

5111

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1 - 5111



А.У. Абдурахимов, К.П. Вишневская,
П.П. Керачев, Е.Н. Кладницкая, Нгуен Дин Ты,
В.Н. Пенев, В.М. Попова, М.И. Соловьев,
Х.Я. Супичаков, Ю.В. Тевзадзе, А.И. Шкловская

π^-p - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В 2-МЕТРОВОЙ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^- -МЕЗОНОВ 2,75 ГЭВ/С

Часть I

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1970

1 - 5111

А.У. Абдурахимов, К.П. Вишневская,
П.П. Керачев, Е.Н. Кладницкая, Нгуен Дин Ты,
В.Н. Пенев, В.М. Попова, М.И. Соловьев,
Х.Я. Суличаков, Ю.В. Тевзадзе, А.И. Шкловская

π^- P - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В 2-МЕТРОВОЙ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ π^- -МЕЗОНОВ 2,75 ГЭВ/С

Часть 1

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

В в е д е н и е

При подготовке к экспериментам на ускорителе с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры /1/ была проведена большая методическая работа. Для этой цели на камере получено около десяти тысяч фотографий в пучке π^- -мезонов с импульсом 2,75 Гэв/с. Этот материал использован для определения погрешностей в нахождении координат, импульсов, углов и других параметров следов и событий. Отобранные π^-p -взаимодействия (≈ 1000) как с рождением, так и без рождения V^0 -частиц, а также взаимодействия, сопровождаемые γ -квантами, послужили материалом для проверки комплекса программ, созданных в ЛВТА и в ЛВЭ для обсчета событий с 2-метровой пропановой камерой /2,3,4,5/ (рис. 1).

В работе подробно излагается процедура и результаты методических исследований, причем в I-ой части изложены вопросы, связанные с отбором событий, исследованием ошибок измерения и расчетами параметров следов, а во II-ой части - результаты разделения по каналам ≈ 1000 событий.

§ 1. Пучок

Одной из первых была проделана работа по определению характеристик первичного пучка π^- -мезонов.

Среднее значение импульса первичных π^- -мезонов оказалось равным $\bar{P} = 2730 \pm 5$ Мэв/с, $\Gamma/2 = 120$ Мэв/с. Это значение \bar{P} по-

лучено при усреднении импульсов 413 первичных π^- -мезонов, следы которых измерялись в первой половине камеры на длине ≈ 1 м.

§2. Отбор событий и выбор эффективной области для π^-p -взаимодействий

По обычным для π^-p -взаимодействий критериям отбирались 2-, 4- и 6-лучевые звезды как с зарегистрированным в камере γ -квантом или V^0 -событием, так и без них. При просмотре границы эффективной области выбирались приближенно. Точная проверка положения звезды, вершин V^0 -событий и γ -квантов проводилась позднее в программе "Проверка по критериям". В рабочих условиях границы эффективной области для π^-p -взаимодействий следует выбирать таким образом, чтобы расстояние за ее пределами до границы рабочего объема камеры было достаточным для определения импульса частиц с требуемой точностью. В нашем случае эффективный объем для точек π^-p -взаимодействий при 2,7 Гэв/с ограничивался координатами

$$-16 \leq X \leq 10 \text{ см},$$

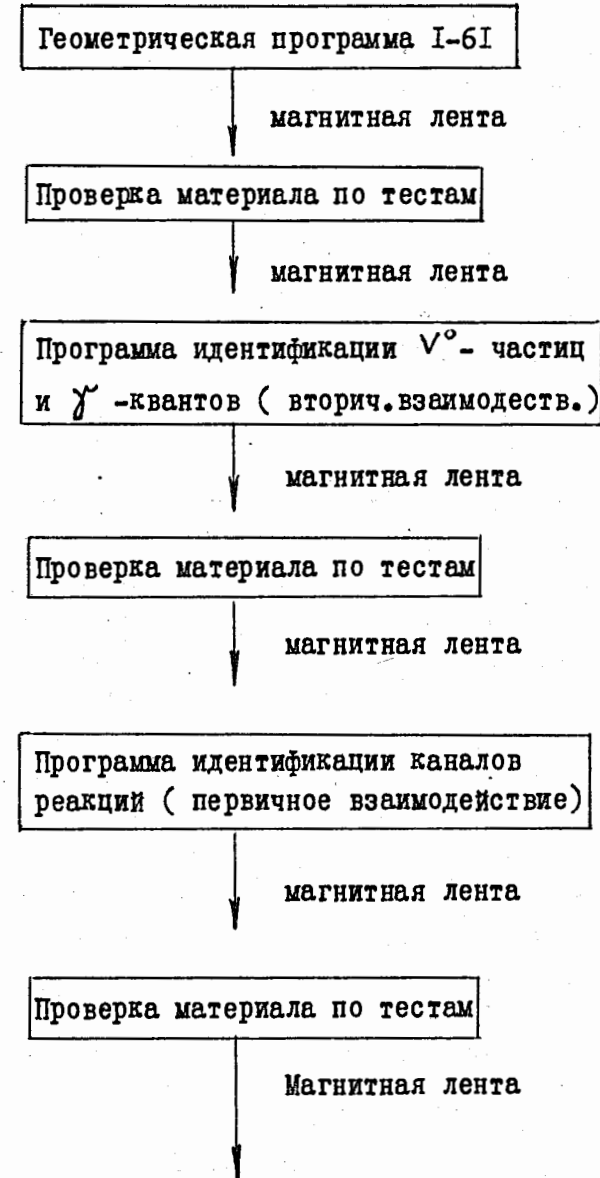
$$-80 \leq Y \leq -10 \text{ см},$$

$$18 \leq Z \leq 25 \text{ см}.$$

что дало возможность иметь дело со следами такой длины, которая позволяет определить импульсы частиц с ошибкой не больше 20%.

