

С 346.46

К-471

712

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1 - 4468



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Е. Н. Кладницкая, В. Е. Комолова, А. А. Кузнецов,
Нгуен Дин Ты, В. Н. Пенев, М. И. Соловьев,
Ю. В. Тевзадзе, Л. Э. Йеник

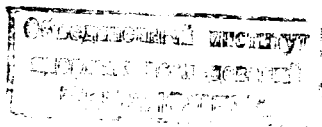
МОДЕЛИРОВАНИЕ $\Pi^- p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ 40 ГЭВ
Часть II

1969

1 - 4468

Е.Н.Кладницкая, В.Е.Комолова, А.А.Кузнецов,
Нгуен Дин Ты, В.Н.Пенев, М.И.Соловьев,
Ю.В.Тевзадзе, Л.Э.Йеник

МОДЕЛИРОВАНИЕ П⁻р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ 40 ГЭВ
Часть II



7850/2 up

Настоящая работа предпринята в связи с планируемым облучением 2-метровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ^{/1/} в пучке π^- -мезонов с импульсом 40 Гэв/с. Здесь приводятся результаты рассмотрения следующих методических вопросов:

- 1) возможности разделения взаимодействий π^- -мезонов со свободными и квазисвободными протонами;
- 2) возможности выделения Λ -гиперонов и K^0 -мезонов от γ -квантов при высоких энергиях;
- 3) влияния величин ошибок параметров частиц на вероятность однозначной идентификации каналов реакций.

Ряд методических вопросов, связанных с фитированием каналов реакций в π^-p -взаимодействиях при 40 Гэв и идентификацией Λ - и K^0 -частиц был рассмотрен ранее /2/.

§1. Моделирование событий на квазисвободном протоне

Моделирование событий, имитирующих взаимодействия π^- -мезонов на квазисвободных протонах углерода, проводилось с помощью программы ФОРС /3/, причем протон-мишень считался движущимся. Импульс

P_F и проекции импульса X_F , Y_F , Z_F протона-мишени вычислялись по формулам /3/

$$P_F = [2 M_N (a_1 T_{MAX}) + (a_1 T_{MAX})^2]^{1/2} ;$$

$$X_F = P_F \sqrt{1 - \eta_F^2} \cos \phi_F ; \quad Y_F = P_F \sqrt{1 - \eta_F^2} \sin \phi_F ; \quad Z_F = P_F \eta_F .$$

Здесь a_1 , a_2 , a_3 - случайные числа; $\phi_F = 2\pi a_2$ и $\eta_F = 2a_3 - 1$ - углы вылета протона-мишени, а T_{MAX} - максимальная кинетическая энергия ферми-движения мишени, $T_{MAX} = 25$ Мэв, M_N - масса нуклона.

На рис. 1 показаны используемые нами распределения P_F , X_F , Y_F , Z_F .

Параметры частиц (импульсы и углы), сгенерированные программой ФОРС, затем разбрасывались случайным образом в пределах ошибок этих параметров /2/. Были заданы ошибки, характерные для двухметровой пропановой пузырьковой камеры:

$$\frac{\Delta P}{P} = 0,07 - \text{средняя относительная ошибка в импульсах заряженных частиц;}$$

$$\sigma_\alpha = 0,005 \text{ рад } (\sigma_{\text{угл}} = 0,0076 \text{ рад }) \text{ и } \sigma_\beta = 0,0042 \text{ рад} - \text{среднеквадратичные ошибки в угле наклона и азимутальном угле, соответственно.}$$

Импульс первичной частицы взят равным $P_1 = 40$ Гэв/с с ошибкой $\Delta P_1 = 400$ Мэв/с.

Реакция упругого рассеяния была смоделирована в предположении, что распределение по квадрату переданного импульса t описывается выражением вида $\exp(-At)$, где $A = 8$ (Гэв/с)⁻². Для других реакций импульсные распределения образующихся протонов задавались такими, чтобы коэффициент A в $\exp(-A | t - t_{\min} |)$ для них был равен величинам, приведенным в табл. 1.

