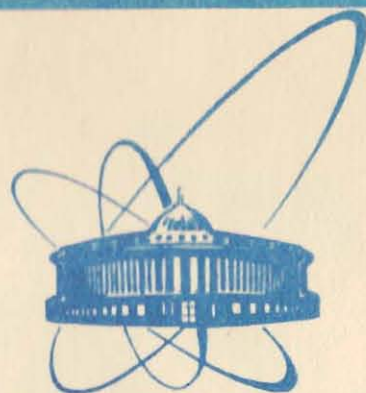


84-805



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-84-805

В.Б.Виноградов, Ю.И.Кирочкин¹, А.С.Курилин,²
В.Г.Одинцов, Л.Шандор³

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ
ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ
"ГИПЕРОН" ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ГИПЕРЗАРЯДОВООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

¹ Институт физики высоких энергий, Серпухов

² Институт физики АН БССР, Минск

³ Институт экспериментальной физики САН,
Кошице, ЧССР

1984

ВВЕДЕНИЕ

Прецизионное определение пространственного положения трековых детекторов электронной установки является необходимым условием достижения высокой точности измерения угловых и импульсных характеристик частиц. Для обработки данных с установки ГИПЕРОН^{/1/} нами были разработаны несколько методов определения расчетным путем пространственного положения трековых детекторов на основе зарегистрированных событий*. В настоящей работе описан метод, использованный при исследовании гиперзарядообменных процессов. Этот метод был включен в состав программы геометрической реконструкции событий, что позволило осуществлять контроль отсутствия случайных пространственных смещений трековых детекторов при длительной экспозиции установки.

1. УСТАНОВКА ГИПЕРОН. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ КОНСТАНТ

Установка ГИПЕРОН в конфигурации, предназначенной для исследования гиперзарядообменных процессов, изображена на рис.1. Она содержит 34 плоскости искровых проволочных камер /ИПК/, 20 плоскостей пропорциональных камер /ПК/, 3 сцинтилляционных годоскопа /Г/.

Определим систему координат, связанную с установкой: ось Z - вдоль направления пучка первичных частиц, плоскость YZ - горизонтальная и совпадает с плоскостью орбиты пучка ускорителя, ось X - вертикальная. Начало системы координат связано с геометрическим центром электромагнита МС-12. Система координат задана геодезическими метками, расположенными на неподвижных элементах установки, стенах здания, защите ускорителя. В этой системе координат определены магнитные поля электромагнитов СП-129 и МС-12.

* Определение геометрических констант электронной установки рассматривалось также в работе^{/2/} для установки БИС, в работе^{/3/} для установки СИГМА, в работе^{/4/} для установки ЛЕПТОН и в общем виде в работе^{/5/}.

