

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Г 125

13-87-828

О.П.Гаврищук, А.Б.Шалыгин

**ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЭУ-143
В ПОРОГОВЫХ ГАЗОВЫХ ЧЕРЕНКОВСКИХ
СЧЕТЧИКАХ**

1987

1. ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена в связи с созданием многоканального порогового газового черенковского счётчика (МПГЧС) для эксперимента "Меченые нейтрино" [1]. Источником нейтрино являются K_{e3} -и $K_{\mu 2}$ -распады заряженных каонов. В распадном объёме поток каонов составляет около 10^9 частиц за цикл ускорителя У-70. Для мечения электронного нейтрино идентифицируются электроны от K_{e3} -распадов с помощью МПГЧС.

Идентификация электрона газовым черенковским счётчиком при энергиях 30-40 ГэВ связана с трудностью регистрации малых потоков света.

Количество света в газовом черенковском счётчике от заряженных частиц зависит от длины радиатора и коэффициента рефракции газа. Максимальная интенсивность черенковского света от электрона возможна в случае, когда мюон находится на пороге черенковского излучения. При этом амплитуда сигнала на фотоэлектронном умножителе (ФЭУ) от света электронов определяется по числу фотоэлектронов (N_e) следующим образом:

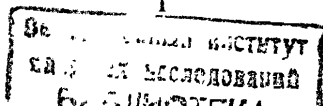
$$N_e = N_0 \cdot L \cdot \frac{m_{\mu}^2 - m_e^2}{\rho^2}, \quad (1)$$

где m_{μ} и m_e - массы μ -и e -лептонов, ρ - их импульс, L - длина пробега электрона в радиаторе счётчика, N_0 - константа черенковского счётчика, которая определяется по формуле

$$N_0 = 2\pi\alpha \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\eta(\lambda) \cdot \kappa(\lambda)}{\lambda^2} d\lambda, \quad (2)$$

где $\eta(\lambda)$ - квантовая чувствительность ФЭУ в диапазоне длин волн λ_1 , λ_2 ; $\kappa(\lambda)$ - коэффициент светосбора оптической системы счётчика, $\alpha = 1/137$ - константа электромагнитного взаимодействия.

С помощью несложного расчёта по формулам (1), (2) можно показать, что для частиц (e, μ) с импульсом около 30 ГэВ/с при длине радиатора



20 метров в счетчике с константой $A=100$ I/см на ФЭУ ожидается не более $N_e = 3+4$ фотоэлектронов. Задача усложняется еще и тем, что длина радиатора переменная, зависит от вершины распада К-мезона, и поэтому число фотоэлектронов будет ещё меньше.

Очевидно, что для решения задачи требуются фоторегистраторы, способные выделять одноэлектронные сигналы, обладающие к тому же высоким быстродействием порядка 10^{-7} с и хорошей квантовой чувствительностью в диапазоне длин волн 180–600 нм (для получения константы счётчика ≥ 100).

С целью оптимального выбора типа фотоумножителя порогового газового черенковского счётчика в данной работе проводились измерения некоторых параметров различных ФЭУ, наиболее часто применяющихся в черенковских счётчиках. Результаты измерений излагаются ниже.

2. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЭУ

Измерения спектральных характеристик ФЭУ проводились на спектрофотометре СФ-26 токовым методом. Спектрофотометр использовался как источник монохроматического света с длиной волны λ . Измерялся катодный ток ФЭУ, который работал в режиме фотоэлемента (все диоды были объединены с анодом). Так как абсолютная интенсивность света неизвестна, проводились относительные измерения. В качестве образца выбран ФЭУ ХР-2020/О с известной спектральной чувствительностью $S_0(\lambda)$ (согласно паспорту [3]). Спектральные чувствительности $S_x(\lambda)$ исследуемых ФЭУ определяются с помощью фототоков $I_x(\lambda)$ по формуле

$$S_x(\lambda) = S_0(\lambda) \cdot \frac{I_x(\lambda)}{I_0(\lambda)}, \quad (3)$$

где $I_0(\lambda)$ – фототок ХР-2020/О.

Ранее была выполнена работа [2] по расширению диапазона спектральной чувствительности ФЭУ в ультрафиолетовую область с помощью сместителей спектра.

В настоящей работе использовался трехкомпонентный переизлучатель, нанесенный на окно фотокатода ФЭУ в виде полимерной пленки, содержащей компоненты люминофора.

В качестве основы пленки использовался ПММА (полиметил метакрилат – органическое стекло), растворенный в толуоле с концентрацией 13 г/литр. Содержание люминесцентных веществ в слоях составляет в процентах относительно количества ПММА:

- 1 слой – 30% РТР,
- 2 слой – 40% РРО,
- 3 слой – 30% РТР + 40% РРО + 2,5% РОРОР.

