

ИТЭФ — 132



ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Б.М. АБРАМОВ, В.В. КИШКУРНО, В.В. КУПЛИКОВ,  
С.В. ПРОШИН, И.А. РАДКЕВИЧ, В.К. СЕМЯЧКИН  
Н.Г. ТКАЧ<sup>\*</sup>, И.В. ЧУВИЛО

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ  
Пороговый Черенковский  
СЧЕТЧИК ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

\* МОСКВА 1985  
Московский физико-технический институт

УДК 539.1.074

М-16

Описана конструкция в результате испытаний созданного в ИТЭФ восьмиканального широкоапертурного порогового черенковского детектора на давление до 6 ати апертурой  $1,0 \times 1,6 \text{ м}^2$  с длиной радиатора 1,5 м.

В Институте теоретической и экспериментальной физики для 3-метрового магнитного спектрометра /1/ создан восьми-канальный микроапертурный пороговый черенковский детектор большого давления. Детектор необходим для идентификации заряженных частиц, выходящих из окна магнитного спектрометра в широком интервале координат и углов. Его предполагается использовать в первую очередь для разделения протонов и  $\pi^+$ -мезонов в экспериментах по исследованию  $\bar{N}N$ -взаимодействий с барионным обменом.

Черенковский счетчик (рис.1) собран в баке диаметром 1,8 м и длиной 2,15 м, изготовленном из пержавской стали, рассчитанном на предельное давление 6 атм. Длина радиатора составляет  $\sim 1,5$  м. Бак счетчика установлен на подвижной платформе. Конструктивно ФЭУ и оптическая система счетчика размещены на специальной ферме, которая укреплена на фланце съёмной крышки бака. При раскрывании счетчика ферма с крышкой бака может отъезжаться на специальных колесах.

Выбран вариант конструкции счетчика с расположением ФЭУ внутри бака. В этом случае конструкция собственно бака высокого давления получается довольно простой. С другой стороны, в случае необходимости имеется возможность произвести значительные перестройки в оптической системе без изменения бака. Про-

дусмотрены регулировки счетчика по высоте ( $\pm 0,4$  м) и углу, которые необходимы, в частности, для проведения его испытаний на лучке частиц.

Оптическая система счетчика имеет симметрию относительно горизонтальной и вертикальной плоскостей, проходящих через ось бака. Оптика каждого из 8 каналов счетчика состоит из прямоугольного сегмента сферического зеркала радиуса  $R = 0,9$  м, просматривающего определенную часть объема, и светосборника. Зеркало направляет свет на окно соответствующего ФЭУ, четыре из которых расположены сверху от области прохождения частиц, а четыре - снизу. Размер зеркал был выбран равным 0,4 м по горизонтали и 0,5 м по вертикали, так что площадь, перекрываемая зеркалами, составляет  $1,6 \times 1,0$  м<sup>2</sup>. Для уменьшения мертвой зоны между соседними сферическими зеркалами они установлены с некоторым перекрытием друг относительно друга. Зеркала изготовлены путем напыления в вакууме алюминия на 4-мм силикатное стекло, которому методом молирования была придана сферическая форма. Отклонение формы зеркала от идеальной сферической составило в угловых величинах не более  $\pm 0,01$  рад (что определялось по размеру пятна от далеко отнесенного квазиточечного источника света, полученному на экране в плоскости фокусировки). Каждое зеркало с помощью металлических лапок и цилиндрического седла укреплялось на самостоятельную дюралюминиевую пластинку, которая, в свою очередь, системой встырочных пинтов крепилась к кронштейнам фермы.

Для улучшения светосбора перед входным окном каждого ФЭУ установлен, как отмечалось выше, светосборник - полный зеркальный собирающий световод (см., например, /2/). Он имеет форму фи-

гури вращения с образующей - сегментом эллипса. Входной диаметр светосборника - 150 мм, длина - около 200 мм. Параметры светосборника оптимизировались с учетом требований на однородность эффективности светосбора черенковского излучения от частиц, исходящих из источника длиной 0,8 м, который расположен поперек оси, горизонтально и находится на расстоянии 4 м от счетчика. Расчеты, выполненные по специальной моделирующей программе, показали, что светосборник рассчитанной формы дает светосбор лучше, чем в случае конической формы той же длины, в среднем в 1,3 раза. Кроме того, что не менее существенно, при использовании светосборника указанной формы заметно повышается однородность светосбора. Светосборники изготовлены из силикатного стекла методом дутья в форму. Полученные стеклянные заготовки обрабатывались в размер и напылялись изнутри в вакууме алмазным. Крепление светосборников к кожухам ФЭУ производилось с помощью гетинаксовых крошштейнов, в которые светосборники вклеивались на эпоксидном клее. Коэффициент отражения всех используемых зеркал в видимой области составляет около 0,85. Расчетами по моделирующей программе были получены допуски на точность установки элементов оптики, было проверено, что имеющиеся отклонения формы элементов оптики от идеальной не приводит к существенному ухудшению светосбора.

