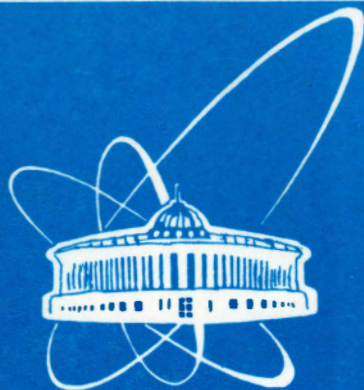


94-114



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-94-114

А.Г.Володько, Ю.И.Давыдов,
Д.Г.Джинчарадзе¹, Г.А.Иванов, В.Н.Колосов²,
Ю.Ф.Ломакин, О.Е.Пухов, А.А.Семенов, А.А.Фещенко,
В.Б.Флягин, Г.А.Члачидзе¹, А.Н.Шалюгин

ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА
МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СПЕКТРОМЕТРА
«ГИПЕРОН»

¹Постоянный адрес: ИФВЭ Тбилисского государственного университета

²ИФВЭ, Протвино

1994

1. Введение

В рамках программы исследований редких распадов К-мезонов на 18-м канале протонного синхротрона ИФВЭ на базе установки "Гиперон" создан спектрометрический комплекс, позволяющий изучать процессы, идущие с относительной вероятностью до 10^{-6} [1].

Общий вид спектрометра показан на рис.1. Функционально установка подразделяется на пучковый спектрометр и спектрометр вторичных частиц, разделенные распадным объемом. Пучковый спектрометр включает в себя сцинтилляционные и газовые пороговые черенковские счетчики, набор пропорциональных камер (ПК), анализирующий магнит СП-129 [2]. В состав спектрометра вторичных частиц входят: модифицированный магнит МС-12 [3], пропорциональные камеры, сцинтилляционные годоскопические счетчики, электромагнитные годоскопические калориметры. Данная работа посвящена описанию трековой части установки.

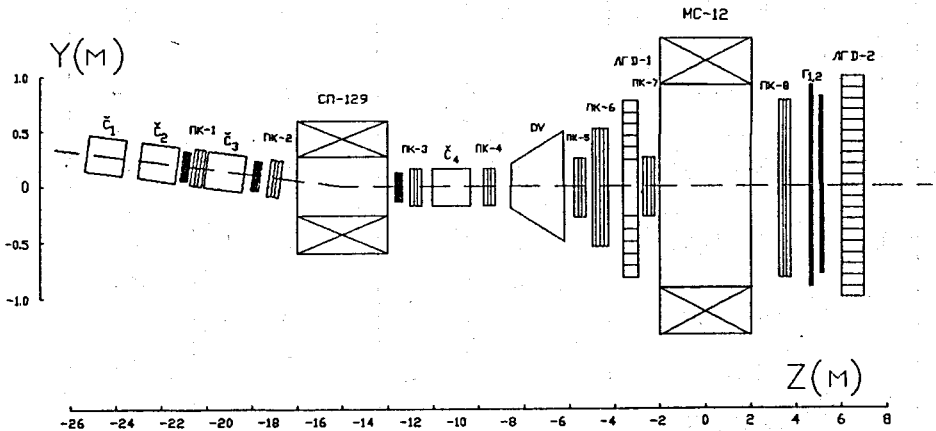


Рис.1. Схема спектрометра "Гиперон": \check{C}_1, \check{C}_4 - газовые черенковские счетчики; ПК1+ПК8 - блоки пропорциональных камер; Γ_1, Γ_2 - сцинтилляционные годоскопы; ЛГД-1, ЛГД-2 - ливневые годоскопические детекторы; СП-129, МС-12 - анализирующие магниты; DV - распадный объем.

