

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

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 α_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 α_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 α_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 α_i^0, h_i^0, z_i^0 – результаты геодезических измерений. Подставив (2) в (1), получим выражение функционала в виде

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

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:

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

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.

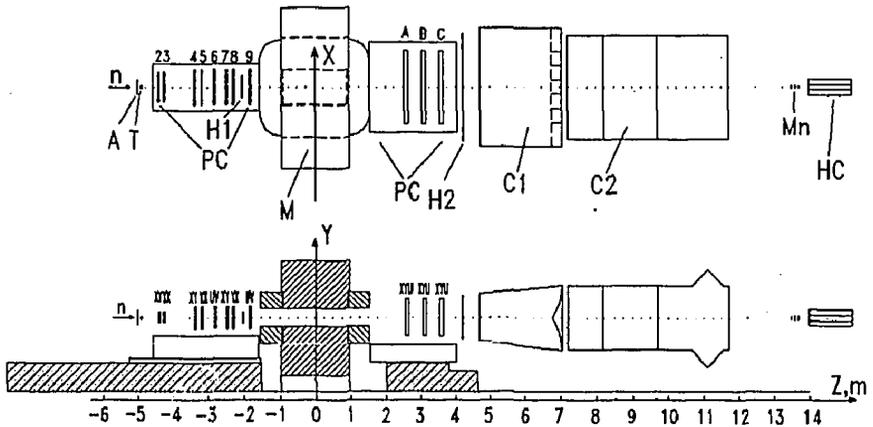


Рис.1. Схема установки ЭКСЧАРМ.
 PC – пропорциональные камеры, М – магнит

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) , (α_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 α_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 Σ_c^0 , показано на рис.2.

