

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10-97-310

А.Я.Кутов, С.Недев, А.В.Плескач\*

**КОРРЕКЦИЯ ПРОГРАММЫ GEOSVD,  
УЧИТЫВАЮЩАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ УГЛОВОГО  
ПОЛОЖЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

\*Институт физики высоких энергий, Протвино

**Коррекция программы GEOSVD, учитывающая нестабильность  
углового положения плоскости фотографирования**

Описан метод модификации программы GEOSVD, предназначенный для геометрической реконструкции событий, зарегистрированных в быстроциклирующей пузырьковой камере (ПК) установки СВД. Новая версия программы учитывает нестабильность углового положения плоскости фотографирования быстродействующего фоторегистратора. На основе измеренных событий, зарегистрированных в ПК, показано, что коррекция углового положения плоскости фотографирования существенно улучшает точность геометрической реконструкции.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

---

Перевод авторов

---

Kutov A.Ya., Nedev S., Pleskach A.V.

P10-97-310

**GEOSVD Programme Correction Taking into Account the Instability  
of the Angle Position of Photographing Plane**

A method to modify the GEOSVD programme aimed at geometrical reconstruction for events, registered in the rapid-cycling bubble chamber of the SVD set-up is described. A new version of programme takes into account the instability of the angle position of the photographing plane of rapid camera. Using the measurements of the events registered in bubble chamber it is shown that the correction of the angle position of the photographing plane sufficiently improves the geometrical reconstruction precision.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

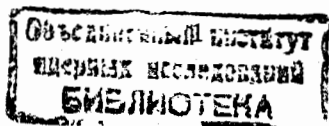
# 1. Введение

На установке СВД [1], предназначенной для исследования образования и распадов очарованных частиц в  $pp$  - взаимодействии при 70 ГэВ/с, в качестве вершинного детектора используется быстроциклирующая пузырьковая камера (БЦПК) [2]. Рабочий объем камеры фотографируется двумя объективами на две пленки, протяжка которых осуществляется быстроциклирующим фоторегистратором (БФР) [3] с помощью двух предметных фотостолов, выполненных в виде шестигранников, расположенных на одной оси друг над другом.

Обычно в системе обработки пленочной информации плоскопараллельное смещение предметного фотостолка (изменение масштаба фотографирования) учитывается программным путем автоматически. Однако высокое быстродействие БФР с частотой до 15 Гц достигается тем, что протяжка пленки между расширениями БЦПК осуществляется за счет вращения предметных фотостолов с прижатой на этот момент к его рабочей поверхности пленкой. После поворота (на  $60^\circ$ ) возникают затухающие крутильные колебания осей фотостолов. Включение лазера для фотографирования событий в БЦПК происходит по команде триггера, и съемка производится или сразу после поворота, или после пропуска нескольких циклов БЦПК, что приводит к угловой нестабильности положения плоскости фотопленки. Поэтому возникает необходимость ввести в программу геометрической реконструкции GEOSVD [4] дополнительный учет угла поворота плоскости фотографирования.

## 2. Алгоритм коррекции

При фотографировании на пленке изображаются восемь реперных крестов (РК) - четыре из них находятся на передней стенке камеры и четыре - на задней, расстояние между стенками камеры 50 мм, а также четыре креста внутреннего ориентирования (КВО), которые впечатываются с помощью отдельного третьего объектива. КВО необходимы из-за выбранного режима фотографирования, при котором объективы сфокусированы на среднюю плоскость камеры, а их глубина резкости составляет 2 мм, вследствие чего РК не имеют резкого изображения. В конце каждого сеанса производится фотографирование тестовой пленки при малой диафрагме, что позволяет получить резкое изображение РК. По измерениям на тестовой эталонной пленке определяются координаты оптических осей I и II объек-



тивов в эталонной системе координат (в ней положение третьего объектива фиксировано) и все оптические константы камеры [5]. Полученные таким способом координаты  $(x^e, y^e)$  крестов КВО называются эталонными. Измеренные на рабочей пленке координаты  $(x^w, y^w)$  крестов КВО называются рабочими.

Чтобы перейти из системы координат просмотрово-измерительного стола в систему координат оптической головки, необходимо сделать трансляцию и ротацию.

$$\begin{pmatrix} x_i^w \\ y_i^w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i^0 \\ y_i^0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i^e \\ y_i^e \end{pmatrix}, i = 1, 4; \quad (1)$$

где  $i$  - номер креста,  $x_i^e, y_i^e$  - координаты КВО на эталонной пленке,  $x_i^w, y_i^w$  - координаты на рабочей пленке,  $x_i^0, y_i^0$  - координаты РК, приведенные к условиям эталонной пленки,  $\alpha$  - параметр.

