

Б-648

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



24/2-74

13 - 8219

4914/2-74

В.К.Бирулев, А.С.Вовенко, Т.С.Григалашвили,  
Б.Н.Гуськов, В.Г.Кривохижин, М.Ф.Лихачев,  
И.А.Савин, Ю.И.Саломатин, В.Е.Симонов,  
Л.В.Сильвестров, Г.Г.Тахтамышев

ГАЗОВЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК  
С ЛИВНЕВЫМ КОНВЕРТОРОМ – ДЕТЕКТОР  
ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

**1974**

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

13 - 8219

В.К.Бирулев, А.С.Вовенко, Т.С.Григалашвили,  
Б.Н.Гуськов, В.Г.Кривохижин, М.Ф.Лихачев,  
И.А.Савин, Ю.И.Саломатин, В.Е.Симонов,  
Л.В.Сильвестров, Г.Г.Тахтамышев

ГАЗОВЫЙ ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК  
С ЛИВНЕВЫМ КОНВЕРТОРОМ – ДЕТЕКТОР  
ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

*Направлено в ПТЭ*

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Бирулев В.К., Вовенко А.С., Григалашвили Т.С.,  
Гуськов Б.Н., Кривохижин В.Г., Лихачев М.Ф., Савин И.А.,  
Саломатин Ю.И., Симонов В.Е., Сильвестров Л.В.,  
Тахтамышев Г.Г.

13 - 8219

Газовый черенковский счетчик с ливневым конвертором -  
детектор электронов и гамма-квантов высоких энергий

Приводятся конструкция и результаты испытаний детектора электронов и гамма-квантов нового типа. Детектор является сочетанием ливневого и газового черенковских счетчиков и предназначен для работы в области энергий  $E > 100$  ГэВ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.

Дубна, 1974

1. В экспериментальной физике высоких энергий есть немало задач, в которых требуется детектировать электроны и гамма-кванты высоких и сверхвысоких энергий, причем делать это на значительном фоне более тяжелых частиц. В таких условиях традиционные способы регистрации электронов - пороговые черенковские счетчики и ливневые спектрометры - могут оказаться малоэффективными. Действительно, разрешение по скорости лучших современных пороговых счетчиков составляет  $\Delta\beta/\beta \sim 10^{-5} \div 10^{-6} / \beta$ , что позволяет разделять электроны и  $\pi$ -мезоны до энергии  $\sim 100$  ГэВ. Кроме того, такие счетчики могут работать только в хорошо коллимированных пучках, когда направление движения частиц составляет с оптической осью счетчика угол  $\lesssim 0,1$  мрад. Ливневые детекторы не имеют ограничений такого рода, но чувствительны к фону медленных частиц. Так, например, широко распространенные свинцово-сцинтилляционные "сендвичи" регистрируют все заряженные частицы, а для черенковских спектрометров с жидким или твердым радиатором пороговая энергия, с которой начинают регистрироваться  $\pi$ -мезоны, составляет десятки МэВ. В полях интенсивных излучений, существующих, например, вблизи кольца ускорителя, "засветка" фоновыми частицами может частично или даже полностью подавить полезный сигнал. В этих спектрометрах существенную роль играет и поглощение света в радиаторе. При больших размерах последнего  $/ > 1$  м/ оно дает основной вклад в флуктуацию выходных сигналов, ухудшая энергетическое разрешение прибора. На-

конец, с увеличением размеров ливневых спектрометров возрастает сложность их изготовления и, непропорционально этому, стоимость.

Конечно, такие счетчики сейчас и в дальнейшем еще остаются важными инструментами в руках физиков-экспериментаторов. Однако поиски новых типов детекторов частиц или создание их комбинаций, улучшающих качественные или количественные характеристики, являются естественным процессом развития экспериментальной аппаратуры в физике высоких энергий.

