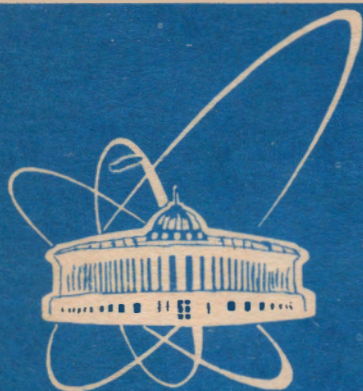


541-95



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-541

P10-95-541

А.И.Зинченко, З.М.Иванченко, И.М.Иванченко,  
Н.Н.Карпенко, В.Д.Кекелидзе, Г.Т.Татишвили

МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ  
КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ  
УСТАНОВКИ ЭКСЧАРМ\*

---

\*Работа поддерживается Российским фондом фундаментальных исследований, проект 95-01-00736

1995

Современные позиционно-чувствительные детектирующие модули позволяют регистрировать координату точки траектории частицы в собственной локальной системе координат, так что для перехода в единую систему необходимо определить параметры соответствующего преобразования. Юстировка системы и непосредственные геодезические измерения всех требуемых величин для многокомпонентной установки сопряжены со значительными трудностями и расходом времени. Нередки ситуации, когда происходит перемещения отдельных измерительных модулей в процессе проведения эксперимента. Погрешности геодезических измерений в реальных условиях не позволяют адекватно реализовать пространственное разрешение используемых траекторных детекторов. Все это обуславливает необходимость оперативного, эффективного и надежного способа получения параметров, характеризующих геометрию установки.

Рассмотрим решение задачи определения параметров преобразования информации, регистрируемой однокоординатными детекторами, в единую декартову систему координат  $XYZ$ . С каждым детектором связана локальная система координат  $X_i Y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) такая, что плоскость  $X_i O_i Y_i$  перпендикулярна оси  $Z$ , повернута относительно  $X Y$  на угол  $\alpha_i$ , смещена (для проволочных детекторов в направлении, перпендикулярном направлению проволочек) на величину  $h_i$  и пересекает ось  $Z$  в точке  $z_i$ . Таким образом, связь между координатой в локальной системе и соответствующими ей координатами в единой системе выражается соотношением  $X_i = X \cos \alpha_i + Y \sin \alpha_i + h_i$ . Параметры  $\alpha_i, h_i, z_i$  ищем из условия минимума функционала:

$$M = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m w_{ij} \left( (a_{xj} z_i + b_{xj}) \cos \alpha_i + (a_{yj} z_i + b_{yj}) \sin \alpha_i + h_i - x_{ij} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь

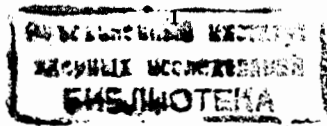
$N$  - количество траекторий, прошедших через  $m$  детекторов;

$a_{xj}, a_{yj}, b_{xj}, b_{yj}$  - параметры траектории  $j$  в единой системе координат  $XYZ$  (полный набор параметров пространственной траектории, аппроксимируемой линейной функцией);

$x_{ij}, w_{ij}$  - измеренная координата и ее вес.

Для уменьшения влияния вычислительных погрешностей [1] представим  $\alpha_i, h_i, z_i$  в виде:

$$\alpha_i = \alpha_i^0 + \Delta \alpha_i, \quad h_i = h_i^0 + \Delta h_i, \quad z_i = z_i^0 + \Delta z_i, \quad (2)$$



где  $\alpha_i^0, h_i^0, z_i^0$  – результаты геодезических измерений. Подставляя (2) в (1), получим выражение функционала в виде

$$M = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m w_{ij} \left( (a_{xj}(z_i^0 + \Delta z_i) + b_{xj}) \cos(\alpha_i^0 + \Delta \alpha_i) + (a_{yj}(z_i^0 + \Delta z_i) + b_{yj}) \sin(\alpha_i^0 + \Delta \alpha_i) + h_i^0 + \Delta h_i - x_{ij} \right)^2. \quad (3)$$

Используя измерения с опорных детекторов, находим оценки параметров пространственных траекторий  $a_{xj}, a_{yj}, b_{xj}, b_{yj}$ .

