

ФР-739



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 6881

ФЛЯГИН
Владимир Борисович

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССОВ
РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук С.Я. Никитин,
доктор физико-математических наук С.С. Герштейн,
доктор физико-математических наук М.И. Соловьев.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, г. Москва.

Автореферат разослан "15" сент. 1973 года.

Защита диссертации состоится "15" сент. 1973 года
в 11 час. на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных исследова-
ний, г. Дубна, Московской области, Лаборатория ядерных
проблем ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических
наук

Ю.А. Батусов

1 - 6881

ФЛЯГИН
Владимир Борисович

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССОВ
РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке).



Открытие частиц, впоследствии получивших название "странных", послужило мощным толчком для развития всей физики элементарных частиц.

Исследование процессов образования и распада странных частиц, определение их квантовых чисел, а также открытие и изучение новых состояний адронов — так называемых "резонансов" — позволило к концу 60-х годов накопить огромный экспериментальный материал, осмыслить который удалось только в 1961 г., когда Гелл-Манн и Нееман предложили свой "восьмеричный путь".

В основе новой систематики частиц лежит идея объединения всех состояний адронов в супермультиплеты, описываемые представлениями группы симметрии SU_3 . Важным достижением теории явилось установление массовых формул, связывающих массы частиц, входящих в унитарный мультиплет. Триумфом унитарной симметрии, как известно, явилось открытие Ω — гиперона, масса которого была заранее предсказана теорией.

Постепенно, однако, стало вырисовываться то примечательное обстоятельство, что все твердо установленные состояния адронов имеют квантовые числа, ограниченные простейшими представлениями SU_3 . Этот экспериментальный результат хорошо объясняется моделью кварков, предложенной Гелл-Манном и Цвейгом в 1964 г. Несмотря на достигнутые успехи, эта модель встречает целый ряд трудностей, главной из которых является дробный заряд кварков.

Неудовлетворенность простой кварковой моделью вызвала целый ряд теоретических построений, оперирующих с двумя или даже с тре-

мя фундаментальными мультиплетами. На этом пути удается ликвидировать дробность заряда фундаментальных частиц и преодолеть некоторые другие трудности простой модели кварков.

С другой стороны, состояние экспериментальных данных таково, что не позволяет сделать выбор между многочисленными возможностями составных моделей с числом фундаментальных частиц, большим трех, и отбросить, как несостоятельную, "наивную" модель кварков.

Поэтому, наряду с экспериментами по поиску фундаментальных частиц, эксперименты, связанные с вопросами классификации элементарных частиц, имеют первостепенное значение для построения будущей теории.

Основной круг проблем, рассматриваемых в диссертации, охватывает ряд процессов образования и распада странных частиц. Большинство экспериментов непосредственно затрагивает важные вопросы классификации элементарных частиц.

Исследованию подобных процессов посвящено большое число экспериментов; в то же время довольно обширный класс реакций остается малоизученным.

Так, практически нет данных о сечениях и других характеристиках реакций, в которых образуются нейтральные странные частицы K^0 , \bar{K}^0 , Λ , Σ^0 в сопровождении нескольких (иногда всего лишь одного) P^0 -мезонов. Недостаточно изучены свойства распада Ξ^0 -гиперона ($\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \bar{K}^0$), а его масса прямым способом определена фактически на основании одного хорошо измеренного события^{/I/}. Недостаточно исследованы нейтральные каналы распада странных адронных состояний.

Использование методики больших пузырьковых камер, заполняемых "тяжелой" жидкостью, позволило нам провести целый ряд исследова-

ований, практически недоступных для водородных камер, и получить новые сведения об указанных выше процессах.

Материалы, вошедшие в диссертацию, получены автором в 1964-1972 гг. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ совместно с группой сотрудников, работающих на метровой пропановой камере под общим руководством члена-корреспондента АН СССР В.П. Желепова, и в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) вместе с сотрудниками отдела камер с тяжелыми жидкостями (ТСЛ).

В последнем случае статистический материал был получен в экспериментах на 1,4 м. фреон-пропановой камере Резерфордской Лаборатории (RHEL) и Лондонского университетского колледжа (UCL).

Все работы, на основе которых написана диссертация, опубликованы в советских и зарубежных физических журналах или изданы в виде препринтов или сообщений ОИЯИ и ЦЕРН^{/2-29/}.

Основные результаты были доложены на международных конференциях по физике высоких энергий в Вене (1968), Киеве (1970) и Дубне (1970).

Диссертация состоит из 2-х частей.

В первой части (главы I-III) рассматриваются эксперименты, направленные на исследование процессов множественного совместного образования странных и обычных частиц и некоторые поисковые эксперименты. Эти опыты выполнены на пучке P^- -мезонов с импульсом 5 Гэв/с.

Вторая часть (главы IV-VI), в основном, посвящена исследованию свойств Ξ^- -гиперонов. В этом случае был использован пучок K^- -мезонов с импульсом 2 Гэв/с.

Часть I

В первой главе диссертации приводится описание установки с I-метровой пропан-фреоновой камерой^{/2-9/}(рис.1), включающей в себя:

- 1) собственно камеру с рабочим объемом 200 л ($40 \times 50 \times 100 \text{ см}^3$);
- 2) электромагнит с напряженностью магнитного поля в центре полезного объема камеры 17 000 гаусс;
- 3) систему обслуживания камеры: пульт управления, систему разогрева и термостатирования, систему очистки и заполнения камеры рабочей жидкостью;
- 4) магнитный канал, формирующий пучок Π^- -мезонов с импульсом $P_{\Pi} = 5$ Гэв/с и шириной распределения по импульсам $\Delta P_{\Pi} = \pm 2\%$.

Установка успешно эксплуатировалась в течение 9 лет. В общей сложности на ней было получено около 500 тыс. фотографий. В момент запуска камеры и долгое время спустя она являлась самой крупной в Советском Союзе пузырьковой камерой с тяжелой жидкостью, работавшей в магнитном поле.

Вторая глава посвящена вопросам обработки фотографий с I-метровой пропан-фреоновой камерой^{/10-15/}.