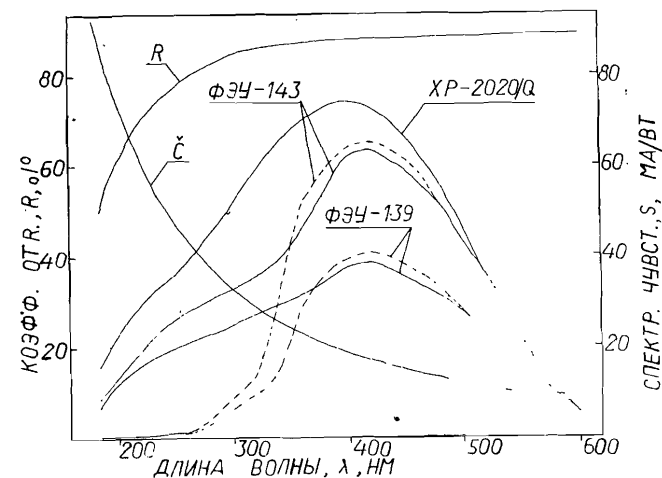


Рис.1

R – коэффициент отражения зеркала,
 C – спектр черенковского излучения (отн.ед.),
 ХР-2020/О, ФЭУ-139, ФЭУ-143 – спектральные чувствительности фотоумножителей (пунктирная – без переизлучателя, сплошная – с переизлучателем).

На рис.1 представлены спектральные чувствительности ХР-2020/О, ФЭУ-139 и ФЭУ-143. Переизлучатель был использован на двух последних ФЭУ. Полученные результаты дают относительную картину об абсолютных значениях $S(\lambda)$. Оценка результатов показывает, что средняя чувствительность ФЭУ-143 около 60 мА/Вт и ФЭУ-139 ~ 50 мА/Вт. Максимальная чувствительность находится в диапазоне 410–430 нм, что характерно для бищелочных фотокатодов ($Sb - Cs - Ka$). При помощи пленочного переизлучателя диапазон чувствительности исследуемых ФЭУ расширяется до 200 нм и по форме приближается к характеристике ФЭУ с кварцевым окном (ХР-2020/О) [3].

3. ОДНОЭЛЕКТРОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На рис.2 приводятся спектры анодных сигналов ФЭУ, которые получены от световых вспышек светодиода АЛ-307 (красный). Дiod запускался от генератора при длительности сигнала около 15 наносекунд. Ампли-

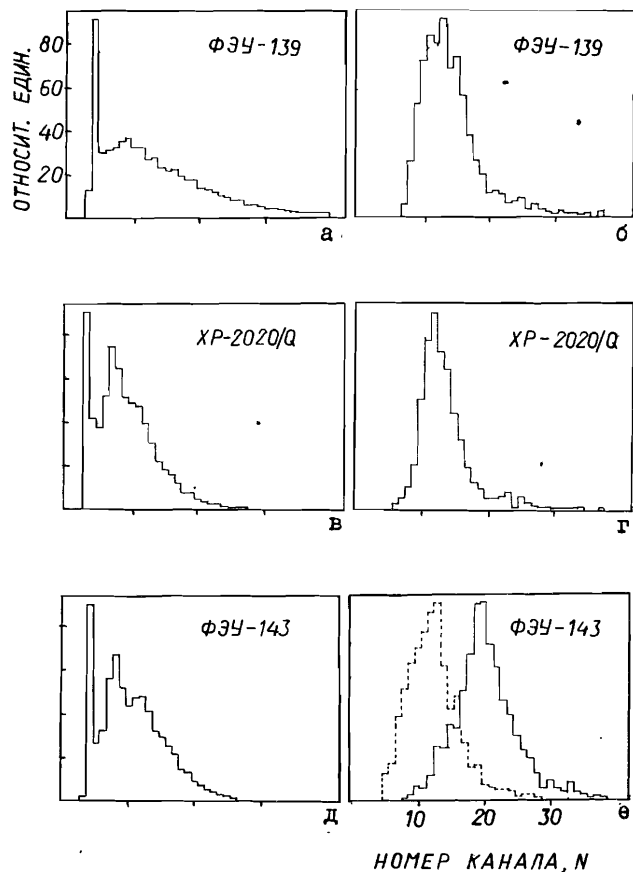


Рис.2

а, в, д – одноэлектронные спектры фотоумножителей,
б, г, е – спектры от черенковского излучения (пунктир-
ная – без переизлучателя, сплошная – с
переизлучателем).