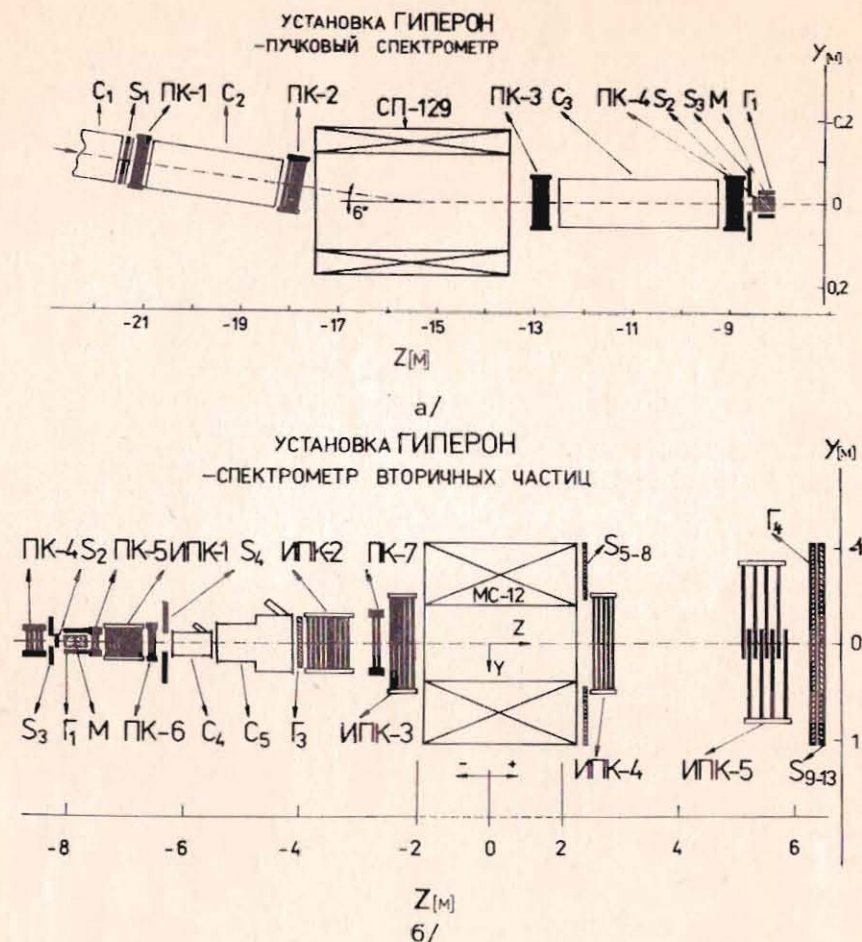


Рис.1. Схематическое изображение установки ГИПЕРОН:
а/пучковый спектрометр, б/спектрометр вторичных частиц.

С геометрической точки зрения трековый детектор установки ГИПЕРОН /искровая проволочная камера, пропорциональная камера, сцинтилляционный годоскоп/ представляет собой набор параллельных проволок /пластин годоскопов/, расположенных в одной плоскости, и может быть охарактеризован координатами X, Y, Z середины первой /сигнальной/ проволоки и углами поворота α, β, γ плоскости детектора вокруг осей X, Y, Z .

Перед началом набора данных на установке производится юстировка камер, т.е. в пределах заданных допусков плоскости камер выстраиваются перпендикулярно оси Z , а сигнальные проволоки - параллельно осям X или Y .

Оценим точность, с которой необходимо знать X, Y, Z - координаты камер и углы поворота α, β, γ . Будем исходить из того, что требуемая точность определения импульсов вторичных K^+ -мезонов в реакции

$$\pi^+ p \rightarrow K^+ X \quad /1/$$

составляет 0,5%, а погрешности определения геометрических констант не должны вносить в эту величину вклад, больший 0,15%. Оценку точности сделаем на основе алгоритма определения импульса в условиях однородного магнитного поля по четырем точкам с координатами $(Y_1, Z_1), (Y_2, Z_2), (Y_3, Z_3), (Y_4, Z_4)$, расположенными попарно до и после электромагнита МС-12. В этом случае импульс P определяется формулой

$$P = C/\theta, \quad \Delta P/P = \Delta\theta/\theta, \quad /2/$$

где $C = 0,03 fHd\ell$; $fHd\ell = 30$ кГс·м - отклоняющая сила электромагнита МС-12; θ - угол поворота частицы после прохождения магнитного поля $\theta = \theta_1 - \theta_2$; θ_1 - угол влета в магнит, θ_2 - угол вылета из магнита,

$$\operatorname{tg} \theta_1 = (Y_1 - Y_2)/(Z_1 - Z_2), \quad /3/$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = (Y_3 - Y_4)/(Z_3 - Z_4),$$

$$\Delta Z_{1,2} \approx (Z_1 - Z_2) \cdot \Delta\theta_1/\theta_1, \quad /4/$$

$$\Delta Z_{3,4} \approx (Z_3 - Z_4) \cdot \Delta\theta_2/\theta_2,$$

$$\Delta Y_{1,2} \approx \Delta\theta_1 \cdot (Z_1 - Z_2)/\sqrt{2}. \quad /5/$$

Подставляя в /2/-/5/ характерные для установки ГИПЕРОН величины: $Z_1 - Z_2 = 2$ м, $Z_3 - Z_4 = 3$ м, $\theta_{1\text{ макс}} = 100$ мрад, $\theta_{2\text{ макс}} = 200$ мрад, - получаем для $P = 12$ ГэВ/с $\theta = 75$ мрад / и $\Delta P/P = 0,15\%$ оценки точности измерения углов θ и координат Y_i, Z_i : $\Delta\theta = 0,11$ мрад, $\Delta\theta_1 \approx \Delta\theta_2 = 0,08$ мрад, $\Delta Z_{1,2} = 1,6$ мм, $\Delta Z_{3,4} = 1,2$ мм, $\Delta Y_{1,2} = 0,11$ мм.