ФОРМАЛЬНЫЙ КОМПЛЮТ
ИЗДАНИЕ КОМПЛЮТ
БИБЛИОТЕКА

2. Камеры пучкового спектрометра

Трековая часть пучкового спектрометра содержит 20 плоскостей пропорциональных камер, объединенных в 4 блока (ПК1+ПК4). Общее число информационных каналов составляет 1632.

Ряд параметров камер пучкового спектрометра включен в табл.1. Сигнальная плоскость одной из камер в блоке ПК1 намотана золоченой вольфрамовой проволокой диаметром 10 мкм с шагом 1 мм, сигнальные плоскости остальных камер во всех

Табл.1. Параметры пропорциональных камер пучкового спектрометра

Блок камер	Размеры плоскостей, мм	Кол-во камер в блоке, проекция	Зазор анод-катод, мм	Кол-во каналов
ПК1	128x128	1, X	4	64
	160x160	1, Y	4	128
		2, Y	6	80
ПК2	128x128	1, X	4	64
		1, Y	4	64
	160x160	2, Y	6	80
ПК3	128x128	2, X	6	64
		2, Y	6	64
	160x160	1, X	6	80
		1, Y	6	80
ПК4	192x192	3, X	6	96
	192x192	3, Y	6	96

четырёх блоках - такой же проволокой диаметром 20 мкм с шагом 2 мм. Конструктивно камеры пучкового спектрометра, имеющие межэлектродный зазор 4 мм, состоят из двух рамок,

изготовленных из эпоксидного компаунда методом вакуумного литья [4]. Эквипотенциальные катоды этих камер изготовлены из алюминиевой фольги толщиной 14 мкм. Рамки камер с зазорами анод-катод, равными 6 мм, выполнены из стеклотекстолита, их катоды намотаны бериллиево-бронзовой проволокой диаметром 100 мкм с шагом 2 мм. Конструкции части камер пучкового спектрометра и их характеристики были подробно описаны ранее [5].

3. Камеры спектрометра вторичных частиц

В спектрометре вторичных частиц используются восемь плоскостей камер с размерами 50x50 см, пять плоскостей - с размерами 100x100 см и шесть - с размерами 90x130 см. Все камеры имеют шаг намотки сигнальных проволок 2 мм.

ПК с размерами 100x100 см и часть камер с размерами 50x50 см ранее использовались в спектрометре "Гиперон" и работали на так называемой "магической" смеси $Ar+27\%iso-C_4H_{10}+2\%(OCH_3)_2CH_2+0.3\%CF_3B$ с большим коэффициентом газового усиления [6]. Постепенно это привело к увеличению уровня шумовых срабатываний камер из-за полимеризации изобутана и осаждения полимеров на сигнальных проволоках. Поэтому в этих камерах были заменены сигнальные плоскости.

Сигнальные плоскости всех камер спектрометра вторичных частиц намотаны золоченой вольфрамовой проволокой диаметром 20 мкм с натяжением (45 ± 1) г. Катодные плоскости камер двух первых типоразмеров выполнены из бериллиево-бронзовой проволоки диаметром 100 мкм. В камерах с размерами 100x100 см установлены по две поддержки, предотвращающие провисание сигнальных проволок. Поддержки не имеют компенсирующего потенциала, что упрощает электромеханическую конструкцию камер, но ведет к потере эффективности вблизи них.

Эквипотенциальные катоды камер размерами 90x130 см выполнены из алюминиевой фольги толщиной 14 мкм. В установке используются камеры двух типов - с намоткой сигнальных проволок вдоль длинной и вдоль короткой сторон

камеры. Длины проволок в этих камерах равны 130 см и 90 см соответственно. В них установлено по две и по одной поддержке, предотвращающие провисание сигнальных проволок. Конструкция поддержек предусматривает возможность подачи на них компенсирующего потенциала [7].

19 плоскостей ПК спектрометра вторичных частиц объединены в 4 блока (ПК5 - ПК8). Общее число информационных каналов - около 8000. Некоторые параметры камер отображены в табл.2.

