

к. 121
7153

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Экз. чит. зал

1 - 7153

**М.Вальтер , В.В.Глаголев, А.Константинеску,
Р.М.Лебедев, И.С.Саитов, В.Н.Стрельцов**

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ОБРАБОТКИ СНИМКОВ СО 100- САНТИМЕТРОВОЙ
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ
ЛВЭ ОИЯИ**

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 7153

М.Вальтер¹, В.В.Глаголев, А.Константинеску²,
Р.М.Лебедев, И.С.Саитов, В.Н.Стрельцов

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ОБРАБОТКИ СНИМКОВ СО 100- САНТИМЕТРОВОЙ
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ
ЛВЗ ОИЯИ**

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

¹ Институт физики высоких энергий ГАН, Берлин,
Цойтен

² Университет в Бухаресте, Физический факультет

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

1. Введение

Специфическим свойством всякой пузырьковой камеры является то, что фотографирование следов заряженных частиц в рабочем объеме приходится производить через слой возмущенной жидкости. Состояние жидкости зависит от конструкции камеры и устройства технологических систем, обеспечивающих постоянство термодинамических условий, при которых жидкость находится в момент фотографирования. Это обстоятельство особенно существенно для водородных пузырьковых камер. Поэтому для всякой вновь создаваемой пузырьковой камеры важно исследование точностей определения геометрических и кинематических параметров взаимодействий элементарных частиц, получаемых из результатов измерений на фотографических изображениях.

Конструкция 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры /ВПК/ ЛВЭ ОИЯИ^{/1/} такова, что фотографирование рабочего объема производится через слой газообразного водорода, температура которого изменяется от 273 до 29 °К/рис. 1/. Наличие такого слоя газа с большим перепадом температур неизбежно ведет к заметной рефракции световых лучей. Величина рефракции оценивалась ранее в^{/2/}; в нашем случае она носит характер радиальной дисторсии, которая автоматически учитывается при определении оптических констант для геометрической программы Треш^{/3/}. Параметры оптической системы фотографирования приведены в^{/4/}. В га-

зовом слое принципиально возможны локальные флуктуации плотности. По этой причине исследование точности определения некоторых величин, восстанавливаемых по снимкам описываемой камеры, представляет дополнительный интерес. Ниже приводятся результаты исследований некоторых характеристик камеры, которые проводились на основе снимков, полученных при ее экспозиции в пучке π^- -мезонов при импульсе 5 Гэв/с.

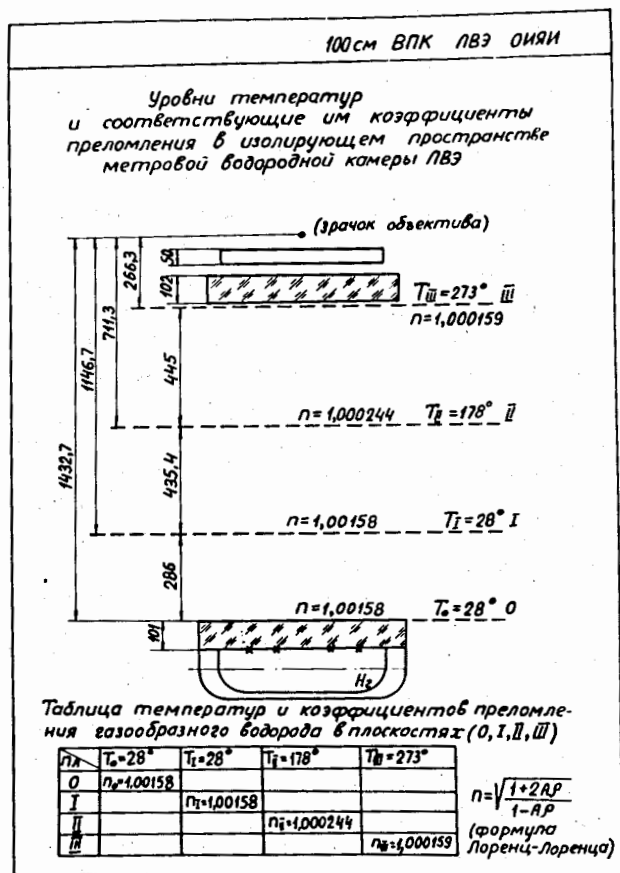


Рис. 1

2. Точность восстановления координат точек

Для четырех различных экспозиций на 22 снимках из каждой экспозиции измерялись координаты вершин реперных крестов как соответствующие точки. Измерялись вершины 13 из 14 крестов, нанесенных на поверхности стекла, граничащей с жидким водородом, а также двух крестов, нанесенных на поверхность призмы, находящейся под слоем жидкого водорода толщиной 28 см. Пространственные координаты крестов восстанавливались с помощью геометрической программы Треш. В таблице 1 представлены среднеквадратичные отклонения координат крестов от средних значений, полученные

