

308/103

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 83-180

ОЭФ

В.В.Абрамов, А.В.Алексеев, Б.Ю.Балдин, В.Г.Васильченко,
А.А.Волков, Ю.Н.Вражнов, А.О.Ефимов, Ю.П.Корнеев,
В.И.Крышкин, В.Е. Рахматов, А.И.Ронжин, В.И.Рыкалин,
Р.М.Суляев

СПЕКТРОМЕТР КОЛЕЦ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ГОДСКОПИЧЕСКИХ ФОТСУМНОЖИТЕЛЯХ

**В.В.Абрамов, А.В.Алексеев, Б.Ю.Балдин, В.Г.Васильченко,
А.А.Волков, Ю.Н.Вражнов, А.О.Ефимов, Ю.П.Корнеев,
В.И.Крышкин, В.Е. Рахматов, А.И.Ронжин, В.И.Рыкалин,
Р.М.Суляев**

**СПЕКТРОМЕТР КОЛЕЦ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ГОДОСКОПИЧЕСКИХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ**

Направлено в NIM

Аннотация

Абрамов В.В., Алексеев А.В., Балдин Б.Ю., Васильченко В.Г., Волков А.А., Вражнов Ю.Н., Ефимов А.О., Корнеев Ю.П., Крышкин В.И., Рахматов В.Е., Ронжин А.И., Рыкалин В.И., Суляев Р.М.

Спектрометр колец черенковского излучения на годоскопических фотоумножителях. Серпухов, 1983. 12 стр. с рис. (ИФВЭ ОЭФ 83-180).

Библиогр. 14.

Приведены результаты исследования спектрометра колец черенковского излучения на годоскопических ФЭУ, предназначенного для идентификации частиц по скорости в диапазоне импульсов 5,5-30 ГэВ/с. Особенности спектрометра: большая угловая и радиальная апертура и возможность регистрации многочастичных событий. Диапазон регистрации углов черенковского излучения составляет 40-100 мрад и соответствует диапазону скоростей частиц 0,996-1. Угловая и радиальная апертура - 30 мрад, диаметр 420 мм. Полученное разрешение по скорости составляет $\Delta\beta/\beta = 6 \cdot 10^{-5}$.

Abstract

Abramov V.V., Alekseev A.V., Baldin B.Yu., Vasil'chenko V.G., Volkov A.A., Vrazhnov Yu.N., Efimov A.O., Korneev Yu.P., Kryshkin V.I., Rakhmatov V.E., Ronzhin A.I., Rykalin V.I., Sulyaev R.M.

Ring Imaging Cerenkov Counter with HPMS. Serpukhov, 1983.

p. 12. (ИФЭФ 83-180).

Refs. 14.

The results on studying ring imaging Cerenkov counter with HPMS designed for particle identification by the velocity in the momentum range of 5.5-30 GeV/c are presented. The distinguished features of the spectrometer are large angular and radial apertures and a possibility to detect multiparticle events. The range of Cerenkov light angle detection is 40-100 mrad and corresponds to the particle velocity range of 0.996-1. The angular and radial aperture is 30 mrad, \varnothing 420 mm. The velocity resolution obtained is $6 \cdot 10^{-5}$.

1. ВВЕДЕНИЕ

Более десяти лет назад в ИФВЭ был предложен новый тип фотоумножителя^{/1/}. Он имел протяженный фотокатод и позволял регистрировать координату падающего на него фотона путем измерения времени дрейфа фотоэлектрона до диодной системы. Фотоумножитель был назван годоскопическим (ГФЭУ). ГФЭУ получил ряд применений в детекторах частиц^{/2,3/}. Одной из наиболее интересных и перспективных областей его применения является регистрация колец черенковского излучения. Первый черенковский детектор на базе ГФЭУ успешно использовался в эксперименте по наблюдению ядер ацтитрития^{/4/}. С тех пор ГФЭУ претерпели ряд конструктивных изменений и усовершенствований. В течение последних десяти лет в ИФВЭ выпускались ГФЭУ, которые использовались, главным образом, в сцинтилляционных годоскопах^{/5-7/}. Достигнутые в настоящее время характеристики фотоумножителей позволили создать на их основе спектрометр колец черенковского излучения (СКОЧ) для установки ФОДС, на которой выполняются исследования процессов с большими поперечными импульсами^{/8,9/}. Разработанный спектрометр предназначен для идентификации частиц в широком диапазоне углов и импульсов.

