

СЗ44.12

И-307

1413/2-76

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



19/IV-76

P10 - 9502

А.П.Иерусалимов, Ф.Которобай, В.И.Мороз

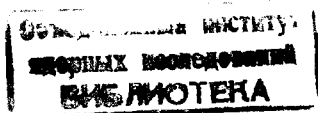
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ  
1 М ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ  
(эксперимент пр, 1:5 ГэВ/с)

1976

P10 - 9502

А.П.Иерусалимов, Ф.Которобай, В.И.Мороз

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ  
1 М ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ  
(эксперимент **пр**, 1:5 ГэВ/с)



Для фотографирования рабочего объема I в водородной камере ОИЯИ<sup>/1/</sup> используется специальный стереофотограмметрический аппарат<sup>/2/</sup>, который был спроектирован с учетом всех оптических сред камеры. При этом исходили из необходимости скомпенсировать дисторсии, вносимые стеклами пузырьковой камеры и фотоаппарата, т.к. исправленные объективы обеспечивают лучшие условия для просмотра и геометрической реконструкции.

### 1. Описание отдельной фотокамеры

Оптическую систему каждой камеры считаем симметричной относительно оптической оси (ось OO, рис.1). Луч M и ось OO лежат в одной плоскости.

В программе геометрической реконструкции<sup>/3/</sup> используется аппроксимация

$$\rho = \frac{R}{(k + \varepsilon k_1) + (ka_2 + \varepsilon k_1 b_2)\rho^2 + (ka_4 + \varepsilon k_1 b_4)\rho^4} \quad (1)$$

где  $k, a, b$  - коэффициенты.

Обозначив

$$\rho'_{ном} = \frac{R}{k + \varepsilon k_1}, \quad \Delta\rho = \rho - \rho'_{ном}$$

будем иметь

$$\frac{\Delta \rho}{\rho'_{ном}} = \left[ 1 + \frac{K\alpha_2 + zK_1 b_2}{K + zK_1} \rho^2 + \frac{K\alpha_4 + zK_1 b_4}{K + zK_1} \rho^4 \right]^{-1} - 1. \quad (2)$$

В паспорте каждой фотокамеры приведена зависимость  $\Delta \rho$  от  $\rho$  для  $z=0$  и  $z=30$  см, где

$$\Delta \rho = \rho_{изм} - \rho_{ном}, \quad \rho_{ном} = \frac{R}{S_c}, \quad S_c = \frac{H}{F_k} + \frac{z}{n_g \cdot F_k};$$

$n_g$  - показатель преломления жидкого водорода,

$F_k$  - приведенное фокусное расстояние фотокамеры ( $F_k = 16,616$  см),

$H$  - приведенная высота съемки.

Измеренный радиус  $\rho_{изм}$  может быть представлен в виде

$$\rho_{изм} = \frac{R}{S_c (1 + \alpha_0 + \alpha_2 \rho^2 + \alpha_4 \rho^4)} \Bigg|_{z=0} \quad (3)$$

$$\rho_{изм} = \frac{R}{S_c (1 + \beta_0 + \beta_2 \rho^2 + \beta_4 \rho^4)} \Bigg|_{z=30 \text{ см}}$$

Из (3) получаем

$$(\Delta \rho / \rho) = (1 + \alpha_0 + \alpha_2 \rho^2 + \alpha_4 \rho^4)^{-1} - 1. \quad (4)$$

Правую часть (4) можно привести к виду (2)

$$(\Delta \rho / \rho)(1 + \alpha_0) + \alpha_0 = \left( 1 + \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_0} \rho^2 + \frac{\alpha_4}{1 + \alpha_0} \rho^4 \right)^{-1} - 1; \quad (5)$$

отметим, что  $|\alpha_0| \ll 1$ ,

$$(\Delta \rho / \rho)(1 + \alpha_0) \approx \Delta \rho / \rho.$$

Из сравнения (2) и (5) имеем:

$$a_2 = \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_0}, \quad a_4 = \frac{\alpha_4}{1 + \alpha_0}.$$

