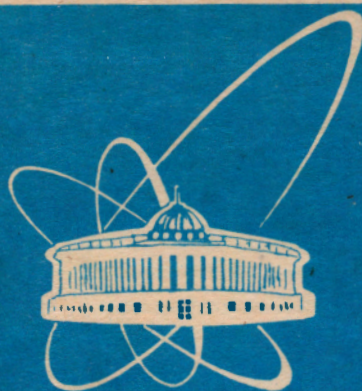


94-520



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-94-520

ПОРОГОВЫЙ ГАЗОВЫЙ 32-КАНАЛЬНЫЙ
ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК
СПЕКТРОМЕТРА ЭКСЧАРМ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1994

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин, О.П.Гавришук, А.И.Зинченко,
 А.Ф.Камбурян, М.Н.Капишин, Г.А.Квирикашвили, В.Д.Кекелидзе,
 Д.А.Кириллов, И.Г.Косарев, Н.А.Кузьмин, А.Н.Морозов, А.К.Одишвили,
 Ю.К.Потребников, Т.Б.Прогулова, В.А.Сашин, В.Н.Спасков,
 Г.Т.Татишвили, П.З.Христов
 Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В.К.Семенов
 Институт физики высоких энергий, Протвино

Е.Г.Девицин, В.А.Козлов, М.В.Завертяев
 Физический институт РАН им.П.Н.Лебедева, Москва

1 Введение

Многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики широко применяются для идентификации заряженных частиц в экспериментах по физике высоких энергий. Описываемый ниже 32-канальный пороговый газовый черенковский счетчик (МПГЧС-32), заполненный воздухом при атмосферном давлении, является составной частью системы идентификации заряженных адронов спектрометра ЭКСЧАРМ в эксперименте по исследованию рождения очарованных барионов и экзотических состояний в нейтронном пучке серпуховского ускорителя У-70. Составные части спектрометра ЭКСЧАРМ показаны схематично на рис.1.

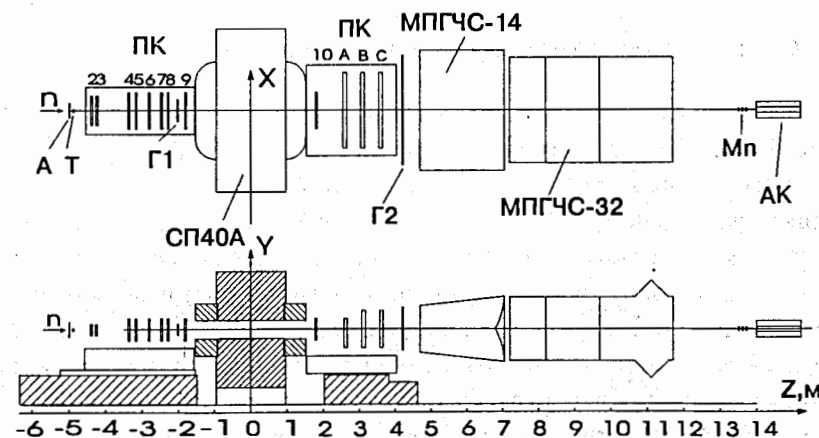


Рис.1. Схема расположения детекторов спектрометра ЭКСЧАРМ:
 СП40А - спектрометрический магнит; ПК - пропорциональные камеры;
 Т - мишень; А - антисчетчик; Г1,2 - сцинтилляционные годоскопы;
 МПГЧС-14,32 - пороговые газовые черенковские счетчики; АК - адронный
 калориметр; Мп - нейтронный монитор

Система идентификации заряженных адронов спектрометра ЭКСЧАРМ состоит из двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков МПГЧС-32 и 14-канального счетчика (МПГЧС-14), заполненного фреоном-12 при атмосферном давлении [1]. Основная задача системы идентификации – разделять частицы π^\pm , K^\pm , $p(\bar{p})$ в интервале импульсов от 3 до 40 ГэВ/с. Так как спектрометр регистрирует многочастичные процессы, черенковские счетчики построены по принципу годоскопов, т.е. состоят из отдельных каналов, работающих в одном газовом объеме. МПГЧС-14 и МПГЧС-32 расположены последовательно за координатными детекторами спектрометра, что согласно проведенным расчетам является оптимальным. Угловой акцептанс МПГЧС-32 позволяет идентифицировать около 90% заряженных частиц с импульсами выше порога регистрации π -мезона в воздухе (6 ГэВ/с).