Погрешности в определении углов α, β, γ поворота камер вокруг осей X, Y, Z определяются выражениями $\Delta\alpha \leq 4\Delta Z/L$, $\Delta\beta \leq 4\Delta Z/L$, $\Delta\gamma \leq 4\Delta Y/L$, где L - поперечный размер камеры.

Отсюда точности, которые необходимо обеспечить для камер, служащих для определения импульсов частиц по углу отклонения в магнитном поле /Y-камер/, составляют $\Delta\alpha \leq 5$ мрад, $\Delta\beta \leq 5$ мрад, $\Delta\gamma \leq 0,4$ мрад.

Что касается камер, служащих для определения X-проекций трека /X-камер/, то требование к ним по точности определения угла γ ниже: $\Delta\gamma \leq 5$ мрад. Это связано с тем, что вертикальный угловой акцептанс установки составляет всего +20 мрад, и угол

вылета из мишени определяется по блоку ИПК1-ИПК2, на котором захватываемый размер по Y-координате составляет ± 160 мм.

Измерения X, Y, Z - координат камер с точностью ± 1 мм и юстировка камер так, чтобы углы поворота α, β, γ были менее 2 мрад, в основном реализуются на установке. При этом привязка к магнитному полю электромагнита МС-12 осуществляется с достаточной точностью. Однако определение X(Y) - координат первых проволок камер с точностью 0,1 мм и юстировка камер так, чтобы углы поворота γ были менее 0,4 мрад, представляют большие сложности в условиях установки ГИПЕРОН и для ряда камер просто невозможны при измерениях /юстировке/ с помощью геодезических приборов /нивелира, теодолита/. Поэтому необходимо определение X, Y - координат первых проволок и углов поворота камер Y - расчетным методом.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ КОНСТАНТ УСТАНОВКИ

В программе геометрической реконструкции событий Y_{ik} - координата искры, принадлежащей i - му треку на K - й камере, определяется по формуле

$$Y_{ik} = h_k (n_{ik} + \frac{r_{ik} - 1}{2}) s_k + \gamma_k X_{ik} + Y_k^0 \quad /6/$$

где h_k - шаг намотки проволок, n_{ik} - номер первой проволоки в группе r_{ik} подряд сработавших проволок, соответствующих искре, $s_k = \pm 1$ - направление считывания проволок, γ_k - угол поворота камеры вокруг оси Z, Y_k^0 - координата первой проволоки. Аналогично, но без учета поворотов γ_k , определяются X_{ik} - координаты искр.

Таким образом, для каждой камеры необходимо знать следующие геометрические константы: Y_k^0 (X_k^0) - координату первой проволоки и угол поворота γ_k /для Y-камер/. Эти величины определяются на основе совокупности реальных событий с использованием свойств прямолинейности траекторий заряженных частиц.

При определении геометрических констант применяется итерационный метод, т.е. на $(l+1)$ -итерации

$$(Y_k^0)^{l+1} = (Y_k^0)^l + \delta_k^l, \quad \gamma_k^{l+1} = \gamma_k^l + \Delta\gamma_k^l \quad /7/$$

На первой итерации поправки δ_k и $\Delta\gamma_k$ и величины углов полагаются равными нулю, а координаты Y_k^0 - равными измеренным величинам. Для каждого i-го трека $i = 1, \dots, N_k^l$ /из совокупности событий определяются параметры "a_i" и "b_i" прямой линии

$$Y_{ik} = a_i Z_k + b_i, \quad /8/$$

аппроксимирующей трек путем минимизации функционала

$$X_i^2 = \sum_{k=1}^m \left(\frac{Y_{ik}^l - a_i Z_k - b_i}{\sigma_k} \right)^2 \quad /9/$$

Здесь $\sigma_k = h_k / \sqrt{12}$ - пространственное разрешение K-й камеры, m - количество камер в блоке.