Разлагая (4) по степеням  $\rho$ , получим

$$(\Delta \rho / \rho) = - (c_0 + c_2 \rho^2 + c_4 \rho^4), \quad (6)$$

где  $c$  и  $\alpha$  связаны соотношениями

$$\alpha_0 = \frac{c_0}{1 - c_0}, \quad \alpha_2 = \frac{c_2}{1 - 2\alpha_0 + 3\alpha_0^2}, \quad \alpha_4 = \frac{c_4 + \alpha_2^2(1 - 3\alpha_0)}{1 - 2\alpha_0 + 3\alpha_0^2}.$$

Выражение (6) удобно использовать для аппроксимации приведенной в паспорте зависимости  $\Delta \rho$  от  $\rho$ , т.к. оно приводит к линейной системе уравнений (8) относительно  $c$

$$\frac{\partial G^2}{\partial c_0} = 0, \quad \frac{\partial G^2}{\partial c_2} = 0, \quad \frac{\partial G^2}{\partial c_4} = 0, \quad (8)$$

где

$$G^2 = \sum (\Delta \rho / \rho + c_0 + c_2 \rho^2 + c_4 \rho^4)^2.$$

Полученные значения  $\alpha_0, \alpha_2, \alpha_4$  можно проверить и уточнить, используя измерения координат реперных крестов на верхнем стекле камеры ( $X_{GL}; Y_{GL}$ )/5,6/и координат ( $X_v; Y_v$ ) изображений тех же крестов на специальной фотопластинке. Координаты ( $X_v; Y_v$ ) даны в системе, в которой начало отсчета совпадает с главной точкой проекции (по данным паспорта). Проверка и уточнение выполнялись в три этапа.

На первом этапе производился сдвиг и поворот системы координат ( $X_{GL}; Y_{GL}$ )  $\rightarrow$  ( $X_T; Y_T$ ) по формулам

$$\begin{aligned} X_T &= \mu^{-1} (D_1 + D_2 \cdot X_{GL} + D_3 \cdot Y_{GL}) \\ Y_T &= \mu^{-1} (A_y - D_3 \cdot X_{GL} + D_2 \cdot Y_{GL}), \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\mu = \sqrt{D_2^2 + D_3^2}$$

$$A_y = N^{-1} \left[ \sum Y_v - D_3 \sum X_{GL} + D_2 \sum Y_{GL} \right]$$

( $N$  - число измеренных реперных крестов).

Коэффициенты  $D$  предварительно определяются из системы линейных уравнений

$$\frac{\partial Q^2}{\partial D_1} = 0, \quad \frac{\partial Q^2}{\partial D_2} = 0, \quad \frac{\partial Q^2}{\partial D_3} = 0,$$

где

$$Q^2 = \sum (D_1 + D_2 X_{GL} + D_3 Y_{GL} - X_v)^2.$$

На втором этапе выполнялось определение масштаба  $K$  и  $X_1^2$  при фиксированных  $a_2$  и  $a_4$ .

Масштаб  $K$  получается при решении линейной системы

$$\frac{\partial X_1^2}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial X_1^2}{\partial X'_a} = 0, \quad \frac{\partial X_1^2}{\partial Y'_a} = 0, \quad \frac{\partial X_1^2}{\partial K} = 0, \quad (10)$$

где

$$X_1^2 = \sum \left[ (X_T T \cos \varphi - Y_T T \sin \varphi + X'_a - K X'_v)^2 + (X_T T \sin \varphi + Y_T T \cos \varphi + Y'_a - K Y'_v)^2 \right], \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} X'_v \\ Y'_v \end{pmatrix} = (1 + a_2 \rho^2 + a_4 \rho^4) \begin{pmatrix} X_v \\ Y_v \end{pmatrix}, \quad \rho^2 = X_v^2 + Y_v^2,$$

$T$  - учитывает термическую усадку стекла.