В данной работе описаны конструкция и физические характеристики МПГЧС-32. Возможности идентификации заряженных частиц показаны при выделении сигналов известных частиц и резонансов, зарегистрированных спектрометром ЭКСЧАРМ.

2 Описание конструкции счетчика

Схематическое изображение черенковского счетчика представлено на рис. 2. Конструктивно он состоит из трех отдельных секций, при этом две передние представляют собой прямоугольные параллелепипеды сечением $1,7 \times 2,8$ м и длиной 1 и 1,5 м. Задняя секция счетчика составлена из параллелепипеда того же сечения длиной 2 м и расширенной хвостовой части, в которой размещены оптические элементы и ФЭУ в светозащитных кожухах. Секционное

строение детектора позволяет получить четыре различные радиационные длины для черенковского излучения, а именно: 4,2; 3,2; 2,7 и 1,7 м. В эксперименте используется конфигурация счетчика с максимально возможной длиной, чтобы получить максимальный световой выход.

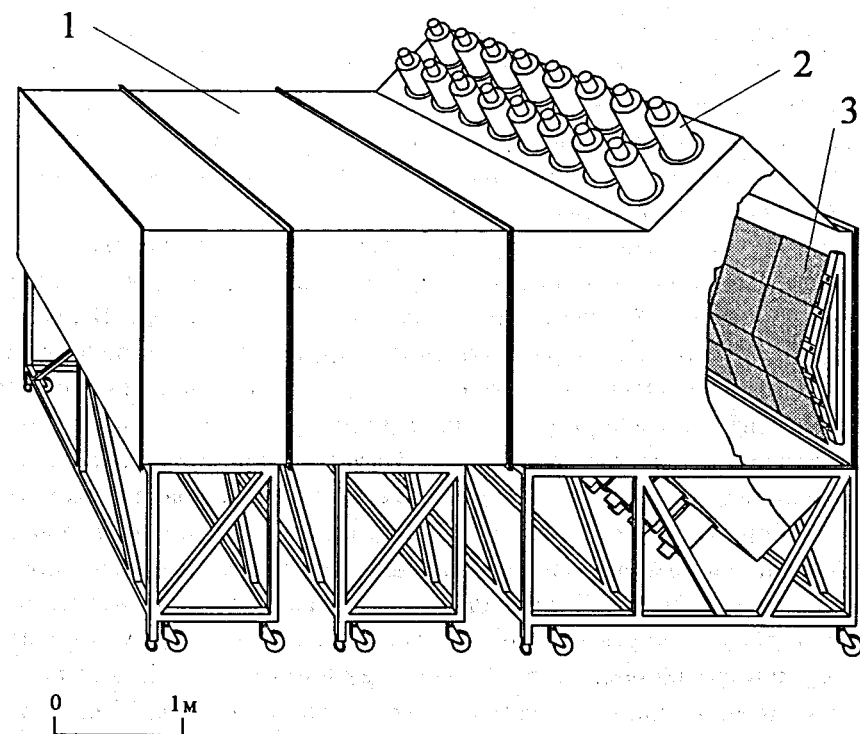


Рис.2. Общий вид счетчика:

1 – секционированный кожух радиатора; 2 – блок ФЭУ со светозащитным кожухом и магнитным экраном; 3 – фокусирующие зеркала

Боковые стенки счетчика изготовлены из листового алюминия толщиной 2 мм. Для придания достаточной жесткости конструкции остов счетчика образуют полые балки квадратного сечения 5×5 см из дюралюминия. Секции, а также входное и выходное окна соединяются между собой болтами, причем для светоизоляции внутреннего объема в местах стыков проложен тонкий вакуумный шнур. Съемные входной и выходной фланцы изготовлены из листового алюминия толщиной 1 мм с жесткой контурной рамкой из дюралюминия. Внутренняя поверхность счетчика закрашена черной краской, а места стыков секций заклеены плотной черной бумагой для дополнительной светоизоляции.