§3. Определение ошибок координат и параметров треков после программы геометрической реконструкции

1. Среднеквадратичные ошибки в измерении пространственных координат X , Y , Z были определены по двукратным измерениям точек взаимодействия π^- -мезонов в камере. В геометрической программе восстановление пространственных координат первых точек по измерениям координат на пленке осуществляется двумя способами:



Передача данных на машины CDC, БЭСМ-6 для последующего обсчета событий и статистической обработки экспериментальных данных.

Рис. 1. Схема обработки событий по системе программ на машине БЭСМ-4 и CDC-1604A.

А) с поиском соответствующих точек (процедуру поиска см. в /2/);
 Б) без поиска соответствующих точек (измеренные точки считаются соответствующими). В связи с этим получено два набора среднеквадратичных ошибок, которые приведены в табл. I.

Таблица I

σ мм	А		Б	
	До 3-х стандартных откл.	Все события	До 3-х стандартных откл.	Все события
σ_x	0,092	0,139	0,062	0,065
σ_y	0,148	0,276	0,135	0,170
σ_z	0,557	0,723	0,410	0,520

Можно заметить, что обсчет по геометрической программе с поиском соответствующих точек приводит к некоторому увеличению среднеквадратичных ошибок в определении координат. Распределения по ΔX , ΔY , ΔZ близки к гауссовским (см. рис. 2). Полученные значения σ_x , σ_y , σ_z представляют собой усредненные величины ошибок. Усреднение фактически произведено по пространственным координатам X , Y и Z , т.к. измерялись координаты точек, расположенных в разных частях камеры.

2. Точности, приведенные в пункте 1, относятся к измерениям, проведенным с помощью объективов 1 и 2 (см. рис. 4). Измерение "горизонтальных" следов, образованных частицами, вылетающими под малыми углами к оси X , необходимо проводить другими парами объективов (1-3, 2-3, 4-5, 4-6).

Нами было отобрано 145 почти горизонтальных следов, и начальные точки этих следов были измерены по 2 раза на фотографиях, полученных с помощью объективов, дающих наилучшее определение Z -координаты.

В таблице II приведены среднеквадратичные ошибки координат σ_x , σ_y , σ_z для таких горизонтальных следов.

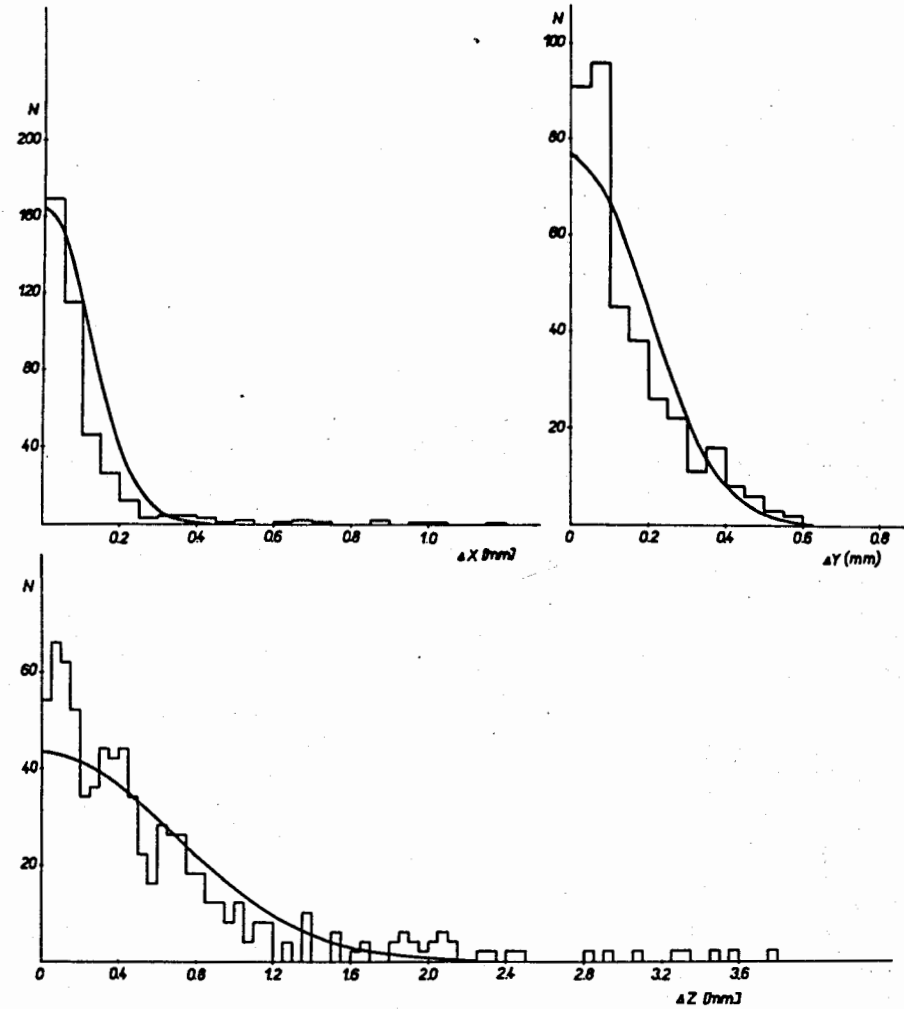


Рис. 2. Распределение величин ΔX , ΔY , ΔZ . На гистограммы нанесены кривые Гаусса.