При решении системы (10) можно приближенно положить  $\cos \varphi \approx 1$ ,  $\sin \varphi \approx \varphi$ , что оправдывается ранее выполненным преобразованием (9). Полученные  $\varphi$ ,  $X'_a$ ,  $Y'_a$ ,  $K$  подставляются в (11) для получения  $X_1^2$ .

Третий этап состоял в вычислении и анализе поля значений  $X_1^2$  (11) для независимо меняющихся  $a_2$ ,  $a_4$ , взятых около номиналов (см. табл. I).

В качестве ( $X_v$ ;  $Y_v$ ) использовалось несколько независимых измерений реперных крестов.

Анализ поля значений  $X_1^2$  показал сильную корреляцию между  $a_2$  и  $a_4$ . Поскольку фотокамеры проектировались с компенсацией дисторсий, для каждой из фотокамер были выбраны значения  $a_2 \approx 0$  и  $a_4 \approx 0$ , что привело к увеличению  $X_1^2$  (II) не более чем на 5%. Для разных наборов ( $X_v$ ,  $Y_v$ ) минимум  $X_1^2$  (II) достигается при  $a_4$  имеющих разные знаки (I и 3 проекции). Поэтому принято  $a_4 = 0$  для I и 3 проекций.

Радиус ложной кривизны, который мог бы возникнуть из-за изменений  $a_2$  и  $a_4$ , оценивается в  $\approx 500$  м. Для сравнения укажем, что максимальный импульс первичного пучка нейтронов составляет 5 ГэВ/с, поэтому треки вторичных частиц в камере будут иметь радиусы кривизны значительно меньше 9,8 м. Следовательно, возможное искажение импульсов вторичных частиц будет существенно меньше измерительной ошибки при определении их импульса.

В табл. 2 приведены подобранные значения  $K$ ,  $a_2$ ,  $a_4$  для трех проекций.

Рассмотрим определение коэффициентов  $K_1, b_2, b_4$ .

Коэффициенты  $\beta_0, \beta_2, \beta_4$  получаются аналогично (4+8) при аппроксимации зависимости  $\Delta \rho$  от  $\rho$  для  $z = 30$  см.

Сравнивая выражения (1) и (3), получим

$$(K + K_1 z) = \left[ \left( \frac{z}{F_K n_E} + \frac{H}{F_K} \right) (1 + \beta_0) \right]_{z=30 \text{ см}}, \quad (12)$$

$$K = \frac{H}{F_K} (1 + \alpha_0) \Big|_{z=0},$$

откуда следует

$$K_1 = n_E^{-1} F_K^{-1} [1 + \beta_0 + (\beta_0 - \alpha_0) H n_E^{-1} z^{-1}]_{z=30 \text{ см}}, \quad (13)$$

Из сравнения (2) и (5) следует:

$$(ka_2 + zk_1b_2)(K + zk_1)^{-1} = \beta_2(1 + \beta_0)^{-1}$$

и аналогичное выражение для  $b_4$ , откуда

$$b_2 = \{ \beta_2(1 + \beta_0)^{-1} + Kz^{-1}K_1^{-1}[\beta_2(1 + \beta_0)^{-1} - a_2] \}_{z=30\text{см}},$$

$$b_4 = \{ \beta_4(1 + \beta_0)^{-1} + Kz^{-1}K_1^{-1}[\beta_4(1 + \beta_0)^{-1} - a_4] \}_{z=30\text{см}}. \quad (I4)$$

## 2. Определение координат ( $X_{REF}$ , $Y_{REF}$ ) изображений реперных координат

Рассмотрим процедуру определения главных точек, соответствующих системе параллельных оптических осей стереофотограмметрического аппарата (рис.2).

Для каждой фотокамеры положение главной точки на прижимном стекле отмечено при сборке<sup>\*)</sup>. Погрешности сборки приводят к тому, что оптические оси разных фотокамер, соответствующие отмеченным главным точкам, оказываются непараллельными.