2. ОПИСАНИЕ СПЕКТРОМЕТРА СКОЧ

Спектрометр СКОЧ был предназначен для идентификации π^- , K^- -мезонов и протонов в широком расходящемся пучке в диапазоне импульсов 5,5-30 ГэВ/с. В связи с этим необходимо было обеспечить возможность регистрации черенковского излучения в широком диапазоне углов. Величина этого диапазона определялась размерами светочувствительных элементов, используемой оптической системой, а также требуемой величиной разрешения по углу черенковского излучения. С целью оптимизации параметров спектрометра были рассчитаны различные варианты оптических схем. Во всех вариантах оптическая схема содержала сферическое зеркало, в фокальной плоскости которого размещались годоскопические ФЭУ. Конический отражатель транслировал фокальную плоскость сферического зеркала в цилиндрическую поверхность, которая

была разделена на 24 сектора. Изображение кольца черенковского излучения в каждом секторе фокусировалось цилиндрическими линзами на фотокатоды ГФЭУ. Были рассмотрены три варианта отражателя: конический с образующей под углом 45° к оси спектрометра, пирамида из 24 плоских зеркал и пирамида из 24 фокусирующих конических зеркал. Расчёты показали, что оптимальным по характеристикам является вариант с коническим отражателем и цилиндрическими линзами, поэтому он и был выбран в качестве рабочего.

В принятой оптической схеме средний угол черенковского излучения определялся путем измерения радиуса кольца черенковского излучения R_i для каждого из сработавших ГФЭУ из соотношения

$$\theta_i = R_i / f \quad (1)$$

(где f – фокусное расстояние сферического зеркала) и усреднением θ_i по всем сработавшим ГФЭУ.

Разрешение спектрометра (FWHM) по скорости в первом приближении описывается выражением

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{R \Delta R}{f^2} \cos^2 \theta = \theta \cdot \Delta\theta. \quad (2)$$

Расчёты показали, что для выбранной оптической схемы разрешение слабо зависит от угла черенковского излучения и составляет $3 \cdot 10^{-5}$ в диапазоне углов излучения $40+100$ мрад. Из расчётов следовало также, что изображение черенковского излучения в фокальной плоскости является кольцевым только для осевых частиц. Для неосевых частиц деформация изображения колец проявляется как при смещениях траектории частиц в радиальном направлении, так и при изменении угла траектории частиц к оси спектрометра.

Внешний вид СКОЧ и его схематическое изображение показаны на рис. 1 и 2. Корпус спектрометра был рассчитан на давление 10 атм и содержал стальную трубу диаметром 1,2 м (толщина стенки трубы 10 мм). К трубе крепились стальные фланцы толщиной 2 мм в месте прохождения пучка частиц. В качестве радиатора использовался фреон 13 при давлении 5 атм. Активная длина газового радиатора 2 м, диаметр сферического зеркала 1,1 м, фокусное расстояние 2,5 м. Диапазон углов черенковского излучения составлял $40+100$ мрад и соответствовал диапазону скоростей частиц $\Delta\beta = 0,996-1,0$ соответственно. Регистрирующая система на ГФЭУ отделена от газового радиатора окнами из оргстекла СТ-1 толщиной 18 мм. Для улучшения светосбора каждый ГФЭУ был снабжен зеркальным воздушным световодом, состоящим из двух плоских зеркал, расположенных между выходным окном и фотокатодом ГФЭУ. Ширина входного и выходного окон световода равна 60 и 5 мм соответственно.

3. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА СКОЧ

Регистрирующая система СКОЧ выполнена на основе ГФЭУ и электронной аппаратуры съема информации в системе СУММА. Использовались ГФЭУ с чувствительностью не менее 40 мкА/лм и неоднородностью этой величины

вдоль фотокатода не более $\pm 10\%$. Размер рабочей области фотокатода составлял $180 \times 5 \text{ мм}^2$. Пространственное разрешение ГФЭУ (FWHM) в одноэлектронном режиме равно 2–3 мм. Используемая технология изготовления ГФЭУ позволяла получить усиление 10^8 , однако по ряду обстоятельств, главными из которых являются загрузочные характеристики, уровень шумов и долговременная стабильность, фотоумножители настраивались на усиление 10^7 . При этом уровень шумов не превышал $10^4/\text{с}$. Низкий уровень шумов обусловлен использованием бищелочного фотокатода и оптимизацией конструкции электродов, а также используемыми режимами питания ГФЭУ. Величина удельной задержки была выбрана равной 15 нс/см по соображениям, подробно изложенным ранее^{/10,11/}. Полное время дрейфа T_0 вдоль фотокатода при указанной удельной задержке не превышало 300 нс. Интегральная нелинейность характеристик преобразования координата – время для применяемых ГФЭУ=3%. Ранее отмечалось, что сравнительно легко подавить изменение задержки в поперечном относительно фотокатода направлении для смещений $\pm 2,5 \text{ мм}$. Исходя из этого и была выбрана конфигурация упомянутого выше воздушного световода.

Для регистрации одноэлектронных сигналов ГФЭУ при уровне усиления 10^7 требуется обеспечить порог дискриминации 0,5–1 мВ. Такая чувствительность каналов регистрации была достигнута путем каскадирования широкополосного усилителя с коэффициентом усиления 10 и высокочувствительного формирователя со следящим порогом^{/12/}. Усилители и формирователи размещались под светозащитным кожухом СКОЧ вблизи ГФЭУ, чтобы исключить наводки общего вида, возникающие при использовании соединительных кабелей большой длины. Сформированные логические сигналы подавались через кабельные линии задержки на входы модифицированных преобразователей время–время^{/13/}. Для увеличения точности измерений использовался фазированный задающий генератор на кабеле. Дифференциальная нелинейность измерительных каналов не превышала 5%, интегральная нелинейность 0,5%. Цена канала определялась частотой генератора и составляла 1–2 нс/кан., диапазон измеряемых времен до 1 мкс.

Калибровки показали, что дрейф измерительных каналов в совокупности с детектором не превышал величину 1 кан./сутки, поэтому поправка на дрейф характеристик аппаратуры не вводилась. Описанная аппаратура позволяла регистрировать не более одного сигнала по каждому измерительному каналу за время T_0 . При работе СКОЧ в интенсивных пучках и большой множественности частиц в одном событии целесообразно использовать устройство подавления фоновых сигналов в дрейфовых детекторах^{/14/} и электронную аппаратуру, предназначенную для регистрации многочастичных событий.

4. КАЛИБРОВКА СПЕКТРОМЕТРА

Калибровка спектрометра заключалась в установлении соответствия между величинами цифровых кодов для каждого ГФЭУ, получаемых при помощи системы съема информации и углами черенковского излучения в спектромет-

ре с учётом импульса частицы и параметров её траектории. Наличие в установке ФОДС спектрометрического магнита и системы дрейфовых камер позволило измерять координаты, углы и импульс частицы, необходимые для процедуры точной калибровки СКОЧ. Импульсный и угловой акселтанс установки ФОДС, а также наличие в пучке нескольких сортов частиц позволили практически полностью перекрыть весь диапазон углов черенковского излучения, регистрируемых СКОЧ. Если сорт частиц определялся независимо, например, при помощи пороговых счётчиков, то калибровка заключалась в приведении в соответствие измеренных кодов на каждом ГФЭУ и угла черенковского излучения с учётом измеренного импульса и параметров траектории частицы. Если не использовалась информация о сорте частицы, то процедура калибровки видоизменялась. При определенной величине среднего значения импульса производился набор статистики в условиях малой расходимости пучка, задаваемой сцинтилляционными счётчиками. В этом случае в распределениях по углу черенковского излучения для каждого отдельного ГФЭУ частицы отчётливо идентифицировались, а форма спектров и их взаимное расположение определялись величиной среднего значения и импульсного разброса пучка. После определения сорта частицы и введения поправок, зависящих от импульса частицы и параметров её траектории, определялся угол черенковского излучения и в соответствие ему ставился цифровой код.