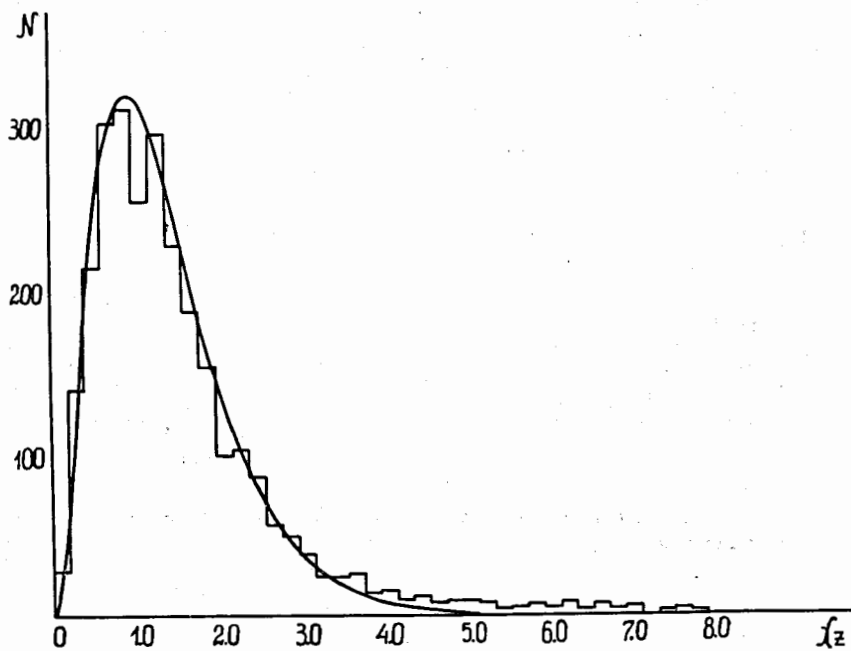
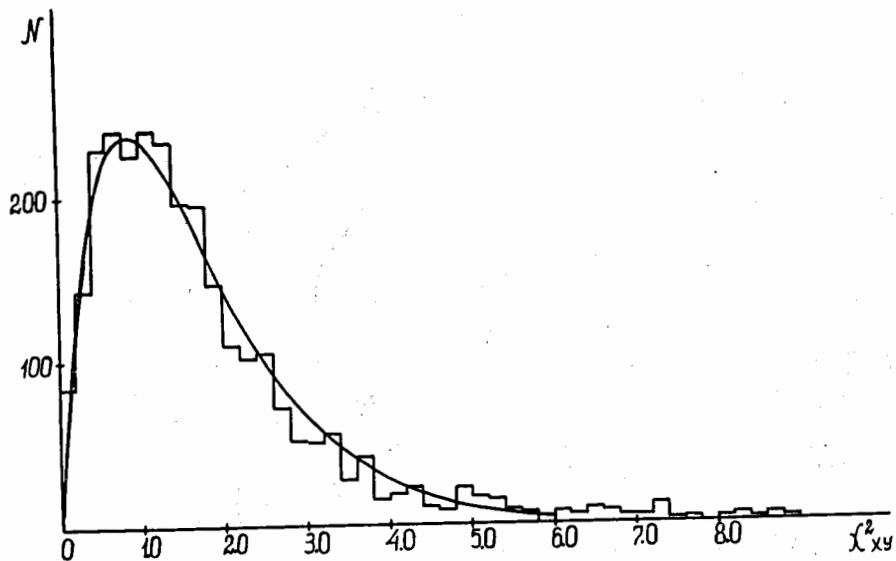


Рис. 3. Распределения величин χ^2_z и χ^2_{xy} для треков протонов и π -мезонов.

Таблица II

Ошибка в мм	События до 3-х стандартных откл.	Все события
σ_x	0,0906	0,0966
σ_y	0,1024	0,1319
σ_z	0,6296	1,3405

Как видно из таблиц I и II, измерения, проведенные на снимках, снятых парами объективов 1 и 3 и 2 и 3, не отличаются существенно по точностям от измерений, сделанных на снимках, полученных объективами 1 и 2.

3. Нахождение оптимальных параметров треков и их ошибок в программе геометрической реконструкции 1-61 основано на минимизации функционала

$$S = \sum_{i,k=1}^n \Delta Z_i G_{ik}^{-1} \Delta Z_k, \quad (1)$$

где ΔZ_i - отклонение координат экспериментальных точек от кривой, аппроксимирующей трек, n - число измеренных точек, G_{ik} - полная матрица ошибок; она включает ошибки измерений и ошибки, обусловленные многократным кулоновским рассеянием. Значение S -функционала в минимуме (χ^2) характеризует точность, с которой аппроксимирующая кривая проходит через экспериментальные координаты следа.

