

УДК 535.853;539 1.07

ИСКРОВОЙ СПЕКТРОМЕТР С БОЛЬШОЙ ПРОДОЛЬНОЙ
БАЗОЙР. Б. АЙВАЗЯН, Г. А. БАЯТЯН, Г. С. ВАРТАНЯН, С. Г. КНЯЗЯН,
А. Т. МАРГАРЯН, Э. М. МАТЕВОСЯН, К. К. ШИХЛЯРОВЕреванский физический институт
(Поступила в редакцию 20 апреля 1983 г.)

Описывается искровой спектрометр с продольной базой более 20 метров. Приводятся основные характеристики оптических искровых камер, используемых в спектрометре в качестве трековых детекторов. Описывается метод реконструкции событий с помощью «клиновой оптики». Показано, что угловая точность на полной базе спектрометра — порядка 10^{-4} рад. В качестве калибровочных данных приводятся результаты реконструкции геометрических параметров электронного пучка ИФВЭ.

1. Введение

Успешное выполнение программы исследований по измерению полного сечения фотообразования адронов с помощью установки ГАММА [1—3] на электронном пучке ИФВЭ [4] предопределило дальнейшее усовершенствование установки с целью выяснения вклада в общее сечение процессов фоторождения ρ^0 -мезонов [5] при энергиях гамма-квантов более 18 ГэВ. Интерес к данному вопросу обусловлен тем, что сечение фоторождения ρ^0 -мезонов, как было показано в работе [6], не зависит от энергии квантов в интервале 5—18 ГэВ. Это, в свою очередь, могло быть указанием на независимость полного сечения фотообразования адронов от E_γ , если верна модель векторной доминантности. С другой стороны, необходимость таких исследований диктовалась также несколько отличными результатами, полученными в работе [7].

Для решения поставленной задачи установка ГАММА была дополнена искровым спектрометром с продольной базой более 20 метров. Полная схема установки приводится на рис. 1. В качестве трековых детекторов в спектрометре использовались четыре широкоазорные искровые камеры, каждая из которых решала локальную задачу. Так, ИК1 предназначалась для фиксирования траектории влета электрона в установку, ИК2 — для уточнения импульса рассеянного электрона в канале «мечения» фотонов и, наконец, ИК3, ИК4 — для восстановления траекторий π^+ -мезонов от распада ρ^0 -мезонов. Ранее в работах [5, 8] нами было показано, что одновременное измерение указанных параметров с учетом известной энергии налетающего фотона позволяет однозначно идентифицировать ρ^0 -мезоны.

В настоящей работе дается краткое описание основных узлов спектрометра, рассматривается метод восстановления траекторий частиц в искровых камерах с помощью «клиновой оптики» и приводятся результаты калибровки спектрометра в целом.

2. Описание узлов спектрометра и результаты его калибровки в целом

Искровые камеры. Все ИК были симметричной конструкции с центральным высоковольтным электродом и разрядным промежутком, равным 15 см. Известно, что подобная конструкция позволяет исключать многие систематические ошибки, возникающие при формировании искрового трека.

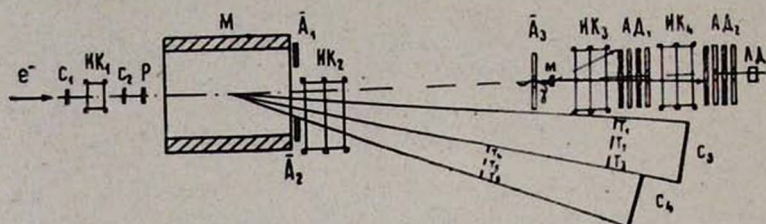


Рис. 1. Схема установки ГАММА с искровыми камерами: C_1 — C_2 , T_1 — T_6 , A_1 — A_3 — сцинтилляционные счетчики, ИК1—ИК4 — искровые камеры, АД1—АД2 — адронные детекторы, АД — ливневой детектор, Р — радиатор.

С целью подавления возможного фона частиц от вещества ИК и исключения многократного рассеяния в качестве основного материала ИК использовалась органическая пленка толщиной 40 мкм, так что общее количество вещества камеры в направлении проходящих частиц удалось уменьшить до $0,03 \text{ г см}^{-2}$. Площадь всех ИК варьировалась в зависимости от геометрии опыта и условий фоновых загрузок в экспериментальном зале. Поэтому ИК1 имела площадь $15 \times 16 \text{ см}^2$, а остальные соответственно: ИК2 — $54 \times 32 \text{ см}^2$, ИК3, ИК4 — $40 \times 32 \text{ см}^2$.