На стадии запуска главная задача обработки заключалась в исследовании характеристик спектрометра. Для идентификации частиц программа *on line*-обработки заключалась в выделении одночастичных событий, подавлении фона и определении среднего угла черенковского излучения. При этом вначале производилась поправка на угол траектории частицы, т.е. все частицы приводились к осевым, затем вводилась поправка на импульс. После этой процедуры исключались углы черенковского излучения с большими отклонениями от среднего значения и по оставшимся величинам вычислялся средний угол черенковского излучения. В ходе *off line*-обработки дополнительно учитывалась зависимость показаний ГФЭУ от места прохождения частицы через газовый радиатор спектрометра.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СКОЧ НА ПУЧКЕ ЧАСТИЦ

Спектрометр испытывался на установке ФОДС в пучке вторичных частиц с угловой расходимостью 16×6 мрад² и апертурой 400×200 мм² в диапазоне импульсов 6–20 ГэВ/с. На рис. 3 показана область углов черенковского излучения, регистрируемых в импульсном диапазоне установки ФОДС. Измеренные распределения по углу черенковского излучения после приведения к одинаковому среднему значению импульса и введения поправок на параметры траектории частиц для пучков со средним значением импульса 6,25, 10 и 20 ГэВ/с показаны на рис. 4. На рис. 5 показано распределение по квадрату массы частицы M^2 для частиц с импульсом 13 ГэВ/с. Видно, что в данном диапазоне импульсов частицы, содержащиеся в пучке, отчётливо идентифицируются. Характерные кольца для осевых траекторий π^- , K^- -мезонов и про-

тонов с импульсом 13 ГэВ/с показаны на рис. 6. Распределение по кратности срабатывания для π -, K-мезонов и протонов со средним импульсом 13 ГэВ/с представлено на рис. 7. Средняя кратность срабатывания составляет 14,5, 13,5, 9,8 на кольцо черенковского излучения для π -, K- и p соответственно. На рис. 8 показана зависимость разрешения по скорости от величины импульса, измеренная на π -мезонах. Изменение угла черенковского излучения в данном диапазоне импульсов для π -мезонов не превышало 3%. Величина разрешения по скорости составляла $6 \cdot 10^{-5}$ при линейной электрополюляции этой зависимости на бесконечный импульс.

Основной фон в распределениях по углу черенковского излучения был обусловлен взаимодействиями частиц в веществе спектрометра. События, соответствующие взаимодействиям, как правило, имели большой разброс в показаниях отдельных ГФЭУ, что облегчало их идентификацию. Величина фоновых срабатываний, обусловленная шумами фотоумножителей, не превышала 1,3% на событие во всем регистрируемом диапазоне углов черенковского излучения, поэтому при указанной кратности срабатываний данным фактором можно пренебречь.

Измеренные характеристики СКОЧ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные и измеренные характеристики СКОЧ

Диапазон углов черенковского излучения, мрад:	
измеренный	35-105
Количество регистрируемых фотоэлектронов:	
расчётное	6-20
измеренное	6-21
Средняя кратность срабатывания ГФЭУ на кольцо черенковского излучения:	
измеренная	6-15
Разрешение по скорости $\frac{\Delta\beta}{\beta}$:	
расчётное	$(3-4) \cdot 10^{-5}$
измеренное	$6 \cdot 10^{-5}$
Суточный дрейф ГФЭУ;	не более
измеренный	0,25 мм/сутки

Для сравнения здесь же приведены расчётные значения. Расхождение наблюдается, в основном, в величине разрешения по скорости. Это обстоятельство обусловлено недостаточной точностью измерительных каналов регистрирующей электронной аппаратуры, дисперсией временной отметки триггерного сигнала и рядом других факторов, влияние которых может быть в значительной мере подавлено. В приведенных в табл. 1 данных по числу фотоэлектронов учтена зависимость кратности срабатывания от числа фотоэлектронов. Следует отметить, что срабатывание не всех 24 ГФЭУ на кольцо черенков-