Были смоделированы следующие реакции:



$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p + \pi^0, \quad (2)$$

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n, \quad (3)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 2 \pi^- + \pi^+ + p, \quad (4)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 2 \pi^- + \pi^+ + p + \pi^0, \quad (5)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 2 \pi^- + 2 \pi^+ + n, \quad (6)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 2 \pi^- + \pi^+ + p + 2 \pi^0, \quad (7)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 3 \pi^- + 2 \pi^+ + p, \quad (8)$$

$$\pi^- + p \rightarrow 4 \pi^- + 3 \pi^+ + p. \quad (9)$$

Реакции (1-9), смоделированные с учетом ферми-движения (обозначим их IF (I = 1 9)), затем обсчитывались по гипотезам, в которых протон-мишень покоился (обозначим эти гипотезы IR (I = 1 9)). Расчеты проводились по кинематической программе 10-30 ^{4/}.

В табл. 1, 2, 3 приведены результаты расчетов для реакций (1-9).

Таблица 1

Количество событий, удовлетворяющих гипотезе (в %)

Гипотезы	Моделированные реакции с учетом ферми-импульса		
	IF	2F	3F
1	10 ± 3	5	4 ± 2
2		75 ± 7	
3			98 ⁺² ₋₉
Наклон А (Гэв/с) ⁻²	8	5	5

Таблица 2

Количество событий, удовлетворяющих данной гипотезе (в %)

Гипотезы	Моделированные реакции с учётом ферми-импульса			
	4F	5F	6F	7F
1R				
4	53 \pm 6	10 \pm 3	12 \pm 4	< 0,5
5	78 \pm 7	81 \pm 8	99 \pm 1 -9	61 \pm 8
6	95 \pm 5 -9	88 \pm 7	97 \pm 3 -9	10 \pm 4
Наклон А (Гэв/с) ⁻²	4	4	4	3

Таблица 3

Количество событий, удовлетворяющих данной гипотезе (в %)

Гипотезы	Моделированные реакции с учётом ферми-импульса	
	8F	9F
8R	59 \pm 8	
8R + (π^0)	73 \pm 9	
8R + (n)	94 \pm 6 -10	
9R		56 \pm 6
Наклон А (Гэв/с) ⁻²	3	3

В табл. 3 введены следующие дополнительные обозначения: $8R+(\pi^0)$ и $8R+(n)$. Они указывают на гипотезы $\pi^-+p \rightarrow 3\pi^-+2\pi^++p+\pi^0$ и $\pi^-+p \rightarrow 3\pi^-+3\pi^++n$, соответственно. Некоторые гипотезы в целях экономии времени на электронно-счетных машинах не просчитывались (пропуски в таблицах).

Считалось, что смоделированная реакция удовлетворяет кинематике данной гипотезы, если величина χ^2 для этой гипотезы меньше граничного значения, соответствующего 1%-ному уровню достоверности.

Анализируя данные табл.1-3, можно сделать следующие выводы:

а) упругие взаимодействия π^- -мезонов на квазисвободных протонах только в $(10 \pm 3)\%$ удовлетворяют кинематике упругого рассеяния на свободном протоне (табл. 1). Это как раз те события, в которых ферми-импульс протона-мишени близок к 0. Вклад событий от неупругих взаимодействий на квазисвободном протоне в упругий канал взаимодействия на свободном протоне очень мал (см. табл 1).

б) Ранее было показано, что с помощью кинематических программ легко выделяются от прочих каналов процессы с четырьмя степенями свободы. Поэтому особый интерес представляет рассмотрение вопроса о том, какую примесь к реакциям (4), (8) и (9) составят аналогичные реакции на квазисвободном протоне. Как видно из таблиц 1-3, примерно половина взаимодействий π^- -мезонов с движущимися протонами (типа F) удовлетворяет кинематике соответствующих реакций с покоящимся протоном (тип R). Безусловно, примесь событий типа F к событиям типа R после кинематической обработки всех событий будет зависеть от соотношения сечений соответствующих друг другу процессов. В качестве примера рассмотрим реакцию (4). На основе данных работы ^{15/}, а также предположения о том, что сечение взаимодействия π^- -мезонов со связанными в ядре протонами и нейтронами одинаково, мы нашли, что до фитирования вклад взаимодействий на квазисвободных протонах в общее число событий реакций (4) на свободном и квазисвободном протонах составит около 30%. Если далее предположить, что сечение взаимодействий π^- -мезонов со связанными в ядре нуклонами меняется в зависимости от энергии π^- -мезонов так же, как сечение взаимодействия со свободными протонами, то вклад взаимодействий на квазисвободных протонах в общее сечение составит примерно 30% также и при 40 Гэв/с. Используя данные табл. 2, можно заключить, что после кинематической обработки примесь событий типа F в реакцию (4) будет равна 15%.