Таблица 1

Средние значения среднеквадратичных отклонений для распределений X, Y и Z- координат крестов, измеренных как соответствующие точки

N экспоз	$\bar{\sigma}_x^*/\bar{\sigma}_x^{**}$ см	$\bar{\sigma}_y/\bar{\sigma}_y^{np}$ см	$\bar{\sigma}_z/\bar{\sigma}_z^{np}$ см
17	0.0032 / 0.0073 $\pm 0.0006 / \pm 0.0011$	0.0023 / 0.0067 $\pm 0.0005 / \pm 0.0010$	0.0159 / 0.0509 $\pm 0.0024 / \pm 0.0077$
21	0.0026 / 0.0033 $\pm 0.0005 / \pm 0.0005$	0.0028 / 0.0045 $\pm 0.0004 / \pm 0.0007$	0.0228 / 0.0208 $\pm 0.0050 / \pm 0.0032$
24	0.0026 / 0.0053 $\pm 0.0004 / \pm 0.0008$	0.0020 / 0.0056 $\pm 0.0003 / \pm 0.0008$	0.0128 / 0.0386 $\pm 0.0020 / \pm 0.0060$
31	0.0027 / 0.0067 $\pm 0.0004 / \pm 0.0010$	0.0024 / 0.0073 $\pm 0.0004 / \pm 0.0011$	0.0128 / 0.0447 $\pm 0.0019 / \pm 0.0068$

*) $\bar{\sigma}_x, y, z$ - для крестов на границе стекло-водород

**) $\bar{\sigma}_x, y, z^{np}$ - для крестов на краях призмы растра

по 22 измерениям и усредненные по 13 крестам на стекле, и отдельно - по двум крестам на призме. Из таблицы 1 видно, что среднеквадратичные отклонения для крестов, находящихся под слоем жидкого водорода, больше, чем для крестов, расположенных на стекле. Если учесть, что масштаб фотографирования для плоскости стекла составляет 1 : 8,69, то величина $\bar{\sigma}(x, y)$ соответствует измерительной ошибке. Кресты, нанесенные на призму, расположены у границ рабочего объема камеры, вблизи боковых стенок. Возможно, что их изображения подвержены заметным дисторсиям, обусловленным флуктуациями плотности жидкости вблизи стенок. Полученные нами значения среднеквадратичных отклонений в распределениях координат крестов на верхней и нижней границах рабочего объема камеры можно рассматривать как оценки точности измерения соответствующих точек в нашей камере.

О качестве измерений несоответствующих точек можно судить по среднеквадратичным отклонениям измеренных точек от фитированной спирали /так называемым остаткам/. Средние значения остатков для измерений, выполненных в разных группах, следующие: Берлин - $6,5 \pm 2,8$ мкм, Дубна - $7,1 \pm 1,0$ мкм, Кошице - $7,0 \pm 1,5$ мкм /в плоскости пленки/.

В программе Грайнд /5/ для подсчета ошибок измерений применяются следующие формулы:

$$\Delta 1/\rho = \frac{8f^0}{(L \cos \lambda)^2}; \Delta \lambda = \frac{6\sqrt{\cos^2 \lambda + 0,01 f^0}}{L}; \Delta \phi = \frac{4,16f^0}{L \cos \lambda}, \quad /1/$$

где $1/\rho$ - кривизна следа /см⁻¹ /, λ - угол погружения /мрад/, ϕ - азимутальный угол /мрад/, L - длина следа, f^0 - пространственная разрешающая способность камеры /мкм/.

