

6967

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Экз. чит. зала

1 - 6967

А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков,
К.П.Вишневская, В.Г.Гришин, И.А.Ивановская,
Ш.В.Иногамов, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая,
Д.М.Кохли, В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова,
В.М.Попова, М.Сабэу, М.И.Соловьев, Л.Н.Смирнова,
Х.Я.Супичаков, Ю.В.Тевзадзе, Н.Г.Фадеев,
Л.М.Щеглова, Г.Янчо

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ
ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБРАБОТКОЙ СОБЫТИЙ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В 2-МЕТРОВОЙ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ ОИЯИ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков,
К.П.Вишневецкая,¹ В.Г.Гришин, И.А.Ивановская,
Ш.В.Иногамов, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая,
Д.М.Кохли,² В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова,
В.М.Попова,¹ М.Сабзу, М.И.Соловьев, Л.Н.Смирнова,¹
Х.Я.Супичаков, Ю.В.Тевзадзе, Н.Г.Фадеев,
Л.М.Щеглова,¹ Г.Янчо

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ
ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБРАБОТКОЙ СОБЫТИЙ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В 2-МЕТРОВОЙ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ ОИЯИ

¹ Физический факультет Московского государственного университета

² Физический факультет Пенджабского университета, Чандигар, Индия

Введение

Двухметровая пропановая пузырьковая камера ОИЯИ /ДТПК-500/ /1/ была облучена в пучке π^- -мезонов с импульсом $40,00 \pm 0,24$ Гэв/с на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/.

В работе /2/ дано описание оптической системы камеры и методики определения оптических констант.

В настоящей работе приводятся некоторые методические результаты обработки событий, зарегистрированных в камере: данные о точности определения пространственных координат в камере; выбор эффективной области регистрации звезд, γ -квантов и нейтральных странных частиц; ошибки измерения углов и импульсов вторичных частиц, а также точность определения параметров γ -квантов и критерии выделения тормозных γ -квантов.

§1. Точность определения пространственных координат в камере

Для определения точности восстановления координат в устройстве камеры было произведено измерение координат крестов, расположенных на верхнем стекле и дне камеры. Расположение крестов и выбранные при этом измерения системы координат изображены на рис. 1а, 1б. Система координат, используемая в камере при обсчете событий, приведена на рис. 1в.

На рис. 2 /а,б/ приведены распределения отклонений измеренных координат X и Y крестов от их положения на стеклах камеры. Каждая точка на рисунке соответствует среднему из 4-х независимых измерений каждого креста. Среднеквадратичное отклонение измеренных координат от положения крестов на плоскости XY оказалось равным $\sqrt{\langle r^2 \rangle} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \cdot (R1 \pm 7)$ мкм, при этом измерения крестов на стекле и дне камеры показали, что точность восстановления Z -координаты в среднем составляет 440 ± 60 мкм.

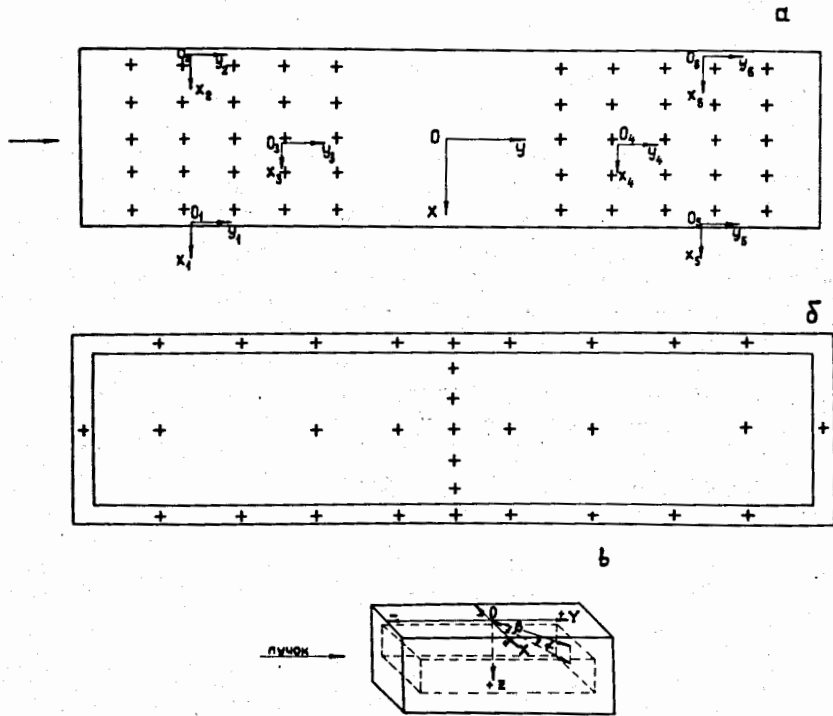


Рис. 1. а/ Реперные кресты на стеклах камеры; б/ Реперные кресты на дне камеры; в/ Расположение системы координат X, Y, Z в камере. Угол β отсчитывается в плоскости X, Y от оси X , глубинный угол α отсчитывается от проекции трека на плоскость X, Y до трека по часовой стрелке.