Параметры треков "a_i" и "b_i" далее используются при нахождении поправок δ_k^l и $\Delta\gamma_k^l$ минимизацией функционалов

$$X_k^2 = \sum_{i=1}^{N_k^l} \left(\frac{Y_{ik}^l + \Delta\gamma_k^l X_{ik}^l + \delta_k^l - a_i Z_k - b_i}{\sigma_k} \right)^2 \quad /10/$$

Выражения для поправок $\Delta\gamma_k^l$ и δ_k^l имеют вид

$$\Delta\gamma_k^l = (\sum_i \Delta Y_{ik}^l \sum_i X_{ik}^l - N_k^l \sum_i \Delta Y_{ik}^l X_{ik}^l) / D, \quad /11/$$

$$\delta_k^l = (\sum_i \Delta Y_{ik}^l X_{ik}^l \sum_i X_{ik}^l - \sum_i \Delta Y_{ik}^l \sum_i (X_{ik}^l)^2) / D,$$

$$D = (\sum_i X_{ik}^l)^2 - N_k^l \sum_i (X_{ik}^l)^2, \quad \Delta Y_{ik}^l = Y_{ik}^l - a_i Z_k - b_i.$$

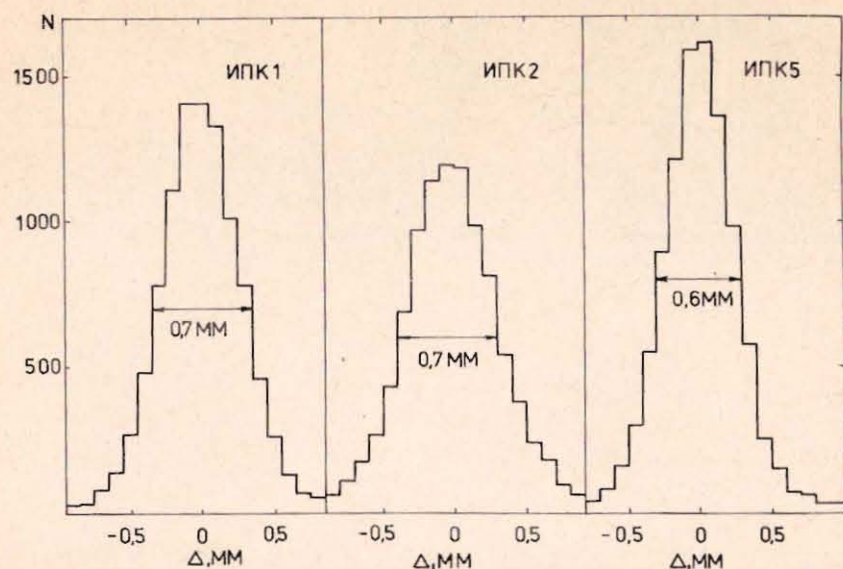
Итерационный процесс прекращается, когда $|\Delta\gamma_k^l| < 0,1$ мрад и $|\delta_k^l| < 0,1$ мм.

Методы определения углов поворота камер, описанные в ^{4,5/}, требуют наличия в массиве камер по меньшей мере двух выделенных /базовых/ камер, которые должны быть отъюстированы с высокой точностью. На практике это не всегда возможно. Кроме того, в эксплуатации эти камеры должны обладать повышенной надежностью по сравнению с остальными камерами. В нашем методе все камеры равноправны, и требования к юстировке камер существенно ниже /см. пункт 1/. Искусственным изменением координатных точностей камер σ_k в функционале /9/ можно зафиксировать углы поворота отдельных камер. Тем самым данный метод сведется к методам ^{4,5/}.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

С помощью описанной выше методики на статистике 10 тысяч событий реакции /1/ при 12 ГэВ/с были определены геометрические константы /см. табл./ трековых детекторов установки ГИПЕРОН в конфигурации, использованной при исследовании гиперзарядо-вообменных процессов ^{6,7/}.