Предварительные измерения (в системе координат обозначенной  $X, Y, Z$ ) отмеченных главных точек ( $X_a, Y_a, 0$ ) и системы соответствующих им рисок позволяют ввести на каждой проекции свою систему координат ( $X_v, Y_v$ ) с началом отсчета в отмеченной главной точке и осями, параллельными осям  $X$  и  $Y$  /5/. Поскольку пересчет от системы координат измерительного прибора к системе ( $X_v, Y_v$ ) очевиден, будем считать, что координаты изображений реперных крестов даны в системе ( $X_v, Y_v$ ). Сами же реперные кресты, нанесенные на верхнее стекло водородной камеры ( $Z=0$ ), заданы в системе ( $X_{GL}, Y_{GL}$ ), которая не связана с ( $X, Y$ ).  
\*)Эту точку будем называть "отмеченной". Она задается системой рисок, нанесенных на стекло.

Рассмотрим выражение

$$C_v^2 = \sum_{\text{измерения}} \sum_{\text{проекция}} \sum_{\text{реперные кресты}} [(X_v - X_{REF})^2 + (Y_v - Y_{REF})^2], \quad (I5)$$

в которое входят рассчитанные координаты ( $X_{REF}, Y_{REF}$ ) - проекции каждого креста на каждую из проекций.

$$X_{REF} = (X_{GL}T\cos\varphi_v - Y_{GL}T\sin\varphi_v + A_x - X_a)K^{-1}(1 + a_2\beta_R^2 + a_4\beta_R^4)^{-1},$$

$$Y_{REF} = (X_{GL}T\sin\varphi_v + Y_{GL}T\cos\varphi_v + A_y - Y_a)K^{-1}(1 + a_2\beta_R^2 + a_4\beta_R^4)^{-1},$$

где

$$\beta_R^2 = X_{REF}^2 + Y_{REF}^2,$$

$\varphi_v, A_x, A_y$  - коэффициенты перехода от системы ( $X_{GL}, Y_{GL}$ ) к системе ( $X, Y, 0$ ).

Величины  $\varphi_v, A_x, A_y$  определим из условия минимума  $C_v^2$ , т.е. из системы

$$\frac{\partial C_v^2}{\partial \varphi_v} = 0, \quad \frac{\partial C_v^2}{\partial A_x} = 0, \quad \frac{\partial C_v^2}{\partial A_y} = 0. \quad (I7)$$

Из (I6) и (I7) следует, что ( $X_{REF}, Y_{REF}$ ) вычислены для оптической оси, проходящей через ( $X_a, Y_a$ ) и параллельной оси  $Z$  (система  $X, Y, Z$ ). Поскольку это справедливо для каждой проекции, все оптические оси параллельны.

Рассмотрим преобразование

$$\begin{pmatrix} X'_m \\ Y'_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{x2} & D_{x3} \\ D_{y2} & D_{y3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{x1} \\ D_{y1} \end{pmatrix}, \quad (I8)$$

где ( $X_m, Y_m$ ) означают координаты измеренных на проекции точек треков или реперных крестов ( $X_{mv}, Y_{mv}$ ),  $D_x, D_y$  - коэффициенты преобразования, определяемые из условия минимума  $Q^2$

3. Реконструкция реперных крестов,  
треков, событий

$$Q^2 = (2N-6)^{-1} \sum [(X_{REF} - X'_{mv})^2 + (Y_{REF} - Y'_{mv})^2], \quad (19)$$

где  $(X'_{mv}; Y'_{mv})$  - выражения (18) для измеренных одновременно с  $(X_m; Y_m)$  координат реперных крестов  $(X_{mv}; Y_{mv})$ .

Координаты  $(X_{REF}, Y_{REF})$  рассчитаны для системы параллельных оптических осей, поэтому преобразование (18), включенное в программу геометрической реконструкции, означает приведение измеренных точек к системе координат, связанной с параллельными оптическими осями, т.е. означает фактическое переопределение главных точек на проекциях.

Обозначим через  $(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta Y})$  среднее значение разностей  $(X_{REF} - X_v; Y_{REF} - Y_v)$  на каждой из проекций. Обработка измерений реперов показывает, что, например, для первой проекции  $\overline{\Delta X} \approx 0,001$ ,  $\overline{\Delta Y} \approx 0,08$  см.