Параметры  $x_i^0, y_i^0, \alpha$  находятся минимизацией выражения

$$SUM1 = \sum_{i=1}^4 [(x_i^w - x_i^e)^2 + (y_i^w - y_i^e)^2], \quad (2)$$

где  $x_i^w, y_i^w$  - измеренные координаты КВО на рабочей пленке.

При обработке рабочих пленок все измеренные точки треков посредством обратной трансформации (1) приводятся к эталонной системе координат, в которой известно положение оптических осей объективов, после чего производится геометрическая реконструкция треков в пространстве камеры.

В нашем случае из-за угловой нестабильности пленка F поворачивается на угол  $\varphi$  вокруг оси, параллельной оси  $y$  (рис.1). Используется ортогональная правая система координат, в которой ось  $x$  направлена вдоль пучка, а ось  $z$  - параллельно оптическим осям объективов. Если центр объектива находится в точке  $O(x_c, y_c, -f)$ , где  $f$  - фокусное расстояние объектива, ось поворота имеет координату  $x_r$  и световой луч  $OA'A$  пересекает плоскость  $S$  в точке  $A(x, y)$ , то соответствующая точка  $A'(x', y')$  на плоскости F с точностью до  $\varphi^2$  находится из формул

$$x^{w'} = x^w - (x^w - x_r)(x^w - x_c) \frac{\varphi}{f}; \quad (3)$$

$$y^{w'} = y^w - (x^w - x_r)(y^w - y_c) \frac{\varphi}{f}. \quad (4)$$

Поскольку трансформация (1) не меняет расстояния между точками, то угол  $\varphi$  можно найти, минимизируя аналогично (2):

$$SUM2 = \sum_{i>j} [(x_i^{w'} - x_j^{w'})^2 + (y_i^{w'} - y_j^{w'})^2 - (x_i^w - x_j^w)^2 - (y_i^w - y_j^w)^2]. \quad (5)$$

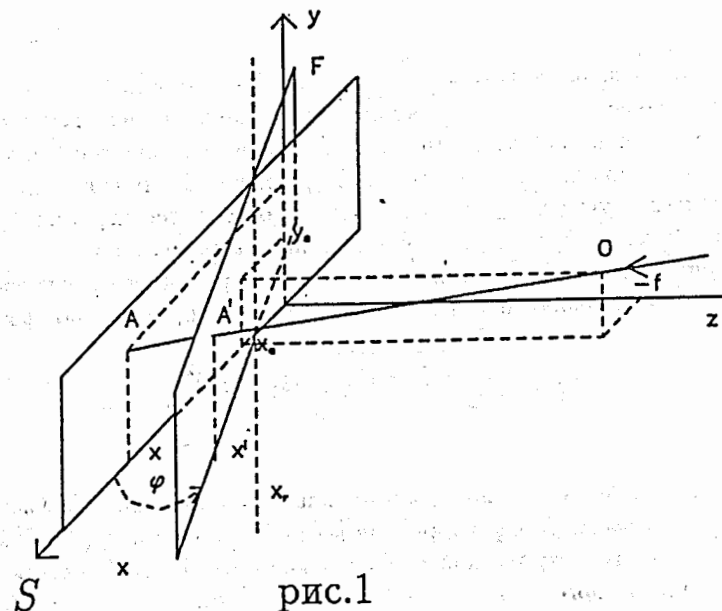


рис.1

Выбор этого функционала, в котором берется разница квадратов расстояния, вместо, как обычно, их разности, позволяет получить в замкнутом виде уравнение третьей степени относительно  $\varphi$ , для решения которого достаточно 4 итерации.

Новые значения параметров с учетом угла  $\varphi$  определяются в следующем порядке:

- 1) сначала из (5) определяется угол  $\varphi$ ;
- 2) подставляя в (3 - 4) в качестве  $x^w, y^w$  координаты эталонных КВО, получаем  $x^{e'}, y^{e'}$  в системе координат на повернутой пленке F;
- 3) заменяя в (2)  $x_i^w, y_i^w$  на эти новые координаты, находим с помощью минимизации (2) параметры  $x_i^0, y_i^0, \alpha$ ;
- 4) координаты каждой измеренной точки на рабочей пленке преобразуются к эталонным путем обратных трансформаций на (1) и (3 - 4) (обратная к (3 - 4) трансформация получается заменой знака угла  $\varphi$ , так как отбрасываем слагаемые, содержащие  $\varphi^2$ ).