Введя новые обозначения, функционал (3) можно записать в следующем виде:

$$M = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m w_{ij} \left( a_{xj}^i \Delta z_i \cos \Delta \alpha_i + b_{xj}^i (\cos \Delta \alpha_i - 1) + (a_{yj}^i \Delta z_i + b_{yj}^i) \sin \Delta \alpha_i + c_{ij} + \Delta h_i \right)^2, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} a_{xj}^i &= a_{xj} \cos \alpha_i^0 + a_{yj} \sin \alpha_i^0, \\ a_{yj}^i &= a_{yj} \cos \alpha_i^0 - a_{xj} \sin \alpha_i^0, \\ b_{xj}^i &= (a_{xj} z_i^0 + b_{xj}) \cos \alpha_i^0 + (a_{yj} z_i^0 + b_{yj}) \sin \alpha_i^0, \\ b_{yj}^i &= (a_{yj} z_i^0 + b_{yj}) \cos \alpha_i^0 - (a_{xj} z_i^0 + b_{xj}) \sin \alpha_i^0, \\ c_{ij} &= b_{xj}^i - x_{ij} + h_i^0. \end{aligned}$$

Из условия минимума функционала (4) получим систему нормальных уравнений

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N w_{ij} (a_{xj}^i \Delta z_i \cos \Delta \alpha_i + b_{xj}^i (\cos \Delta \alpha_i - 1) + (a_{yj}^i \Delta z_i + b_{yj}^i) \sin \Delta \alpha_i + c_{ij} + \Delta h_i) * \\ * (-a_{xj}^i \Delta z_i \sin \Delta \alpha_i - b_{xj}^i \sin \Delta \alpha_i + (a_{yj}^i \Delta z_i + b_{yj}^i) \cos \Delta \alpha_i) = 0, \\ \sum_{j=1}^N w_{ij} (a_{xj}^i \Delta z_i \cos \Delta \alpha_i + b_{xj}^i (\cos \Delta \alpha_i - 1) + (a_{yj}^i \Delta z_i + b_{yj}^i) \sin \Delta \alpha_i + c_{ij} + \Delta h_i) * \\ * (a_{xj}^i \cos \Delta \alpha_i + a_{yj}^i \sin \Delta \alpha_i) = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N w_{ij} (a_{xj}^i \Delta z_i \cos \Delta \alpha_i + b_{xj}^i (\cos \Delta \alpha_i - 1) + (a_{yj}^i \Delta z_i + b_{yj}^i) \sin \Delta \alpha_i + \\ + c_{ij} + \Delta h_i) = 0, \end{aligned}$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Полученная нелинейная система уравнений (5) решается итерационным методом. Для определения очередного приближения решения используется программа RECINV [2].

Для определения множества параметров, включающего аппликату и угол поворота, необходимо, чтобы траектории были непараллельны, а дисперсии распределения координат траекторий в каждом детекторе – ненулевые. В качестве исходных данных используются результаты геодезических измерений и результаты регистрации кусочно-прямолинейных траекторий частиц (специальная тест-калибровочная и рабочая информация).

Рассмотренный алгоритм положен в основу программы CORPAR, используемой для геометрической калибровки координатных детекторов установки ЭКСЧАРМ. Установка ЭКСЧАРМ функционирует на канале 5Н ускорителя У-70 (Протвино) в пучке нейтронов с энергией 50-70 ГэВ. Главной целью научно-физических исследований на этой установке является получение новых данных о рождении и свойствах очарованных частиц и узких резонансов, содержащих странные кварки. Схема установки показана на рис.1.

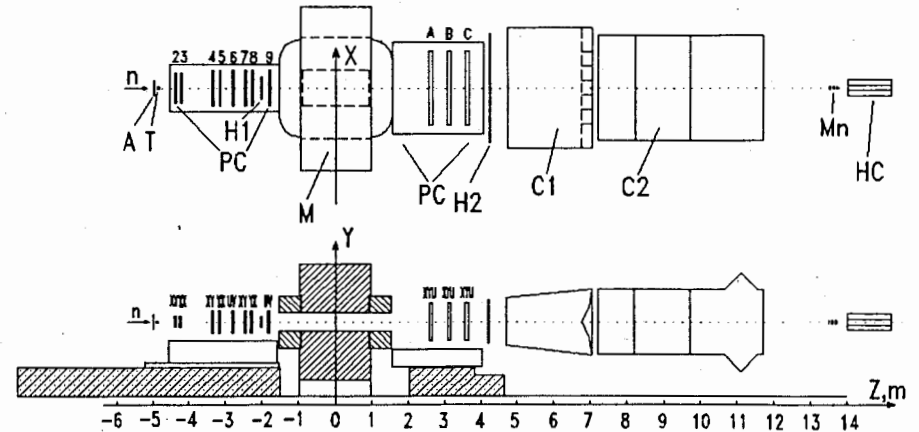


Рис.1. Схема установки ЭКСЧАРМ.

