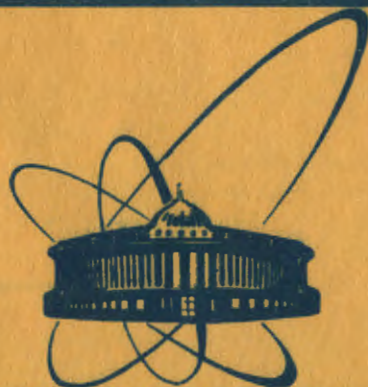


e +



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

1492/83

21/3-83

13-83-4

О.П.Гаврищук, Л.С.Золин, В.В.Стекольников

ГАЗОВЫЙ ПОРОГОВЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК  
В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ

1983

В реальных условиях проведения ряда экспериментов существуют определенные ограничения на конструкцию и размеры экспериментального оборудования. К спектрометру /1/, работающему вблизи мишени протонного синхротрона, были предъявлены жесткие требования на компактность размещения детекторов вдоль оси спектрометра. Это обусловило необходимость разработки конструкции газового порогового счетчика, допускающей его размещение в зазоре анализирующего магнита при обеспечении рабочей апертуры счетчика, максимально приближенной к апертуре магнита.

### ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОРОГОВОГО СЧЕТЧИКА

Конструкция счетчика и его размещение в зазоре анализирующего магнита показаны на рис.1. Сечение сосуда /2/ счетчика имеет овальную форму с плотным прилеганием плоской части к полюсам магнита /1/, которые используются также в качестве опорного элемента, предотвращающего деформацию плоской части стенок сосуда счетчика при его работе под давлением. Корпус счетчика, входное и выходное окна /0,6 мм/ выполнены из нержавеющей стали на сварных соединениях и рассчитаны на номинальное рабочее давление 10 атм, что обеспечивает регистрацию  $\pi$ -мезонов с импульсом свыше 1,2 ГэВ/с при использовании газов с высоким коэффициентом рефракции /злегаз, фреон-13/.

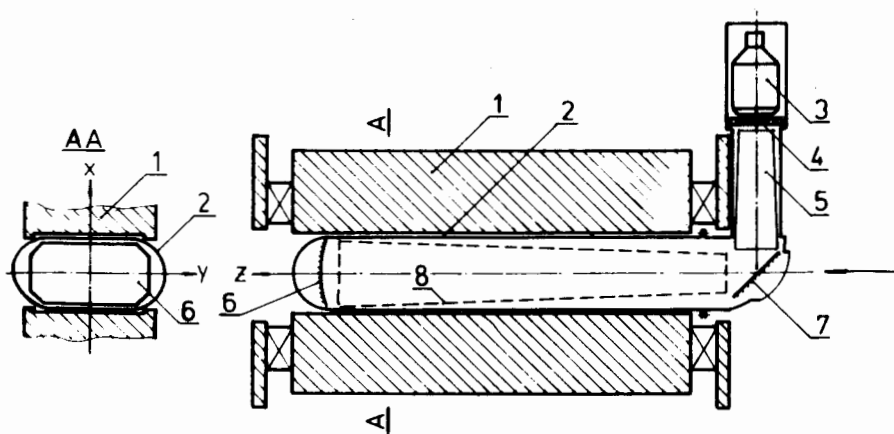


Рис.1. Конструкция газового порогового счетчика.

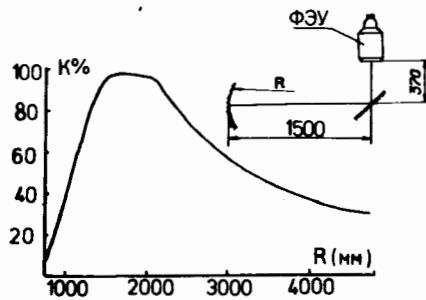


Рис.2. Зависимость светосбора от радиуса кривизны сферического зеркала /расчет/.