2. Нами была предпринята попытка создать новый детектор электронов и гамма-квантов высоких энергий. Он является до некоторой степени сочетанием ливневого и газового черенковского счетчиков.

На рис. 1 представлен общий вид детектора. На рис. 2 - его схематический чертеж. Проходя пластину свинца /1/ толщиной 3-5 радиационных единиц, электроны или гамма-кванты генерируют в ней электронно-фотонный ливень. Вторичные частицы ливня регистрируются газовым черенковским счетчиком /2/. С помощью плоских зеркал /3/, параболических зеркал /4/ и конусных световодов /5/ свет собирается на катоды фотоумножителей /6/. В рабочем образце детектора в качестве газовой среды применялся воздух при атмосферном давлении. Размер газового объема составлял  $60 \times 50 \times 50 \text{ см}^3$ . Использовались серийные фотоумножители типа ФЭУ-65 с диаметром катода 150 мм.

Пороговая энергия черенковского излучения частиц в воздухе составляет для  $\pi$ -мезонов  $\sim 6 \text{ ГэВ}$ , а для электронов  $\sim 21 \text{ МэВ}$ . Таким образом, детектор не будет регистрировать адроны ниже указанной энергии, в то время как большая часть вторичных частиц электронно-фотонного ливня зарегистрируется. Отметим, что поглощение света в таком детекторе пренебрежимо мало /коэффициент поглощения света в газовой среде по крайней мере на четыре порядка меньше, чем в жидкой или твердой/, а простота конструкции позволяет без больших затрат создавать детекторы большой площади.



Рис. 1. Внешний вид детектора в период сборки.

Два образца описанного детектора испытывались в процессе проведения экспериментов по регенерации  $K_L^0 - K_S^0$ -мезонов на Серпуховском ускорителе /2/; целью испытаний было выяснение перспектив использования детекторов такого типа для идентификации распадов  $K_L^0 \rightarrow \pi + e + \nu$ . Детекторы включались совместно с бесфильмовым искровым спектрометром, регистрировавшим вторичные частицы распадов каонов /3/.

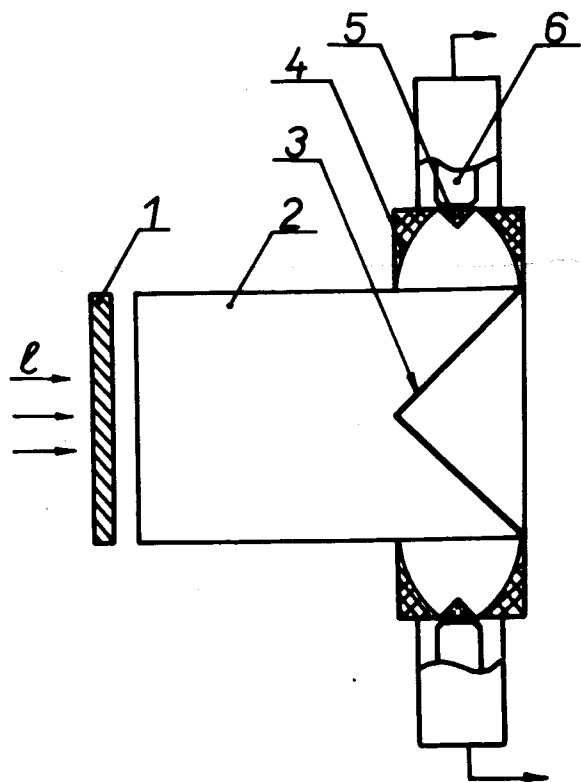


Рис. 2. Схематический чертеж детектора. 1 - ливневый конвертор, 2 - газовый объем, 3 - плоское зеркало, 4 - параболическое зеркало, 5 - конический световод, 6 - фотоумножитель.