Табл.2. Параметры пропорциональных камер спектрометра вторичных частиц

Блок камер	Размеры плоскостей, см	Кол-во камер в блоке, проекция	Зазор анод-катод, мм	Кол-во каналов
ПК5	50x50	2, X	6	256
		2, Y	6	256
ПК6	100x100	2, X	6	512
		2, Y	6	512
ПК7	50x50	2, X	6	256
		2, Y	6	256
ПК8	100x100	1, Y	6	512
	90x130	3, Y	7	640
	90x130	3, X	7	448

При проведении экспериментов по изучению распадов К-мезонов в качестве рабочей была выбрана газовая смесь $Ar+20\%iso-C_4H_{10}+2.3\%C_3H_8O+0.2\% \text{ фреон } 13B1$. Газовые компоненты смешиваются в газовом пульте непосредственно перед подачей смеси в камеры. Пульт обеспечивает точность дозировки каждого компонента около 1%.

4. Электроника съема информации

Регистрирующая электроника ПК пучкового спектрометра выполнена по схеме "усилитель - дискриминатор - формирователь - передатчик в линию". Сигналы с камер передаются по скрученным парам в запоминающие регистры. Часть регистров выполнена в стандарте КАМАК [8], часть - в стандарте СУММА [9]. Сигналы запоминаются в регистрах по сигналу "строб", а затем считываются системой сбора данных установки [1].

Для съема информации с ПК спектрометра вторичных частиц используется электронная система PCOS II [10]. Регистрирующая электроника, расположенная непосредственно на ПК с двух противоположных сторон, обеспечивает усиление сигналов с проволок, их дискриминацию, задержку на время выработки триггера и запоминание информации по сигналу "строб". Сигнальные проволоки выводятся поочередно на противоположные стороны камер и подсоединяются ко входам предусилителей. Предусилители имеют входное сопротивление 200 Ом \pm 5%, минимальный порог регистрации 1 мкА.

Вся регистрирующая электроника ПК спектрометра вторичных частиц подключена к трем независимым источникам низковольтного питания, которые позволяют изменять пороги регистрации и длительность сигнала одновибраторов задержки на трех группах камер независимо. Порог регистрации регулируется в пределах 1-10 мкА. Длительность сигнала одновибратора задержки можно устанавливать в пределах 300-500 нс с точностью \pm 5%. С учетом времени выработки триггера при исследовании процессов распадов К-мезонов на установке "Гиперон" и задержки сигналов "строб" средние величины задержек каналов регистрации установлены в пределах 470-495 нс для разных блоков ПК.

Каждая плата регистрирующей электроники содержит 32 идентичных канала. Выходные регистры всех каналов соединены последовательно и составляют часть магистрали, которая наряду с координатной информацией несет и служебные

сигналы. Магистраль может объединять до 32 плат. Считывание информации осуществляется посредством последовательного сдвига данных с частотой 5 МГц специальным контроллером 2700 [10], выполненным в стандарте КАМАК. Каждый контроллер обрабатывает до 4096 каналов. На запись в ЭВМ передается только значащая информация.

5. Характеристики трековой системы

Приводимые ниже характеристики получены в рабочих условиях на пучке заряженных частиц с импульсом 10 ГэВ/с.

На рис.2 показана эффективность регистрации заряженных частиц камерами с размерами 50x50 см и 100x100 см для газовой смеси $Ar+20\%iso-C_4H_{10}+2.3\%C_3H_8O+0.2\%$ фреон 13B1 при пороге регистрации 3 мкА. Протяженность плато эффективности регистрации составляет около 250 В. На рис.3 приведена эффективность одной из камер размером 100x100 см вблизи поддерживающей нити при том же пороге регистрации, измеренная при прохождении пучка в области поддержки.