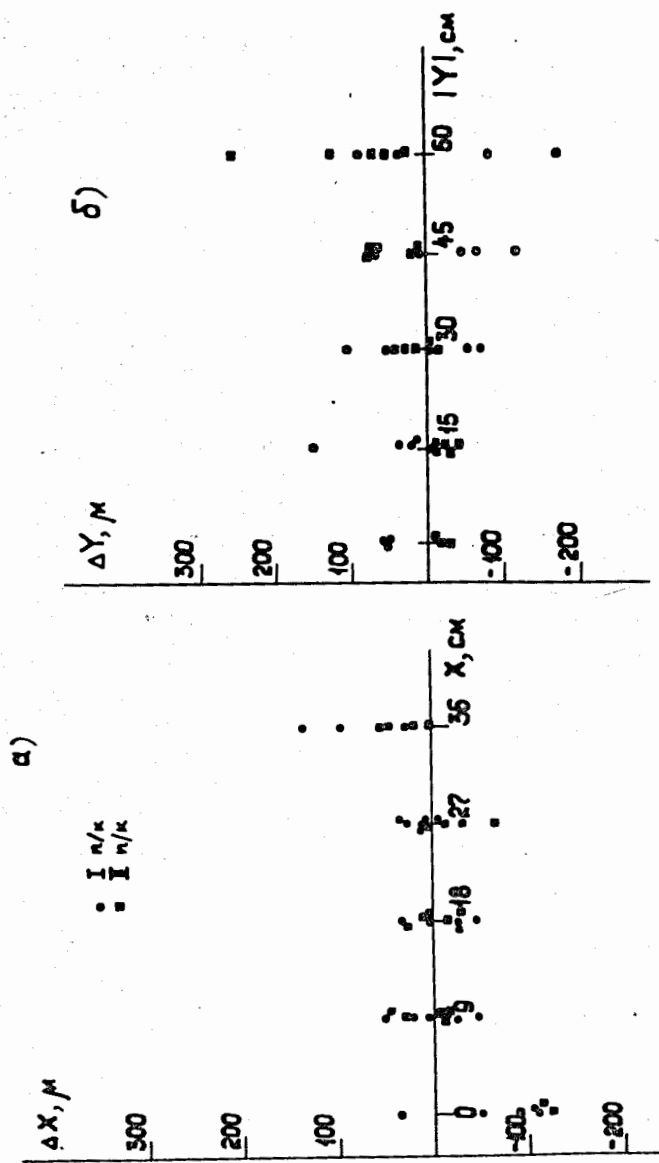


Рис. 2. Распределение отклонений восстановленных координат реперных крестов от их истинного положения на стеклах камеры: а/ по оси X ; б/ по оси Y .

Приведенные погрешности характеризуют оптическую систему камеры и программу реконструкции координат ^{1/3}. Считалось, что 4-кратное измерение крестов исключает ошибки измерений.

Для оценки измерительной ошибки в определении пространственных координат точек в камере были дважды измерены координаты точек взаимодействия первичных π^- -мезонов и точек конверсии γ -квантов по всему объему камеры. В таблице I приведены полученные значения среднеквадратичных ошибок измерения пространственных координат X, Y и Z для e^\pm и π^- -мезонов. Соответствующие распределения величин σ_x, σ_y и σ_z близки к нормальным.

§2. Выбор эффективной области регистрации звезд и γ -квантов

Для выбора эффективной области регистрации звезд в камере были построены распределения по координатам X, Y, Z , углу β в плоскости XU и тангенсу глубинного угла α , относящиеся к первичным трекам, дающим звезды в I и II половинах камеры /рис. 3 и 4/. Эти распределения согласуются с поперечными размерами пучка, полученными с помощью счетчиков /рис. 5/. На основании этих распределений была выбрана эффективная область для регистрации звезд в первой половине камеры:

$$-4 \text{ см} \leq X_I \leq 6 \text{ см}$$

$$-88 \text{ см} \leq Y_I \leq -33 \text{ см}$$

$$22 \text{ см} \leq Z_I \leq 28 \text{ см}$$

$$1,557 \text{ рад} \leq \beta_I \leq 1,572 \text{ рад}$$

$$-0,013 \leq \text{tg } \alpha_I \leq 0,009,$$

во второй половине камеры:

$$-3 \text{ см} \leq X_{II} \leq 7 \text{ см}$$

$$15 \text{ см} \leq Y_{II} \leq 70 \text{ см}$$

$$22 \text{ см} \leq Z_{II} \leq 28 \text{ см}$$

$$1,543 \text{ рад} \leq \beta_{II} \leq 1,562 \text{ рад}$$

$$-0,012 \leq \text{tg } \alpha_{II} \leq 0,006.$$

Т А Б Л И Ц А I

Измерительные ошибки определения координат точек в камере

Среднеквадратичное отклонение в см	e^\pm	π^-
$\langle \sigma_x \rangle$	0,0095	0,0078
$\langle \sigma_y \rangle$	0,026	0,028
$\langle \sigma_z \rangle$	0,050	0,043