Величины χ^2 подчиняются χ^2 распределению с числом степеней свободы $f = n - 2$ для Z -координаты и $f = n - 3$ - для отклонений в плоскости XY . При правильно определенных ошибках измерения и правильно учтенном в матрице ошибок кулоновском рассеянии величины χ^2/f должны быть равны единице. Распределения χ^2/f были получены для треков π^- -мезонов, π^+ -мезонов и протонов в трех вариантах:

а) ошибки измерения восстановленных X , Y , Z -координат для всех точек в камере задавались равными среднеквадратичным ошибкам, приведенным в таблице I;

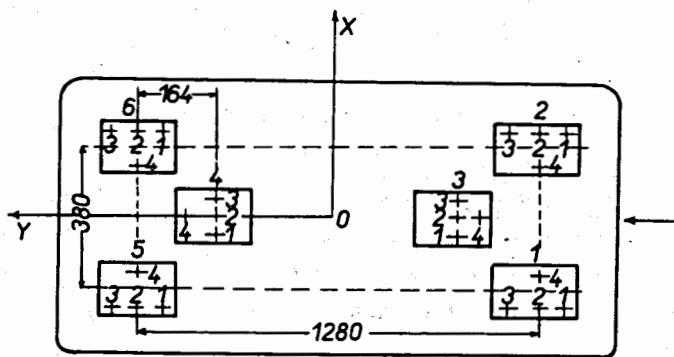
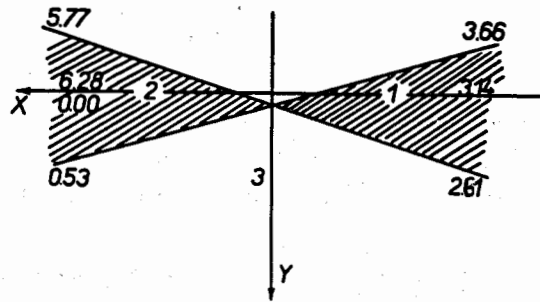


Рис. 4. Схема расположения объективов оптической системы 2-метровой пропановой камеры в плоскости XY.

б) задавались обобщенные ошибки измерения восстановленных координат, а именно дисперсия поперечного смещения трека D_{xy} и дисперсия в вертикальной плоскости рассчитывались для средней точки каждого трека по формулам восстановления координат; причем дисперсии измерительных ошибок координат x и y на пленке принимались равными $D = 10^{-6} \text{ см}^2$;

в) задавались ошибки измерения восстановленных координат, рассчитанные для каждой точки трека по формулам восстановления пространственных координат ($D = 10^{-6} \text{ см}^2$). Распределения, приведенные на рис. 3, соответствуют случаю (в).

В табл. III приведены средние значения χ_{xy}^2/f' и χ_z^2/f для треков π^\pm -мезонов и протонов для случая (б).

Таблица III

	π^\pm -мезоны		Протоны	
	χ_z^2/f	χ_{xy}^2/f'	χ_z^2/f	χ_{xy}^2/f'
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p$	1,51	1,56	1,77	0,98
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p \pi^0$	1,74	1,48	1,68	1,52
$\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ p$	1,80	1,47	-	-

В случае (а) для треков π^- -мезонов получили $\chi_{xy}^2/f' = 0,85$ и для треков протонов $\chi_z^2/f = 1,786$. Видно, что полученные средние значения мало зависят от типа частиц и реакции. Если считать, что кулоновское рассеяние в функционале (1) учтено правильно, то причиной смещения средних значений χ^2/f от 1 могут быть: заниженная среднеквадратичная ошибка в координате z_1 в случае (а) и заниженные дисперсии ошибок измерения координат x и y на пленке в случаях (б) и (в). Для получения $\chi^2/f \approx 1$ необходимо увеличение используемой дисперсии до $2 \times 10^{-6} \text{ см}^2$.

4. Причиной смещения средних значений χ^2/f , а также причиной искажений других параметров может быть наличие "ложной" кривизны треков, обусловленной движением жидкости при расширении, а также

искажения, создаваемые оптической системой. Исследования, однако, показали, что "ложная" кривизна первичных π^- -мезонов в 2-метровой камере, в основном, обусловлена многократным рассеянием в пропане.

5. После разделения двухлучевых событий по каналам реакций появилась возможность определить средние значения импульсов, углов и ошибок к ним для π^- - и π^+ -мезонов и протонов. Результаты вычислений приведены в таблицах IV, V. Эти данные дают представление о масштабе ошибок для параметров некоторых частиц в условиях двухметровой пропановой камеры.

В таблицах IV, V приведены ошибки, определенные как по результатам измерений, так и по результатам, полученным после фитирующей программы.

Исследовалась также зависимость $\Delta P/P$ от длины следа для различных интервалов импульсов частиц (рис. 5,6). Экспериментальная зависимость $\Delta P/P$ от L для $L > 20$ см хорошо описывается эмпирической кривой вида:

$$\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 = \left(\frac{3,7}{\beta\sqrt{L}}\right)^2 + \left(\frac{0,18 P}{L^2}\right)^2, \quad (2)$$

где L в м, P - в Гэв/с, $\frac{\Delta P}{P}$ в %.