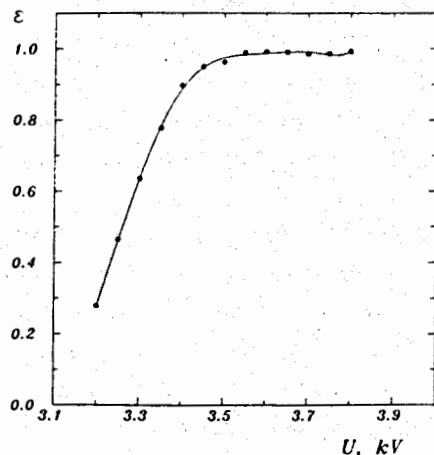


Рис.2. Эффективность регистрации заряженных частиц камерами с размерами 50x50 см и 100x100 см

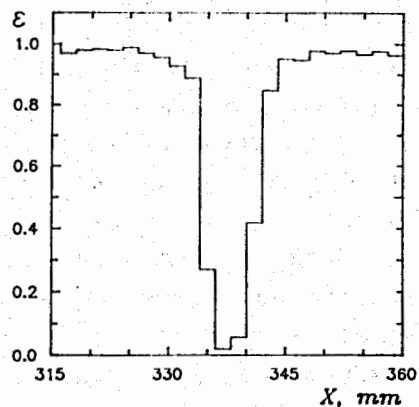


Рис.3. Эффективность регистрации заряженных частиц камерой размером 100x100 см вблизи поддерживающей нити

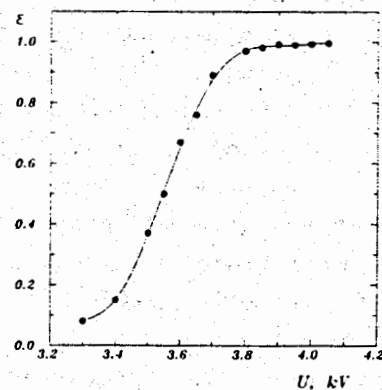


Рис.4. Эффективность регистрации заряженных частиц камерами размером 90x130 см

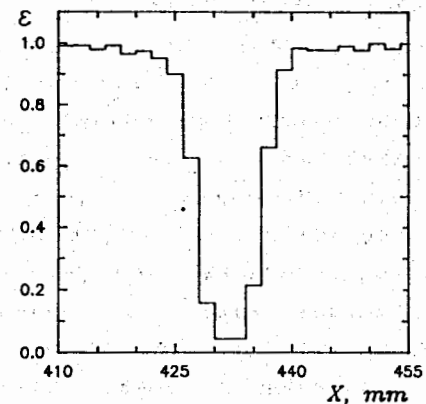


Рис.5. Эффективность регистрации заряженных частиц камерами размером 90x130 см вблизи поддерживающей нити

Эффективность начинает падать за 8-10 мм до поддерживающих нитей и в минимуме составляет ~ 2%.

Эффективность регистрации заряженных частиц камерами 90x130 см для той же газовой смеси при пороге регистрации 4 мкА приведена на рис.4. Камеры имеют протяженность плато эффективности около 200 В. На рис.5 показана эффективность регистрации вблизи поддержки в камере с длиной проволоки 130 см. Поскольку камеры используются нами без компенсирующего потенциала на поддержках, это приводит вблизи них к потере эффективности. Эффективность начинает снижаться за 7-8 мм и достигает 4.5% при координате поддержки.

Для достижения высокого пространственного разрешения при восстановлении треков необходимо точное определение пространственного положения трековых детекторов в физической системе координат. Перед набором данных на установке "Гиперон" проведена юстировка пропорциональных

камер - выставление плоскостей последних относительно геодезической оси пучка. При этом необходимо наличие не менее двух плоскостей ПК в каждой проекции с достаточно точно измеренными положениями относительно оси установки и "смещением", т.е. координатой первой сигнальной проволоки (± 1 мм). Далее эти плоскости считаются "опорными". С их помощью определяются координатные поправки к геодезическим измерениям пространственного положения остальных камер. Уточнение геометрической привязки ПК проводится программным способом с использованием свойства прямолинейности треков заряженных частиц при отключенном магнитном поле в МС-12.