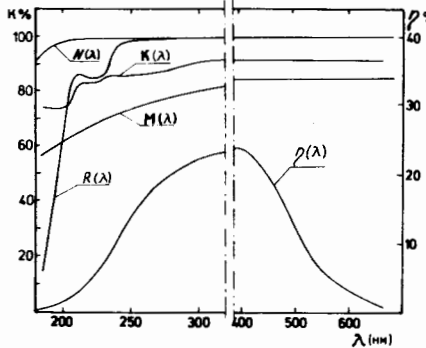


Рис.3. Спектральные характеристики оптических элементов счетчика.  $\eta$  - квантовый выход фотокатода;  $N$  - коэффициент пропускания азота /<sup>4</sup>/ /слой 1 м при нормальных условиях/;  $K$  - коэффициент пропускания кварцевого стекла /кварц КУ-1 /<sup>4</sup>/ толщиной 24 мм/;  $M$  - коэффициент отражения зеркала /алюминий на стекле/;  $R$  - коэффициент пропускания оптической смазки.

в счетчике используется фотоумножитель ХР-2041/0<sup>10</sup>/ /диаметр фотокатода 110 мм/, очень чувствительный к наличию внешних магнитных полей. Это определило необходимость, помимо использования многослойного магнитного экрана из отожженного пермаллоя вокруг ФЭУ, расположить ФЭУ на достаточно большом расстоянии от оси счетчика /на патрубке длиной ~0,4 м/. Для обеспечения оптимального светосбора в этих условиях была выбрана двухзеркальная оптика: сферическое фокусирующее зеркало /6/, выполненное из полированного плексигласа /0,4 г/см<sup>2</sup>/ с алюминиевым напылением, и плоское поворотное зеркало /7/ /алюминиевое напыление на стеклянной подложке 0,4 г/см<sup>2</sup>/, установленное под углом 45° к оси счетчика. В патрубке ФЭУ между плоским зеркалом и кварцевым окном /4/ установлен конический отражатель /5/ из алюминизированного майлара. Оптимальный радиус кривизны фокусирующего зеркала был определен путем расчета коэффициента светосбора /рис.2/ черенковского излучения для пучка с угловым расхождением  $\Delta\theta_x = +1,2^\circ$  и  $\Delta\theta_y = +2,5^\circ$ . Расчет был выполнен с помощью программы /<sup>3</sup>/ симулирующей регистрацию частиц черенковским счетчиком с заданной геометрией оптической системы. На краевых участках рабочей апертуры неизбежны потери в светосборе, обусловленные ограничениями на размеры корпуса и зеркал /в этой зоне часть конуса черенковского излучения попадает на стенки счетчика/. Для обеспе-

чения высокой эффективности регистрации как в центральной, так и в краевой области апертуры в счетчике использована кварцевая оптика. Спектральные характеристики оптических элементов счетчика приведены на рис.3. Эффективность регистрации черенковского излучения определяется константой  $A$  счетчика /<sup>6</sup>/

$$A = \frac{2\pi}{137} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot N(\lambda) \frac{d\lambda}{\lambda^2},$$

где  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  - нижний и верхний пределы интегрирования по длине волны  $\lambda$ . В нашем случае при использовании в качестве радиатора /  $L = 150$  см/ азота под давлением 5 атм. расчетное значение константы счетчика в соответствии с данными рис.3, равно  $A = 85$  см<sup>-1</sup>, и разрешение по скорости  $\delta\beta = 1/(2A \cdot L) = 3,9 \cdot 10^{-5}$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОГОВОГО СЧЕТЧИКА

Исследование характеристик черенковского счетчика было выполнено на пучке положительных частиц ускорителя ИФВЭ /канал №6/ со следующим компонентным составом:  $\pi - 65 \pm 7\%$ ;  $p - 20 \pm 2\%$ ;  $\mu + e - 5 \pm 10\%$ . Схема измерений и расположение детекторов на пучке заряженных частиц показаны на рис.4. В качестве рабочего газа счетчика использовался азот. На рис.5 представлена зависимость /пороговая кривая/ эффективности регистрации  $\epsilon$  заряженных частиц от давления газа  $D$  в счетчике при среднем значении импульса частиц 3,23 ГэВ/с и пороге регистрации электроники на уровне 1 фотоэлектрона. Форма пороговой кривой отражает компонентный состав и импульсный разброс пучка / $\Delta p/p = 12\%$ /, плато регистрации  $\pi$ -мезонов начинается с 4,0 атм.