Изложенная выше процедура переопределения главных точек на проекциях может применяться, если

$$|\overline{\Delta X}| \ll F_K, \quad |\overline{\Delta Y}| \ll F_K,$$

что выполнено в данном случае.

После подгонки (18) среднеквадратичное отклонение координат измеренных реперов от расчетных  $X_{REF}, Y_{REF}$  (см. табл. 3) составляет  $\sqrt{\overline{\Delta^2}} \approx (0,003 + 0,005)$  см, что соответствует возможностям измерительного прибора ПУОС при измерении реперных крестов.

Другой способ определения поправок к координатам главных точек на проекциях, не требующий предварительного определения  $(K, a_2, a_4)$  для фотокамер, предложен в [7], однако в его функционал входит вдвое меньше условий связи, чем в (15), что в наших условиях было бы нежелательно.

Полученные оптические константы (табл. 2 и 3) для проверки их качества были введены в программу геометрической реконструкции и использованы при обработке измерений реперных крестов, треков, событий.

Результаты реконструкции реперных крестов приведены в табл. 4, из которой следует, что получена хорошая точность реконструкции плоскости  $Z=0$ .

В программе геометрической реконструкции [3] для каждого трека вычисляются величины  $X_{xy}^2$  и  $W^2$ , характеризующие разброс реконструированных точек  $(X_3, Y_3, Z_3)$  относительно аппроксимирующих кривых  $Y_{k,\beta,Y_0}(S)$  и  $Z_{tg\alpha,Z_0}(S)$ .

Величины  $X_{xy}^2$  и  $W^2$  записываются в матричном виде

$$X_{xy}^2 = \min_{k,\beta,Y_0} (N_1-3)^{-1} [(Y_3 - Y_{k,\beta,Y_0})^T \cdot A^{-1} (Y_3 - Y_{k,\beta,Y_0})],$$

$$W^2 = \min_{tg\alpha,Z_0} (N_1-2)^{-1} [(Z_3 - Z_{tg\alpha,Z_0})^T \cdot B^{-1} (Z_3 - Z_{tg\alpha,Z_0})], \quad (20)$$

где  $N_1$  - число измеренных точек на треке,

$k, \beta, Y_0$  - кривизна, азимутальный угол и начальная координата трека (в системе, где  $Y_1 = Y_{N_1} = 0$ ),

$tg\alpha, Z_0$  - тангенс угла погружения и начальная координата трека,

$A, B$  - корреляционные матрицы ошибок с элементами  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$ ,

$$a_{i,j} = C^2 \alpha_a \delta_{ij} + \alpha_{акул,i,j} + C_a^2 \alpha_a,$$

$$b_{i,j} = C^2 \alpha_b \delta_{ij} + \alpha_{вкул,i,j} + C_b^2 \alpha_b,$$

$\delta_{i,j}$  - символ Кронекера,

$\alpha_{акул}, \alpha_{вкул}$  - вклады в матрицу от многократного рассеяния,

$\chi_a, \chi_g$  - коэффициенты пересчета от измерительной ошибки (на пленке) к ошибке в пространстве камеры,

$C$  - измерительная ошибка на пленке,

$C_a, C_g$  - поправки на неточность описания оптики.

Значения  $C, C_a, C_g$  выбираются так, чтобы

$$\overline{\chi_{xy}^2} = \overline{W^2} = 1.$$

На рис.3 представлены полученные распределения  $\chi_{xy}^2$  и  $W^2$  для значений

$$C = 2,7 \text{ мкм} \quad C_a = 0, \quad C_g \approx 0,2 \text{ мкм}$$

(измерения на сканирующем автомате НРД).

Из этих данных следует, что полученное описание оптики достаточно хорошее, так как значение  $C$  соответствует возможности прибора НРД, а величины  $C_a, C_g$  малы по сравнению с  $C$ .