Схема обработки включает в себя три этапа (§ I):

- 1) просмотр фотографий и отбор событий, удовлетворяющих топологии исследуемых реакций;
- 2) измерения, выполняемые в данном случае с помощью измерительных полуавтоматов ПУОС-I, связанных (on line) с вычислительной машиной Минск-22 (система "Трек");
- 3) геометрическую реконструкцию событий, определение кинематических параметров частиц и идентификацию каналов реакций, выполняемых на вычислительной машине БЭСМ-4.

§ § 2-4 этой главы посвящены описанию контрольных опытов, позволяющих вынести определенные количественные заключения о точностях, получаемых с помощью разработанной методики. В таблице I

Таблица I

Результаты контрольных опытов

Распадающиеся частицы	Ширины распределений Мэв/с ²	Средние значения эффект. масс Мэв/с ²	Табличные значения /I/ Мэв/с ²
$\Lambda \rightarrow p \bar{\pi}^-$	$9,6 \pm 1,0$	$1115,4 \pm 0,9$	$1115,6 \pm 0,08$
$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	28 ± 2	497 ± 2	$497,76 \pm 0,16$
$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$	$33,0 \pm 2,1$	1191 ± 2	$1192,46 \pm 0,12$
$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$	$14,2 \pm 0,4$	$135,5 \pm 0,6$	$134,975 \pm 0,015$

приведены значения масс нейтральных частиц, полученные в этих опытах. Наши данные хорошо согласуются с известными мировыми средними^{/I/}, что свидетельствует об отсутствии заметных систематических погрешностей при определении параметров треков частиц.

В главе III излагается содержание и результаты экспериментов^{/16-24/}, основанных на обработке 230 000 фотографий. Фотографии получены на пучке Π^- -мезонов 5 Гэв/с; камера заполнялась чистым пропаном (C_3H_8).

В § 3.1 данной главы определено нормировочное сечение одного события на свободном протоне $\sigma_0 = (0,27 \pm 0,02)$ мкб/соб. Попутно получено полное сечение взаимодействия Π^- -мезонов с ядром углерода: $\sigma_c = (240 \pm 16)$ мкб, согласующееся с общей зависимостью σ_c от энергии^{/16/}.

§ 3.2 и § 3.3 посвящены определению сечений образования Λ , Σ^0 -гиперонов и K^0 -мезонов совместно с Π^0 -мезонами^{/19,21/}.

Таблица 2

Сечения реакций $\Pi^- p \rightarrow$ конечное состояние (в мкб)

Конечные состояния	Импульс Σ^- -мезонов (Гэв/с)		
	4,16/30/	5,0/31/	5,1 данная работа
$K^+ \Sigma^- \Lambda$	88 ± 11	$64,5 \pm 7,5$	$50,0 \pm 7,9$
$K^+ \Sigma^- \Sigma^0$	32 ± 5	$31,0 \pm 4,6$	$31,0 \pm 11,7$
$K^+ \Sigma^- \Lambda \Sigma^0$	108 ± 12	$131,0 \pm 11,7$	$84,9 \pm 8,4$
$K^+ \Sigma^- \Sigma^0 \Sigma^0$			$31,5 \pm 7,4$
$K^+ \Sigma^- \Lambda \Sigma^0 \Sigma^0$			$24,5 \pm 6,0$
$\Sigma^- \Sigma^- \Lambda K^0$	96 ± 10	$117,0 \pm 12,6$	$63,6 \pm 7,4$
$\Sigma^- \Sigma^- \Sigma^0 K^0$	46 ± 11		$65,6 \pm 16,4$
$\Sigma^- \Sigma^- \Lambda K^0 \Sigma^0$	70 ± 11	$109,3 \pm 15,5$	$82,8 \pm 11,0$
$\Sigma^- \Sigma^- \Sigma^0 K^0 \Sigma^0$			$46,0 \pm 13,1$
$\Sigma^- \Sigma^- \Lambda K^0 \Sigma^0 \Sigma^0$			$24,4 \pm 8,4$
ΛK^0	49 ± 9	$61,3 \pm 7,0$	26 ± 8
$\Sigma^0 K^0$	42 ± 8	$44,9 \pm 7,1$	17 ± 7
$\Lambda K^0 \Sigma^0$	68 ± 15	$75,4 \pm 12,9$	72 ± 16
$\Sigma^0 K^0 \Sigma^0$			38 ± 14
$\Lambda / \Sigma^0 K^0 K^0$			38 ± 26
$n K^0 \bar{K}^0$	128 ± 24	$88,8 \pm 20,4$	71 ± 18
$n K^0 \bar{K}^0 \Sigma^0$			84 ± 18
$n \Lambda \bar{\Lambda}$			$2,3 \pm 1,5$
$p K^0 \bar{K}^0 \Sigma^-$	72 ± 20	$41,8 \pm 4,8$	21 ± 9
$p K^0 \bar{K}^0 \Sigma^- \Sigma^-$	20 ± 9		7 ± 7
$n K^0 \bar{K}^0 \Sigma^- \Sigma^-$		$60,8 \pm 13,2$	55 ± 15

Здесь достаточно подробно рассмотрена вся процедура обработки событий, в том числе используемые критерии отбора и все необходимые поправки. Подавляющая часть этой процедуры является общей для всех экспериментов, выполненных на 1-метровой камере.

Определение сечений выполнено двумя различными методами, которые дали совпадающие в пределах ошибок результаты.

Полученные данные приведены в таблице 2. Для сравнения в ней приведены сечения тех же процессов при близких энергиях, известные из литературы^{/30,31/}. Как видно из таблицы, нам впервые удалось отдельно (относительно Λ и Σ^0) определить сечения реакций:

$$\Pi^- p \rightarrow K^+ \Pi^- \Sigma^- \Pi^0 \quad \text{и} \quad \Pi^- p \rightarrow \Pi^+ \Pi^- \Sigma^0 K^0 \Pi^0.$$

Также впервые определены сечения каналов реакций:

$$\Pi^- p \rightarrow K^+ \Pi^- \Lambda \Pi^0 \Pi^0, \quad \Pi^- p \rightarrow \Pi^+ \Pi^- \Lambda K^0 \Pi^0 \Pi^0 \quad \text{и} \\ \Pi^- p \rightarrow (\Lambda / \Sigma^0) K^0 K^0 \bar{K}^0.$$

Сравнение полученных данных с результатами других работ в широком диапазоне энергий показывает, что парциальные сечения резко возрастают с увеличением фазового объема в околороговой области, достигая максимума при энергиях 2-3 Гэв, и затем плавно уменьшаются.