Счетчик установлен на рамах из стального уголка 5×5 см. В

нескольких точках вдоль внешнего периметра рам установлены домкраты, обеспечивающие возможность плавной регулировки положения счетчика по высоте в пределах ± 20 см с целью совмещения оси симметрии счетчика с геометрической осью спектрометра. При установке детектора в рабочее положение было достигнуто совмещение осей с точностью не хуже 1 см.

В нижней и верхней частях задней секции счетчика находятся блоки ФЭУ со светосборниками и магнитными экранами. Они размещены на двух дюралюминиевых плитах толщиной 1,6 см. В каждой из них просверлены два ряда отверстий диаметром 24 см, по 8 отверстий в каждом. Внутри счетчика с каждым из отверстий сопряжен конический светосборник. Входной диаметр светосборника 30 см, выходной – 14 см, высота – 31 см. Светосборник крепится к несущей плите с помощью четырех шпилек. На внутреннюю поверхность светосборников наклеен алюминизированный лавсан. Спектральная зависимость коэффициента отражения конических светосборников приведена на рис.3. Расстояние между выходным отверстием светосборника и входным окном ФЭУ составляет в среднем 6 см, поэтому для увеличения светосбора между ними расположен дополнительный цилиндрический отражатель света диаметром 16 см и высотой 6,5 см с наклеенным внутрь алюминизированным лавсаном. С внешней стороны плиты для каждого канала счетчика крепится светозащитный металлический кожух ФЭУ с крышкой, в котором располагаются три вложенных друг в друга цилиндрических экрана со средним диаметром 19 см и высотой 28 см для защиты ФЭУ от рассеянных магнитных полей. Внешний экран изготовлен из электротехнической стали, два внутренних – из пермаллоя общей толщиной 1,5 см.

В задней части счетчика располагаются 4 горизонтальных ряда квазипрямоугольных сферических фокусирующих зеркал по 8 штук в каждом. Размеры зеркал были определены исходя из максимального радиуса светового пятна от конуса черенковского излучения (~ 10 см) и условия эффективного разделения частиц между каналами счетчика и составили $42,6 \times 33,4$ см. Подложки для зеркал изготавливались из листового стекла толщиной 3 мм методом термической формовки на специально изготовленную плосковогнутую стальную матрицу с радиусом кривизны сферической поверхности 214 см. На вогнутую поверхность подложки напылялся слой алюминия толщи-

ной 100 нм, который затем закреплялся тонким слоем оксида алюминия. Спектральная зависимость коэффициента отражения зеркал приведена на рис.3.

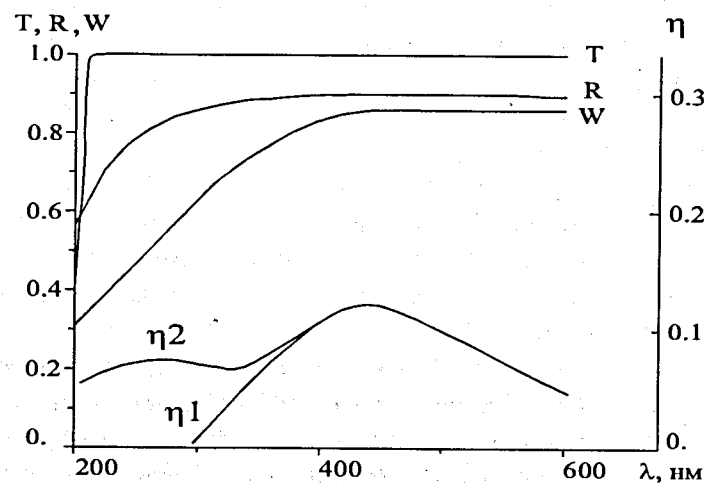


Рис.3. Спектральные характеристики оптических элементов счетчика: T – коэффициент пропускания газа; R – коэффициент отражения зеркал; W – коэффициент отражения конических светосборников; η_1 – квантовая эффективность фотокатода без сместителя спектра; η_2 – квантовая эффективность фотокатода со сместителем спектра

Для крепления зеркал внутри счетчика у выходного окна располагаются 6 поперечных балок, изготовленных из дюралюминиевых уголков сечением 5×5 см и изогнутых с радиусом кривизны примерно 10 м для облегчения настройки фокусирующих зеркал крайних каналов счетчика. К задней поверхности зеркал в трех фиксированных точках приклеены шарнирные болты длиной 5 см. Изменение положения зеркал по трем степеням свободы в пространстве достигается в небольших пределах путем изменения точек крепления этих болтов на несущих балках счетчика.