Отстройка оптической системы производилась в два этапа. Вначале все элементы были с точностью  $\sim 5$  мм установлены в расчетные положения. Затем в каждом оптическом канале по очереди направлялся лазерный луч, исходящий из точки, расположенной на оси счетчика на расстоянии 4 м от него. Лазерный луч проходил по траектории, выбранной таким образом, чтобы она попадала

примерно в середину соответствующего сферического зеркала. Доставка положений сферического зеркала и кожуха ФЭУ (с укрепленным на нем светосборником) производилась так, чтобы отраженный от сферического зеркала луч проходил через расчетные точки во входном и выходном окнах светосборника. При этом достигалось совпадение координат лазерного луча с расчетными точками с точностью  $\sim 2$  мм. Затем, в случае необходимости, производилась дополнительная коррекция положения сферического зеркала при использовании в качестве источника света лампы накаливания (широкий пучок света).

Регистрация собранного черенковского излучения производится отосбраними по квантовой эффективности ФЭУ-63, которые помещены внутри бака в специальные кожухи. Последние защищают ФЭУ от воздействия высокого давления. Подача электрического питания, а также вывод сигналов с ФЭУ производится по кабелям, которые вводятся через отверстия в крышке бака и проходят через систему сильфонных труб внутрь кожухов. Для повышения эффективности регистрации черенковского света ФЭУ конструкция кожуха была выбрана такой, что окна ФЭУ смотрят непосредственно в газовый объем и, следовательно, подвергаются воздействию высокого давления. Для изоляции остальных стенок ФЭУ от области высокого давления ФЭУ были вклеены на эпоксидном клее в специальные кольцевые оправки. Оправки прижимались к кожухам через резиновые уплотнения (4) (рис.2). Такая конструкция, как показали испытания, благодаря довольно большой толщине входного окна ФЭУ-63 позволяет работать в условиях высокого давления вплоть до предельного.

В процессе подбора длительностей напряжения для ФЭУ-63 оказалось, что при подаче повышенного напряжения на второй фокусиру-

ный электрод у большинства экземпляров улучшаются временные характеристики, несколько увеличивается квантовая эффективность и стабильность работы. Наиболее оптимальные результаты для нашего случая применяя ФЭУ получены при подключении этого электрода к четвертому электроду (рис.3). Мы использовали такой способ включения ФЭУ-63 вместо рекомендуемого заводом-изготовителем /3/. Отметим, что способы электрического питания, аналогичные выбранному нами, применяются и в некоторых других типах ФЭУ.

Рассмотрена защита ФЭУ от рассеянного магнитного поля спектрометра. Она состоит из внутреннего пермаллового экрана (7), стального корпуса (5) и кожуха ФЭУ (6) (рис.2). Дополнительный двухслойный экран, установленный снаружи светосборника, усиливает защиту области фотокатода. Этот экран имеет внутреннюю пермалловую часть и наружную - стальную.

Для контроля за состоянием ФЭУ в оптической системе счетчика используются светодиоды типа АЛГО2А. По два светодиода расположены на краях окна каждого ФЭУ. Еще по одному светодиоду в каждом оптическом канале установлено перед сферическими зеркалами, на внутренней стороне крышки бака.

В качестве радиатора в счетчике выбран фреон-12 (конструкция счетчика позволяет наполнять его любым инертным газом). Этот газ довольно дешевый и в то же время обеспечивающий при рабочем давлении 6 атм сравнительно высокий показатель преломления. Для упрощения заполнения счетчика фреоном предусмотрены подогревы резервуаров, в которых обычно хранится фреон, теплым воздухом. Эвакуация фреона из счетчика обратно в резервуары осуществляется путем охлаждения последних жидким азотом.

Для получения экстремального показателя преломления и повышения стабильности работы счетчика при высоких давлениях предусмотрено подогрев фреона до  $T \approx 25+30^{\circ}\text{C}$ . Для этого предусмотрена система подогрева и термостабилизации. Она включает в себя теплоэлектронагревательные элементы, расположенные внутри бака, термосопротивления для измерения температуры, вентилятор для ускорения перемешивания газа внутри счетчика, элементы автоматики.