Расчеты, выполненные с использованием полученных здесь результатов, показывают^{/32,33/}, что зависимость сечений от энергии в области выше 2 Гэв, а также другие характеристики неупругих процессов, таких, например, как $\Pi^- p \rightarrow \Lambda K^0 \Pi^0$, $\Pi^- p \rightarrow \Sigma^0 K^0 \Pi^0$ и др., хорошо описываются в рамках обобщенной модели Венециано.

В § 3.4. представлены результаты исследования образования четырех странных частиц в каскадных процессах, вызванных столкновениями Π^- -мезонов с ядрами углерода^{/20/}. Сведения об этих ред-

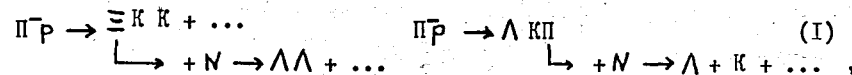
Таблица 3
Сечения реакций $\bar{P} + C^{12} \rightarrow$ конечное состояние

Конечные регистрируемые состояния	ожд. каскад с нормир.	ожд. каскад	ожд. полное	эксперимент	мкб*
$\Lambda \Lambda K^0 K^0$	1	0,1	1,1	0	-
$\Lambda \Lambda K^0(0)$	4	0,2	4,2	2	$17,8 \pm 12,5$
$\Lambda \Lambda K^0 K^+$	2	1	3	2	$17,8 \pm 12,5$
$\Lambda \Lambda(+, 0)$	4	3	7	7	$21,3 \pm 8,0$
$\Lambda \Lambda(+, +)$	4	1	5	2	$6,1 \pm 4,3$
$\Lambda \Lambda(0, 0)$	4	0,5	4,5	19	$58,1 \pm 13,3$
$\Lambda \Lambda + \dots$ полн.			25	32	$98,1 \pm 17,3$
$\Lambda K^0 K^0 \bar{K}^0$	0,5	-	0,5	1	$\sim 49,6$
$\Lambda K^0 K^0(0)$	4	0,1	4,1	5	$85,0 \pm 38,1$
$\Lambda K^0 \bar{K}^0 K^+$	1	-	1	2	$33,9 \pm 24,0$
$\Lambda \Sigma^+ K^0(0)$	1	-	1	1	$\sim 5,9$
$\Lambda \Sigma^- K^0(0)$	2	-	2	0	-
$\Lambda K^0 K^0 K^-$	1	-	1	1	$\sim 17,0$
$K^0 K^0 \bar{K}^0 \bar{K}^0$	0,1	-	0,1	0	-
$K^0 K^0 \bar{K}^0(0)$	1		1	1	$\sim 32,2$

* При вычислении сечений: 1) не вводилось поправки на незарегистрированные частицы; 2) указаны только статистические погрешности; 3) $G_0 = 0,744$ мкб/событие (без учета эффективности регистрации).

Обозначения: (0) - не зарегистрирован K^0 -мезон;
(+) - не зарегистрирован K^+ -мезон.

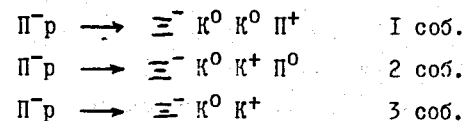
ких процессах в настоящее время практически отсутствуют. Полученные данные приведены в табл.3. Оценки числа ожидаемых событий, выполненные для каскадных цепочек



помещены во 2-ой и 3-й колонках таблицы 3. Видно, что вторая цепочка играет в данном случае преобладающую роль.

Приведенные результаты показывают, что процессы с образованием 4-х странных частиц при взаимодействии \bar{P} -мезонов 5 Гэв/с с ядрами начинают играть заметную роль. Дальнейшее исследование таких процессов может дать сведения как о развитии внутриядерного каскада, так и о взаимодействии гиперонов с нуклонами.

Оценка сечения рождения Ξ^- - гиперонов в \bar{P} -р-взаимодействиях выполнена [2,3] на основании 6 наблюдаемых событий (§ 3.5). Для всех 6 событий каналы реакций идентифицированы однозначно:



Суммированное сечение образования Ξ^- - гиперонов в этих каналах равно: $G_{\Xi^-} = (2,9 \pm 1,8) \text{ мкб.}$

§ 3.6 посвящен исследованию спектра эффективных масс Λ -гиперонов и Υ -квантов ($\Lambda \Upsilon$)/17/.

При просмотре и последующей обработке отбирались события, топология которых не противоречила предположению о том, что взаимодействия происходили на свободных протонах. Спектр эффективных масс изображен на рис.2. Кривая для фона на этом рисунке рассчита-

на методом Монте-Карло с учетом сечений различных каналов реакций, включая реакции, идущие с образованием резонансов. Спектр эффективных масс имеет два максимума - один в области Σ^0 - гиперона, другой в районе масс $1330 \text{ Мэв}/c^2$. Дальнейшая обработка этого спектра показала, что эффект в районе масс $1330 \text{ Мэв}/c^2$ наблюдается на уровне 4-х стандартных отклонений; центр распределения масс во втором пике лежит на значении $(1327 \pm 3,5) \text{ Мэв}/c^2$; ширина пика равна $(20 \pm 4,4) \text{ Мэв}/c^2$, что практически совпадает с разрешающей способностью прибора.

Аналогичные спектры в схожей постановке опытов наблюдались ранее /34,35/, однако авторы этих работ трактовали второй максимум как отражение распада резонанса $Y^*(1670) \rightarrow \Lambda + \eta \rightarrow 2\gamma$.

В нашем случае это объяснение практически отвергается. Вероятность того, что весь наблюдаемый эффект обязан $Y^*(1670)$, составляет $\sim 1\%$. Таким образом, этот узкий пик объясняется распадом нового барионного состояния $\Lambda'(1327) \rightarrow \Lambda + \gamma$. Изотопический спин его должен быть равен нулю, т.к. при изоспине единица наблюдался бы распад $\Lambda'(1327) \rightarrow \Lambda + \pi^0$.