Вклад в реакцию (4) π^- -р-взаимодействий типа F от других каналов (5,6,7 и др.) составляет примерно 10% от сечений этих каналов (см. табл. 2).

Рассмотрим далее вопрос о том, насколько данные, приведенные в табл. 1-3, устойчивы по отношению к выбору границы обрезания по величинам χ^2 .

В табл. 4 приведены средние значения χ^2 для двух групп событий типа F. Первую группу составляют события, удовлетворяющие кинематике взаимодействия на свободном протоне с достоверностью в 1%. Во вторую группу входят остальные взаимодействия. Видно, что средние значения χ^2 для взаимодействий на свободном и квазисвободном протонах сильно различаются. Однако, как видно из табл. 5, выбор значения границы обрезания по χ^2 для взаимодействий на свободном протоне играет все же заметную роль. Увеличение граничных χ^2 значительно увеличит вклад фоновых процессов.

Таблица 4

Реакция типа F	Ожидаемое χ^2 для взаимодействий типа R	$\bar{\chi}^2$ для F-событий с $\chi^2 < 14$	$\bar{\chi}^2$ для событий с $\chi^2 > 14$
4R	4	4,07	40,49
8R	4	4,16	33,73
9R	4	4,20	25,01

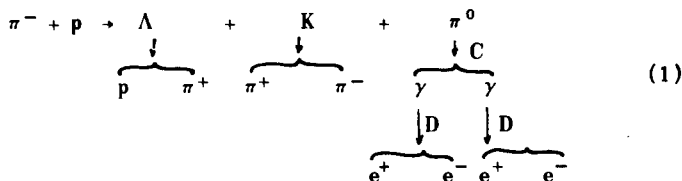
Таблица 5

Реакция типа F	Число событий (в %), удовлетворяющих соответствующей R-гипотезе при требовании достоверности (в %)		
	2	1	0,5
4R	47 \pm 6	53 \pm 6	56 \pm 6
8R	54 \pm 8	59 \pm 8	62 \pm 9
9R	50 \pm 7	58 \pm 8	59 \pm 7

§2. Возможности кинематического отделения Λ -

и K -частиц от γ -квантов при 40 Гэв/с

При больших энергиях (40 Гэв) углы разлета продуктов распада энергичных Λ - и K -частиц будут очень малыми (в основном $\theta \leq 5^\circ$). В результате чего визуально трудно будет отличить Λ - и K -частицы, имеющие малые углы разлета продуктов распада, от электронно-позитронных пар. В этом (для высокоэнергетичных частиц) мало поможет также изменение кривизны следов электронов и позитронов, происходящее из-за сброса энергии на тормозное излучение. Мы исследовали возможность разделения этих частиц с помощью кинематической программы ^{16/}. Для этого по программе ФОРС была смоделирована следующая реакция со всеми ветвями распада:



Поле ядра углерода для ветви D учитывалось приближенно принудительным приписыванием γ -квантам массы, равной $M_\gamma = (1 \pm \Delta M \cdot r)$ Мэв, где ΔM - малая добавка к массе, равная 0,2 Мэв, а r - случайное число.

Ошибки в параметрах протонов и π^+ -мезонов принимались такими же, как и в §1. Для электронов и позитронов задавались следующие ошибки:

$$\frac{\Delta p}{p} = 0,15 \text{ - средняя относительная ошибка в импульсах;}$$

$$\sigma_\alpha = 0,010 \text{ рад} \quad \text{и} \quad \sigma_\beta = 0,005 \text{ рад} \quad \text{- среднеквадратичные ошибки в угле наклона и в азимутальном угле, соответственно.}$$

После генерирования на перфокарты для каждого события выдавались величины в стандартной форме, принятой для кинематической программы 2-3 ^{16/}. Для того, чтобы был возможен обсчет Λ - и K^0 -частиц по гипотезе γ -квантов и, наоборот, γ -квантов по гипотезам Λ -

и K^0 -частиц, для каждого продукта распада этих частиц выдавалось по 2 перфокарты с признаками разных частиц (протона или π^+ -мезона - позитрона, π^- -мезона - электрона и наоборот).