Исследование характеристик счетчика было проведено на пучке  $\mu^{-}$ -мезонов с импульсом 4,0 ГэВ/с при заполнении его углекислым газом под давлением 5,26 ата. Угол черенковского излучения при этом составил  $\theta = 0,06$  рад. В процессе копирования черенковский счетчик сфокусировался пучком, выделенным телескопом из сцинтилляционных счетчиков, сходящиеся из которых (к черенковскому счетчику) имели поперечные размеры  $10 \times 10 \text{ см}^2$ . Черенковский детектор находится между счетчиками пучкового телескопа. Сфокусирование производилось в условиях, когда пучок частиц "исходит" из малой точки, расположенной на оси счетчика на расстоянии 9 м. Результаты измерений эффективности в этой геометрии по площади, перекрываемой зеркалами счетчика, показаны на рис.4. Кроме того, аналогичные измерения были выполнены в условиях, когда исходная ось пучка частиц составляет угол  $\pm 4^{\circ}$  с осью счетчика в горизонтальной плоскости, что соответствует смещению "источника" по горизонтали на 0,7 м вправо (влево) от первоначального положения (рис.4 в,с). На основе этих измерений сделан вывод, что эффективность регистрации не ниже 98% счетчик обладает на площади  $0,8 \times 1,4 \text{ м}^2$  в интервале углов (в горизонтальной плоскости)  $\pm 0,09$  рад. Для случая прохождения пучка



по оси счетчика была измерена зависимость эффективности счетчика от давления газа ( $\text{CO}_2$ ) в нем (рис.5). На ее основе был определен параметр  $N_0$  зависимости  $N_e = N_0 L \sin^2 \theta$ , где  $N_e$  — эффективное число фотоэлектронов,  $L$  — длина радиатора,  $\theta$  — угол черенковского излучения. Параметр  $N_0$  оказался равным  $10 \text{ см}^{-1}$ .

В проведенных экспозициях по исследованию барийного обмена в  $\pi p$ -взаимодействиях в качестве радиатора использовался фреон-12 при давлении 5,3 ата. При этом обеспечивалась высокоэффективная регистрация  $\pi^+$ -мезонов с импульсом  $p > 1,6 \text{ ГэВ/с}$ .

В заключение авторы выражают благодарность С.С.Орлову-Николаеву за активное содействие при изготовлении бака-каркаса счетчика, Г.К.Малевичу за оказание помощи в конструкторских работах, а также коллективу лаборатории, оказавшему большую помощь при подготовке счетчика к работе и при испытаниях.

Авторы также глубоко признательны Л.Г.Ландсбергу, Н.Г.Петрову, Е.И.Рыкалину, В.Т.Смолянкину за содействие в работе, ценные обсуждения и советы.

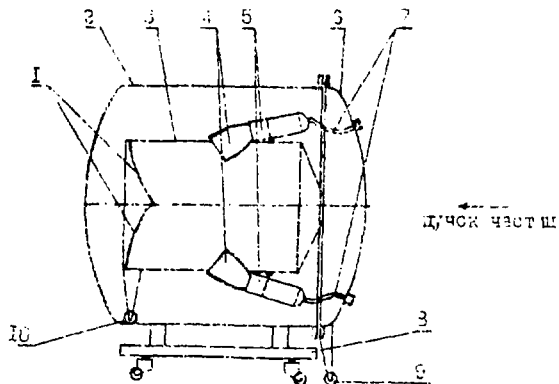


Рис.1. Черномовский счетчик (схематически, вид сбоку):  
 1 - зеркало сферическое; 2 - бак из нержавеющей стали;  
 3 - ферма для крепления оптических элементов и ЛФУ;  
 4 - светосборники; 5 - ЛФУ в кожухе; 6 - крышка бака;  
 7 - салфоновые трубопроводы; 8 - подвижная телелка;  
 9, 10 - колеса устройства сматывания крышки бака и фермы.

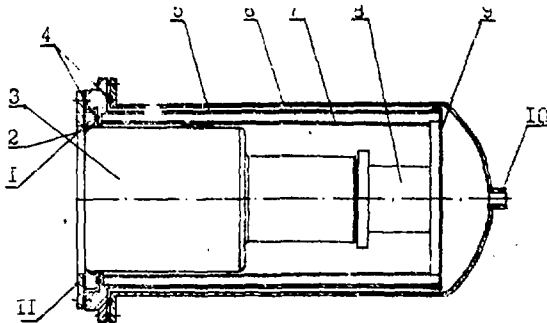


Рис.2. ФЭУ-63 в кожухе (схематический разрез): I - оправка ФЭУ; 2 - место склейки ФЭУ с оправкой; 3 - ФЭУ-63; 4 - равнонапные уплотнения; 5 - корпус для установки ФЭУ с делителем; 6 - кожух ФЭУ; 7 - внутренний пермалловый экран; 8 - делитель ФЭУ; 9 - стальная гайка; 10 - сифонный трубопровод; 11 - кольцо для прижима оправки ФЭУ.

