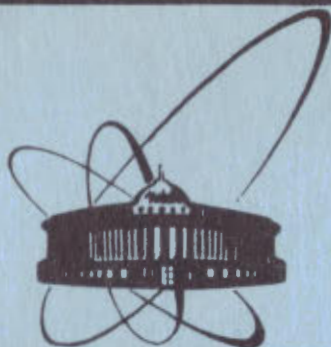


2796/84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-84-161

М.Н.Войчишин¹, Б.Н.Гуськов, Е.Г.Девицин,¹
М.В.Завертяев¹, А.И.Зинченко, М.Н.Капишин,
В.А.Козлов¹, В.В.Павловская¹,
В.Д.Чолаков, Е.А.Чудаков²

ЧЕРЕНКОВСКИЙ ПОРОГОВЫЙ
ГАЗОВЫЙ 14-КАНАЛЬНЫЙ СЧЕТЧИК

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

¹ Физический институт АН СССР им. П.Н.Лебедева,
Москва

² Научно-исследовательский институт ядерной
физики МГУ, Москва

1984

ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения характеристик спектрометра БИС-2^{1/1}, ориентированного на исследование рождения узких барионных состояний в нейтронном пучке серпуховского ускорителя, была создана система идентификации заряженных вторичных частиц, состоящая из двух многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков /МПГЧС/ с разным газовым наполнением при атмосферном давлении. Главная задача системы идентификации - разделять с высокой эффективностью частицы $K^-/\pi^-/p$ и $K^+/\pi^+/p$ в интервале импульсов от 3 до 40 ГэВ/с. Выбраны газовые радиаторы - воздух /МПГЧС-1/ и фреон-12 /МПГЧС-2/. Расчетные пороговые импульсы свечения частиц приведены в таблице.

Так как спектрометр регистрирует многочастичные события^{2/}, черенковские счетчики должны идентифицировать одновременно несколько адронов. В связи с этим при создании счетчиков был взят за основу принцип годоскопа, т.е. каждый черенковский счетчик является многоканальным и представляет собой совокупность отдельных черенковских счетчиков /каналов/, работающих в одном газовом объеме.

МПГЧС-1, расположенный в зазоре спектрометрического магнита БИС-2^{1/1}, имеет 7 каналов; МПГЧС-2, расположенный за координатными детекторами спектрометра, имеет 14 каналов.

В данной работе описываются конструкция и физические характеристики МПГЧС-2.

КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СЧЕТЧИКА

При выборе количества каналов счетчика и их оптической конфигурации учитывались место размещения счетчика в установке БИС-2, размеры пятна черенковского излучения на фотокатоде ФЭУ, конструктивные особенности и ограничения на стоимость и сложность изготовления.

Счетчик /рис.1/ состоит из свето- и газонепроницаемого кожуха /1/, системы фотоумножителей /2/ и блока фокусирующих зеркал /3/. Входное и выходное окна; изготовленные из листового алюминия толщиной 1,5 мм, являются съемными, с фланцевыми уплотнениями.

Кожух изготовлен из листовой стали, укрепленной на каркасе из уголков; он состоит из трех двухметровых модулей. Первый модуль включает в себя блок зеркал и ФЭУ, два модуля - дополнительные, могут быть подсоединены к первому с помощью фланцевых

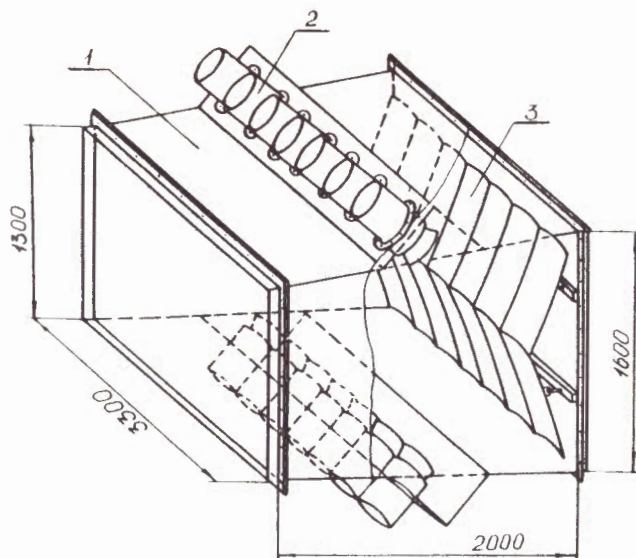


Рис.1. Схематическое изображение счетчика.

соединений. Счетчик опирается на специальную подставку, обеспечивающую регулировку его положения по высоте и перемещение в горизонтальной плоскости. Такая конструкция позволяет удлинять радиатор /при необходимости использовать газы с высокими порогом свечения и низким световым выходом/.