Обсуждение вопроса о существовании $\Lambda'(1327)$ и связанных с этим теоретических предложений вынесено в отдельную главу (гл. VI).

В § 3.7 рассматривается возможность существования нового унитарного октета барионов с $J^P = 1/2^+$. Кандидатами в этот октет являются состояния $\Sigma(1475)$, $\Xi(1630)$, $\Lambda(1327)$ (см. выше) и гипотетическое нуклонное состояние $N' \rightarrow N + \gamma$ /36/.

В нашем эксперименте была сделана попытка обнаружить этот распад. На 90%-ном уровне достоверности установлен верхний предел сечения образования N' в реакции $\pi^- p \rightarrow N' \pi^- + \pi^0$, где $N' \rightarrow p + \gamma$, $k \gg 1$, который равен 70 мкб.

§ 3.8. Совместно с группой 55-см пропановой камеры Лаборатории высоких энергий были выполнены исследования спектра эффективных масс $K_I^0 K_I^0$ - системы, образующейся в π^- -взаимодействиях при $P_{\pi^-} = 4,0$ и $5,0 \text{ Гэв}/c^{24}$.

При изучении спектра масс $K_I^0 K_I^0$ - системы основное внимание было уделено околороговой аномалии - области масс $(0,96-1,12) \text{ Гэв}/c^2$. Существующие экспериментальные данные не дают однозначной интерпретации этому феномену: он может трактоваться либо как проявление изоскалярного S -волнового КК-взаимодействия, которое может быть описано с помощью комплексной длины рассеяния, либо как образование резонанса $S^*(1068) \rightarrow K_I^0 + K_I^0$, с квантовыми числами $J^P = 0^+0^+$. Наши данные лучше согласуются с резонансной интерпретацией околороговой аномалии. Аппроксимация пика формулой Брейт - Вигнера дает следующие значения для массы и ширины резонанса: $M_{S^*} = (1032 \pm 24) \text{ Мэв}/c^2$ и $\Gamma_{S^*} = (40 \pm 20) \text{ Мэв}/c^2$.

Часть II

Глава IV посвящена методике, которая была использована в экспериментах на пучке K^- -мезонов $2,2 \text{ Гэв}/c$.

Здесь коротко представлены данные о пропан-фреоновой камере Резерфордской лаборатории физики высоких энергий (RHEL) и Лондонского университетского колледжа (UCL). Полезный объем камеры - $140 \times 65 \times 45 \text{ см}^3$, магнитное поле в центре - 20 кгс, камера заполнялась смесью бромистого фреона с пропаном, имеющей радиационную длину $X_0 = 30 \text{ см}$.

Сепарированный пучок K^- -мезонов является одним из вторичных пучков, образуемых выведенным пучком протонов ускорителя НИМРОД Резерфордской лаборатории. Примесь пи- и мю-мезонов на входе пучка

в камеру составляет 25-30% (основная доля примеси - мю-мезоны).
Разрешение по импульсу - $\Delta p/p = \pm 0,5\%$.

Для целей эксперимента в этом пучке получено 640 тыс. фотографий со средним числом взаимодействий K^- -мезонов 2,8/кадр. В обработке материала участвовали группы ЦЕРН-а Лондонского университетского колледжа (UCL), Брюссельского университета и Тафтс-Университета (США).

Система обработки фотографий (§ 4.3) не отличается от общепринятой и состоит из трех этапов: просмотр, измерения и обсчет на ЭВМ. Основное отличие используемой при измерениях в ЦЕРН системы программ (DOLL) заключается в том, что после окончания измерений какого-либо события немедленно производится восстановление пространственной картины, включая определение радиуса кривизны треков, и о результатах сообщается оператору.

С целью проверки методики на части фотоматериала была выполнена серия калибровочных опытов, в которых на основании измерений кинематики распадов останавливающихся K^+ -мезонов ($K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$, $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$) было показано, что кинематические параметры всех частиц (включая γ -кванты) определяются в данных экспериментах без каких-либо заметных систематических погрешностей.

В главе V излагаются результаты серии экспериментов /25-29/, выполненных на 1,4 м фреон-пропановой камере (RHEL/UCL).

В § 5.1 рассматривается опыт, в котором выполнены измерения времен жизни и параметров асимметрии (α) распада Ξ -гиперонов /28/. Если все продукты распада Ξ^- -гиперона хорошо видны в водородной камере ($\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$, $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$), то при распаде Ξ^0 -гиперона ($\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$) мы сталкиваемся с довольно трудной экспериментальной задачей. Предыдущие опыты страдали либо низкой статистикой, либо недостаточной точностью определения координат точки рас-

пада Ξ^0 . Настоящая работа явилась попыткой преодоления обеих этих проблем путем постановки большого эксперимента на камере с тяжелой жидкостью.

При взаимодействии K^- -мезонов с веществом, заполняющим камеру, Ξ -гипероны образуются в сопровождении K^{\pm} -мезонов. Именно это обстоятельство использовалось при отборе событий. Гамма-кванты от распада $\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$, $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ регистрировались в камере с вероятностью 55%. Положение вершины Ξ^0 -распада определялось как точка пересечения направлений движения Λ -гиперона и γ -кванта.

После применения всех критериев, позволивших получить набор событий, практически свободный от посторонних примесей, в статистике для определения времени жизни Ξ^0 -гиперонов осталось 157 событий и Ξ^- -гиперонов - 680 событий. Времена жизни определялись путем нахождения максимума функции правдоподобия. В окончательные данные были внесены следующие поправки:

- 1) на искажения, вносимые специальными критериями отбора при просмотре (только для Ξ^0);
- 2) на зависимость эффективности просмотра от длин пробегов Ξ и Λ -гиперонов;
- 3) на примесь фона (только для Ξ^0);
- 4) на ослабление потока Ξ -гиперонов за счет их взаимодействия с жидкостью, заполняющей камеру.

Окончательные результаты представлены в таблице 4.

