

93-353



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P1-93-353

В.Д.Кравцов, В.А.Хмельников*

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ
БЫСТРОЦИКЛИРУЮЩЕЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ
КАМЕРЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ СВД

*Институт физики высоких энергий, Протвино

1993

В установке СВД [1], предназначенной для исследования распадов очарованных частиц, в качестве вершинного детектора применена быстроциклирующая пузырьковая камера (БЦПК). Для восстановления трехмерной картины событий в БЦПК используется следующий набор крестообразных меток:

— 8 реперных крестов (РК), нанесенных на внутренние стенки корпуса БЦПК;

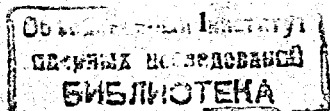
— 8 крестов внутреннего ориентирования (КВО) на дополнительной реперной плоскости, жестко связанной с оптической платой. КВО впечатываются на пленку проекционным способом — по 4 на каждую стереопроекцию.

Необходимость введения КВО обусловлена тем, что рабочая съемка БЦПК проводится с малой глубиной резкости и реперные кресты не фокусируются на пленке. Таким образом, КВО используются в качестве системы отсчета при измерении треков на снимках. КВО нанесены на специальный шаблон и проецируются на оба снимка стереопары с помощью дополнительного третьего объектива, жестко соединенного с двумя основными в так называемый блок объективов. Взаимное расположение объективов в блоке определяется с помощью фотографирования сеток Готье на оптической скамье. Затем эти данные вместе с результатами тестовых съемок БЦПК с большой глубиной резкости (так, чтобы реперные кресты были хорошо сфокусированы) используются для вычисления полного набора оптических констант.

1. ИСПЫТАНИЕ БЛОКА ОБЪЕКТИВОВ НА ОПТИЧЕСКОЙ СКАМЬЕ

Схема установки, собранной на оптической скамье, приведена на рис. 1. Целью испытаний является определение XU -координат оптических осей всех трех объективов в системе отсчета, связанной с фотоснимком. Это позволит определять координаты оптических осей объективов 1 и 2 относительно КВО на рабочих снимках.

Все алгоритмы обработки результатов испытаний были взяты из описания пакета программ PYTHON [2]. Так как коэффициент увеличения объективов 1 и 2 близок к единице и угол между световыми лучами и опти-



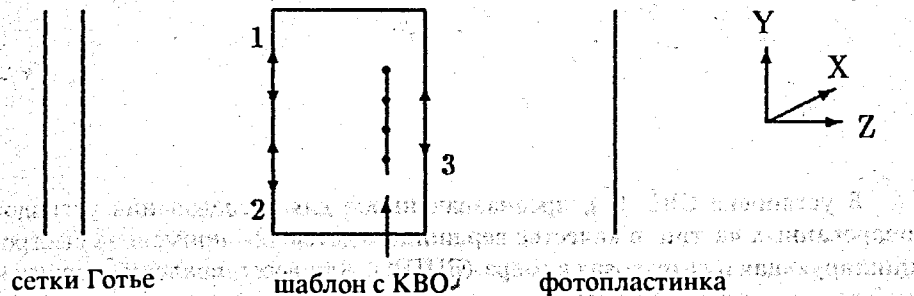


Рис.1

ческой осью невелик, нелинейной дисторсией можно пренебречь. Связь координат узлов сетки Готье и их образов на фотопластинке описывается следующей зависимостью:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \end{pmatrix} + f_i \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2; \quad (1)$$

где i — номер сетки, x', y' — координаты узла сетки на фотопластинке, x, y — координаты узла в лабораторной системе отсчета.