ского излучения позволяло регистрировать многочастичные события даже при использовании одночастичной аппаратуры съёма информации. В качестве примера на рис. 9 показан $K \rightarrow \mu\nu$ -распад, регистрируемый в спектрометре. Малое и большое кольца соответствуют K - и μ -мезонам от распада K -мезона. Использование электронной аппаратуры, предназначенной для регистрации многочастичных событий, позволит более надежно их идентифицировать. Идентификация многочастичных событий существенно упрощается при использовании внешних трековых детекторов, определяющих число частиц и направление их траекторий.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На установке ФОДС осуществлен запуск широкоапертурного спектрометра колец черенковского излучения СКОЧ на ГФЭУ с характеристиками, адекватными требованиям экспериментальной программы ФОДС. Особенности спектрометра являются его большая угловая и радиальная апертура и возможность идентификации многочастичных событий. Данная методика является перспективной в отношении её использования на существующих и строящихся ускорителях частиц высоких энергий.

В заключение авторы выражают благодарность Н.М.Столяровой и В.В.Елистратову за большой труд на стадии проектирования спектрометра, Ю.М.Музыкантову, П.И.Коробчуку за помощь в изготовлении оптики, сотрудникам лабораторий ОЭФ за помощь в работе, В.Н.Евдокимову за настройку годоскопов, В.И.Солянику за полезные обсуждения.

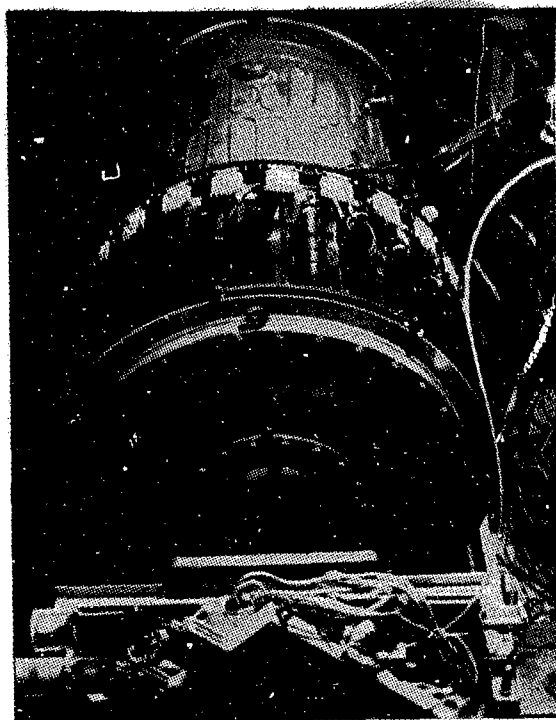


Рис. 1. Внешний вид СКОЧ.

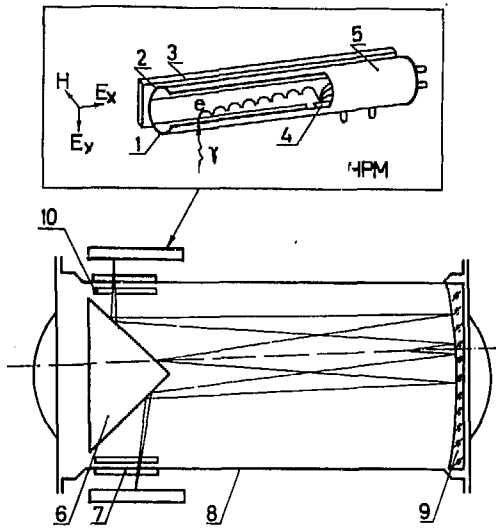


Рис. 2. Принцип работы ГФЭУ и схематическое изображение СКОЧ. НРМ-ГФЭУ 30 М, 1 - фотокатод, 2 - полеобразующий резистивный электрод, 3 - постоянный магнит, 4 - диод, 5 - стеклянная колба, 6 - зеркальный конический отражатель, 7 - окно, 8 - корпус, 9 - сферическое зеркало, 10 - цилиндрическая линза.