Блок-схема включения одного детектора приведена на рис. 3. Импульсы от четырех фотоумножителей, расположенных попарно сверху и снизу газового объема, выравнивались по времени с помощью блоков задержки, суммировались и подавались на вход линейного усилителя. Для того чтобы можно было проводить выравнивание коэффициентов усиления ФЭУ /например, при замене фотоумножителей/, в цепь каждого ФЭУ были вклю-

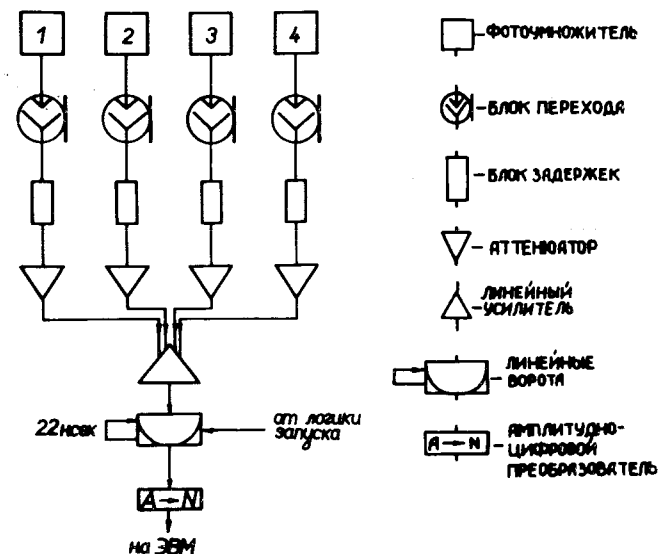


Рис. 3. Блок-схема включения детектора.

чены attenuаторы. Выравнивание производилось с помощью вспышки от электролюминесцентного диода, укрепленного на внутренней стороне передней стенки кожуха детектора. Линейные ворота длительностью 40 нсек открывались триггерным импульсом от системы сцинтилляционных счетчиков, входящих в состав спектрометра. Суммарный сигнал ФЭУ преобразовывался в цифровой код, передавался в ЭВМ и записывался на магнитную ленту вместе с другой информацией, относящейся к работе спектрометра.

На рис. 4 показан амплитудный спектр сигналов ФЭУ, полученный при облучении детектора вторичными частицами от распадов нейтральных каонов. Большая часть импульсов частиц лежала в пределах от 6 до 16 ГэВ/с. Спектры снимались для двух случаев: а/ когда перед газовым радиатором стоял ливневый конвертор толщиной 5 радиационных единиц /сплошная гисто-

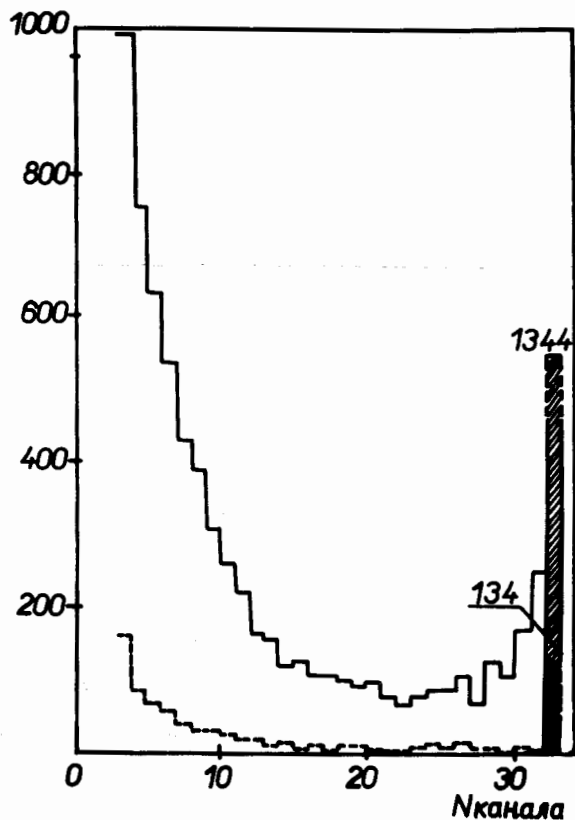


Рис. 4. Амплитудный спектр сигнала ФЭУ при облучении детектора вторичными частицами от распадов  $K^0$ -мезонов. Сплошная гистограмма - ливневый конвертор поставлен, пунктирная - конвертор снят.