Константа f^0 отражает влияние возможных источников ошибок, не учитываемых формулами. Эта константа

для каждого эксперимента определяется заново из графика зависимости R от f^0 , где

$$R = \frac{\text{количество 4с событий}}{\text{полное количество событий}}$$

Формулы /1/ показывают, что ошибки с f^0 связаны линейно. Для слишком маленьких значений f^0 количество событий, фитируемых программой Грайнд как возможные 4С-события, подавляется. С ростом f^0 величина R возрастает и, начиная с некоторого значения, остается постоянной. Это значение f^0 и выбирается в качестве пространственной разрешающей способности камеры. На рис. 2 показана зависимость R от f^0 для четырехлуче-

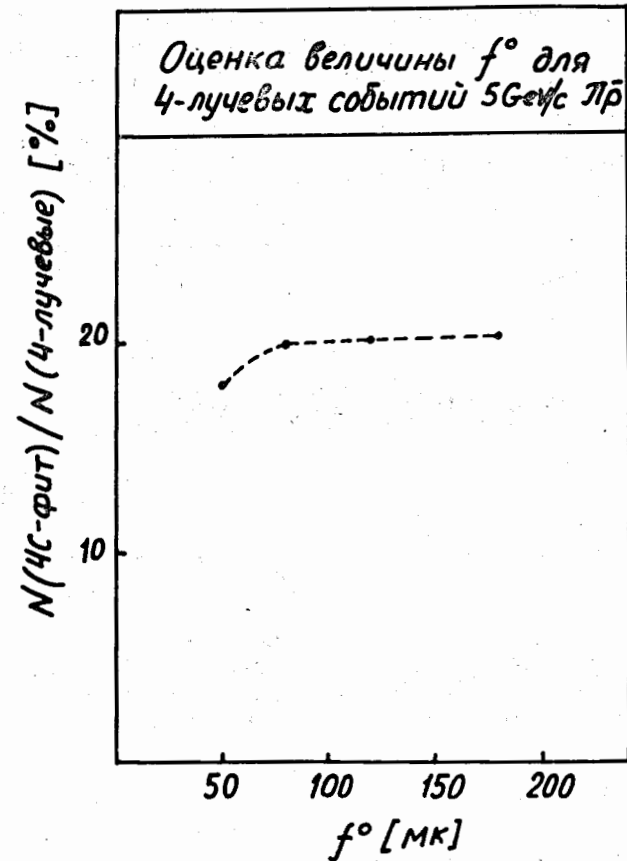


Рис. 2

вых событий в эксперименте, выполненном со 100-сантиметровой ВПК в пучке π^- -мезонов с импульсом 5Гэв/с. На этом основании пространственная разрешающая способность нашей камеры при условии измерений снимков на полуавтоматических микроскопах /6/ была принята равной 80 мкм.

3. Точность измерения параметров следов

На рис. 3б приведено распределение относительных ошибок для всех вторичных частиц в шестилучевых событиях с вершинами, расположенными в области мишени /рис. 3а/. Относительная ошибка определения импульса вторичной частицы в 80% случаев не превышает 2%.

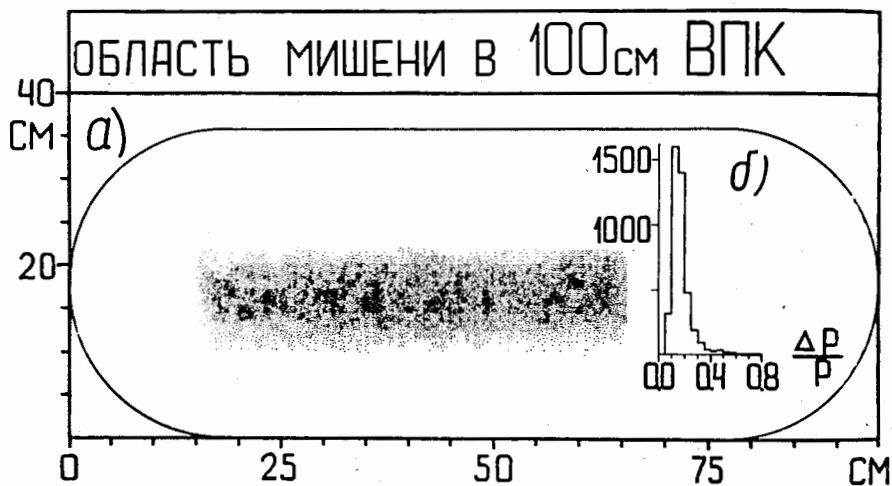


Рис. 3. а/ Расположение вершин событий в области мишени в рабочем объеме камеры. б/ Распределение относительных ошибок в импульсах вторичных частиц для событий с вершинами в области мишени.