Высоковольтные генераторы. Высоковольтное питание всех камер осуществлялось идентичными пятикаскадными генераторами Аркадьева—Маркса. Амплитуда импульса на камерах достигала 70 кВ с экспоненциальным спадом и с постоянной времени 10^{-6} с . Система обеспечивала предельную частоту работы в 1 Гц, однако в условиях эксперимента частота событий была значительно ниже.

Система газообеспечения. От состава рабочего газа непосредственным образом зависит время памяти искровых камер. Вместе с тем это время устанавливается исходя из максимального числа заряженных частиц, проходящих через ИК в единицу времени. Непосредственные измерения показали, что основной фон на канале экспериментальной установки обусловлен μ -мезонами и составляет $10^6 \text{ частиц} \cdot \text{с}^{-1}$ на площади детектора $40 \times 40 \text{ см}^2$. Поэтому время памяти камер нами было выбрано $2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Так как обычно используемый чистый неон в качестве рабочего газа не позволяет иметь столь короткие времена, то в качестве гасящей добавки в камеру вводился фреон-13 в количестве $\approx 5 \cdot 10^{-6}$ от общего объема.

Система газообеспечения для каждого ИК была индивидуальной и позволяла периодически обновлять газовую смесь. Время памяти камер контролировалось по числу искровых треков на один запуск. С такой газовой смесью была исследована эффективность всех камер. С этой целью через спектрометр пропусклись пучковые электроны при выключенном маг-

ните. Импульс запуска формировался сцинтилляционными счетчиками S_1 , S_2 и ливневым детектором АД. Общая эффективность всех ИК оказалась достаточно высокой и составила 95 %.

Система фотографирования. Все искровые камеры, включая генераторы, фоторегистраторы и реперные плиты, на которых устанавливались ИК, были скомпонованы в четыре идентичных «искровых» модуля. В качестве фоторегистраторов использовались серийные камеры РФК-5 с незначительными изменениями. В частности, была введена система, позволяющая синхронизировать смену кадра и отсчет номера события.

Реконструкция искровых треков. В спектрометрах с использованием трековых детекторов возникает необходимость в проведении пространственной реконструкции событий. Существующие традиционные методы (стереопары, зеркала) не всегда оказываются приемлемыми. В связи с этим весьма привлекательным представляется метод, основанный на использовании оптических клиньев, расположенных между фоторегистратором и детектором. Общая идея метода заключается в том, что на пленку фиксируются части трека, просматриваемые объективом как через клин, так и вне его, причем первая оказывается смещенной относительно второй. На наш взгляд основное достоинство метода заключается в сравнительно простой реконструкции изображения с достаточно хорошей точностью.

Впервые этот принцип для целей ядерной физики описан в работе [9]. Однако реализованная точность «глубинной» координаты в указанной работе не превышала ≈ 5 мм. Вместе с тем имеется реальная возможность довести эту величину до 1—2 мм. Это обстоятельство привело к необходимости иметь точную теорию системы «изображение—оптический клин—фоторегистратор», т. е. получить аналитическую связь

$$\Delta = \Psi(Z, Y_p),$$

где Δ — разность между Y_p -координатами смещенного и прямого изображений точки трека в плоскости фотопленки (рис. 2). Не останавливаясь на теории метода, которая нами подробно изложена в работе [8], отметим, что достижение предельных точностей ограничено тем, что все параметры системы известны с определенными ошибками, часто плохо контролируемые, например, расстояние от оптического центра объектива до клина, точность установки нижнего основания клина перпендикулярно главной оптической оси, точность изготовления клиньев и т. д. В связи с этим при использовании «клиновой» оптики оказалось более целесообразным воспользоваться точной теорией для предварительных оценок, а в рабочих условиях применить принцип калибровки пространства детектора. Это позволяет естественным образом учесть все указанные ошибки.