Первый член суммы дает вклад, обусловленный многократным рассеянием, второй - характеризует измерительную ошибку. Импульсы остановившихся частиц вычислялись по пробегу, при этом для аппроксимации зависимости импульс-пробег использовалась формула (5-12) из /2/. Ошибка в определении импульса остановившихся в камере частиц вычислялась по формуле

$$\Delta P = xP + |P(L) - P(L - \Delta L)|,$$

где $x = 2\%$, ΔL - ошибка в определении длины следа L . Средние значения ошибок для остановившихся протонов приведены в таблице IV.

^{x/} $x = 2\%$ подобран на основе данных фитирования упругих взаимодействий, имеющих остановившийся в камере протон.

Таблица IV

Параметр	Средние значения параметров и их ошибок ^{x/}							
	После геометрической программы				После фит-программы			
	Для протонов, измеренных по:		π^- мезоны	π^+ мезоны	Для протонов, измеренных по:		π^- мезоны	π^+ мезоны
	кривизне	пробегу			кривизне	пробегу		
\bar{P}	736	516	1664	744	809	497	1604	797
ΔP	60	17	125	71	38	13	55	39
$ \overline{\tan \alpha} $	0,72	1,00	0,33	0,56	0,69	1,04	0,32	0,58
$\overline{\Delta \tan \alpha}$	0,033	0,015	0,0090	0,024	0,025	0,030	0,0065	0,010
$\overline{\beta}$	1,56	1,66	1,65	1,69	1,57	1,58	1,61	1,37
$\overline{\Delta \beta}$	0,010	0,039	0,0043	0,0088	0,0097	0,0135	0,0042	0,0086

^{x/} События с ошибками, больше чем 20%, забракованы.

Таблица V

Канал реакции	Параметр	Средние относительные ошибки (в %) ^{x)}			
		после geometr. программы		после фит-программы	
		Протоны	π^- -мезоны	Протоны	π^- -мезоны
Для всех каналов	$\Delta P/P$		$8,2 \pm 0,29$		$4,6 \pm 0,25$
	$\Delta \text{tg}d / \text{tg}d$		$3,8 \pm 0,26$		$3,7 \pm 0,26$
	$\Delta \beta / \beta$		$0,37 \pm 0,06$		$0,39 \pm 0,06$
$\pi^- p \pi^0$	$\Delta P/P$	$6,1 \pm 0,0071$	$8,4 \pm 0,53$	$5,6 \pm 0,6$	$4,7 \pm 0,36$
$\pi^- p$	$\Delta P/P$	$2,1 \pm 0,36$	$6,4 \pm 0,0031$	$1,9 \pm 0,0012$	$1,8 \pm 0,03$
		π^+ мезоны	π^- мезоны	π^+ мезоны	π^- мезоны
$\pi^+ \pi^- n$	$\Delta P/P$	$9,4 \pm 0,53$	$8,7 \pm 0,0044$	$6,7 \pm 0,0045$	$5,6 \pm 0,38$

^{x)} События с ошибками, больше чем 20%, забракованы.