Для экспериментального определения константы счетчика  $A$  было определено среднее число фотоэлектронов  $\bar{N}_e$  для  $\pi$ -мезонов, проходящих по оси счетчика, по положению центра тяжести амплитудного спектра сигналов. Шкала зарядово-цифрового преобразователя была прокалибрована в числе фотоэлектронов с использованием методики выделения сигналов с одним фотоэлектроном путем ослабления светового импульса от светодиода /см., например, /<sup>6</sup>//. По экспериментально измеренному /рис.6/ значению  $\bar{N}_e$  константа счетчика определяется следующим образом:

$$A_{\text{эксп}} = \frac{\bar{N}_e}{L \cdot T},$$

где  $L$  - длина радиатора /150 см/;  $\bar{T}$  - среднее значение квадрата угла черенковского излучения  $T = 2[(n_0 - 1) \cdot D - \frac{m^2}{2P^2}] \cdot (n_0 - 1)$  - коэффициент рефракции газа при нормальных условиях /для азота

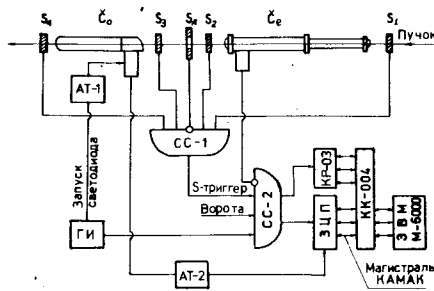


Рис.4. Схема измерений и расположение детекторов на пучке заряженных частиц.  $S_1, S_2, S_3, S_4$  - сцинтилляционные счетчики;  $C_0$  - пороговый черенковский счетчик для выделения электронов;  $C_1, C_2$  - исследуемый счетчик;  $AT_1, AT_2$  - аттенюаторы;  $CC_1, CC_2$  - схемы совпадений;  $ГИ$  - генератор импульсов;  $ЗЦП$  - зарядово-цифровой преобразователь;  $КР$  - входной регистр;  $КК$  - контроллер.

Рис.5. Пороговая кривая,  $\epsilon / 1 \text{ ф.э.} = f(D)$ .

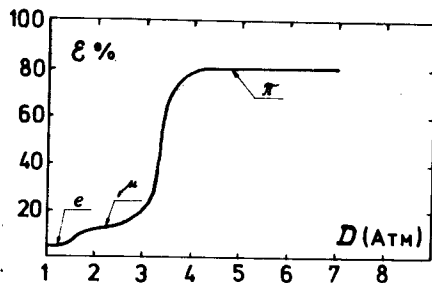
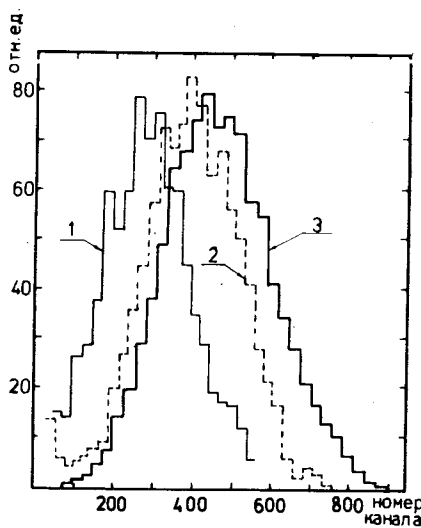


Рис.6. Амплитудные спектры сигналов счетчика. 1 - позитроны с импульсом 3,23 ГэВ/с /азот  $D = 1$  атм/; 2 -  $\pi$ -мезоны с импульсом 3,23 ГэВ/с /азот  $D = 5$  атм/; 3 - спектр сигналов от светодиода АЛ102Б ( $N_e = 12$ ).



$n_0 - 1 = 2,824 \cdot 10^{-4} / \tau$ ,  $D$  - давление газа /5 атм/,  $m$  - масса частицы ( $m = m_\pi$ ),  $P_0$  - значение импульса частицы  $\bar{P}_0 = 3,23$  ГэВ/с. В данном опыте  $N_e = 10$  и при указанных значениях других параметров константа счетчика и разрешение по скорости соответственно равны  $A_{\text{экс.}} = 70,6 \text{ см}^{-1}$ ,  $\delta\beta = 4,7 \cdot 10^{-5}$ . Несколько меньшая величина  $A_{\text{экс.}}$  по сравнению с рассчитанной может быть объяснена отличием средней по площади фотокатода квантовой эффективности ФЭУ от паспортного значения /значение квантовой эффективности в различных точках зависит от режима делителя ФЭУ, который в нашем случае был подобран из условия обеспечения равномерности

квантовой эффективности по всей рабочей области фотокатода/. На рис.6 /3/ показан амплитудный спектр сигналов позитронов при давлении в счетчике  $D = 1$  атм. Среднее число фотоэлектронов  $N_e = 6$ , что обеспечивает регистрацию электронов с хорошей эффективностью.