Методика вычисления точных координат точки распада Λ - и K^0 -частиц и последующий разброс этих координат описаны в [2]. Для γ -квантов применялся такой же метод, но дополнительно вводилась вероятность их конверсии в камере с учетом радиационной длины ($X_0 = 110$ см).

Для контроля правильности моделирования и работы программы 2-3 Λ - и K^0 -частицы и γ -кванты пропускались сначала по истинной гипотезе. Средние значения χ^2 , полученные при этом, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Гипотеза	Число уравнений связи	Ожидаемое $\bar{\chi}^2$	Среднее $\bar{\chi}^2$
Λ как Λ	3	$3 \pm 0,24$	2,86
K^0 как K^0	3	$3 \pm 0,20$	3,35
γ как γ	3	$3 \pm 0,26$	2,97

Нужно отметить, что фитирование γ -квантов по программе 2-3 [8] проходит неудовлетворительно. Примерно в половине событий функционал не дает сходимости даже после значительного числа итераций. То же самое относится к просчитыванию Λ - и K^0 -частиц по гипотезе γ -кванта.

В табл. 7 представлены результаты расчета Λ - , K^0 , и γ -частиц по "ложным" для них гипотезам. Считалось, что смоделированная частица удовлетворяет данной гипотезе, если для этой гипотезы величина $\chi^2 \leq 12$. Это соответствует 1%-ному уровню достоверности.

Таблица 7

Гипотезы	Среднее χ^2 для всех событий	$\bar{\chi}^2$ для событий с $\chi^2 \leq 12$	Количество неразделенных гипотез (в %)
Λ как γ	354	6,31	15,4
K^0 как γ	1020	6,76	5,62
γ как Λ	20,8	5,72	38
γ как K	29	5,95	16

Таблица 8

Частица в реакции (1)	Средний импульс (Гэв/с)	Средний угол в вершине вилки	Число V^0 -частиц с углом $\theta < 1^\circ$ (в %)
Λ	13,30	$4^\circ 57'$	8
K	10,70	$8^\circ 28'$	4
γ	7,61	0	-

Из анализа данных, а также из таблиц 7-8 видно, что количество Λ - и K^0 -частиц, которые невозможно отличить от γ -квантов, определяется числом таких Λ - и K -частиц, угол θ в вершине вилки которых мал. Очевидно, что средняя величина этого угла зависит от энергии V^0 -частиц. Таким образом, ясно, что для высокоэнергичных Λ - и K^0 -частиц возникает серьезная проблема неразличимости их от γ -квантов. Тот факт, что 16% γ -квантов будет кинематически не отличимо от K^0 -мезонов, практически ставит под вопрос возможность изучения K^0 -мезонов. Очень мало для разделения γ -квантов от K^0 -мезонов даст учет потерь энергии на тормозное излучение электронно-позитронных пар из-за больших энергий этих частиц.

С другой стороны, поскольку ожидается, что вклад периферических процессов при 40 Гэв/с будет большим, то средний импульс Λ -гиперонов будет значительно меньшим, чем приведенный в табл. 8. Следова-

тельно, идентификация Λ -гиперонов относительно небольших энергий существенно облегчится. Кроме того, угол θ в вершине вилки будет больше, поэтому кинематически также будет проще отличать Λ -гипероны от γ -квантов.

83. Идентификация отдельных каналов реакций

в зависимости от ошибок измеряемых величин

С ростом энергии продуктов взаимодействия растет минимальная длина трека, на которой необходимо измерить координаты точек, чтобы получить требуемую точность в измерении импульса. Для π^- -мезонов с импульсом 5 Гэв/с, например (см. рис. 2) для получения 6%-ной точности в измерении импульса, необходимая длина трека в камере равна $L \geq 50$ см. При среднем пробеге π^- -мезонов в пропане 210 см только 77% следов π^- -мезонов будет иметь длину в камере $L > 50$ см.

Отсюда видно, как важно выяснить, какая требуется точность в измерении параметров для того, чтобы проводить успешную идентификацию отдельных каналов реакций. Что касается точности в определении углов, то здесь ситуация более благоприятна, так как оптимальные длины для определения углов невелики и точность в определении углов с увеличением импульса частиц, в общем, возрастает.

А. Изменение эффективности идентификации каналов реакций при возрастании ошибок в импульсах продемонстрировано в расчетах, проведенных для канала (5). Было смоделировано по 100 событий реакции (5) при разных средних значениях ошибок в импульсах. Распределения даваемых при этом относительных ошибок для разных значений средних ошибок в импульсах приведено на рис. 3.