грамма/и б/ когда он отсутствовал /пунктирная гистограмма/. Оба спектра нормировались на одно и то же число падающих частиц. В заштрихованных столбцах собраны события, лежащие выше 31 канала. Как видно из рисунка, эффект от ливневого конвертора четко проявляется: эффективность счета при наличии конвертора в 8-10 раз выше, чем без него. Формы спектров для обоих случаев существенно не различаются и, как пока-

зали дополнительные исследования, совпадают со спектром шумовых сигналов ФЭУ. Это характерно для режима работы ФЭУ, когда среднее число выбитых с фотокатода электронов невелико  $/2 \div 3/$ .

Как известно, основными модами распада  $K^0$ -мезонов являются трехчастичные распады:  $K_L \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$  /КПЗ/,  $K_L \rightarrow \pi^\pm + \mu^\mp + \nu$  /КМЗ/,  $K_L \rightarrow \pi^\pm + e^\mp + \nu$  /КЕЗ/ и  $K_{L,S} \rightarrow \pi^+ + \pi^-$  /КП2/. Обработка информации, записанной на магнитных лентах, позволяла разделять эти моды распадов и определять эффективность регистрации детектором различных типов частиц:  $\pi$ -мезонов,  $\mu$ -мезонов и электронов. КМЗ - распады идентифицировались по срабатыванию детектора мюонов, входившего в состав спектрометра, КПЗ- и КП2 - распады - по кинематическим критериям. Оставшиеся события являлись грубо идентифицированными КЕЗ-распадами. Число этих распадов было рассчитано также путем моделирования событий по программе Монте-Карло. В итоге получены следующие цифры: эффективность регистрации  $\pi$  и  $\mu$ -мезонов оказалась приблизительно одинаковой и равной 8%. Эффективность регистрации электронов возрастала с ростом их импульса. Эта зависимость приведена на рис. 5. Как видно из рисунка, с возрастанием импульсов электронов от 6 до 16 ГэВ/с эффективность приближается к единице.

На этом же рисунке нанесена точка, полученная при облучении детектора пучком электронов с импульсом 5 ГэВ/с. Пучок электронов был сформирован на том же канале. Имеющиеся в пучке нейтральных частиц гамма-кванты генерировали  $e^+e^-$ -пары в тонком конверторе, затем с помощью магнитного анализа выделялись электроны с определенным импульсом. На рис. 6 приведена зависимость эффективности детектора от напряжения ФЭУ при импульсе электронов 5 ГэВ/с, полученная для случаев а/ /сплошная кривая/ и б/ /пунктирная кривая/. В случае а/ /ливневый конвертор поставлен/ максимальная эффективность 0,6 достигается при напряжении 2 кВ, плато по напряжению составляет не менее 200 В. Случай б/ /конвертор отсутствует/ характеризует эффективность детектора к одиночным электронам  $/\sim 10\%/$ .