PC – пропорциональные камеры, М – магнит

В программе CORPAR реализовано несколько динамически выбираемых режимов (методов), каждый из которых допускает параметрическую настройку. Режимы определяются множеством искомых параметров:  $(h_i)$ ,  $(h_i, z_i)$ ,  $(\alpha_i, h_i, z_i)$ . Следует отметить, что

выбор множества параметров определяется не только точностью геодезических измерений и качеством юстировки (одним из главных требований к которой является устранение до минимума угловых смещений детекторов), но и уровнем шумов в исходных данных.

В условиях реальных экспериментов процедура геометрической калибровки реализуется методом последовательных приближений. На первых итерациях используется  $h_i$  - метод с пошаговым уменьшением ширины дорожки при распознавании траекторий. На последующих итерациях используется  $h_i, z_i$  - или  $\alpha_i, h_i, z_i$  - метод в зависимости от качества юстировки и точности геодезических измерений. При таком подходе учитывается сравнительно малая чувствительность  $h_i$  - метода к фоновым точкам благодаря линейной зависимости функционального аргумента от параметра  $h_i$ .

Актуальность вычисления геометрических поправок обусловлена, в частности, сложностью изучаемых событий. Типичное событие, зарегистрированное многочастичным спектрометром ЭКСЧАРМ, соответствующее рождению очарованного бариона  $\Sigma_c^0$ , показано на рис.2.