Результаты расчета канала (5) по гипотезе $\pi^- + p \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^-$ (4) представлены на рис. 4 (кривая А). Как видно, вероятность совпадения реакции (5) с гипотезой (4) сильно возрастает с ростом ошибок в импульсах частиц: с увеличением ошибок в ~ 3 раза число событий (в %) реакции (5), удовлетворяющих кинематике реакции (4), возрастает в ~ 10 раз.

Б. Для проверки того, насколько результаты расчетов для взаимодействий на квазисвободных протонах (данные табл. 1-3) чувствительны к значениям ошибок в импульсах, нами также были проведены дополнительные расчеты для реакции $4F$ с учетом импульса Ферми при различных значениях ошибок в импульсах частиц, причем разброс в относительных ошибках принимался таким, как показано на рис. 3. Результаты просчитывания реакции $4F$ по гипотезам (4) и (5) представлены в табл. 9 и на рис. 4 (кривая В).

Таблица 9

Гипотеза	Средние значения $\bar{\chi}^2$			Число событий (в %), удовлетворяющих гипотезе		
	α	β	γ			
(4) $\pi^- + p \rightarrow p + 3\pi^\pm$	21,17	10,76	6,28	53 \pm 6	68 \pm 9	86 \pm 5
(5) $\pi^- + p \rightarrow p + 3\pi^\pm + \pi^0$	8,36	3,06	1,40	78 \pm 7	80 \pm 6	93 \pm 3

Буквами α , β , γ в табл. 9 обозначены результаты расчетов со средними ошибками $\frac{\Delta P}{P}$ соответственно 7,10,20%.

Как видно из табл. 9 и рис. 4 (кривая В), с ростом относительных ошибок в импульсах частиц ухудшается чувствительность программы идентификации каналов и уже при $\frac{\Delta P}{P} \approx 20\%$ около 86% взаимодействий на квазисвободных протонах будет удовлетворять кинематике взаимодействия на свободном протоне.

Итак, при увеличении ошибок в импульсах резко уменьшается вероятность однозначной идентификации каналов реакций. При этом:

- растет число событий с нейтральными частицами, удовлетворяющих кинематике реакций без нейтральных частиц;
- увеличивается число взаимодействий π^- -мезонов с квазисвободными протонами, удовлетворяющих кинематике взаимодействий на свободном протоне.

Отсюда ясно, что требования к точностям в определении импульсов частиц, в частности к наличию минимальной длины трека и хорошему качеству треков, должны быть очень жесткими.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить за помощь и обсуждения В.Г. Гришина, В.А. Белякова, К.П. Вишневскую, В.М. Попову, А.А. Абдурахимова. Авторы признательны Д.В. Линдфорс, А. Гладкой и С.В. Комаровой за помощь в систематизации результатов расчетов на электронно-счетных машинах.

Л и т е р а т у р а

1. M.P.Balandin, N.G.Borisov, Wang Yung-chang, R.P.Kukhareva, V.A.Moiseenko, V.I.Snyatkov, M.I.Soloviev, I.V.Chuvilo. *N.I.M.*, 20, 110 (1963).
2. Е.Н. Кладницкая, В.Е. Комолова, А.А. Кузнецов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев, М.И. Соловьев, Ю.В. Тевзадзе, Л.Э. Йеник. Препринт ОИЯИ, 1-4283, Дубна, 1969.
3. В.Е. Комолова, Г.И. Копылов. Препринт ОИЯИ, Р-2027, Дубна, 1965; В.Е. Комолова, Г.И. Копылов. Препринт ОИЯИ, Р11-3193, Дубна, 1967.
4. З.М. Иванченко, А.В. Лукьянцев, Д. Макаренкова, Е. И. Мороз, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ, Р11-3983, Дубна, 1968.
5. М. Иреш, М. Новак, В. Петржилка. Препринт ОИЯИ, 1-3457, Дубна, 1967.
6. Л.Ф. Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ, Р-1982, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел

30 апреля 1969 года.

