мезона.

8. Сравнение экспериментальных данных по образованию странных частиц в π^-p -взаимодействиях при рассматриваемых энергиях с теоретическими кривыми, рассчитанными по периферической модели с одночастичным обменом, указывает на то, что основной вклад в образование ΛK^- -пар вносят диаграммы, в которых обменной частицей является странная частица, а при образовании KK^- -пар — π^- -мезон.

9. Статистическая модель непригодна для объяснения экспериментальных результатов по образованию странных частиц в π^-p -взаимодействиях при рассматриваемых энергиях, с ее помощью удается получить лишь средние величины, характеризующие данный процесс.

10. При изучении спектра эффективных масс Λ - и K^0 -частиц получено подтверждение существования резонанса с массой ≈ 1700 Мэв.

11. Впервые установлен факт существования резонанса, распадающегося на два K^0 -мезона и имеющего массу (1060 ± 30) Мэв.

12. Впервые экспериментально установлен факт существования резонанса, распадающегося на Λ -гиперон и η^0 -мезон. Масса этого резонанса равна ≈ 1680 Мэв, изотопический спин $T=0$, спин $J=\frac{1}{2}$.

Основные данные, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах /4,8,15-26/.

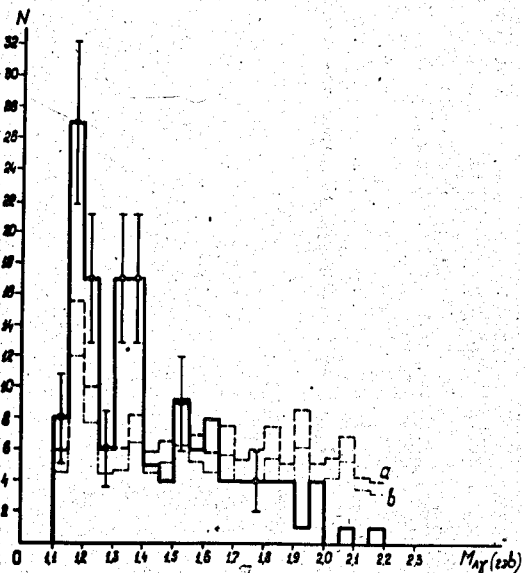
Л и т е р а т у р а

1. L. Bertraza, B.B. Calwick, K.W. Lai, I.S. Mitra, N.P. Samios, A.M. Thorndike, S.S. Yamamoto, R.M. Lea. Phys. Rev., 130 (1963).
2. D.H. Miller XII Intern. Conf. on High Energy Phys., v. 1, p. 737.
3. S. Wolf, N. Schmitz, L. Lloyd, W. Lasker, F. Crawford, J. Button, J. Anderson, G. Alexander. Rev. Mod. Phys. 33, 439 (1961).
4. Ван Ган-чан, Ван Цу-зен, В.И. Векслер, И. Врана, Дян Да-цао, В.Г. Иванов, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Соловьев. ЖЭТФ, 40, 7323 (1961).
5. T. Bartke, R. Budde, W.A. Cooper, H. Filthuth et al. Proc. of the 1960 Ann. Intern. Conf. on High Energy Phys. at Rochester, p. 402.
6. Ван Ган-чан, М.И. Соловьев, Ю.Н. Шкобин. ПТЭ, 1, 41 (1959).
7. М.И. Соловьев. Диссертация ОИЯИ, Дубна 1964.
8. Ким Хи Ин, А.А. Кузнецов, В.В. Миллер. Препринт ОИЯИ 2092, Дубна 1965.
9. В.Г. Соловьев. ДАН 129, 68 (1959).
10. А.И. Базь, В.Г. Вахс, А.И. Ларкин. ЖЭТФ, 43, №166 (1962).
11. Е.В. Кузнецов, Е.П. Кузнецов, Я.Я. Шаламов, А.Ф. Грашин. ЖЭТФ, 42, 1675 (1962).
12. В.М. Шехтер. "Теоретическая физика и физика элементарных частиц". Москва, 1965 (см. ссылки на стр. 48).
13. Б.Л. Иоффе. ЖЭТФ, 43, 341 (1962).
14. D. Berley, P.L. Connolly, E.L. Hart, D.C. Rahen, D.L. Stonehill, B. Thevenet, W.J. Willis, S.S. Yamamoto. Phys. Rev. Lett., 15, 641 (1965).
15. Ван Ган-чан, Ван Цу-зен, В.И. Векслер, Н.М. Вирясов, И. Врана, Дян Да-цао, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, А. Михул, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Соловьев. ЖЭТФ, 38 (1960).
16. Ван Ган-чан, Ван Цу-зен, В.И. Векслер, И. Врана, Дян Да-цао, В.Г. Иванов, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Соловьев, Т. Хофмохль, Чен Лин-янь, ЖЭТФ, 39, (1960).
17. М.И. Соловьев. Труды X Международной конференции по физике высоких энергий, Рочестер, 1960, 1960 г. стр. 388.
18. В.И. Векслер, И. Врана, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, А. Михул, Э. Михул, Нгуен Дин Ты, В.П. Пенев, М.И. Соловьев, Т. Хофмохль, Чен Лин-янь. Препринт ОИЯИ Д-808, Дубна 1961.
19. В.И. Векслер, Н.М. Вирясов, И. Врана, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, М.И. Соловьев, Т. Хофмохль. Отчет ОИЯИ, Б-2-1133, Дубна 1961.
20. Ван Юн-чан, В.И. Векслер, Ду Юань-пай, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, А. Михул, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, Е.С. Соколова, М.И. Соловьев. ЖЭТФ, 43, 818 (1962).
21. В.И. Векслер, Н.М. Вирясов, И. Врана, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, М.И. Соловьев, Т. Хофмохль, Чен Лин-янь. ЖЭТФ, 44, 84 (1963).