Для определения поправок к смещениям ПК применяются два метода. Один из них использовался нами ранее [11] и заключается в нахождении поправок к геодезическим измерениям всех камер при проведении треков через точки на опорных камерах. Остаточная погрешность взаимной привязки всех ПК составляет при этом около 0.1 мм.

Альтернативный способ определения поправок предполагает поиск минимума функционала, связывающего координаты исследуемых камер. Метод позволяет при сравнительно небольшой статистике достичь разрешения в продольном направлении 1.5-5 мм, а в поперечном - вплоть до механической точности намотки проволоки.

Собственное пространственное разрешение, количество и расположение камер, остаточные погрешности в их взаимных привязках являются основными факторами, влияющими на точность восстановления треков и, в конечном итоге, определяют разрешающие способности магнитных спектрометров установки.

Расчетное импульсное разрешение пучкового спектрометра составляет 0.5% при среднем импульсе 10 ГэВ/с [1].

Импульсные спектры π^+ -мезонов со средним импульсом 10.7 ГэВ/с, восстановленные магнитным спектрометром вторичных частиц, приводятся на рис.6. Среднеквадратичные отклонения распределений составляют ≈ 150 МэВ/с и ≈ 248 МэВ/с при

значениях магнитного поля в МС-12 1.1 Тл и 0.6 Тл. После вычитания импульсного разброса пучка, который был равен $\Delta P/\langle P \rangle \approx \pm 1\%$, импульсные разрешения спектрометра составляют 1.1% и 2.1% соответственно. Они определяются, главным образом, неточностью восстановления треков за магнитом МС-12 ввиду короткой базы, на которой располагаются камеры блока ПК8.

На рис.7 показано распределение эффективных масс трех заряженных частиц, полученное при изучении процесса $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$. Для анализа отбирались распады, происходящие в распадном объеме установки DV, с тремя заряженными частицами в конечном состоянии. Магнит МС-12 использовался в этом случае только для определения знаков зарядов частиц. Геометрическая привязка камер к физической системе координат была осуществлена с использованием упомянутого выше второго метода. Спектры эффективных масс строились в

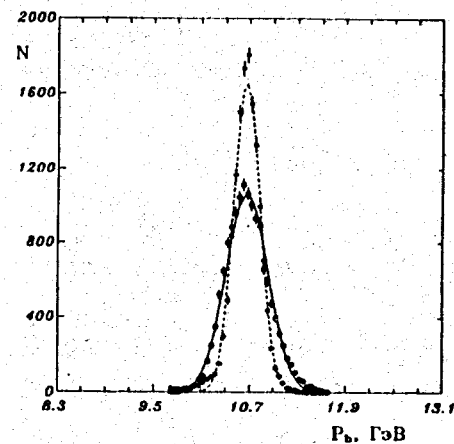


Рис.6. Спектры π^+ -мезонов со средним импульсом 10.7 ГэВ/с при двух значениях напряженности магнитного поля (штриховая линия - 1.1 Тл, сплошная линия - 0.6 Тл)

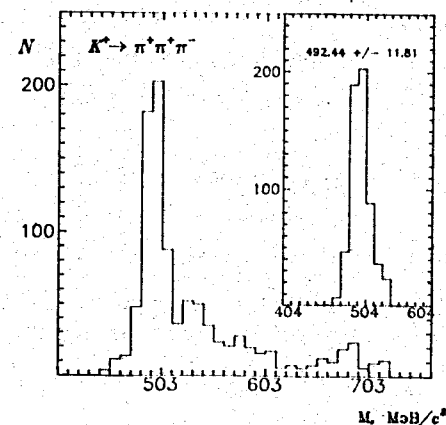


Рис.7. Эффективная масса трех пионов от распадов $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$

предположении, что K^+ -мезон распался на три заряженных π -мезона. Импульсы вторичных частиц определялись минимизацией соответствующего функционала. Более подробно данный метод будет опубликован отдельно.