Для проверки правильности определения импульсов и углов были измерены в пузырьковой камере  $V^0$ -события и выделены случаи распада  $\Lambda^0$ .

По  $\sim 100$  случаям была определена масса  $\Lambda^0$ , которая в пределах ошибки совпала с табличной.

На рис.4 представлено полученное распределение  $\chi^2$  для гипотезы  $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^+$  (для трехлучевых событий).

При вычислении  $\chi^2$  использовались ошибки  $\Delta k, \Delta \beta, \Delta \text{tg} \alpha$  параметров  $k, \beta, \text{tg} \alpha$ , которые получаются из матрицы нормальной системы уравнений, следующей из (20). Для того, чтобы исключить значительное завышение  $\chi^2$  в некоторых событиях из-за "спасательной" процедуры POSTFILTR /4/ и тому подобных причин, ошибки параметров переопределялись по алгоритму

$$\Delta k = \begin{cases} \Delta K, & \text{для } \chi_{xy}^2 \leq 1, \\ \Delta K \cdot \sqrt{\chi_{xy}^2}, & \text{для } \chi_{xy}^2 > 1, \end{cases}$$

$$\Delta \beta = \begin{cases} \Delta \beta, & \text{для } \chi_{xy}^2 \leq 1, \\ \Delta \beta \cdot \sqrt{\chi_{xy}^2}, & \text{для } \chi_{xy}^2 > 1, \end{cases}$$

$$\Delta \text{tg} \alpha = \begin{cases} \Delta \text{tg} \alpha, & \text{для } W^2 \leq 1, \\ \Delta \text{tg} \alpha \cdot \sqrt{W^2}, & \text{для } W^2 > 1, \end{cases}$$

что вызвало небольшое изменение среднего значения  $\chi^2$ .

Получено (рис.4)  $\overline{\chi^2} = 3,8$  при ожидаемом значении  $\overline{\chi^2} = 4$ , что можно считать вполне удовлетворительным согласием.

В заключение авторы выражают свою признательность Р.Ледницкому и, особенно, Э.В.Козубскому за полезные обсуждения, а также А.П.Гаспаряну и А.В.Никитину за замечания по тексту рукописи.



Таблица 1

Результаты аппроксимации зависимости  $\Delta\rho$  от  $\rho$   
для  $Z=0$  и  $Z = 30$  см .

$Z = 0$	$\alpha_0$	$\alpha_2$ (см <sup>-2</sup> )	$\alpha_4$ (см <sup>-4</sup> )
V1	$-8,99 \cdot 10^{-4}$	$3,99 \cdot 10^{-5}$	$-9,87 \cdot 10^{-8}$
V2	$-4,60 \cdot 10^{-4}$	$3,83 \cdot 10^{-5}$	$-3,07 \cdot 10^{-8}$
V3	$4,54 \cdot 10^{-4}$	$-1,96 \cdot 10^{-5}$	$2,79 \cdot 10^{-8}$

$Z = 30$	$\beta_0$	$\beta_2$ (см <sup>-2</sup> )	$\beta_4$ (см <sup>-4</sup> )
V1	$-8,94 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$-1,17 \cdot 10^{-7}$
V2	$-4,39 \cdot 10^{-4}$	$1,90 \cdot 10^{-5}$	$-6,92 \cdot 10^{-8}$
V3	$5,53 \cdot 10^{-4}$	$-5,50 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2

Коэффициенты в математическом описании фотокамер .

	$K$	$a_2 \cdot 10^6$ см <sup>-2</sup>	$a_4 \cdot 10^8$ см <sup>-4</sup>	$K_1 \cdot 10^2$ см <sup>-1</sup>	$b_2 \cdot 10^4$ см <sup>-2</sup>	$b_4 \cdot 10^7$ см <sup>-4</sup>
V1	8,66103	8,004	0	5,49643	-1,3276	-2,159
V2	8,66043	38,358	-3,068	5,49936	-0,8214	-2,647
V3	8,66716	0	0	5,50707	-2,4630	8,867

Таблица 3

Координаты ( $X_{REF}$ ,  $Y_{REF}$ ) изображений реперных  
крестов в системе параллельных  
оптических осей .