### 3. Результаты коррекции

Были проведены расчеты с использованием программы GEOSVD [4] без учета угла поворота  $\varphi$  и с коррекциями, сделанными описанным способом.

На рис. 2 показана зависимость угла поворота  $\varphi$  плоскости пленки на I проекции от аналогичного угла на II проекции. Из рисунка видно, что между углами существует линейная зависимость и шестигранники повернуты относительно друг друга примерно на 10 миллирадиан.

На рис.3а показана зависимость среднеквадратичного отклонения ( $\delta$ ) разности рабочих координат КВО от эталонных, определяемая формулой

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \frac{(x_i^w - x_i^e)^2 + (y_i^w - y_i^e)^2}{8}},$$

от угла  $\varphi$ .

Из рисунка видно, что имеет место сильная корреляция и большие расхождения от угла  $\varphi$ . После коррекции корреляция исчезает (рис. 3б).

В процессе геометрической реконструкции треков восстанавливаются углы  $\theta$ ,  $\phi$  для каждого трека. Угол  $\theta$  — это угол между осью пучка (ось  $x$  на рис.1) и треком, а  $\phi$  — угол между проекцией трека на плоскость  $zy$  и осью  $z$ . Распределения по этим углам приведены на рис.4 и 5. После коррекции стандартное отклонение угла  $\theta$  для пучковых треков уменьшается в 5 раз (рис.4б). Распределение по углу  $\phi$  для вторичных треков, то есть после взаимодействия, должно быть равномерным, что получается только после коррекции (рис.5б).

### 4. Заключение

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что учет угла поворота пленки вокруг оси, перпендикулярной оптическим осям объективов, существенно улучшает восстановление треков в пространстве.

Участие сотрудников ОИЯИ в этой работе поддержано РФФИ (грант N.96-02-17927).

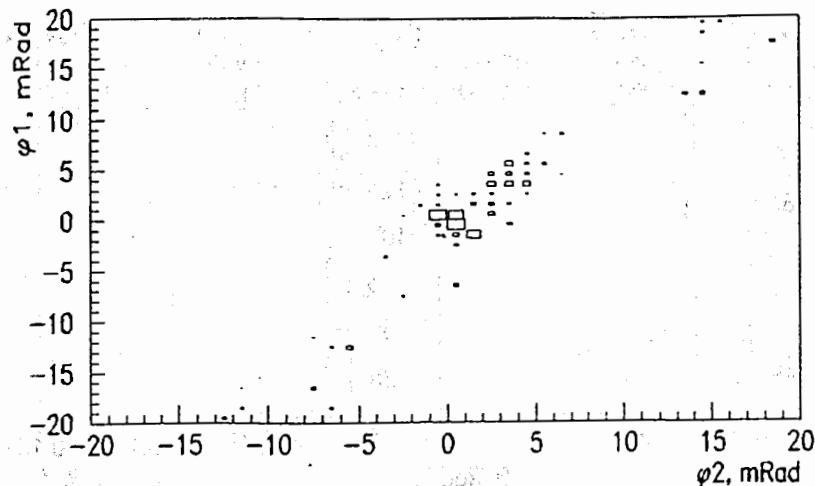


Рис.2 Зависимость угла поворота  $\varphi_1$  I проекции от  $\varphi_2$  II проекции

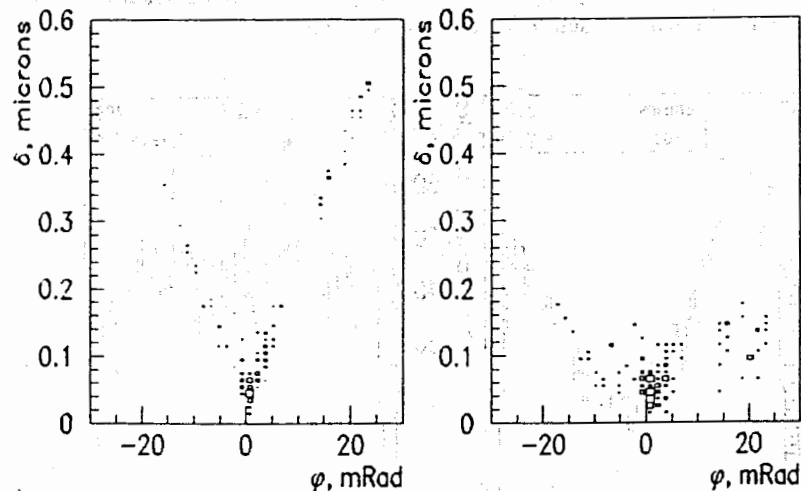


Рис.3а

Рис.3б

Зависимость  $\delta$  от угла поворота плоскости пленки а) без введения угловой коррекции, б) после введения угловой коррекции