За счет несохранения пространственной четности в распадах Ξ и Λ -гиперонов и возникающей при этом интерференции S и P-волн, продукты распада имеют характерное асимметричное угловое распределение $I_p(\theta) = 1 + \alpha_{\Xi} \alpha_{\Lambda} \cos(n_{\Lambda} n_p)$,

Таблица 4

	Ξ^0		Ξ^-	
	$\tau \times 10^{10}$	α	$\tau \times 10^{10}$	α
Данный эксперимент	$3,04^{+0,26}_{-0,23}$	$-0,84 \pm 0,27$	$1,73^{+0,08}_{-0,07}$	$-0,42 \pm 0,11$
Мировые средние	$3,03 \pm 0,18$	$-0,35 \pm 0,08$	$1,660 \pm 0,037$	$-0,40 \pm 0,03$
Новые мировые средние	$3,03 \pm 0,16$	$-0,40 \pm 0,07$	$1,672 \pm 0,034$	$-0,40 \pm 0,03$

где n_Λ и n_p - единичные векторы, направленные вдоль импульсов Λ -гиперона и протона в системах покоя Ξ и Λ соответственно.

Обозначение: α - параметров - общепринятое /1/: $\alpha = \frac{2 \operatorname{Re}(S^* P)}{|S|^2 + |P|^2}$.

На основе той же исходной статистики, что и в предыдущем опыте (критерии отбора были слегка изменены), получены данные, представленные в табл.4, где они сравниваются с мировыми средними /1/.

Новые мировые средние τ_Ξ и α_Ξ могут быть использованы для проверки правила отбора $\Delta T=1/2$:

$$\frac{\Gamma(\Xi^0 \rightarrow \Lambda \Pi^0)}{\Gamma(\Xi^- \rightarrow \Lambda \Pi^-)} = 0,552 \pm 0,031 \quad \frac{\alpha_{\Xi^0}}{\alpha_{\Xi^-}} = 1,00 \pm 0,19.$$

Эти соотношения находятся в согласии с предсказанием правила $T=1/2$, т.е. 0,5 и 1 соответственно.

Оценки примеси амплитуд с $\Delta T=3/2$ на основании этих данных дают

$$(S_3/S_1) = -0,035 \pm 0,022 \quad (P_3/P_1) = -0,03 \pm 0,13.$$

§ 5.2 посвящен опытам /29/, в которых массы Ξ - гиперонов определялись на основе измерения параметров всех их продуктов распада. Масса Ξ^0 -гиперона известна фактически на основании одного хорошо измеренного события /1/.

Использованный нами метод отличается от обычного тем, что не содержит предположения о гауссовом распределении ошибок масс. Массы частиц определялись методом χ^2 , в котором каждое событие (j) подвергалось серии обычных fit -процессов, отвечающих различным предполагаемым массам (M_i) распадающейся частицы. Искомая величина получалась путем минимизации функционала

$$\chi^2(M_i) = \sum_j \chi_j^2(M_i).$$

Проверка этого метода была выполнена путем определения масс Λ -гиперонов K^0 и Π^0 -мезонов и показала, что метод дает практически несмещенные оценки.

При вычислении масс Ξ -гиперонов были определены и внесены следующие поправки систематического характера.

1. Ошибки импульсов заряженных частиц, возникающие из-за неточности калибровки магнитного поля, плотности жидкости и т.п.
2. Ошибка, вносимая за счет неточного значения массы Λ -гиперона.
3. Поправка, возникающая из-за неточности калибровки метода измерения энергии γ -квантов.

Окончательные значения масс приведены в таблице 5, где их можно сравнить с известными средними мировыми данными /1/.

Используя новые средние, можно проверить выполнение соотношения Колемана-Глэшоу, которое является одним из наиболее твердо установленных результатов унитарной симметрии:

$$(M_{\Xi^-} - M_{\Xi^0}) + (M_{\Sigma^+} - M_{\Sigma^-}) + (M_n - M_p) = 0.$$

Таблица 5

Массы Ξ - гиперонов (Мэв/с²) до и после поправок

	Ξ^-	Ξ^0	$\Xi^- - \Xi^0$
Первичные данные	1321,30±0,36	1315,4±0,9	5,9 ± 1,0
Поправки: (1) "заряж. треки" (2) M_Λ	-0,18±0,19 ±0,03	-0,18±0,19 ±0,03	- -
Окончательный результат: данный эксперимент	1321,12±0,41	1315,2±0,92	5,9 ± 1,0
Табличные данные /1/	1321,30±0,15	1314,7±0,7	6,6 ± 0,7
Новые мировые средние	1321,28±0,14	1314,88±0,55	6,35±0,57

Подставляя данные таблицы 5, для левой части равенства получим $-0,28 \pm 0,58$ Мэв/с², что свидетельствует о достаточно точном выполнении этого соотношения.

В § 5.3 приведены результаты исследования спектра эффективных масс системы, состоящей из двух Λ - гиперонов /27/.

В данной работе зарегистрировано 400 таких пар, что, по крайней мере, в 4 раза превышает статистику предыдущих исследований /20, 37, 38/.

Для того, чтобы уменьшить влияние вторичных взаимодействий Λ - гиперонов внутри ядра, были введены специальные критерии отбора, по возможности исключающие сильно развитые внутриядерные каскады.

Результаты представлены на рис.3. Особенностью этого спектра является пик на значении эффективной массы 2370 Мэв/с².

Кривая Гаусса, изображенная на рисунке, сцентрирована (методом наименьших квадратов) на значении 2367 ± 4 Мэв/с² со стандартом $\sigma = 15 \pm 4$ Мэв/с². Экспериментальное разрешение в этой области масс равно 14 ± 3 Мэв/с². Статистическая значимость пика составляет 3,7 стандартных ошибки.

В отличие от аналогичных экспериментов на пучке Π^- -мезонов (см. гл. III), основной цепочкой реакций в данном случае являются процессы, идущие через промежуточный Ξ - гиперон (~80%). Расчеты по методу Монте-Карло показывают, что никакие известные резонансы не могут привести к столь узкому пику (его ширина совпадает с разрешающей способностью). Поэтому пик 2370 Мэв/с² в спектре эффективных масс двух Λ - гиперонов является кандидатом для узкого $\Lambda\Lambda$ - резонанса, образованного при взаимодействии Ξ - гиперонов с нуклонами. Скопление событий в районе масс 2260 Мэв/с², возможно, также является кандидатом для $\Lambda\Lambda$ - резонанса.