$X_a, Y_a$  - координаты оптических осей.

Проекция	1		2		3	
$X_a$ см	87,8002		87,8042		56,7974	
$Y_a$ см	-5,0112		45,0222		-5,0232	
№ реперного креста	$X_{REF}$ см	$Y_{REF}$ см	$X_{REF}$ см	$Y_{REF}$ см	$X_{REF}$ см	$Y_{REF}$ см
1	-6,3681	3,4647	-6,3609	-2,3070	-2,7892	3,4651
2	-5,2169	4,1551	-5,2138	-1,6186	-1,6381	4,1550
3	-5,2194	1,6233	-5,2129	-4,1466	-1,6399	1,6240
4	-3,4918	4,2682	-3,4915	-1,5069	,0868	4,2676
5	-3,4932	1,5083	-3,4903	-4,2638	,0859	1,5088
6	-1,7661	4,2685	-1,7667	-1,5074	1,8119	4,2676
7	-1,7669	2,8867	-1,7668	-2,4444	1,8113	2,8863
8	-1,7681	1,5067	-1,7673	-4,2669	1,8101	1,5071
9	-,0394	4,2688	-,0399	-1,5074	3,5377	4,2677
10	-,0410	1,5064	-,0414	-4,2678	3,5361	1,5067
11	1,6874	4,1520	1,6870	-1,6240	5,2635	4,1511
12	1,6856	1,6203	1,6941	-4,1536	5,2615	1,6206
13	2,8368	3,4601	2,8356	-2,3151	6,4123	3,4596
14	2,8369	-2,3095	2,8248	-3,4647	6,4112	2,3095

Таблица 4

Отклонения реконструированных реперных крестов от их истинных положений.

$$\begin{aligned} \delta x &= X_{\text{реконст.}} - X_{\text{GL}} \cdot T, \\ \delta y &= Y_{\text{реконст.}} - Y_{\text{GL}} \cdot T, \\ \delta z &= Z_{\text{реконст.}} - 0, \end{aligned}$$

$\delta x, \delta y, \delta z$  - в мкм.

Стереобаза  $B_{12} = 50$  см,  $B_{13} = 31$  см.

№ реперного креста	Стереопара 1-2				Стереопара 1-3			
	измерение I		2		измерение I		2	
	$\delta x$	$\delta y$	$\delta z$	$\delta z$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta z$	$\delta z$
I	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	283	-	-	-	-164
3	-	-	-	-60	-	-	-	-53
4	-41	8	58	-7	-38	-5	-2	-313
5	9	24	-37	-10	44	9	-364	-107
6	38	22	-20	-90	30	59	194	300
7	27	-17	-291	119	-2	-10	-82	321
8	20	24	41	-43	2	16	45	354
9	24	-1	37	-91	23	7	114	127
10	23	-1	76	-15	32	4	322	455
11	9	-11	-159	-96	-	-	-	-35
12	-9	16	-2	105	38	31	202	112
13	-18	-15	46	49	-85	-71	-300	-269
14	-27	-33	127	119	-36	-24	5	-487

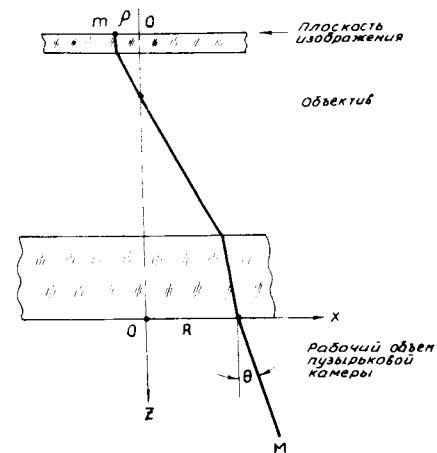


Рис. I.