В настоящее время в составе счетчика работает один /первый/ модуль, заполненный фреоном-12 /коэффициент преломления 1,001043/.

Сбор света на фотокатоде ФЭУ обеспечивается сферическими фокусирующими зеркалами с радиусом кривизны 200 см. Зеркала изготовлены из алюминизированной лавсановой пленки толщиной 20 мкм, приклеенной к основе из эпоксидной смолы^{/3/}. Толщина зеркала ~ 4 мм. Спектральная зависимость коэффициента отражения образцов данных зеркал представлена на рис.2. Центральные зеркала имеют размеры /40x70/ см², боковые - /50x70/ см².

Система крепления зеркал состоит из крестовин, шарнирных соединений и общей фермы. Крестовины приклеены к зеркалам и крепятся с помощью шарнирных соединений к ферме. Система допускает возможность юстировки каждого зеркала поворотом его на углы +15° относительно двух осей и перемещением вперед и назад относительно фермы в пределах 100 мм. Фотокатоды ФЭУ расположены в фокальных плоскостях зеркал.

Юстировка зеркал проводилась с помощью коллимированного источника света, направление луча которого определялось расчетным путем с использованием информации о ранее зарегистрированных спектрометром треках заряженных частиц. Для этого проводилось

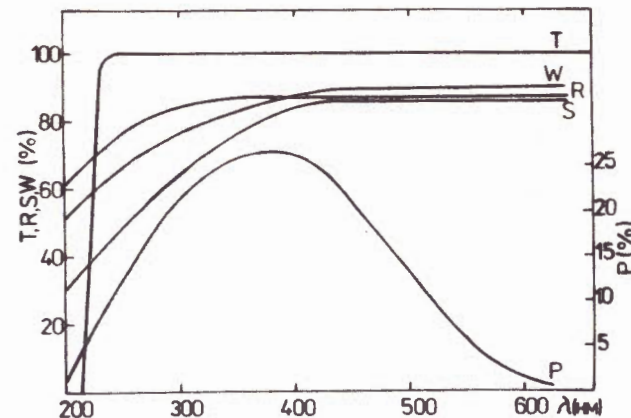


Рис.2. Спектральные характеристики оптических элементов счетчика. Т - коэффициент пропускания газа; R - коэффициент отражения зеркала; W - коэффициент отражения "уинстоновских" светосборников; S - коэффициент отражения конических светосборников; P - квантовый выход фотокатода.

моделирование черенковского излучения в радиаторе счетчика частицами, соответствующими зарегистрированным установкой треками. Моделировалось отражение черенковского света от фокусирующих зеркал и попадание его в плоскость фотокатодов ФЭУ. В результате находилась оптимальная ориентация каждого зеркала, соответствующая максимальному попаданию света на фотокатод ФЭУ. По оптимальной ориентации зеркала вычислялось направление юстировочного светового луча, который, попав в определенную точку зеркала, должен отражаться в середину фотокатода.

Для лучшего сбора черенковского света перед фотокатодом каждого ФЭУ укреплен "уинстоновский" светосборник^{/4/} длиной 25 см, диаметром входного отверстия - 28 см. Светосборники изготовлены из стекла толщиной 5 мм с алюминиевым покрытием. В период испытания и наладки МПГЧС-2 временно были использованы конические светосборники с отражающей поверхностью из алюминизированной лавсановой пленки. Для сравнения на рис.2 приведены спектральные характеристики "уинстоновских" и конических светосборников.

В качестве ФЭУ выбраны XP-2041/Q^{/5/} /диаметр фотокатода 110 мм/, имеющие высокую квантовую эффективность в ультрафиолетовой части спектра /рис.2/, и хорошее временное разрешение.

Для делителя питания динодов ФЭУ использовалась схема с заземленным фотокатодом, обеспечивающая минимальный уровень шумов. Подбор сопротивлений делителя осуществлялся со стремлением достичь максимального сбора фотоэлектронов на первый динод. Относительное количество фотоэлектронов оценивалось по амплитуд-

ному спектру анодных сигналов, полученных при освещении ФЭУ энергичной вспышкой светодиода АЛ310: максимальное количество фотоэлектронов соответствует максимальному отношению $\mu^2/\sigma^2 \approx 1/6$, где μ - амплитуда в центре тяжести спектра, близкого по форме к гауссовскому распределению, σ - ширина спектра.

Для определения рабочего напряжения ФЭУ на пучке вторичных заряженных частиц снималась счетная характеристика для каждого ФЭУ. Порог используемых формирователей составлял около 5 мВ. "Плато" характеристики начиналось в районе 2,2 кВ, рабочее напряжение выбиралось $2,2 \div 2,4$ кВ.