Наиболее опасной, с точки зрения возникновения дисторсий, обусловленных движением жидкости, является область камеры, соседняя с механизмом изменения давления. Поэтому камера была расположена так, чтобы

пучок входил со стороны механизма. Такое расположение позволяло надеяться получить наибольшие точности восстановления кривизны вторичных треков. Половина каждого трека пучка измерялась соответственно в первой и второй частях камеры на одинаковых длинах /46 см/. Кривизна следов восстанавливалась с помощью программы Треш. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты измерений пучковых треков в первой и второй половинах камеры

$(\frac{1}{p})_I \pm 6(\frac{1}{p})_I$ 1/метр	$(\frac{1}{p})_II \pm 6(\frac{1}{p})_II$ 1/метр	Средний остаток I часть камеры микрон	Средний остаток II часть камеры микрон
0.117 ± 0.011	0.115 ± 0.008	7.12 ± 2.13	6.7 ± 2.3

Значения кривизны в первой и второй половинах камеры, а также средние остатки в пределах статистических ошибок совпадают. На рис. 4 приведено двумерное рас-

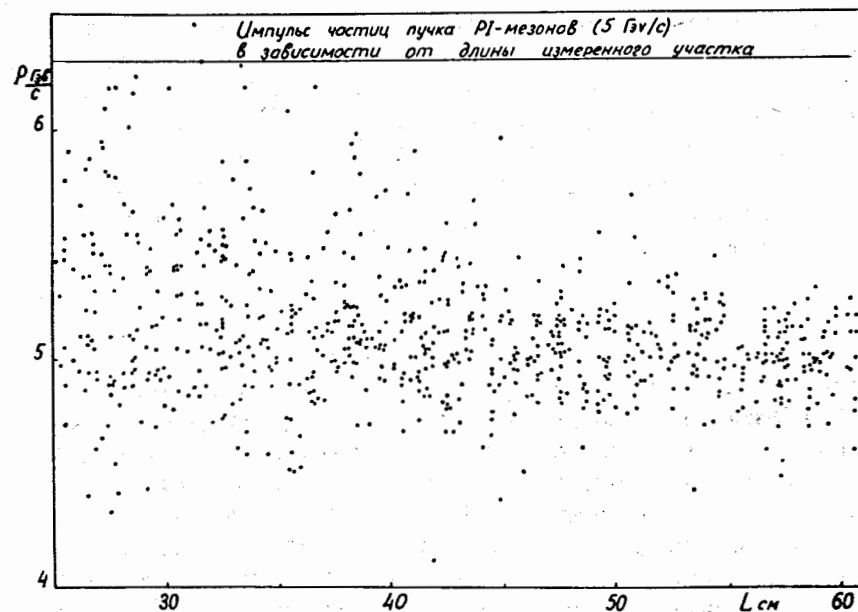


Рис. 4

пределение импульс-длина для следов частиц с импульсом 5 Гэв/с, из которого видно, что: а/ наиболее надежными являются измерения на длинах ≥ 45 см, то-есть в той области длин, где ошибка, вносимая кулоновским рассеянием, становится равной измерительной ошибке; б/ начиная с длины ~ 45 см, среднее значение измеренного импульса остается постоянным.

Возможные систематические смещения фитированной и нефитированной величин друг относительно друга могут быть обнаружены из анализа распределения.

$$P = \frac{a_{\text{нефит}} - a_{\text{фит}}}{\sqrt{\sigma_{\text{нефит}}^2 - \sigma_{\text{фит}}^2}}, \quad /2/$$

где $a_{\text{фит}}$ и $a_{\text{нефит}}$ - фитированный и нефитированный параметры, а σ^2 - квадраты ошибок их определения. В отсутствие систематических смещений это распределение является нормальным, когда среднее значение равно нулю, а среднеквадратичное отклонение равно единице. В таблице 3 приведены характеристики распределений величины P для обратного импульса, углов погружения и азимутального. Видно, что во всех случаях для вторичных частиц средние значения P близки к нулю, а среднеквадратичные отклонения действительно близки к единице.