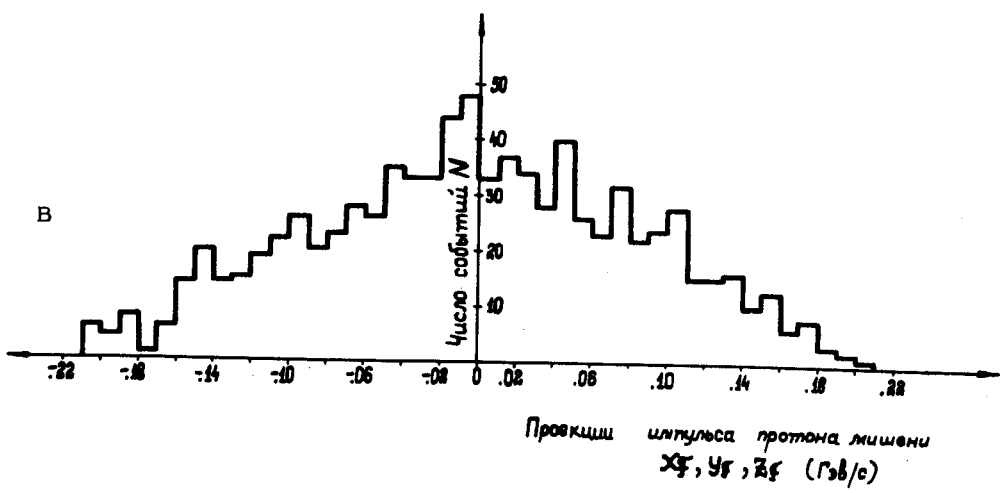
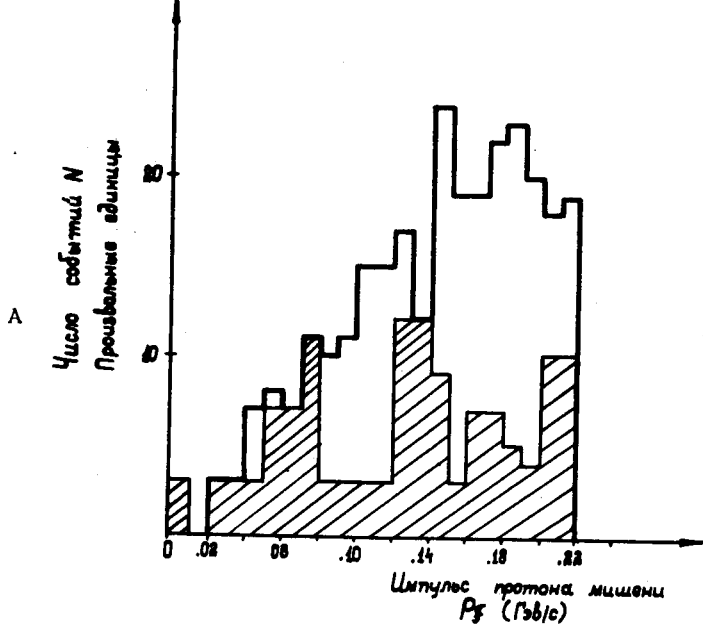


Рис.1. А. Распределение импульсов протона-мишени; В - распределения проекций импульсов протона-мишени. Заштрихованы импульсы событий реакции $\pi^-(p) \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^-$, удовлетворяющих кинематике реакции $\pi^- p \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^-$ на свободном протоне.

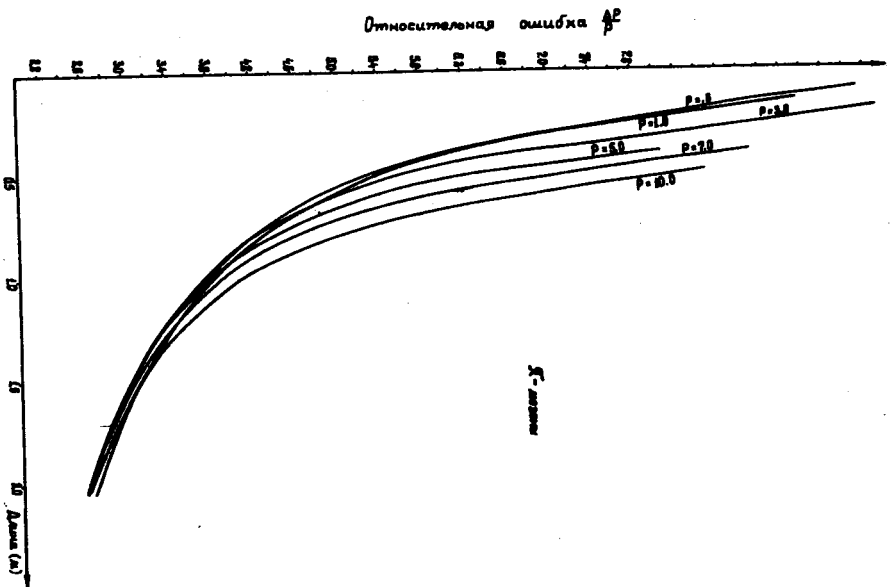


Рис.2. Величины относительных ошибок в импульсах в зависимости от величины длины следов τ -мезонов в пропановой камере для разных импульсов τ -мезонов.