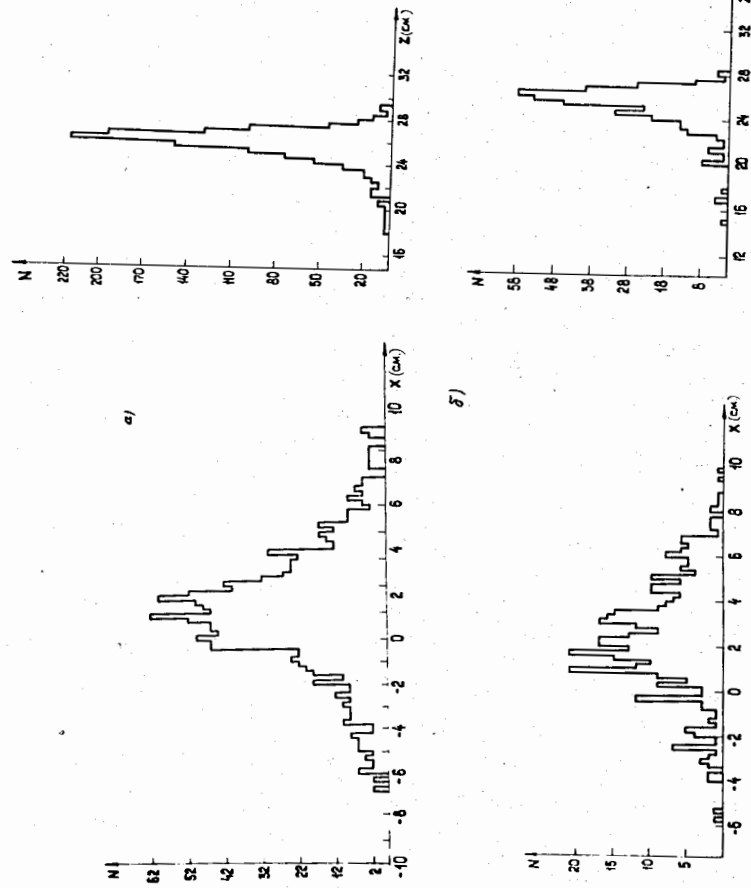


Рис. 3. а/ Распределения звезд по осям X, Z в первой половине камеры. б/ Распределения звезд по осям X, Z во второй половине камеры.

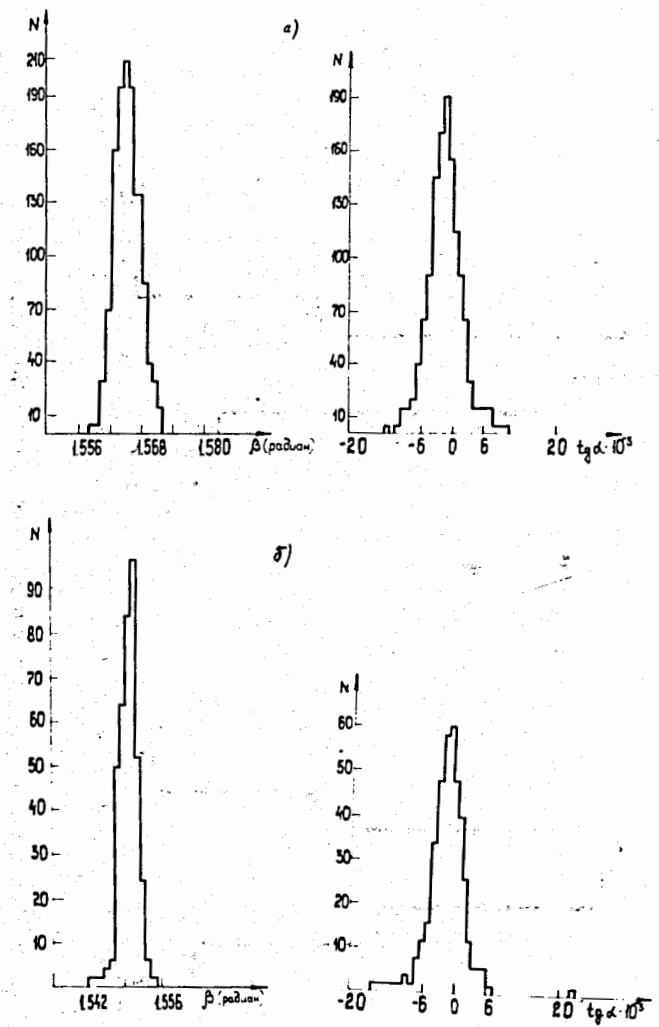


Рис. 4. а/ Распределения первичных π^- -мезонов по углу β и $\text{tg } \alpha$ в точке взаимодействия в первой половине камеры. б/ То же для второй половины камеры.

