

07;12

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ЧЕРЕНКОВСКИХ ФОТОНОВ РИЧ-ДЕТЕКТОРОМ С РАДИАТОРАМИ ИЗ LiF И MgF₂

© К.В.Александров, П.С.Васильев, Б.Н.Ломоносов,
Г.И.Мерзон, Л.С.Первов, В.А.Рябов,
Н.И.Старков, В.А.Царев

Проведены измерения эффективности регистрации черенковских фотонов РИЧ-детектором с радиаторами из LiF и MgF₂, в котором черенковский свет регистрируется трехкаскадным ЭОП либо матрицей ФЭУ-115м. Показана принципиальная возможность создания такого детектора с большой апертурой фотоприемной плоскости.

Как известно, детекторы излучения Вавилова-Черенкова нашли широкое применение в физике высоких энергий. Эти детекторы применяют в системах, предназначенных для селекции частиц по скорости и заряду [1]. Одной из разновидностей таких детекторов являются детекторы колец черенковского излучения (РИЧ-детекторы), которые успешно используются в ускорительных экспериментах [2] и исследованиях космического излучения [3,4].

В рамках программ работ по созданию детектора колец черенковского излучения для эксперимента АМС [5] на пучке заряженных пионов ускорителя У-70 ИФВЭ со средней энергией $\langle E_\pi \rangle = 3$ ГэВ был проведен ряд исследований. Цель заключалась в изучении возможности создания детектора колец черенковского излучения на основе отечественных фотоумножителей ФЭУ-115м [6] с использованием в качестве радиаторов монокристаллов LiF и MgF₂ [4].

Целесообразность использования LiF и MgF₂ состоит в том, что в пределах длин волн $300 \text{ нм} < \lambda < 650 \text{ нм}$ (т.е. в области спектральной чувствительности ФЭУ-155м со стеклянным окном) эти кристаллы имеют наименьшие среди твердотельных соединений значения коэффициентов преломления $n \cong 1.38$ и 1.36 соответственно, что дает возможность повысить границу измеряемых скоростей заряженных частиц. При этом дисперсия коэффициентов преломления монокристаллов LiF и MgF₂ в пределе указанных длин волн составляет менее 1%, что важно для однозначного определения скорости частицы. Для исследований были использованы радиаторы из LiF и MgF₂ толщиной 10 мм, диаметром 80 и 40 мм соответственно.

Число черенковских фотонов, генерированных в радиаторе релятивистской частицей, определялось с помощью

электронно-оптического преобразователя (ЭОП) [7], который представлял собой сборку, состоящую из двух электростатических ЭОП, каждый с коэффициентом усиления ≈ 30 , и ЭОП с микроканальной пластиной (МКП ЭОП) с коэффициентом усиления $\approx 3 \cdot 10^4$. Все ЭОП имели мультищелочные фотокатоды.

Черенковский угол в радиаторах из LiF и MgF₂ составляет около 42°, а угол выхода излучения из радиаторов в воздух при нормальном падении частицы близок к 62°. Для того чтобы максимально использовать световое окно ЭОП, определяемое размером МКП (24 мм), каждый из радиаторов был отделен от входной волоконной шайбы первого каскада сборки воздушным промежутком шириной 1 мм. В такой геометрии пучок пионов, падая нормально к плоской поверхности радиатора вдоль оси волоконных шайб ЭОП, генерирует черенковские фотоны, которые образуют на поверхности волоконной шайбы первого каскада сборки кольцо с внешним диаметром $D_{\min} = 22.5$ мм и внутренним диаметром $D_{\max} = 3.7$ мм.

Для выделения событий прохождения пионов нормально к плоскости радиатора и формирования триггерного сигнала был использован телескоп, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков, расположенных на базе 1.5 мм и имеющих размеры поперечного к пучку сечения 3×6 мм². Сигналы со счетчиков поступали на схему совпадений, где формировался триггерный сигнал, управляющий запуском МКП ЭОП. Логика формирования триггерного сигнала обеспечивала режим счета одиночных частиц.

Черенковские фотоны, прошедшие через входную волоконную шайбу ЭОП выбивали с его фотокатода фотоэлектроны, число которых определялось квантовой чувствительностью фотокатода и коэффициентом заполнения волоконно-оптической шайбы ЭОП. ЭОП работал в однофотонном режиме, что позволяло путем контактного фотографирования его экрана регистрировать одиночные фотоэлектроны. На фотопленке также регистрировались шумы ЭОП и электроны, непосредственно выбиваемые с фотокатода ЭОП налетающими пионами. Для учета этих эффектов были проведены также экспозиции без радиатора.

Полученные результаты демонстрируются в таблице, где представлены также данные моделирования методом Монте-Карло для той же конфигурации детектора с учетом спектральной чувствительности фотокатода ЭОП.