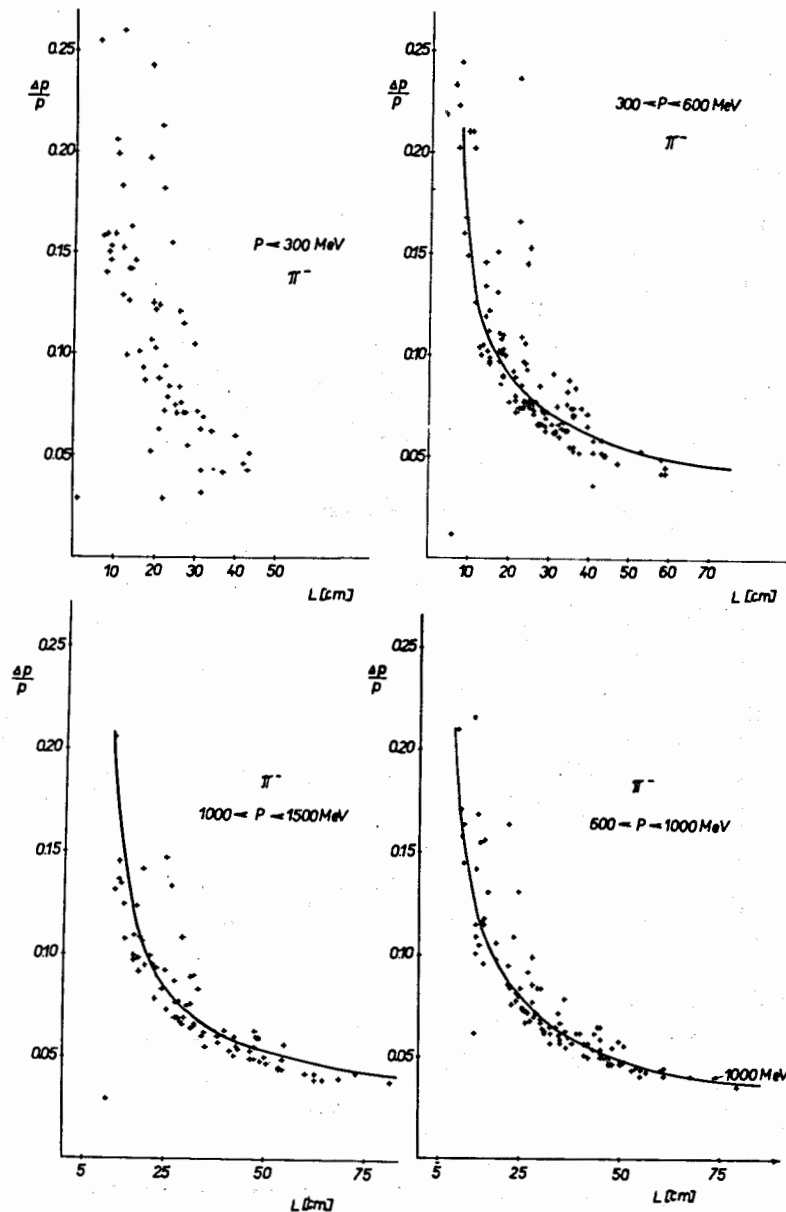


Рис. 5. Зависимость относительных ошибок в импульсах $\Delta P/P$ от длины следов для разных интервалов импульсов.

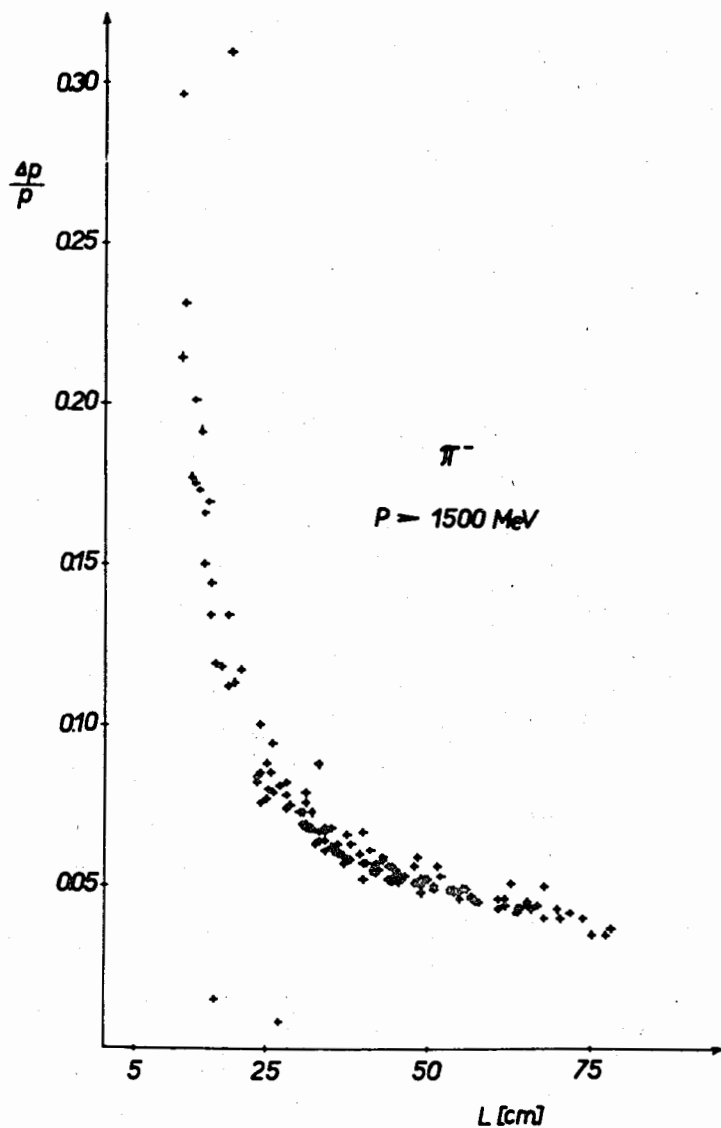


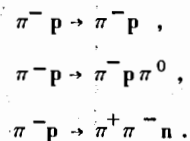
Рис. 6. Зависимость относительных ошибок в импульсах $\Delta P/P$ от длины следов для $P > 1500$ Мэв.

Остановившиеся в камере протоны были использованы для того, чтобы проверить, насколько хорошо определяются импульсы и углы вылета протонов, близких к остановке, но не остановившихся в камере. Из-за наличия в последней части таких следов большого числа изломов и сильного почернения измерение их затруднено. Результаты измерения и об-счета показали, что параметры большинства (92%) почти остановившихся в камере следов могут быть получены с достаточной точностью с использо-ванием кривизны следа в магнитном поле, если брать не всю его длину, а примерно 2/3 (рис. 7).

6. По величинам параметров, полученных после программы геометрической реконструкции ($\kappa_i^{\text{Э}}$) и этих же параметров, полученных после фит-программы 10-30 (κ_i^{T}), нами были рассчитаны нормированные отклонения /7/

$$S_i(\kappa) = \frac{\kappa_i^{\text{T}} - \kappa_i^{\text{Э}}}{\sigma(\kappa_i^{\text{T}} - \kappa_i^{\text{Э}})}, \quad (4)$$

(где $\kappa_i = P_i, \text{tg } \alpha_i, \beta_i$) отдельно для π -мезонов и протонов для следующих каналов реакций:



Распределения нормированных отклонений для этих параметров аппрок-симировались кривыми Гаусса (рис. 8,9,10). Нормированные отклонения должны иметь нормальное распределение около нуля со стандартным от-клонением σ , равным 1. Параметры кривых μ и σ , характери-зующие положение максимума и стандартное отклонение, найденные по методу наименьших квадратов, приведены в таблице VI. Там же приве-дены значения χ_{min}^2 , ν - числа степеней свободы и коэффициента асимметрии распределений γ /6/.