Для калибровки «искровых» модулей описываемого спектрометра каждый из них был снабжен реперной плитой с нанесенной прямоугольной системой координат и риской оси пучка. Для всех модулей реперные плиты выставлялись методами оптической геодезии так, что ось X была направлена параллельно оси пучка. Предельная ошибка вдоль оси Y составляла ± 300 мкм, а абсолютная ошибка установки реперных плит относительно орбиты пучка по высоте не превышала 100 мкм. Для калибровки пространства ИК относительно неподвижной реперной плиты параллельно

ей могла двигаться в вертикальном направлении специальная горизонтальная плита с нанесенной калибровочной сеткой. Точность сетки составляла ± 10 мкм при шаге 15 мм. Поперечный снос при вертикальном скольжении калибровочной плиты не превышал ≈ 100 мкм. Фотографирование сетки велось с шагом 10 мм.

Обработка калибровочной фотопленки заключалась в

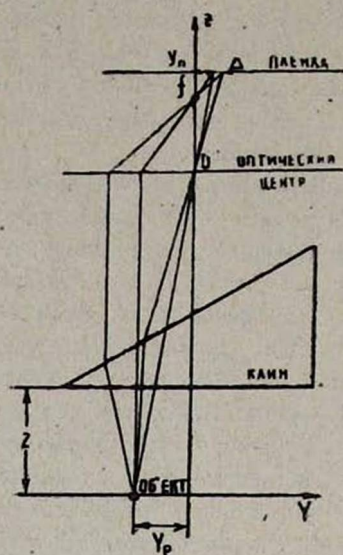


Рис. 2. Схема возникновения прямого и смещенного изображений точки при фотографировании через оптический клин.

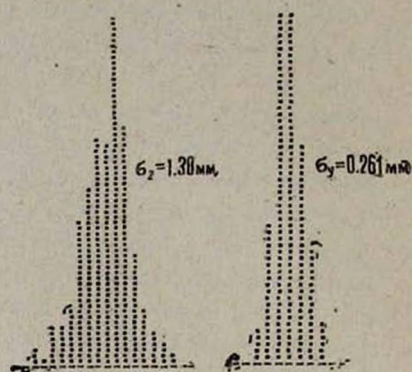


Рис. 3. Точность восстановления трека методом оптического клина.

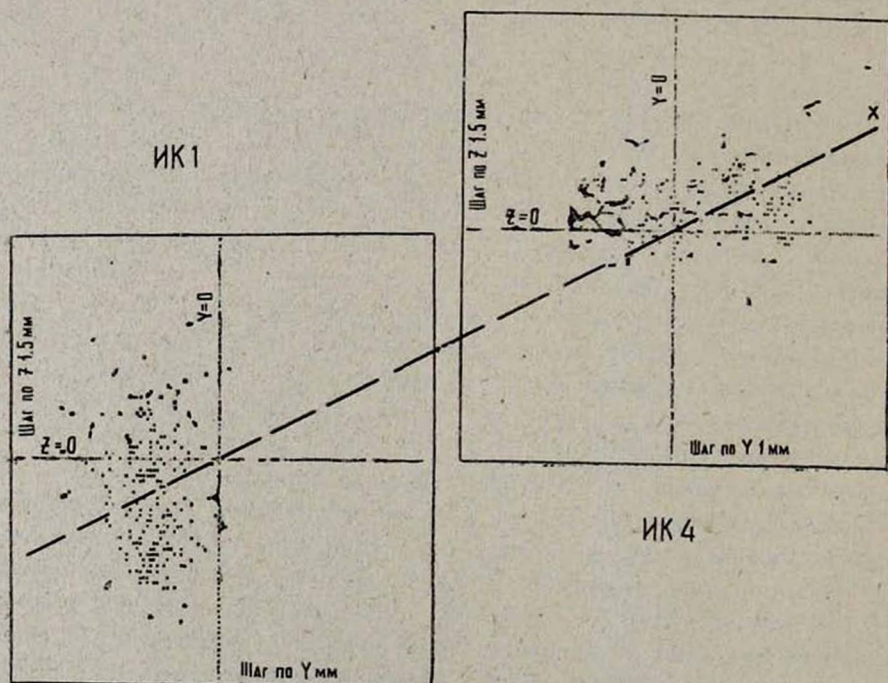


Рис. 4. Изображения пучка электронов в плоскостях ИК1 и ИК4, построенные с помощью ЭВМ.