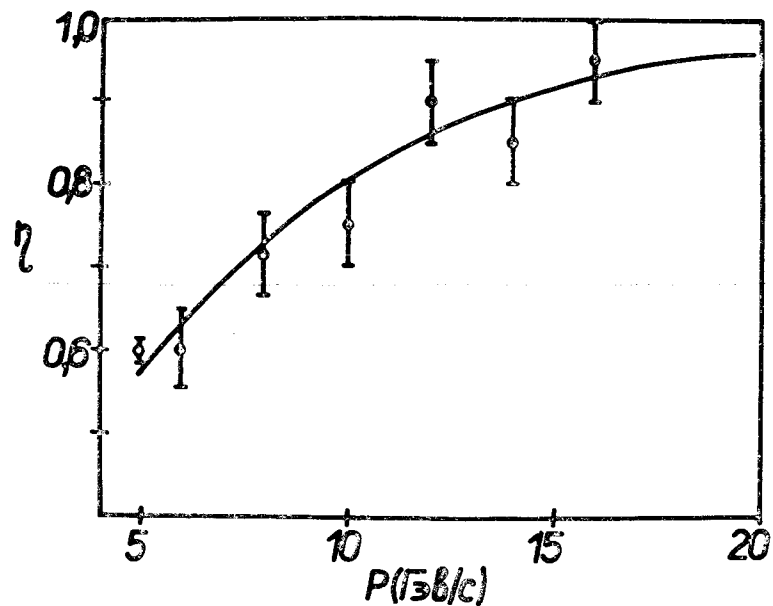


Рис. 5. Эффективность регистрации электронов различных импульсов.  $\phi$  - электроны, выделенные в КЕЗ-распадах,  $\phi$  - электроны, полученные от конверсии гамма-квантов в нейтральном канале. Кривая - результат расчетов.

3. Полученные значения эффективности детектора для разных типов частиц сравнивались с расчетными оценками.

Эффективность детектора определялась из выражения:

$$\eta = 1 - P(0, \bar{\nu}) = 1 - e^{-\bar{\nu}} \quad /2/$$

$P(0, \bar{\nu})$  - вычисленная из распределения Пуассона вероятность того, что с катода ФЭУ не будет выбито ни одного электрона при значении их среднего числа  $\bar{\nu}$  /.

Среднее число фотоэлектронов, попадающих на вход умножающей системы ФЭУ, вычислялось из формул /4/.

$$\bar{\nu} = N \cdot f \cdot s \quad /2/$$

$$N = 4,6 \cdot 10^{-2} (1/\lambda_2 - 1/\lambda_1) l \sin \theta \quad /3/$$

$$\cos \theta = 1/n\beta \quad /4/$$

/N - число фотонов, излученных частицей в интервале длин волн  $\lambda_2 \div \lambda_1$ , соответствующих спектральной чувствительности ФЭУ, s - коэффициент светосбора оптической системы детектора, f - произведение квантовой чувствительности фотокатода на эффективность сбора фотоэлектронов фокусирующей системой ФЭУ, l - длина пути частицы в радиаторе,  $\theta$  - угол раствора конуса черенковского излучения,  $\beta$  - скорость частицы в единицах скорости света, n - коэффициент преломления среды/.

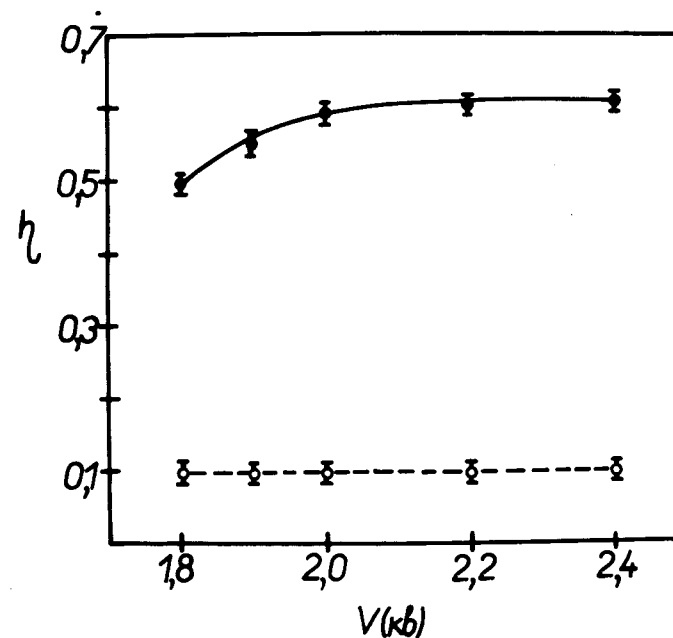


Рис. 6. Эффективность регистрации электронов с импульсом 5 ГэВ/с в зависимости от напряжения на ФЭУ. Сплошная кривая - ливневый конвертор поставлен, пунктирная - конвертор снят.