На рис.2 показаны отклонения Y-координат искр треков от аппроксимирующей их прямой линии /формула /8// для искровых камер различных размеров /256x256, 512x512 и 1024x1024 мм ^{2/}



а/

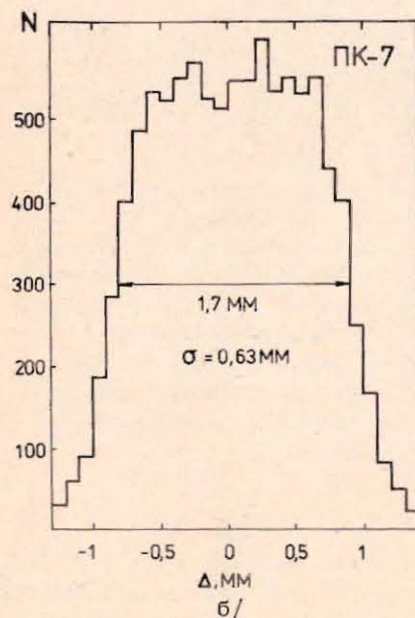


Рис.2. Отклонение координат искр треков от аппроксимирующей прямой: а/ для искровых камер, б/ пропорциональной камеры ПК-7.

и пропорциональной камеры ПК-7 /размером 512x512 мм²/. На рис.3 приведены распределения по среднеквадратическим отклонениям координат искр от треков $\sigma = (\sum_i (\Delta Y_{ik})^2 / (N - 2))^{1/2}$ на

блоках камер до МС-12 /ИПК2-ИПК3/ и после МС-12 /ИПК4-ИПК5/. Эти данные относятся к экспозиции установки пучковыми частицами и свидетельствуют, что величины Y_k определены корректно. Полученное пространственное разрешение на-

ходится в соответствии с ожидаемой для данного типа камер $\sigma \approx 0,3$ мм для искровых камер и $\sigma \approx 0,6$ мм для пропорциональных камер.

На рис.4 показаны распределения по величине σ для треков, восстановленных на блоке за МС-12 /ИПК4-ИПК5/ с учетом углов

Таблица
X, Y, Z- координаты и углы поворота у трековых детекторов спектрометра вторичных частиц установки ГИПЕРОН

№ блока	№ детектора	X, мм	Y, мм	Z, мм	у, град
ИПК5	17	-	-184,5	-7725	-1,2
"	18	66,0	-	-7706	-
ИПК1	19	-	38,4	-7581	-5,4
"	20	132,4	-	-7548	-
"	21	-	39,8	-7470	1,0
"	22	129,5	-	-7435	-
"	23	-	39,3	-7361	-5,0
"	24	130,1	-	-7317	-
"	25	-	39,4	-7240	1,4
"	26	131,5	-	-7205	-
ИПК6	28	-285,0	-	-7008	-
ИПК2	31	-	147,4	-3860	0,8
"	32	243,0	-	-3793	-
"	33	-	149,1	-3720	2,7
"	34	241,6	-	-3652	-
"	35	-	151,1	-3580	3,4
"	36	239,9	-	-3512	-
ПК7	37	-	-322,3	-3167	-1,1
"	38	-321,4	-	-3006	-
ИПК3	39	-	559,9	-2293	-3,9
"	40	-581,9	-	-2201	-
"	41	-	568,2	-2114	0,0
"	42	-581,9	-	-2029	-
"	43	-	570,0	-1938	-1,7
ИПК4	44	-	-377,2	2362	0,1
"	45	-	-369,3	2172	-0,4
"	46	-	-368,9	2576	0,6
"	47	-519,4	-	2685	-
"	48	-522,1	-	2765	-
ИПК5	49	-	-537,5	5561	0,6
"	50	-	-535,0	5700	0,3
"	51	-	-541,0	5841	2,7
"	52	-	358,6	5491	0,1
"	53	-	357,3	5632	-1,9
"	54	-	355,6	5770	-2,2
"	55	-	-538,1	5422	-2,5
"	56	-	355,7	5908	-0,6