измерении расстояний от каждой линии калибровочной сетки до реперной оси X (координата Y_n) и до смещенного участка, принадлежащего этой линии (величина Δ). Измерения проводились с помощью микроскопа. Окончательный результат калибровки представляется в виде зависимостей Δ от Z и от Y_p , а также устанавливается связь реальной Y_p с Y_n на пленке. В качестве иллюстрации используемого метода восстановления на рис. 3 приводятся распределения ошибок для координат трека вдоль вертикальной и горизонтальной осей. Видно, что $\sigma_z \approx 1,3 \text{ мм}$ ($\pm 4,3 \cdot 10^{-3}$ рад), а $\sigma_y = 0,26 \text{ мм}$ ($\pm 0,84 \cdot 10^{-3}$ рад).

Пользуясь полученными данными, можно показать, что угловая точность спектрометра на полной базе (ИК1—ИК4) равна $\pm 0,56 \cdot 10^{-4}$ рад. С целью калибровки и иллюстрации возможностей созданного спектрометра были измерены пространственные параметры первичного электронного пучка установки. После обработки 240 случаев прохождения электронов через всю установку и восстановления траектории каждого электрона в отдельности были получены сечения пучка на первом и четвертом «искровых» модулях (рис. 4). Видно, что пучок, фокусируясь в горизонтальной плоскости, одновременно расфокусируется в вертикальной, а его истинная ось повернута относительно геодезической на угол $\approx 0,8 \cdot 10^{-3}$ рад.

В процессе дальнейшей эксплуатации спектрометра был набран необходимый статистический материал, который в настоящее время находится в процессе обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиханян А. И. и др. Научное сообщение ЕФИ-Э4-1 (70), Ереван, 1970.
2. Баятян Г. Л. и др. Научное сообщение ЕФИ-72 (74), Ереван, 1974.
3. Аракелян Е. А. и др. Научное сообщение ЕФИ-257 (50)-77, Ереван, 1977.
4. Герштейн С. С. и др. Препринт ИФВЭ 72-93, Серпухов, 1972.
5. Алиханян А. И. и др. Научное сообщение ЕФИ-26 (73), Ереван, 1973.
6. Park J. et al. Nucl. Phys., В 36, 404 (1972).
7. Caldwell D. O. et al. Phys. Rev. Lett., 23, 1256 (1969).
8. Авакян Г. Ц. и др. Научное сообщение ЕФИ-308 (33)-78, Ереван, 1978.
9. Коренченко С. М. и др. Препринт ОИЯИ Р13-5170, Дубна, 1972.

ՄԵՐ ԵՐԿԱՅՆԱԿԻ ՀԻՄՔՈՎ ԿԱՅԾԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐՈՄԵՏՐ

Ե. Ա. ԱՌԱՔԵՆՅԱՆ, Հ. Լ. ԲԱՅԱՏՅԱՆ, Հ. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ն. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ,
Ա. Թ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Է. Մ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Կ. Կ. ՇԻՆԼՅԱՐՈՎ

Նկարագրվում է 20 մ-ից ավելի երկայնակի հիմքով կայծային սպեկտրոմետր: Բերվում են օպտիկական կայծային խցերի հիմնական բնութագրերը, որոնք օգտագործվել են սպեկտրոմետրում որպես տրեկային դեղնկտորներ: Նկարագրվում է դեպքերի վերականգնման մեթոդը «սեպային օպտիկայի» օգնությամբ: Յուրից է տրված, որ սպեկտրոմետրի ամբողջ հիմքի վրա անկյունային ճշտությունը 10^{-4} առ. կարգի է: Իրրև կալիբրային տվյալներ բերվում են Բարձր էներգիաների ֆիզիկայի ինստիտուտի էլեկտրոնային փնջի երկրաչափական պարամետրերի վերականգնման տվյալները:

A SPARK CHAMBER SPECTROMETER WITH EXTENDED LONGITUDINAL BASIS

R. B. AIVAZYAN, G. L. BAYATYAN, G. S. VARTANYAN, S. G. KNYAZYAN,
A. T. MARGARYAN, E. M. MATEVOSYAN, K. K. SHIKHLYAROV

A spark chamber spectrometer with longitudinal basis of more than 20 m is described. Main characteristics of optical spark chambers used in the spectrometer as track detectors are given. The angular resolution provided by the spectrometer was better than 10^{-4} rad. A simple method for the spatial reconstruction of particle trajectories by means of "wedge optics" is described. As the calibration of the spectrometer the electron beam geometry of the 70 GeV Serpukhov proton accelerator was reconstructed with its help.