Для исследования эффективности регистрации в пределах рабочей апертуры черенковский счетчик передвигался на координатном устройстве относительно пучка частиц размером  $20 \times 24$  мм /по X и Y соответственно, см. рис.1/, выделяемого системой сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. Результаты измерений представлены на рис.7. Апертурные характеристики были исследованы как для расходящегося пучка /рис.7б/, на который была оптимизирована оптика счетчика / $\Delta\theta_x = +1,2^\circ$ ;  $\Delta\theta_y = +2,5^\circ$ /, так и для случая с параллельным пучком /рис.7в/. Помимо этого, была проведена дополнительная серия измерений с целью выяснения возможности улучшения светосбора у границ рабочей апертуры с помощью конического отражателя из алюминизированного майлара\*, помещенного в корпусе между сферическим и плоским зеркалами /рис.1, поз.8/. Соответствующие результаты представлены на рис.7а.

Для проверки способности счетчика дискриминировать фоновые частицы со скоростью выше пороговой, которые пересекают радиатор под большими углами, чем пучковые частицы, были проведены измерения эффективности регистрации  $\epsilon$  при повороте /в плоскости YZ / оси счетчика относительно пучка в интервале углов  $\alpha$  до  $20^\circ$ . Результаты измерений /рис.8/ показывают, что дискриминирующие свойства счетчика с зачерненными стенками /без отражателя/ существенно выше, чем у счетчика с коническим отражателем. Однако при углах отклонения частиц в магните более  $3^\circ$  отражатель позволяет уменьшить снижение эффективности регистрации пучковых частиц из-за искривления траектории частиц в радиаторе счетчика.

Таким образом, проведенное определение константы  $A$  счетчика и исследование его апертурных характеристик показывают, что счетчик описанной конструкции, предусматривающей его размещение в зазоре магнита, обеспечивает эффективность регистрации  $\pi$ -мезонов  $\epsilon_\pi / 1 \text{ ф.э.} = 99,0\%$  в пределах апертуры, составляющей 75% от полной площади апертуры магнитного зазора / $280 \times 140 \text{ мм}^2$ /. Введение дополнительного отражателя в оптическую систему счетчика существенно не улучшает эффективности регистрации в пределах апертуры счетчика, но снижает его угловую избирательность. При длине радиатора 150 см пороговый счетчик данной конструкции обеспечивает достаточно высокую эффективность регистрации релятивистских электронов. Ее среднее интегральное значение в пределах рабочей апертуры составляет  $\epsilon_\pi / 1 \text{ ф.э.} = 96,7\%$ .

\* Авторы благодарят В.И.Баскакова, Г.Б.Бондаренко и А.М.Константинова за предложение использовать подобный отражатель в нашем эксперименте, полезную дискуссию по этому вопросу и помощь в изготовлении и установке отражателя.

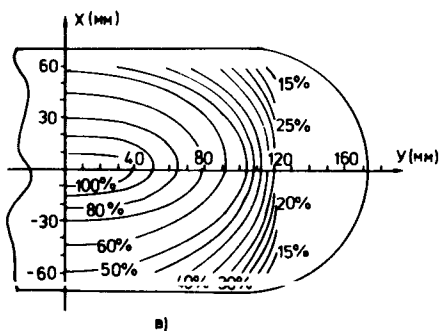
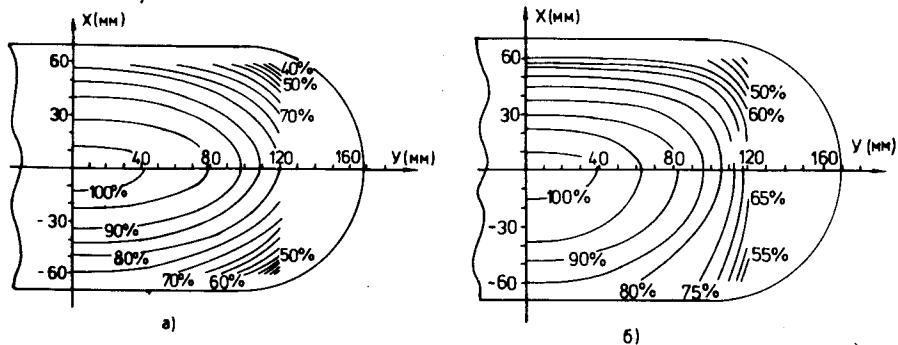