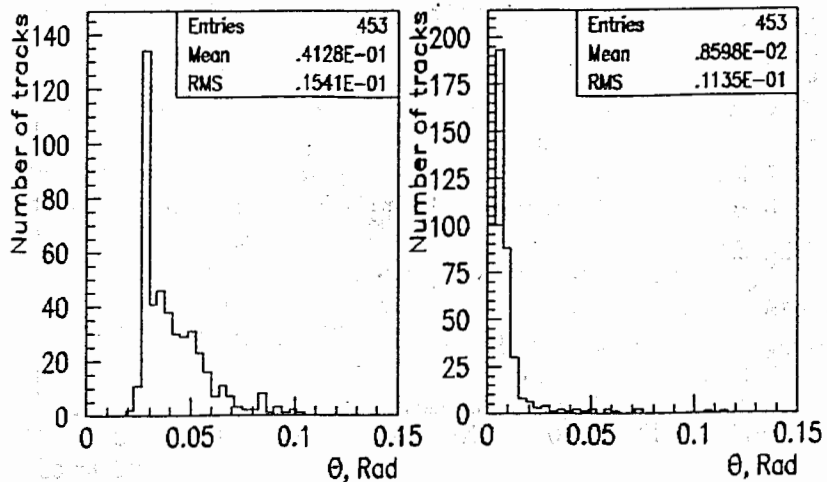


Рис.4а

Рис.4б

Распределение для пучковых треков по углу  $\theta$  а) без введения угловой коррекции, б) после введения угловой коррекции

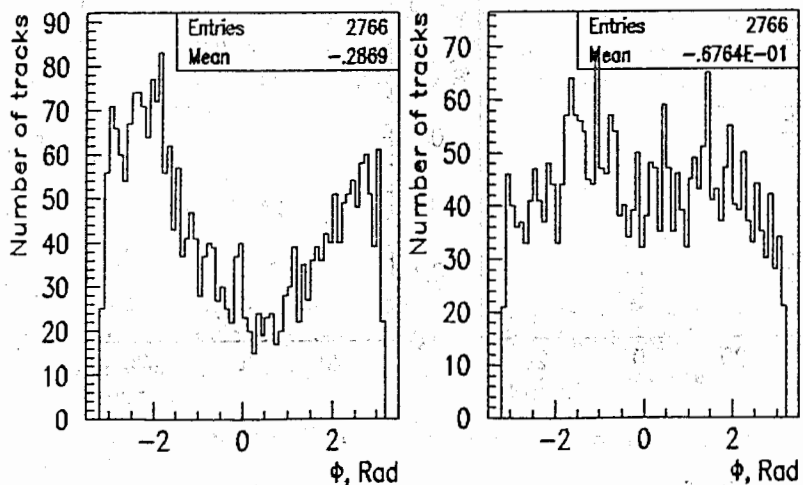


Рис.5а

Рис.5б

Распределение для вторичных треков по углу  $\phi$  а) без введения угловой коррекции, б) после введения угловой коррекции

## Литература

- [1] Андришчин А.М. и Ардашев Е.Н., Бабинцев В.В. и др. // Препринт ИФВЭ 84-3, Протвино, 1984.
- [2] Ardashev E.N., Boguslavsky I., V., Gramenitsky I.M. et. al. // Precision liquid hydrohen rapid cycling bubble chamber, Nucl. Instr. and Meth., 1995, A356, p.210-219
- [3] Самсонов В.А. // Препринт ОИЯИ Р13 - 96 - 442, Дубна, 1996.
- [4] Кравцов В.Д. , Кутов А.Я. //Препринт ОИЯИ Р10 - 93 - 354, Дубна, 1993.
- [5] Кравцов В.Д. , Хмельников В.А. //Препринт ОИЯИ Р1 - 93 - 353, Дубна, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 октября 1997 года.