22. В.А. Беляков, Ван Юн-чан, В.И. Векслер, Н.М. Вирясов, И. Врана, Ду Юань-пай, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, Э. Михул, А. Михул, Нгуен Дин Ты, И. Патера, В.Н. Пенев, Е.С. Соколова, М.И. Соловьев, Т. Хофмокль, Чен Лин-янь. ЖЭТФ, 44, 431 (1963).
23. В.А. Беляков, А.В. Бояджиев, Ван Юн-чан, В.И. Векслер, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, А.А. Кузнецов, В.М. Мальцев, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, М.И. Соловьев. ЖЭТФ, 48, 1586 (1964).
24. Ван Юн-чан, Ким Хи Ин, Е.Н. Кладницкая, Г.И. Коцылов, А.А. Кузнецов, Н.Н. Мельникова, Нгуен Дин Ты, Е.С. Соколова. Препринт ОИЯИ Р-1815, Дубна 1964.
25. Б.П. Банник, Ким Хи Ин, А.А. Кузнецов, Н.Н. Мельникова, Б. Чадраа. Препринт ОИЯИ 2617, Дубна 1966.
26. Б.П. Банник, Э.Г. Бубелев, Ким Хи Ин, А.А. Кузнецов, Н.Н. Мельникова, Г.Л. Резвая, Б. Чадраа, А. Михул, Т. Понта, Д. Мумуяну, В. Балит. XII Международная конференция по физике высоких энергий, Дубна, 1964, т. 1, стр. 682.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июня 1966 г.

а)



б)

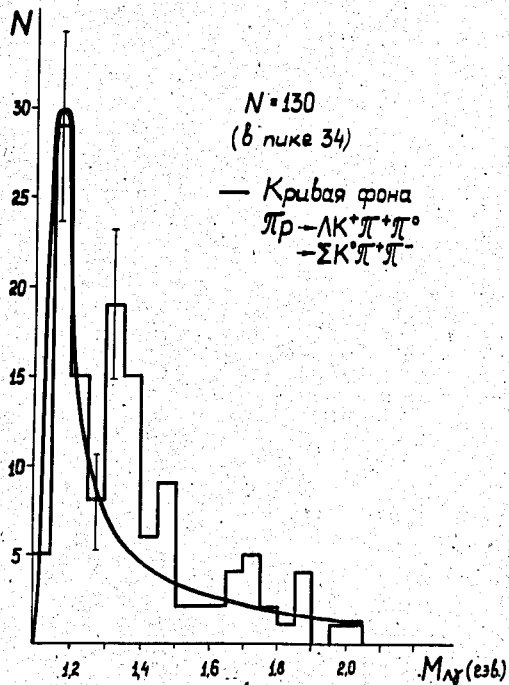


Рис. 2. Гистограммы эффективных масс $\Lambda + \gamma$ -комбинаций, полученные в экспериментах при импульсах
а) 7-8 Гэв/с и б) 4,0 Гэв/с.

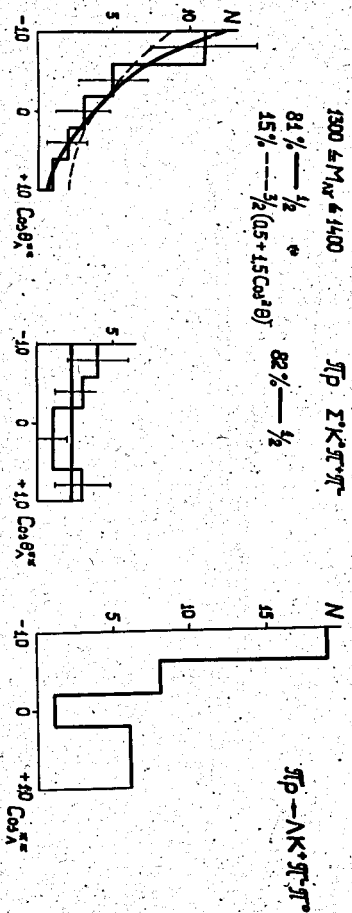


Рис. 3. Угловое распределение Δ -триполюсов в системе полюс $\Delta \gamma$.