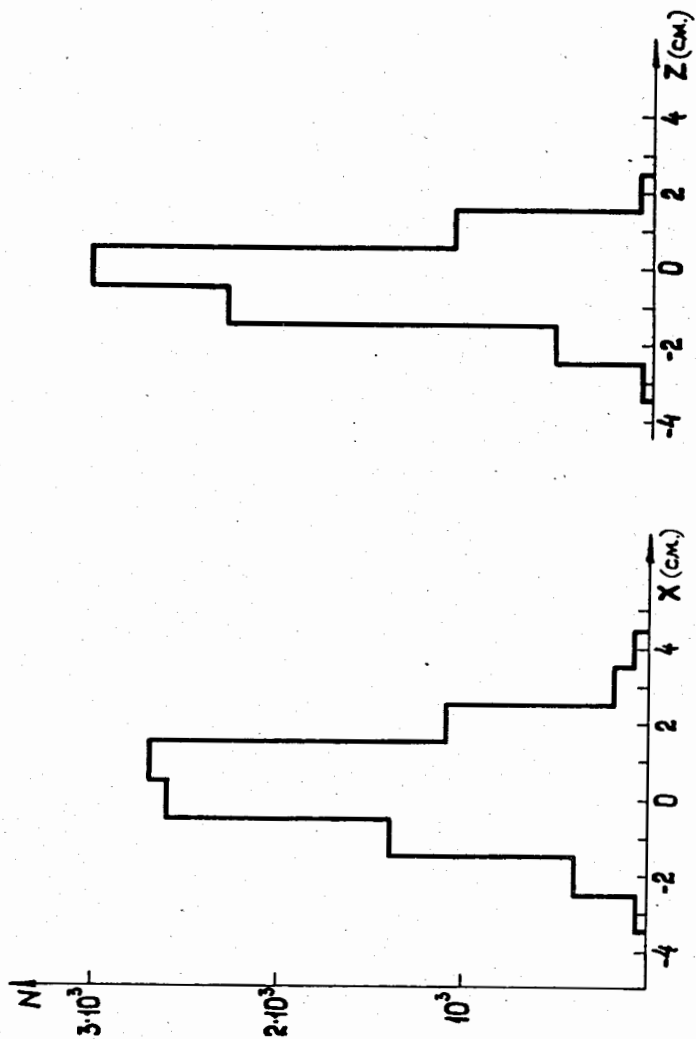


Рис. 5. Распределения первичных π^- -мезонов по осям X и Z , полученные с помощью счетчиков /начало отсчета X и Z произвольное/.

Угловой разброс частиц в пучке по данным счетчиков составлял $\Delta\beta \approx 0,6$ мрад, а $\Delta \operatorname{tg} \alpha \approx 0,5 \times 10^{-3}$.

Размеры эффективной области регистрации γ -квантов и V^0 -частиц по осям X и Y определялись возможностью измерения продуктов распада. По оси X эффективная область регистрации была взята от -20 см до $+20$ см, по оси Y в I-ой половине камеры $-90 \text{ см} \leq Y_I \leq -10 \text{ см}$ и во II-й половине $10 \text{ см} \leq Y_{II} \leq 90 \text{ см}$. Для определения эффективной области регистрации γ -квантов и V^0 -частиц по оси Z была сделана специальная проверка: варьировалась область регистрации γ -квантов по оси Z при постоянной эффективной области регистрации звезд.

В случае одинаковой чувствительности камеры по глубине полное число γ -квантов с учетом эффективности их регистрации должно оставаться постоянным в пределах статистических ошибок. Результаты исследования приведены в таблице II.

Видно, что, начиная с нижней границы области регистрации звезд $/28 \text{ см}/$, имеется тенденция к уменьшению суммы весов γ -квантов. Этот эффект объясняется недостаточным освещением района дна камеры. Исходя из полученных данных, для регистрации γ -квантов и V^0 -частиц была выбрана область по Z от 2 до 30 см. Для оценки потерь γ -квантов, летящих в нижнюю полусферу, было проанализировано распределение γ -квантов по азимутальному углу ϕ в плоскости, перпендикулярной направлению первичного трека.

На рис. 6 представлено распределение γ -квантов с учетом эффективности их регистрации по азимутальному углу. Исходя из того, что распределение γ -квантов по азимутальному углу должно быть изотропным, и, считая, что все γ -кванты, летящие в верхнюю полусферу, регистрируются, можно оценить поправку к общему числу зарегистрированных γ -квантов. Она оказалась равной $1,09$. Аналогичное распределение для треков из звезд приведено на рис. 7. Как видно из рисунка, полученное распределение в пределах статистических ошибок согласуется с изотропным, т.е. потерей следов, идущих вниз, можно пренебречь.

§3. Выделение тормозных γ -квантов

Для выделения тормозных γ -квантов были рассчитаны эффективные массы пар γ -квантов $M_{\gamma\gamma}$ для событий с числом γ -квантов ≥ 2 . Для пар γ -квантов с $M_{\gamma\gamma} \leq 30 \text{ Мэв}/c^2$ было построено импульсное распределение γ -квантов, имеющих меньшую величину импульса /рис. 8а/.

Т А Б Л И Ц А II

Полное число γ -квантов с учётом эффективности регистрации при различном
выборе эффективной области по оси Z

Область регистрации γ -квантов по оси Z	4+28		8+28		12+28		16+28		20+28		20+30		20+32		20+34		20+38	
	см	±	см	±	см	±	см	±	см	±	см	±	см	±	см	±	см	±
$N_{\gamma c}$ всего	6388±	+ 229	6409±	+230	6420±	+232	6401±	+250	6445±	+250	6260±	+213	6053±	+200	5943±	+195	5865±	+191

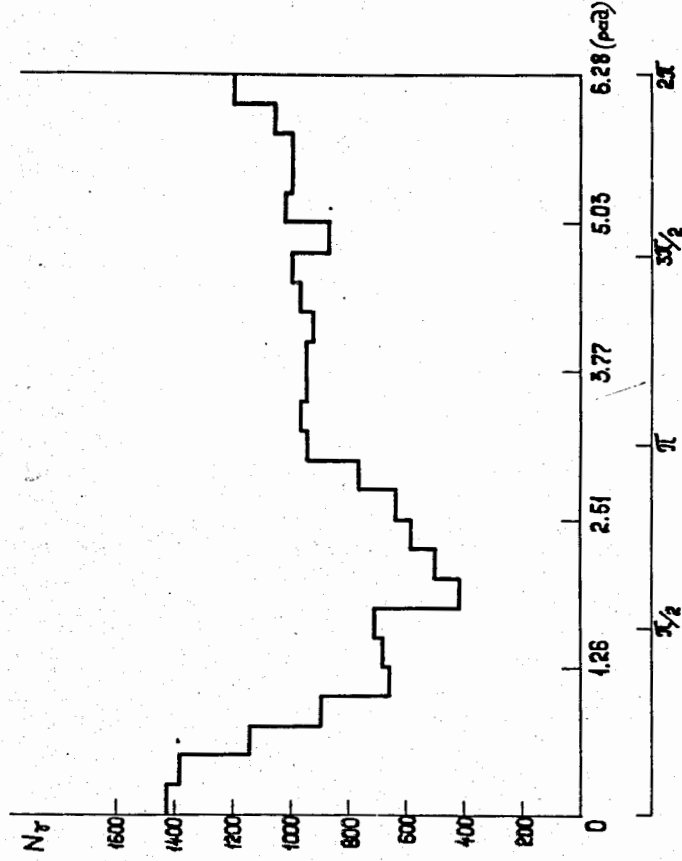


Рис. 6. Распределение γ -квантов с учетом эффективности регистрации по азимутальному углу ϕ .