В § 5.4 на основании пяти зарегистрированных случаев взаимодействия Ξ - гиперонов вне родительского ядра оценено суммарное сечение взаимодействия Ξ - гиперонов с нуклонами, приводящее к образованию двух Λ - частиц /29/

$$\sigma_{\Xi N \rightarrow 2\Lambda} = 10_{-4}^{+9} \text{ мб.}$$

Оценка дана для интервала импульсов Ξ - гиперонов 0,8-2,2 Гэв/с и включает в себя процессы с разной множественностью пионов.

В § 5.6 приводятся результаты поиска $\Lambda' (1327) \rightarrow \Lambda + \gamma$ /25, 26/, на существование которого было указано в опытах на I-метровой пропановой камере (см. гл. V).

Оценки показали, что всего лучше поставленной задаче отвечают реакции $K^- p \rightarrow \Pi^+ \Pi \Lambda + n \gamma, n \geq 1$. Из 2 000 событий, най-

денных при просмотре, для окончательного анализа было оставлено 817 (923 Λ ζ - комбинации).

Результаты анализа показали, что никакого сигнала в районе эффективных масс $M_{\Lambda\gamma} = 1330$ Мэв/с² не наблюдается.

Верхняя граница сечения образования Λ' на 90%-доверительном уровне оказалась равной

$$\sigma(K^- \rightarrow \Lambda' p + n p^0) \leq 98 \text{ мкб}, \quad n \geq 0.$$

Обсуждение полученных данных вместе с результатами других экспериментов проводится в гл. VI.

Глава VI посвящена обсуждению всех имеющихся в литературе данных, касающихся существования Λ' (I327) $\rightarrow \Lambda + \gamma$.

Кроме трех экспериментов, выполненных в ОИЯИ^{/34,35/}, сигнал наблюдается только в одной работе^{/39/}, хотя авторы этот факт не отмечают. Поиск Λ' в опытах^{/26,40,41/} на пучках K^- -мезонов разных энергий не увенчался успехом. Верхний предел сечения образования Λ' в отдельных каналах реакций, оцененный в этих опытах, находится на уровне 100 мкб.

Поскольку, однако, не известны ни зависимость сечения рождения Λ' от энергии, ни соотношения между сечениями для различных первичных частиц (P^- и K^-) и различных каналов реакций, то нет никакого противоречия в том, что сигнал не виден на уровне 100 мкб в отдельных каналах на K^- -пучках и наблюдается в опытах на P^- -пучках, где исследовался суммарный эффект от нескольких каналов реакций (суммарное сечение образования $\sigma_{P^- \rightarrow \Lambda'} \approx 60$ мкб при 5 Гэв/с).

Таким образом, совокупных мировых данных недостаточно, чтобы отвергнуть предположение о существовании нового барионного состояния Λ' (I327).

Для окончательного суждения о существовании этого состояния и для определения его квантовых чисел J^P , по-видимому, необходимы новые опыты с хорошим разрешением по массе и существенно большей статистикой.

В § 6.2 этой главы рассматриваются теоретические предположения о месте Λ' (I327) среди других барионов.

Одно из них нами уже рассматривалось^{/36/} (см. гл. III).

Первое указание на возможность существования Λ' мы находим в знаменитой работе Гелл-Манна "восьмеричный путь". В работе Швингера^{/42/} также делались выводы о возможности существования бариона с массой, близкой к 1330 Мэв/с².

В статье Копелиовича, Николаева, Окуня^{/43/} рассматривается предположение о том, что Λ' - гиперон может представлять собой связанное состояние Σ - гиперона и P -мезона ($J^P = 1/2^-$). В этом случае и в других вариантах J^P оказалось возможным предсказать ширины различных каналов распада Λ' .

Наконец, весьма интересную идею о классификации элементарных частиц выдвинул В.И.Огиевецкий. В его работе^{/44/} предсказывается существование девятого бариона с квантовыми числами $J^P = 1/2^+$ и массой 1280 - 1340 Мэв/с².

Таким образом, имеется несколько теоретических схем, которые дадут удовлетворительное объяснение существованию состояния Λ' (I327).

Однако решающее слово здесь остается за экспериментом.

Основные результаты, полученные в диссертации, коротко сводятся к следующему:

I. Разработана и успешно эксплуатировалась установка с Им пропан-фреоновой камерой. В момент создания камеры и долгое время

спустя, она являлась самой крупной в Советском Союзе пузырьковой камерой с тяжелой жидкостью, работавшей в магнитном поле. В настоящее время на камере получено около $0,5 \cdot 10^6$ фотографий.

2. Совместно с отделом новых научных разработок Лаборатории ядерных проблем и Лабораторией вычислительной техники и автоматизации создана и успешно эксплуатировалась первая в Советском Союзе измерительная система, связанная с электронной вычислительной машиной (Минск-22) и необходимый комплекс программ.

3. Выполнены калибровочные опыты и установлено, что методика, используемая при обработке фотографий взаимодействий Π^- -мезонов 5 Гэв/с и K^- -мезонов 2,1 Гэв/с, дает несмещенные значения кинематических параметров исследуемых частиц.

4. Получено одно из двух наиболее точных значений времени жизни Ξ^- -гиперона, известных в настоящий момент:

$$\tau_{\Xi^-} = (3,04^{+0,26}_{-0,23}) \cdot 10^{-10} \text{ сек},$$

измерены время жизни Ξ^- -гиперона и α -параметры асимметрии распада Ξ^0 -гиперонов. Полученные данные относятся к числу наиболее точных значений указанных величин. Вычисленные на основе этих данных новые мировые средние значения времен жизни Ξ^- -гиперонов и параметров асимметрии их распадов - α , свидетельствуют об их согласии с предсказанием правила $\Delta T = 1/2$ для нелептонных распадов.