Описание отдельной фотокамеры.

$$\begin{aligned} R &= \rho K (1 + a_2 \rho^2 + a_4 \rho^4); \\ \text{tg} \theta &= \rho K_1 (1 + b_2 \rho^2 + b_4 \rho^4); \end{aligned}$$

Oo - оптическая ось;

Mm - луч, проецирующей пространственную точку M.

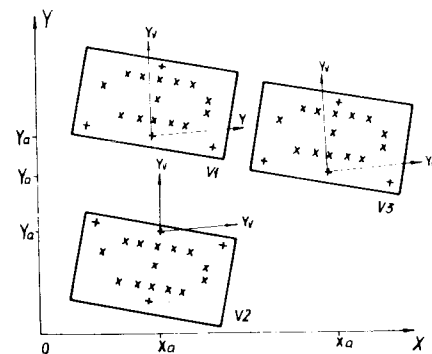


Рис. 2.

Расположение 3 проекций.

Ось Z перпендикулярна чертежу;

$(X_a, Y_a)$  - отмеченная главная точка;

+ - риски, отмечающие главную точку;

x - изображения реперных крестов.

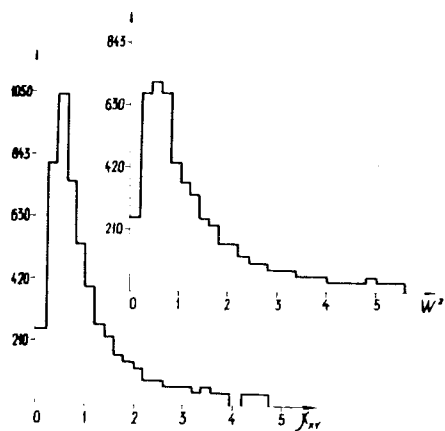


Рис. 3

Рис.3.

Распределение измеренных на NPD треков  $\pi^-$ -мезонов по величинам  $\chi^2_{xy}$  и  $W^2$ .

На интервале 0+25  $\bar{\chi}^2_{xy} = 0,825$   $\bar{W}^2 = 0,916$ .

На интервале 0+5  $\bar{\chi}^2_{xy} = 1,043$   $\bar{W}^2 = 1,230$ .

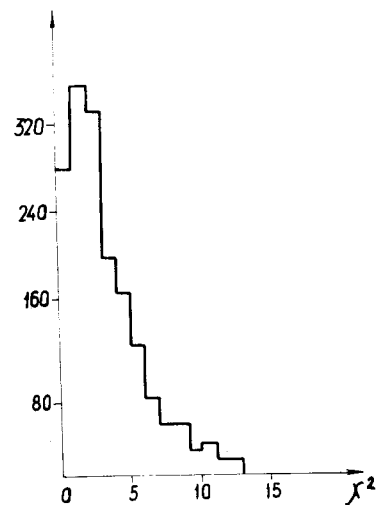


Рис.4.

Рис.4.

Распределение по величине  $\chi^2$  (для реакции  $pp \rightarrow pp\bar{\pi}^-$ ) 3-лучевых событий, зарегистрированных в водородной пузырьковой камере.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.V. Belonogov et al. Nucl. Inst. and Meth. v20, 114 (1965).
2. В.В. Глаголев и др. ПТЭ, 1967, № 5, стр. 170,  
В.В. Глаголев и др. ПТЭ, 1968, № 3, стр. 225, ВИНТИ № 241-68  
дел.
3. Н.Ф. Маркова и др. Сообщение ОИЯИ, Р10-3768, Дубна, 1968.
4. В.Н. Шигаев. Сообщение ОИЯИ, 10-6799, Дубна, 1972.
5. Э.В. Козубский. Сообщение ОИЯИ, Б2-10-8627, Дубна, 1974.
6. Е.И. Дьячков и др. Сообщение ОИЯИ, 10-7611, Дубна, 1973.
7. Э.В. Козубский, Нго Куанг Зуй. Сообщение ОИЯИ, 13-4201, Дубна,  
1968. Э.В. Козубский, Э.М. Лившиц. ПТЭ, 1971, № 5, стр. 67-69.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 января 1976 года.