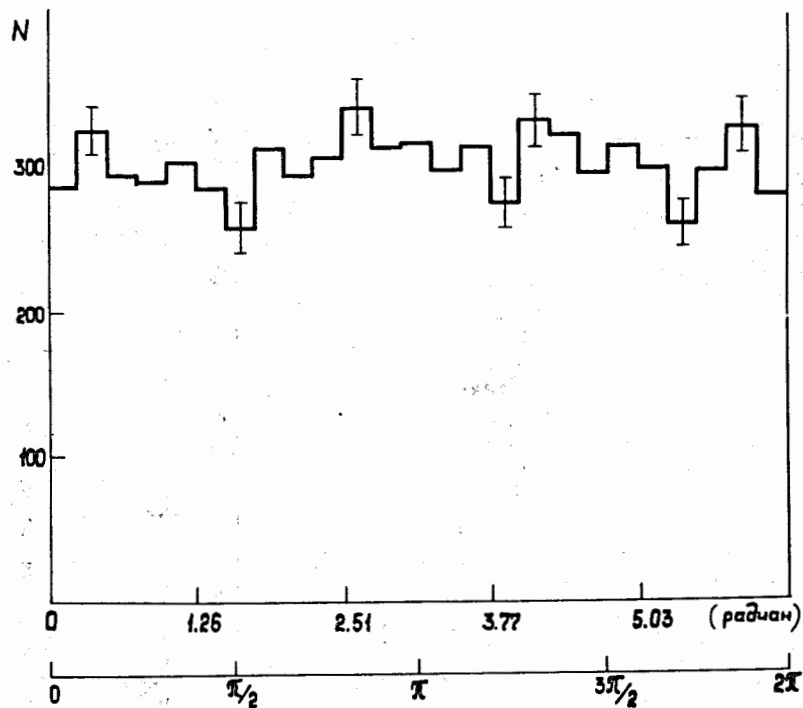


Рис. 7. Распределение треков из звезд по азимутальному углу ϕ .

Как видно из рисунка, это распределение хорошо описывается законом $1/P_\gamma$, что ожидается для тормозных γ -квантов. Аналогичное распределение для пар γ -квантов с эффективной массой в интервале $30 \text{ Мэв}/c^2 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 60 \text{ Мэв}/c^2$ резко отличается от закона $1/P_\gamma$ /рис. 86/. На рис. 9 представлено распределение пар γ -квантов с $M_{\gamma\gamma} \leq 60 \text{ Мэв}/c^2$ по углу их разлета $\theta_{\gamma\gamma}$. События с эффективной массой $M_{\gamma\gamma}$, лежащей в интервале $30 \text{ Мэв}/c^2 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 60 \text{ Мэв}/c^2$, выделены штриховкой. На основании этих распределений были выбраны следующие критерии для выделения тормозных γ -квантов.

Тормозным считается γ -квант из пары, для которой $a/M_{\gamma\gamma} \leq 30 \text{ Мэв}/c^2$,

б/ угол разлета $\theta \leq 0,025$ рад, имеющий меньший импульс и расположенный дальше от звезды. Общее число γ -квантов, удовлетворяющих этим критериям, составляет $\approx 3\%$ от полного числа зарегистрированных γ квантов.

§4. Точности измерения параметров треков π^\pm -мезонов, электронов и позитронов

Характеристикой качества измерения треков являются величины $\chi^2_{\text{ху}}$ и χ^2_z , рассчитанные на одну степень свободы $/4/$. Для выбора критерия хорошего измерения были построены распределения треков первичных π^- -мезонов, а также электронов и позитронов от γ -квантов по этим величинам /рис. 10/. На основании приведенных распределений были выбраны критерии хорошего измерения треков: $\chi^2_{\text{ху}} < 3,5$, $\chi^2_z < 3,5$. Средние значения для треков электронов и позитронов оказались равными $\langle \chi^2_{\text{ху}} \rangle = 0,74$, $\langle \chi^2_z \rangle = 0,87$ при теоретическом значении $\langle \chi^2 \rangle = 1$.

Для треков, удовлетворяющих критериям, приведенным выше, были определены ошибки измерения импульсов и углов. В таблице III приведены средние относительные ошибки измерения импульсов вторичных π^\pm -мезонов в зависимости от длины трека.