Рис.7. Коэффициент светосбора в пределах рабочей апертуры счетчика. а/ Расходящийся пучок, конический отражатель вдоль стенок счетчика; б/ расходящийся пучок без отражателя; в/ параллельный пучок без отражателя.

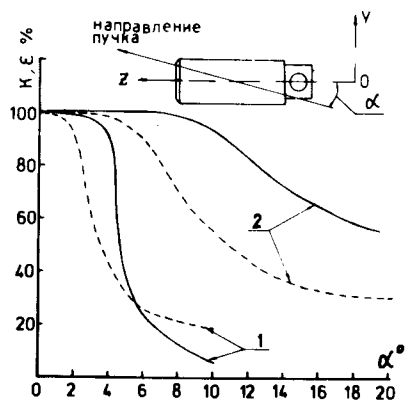


Рис.8. Зависимость эффективности регистрации  $\epsilon$  (—) и коэффициента светосбора  $K$  / - - / от угла падения частиц  $\alpha$ , 1 - без отражателя, 2 - с отражателем.

Авторы приносят благодарность Т.С.Григалашвили и М.Н.Шумакову за помощь в организации измерений на линии с ЭВМ, А.В.Рыжову, Ю.А.Ченцову, Ю.А.Иванову за помощь в подготовке и проведении испытаний счетчика на пучке частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Золин Л.С. и др. ОИЯИ, Р -9964, Дубна, 1976.
2. Philips Data Handbook, Electron Tubes, part 9, June 1980.
3. Masam T. CERN, 76-21, Geneva,
4. ГОСТ № 130-69. Изд-во стандартов, М., 1969.
5. Garwin E.L., Roder A. NIM, 1971, 93, p.593.
6. Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Атомиздат, М., 1968.
7. Heintze J. NIM, 1976, 138, p.642.



### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

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

Гавришук О.П., Золин Л.С., Стекольщиков В.В. 13-83-4  
Газовый пороговый черенковский счетчик в условиях ограниченной геометрии

Описан газовый пороговый черенковский счетчик, конструкция которого предусматривает его размещение в зазоре анализирующего магнита. Длина радиатора счетчика 150 см, рабочее давление - до 10 атм. Корпус и окна счетчика выполнены из нержавеющей стали. Использована двухзеркальная оптика. Для улучшения спектральной характеристики перед фотоумножителем XP-2041/Q установлено кварцевое окно, применялся прозрачный газ в диапазоне длин волн 180-700 нм. На пучке заряженных частиц измерены константа счетчика  $A = 70,6 \text{ см}^{-1}$ , разрешение по скорости  $\beta = 4,7 \cdot 10^{-5}$ , зависимость эффективности регистрации - от угла прохождения частицы через радиатор. Коэффициент светосбора на уровне 70% обеспечивается по площади, составляющей 75% от максимальной апертуры магнита, равной  $280 \times 140 \text{ мм}^2$ .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Gavrishchuk O.P., Zolin L.S., Stekolshchikov V.V. 13-83-4  
A Gaseous Threshold Cherenkov Counter under Bounded Geometry

A gaseous threshold Cherenkov counter is described. The counter is designed to be placed inside a gap of analysing magnet. The length of the counter radiator is 150 cm, the operating pressure - about 10 atm. The body and windows of the counter are made of stainless steel. A two-mirror optics is used. To improve spectral characteristics, a quartz window is placed in front of the XP-2041/Q photomultiplier. A gas, transparent over a range of 180-700 nanometers, is used. On the beam of charged particles the counter constant is measured to be  $A=70.6 \text{ cm}^{-1}$ , the velocity resolution  $\beta=4.7 \cdot 10^{-5}$  and the dependence of detection efficiency on the angle of passing a particle through the radiator. The factor of light collection at a level of 70% is achieved over the area that is 75% of the  $280 \times 140 \text{ mm}^2$  aperture of the magnet.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.