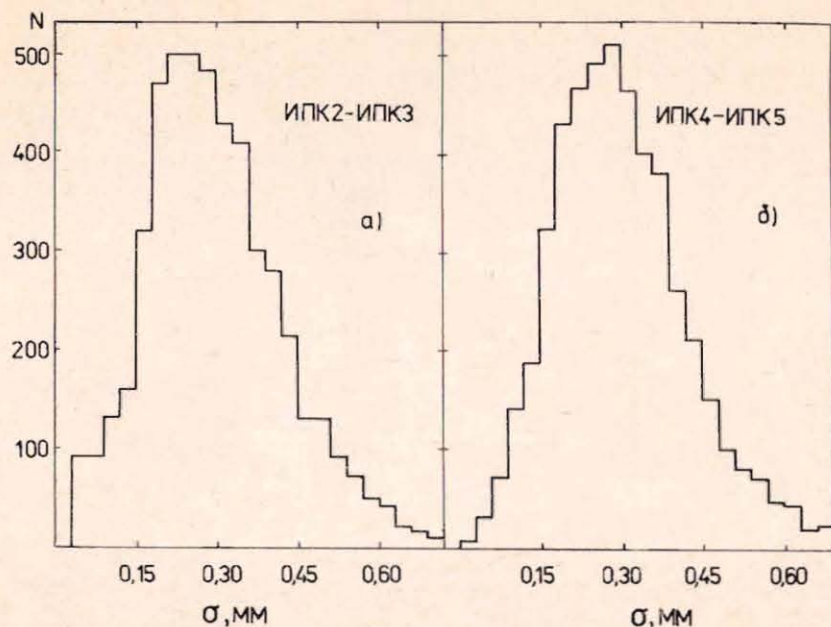


Рис.3. Распределение треков по величине σ .

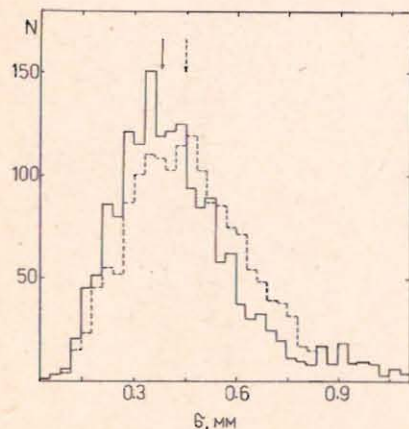


Рис.4. Распределение треков по величине σ при учете поворотов камер /сплошная линия/ и без учета.

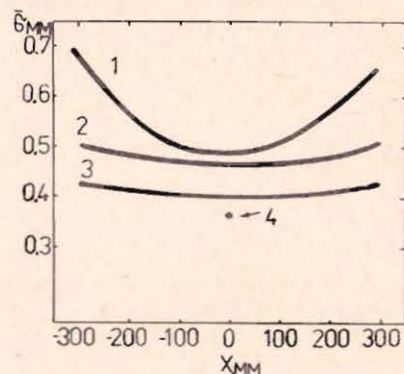


Рис.5. Зависимости величины σ от координаты X пересечения треков с первой камерой блока ИПК5.

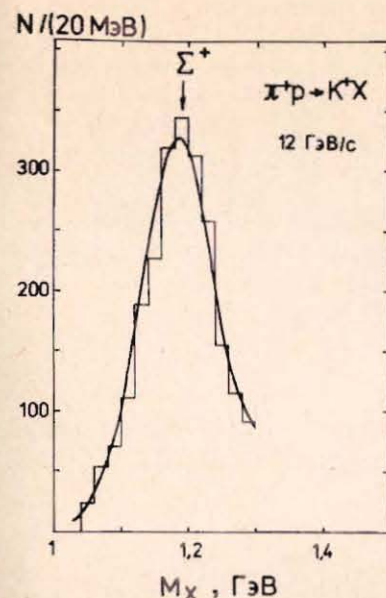


Рис.6. Распределение по недостающей массе M_x в случае учета поворотов.