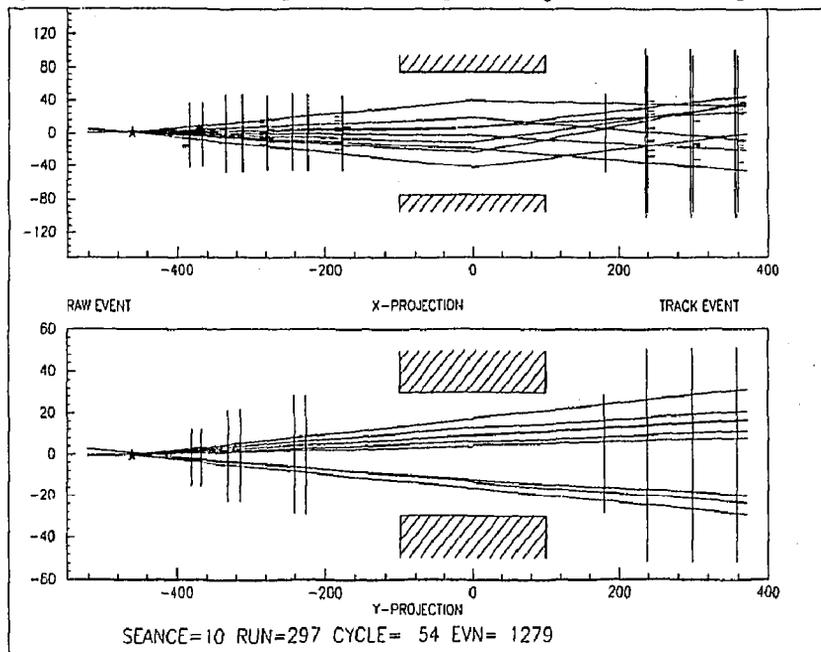


Рис.2. Типичное событие, зарегистрированное многочастичным спектрометром ЭКСЧАРМ

95/12/27 11.55

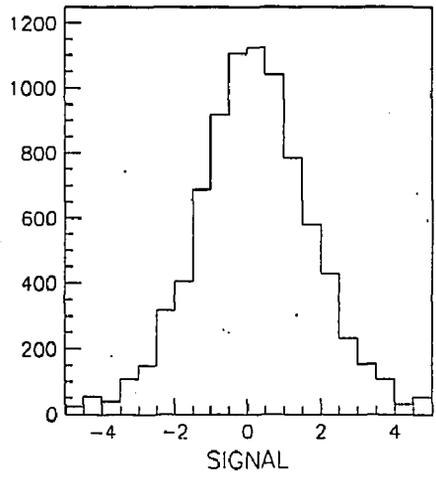
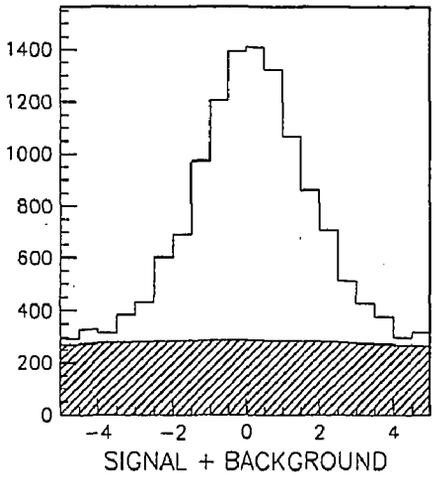
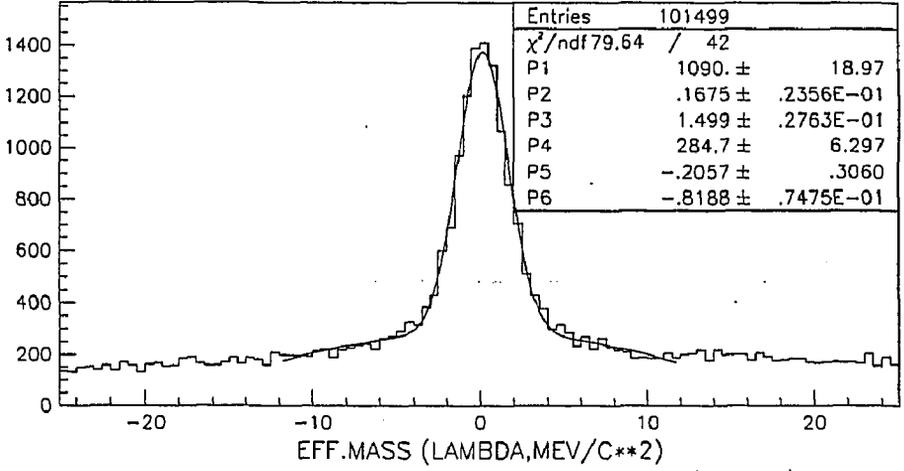


Рис.3. Спектр эффективной массы системы $p\pi^-$ в области массы Λ^0

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 Λ^0 (МэВ/ c^2)

| | | |
|---------------------------------|------------------------|-----------------|
| Номер сеанса экспозиции ЭКСЧАРМ | 10 | |
| Номера файлов (RUNS) | 268-270 | |
| Магнитное поле | 0.6695 | |
| Количество триггеров | 782752 | |
| F - окрестность | ± 12 | |
| B - окрестность | ± 5 | |
| | CORPAR ГЕОДЕЗИЯ | |
| Смещение оценки массы | 0.17 ± 0.02 | 0.67 ± 0.08 |
| Разрешение | 1.50 ± 0.03 | 2.66 ± 0.14 |
| Количество Λ^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.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

| Индекс | Тематика |
|--------|--|
| 1. | Экспериментальная физика высоких энергий |
| 2. | Теоретическая физика высоких энергий |
| 3. | Экспериментальная нейтронная физика |
| 4. | Теоретическая физика низких энергий |
| 5. | Математика |
| 6. | Ядерная спектроскопия и радиохимия |
| 7. | Физика тяжелых ионов |
| 8. | Криогеника |
| 9. | Ускорители |
| 10. | Автоматизация обработки экспериментальных данных |
| 11. | Вычислительная математика и техника |
| 12. | Химия |
| 13. | Техника физического эксперимента |
| 14. | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами |
| 15. | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях |
| 16. | Дозиметрия и физика защиты |
| 17. | Теория конденсированного состояния |
| 18. | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19. | Биофизика |

Зинченко А.И. и др.

P10-95-541

Методика геометрической калибровки
координатных детекторов установки ЭКСЧАРМ

Анализируется методика определения параметров локальных систем координат позиционно-чувствительных детекторов, образующих единую систему регистрации траекторной информации. Программа CORPAR, реализующая рассмотренный метод, используется для геометрической калибровки системы пропорциональных камер установки ЭКСЧАРМ на ускорителе У-70 (Протвино).

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Zinchenko A.I. et al.

P10-95-541

Methods and Software for Space Alignment
of EXCHARM Spectrometer Coordinate Detectors

Mathematical model (overdetermined system of nonlinear algebraic equations) and methods for space alignment of the multimodule trajectory detector are analysed. Appropriate software-program CORPAR is used for discrete detectors (MWPC) geometrical parameters estimation of EXCHARM spectrometer on 70 GeV accelerator (Protvino, Russia).

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation and at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1995

Редактор Н.Я.Гребинник. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 09.02.96

Формат 60×90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,73

Тираж 365. Заказ 48869. Цена 438 р.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области