Для версии программ Треш и Грайнд, по которым велась обработка событий, важно согласование внутренней и внешней ошибок в определении параметров частиц: кривизне, угле погружения и азимутальном угле. От отношения внутренних и внешних ошибок зависит форма распределения вероятностей χ^2 . В идеальном случае это отношение должно равняться единице. В таблице 4 приведены средние значения отношения внутренних ошибок к внешним, полученные в лабораториях, где производились одновременно и измерения и счет событий.

Таблица 3
Значения величины P /пулл/ для событий, измеренных в Берлине и Дубне

Тип события и трека	Пулл $1/\rho$	δ	Пулл λ	δ	Пулл ψ	δ
4 луча пучковые Дубна	-0.19 ± 0.052	$.91 \pm .04$	-0.155 ± 0.062	$1.08 \pm .05$	-0.009 ± 0.056	$.92 \pm .04$
4 луча вторичн. Дубна	-0.069 ± 0.026	$.91 \pm .02$	-0.112 ± 0.031	$1.08 \pm .02$	0.054 ± 0.026	$.92 \pm .02$
4 луча пучковые Берлин	0.056 ± 0.048	$.87 \pm .04$	-0.015 ± 0.051	$.92 \pm .04$	0.083 ± 0.053	$.96 \pm .04$
4 луча вторичн. Берлин	-0.041 ± 0.024	$.89 \pm .02$	0.005 ± 0.025	$.91 \pm .02$	-0.026 ± 0.025	$.89 \pm .02$
6 лучей пучковые Дубна	0.032 ± 0.048	$.84 \pm .03$	-0.053 ± 0.056	$.99 \pm .04$	-0.031 ± 0.053	$.94 \pm .04$
6 лучей вторичн. Дубна	-0.110 ± 0.020	$.90 \pm .02$	-0.026 ± 0.023	$.99 \pm .02$	-0.022 ± 0.021	$.91 \pm .02$
6 лучей пучковые Берлин	0.114 ± 0.065	$.90 \pm .05$	0.250 ± 0.065	$.90 \pm .05$	0.049 ± 0.068	$.94 \pm .05$
6 лучей вторичн. Берлин	-0.110 ± 0.027	$.91 \pm .02$	0.190 ± 0.027	$.92 \pm .02$	-0.012 ± 0.027	$.91 \pm .02$

Таблица 4
Отношение внутренних ошибок к внешним для событий, измеренных в Берлине и Дубне

Лаборатория и тип события	Параметры	Средняя величина отношения	Среднее квадратичное отклонение
Дубна 6 лучей	$\Delta(\frac{1}{\rho})^{int}/\Delta(\frac{1}{\rho})^{ext}$	0.73	0.2
	$\Delta(\lambda)^{int}/\Delta(\lambda)^{ext}$	0.93	0.2
	$\Delta(\psi)^{int}/\Delta(\psi)^{ext}$	0.72	0.2
Дубна 4 луча	$\Delta(\frac{1}{\rho})^{int}/\Delta(\frac{1}{\rho})^{ext}$	0.65	0.2
	$\Delta(\lambda)^{int}/\Delta(\lambda)^{ext}$	0.91	0.2
	$\Delta(\psi)^{int}/\Delta(\psi)^{ext}$	0.64	0.2
Берлин 6 лучей	$\Delta(\frac{1}{\rho})^{int}/\Delta(\frac{1}{\rho})^{ext}$	0.53	0.2
	$\Delta(\lambda)^{int}/\Delta(\lambda)^{ext}$	0.52	0.2
	$\Delta(\psi)^{int}/\Delta(\psi)^{ext}$	0.52	0.2

4. Распределения квадратов недостающей массы и разрешение по эффективным массам

Распределения квадратов недостающей массы для каналов с четырьмя и шестью заряженными частицами в конечном состоянии, приведенные на рис. 5 а,б, показывают, что они хорошо согласуются со значениями масс