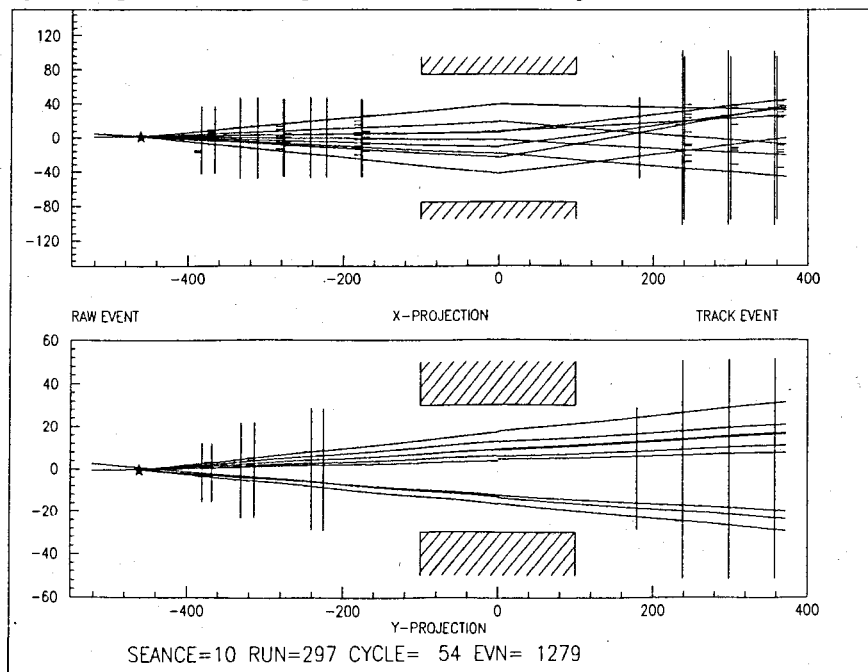


Рис.2. Типичное событие, зарегистрированное многочастичным спектрометром ЭКСЧАРМ

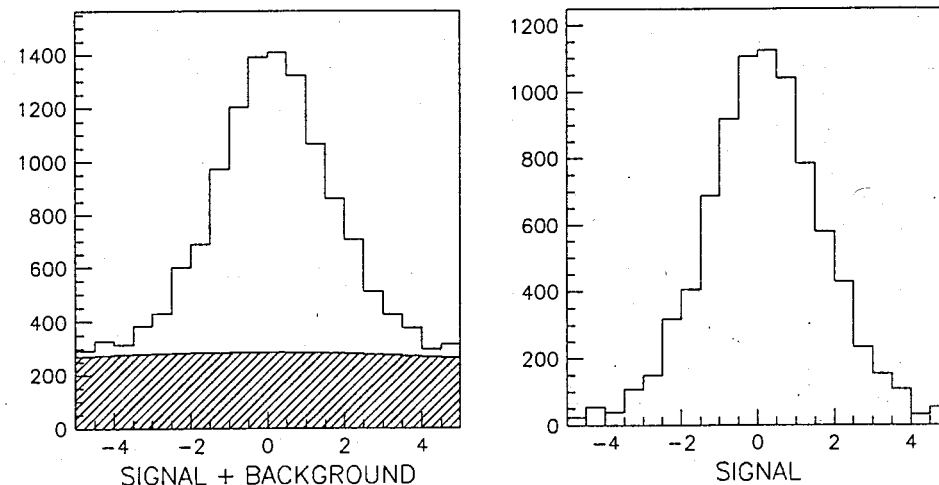
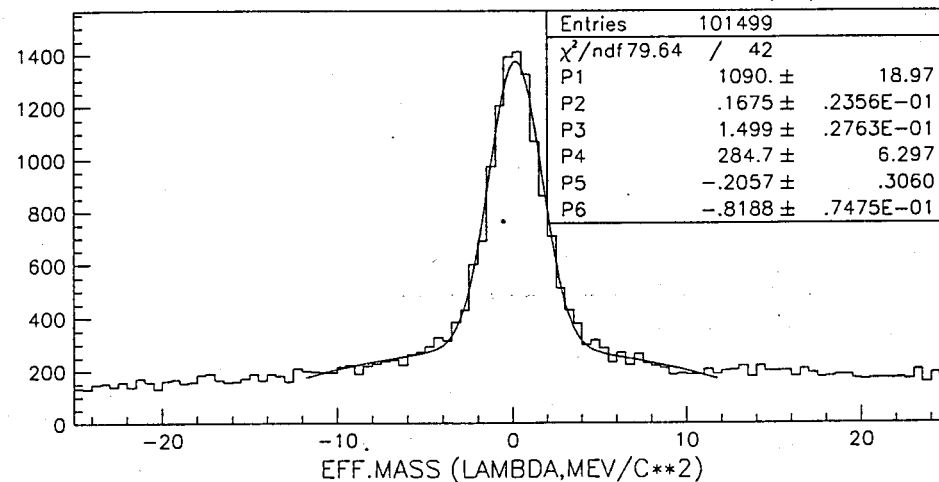


Рис.3. Спектр эффективной массы системы  $p\pi^-$  в области массы  $\Lambda^0$

Применение геометрических поправок улучшает точность вычисления параметров найденных траекторий и событий и радикально уменьшает статистические погрешности первого и второго рода на всех этапах распознавания и анализа траекторной информации. Например, даже для двухчастичной системы (рис.3, таблица) использование полученных описанной методикой величин позволяет устранить значимую систематическую погрешность более чем в два раза улучшить отношение сигнал/фон, повысить эффективность идентификации полезных событий, улучшить массовое разрешение и т.д.

**Таблица.** Статистические характеристики спектра эффективной массы системы  $p\pi^-$  в области массы  $\Lambda^0$  (МэВ/ $c^2$ )

Номер сеанса экспозиции ЭКСЧАРМ	10	
Номера файлов (RUNS)	268-270	
Магнитное поле	0.6695	
Количество триггеров	782752	
F - окрестность	$\pm 12$	
B - окрестность	$\pm 5$	
	<b>CORPAR ГЕОДЕЗИЯ</b>	
Смещение оценки массы	$0.17 \pm 0.02$	$0.67 \pm 0.08$
Разрешение	$1.50 \pm 0.03$	$2.66 \pm 0.14$
Количество $\Lambda^0$	8348	4276
Отношение сигнал/фон	1.5	0.67
Отношение сигнал/триггер	1.1 %	0.55 %

Программа CORPAR является составной частью математического обеспечения экспериментов, проводимых на установке ЭКСЧАРМ. Результаты определения геометрических параметров спектрометра используются при моделировании, математической обработке и физическом анализе экспериментальной информации.

При разработке и реализации рассматриваемой методики существенно использовались опыт и результаты работ [3,4].

## Литература

1. Е.С.Вентцель. Теория вероятностей.Изд-во "Наука", М., 1964.
2. G.A.Erskine. RINV, CERNLIB Short Writeups, CERN, Geneva,1994.
3. Н.Н.Говорун и др. Определение параметров бесфильмовых искровых камер. ОИЯИ, Р5-5397, Дубна, 1970.
4. Ю.В.Седых. Математическое обеспечение систем сбора, обработки и представления данных экспериментов физики высоких энергий на базе персональных компьютеров. ОИЯИ, 10-93-12, Дубна, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1995 года.