Число вторичных частиц в ливне с энергией больше  $E$  на глубине, соответствующей максимуму каскадной кривой, при энергии первичного электрона  $E_0$  рассчитывалась по эмпирической формуле, приведенной в /6/ :

$$\Pi(E_0, E) = 0,08 \frac{E_0 + 37,5}{E + 12,8} [MэВ] + 0,45, \quad /5/$$

а средний угол вылета вторичных частиц ливня - по формуле /5/ :

$$\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = \sqrt{0,55} \frac{21}{E} /MэВ/. \quad /6/$$

Для рабочего образца детектора коэффициенты в приведенных выше выражениях равны:  $h = 1,0003$ ;  $\lambda_1 = 3500A$ ;  $\lambda_2 = 5000A$ ,  $f = 0,005$ . Эффективность светосбора оптической системы была принята  $s \approx 0,2$ .

При этих значениях коэффициентов расчетная эффективность детектора к одиночным частицам равна: к электронам с энергией  $> 70 MэВ$  ( $\beta=1$ )  $\eta_e = 0,14$ ; к  $\pi$ -мезонам с энергией  $10 GэВ$  /средняя энергия вторичных частиц, генерированных в распадах  $K^0$ -мезонов/  $\eta_\pi = 0,10$ .

Эффективность детектора по отношению к первичным электронам, вызвавшим ливень в конверторе, вычислялась с учетом того, что оптическая система рабочего образца детектора собирает черенковский счет в интервале углов  $0 \div 12^\circ$  относительно оптической оси. Расчет по формулам /3/ ÷ /6/ показывает, что при этом регистрируется около четвертой части вторичных частиц ливня, попавших в радиатор. Результаты расчета эффективности детектора как функции энергии первичных электронов приведены в виде кривой на рис. 5. Полученные в эксперименте значения эффективности детектора согласуются с расчетными оценками как для случая одиночных частиц,  $\pi$ -мезонов и электронов, так и для случая, когда первичная частица генерирует ливень в конверторе.

Продолжение кривой  $\eta(P)$  в область больших энергий позволяет установить, что 100-процентная эффектив-

ность достигается при энергии первичных электронов  $\sim 50 GэВ$ . При еще больших энергиях электронов детектор может быть использован в спектрометрическом режиме для выделения электронов с помощью амплитудного анализа сигналов ФЭУ, как это делается в спектрометрах обьектного типа.

Заметим, что эффективность детектора можно увеличить традиционными способами, применяемыми в технике газовых черенковских счетчиков: используя газ с большим коэффициентом преломления и под большим давлением, увеличивая эффективность системы светосбора и выбирая ФЭУ с высокой квантовой чувствительностью фотокатода.

Можно ожидать в итоге, что детекторы такого типа найдут применение в экспериментах на ускорителях последнего поколения, когда энергии электронов и гамма-квантов будут иметь порядок  $100 GэВ$  и выше.

Авторы благодарят В.В.Иванова, И.Н.Какурина С.В.Русакова и Л.В.Виноградову за помощь в работе.

#### Литература

1. С.П.Денисов. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. ОИЯИ, Д-5805, Дубна, 1970.
2. В.К.Бирулев и др. ОИЯИ P1-6164, Дубна, 1971.
3. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ P1-5361, Дубна, 1970.
4. Дж.Джелли. Черенковское излучение и его применение, Москва, ИЛ, 1960.
5. С.З.Беленький. Лавинные процессы в космических лучах. М.-Л., Гостехиздат, 1948.
6. U. Volkel. DESY, 65/6, Hamburg, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 августа 1974 года.