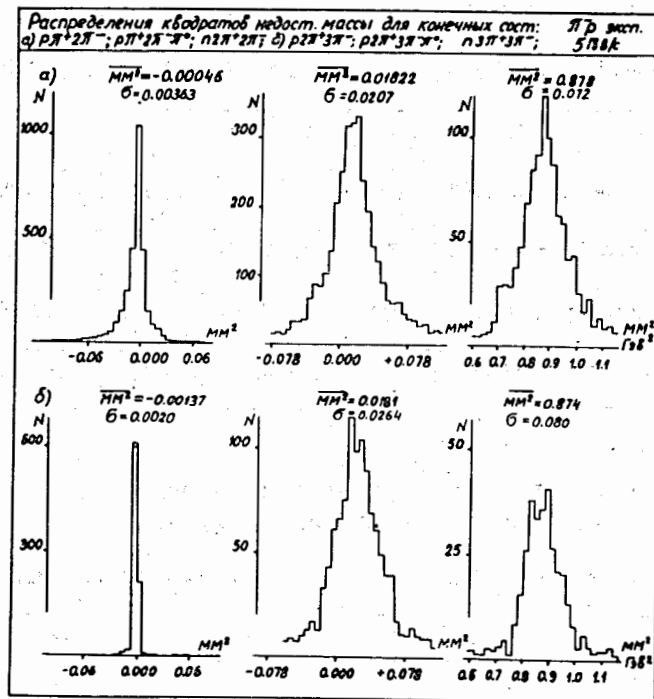


Рис. 5 а/ б/

нейтрального пиона и нейтрона для события с одной степенью свободы и сконцентрированы в окрестности нуля для событий с четырьмя степенями свободы.

Величина разрешения по эффективным массам определялась из распределения ошибок в областях эффективных масс известных резонансов. Результаты, приве-

денные в таблице 5, показывают, что 100-сантиметровая ВПК гарантирует точности измерений на уровне других водородных камер ^{17/}.

Таблица 5
Разрешение 100-см водородной пузырьковой камеры для известных резонансов

Название комбинации	Область значений эфф. масс ГэВ	Разрешение $\bar{R} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta M_{эфф}^2)}{n}}$ для разных каналов						
		реакций в МэВ. Рпучка = 5 ГэВ/с						
$N\pi^+$	1.15-1.30	5.5 ± 0.13	6.5 ± 0.3	10 ± 0.5	5 ± 0.13	6 ± 0.13	7.9 ± 0.3	
$N\pi^-$	1.15-1.30	5.6 ± 0.13	6.3 ± 0.1	9.3 ± 0.3	5 ± 0.11	5.9 ± 0.13	8 ± 0.2	
$N\pi^0$	1.15-1.30		2.5 ± 0.9					
$\pi^+\pi^-$	0.66-0.86	6.1 ± 0.10	12 ± 1.3	12 ± 0.2	8.4 ± 0.12	12 ± 0.3	11 ± 0.23	
$\pi^+\pi^0$	0.66-0.86		2.8 ± 0.9			2.7 ± 2.9		
$\pi^-\pi^0$	0.66-0.86		3.0 ± 0.9			2.7 ± 0.6		
$\pi^+\pi^-\pi^0$	1.30-1.34	9.1 ± 0.24	10 ± 0.3	1.5 ± 0.4	1.2 ± 0.35	1.1 ± 0.24	1.4 ± 0.54	
$\pi^+\pi^-\pi^+$	0.540-0.558		1.2 ± 2.0			1.3 ± 0.6		
$\pi^+\pi^-\pi^-$	0.764-0.804		2.1 ± 0.9			2.0 ± 0.9		
$\pi^+\pi^-\pi^0$	0.95-1.04					2.4 ± 1.5		
$N\pi^+\pi^-$	1.49-1.71	6.8 ± 0.20			8.7 ± 0.22			

^{17/} $(\Delta M_{эфф}^2)^2$ - квадрат ошибки в эффективной массе для отдельного события.

5. Определение параметров пучка

В процессе нескольких экспозиций камеры в пучке отрицательных пионов с импульсом 5 ГэВ/с оказалось, что средний импульс пучка от сеанса к сеансу несколько меняется. Поэтому параметры пучка /импульс и его разброс/ для каждой экспозиции определялись отдельно подобно тому, как это описано в ^{18/}. В качестве первого приближения в блоки констант программы Грайнд вводились значения параметров частицы пучка, определенные с помощью геометрической программы. С этими значениями обрабатывалась партия событий. При этом ошибка

в импульсе для блока констант программы Грайнд задавалась на порядок большей, чем ожидаемый разброс по импульсу. Фитированное значение импульса частицы пучка для событий без нейтральных частиц принималось за измеренное. Из распределения этих величин получены среднее значение импульса и среднеквадратичный разброс в импульсе частицы пучка, которые и принимались в дальнейшем за параметры пучка.