Положение зеркал оптимизировалось с целью получения в каждом канале счетчика максимального светосбора. Оптимизация осуществлялась путем математического моделирования процессов рождения заряженных частиц и их прохождения через магнит и детекторы спектрометра ЭКСЧАРМ. При этом взаимодействия нейтронов

пучка с мишенью разыгрывались с помощью программного LUND-генератора [2]. Для каждого канала счетчика определялось среднее направление частиц, черенковский свет от которых попадает в апертуру зеркала.

При юстировке зеркал вдоль рассчитанного направления заряженных частиц пускался тонкий луч света (диаметр 5 мм) от красного лазера. Условием оптимального положения зеркала считалось такое, при котором отраженный луч попадал в центр фотокатода соответствующего ФЭУ. Зеркала располагались с небольшим нахлестом друг на друга для того, чтобы не было потерь черенковского света в местах стыка зеркал. Полная площадь, перекрываемая зеркалами, составляет 265×155 см в проекции на плоскость, перпендикулярную оси счетчика. Средний угол наклона зеркал к вертикальной оси составляет $23,5^\circ$.

В дальнейшем был проведен тестовый анализ положения отъюстированных зеркал по методу Монте-Карло. Для этого был смоделирован черенковский свет для той же совокупности треков, которая служила для определения средних направлений частиц. Для нахождения положения зеркал, соответствующего максимальному светосбору на фотокатоде ФЭУ, они сканировались с небольшим шагом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях относительно их реального положения. Для каждого положения определялось общее количество черенковского света, попадающего на фотокатод ФЭУ с учетом его отражения от светосборника. Результаты расчетов показали, что максимальное отклонение зеркал по углу от оптимального положения составляет 2° , при этом теряется не более 9% черенковского света.

В качестве фотоприемника используются ФЭУ-125 и ФЭУ-49Б с диаметром фотокатода 150 мм. Предварительно был произведен отбор 40 фотоумножителей с наилучшими параметрами из партии около 80 штук. На первом этапе на специальном стенде измерялась квантовая эффективность фотокатодов η и отбраковывались ФЭУ с худшими характеристиками ($\eta < 10\%$ в максимуме спектрального распределения). Далее ФЭУ сравнивались между собой по эффективности счета импульсов слабой засветки, когда с фотокатода вырывается преимущественно один фотоэлектрон. Эффективность определялась как отношение числа сосчитанных совпадений импульсов с ФЭУ с импульсами генератора, питающего "зеленый" светодиод

АЛ-307, к числу запусков генератора [3]. Отбирались ФЭУ, дающие максимальную эффективность счета при минимальных шумах.

Используемые типы фотоумножителей имеют максимальную спектральную чувствительность фотокатода в области ~ 450 нм, а основная мощность черенковского излучения лежит в области более коротких длин волн. Поэтому для увеличения чувствительности детектора в ультрафиолетовой части спектра на стеклянные входные окна ФЭУ были нанесены пленки сместителей спектра на основе методики, описанной в работе [4]. Она включала последовательное нанесение на колбу ФЭУ трех составляющих, базирующихся на растворе 2,6 г плексигласа в 210 мл толуола: 1) 0,3 весовой части (от плексигласа) паратерфинила РТР; 2) 0,4 в.ч. РРО; 3) 0,3 в.ч. РТР + 0,4 в.ч. РРО + 0,02 в.ч. РОРОР. Типичные квантовые эффективности фотокатода без сместителя спектра и со сместителем представлены на рис.3. Согласно нашим измерениям использование сместителя спектра увеличивает количество фотоэлектронов, образуемых черенковским излучением, в среднем в 1,8 раза.