Наиболее статистически обеспеченными являются суммарные данные для всех каналов. Как видно из таблицы VI, параметры, определенные по суммарным результатам, согласуются с ожидаемыми значениями.

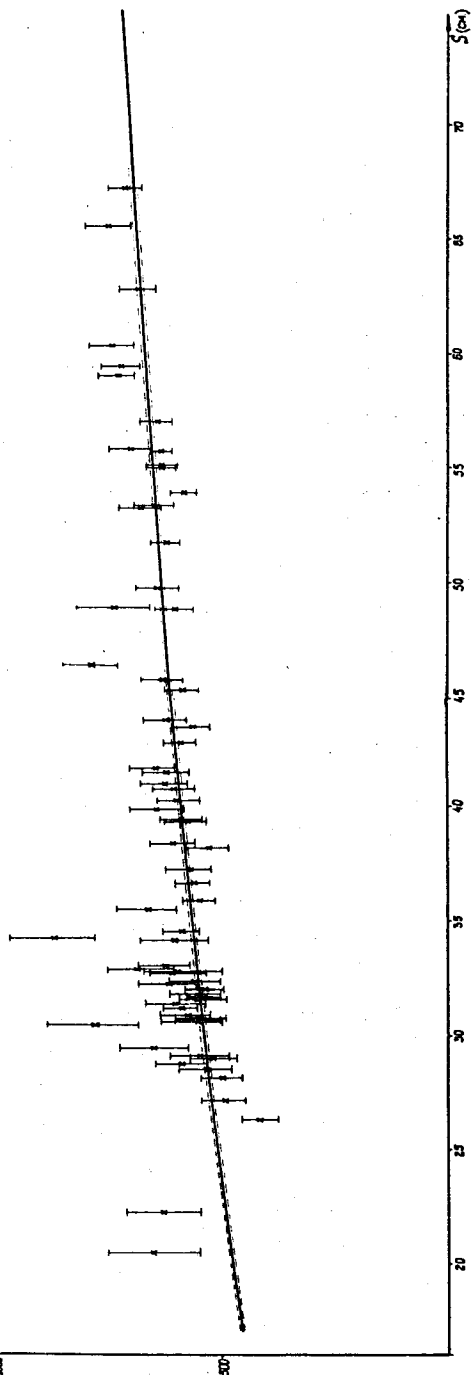


Рис. 7. Зависимость импульсов остановившихся в камере протонов от их длины. Измерения проводились на 2/3 длины следов, импульсы получены по кривизне треков в магнитном поле.

Таблица VI

Данные для протонов

Реакция	Параметр	χ^2	f Число степеней свободы	μ	σ	γ
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p$	P	20	30	$6,7 \pm 2,4$	$5,7 \pm 3$	-0,004
	$\text{tg } d$	21	30	$-6,5 \pm 4$	$8,1 \pm 6$	0,26
	β	7	30	$0,0 \pm 0,2$	$0,15 \pm 0,02$	2,3
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p \pi^0$	P	83	30	$0,48 \pm 0,08$	$1,07 \pm 0,06$	0,36
	$\text{tg } d$	106	30	$-0,05 \pm 0,02$	$0,3 \pm 0,02$	-0,02
	β	159	30	$0,8 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,04$	-0,11
Данные для π^- - мезонов						
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p$	P	64	30	$-0,06 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,2$	-0,13
	$\text{tg } d$	21	30	$-8 \pm 3,4$	8 ± 6	-0,65
	β	11	30	$0,03 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,03$	1,4
$\pi^- p \rightarrow \frac{\pi^- p}{\pi^- p \pi^+} + \pi^- n$	P	72	30	$0,13 \pm 0,6$	$1,02 \pm 0,04$	0,13
	$\text{tg } d$	55	30	$0,016 \pm 0,09$	$0,14 \pm 0,006$	-1,7
	β	144	30	$0,042 \pm 0,05$	$0,99 \pm 0,04$	-0,02

MC 17.5 AT
TOTAL NUMBER OF EVENTS 1667 UNITS 1 / 7

INTERVAL	EVENTS
-3.0000+000	2
-2.8000+000	7
-2.6000+000	1
-2.4000+000	1
-2.2000+000	0
-2.0000+000	1
-1.8000+000	2
-1.6000+000	4
-1.4000+000	4
-1.2000+000	10
-1.0000+000	7
-0.8000+000	6
-0.6000+000	3
-0.4000+000	11
-0.2000+000	11
0.0000+000	13
0.2000+000	7
0.4000+000	11
0.6000+000	6
0.8000+000	4
1.0000+000	4
1.2000+000	2
1.4000+000	2
1.6000+000	0
1.8000+000	4
2.0000+000	2
2.2000+000	3
2.4000+000	0
2.6000+000	0
2.8000+000	4
3.0000+000	5
3.2000+000	2
3.4000+000	2
3.6000+000	4
3.8000+000	3
4.0000+000	1

DIFFERENCE PARAMETER
BELOW THE LIMIT 0
ABOVE THE LIMIT 0

MIN 0.27033+02 SIGMA 1.2686+00
MAX 7.13413+04

SUMMA 1.65080+001

Рис. 8. Распределения нормированных отклонений $S(\rho)$ для импульсов π^- -мезонов от реакций $\pi^- \rightarrow \pi^- \rho^0, \pi^- \rho^+, \pi^- \pi^0, \pi^- \pi^+$.