Следует отметить, что средняя длина вторичных треков из звезд равна $\langle L \rangle = /31,3 \pm 0,2/$ см, а треки с длиной > 20 см составляют 70,3%. На рисунке 11 приведено распределение относительных ошибок в определении импульсов частиц, имеющих длину следа $L > 20$ см. Видно, что максимум этого распределения соответствует $\approx 6,5\%$. Для электронов и позитронов $\langle \Delta P/P \rangle = /12,6 \pm 0,3/\%$. Средние ошибки измерения углов для треков вторичных частиц из звезд равны:

$$\langle \Delta \text{tg } \alpha \rangle = /0,0061 \pm 0,0001/,$$

$$\langle \Delta \beta \rangle = /0,0037 \pm 0,0001/ \text{ рад.}$$

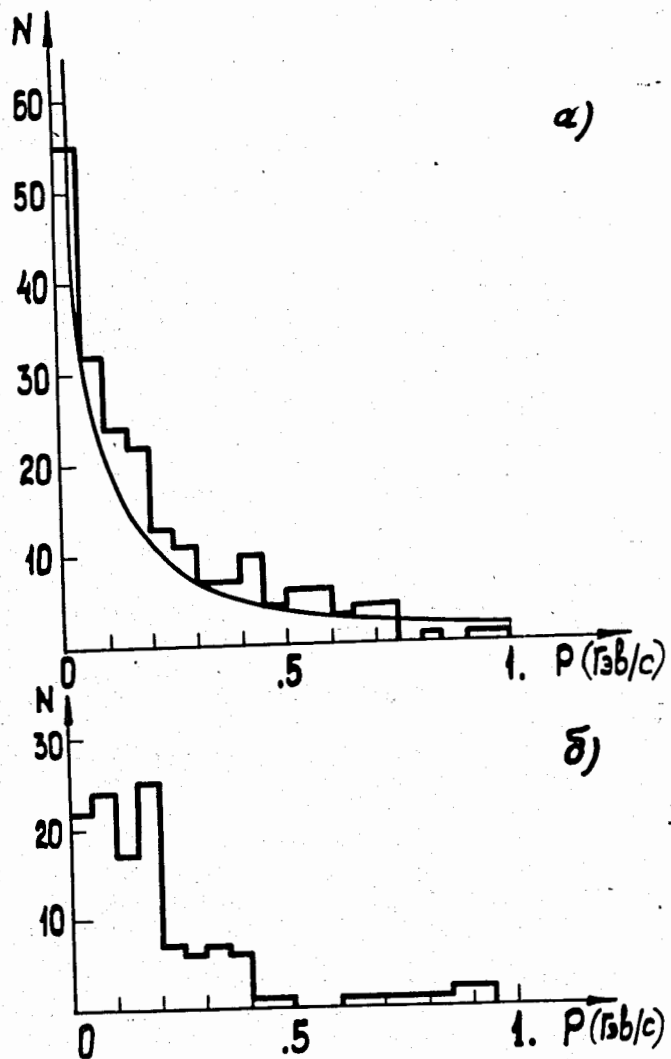


Рис. 8. Импульсное распределение γ -квантов с меньшим импульсом из пары γ -квантов, имеющих эффективную массу $M_{\gamma\gamma}$ в интервале а/ $0 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 30$ Мэв/с², б/ $30 < M_{\gamma\gamma} \leq 60$ Мэв/с².

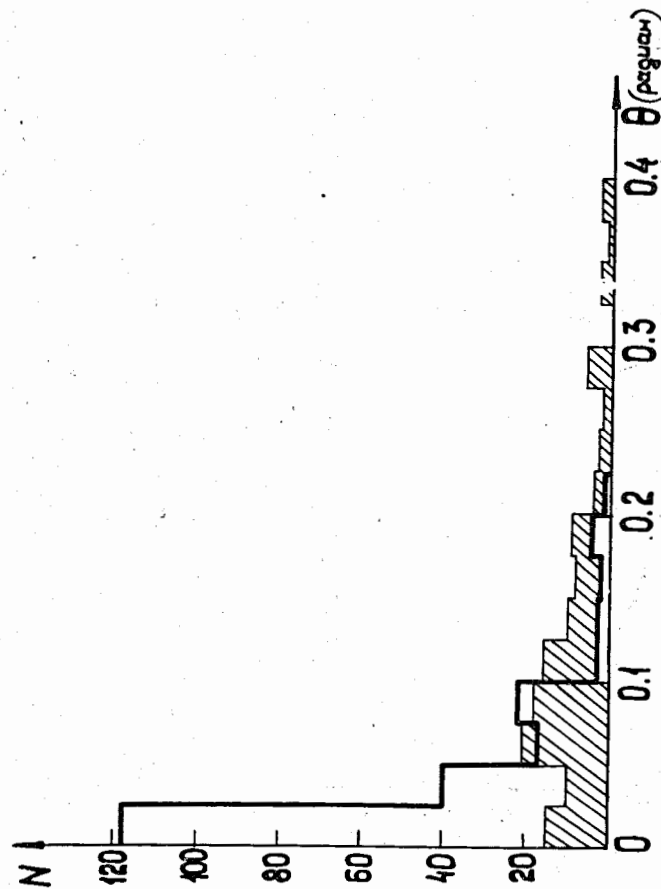


Рис. 9. Распределение событий с $0 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 60$ Мэв/с² по углу разлета двух γ -квантов $\theta_{\gamma\gamma}$.