Импульс K^+ -мезона измерялся пучковым спектрометром, а углы разлета распадных частиц — с помощью камер спектрометра вторичных частиц. Фон в массовом спектре обусловлен, в основном, двумя причинами: Распады K^+ -мезона по другим модам, содержащим π^0 -мезоны, приводят к образованию e^+e^- -пар при конверсии γ -квантов, которые при анализе принимаются за π -мезоны. Неоднозначность трехмерной пространственной реконструкции треков приводит к возникновению комбинаторного фона.

На том же рисунке на вставке показано это же распределение после отбора событий по критерию χ^2 . Среднее значение и среднеквадратичное отклонение распределения составляют $492.4 \text{ МэВ}/c^2$ и $11.8 \text{ МэВ}/c^2$ соответственно. Ширина распределения в целом определяется координатным разрешением установки и характеризует точность вычисления геометрических параметров треков.

6. Заключение

Трековая система модернизированного спектрометра "Гиперон" включает 39 плоскостей ПК с общим числом каналов около 9500.

Остаточная погрешность привязки камер к физической системе координат в поперечном направлении составляет около 0.1 мм.

Система ПК и анализирующие магниты СП-129 и МС-12 позволяют определять с необходимой точностью кинематические параметры как пучковых, так и вторичных частиц. Расчетное значение импульсного разрешения пучкового спектрометра составляет 0.5% для импульсов $10 \text{ ГэВ}/c$. Импульсное разрешение магнитного спектрометра вторичных частиц при среднем импульсе $10.7 \text{ ГэВ}/c$ равно 1.1% и 2.1% при поле в

МС-12 1.1 Тл и 0.6 Тл соответственно и в большой степени определяется неточностью восстановления треков частиц на выходе магнита МС-12.

Авторы благодарны Будагову Ю.А., Голутвину И.А. и Кутьину В.М. за поддержку работы. Мы признательны Акименко С.А., Блику А.М., Либе И.П., Малюкову С.Н., Русакович Н.Л., Соловьеву А.С., Олейнику А.А., Чириков-Зорину И.Е., оказавшим помощь на разных этапах при подготовке к работе пропорциональных камер и их тестировании; Смолину Д.А. и Хабарову В.С. за содействие при включении в состав установки электронной системы PCOS II; Коломойцу В.И., Мошкову Н.П., Соковнину И.С., Тихонову М.В. за большой объем выполненных монтажных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асмолов А.Г. и др. Препринт ОИЯИ Р13-92-526, Дубна, 1992.
2. Виноградов В.Б. и др. Сообщение ОИЯИ Р1-85-761, Дубна, 1985.
3. Богословский Д.Н. и др. Сообщение ОИЯИ Р13-92-464, Дубна, 1992.
4. Пугачевич В.П. Бюллетень ОИПОТЗ, 1968, №35, с.66.
5. Курилин А.С. и др. Препринт ОИЯИ 13-83-774, Дубна, 1983. Акименко С.А. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. Серпухов, 1991.
6. Давыдов Ю.И. и др. Сообщение ОИЯИ 13-86-328, Дубна, 1986.
7. Вишневецкий А.В. и др. ПТЭ, 1984, №1, с.60.
8. Аблеев В.Г. и др. Сообщение ОИЯИ 13-8829, Дубна, 1975.
9. Волков Л.А. и др. Препринт ИФВЭ 76-81, Серпухов, 1976.
10. PCOS II. Proportional Chamber Operating System. Le Croy Research System Corp., 1975.
11. Виноградов В.Б. и др. Сообщение ОИЯИ Р10-85-77, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 апреля 1994 года.