MC 17.5 AT
TOTAL NUMBER OF EVENTS 1717 UNITS 1 / 1

INTERVAL	EVENTS
-3.0000+000	0
-2.8000+000	0
-2.6000+000	1
-2.4000+000	2
-2.2000+000	2
-2.0000+000	1
-1.8000+000	3
-1.6000+000	0
-1.4000+000	4
-1.2000+000	2
-1.0000+000	3
-0.8000+000	2
-0.6000+000	2
-0.4000+000	4
-0.2000+000	5
0.0000+000	60
0.2000+000	62
0.4000+000	11
0.6000+000	3
0.8000+000	1
1.0000+000	1
1.2000+000	2
1.4000+000	1
1.6000+000	1
1.8000+000	0
2.0000+000	0
2.2000+000	0
2.4000+000	0
2.6000+000	0
2.8000+000	0
3.0000+000	0

DIFFERENCE PARAMETER
BELOW THE LIMIT 0
ABOVE THE LIMIT 0

MIN -1.12530+001 SIGMA 5.72290+001
MAX -4.33440+001

SUMMA -1.02441+001

Рис. 9. Распределения нормированных отклонений $S(\rho)$ для π^- -мезонов от реакций $\pi^- \rightarrow \pi^- \rho^0, \pi^- \rho^+, \pi^- \pi^0, \pi^- \pi^+$.

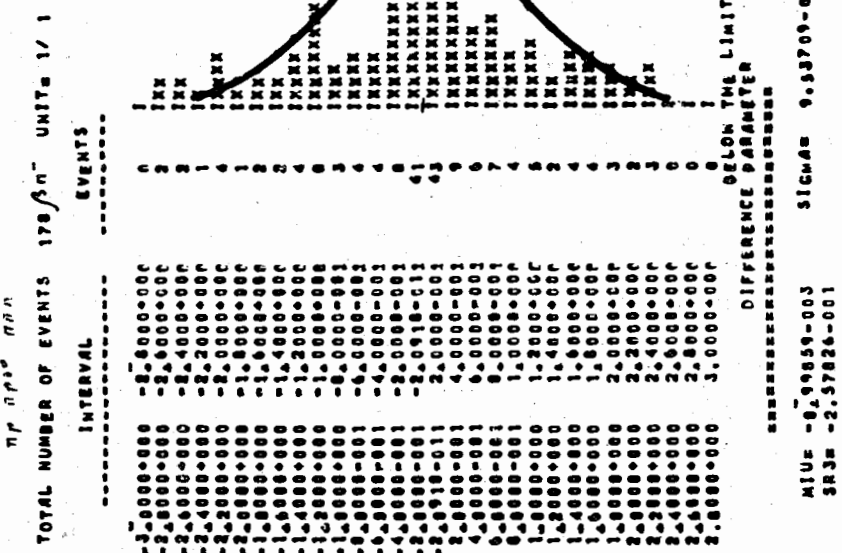


Рис. 10. Распределения нормированных отклонений $S(\beta_1)$ для π^- -мезонов от реакций $\pi^- \rightarrow \pi^- p, \pi^- p \rightarrow \pi^0, \pi^- \pi^+ p$.

Исключение составляет σ для iga . Искажения в распределениях iga (рис. 9) обусловлены, по-видимому, некорректным определением этой величины в кинематической программе.

Точность подгонки параметров в фитирующей программе исследовалась нами также на основании анализа импульсов первичных π^- -мезонов, вызывающих взаимодействия. Среднее значение подобранных импульсов равно 2698 ± 20 х', что совпадает с истинным значением импульса первичных π^- -мезонов 2680 Мэв/с для середины первой половины камеры.

В заключение считаем приятным долгом поблагодарить многих сотрудников ЛВЭ - Л.Э. Иеник, А.А. Кузнецова, Г.И. Копылова, В.Г. Гришина, сотрудников ЛВТА В.И. Мороза, Г.Н. Тентюкову, Н.Ф. Маркову и др. за обсуждения и помощь.

Авторы весьма признательны измерителям и лаборантам Л. Гончаровой, А. Gladкой, Г.А. Коротковой, В.С. Ваксиной, Д.В. Линдфорс и Л.И. Жуковой.

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. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз, В.И. Никитина, А.П. Стельмах, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ Р10-3768, Дубна, 1968.
3. А.Ф. Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ Р-1982, Дубна, 1965.
4. З.М. Иванченко, А.Ф. Лукьянцев, А.Д. Макаренкова, В.И. Мороз, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ Р11-3983, Дубна, 1968.
5. Нгуен Дин Ты и др. Препринт ОИЯИ 1-5140, Дубна, 1970.
6. Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. Из-во "Наука", Москва, 1965.

^{x/} Взаимодействия отбирались только в 1-ой половине камеры.

7. J.P. Berge, F.I. Salmitz, H.D. Taft. *The Review of Scientific Instruments* 32, No 5. (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1970 года.