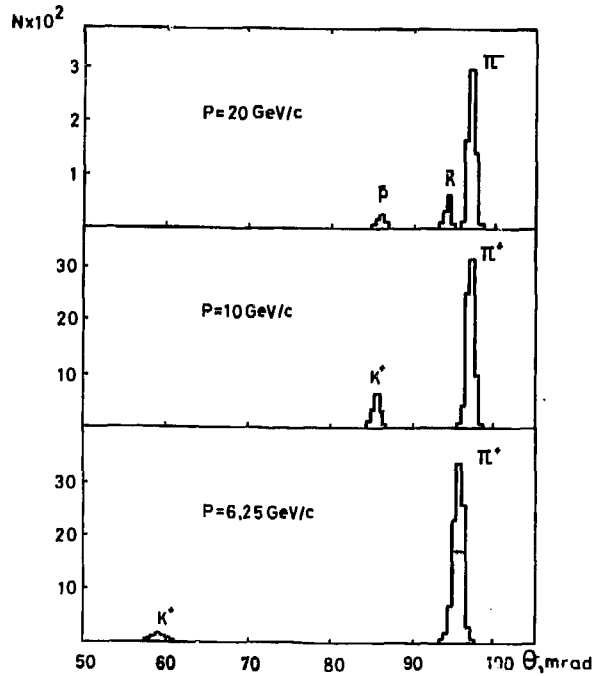


Рис. 4. Распределение по углу черенковского излучения в СКОЧ для частиц с импульсом 6,25, 10 и 20 ГэВ/с.

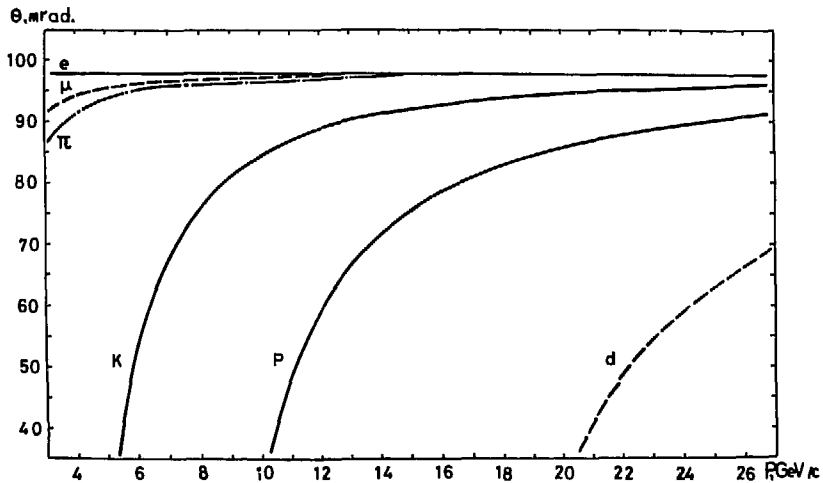


Рис. 3. Зависимость угла черенковского излучения от импульса частиц (давление фреона-13 - 5 атм).

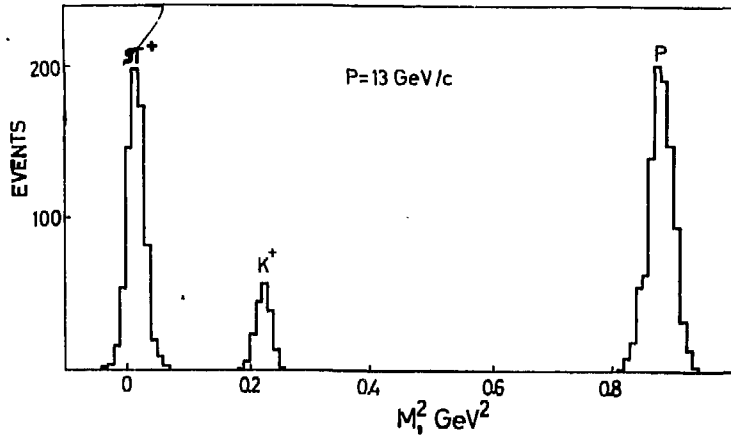


Рис. 6. Распределение по квадрату массы частицы M^2 для частиц с импульсом 13 ГэВ/с.