Схема делителя высоковольтного питания ФЭУ была рассчитана на максимальный сбор фотоэлектронов. Быстрый усилитель с коэффициентом усиления ~ 50 размещается компактно рядом с делителем напряжения. Усиленные сигналы с ФЭУ по длинному коаксиальному кабелю поступают на вход формирователя импульсов с порогом ~ 10 мВ и далее регистрируются системой сбора данных спектрометра ЭКСЧАРМ с записью информации на устройство EXABYTE. Блок-схема электроники для съема и регистрации информации с одного канала МПГЧС-32 приведена на рис.4. Для определения рабочих напряжений ФЭУ в реальных условиях эксперимента на пучке вторичных заряженных частиц снимались счетная и шумовая характеристики для каждого канала счетчика. Значения рабочего напряжения лежат в диапазоне $1700 \div 1900$ В.

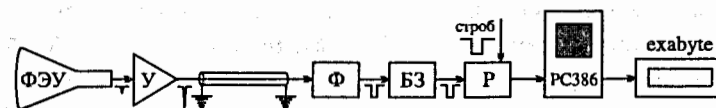


Рис.4. Блок-схема съема и регистрации информации с одного канала счетчика: ФЭУ – фотоумножитель, У – усилитель, Ф – формирователь импульсов, БЗ – блок задержки, Р – входной регистр КАМАК, РС386 – ЭВМ

Для контроля работы всего приемного тракта детектора, начиная от фокусирующих зеркал и кончая электроникой, служат 8 световых диодов типа АЛ-307, установленных по периметру входного окна счетчика таким образом, чтобы свет попадал в середину группы из четырех зеркал, обслуживаемой данным светодиодом.

3 Исследование физических характеристик счетчика

Для определения пороговой характеристики счетчика – эффективности регистрации заряженных частиц в зависимости от их импульса – использовались мюоны, образованные на внутренней мишени канала 5Н ускорителя У-70. Для этого системой запуска спектрометра ЭКСЧАРМ выделялись одотрековые экспериментальные события. Для подавления фона адронов и более надежного выделения мюонов события записывались при закрытом пучковом затворе канала 5Н, а также использовалась информация, полученная со счетчика МПГЧС-14. Выделяемые частицы с импульсом выше порога регистрации мюонов должны были давать сигнал в соответствующих каналах МПГЧС-14. Расчетные пороги регистрации разных частиц для МПГЧС-14 и МПГЧС-32 представлены в таблице:

Счетчик	Газ	Пороги регистрации, ГэВ/с			
		μ	π	K	p
МПГЧС-14	Фреон-12	2,3	3,1	10,8	20,5
МПГЧС-32	Воздух	4,5	6,0	21,2	40,3

При исследовании интегральной по всем каналам эффективности счетчика проверялось, сработал ли хотя бы один канал, куда по расчетам попадает черенковский свет. Эффективность регистрации мюонов в зависимости от их импульса показана на рис.5. Характерный пороговый вид кривой подтверждает правильную идентификацию мюонов, использованных для анализа работы МПГЧС-32. Как видно из приведенного графика, эффективность для мюонов с импульсом выше 6 ГэВ/с ($\beta > 0,99984$) превышает 97%.