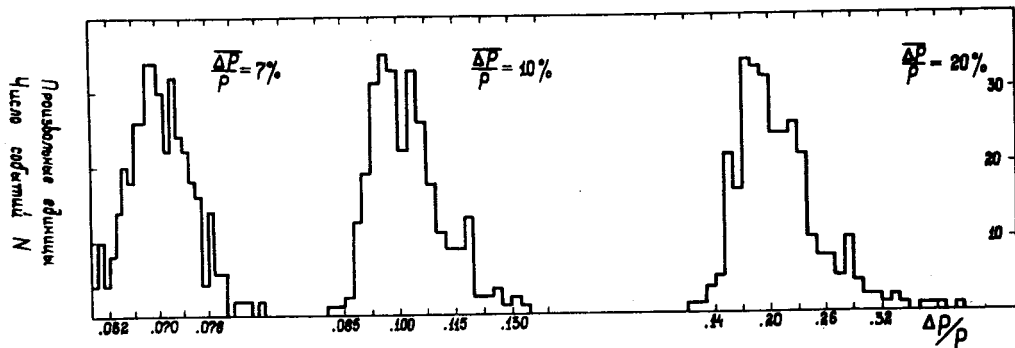


Рис.3. Распределения относительных ошибок π^- -мезонов для разных значений средних ошибок в импульсах π^- -мезонов, используемые в моделировании различных реакций.

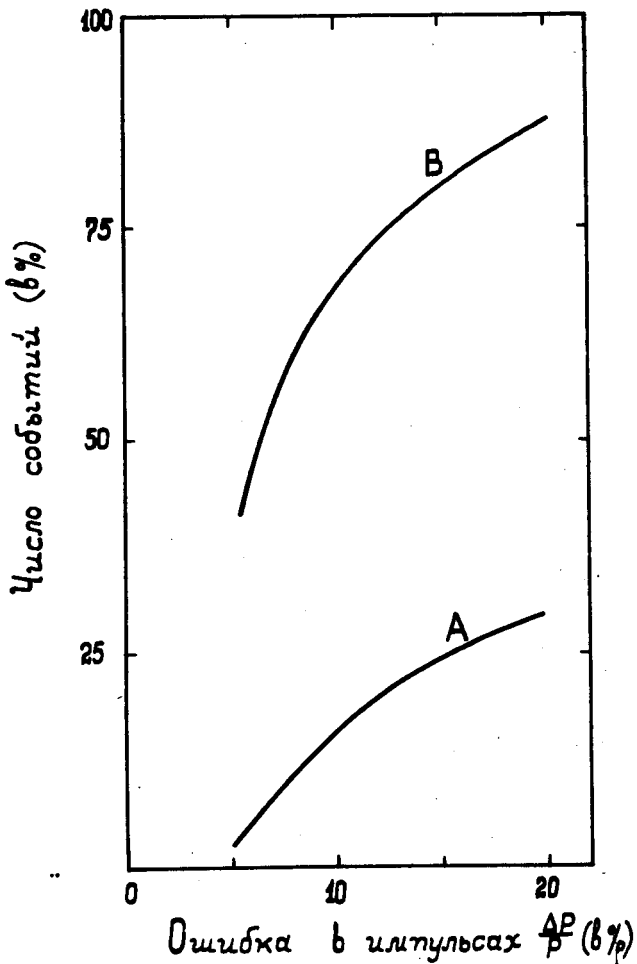


Рис.4. Зависимость числа событий (в %) реакции $\pi^- p \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^- + \pi^0$ (кривая А) и $\pi^-(p) \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^-$ с учетом импульса Ферми (кривая В), удовлетворяющих кинематике гипотезы $\pi^- p \rightarrow p + \pi^+ + 2\pi^-$ в зависимости от величины ошибок в импульсах частиц.