5. Выполнены наиболее точные прямые измерения массы Ξ^0 -гиперона

$$M_{\Xi^0} = (1315,2 \pm 0,9) \text{ Мэв/с}^2.$$

Получено одно из двух наиболее точных значений разности масс Ξ^- -гиперонов

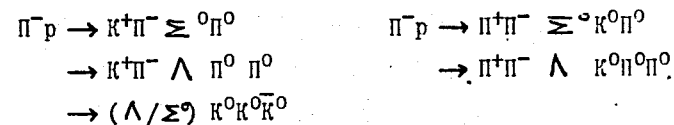
$$M(\Xi^- - \Xi^0) = (5,9 \pm 1,0) \text{ Мэв/с}^2.$$

Новые данные позволяют утверждать, что соотношение Коллема-на - Глэшоу, служащее проверкой унитарной симметрии, выполняется с хорошей точностью ($\pm 0,58 \text{ Мэв/с}^2$).

6. Получена одна из первых оценок сечения взаимодействия Ξ^- -гиперонов с нуклонами для интервала импульсов $P_{\Xi^-} = 0,8-2,2$ Гэв/с :

$$\sigma_{\Xi^- N \rightarrow 2\Lambda} = 10^{+9}_{-4} \text{ мб}.$$

7. Измерены сечения 2I-го канала реакций образования странных частиц в Π^- -столкновениях при 5 Гэв/с. Впервые определены сечения следующих каналов:



Расчеты^{/32,33/} показывают, что полученные данные о реакциях $\Pi^- p \rightarrow \Lambda K^+ \Pi^-$, $\Pi^- p \rightarrow \Sigma^0 K^0 \Pi^-$ и др. хорошо описываются в рамках обобщенной модели Венециано.

8. Измерено сечение рождения Ξ^- -гиперонов в Π^- -взаимодействиях при 5,0 Гэв/с: $\sigma_{\Xi^-} = (2,9^{+1,8}_{-1,0}) \text{ мб}$. Сравнение с данными других работ показывает, что в области энергий от 3 до 10 Гэв сечение рождения Ξ^- -гиперонов плавно возрастает с ростом энергии Π^- -мезонов.

9. Впервые определены сечения 10 каскадных процессов, в которых при взаимодействии Π^- -мезонов 5 Гэв/с с ядрами углерода образуются четыре странных частицы.

10. Получены следующие значения массы и ширины S^* -резонанса ($S^* \rightarrow K^0_I K^0_I$): $M_{S^*} = (1032 \pm 24) \text{ Мэв/с}^2$ и $\Gamma_{S^*} = (40 \pm 20) \text{ Мэв/с}^2$. Эти данные лучше согласуются с резонансной интерпретацией аномалии в

спектре эффективных масс $K_I^0 K_I^0$ -системы, нежели с описанием ее при помощи комплексной длины рассеяния.

II. Впервые сравнительно надежно показано, что в спектре эффективных масс двух Λ -гиперонов наблюдается пик, обязанный узкому ($\Gamma/2 \leq 15$ Мэв/с²) резонансу с $M_{\Lambda\Lambda} = 2367 \pm 4$ Мэв/с².

Возможно существование второго $\Lambda\Lambda$ -резонанса с $M_{\Lambda\Lambda} = 2260$ Мэв/с².

12. Получена верхняя граница сечения образования гипотетической изобары $N^1(1040) \rightarrow p + \gamma$. Таким образом, предположение /36/ о существовании еще одного унитарного октета барионов с $J^P = 1/2^+$ пока не нашло подтверждения.

13. Показана возможность существования нового странного бариона, распадающегося по схеме

$$\Lambda^1(1327) \rightarrow \Lambda + \gamma.$$

Л и т е р а т у р а

1. Review of Particle Properties. P.L. 39B, No.1, 1972..
2. А.В.Богомолов, Ю.А.Будагов, В.Б.Флягин и др. ПТЭ, №1, 61, 1964.
3. Ю.А.Будагов, В.Б.Флягин и др. Сообщ.ОИЯИ Б-1-2389, 1965.
4. Ю.А.Будагов, В.П.Джелепов, Ю.Ф.Ломакин, В.Б.Флягин, П.В.Шляпников. ПТЭ, № 4, 42, 1965.
5. Ю.А.Будагов, В.П.Джелепов, В.Б.Флягин и др. ПТЭ №4, 56, 1964.
6. Ю.А.Будагов, В.А.Бычков, В.Б.Флягин и др. ПТЭ № 1, 61, 1967.
7. Ю.А.Будагов, Ю.Ф.Ломакин, В.Б.Флягин и др. Сообщ.ОИЯИ Б-1-2388, 1965.
8. Ю.А.Будагов, Н.И.Дьяков, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ Д-619, 1960.
9. В.С.Кладницкий, В.Б.Флягин. ПТЭ №1, 24, 1965.
10. В.И.Бондаренко, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ Ю-3426, 1967.
11. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ Д-10, 6015, 1971.
12. Н.А.Буздавина, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин. Сообщ. ОИЯИ Б1-1035-72, 1967.
13. А.Г.Володько, С.В.Клименко, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ, Ю-3736, 1968.
14. Ю.А.Будагов, В.П.Джелепов, В.Б.Флягин и др. ПТЭ №6, 5, 1967.
15. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. ЯФ 14, 1201, 1971.
16. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. ЯФ 11, 395, 1970.
17. Н.П.Богачев, Ю.А.Будагов, В.Б.Флягин и др. Письма ЖЭТФ Ю, 168, 1969.
18. А.Г.Володько, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ Р-1-3351, 1967.
19. Ю.А.Будагов, А.Г.Володько, В.Б.Флягин и др. Пр.ОИЯИ I-6568, 1972.
20. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. ЯФ 15, 75, 1972.
21. Ю.А.Будагов, А.Г.Володько, В.Б.Флягин и др. Докл. на МКФВЭ, Киев, 1970.
22. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. Письма ЖЭТФ 14, 363, 1971.
23. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.Б.Флягин и др. Письма ЖЭТФ 11, 28, 1970.