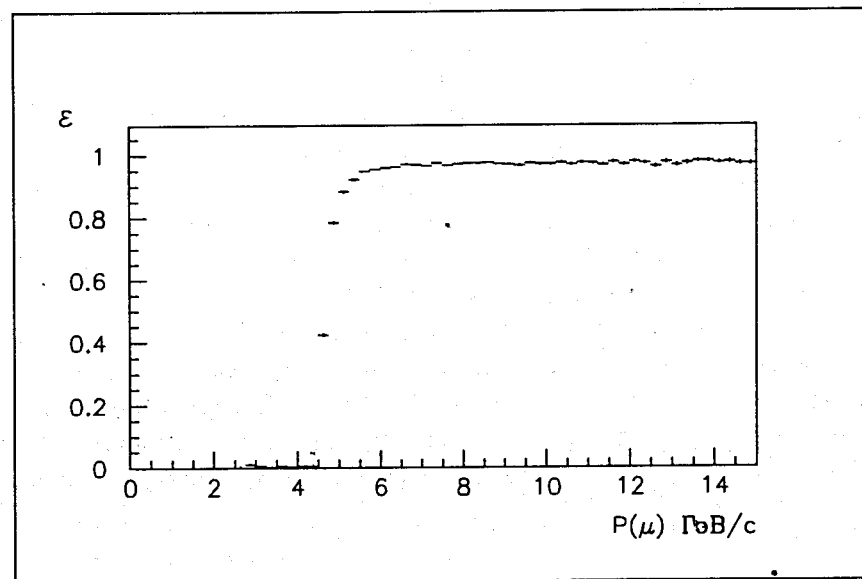


Рис.5. Зависимость эффективности регистрации мюонов от импульса частиц

Для использования информации с МПГЧС-32 в алгоритме идентификации заряженных адронов спектрометра ЭКСЧАРМ [5] путем анализа экспериментальных одотрековых событий были определены эффективности отдельных каналов счетчика в зависимости от вычисленного для данного канала среднего числа фотоэлектронов N_e . Согласно закону Пуассона в предположении однофотоэлектронного порога регистрации аппаратуры эффективности параметризовались выражением

$$\varepsilon = 1 - \exp(-N_e). \quad (1)$$

Полное число фотоэлектронов, образуемых черенковским излучением, определяется формулой [6]:

$$N_e^{tot} = AL \sin^2 \Theta, \quad (2)$$

где A – характеристика счетчика ("коэффициент качества"), L – радиационная длина, Θ – угол черенковского излучения. Число фотоэлектронов в отдельных каналах рассчитывалось по распределению пятна черенковского излучения между зеркалами счетчика.

Коэффициент А выбирался в качестве свободного параметра при аппроксимации экспериментальных эффективностей отдельных каналов счетчика и оказался в пределах $(40 \pm 7) \text{ см}^{-1}$. Большие значения соответствуют центральным каналам счетчика, где ожидалась большая загрузка частицами и были установлены ФЭУ с лучшими характеристиками. Полученная величина коэффициента качества является усредненной характеристикой каналов счетчика с учетом реальных условий их работы – углов попадания частиц, загрузки, точности измерения геометрического положения зеркал и т.д.

Возможности МПГЧС-32 по идентификации K^\pm , \bar{p} были оценены путем анализа экспериментальных многочастичных событий, зарегистрированных спектрометром ЭКСЧАРМ. Эффективность идентификации определялась по сигналам известных состояний $\bar{\Lambda}(1115)$ и $\phi(1020)$ в спектрах эффективных масс, соответственно $\bar{p}\pi^+$ (рис.6а) и K^-K^+ (рис.6б).

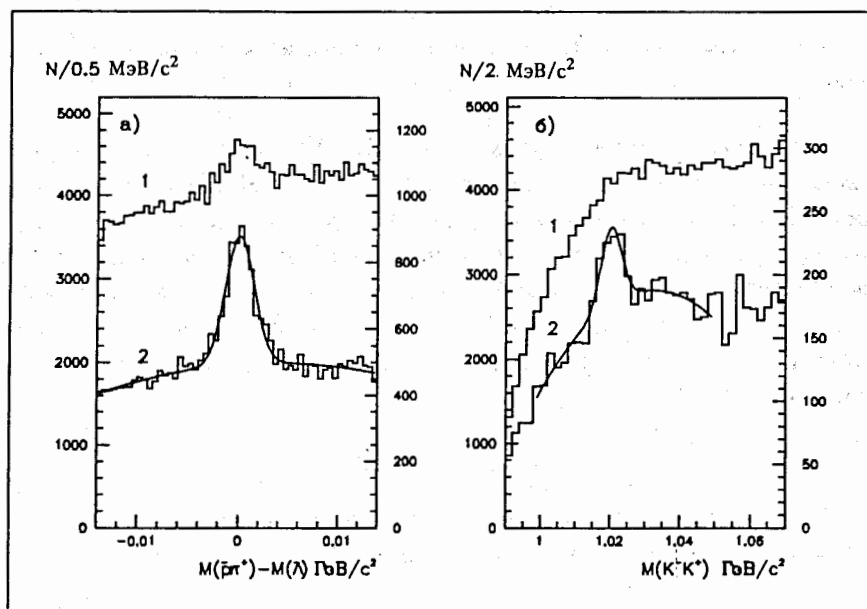


Рис.6. Спектры эффективных масс: а) $M(\bar{p}\pi^+) - M(\bar{\Lambda})$ и б) $M(K^-K^+)$, полученные без идентификации (гистограмма 1, левая шкала) и с идентификацией заряженных частиц с помощью МПГЧС-32 (гистограмма 2, правая шкала)