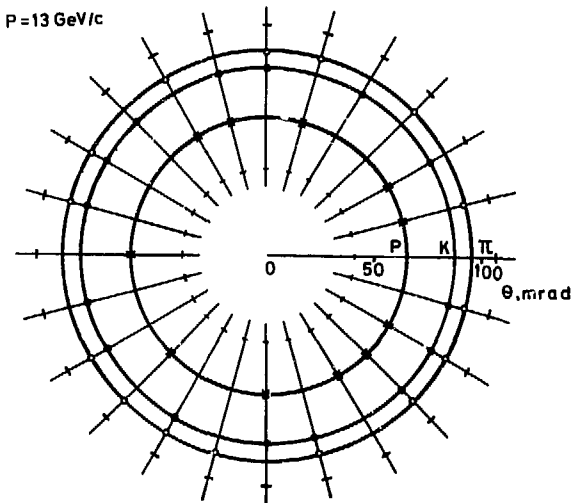


Рис. 6. Типичные кольца черенковского излучения для осевых частиц с импульсом 13 ГэВ/с. Кольца приведены по экспериментальным точкам по минимуму χ^2 .

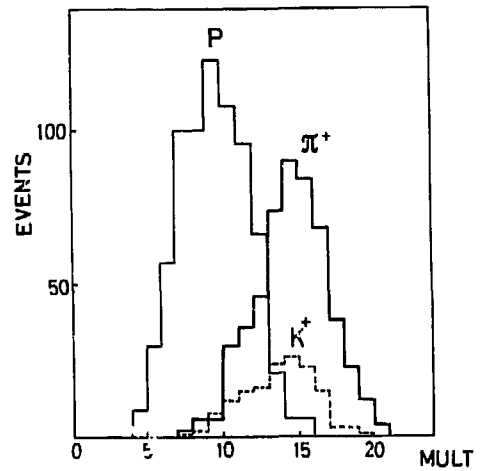


Рис. 7. Распределение по кратности срабатывания ГФЭУ в СКОЧ для частиц с импульсом 13 ГэВ/с. Тонкой, пунктирной и толстой линиями изображены распределения для протонов, К- и π -мезонов.

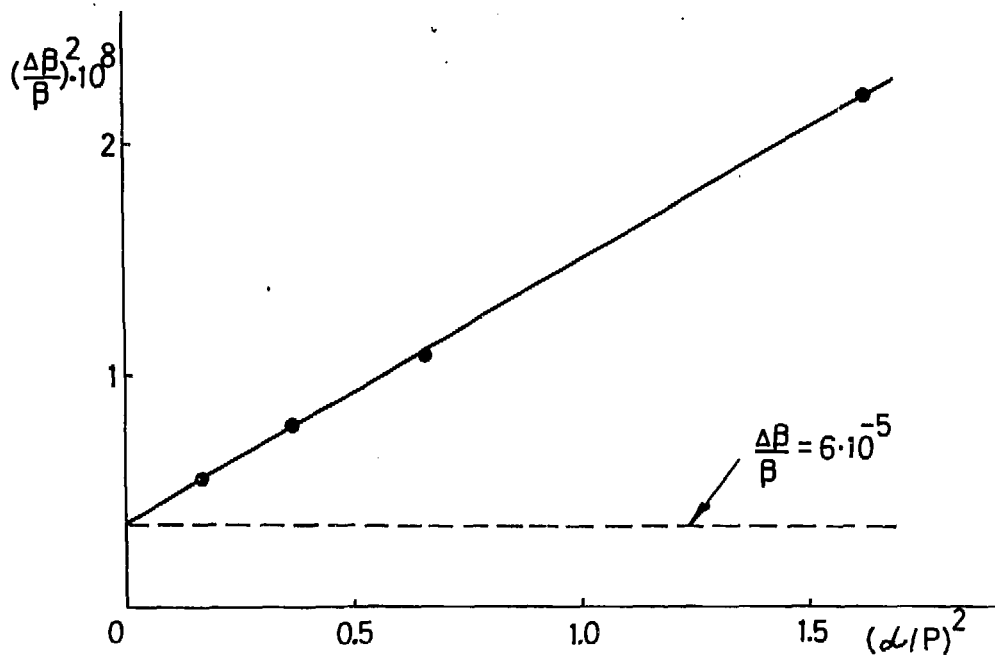


Рис. 8. Зависимость разрешения по скорости $\Delta\beta/\beta(\text{FWHM})$ от импульса π - мезонов, α - постоянный множитель. Пучок имеет угловую расходимость $18 \times 6 \text{ мрад}^2$ (полные ширины на половине высоты соответствующих распределений) и апертуру $400 \times 200 \text{ мм}^2$.