На рис. 6а показан импульсный спектр частиц пучка для событий из экспозиций 24 и 27. Из таблицы, приведенной на том же рисунке, виден характер изменения среднего значения импульса пучка от экспозиции к экспозиции. На рис. 6б показано, как зависит получаемый по

санной выше процедуре следует брать достаточно большой /в области плато/. На рис. 6в приведено распределение углов погружения частиц пучка.

Авторам приятно поблагодарить коллектив сотрудников группы обработки во главе с Е.С.Кузнецовой за большой труд по измерениям событий, а также коллектив лаборантов отдела водородных камер ЛВЭ ОИЯИ и Института физики высоких энергий ГАН, Берлин, Цойтен за помощь в обработке данных.

Литература

1. A.V.Belonogov, A.A.Belushkina, R.Vinaver, V.N.Vinogradov, V.V.Glagolev, E.I.Dyachkov, A.G.Zel'dovich, N.K.Zel'dovich, E.V.Kozubsky, R.M.Lebedev et al. Nucl.Instr. & Meth., 20, 114 (1963).
2. Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц. ОИЯИ Б4-2801, Дубна, 1966.
3. CERN, T.C.Program Library, sec. THRESH, 1.3. 1966.
4. В.В.Глаголев, А.А.Гулюгин, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц и др. Препринт ОИЯИ 13-3633, 1967.
5. CERN, T.C.Program Library, sec. GRIND, 30.10.1968. А.Ф.Лукьянцев, И.С.Саитов. Сообщение ОИЯИ Р10-5210, Дубна, 1970.
6. В.Я.Алмазов, И.А.Голутвин, В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.Д.Шустров, В.Д.Степанов. Препринт ОИЯИ 13-52, Дубна, 1963. В.В.Ермолаев, И.И.Иоселиани и др. Препринт ОИЯИ 10-5973, Дубна, 1971.
7. H.Blumenfeld, F.Bruiant et al. CERN/D.Ph. II/HB/hm 9.5. 1969.
8. R.Georg et al. Nuovo Cimento., 49A, 9 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 мая 1973 года.

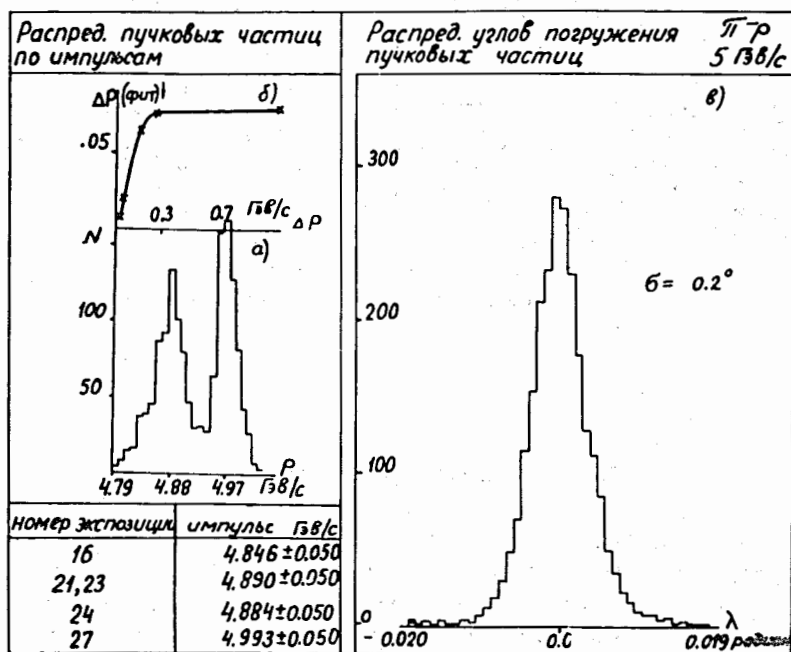


Рис. 6 а/ б/ в/

описанной процедуре разброс импульса пучка от задаваемой в блоке констант программы Грайнд величины ошибки. Видно, что начальную ошибку в импульсе пучка в опи-