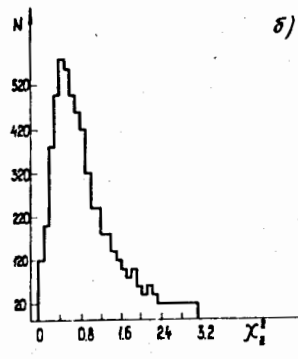
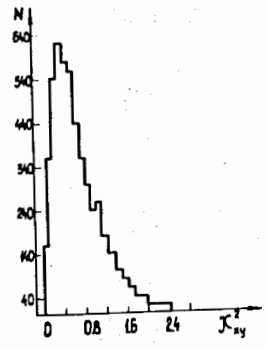
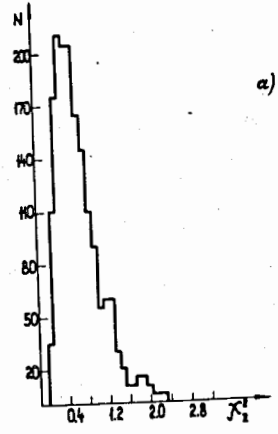
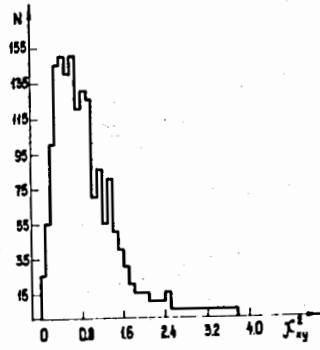


Рис. 10. а/ Распределения первичных π^- -мезонов по величинам X^2_{xy} . б/ Распределения электронов и позитронов от γ -квантов по величинам X^2_{xy} и X^1_z .

ТАБЛИЦА Ш

Средние относительные ошибки измерения импульсов вторичных π^+ -мезонов

L	$L < 10$ см	$10 \text{ см} \leq L \leq 20 \text{ см}$	$L > 20$ см	Все L
$\Delta P/P$ (%)	$26,9 \pm 0,7$	$17,6 \pm 0,4$	$9,7 \pm 0,1$	$13,9 \pm 0,3$
% от полного числа треков	12,7%	17,0%	70,3%	100%

Для электронов и позитронов $\langle \Delta tg \alpha \rangle = 0,0175 \pm 0,0005$,
а $\langle \Delta \beta \rangle = /0,0105 \pm 0,0003/$ рад.

На основании измеренных углов и импульсов электронов и позитронов с помощью программы подгонки определялись параметры γ -квантов: импульс, угол β , $tg \alpha$ и $\chi^2 / 5$. Средние точности определения параметров γ -квантов оказались равными: $\langle \Delta P/P \rangle_{\gamma} = /12,4 \pm 0,1/ \%$,

$$\langle \Delta tg \alpha \rangle_{\gamma} = 0,00317 \pm 0,00003,$$

$$\langle \Delta \beta \rangle_{\gamma} = /0,0045 \pm 0,0001/ \text{ рад.}$$

На рис. 12 представлено распределение γ -квантов по величине χ^2_{γ} . Гамма-квант считался относящимся к звезде, если для него $\chi^2_{\gamma} < 11$. Среднее значение $\langle \chi^2_{\gamma} \rangle = 2,55 \pm 0,05$, с $\sigma_{\gamma} = 2,47$. Теоретическое значение величины $\langle \chi^2_{\gamma} \rangle = 3$ с $\sigma_{\gamma} = 2,45$.

Для проверки всей системы обработки событий были рассчитаны эффективные массы $M_{\gamma\gamma}$ для пар γ -квантов с $\chi^2_{\gamma} < 11$

и углом разлета $\theta \geq \theta_{MIN} - 2\Delta\theta_{MIN}$, где $\theta = 2 \arctg \frac{M_{\pi^0}}{P_{\gamma\gamma}}$

$$\Delta\theta_{MIN} = \frac{2M_{\pi^0} \Delta P_{\gamma\gamma}}{M_{\pi^0}^2 + P_{\gamma\gamma}^2}.$$

Для области $100 \text{ Мэв/с}^2 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 170 \text{ Мэв/с}^2$, что соответствует трем стандартным отклонениям от максимума распределения, среднее значение $\langle M_{\gamma\gamma} \rangle = /136 \pm 2/ \text{ Мэв/с}^2$ с $\sigma_{M_{\gamma\gamma}} = 14 \text{ Мэв/с}^2$. Это значение хорошо согласуется с табличным значением массы π^0 -мезона, равным $M_{\pi^0} = 134,975 \text{ Мэв/с}^2$.

Кроме этого были рассчитаны эффективные массы для V^0 -событий Λ^0 и K^0 , распадающихся по схеме $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^+$ и $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$.

Средние значения оказались равными:

$$\langle M_{\Lambda^0} \rangle = /1,1163 \pm 0,0011/ \text{ Гэв/с}^2$$

$$\langle M_{K^0} \rangle = /0,4966 \pm 0,026/ \text{ Гэв/с}^2$$

Хорошее согласие полученных масс π^0 -, K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов с их табличными значениями указывает на отсутствие заметных систематических ошибок в определении импульсов и углов вылета вторичных частиц, а также в их идентификации.

*Гамма-кванты с углом разлета, меньшим $\theta = \theta_{MIN} - 2\Delta\theta_{MIN}$, считались продуктами распада разных π^0 -мезонов.