24. В. Балдеа, Ю.А. Будагов, В.Б. Флягин и др. Письма ЖЭТФ, 14, 412, 1971.
25. G. Mayer, P. Van Binst, V.B.Fliagine et al. P.L., 33B, 441, 1970.
26. V.B. Fliagine. CERN, Rep. TCL, 70-11, 1970.
27. P.Beilliere, V.B.Fliagine et al.P.L., 39B, 671, 1972.
28. G. Mayer, P. Van Binst, W.Wilquest, V.B.Fliagine et al., RPP/H/79, 1972.
29. G.Wilquet, V.B.Fliagine et al. CERN, TCL/INT/72-13,1972.
30. O.I.Dahl et al. RP, 163, 1377, 1967.
31. P.J.Weisbach et al. XIV Int.Conf.H.E.P., 493, Vienna, 1968.
32. Ю.А. Будагов и др. Препринт ОИЯИ Р-2-596I, 1971.
33. Л.Л. Енковский и др. Препринт ИТФ-70-77, Киев, 1970.
34. Ван Ган-чан и др. Препринт ОИЯИ Р-1615, 1964.
35. Е.Г. Бубелев и др. P.L., 24B, 246, 1967.
36. Y.I. Azimov. P.L., 32B, 497, 1970.
37. Boutang, Beilliere (в докладе D. Cline "Study of ΥN and Υ - Υ Interactions", Аргон. конф., 1969).
38. Б. Шахбазян, А. Тимонина. Препринт ОИЯИ EI-5935, 1971.
39. С. Baltay et al. RP, 140B, 1027, 1970..
40. М.Е. Binkley et al. ХУ МКФВЭ, Киев, 1970.
41. D. Bassano et al. CERN/TCL/INT/71-8, 1971.
42. I. Schwinger. PRL, 12, 237, 1965.
43. В.Б. Копелиович, Н.Н. Николаев, Л.Б. Окунь. Препринт ИТЭФ, № 769, 1970.
44. В.И. Огиевецкий. Препринт ОИЯИ Р2-5230, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 января 1973 года.

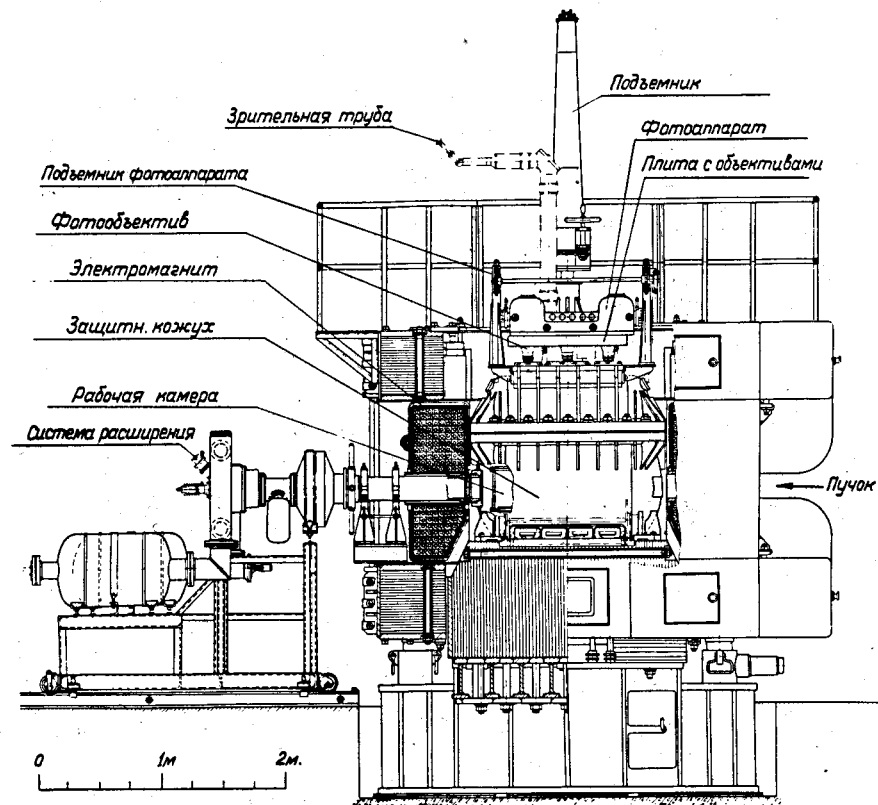


Рис. 1. Метровая пузырьковая камера в магнитном поле.

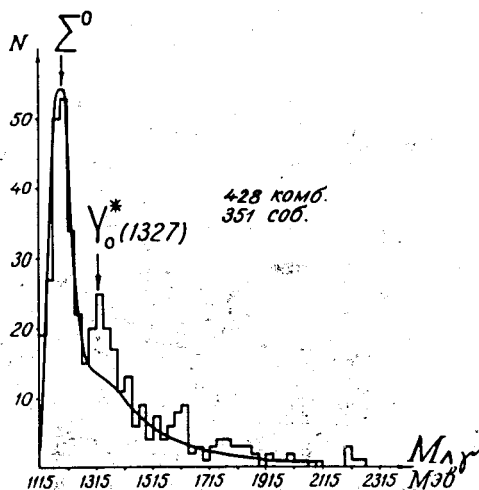


Рис. 2. Спектр эффективных Λ^0 - масс для $\pi^+\pi^-$ -событий. Фоновая кривая получена методом Монте-Карло.

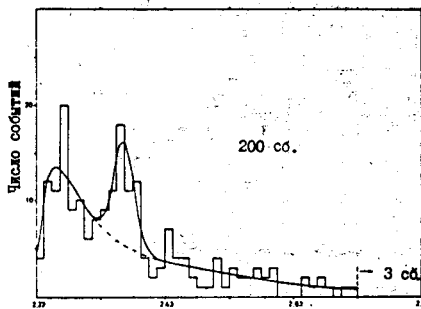


Рис. 3а. Гистограмма Λ^0 инвариантных масс для событий со слабо развитым ядерным каскадом. Сплошная линия - сумма полинома и кривой Гаусса.

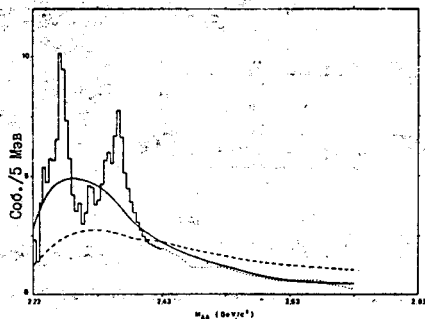


Рис. 3б. Гауссограмма для тех же событий. Сплошная линия - основные реакции, пунктирная - фоновые реакции.