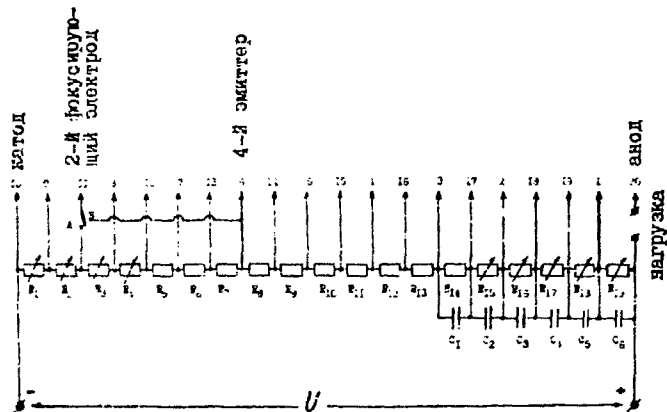


Рис.3. Схема делителя напряжения для ФЭУ-63.

(А - согласно рекомендации завода-изготовителя, Б - используемая).

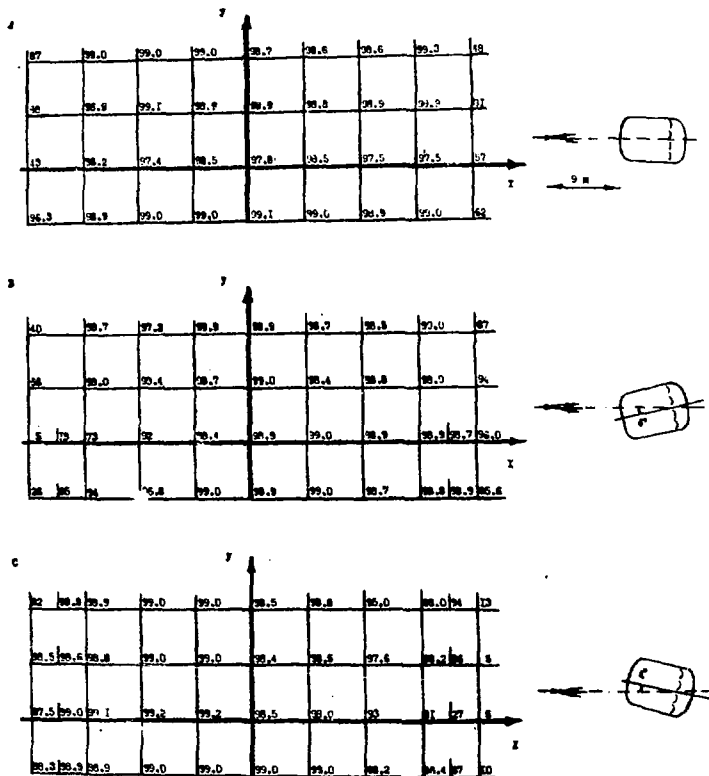


Рис.4. Таблицы измерений эффективности черенковского детектора в различных точках пересечения пучком частиц области сферических зеркал (  $x$  - горизонтальная,  $y$  - вертикальная координаты, шаг сетки - 0,2 м). А, В, С - соответс-твуют разным угловым положениям счетчика (вид сверху).

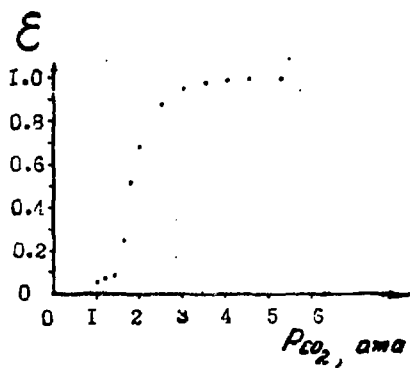


Рис.5. Зависимость эффективности ( $\epsilon$ ) черенковского детектора от давления газа ( $CO_2$ ) в нем при прохождении пучка отрицательно заряженных частиц с импульсом  $p = 4$  лэВ/с по оси детектора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Духовской И.А. и др. Трехметровый магнитный спектрометр. - Приборы и техника эксперимента, 1974, № 3, с.235.
2. Winston R. Light Collection within the Framework of Geometrical Optics. J.Opt.Soc.Am., 1970, v.60(2), p.245.
3. Паспорт фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-63, ТУ 3.388.006.

Б.М.Абрамов и др.

Широкоапертурный многоканальный пороговый черенковский счетчик высокого давления.

Редактор И.Н.Домкина

Корректор О.Р.Ольховникова

Работа поступила в ОНТИ 08.07.85

---

Подписано к печати 01.08.85      Т16660      Формат 60x90 1/16  
Офсетн.печ. Уол.-печ.л.0,75. Уч.-изд.л.0,5. Тираж 210 экз.  
Заказ 132.      Индекс 3624      Цена 7 коп.

---

Отпечатано в ИТЭФ, П17259, Москва, Б.Черемушкинская, 25

УКОЛ

ИНДЕКС 3624

М., ПРЕПРИНТ ИТЭФ, 1985, № 132, с.1-13