Поскольку ФЭУ ХР-2041/С является чувствительным к наличию внешних магнитных полей, требования к его магнитной защите очень высоки. В связи с этим для защиты ФЭУ от внешних полей, реально составляющих, по оценкам, 10-40 эрстед, были использованы два цилиндрических экрана. Первый /7/ состоит из 10 концентрических слоев металла с высокой магнитной проницаемостью /отожженный пермаллой марки 79НМ толщиной 0,5 мм, спирально намотанный вместе с прокладкой из медной фольги толщиной 0,1 мм, и обеспечивает экранирование слабых полей на уровне нескольких эрстед. Второй - внешний экран - состоит из магнитного железа /5 концентрических стальных цилиндров /ст.3/ толщиной 2 мм с прокладкой между ними из медной фольги толщиной 0,1 мм/ и позволяет понизить общий уровень поля внутри экрана до величины, эффективно экранируемой пермаллоем.

ФЭУ вместе с магнитными экранами помещены в свето- и газонепроницаемые кожухи и находятся в газовой среде счетчика.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЧЕТЧИКА

Работа МПГЧС-2 характеризуется зависимостью эффективности регистрации счетчиком разных частиц от их импульса /"пороговые характеристики"/. Эти характеристики счетчика были получены в его рабочем положении в составе спектрометра БИС-2. Использовались вторичные частицы - продукты взаимодействия нейтронов пучка с жидководородной мишенью. Для частиц известного типа и известного импульса рассчитывалось излучение черенковского света, попадание его на фотокатод и образование фотоэлектронов. Полученный расчетный сигнал в каждом канале МПГЧС-2 сравнивали с наличием реальных сигналов.

Импульс частиц определялся спектрометром с точностью $\sigma(P)/P \approx 10^{-3}(3+P)$, где P - импульс /в ГэВ/с/.

Для анализа работы счетчика отбирались события, когда в апертуру установки попадала только одна заряженная частица /программа геометрической реконструкции находила только один трек/. Полагалось, что большинство /> 90%/ отрицательных частиц, зарегистрированных спектрометром, являются пионами, а среди положительных частиц с импульсами > 20 ГэВ/с большую часть составляют протоны.

Таблица

Счетчик	Газ	Порог пиона /ГэВ/с/	Порог каона /ГэВ/с/	Порог протона /ГэВ/с/
МПГЧС-1	воздух	6,0	21,2	40,3
МПГЧС-2	фреон-12	3,1	10,8	20,5

Кроме того, для отбора вида налетающих на МПГЧС-2 частиц использовались отсчеты черенковского счетчика МПГЧС-1, наполненного воздухом. Требовалось, чтобы предполагаемые протоны с импульсами ниже порогов свечения в МПГЧС-1 /см. таблицу/ не давали отсчетов в соответствующих каналах этого счетчика. Для регистрации счетчиком протонов использовались события, содержащие положительные частицы с импульсом ≥ 16 ГэВ/с. Если импульс частицы лежал ниже порогового значения импульса пиона в МПГЧС-2, частице присваивалась масса электрона.

Для простоты анализа работы счетчика считалось, что фокусирующие зеркала имеют плоскую форму и расположены перпендикулярно оси пучка. Не учитывалась также зависимость эффективности отражения света зеркалом от точки и угла падения фотонов на зеркало. Эффективность собирания света светосборником полагалась равной единице.

Для получения расчетного сигнала МПГЧС-2 проводились следующие операции:

- определялся радиус светового пятна в плоскости фокусирующих зеркал для данных значений угла излучения черенковского света /параметры налетающей частицы/ и длины пробега частицы в счетчике;
- учитывалось возможное распределение света между несколькими каналами;
- количество света в каждом канале счетчика пересчитывалось в число фотоэлектронов на фотокатоде ФЭУ;
- количество фотоэлектронов, которое можно получить в описываемой конструкции счетчика, определяется константой A /"коэффициент качества"/

$$A = \frac{2\pi}{137} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda) T(\lambda) R(\lambda) \frac{d\lambda}{\lambda^2},$$

где $P(\lambda)$ - квантовый выход фотокатода ФЭУ; $T(\lambda)$ - прозрачность радиационной среды; $R(\lambda)$ - коэффициент отражения зеркала; λ - длина волны черенковского излучения; $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ определяются границами чувствительности фотокатода. В нашем случае при работе счетчика с фреоновым наполнителем при давлении 1 атм, расчетное значение $A = 80 \text{ см}^{-1}$.