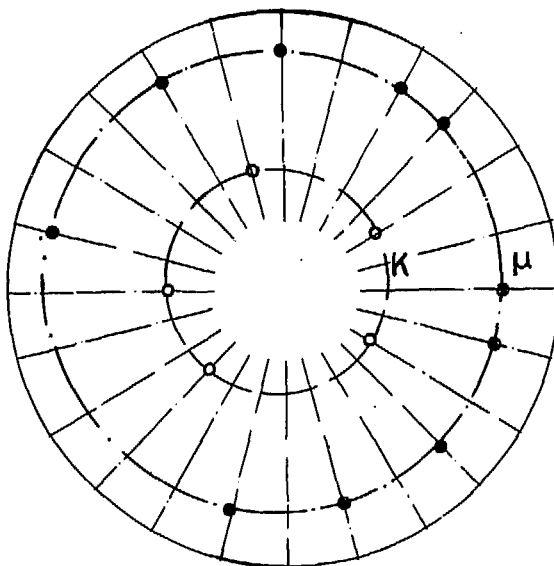


Рис. 9. Случай $K \rightarrow \mu\nu$ -распада, зарегистрированного в СКОЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский Н.К. и др. - В сб.: Труды международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. - Дубна, 1971, ч. I, с. 305.
2. Krendelev V.A., Lapshin V.G., Merekov Yu.P. et al. - Proc. XVII Intern. Conf. on High Energy Phys., London, 1974, A-29, p. 788.
3. Апокин В.Д., Васильев А.Н., Вишневский Н.К. и др. - Препринт ИФВЭ 81-18, Серпухов, 1981.
4. Вишневский Н.К., Грачёв М.И., Рькалин В.И. и др. - ЯФ, 1974, № 20, с. 694.
5. Vasilchenko V.G., Lapshin V.G., Melnikov N.S. et al. - NIM, 1980, 169, p. 389.
6. Baldin V.Yu., Vlatski F.D., Monich E.A. et al. - NIM, 1981, 180, p. 483.
7. Васильев А.Н., Вишневский Н.К., Магуленко Ю.А. и др. - ПТЭ, 1982, 4, с. 52.
8. Абрамов В.В., Алексеев А.В., Балдин Б.Ю. и др. - Препринт ИФВЭ 81-46, Серпухов, 1981.
9. Абрамов В.В., Вржнов Ю.М., Дмитриевский Ю.П. и др. - Препринт ИФВЭ 74-150, Серпухов, 1974.
10. Васильченко В.Г., Дайковский А.Г., Лапшин В.Г. и др. - Препринт ИФВЭ 77-116, Серпухов, 1977.
11. Васильченко В.Г., Лапшин В.Г., Монич Е.А. и др. - ПТЭ, 1982, 5, с. 58.
12. Балдин Б.Ю. - ПТЭ, 1980, 5, с. 137.
13. Битюков С.И., Бушнин Ю.Б., Дзелядин Р.И. и др. - В сб.: Материалы международного совещания по методике проволочных камер. - Дубна, 1975, Д-13-9164, с. 268.
14. Baldin V.Yu., Kryshkin V.I. - NIM, 1978, 157, p. 415.

Рукопись поступила 17 октября 1983 года.

Цена 14 коп.

Индекс 3624

В.В.Абрамов и др.

Спектрометр колец черенковского излучения на годоскопических фотоумножителях.

Редактор В.В.Герштейн. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Т.Д.Галкина.

Подписано к печати 21.10.83. Т-20815. Формат 70x100/16.
Офсетная печать. Индекс 3624. Цена 14 коп.
Заказ 3320. 0,95 уч.-изд.л. Тираж 250.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов, Московская обл.