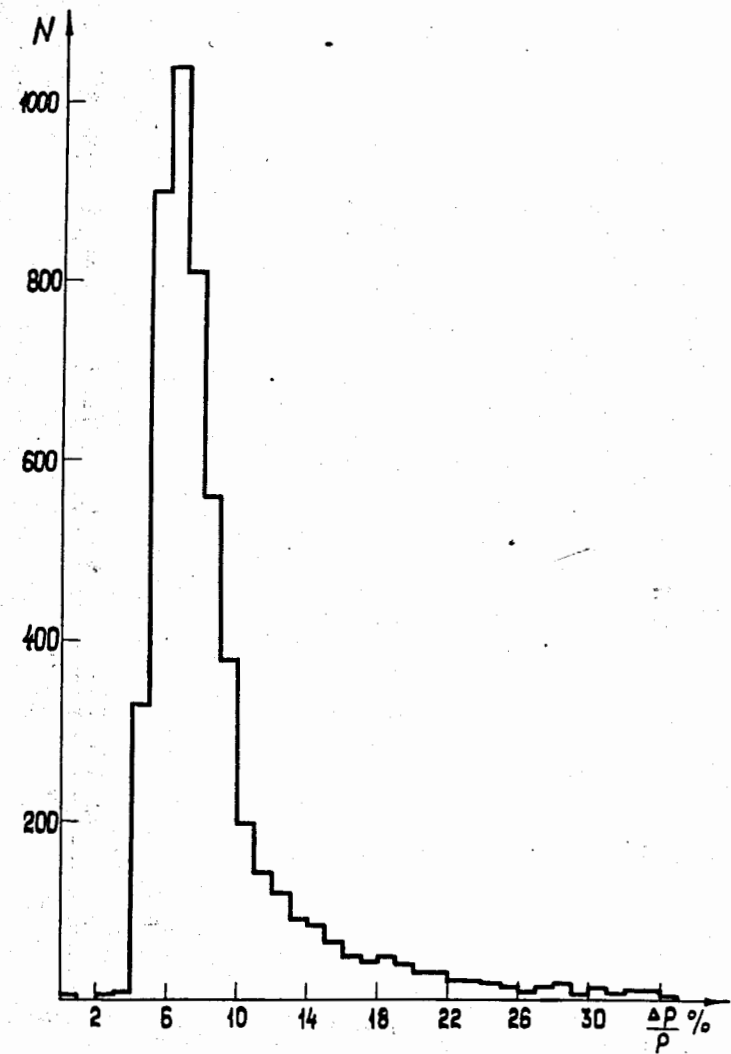


Рис. 11. Распределение относительных ошибок определения импульса вторичных частиц с длиной следа $L > 20$ см.

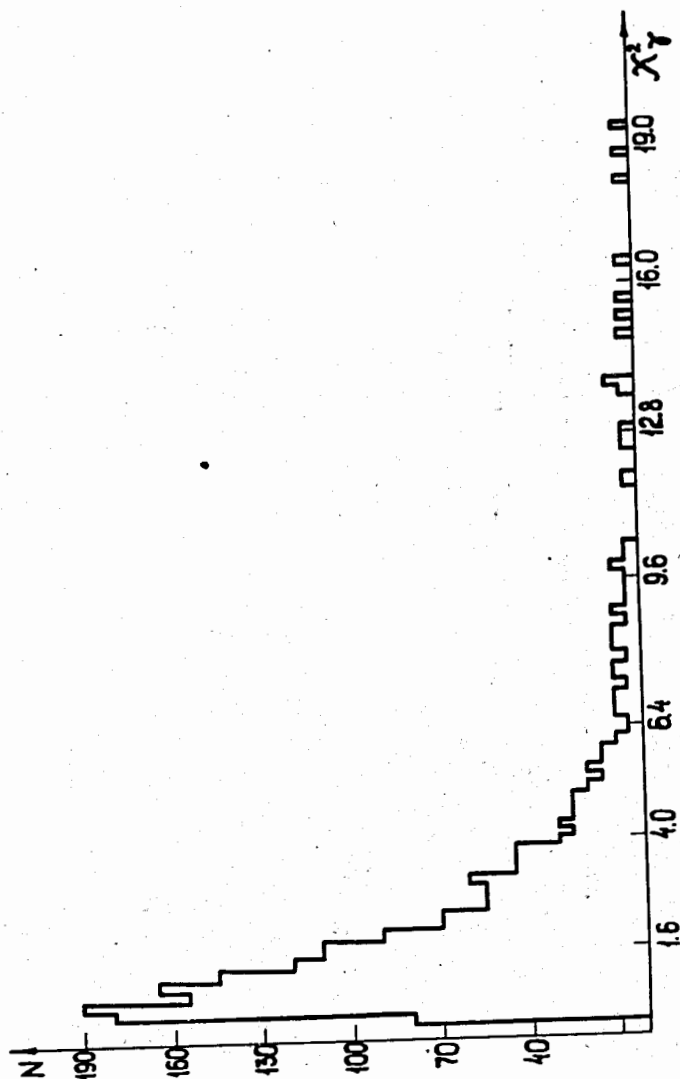


Рис. 12. Распределение γ -квантов по величине X_γ^2 .

В заключение авторы выражают благодарность коллективу, обслуживающему 2-метровую пропановую камеру, ведущим инженерам: Н.А.Смирнову, Н.А.Коржеву и сотрудникам СНЭО ИФВЭ за проведение облучения. Мы признательны Нгуен Дин Ты и В.Н.Пеневу за полезные обсуждения, а также благодарим наших лаборантов за большую помощь, оказанную при выполнении настоящей работы.

Литература

1. М.Р.Баландин, Н.Г.Борисов et al. Nucl. Instr. and Meth., 20, 110, 1963.
2. Нгуен Дин Ты, В.Н.Пенев, Н.А.Смирнов, М.И.Соловьев. Сообщения ОИЯИ, 13-5942, Дубна, 1971.
3. А.У.Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н.Пенев. Сообщения ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
4. Н.Ф.Маркова, В.И.Мороз, В.И.Никитина, А.П.Стельмах, Г.М.Тентюкова. Препринт ОИЯИ, Р10-3768, Дубна, 1968.
5. К.П.Вишневская, Нгуен Дин Ты, В.Н.Пенев, Ю.В.Тевзадзе, Сообщения ОИЯИ, 1-5978, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 февраля 1973 года.