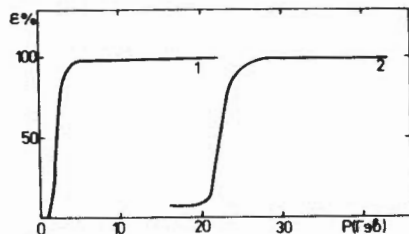


Рис.3. Зависимости эффективностей регистрации МПГЧС-2 отрицательных пионов /кривая 1/ и протонов /кривая 2/ от импульса частиц.

Число получившихся в ФЭУ фотоэлектронов определяется формулой

$$N_{\text{ФЭ}} = AL \sin^2 \theta,$$

где L /см/ - длина радиационной среды счетчика; $\sin^2 \theta$ - угол черенковского свечения, выраженный через массу m , импульс P частицы и показатель преломления n газового радиатора счетчика следующим образом:

$$\sin^2 \theta = 1 - \frac{P^2 + m^2}{n^2 P^2}.$$

Интегральные по всем каналам эффективности МПГЧС-2 для протонов и пионов в зависимости от импульса показаны на рис.3. Причем при получении интегральной пороговой характеристики, охватывающей все каналы счетчика, требовалось, чтобы реальный сигнал давал хотя бы один из тех ФЭУ, на фотокатод которых попадал "расчетный" черенковский свет. Характерный "пороговый" вид кривых подтверждает чистоту выделения отрицательных пионов и протонов для анализа работы счетчика.

Данные характеристики являются усредненными характеристиками каналов счетчика с учетом реальных условий их работы - углов попадания частиц, загрузки, а также точности измерения геометрического расположения зеркал и т.д. Измеренная эффективность по отношению к пионам является несколько заниженной из-за вклада более тяжелых частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сконструирован и изготовлен четырнадцатиканальный пороговый газовый черенковский счетчик /МПГЧС-2/, наполненный фреоном-12 при атмосферном давлении. Счетчик размещен на канале 4Н серпуховского ускорителя и включен в состав установки БИС-2. Характеристики счетчика снимались в его рабочем положении при наборе статистики на БИС-2 при взаимодействии нейтрального пучка с жидководородной мишенью. Эффективность счетчика для протонов с импульсом более 30 ГэВ/с / $\beta > 0,9995$ / превышает 98%.

МПГЧС-2 совместно с семиканальным пороговым газовым черенковским счетчиком МПГЧС-1, наполненным воздухом и расположенным перед МПГЧС-2, образуют систему идентификации заряженных вторичных частиц.

В заключение авторы выражают благодарность О.П.Гаврищуку за помощь в измерении спектральных характеристик оптических элементов счетчика, а также в подборе делителей фотоумножителей; Я.Гладкому за организацию изготовления "уинстоновских" светосборников; Т.С.Григалашвили и М.Ф.Лихачеву за поддержку и постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980.
2. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, Д1-83-865, Дубна, 1983.
3. Йорданов А.Б. и др. ОИЯИ, 13-12752, Дубна, 1979.
4. Hinterberger H., Winston R. RSI, 1966, 37, No 8, p. 1094.
5. Philips Data Handbook, Electron Tubes, part 9, June 1980.
6. Baillon P. et al. NIM, 1975, 126, p. 13.
7. Матвеев В.В. и др. ПТЭ, 1963, №2, с. 116.
8. Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Атомиздат, М., 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 марта 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Войчишин М.Н. и др.

13-84-161

Черенковский пороговый газовый 14-канальный счетчик

Описан 14-канальный пороговый газовый черенковский счетчик МПГЧС-2, заполненный фреоном /при 1 атм/. Счетчик размещен на канале 4Н серпуховского ускорителя и включен в состав спектрометра БИС-2. Длина радиатора счетчика - 150 см. Используются 14 тонких сферических зеркал с радиусом кривизны 200 см, "уинстоновские" светосборники и ФЭУ типа ХР-2041/Q. Защита ФЭУ от рассеянных магнитных полей осуществляется с помощью магнитных экранов. Эффективность счетчика при скоростях частиц $\beta \geq 0,995$ составляет $\geq 98\%$. Счетчик входит в состав системы идентификации заряженных вторичных частиц спектрометра БИС-2.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Voichishin M.N. et al.

13-84-161

A Gaseous Threshold Cherenkov 14-Channel Counter

A gaseous threshold Cherenkov 14-channel counter filled with freon-12 at 1 atm pressure is described. The counter is used in BIS-2 spectrometer at Serpukhov accelerator. Radiator length is 150 cm. Optical part contains 14 spherical mirrors of 200 cm curvature radius and Winston funnels. Photomultipliers XR-2041/Q are used, covered with μ -metal magnetic shields. Counter efficiency is greater than 98% for particles with $\beta \geq 0.995$ velocity. The counter has been included into BIS-2 identification system for charged hadrons.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984