За счет идентификации \bar{p} с помощью МПГЧС-32 удалось снизить уровень фона в ~ 9 раз при выделении сигнала $\bar{\Lambda}$ в спектре эффективных масс $\bar{p}\pi^+$. При этом было потеряно не более 30% $\bar{\Lambda}$ -гиперонов. Использование информации с МПГЧС-32 позволило выделить сигнал ϕ -мезона и подавить в ~ 25 раз фон в спектре эффективных масс K^-K^+ .

4 Заключение

Сконструирован, изготовлен и введен в эксплуатацию 32-канальный пороговый черенковский счетчик с воздушным 420-см радиатором для идентификации заряженных адронов в эксперименте ЭКСЧАРМ. Измерены физические характеристики счетчика в его рабочем положении при наборе статистики в эксперименте. Получено, что эффективность регистрации заряженных частиц на плато пороговой характеристики ($\beta > 0,99984$) превышает 97%. Анализ спектров эффективных масс $\bar{p}\pi^+$ и K^-K^+ зарегистрированных в эксперименте событий показал, что МПГЧС-32 позволяет идентифицировать заряженные адроны в многочастичных событиях.

Авторы выражают благодарность А.Н.Зайцеву за поддержку проводимых работ, В.В.Кухтину за содействие в изготовлении фокусирующих зеркал, коллективам КБ и мастерских ИФВЭ (Протвино) за выполнение работы по конструированию и изготовлению счетчика, СНЭО ЛСВЭ ОИЯИ за помощь при сборке и наладке счетчика.

Литература

- [1] Войчишин М.Н. и др., ПТЭ, 1985, N3, с.71.
- [2] Sjostrand T., Bengtsson M., Comp.Phys.Comm., 1987, v.43, p.367.
- [3] Девицин Е.Г. и др., ПТЭ, 1987, N2, с.37; Войчишин М.Н. и др., Препринт ФИАН, N99, Москва, 1983.
- [4] Гавришук О.П., Семенов В.К., ПТЭ, 1985, N4, с.190. Препринт ИФВЭ, ОЭФ, 84-66, Протвино, 1984.
- [5] Б.Н.Гуськов и др., Препринт ОИЯИ P1-86-248, Дубна, 1986.

[6] Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Атомиздат, М., 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1994 года.

Алеев А.Н. и др.

P13-94-520

Пороговый газовый 32-канальный черенковский счетчик спектрометра ЭКСЧАРМ

Описан 32-канальный пороговый газовый черенковский счетчик с 420-см воздушным радиатором при атмосферном давлении. Для сбора и регистрации черенковского излучения в счетчике используются сферические зеркала с радиусом кривизны 214 см и фотоумножители ФЭУ-125, ФЭУ-49Б. Входные окна фотоумножителей были покрыты пленкой сместителей спектра. Эффективность регистрации заряженных частиц на плато пороговой характеристики ($\beta \geq 0,99984$) превышает 97%. Счетчик входит в состав системы идентификации заряженных частиц спектрометра ЭКСЧАРМ.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 93-02-03987).

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Aleev A.N. et al.

P13-94-520

Threshold Gas 32-Channel Cherenkov Counter of the EXCHARM Spectrometer.

A 32-channel threshold gas Cherenkov counter with 420 cm air radiator at atmospheric pressure is described. Spherical mirrors with curvature radius of 214 cm and FEU-125, FEU-49B photomultipliers are used in the counter for collection and detection of the Cherenkov radiation. The input windows of the photomultipliers are coated with a shifter of the light spectrum. The detection efficiency of charged particles at a plateau of the threshold characteristic ($\beta \geq 0,99984$) exceeds 97%. The counter is a part of the identification system of the EXCHARM spectrometer.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR, supported by the Russian Foundation of Fundamental Research (Grant 93-02-03987).

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1994