Раздельным фитированием при разных i определялись параметры x_{0i}, y_{0i}, f_i ; параметр α определялся одновременным фитированием по обеим сеткам. Далее можно получить координаты оптической оси x_0, y_0 в системе координат фотопластинки, подставляя их в (1) при $i = 1, 2$ и приравнявая левые части:

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{f_1 - f_2} \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{02} - x_{01} \\ y_{02} - y_{01} \end{pmatrix}.$$

Получив из (1) координаты оптической оси x_0, y_0 в системе отсчета, связанной с сетками Готье, формулу восстановления координат узлов сетки можно записать следующим образом:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + f \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' - x_{01} \\ y' - y_{01} \end{pmatrix},$$

где $f = f_i$ для i -й сетки. Коэффициент уменьшения f зависит от z нелинейным образом:

$$f = f_1 + \frac{z}{F \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \varphi}},$$

где F — фокусное расстояние объектива, n — коэффициент преломления среды между двумя сетками, φ — угол между световым лучом и оптической осью, $z = 0$ для первой сетки. Из этой зависимости легко получить z -координату; при $n \neq 1$ для этого потребуется итерационный процесс.

Несмотря на то, что расстояние между сетками было невелико по сравнению с расстоянием до объективов ($\sim 1/10$), X, Y -координаты узлов восстанавливались с точностью до 7 мкм, а Z -координата — с точностью до 50 мкм.

Объектив 3 увеличивает примерно в три раза, поэтому присутствует заметная дисторсия. Для определения координат оптической оси этого объектива КВО были сфотографированы при двух положениях фотопластинки. Сначала фитировалась зависимость вида (1), затем связь между «идеальными» координатами КВО x_{id}, y_{id} , полученными обратным преобразованием из x, y , и реальными координатами КВО на фотопластинке x', y' , фитировалась следующей зависимостью:

$$\begin{pmatrix} x' - x_0' \\ y' - y_0' \end{pmatrix} = (1 + c_1 x_{id}' + c_2 y_{id}' + c_3 (x_{id}'^2 + y_{id}'^2)) \begin{pmatrix} x_{id}' - x_0' \\ y_{id}' - y_0' \end{pmatrix}.$$

В результате X, Y -координаты КВО восстанавливались с точностью 10 мкм. Таким образом, получена привязка оптических осей объективов 1 и 2 к КВО.

2. ТЕСТОВЫЕ СЪЕМКИ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА БЦПК

Как было указано выше, для определения полного набора оптических констант необходимо провести тестовую съемку рабочего объема БЦПК с минимальной диафрагмой, так, чтобы все реперные кресты были хорошо сфокусированы. При этом механизм расширения БЦПК выключен, фоторегистратор работает в режиме покадровой съемки. Так как положение корпуса БЦПК относительно объективов немного меняется при каждом охлаждении, тестовую съемку нужно проводить в каждом сеансе. Также необходимо измерить координаты РК на корпусе камеры. Связь между координатами РК и их образами на фотоленке фитируется следующей зависимостью:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + f \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' - x_0' \\ y' - y_0' \end{pmatrix},$$

где x', y' — координаты РК на фотопленке; x, y — координаты РК в системе отсчета БЦПК; x_0, y_0 — координаты оптической оси на пленке, известные относительно КВО; x_0, y_0, f, α — определяемые параметры. При наличии между БЦПК и объективом сред с коэффициентом преломления, отличным от 1, появляется зависимость увеличения f от φ -угла между световым лучом и оптической осью:

$$f = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{\sqrt{n_i^2 + (n_i^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \varphi}},$$

что приводит к необходимости коррекции величины f для каждого отдельного креста.

Тестовые съемки в полном объеме впервые проводились в конце апрельского сеанса 1992 года. Полученный набор оптических констант позволяет восстанавливать реперные кресты с точностью 100 мкм в XY-плоскости и с точностью 200 мкм вдоль оси Z. Достигнутая точность является достаточной для удовлетворительной работы вершинного детектора в эксперименте по поиску распадов очарованных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ардашев Е.Н. и др. — Препринт ИФВЭ 93-99, 1993.
2. Bernasconi F. — TC Program Library, Python Manual, CERN, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 сентября 1993 года.