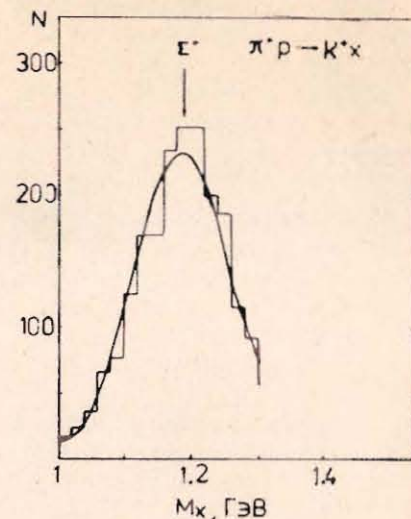


Рис.7. Распределение по недостающей массе M_x без учета поворотов.

поворота камер /сплошная линия/ и без учета /пунктир/. Средние значения этих распределений /для $\sigma < 0,9$ мм/ соответственно равны 0,37 мм и 0,46 мм, т.е. получается 20%-е улучшение в величине σ .

На рис.5 приведены величины σ для зарегистрированных треков в зависимости от вертикальных координат X пересечения треков с первой камерой блока ИПК5. Кривая 1 соответствует обработке событий реакции /1/ с импульсами зарегистрированных вторичных заряженных частиц в интервале 4-12 ГэВ/с без учета углов поворота камер, кривая 2 - для тех же событий, но с учетом углов поворота камер, кривая 3 - для тех же событий с учетом углов поворота камер, но для треков частиц с импульсами более 10,5 ГэВ/с с меньшим вкладом в величину σ из-за многократного рассеяния частиц по сравнению с полным набором /кривая 1/, точка 4 - для пучковых треков. Как видно из этого рисунка, величина σ существенно меньше при учете поворотов камер и не зависит от координаты X.

На рис.6,7 изображены спектры недостающих масс M_x к вторичному K^+ -мезону в реакции /1/ с учетом /рис.6/ и без учета поворотов /рис.7/, полученные на части набранной статистики в гиперзарядообменном эксперименте. Среднеквадратические отклонения от средней величины M_x пика, соответствующего Σ^+ -гиперону, составляют /56±2/ МэВ и /72±2/ МэВ, т.е. улучшаются на 20%.

Полученные с помощью описанной выше методики геометрические константы установки ГИПЕРОН обеспечили высокие разрешающие способности установки. Алгоритмы определения геометрических констант и соответствующее программное обеспечение могут быть использованы при обработке данных с экспериментальных установок, подобных спектрометру ГИПЕРОН.

Авторы благодарны Ю.А.Будагову, В.М.Кутьину, В.Б.Флягину за повседневное внимание и поддержку, В.М.Маниеву, Н.А.Русаквичу, В.И.Юркову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антихов В.А. и др. ОИЯИ, Р13-84-562, Дубна, 1984.
2. Вестергомби Д. и др. ОИЯИ, Р10-7284, Дубна, 1973.
3. Алатуни Ц.А. и др. ИФВЭ, 82-142, Серпухов, 1982.
4. Желядин Р.И. и др. ИФВЭ, 84-70, Серпухов, 1984.
5. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, Р5-5397, Дубна, 1970.
6. Бицадзе Г.С. и др. ОИЯИ, Р1-84-657, Дубна, 1984.
7. Бицадзе Г.С. и др. ОИЯИ, Р1-84-658, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1984 года.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, Р2-84-649, Дубна, 1984.

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Виноградов В.Б. и др.

13-84-805

Определение пространственного положения трековых детекторов установки ГИПЕРОН при исследовании гиперзарядообменных процессов

Описаны алгоритм и результаты определения параметров пространственного положения трековых детекторов спектрометра ГИПЕРОН. Параметры определяются методом наименьших квадратов на основе совокупности зарегистрированных событий. Уточнение пространственной ориентации трековых детекторов повысило реальную разрешающую способность спектрометра на 20%.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Vinogradov V.B. et al.

13-84-805

Determination of Space Position of HYPERON Spectrometer Track Detectors in the Study of Hypercharge Exchange Processes

An algorithm and results of determining space position parameters of HYPERON spectrometer track detectors are described. Parameters are determined by the least square method on the basis of a set of registered events. Making more precise space orientation of track detectors has improved spectrometer resolution by 20%.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984