В случае большой апертуры экспериментальной установки возникает необходимость иметь адекватную площадь

Генерация черенковских фотонов в радиаторах LiF и MgF ₂ толщиной 10 мм	Число зарегистрированных фотоэлектронов	
	MgF ₂	LiF
Эксперимент с радиатором, N_1	28.9 ± 5.4	20.3 ± 3.8
Эксперимент без радиатора, N_2	15.0 ± 3.8	5.1 ± 1.1
Число черенковских фотоэлектронов, $N_1 - N_2$	13.9 ± 6.6	15.2 ± 5.0
Расчет методом Монте-Карло	17.1 ± 3.8	14.9 ± 3.7

регистрации колец черенковского излучения. В эксперименте АМС она достигает 1 м^2 . При этом фотоприемники черенковского излучения собираются в матрицу с максимально возможным коэффициентом заполнения. Мы исследовали возможность регистрации фотонов в модели детектора колец черенковского излучения, состоящую из 10 ФЭУ-115м, собранных вплотную друг к другу таким образом, чтобы центры их входных окон размещались на окружности диаметром 11 см. Внешний диаметр ФЭУ-115м равен 32 мм, а диаметр фотокатода — 28 мм. Сборка была помещена в светонепроницаемый контейнер. Радиаторы из LiF и MgF₂ поочередно закреплялись параллельно поверхностям входных окон ФЭУ-115м на расстоянии 2.7 см внутри светонепроницаемого контейнера. В такой геометрии в случае прохождения релятивистского заряженного пиона через центр радиатора нормально к его поверхности в нем возникают черенковские фотоны, которые образуют в плоскости матрицы ФЭУ-115м кольцо с внешним диаметром $D_{\text{max}} = 119.9 \text{ мм}$ и внутренним диаметром $D_{\text{min}} = 100.1 \text{ мм}$ попадающее в чувствительную область фотокатодов ФЭУ-115м.

Для регистрации событий прохождения пионов нормально к плоскости радиатора бы использован тот же телескоп, что и в работе с ЭОП. Выходные сигналы ФЭУ поступали на усилители с коэффициентом усиления ≈ 30 и затем на мажоритарную схему совпадений, которая позволяла регистрировать события, соответствующие различным порогам кратностей совпадений.

Экспериментальные результаты для радиатора LiF представлены на рисунке. Кривая, соответствующая моделированию регистрации фотонов методом Монте-Карло, описывает вероятность срабатывания $\geq n$ ФЭУ на кольце, собранном из 10 ФЭУ:

$$P_n = C_{10}^n P^n (1 - P)^{10-n},$$



где вероятность срабатывания каждого отдельного ФЭУ

$$P = 1 - \exp(-\langle N \rangle \langle k_1 \rangle k_2)$$

определяется средним числом попавших в него черенковских фотонов $\langle N \rangle \cong 25$, средней квантовой чувствительностью фотокатода $\langle k_1 \rangle = 0.15$ и коэффициентом заполнения $k_2 = 0.7$.

Отличие экспериментального и расчетного распределений обусловлено в основном вкладом событий, в которых частица проходит не по оси симметрии детектора, а на некотором расстоянии от нее. Регистрация в детекторе подобных событий связана с большой шириной тестового пионного пучка (до 50 см в диаметре) и недостаточной эффективностью подавления частиц, проходящих на расстоянии > 1 см от центра радиатора.

Проведенные исследования доказывают принципиальную возможность создания РИЧ-детектора с радиаторами из LiF и MgF₂, в котором черенковский свет регистрируется ЭОП либо с помощью матрицы, собранной на основе ФЭУ. Однако в последнем случае необходимы ФЭУ, обладающие лучшими однофотоэлектронными характеристиками.

Список литературы

- [1] *Seguinot J., Ypsilantis T.* // Nucl. Instr. Meth. 1977. V. 142. P. 377.
- [2] *Pomrot Maia M., Cooper P.S., Stutte L. et al.* // Nucl. Instr. Meth. 1993. V. A 326. P. 496-507.
- [3] *Bardiellini G., Basini G., Bellotti R. et al.* // Proc. of Int. Workshop on RICH Counters. Uppsala June 12-16. 1995.
- [4] *Carlson P., Francke T., Lofgren S. et al.* // Nucl. Instr. Meth. 1994. V. A 394. P. 577.

- [5] Ahlen S., Balebanov V.M., Battiston R. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1994. V. A 350. P. 351.
- [6] Belyanchenko S.A., Brekhovskikh V.V., Dukor S.G. et al. // Preprint IHEP 95-12 Protvino, 1995.
- [7] Аммосов В.В., Гущин Е.М., Сомов С.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 20. В. 22. С. 1-4.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева РАН
Москва

Поступило в Редакцию
18 июля 1996 г.