туду сигналов измерялись с помощью зарядового кодировщика ЗЦП, одно-
электронный режим фиксировался по эффективности регистрации сигналов
(< 60%), т.е. соотношением сигналов под пьедесталом и выше пьедес-
тала. Во всех типах ФЭУ были использованы паспортные делители напря-
жения. Настоящая работа не преследовала цель оптимизации схемы дели-
теля напряжения. Одноэлектронные характеристики ФЭУ-143 в зависимо-

ти от типа делителя напряжения приводятся в работе [4], где пока-
зано, что в зависимости от резистора R_3 (оптимум около $0,8 R$) на-
блюдается небольшое улучшение в разделении одноэлектронных сигналов.

Исследование одноэлектронных характеристик с применением пас-
портной схемы делителя напряжения свидетельствуют о том, что наибо-
лее четко выделяет одноэлектронный сигнал ФЭУ-143, тем самым созда-
ются возможности качественной дискриминации сигнала от собственных
шумов фотоумножителя.

4. ИЗМЕРЕНИЕ КОНСТАНТЫ λ_0 НА МАКЕТЕ ЧЕРЕНКОВСКОГО СЧЕТЧИКА

Измерение, схема которого показана на рис.3, проводилось на пуч-
ке позитронов методического канала У-70 с использованием макета га-
зового черенковского счетчика. Пучок позитронов с импульсом 3,5 ГэВ/с
выделялся при совпадении сцинтилляционных счетчиков S_1, S_2, S_3, S_4 и че-
ренковского счетчика $С1$, одновременно образовывался триггер для запуска
ЗЦП. Измерялся амплитудный спектр сигналов с анода ФЭУ. Макет че-
ренковского счетчика заполнен воздухом при атмосферном давлении. Зер-
кало и светосборник изготовлены из алюминизированного майлара. Коэф-
фициент отражения света в зависимости от длины волны показан на
рис.1.

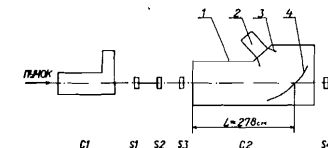


Рис.3

- 1 – корпус макета черенковского счётчика,
- 2 – фотоумножитель,
- 3 – конический светосборник,
- 4 – зеркало из алюминизированного майлара.

Среднее число фотоэлектронов от черенковского света, излучаемо-
го позитронами в воздухе по всей длине радиатора, определяется по
форме спектра сигналов с анода ФЭУ. Для этого проводятся калибровки
каждого фотоумножителя со спектрометрическим трактом с помощью све-
тодиода [5]. В случае многоэлектронного сигнала ($\lambda_0 > 10$) при работе

со светодиодом среднее число фотоэлектронов определяется как

$$\bar{N}_e = K \cdot \left(\frac{A}{\sigma}\right)^2, \quad (4)$$

где A - центр тяжести спектра, σ - корень квадратный из дисперсии, а

$$K = 1 + \eta + \frac{(m\sigma - 1)^2}{m(m-1)},$$

где η - квантовая чувствительность ФЭУ, m - среднее значение коэффициента вторичной эмиссии диодов, σ - параметр одноэлектронного распределения [6].

Сопоставляя положение центра тяжести спектра сигналов от черенковского излучения с положением центра тяжести спектра, полученным при калибровке, определяли среднее число фотоэлектронов измеряемого процесса. По известному числу фотоэлектронов константа черенковского счётчика определяется как

$$N_0 = \frac{\bar{N}_e}{L \cdot \theta^2}, \quad (5)$$

где

$$\theta^2 = 2 \left[(n_0 - 1) D - \frac{m^2}{2\rho^2} \right]^{-1},$$

θ - угол черенковского излучения, $(n_0 - 1)$ - коэффициент рефракции газа (воздух), D - давление газа, m - масса электрона, ρ - импульс электрона.

Результаты по определению N_e и N_0 приведены в таблице. Применение сместителей спектра, как видно из таблицы, увеличивает амплитуду сигнала с ФЭУ в среднем в 1,8 раза.

Таблица

Параметр Фотоумножитель	U (кВ)	K	\bar{N}_e	N_0 (1/см)
ХР-2020/Г	2,4	1,58	19,4	126±10
ФЭУ-139 (с переизлучателем)	1,4	1,59	14,5	95±10
ФЭУ-143 (без переизлучателя)	2,3	1,41	10	65±10
ФЭУ-143 (с переизлучателем)	2,3	1,41	18	118±10

1) Выражение справедливо для малых значений θ .

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На макете МПГЧС экспериментально исследованы спектрометрические характеристики фотоумножителей ХР-2020/Г, ФЭУ-139 и ФЭУ-143. Показано, что ФЭУ-143 с переизлучателем по своим характеристикам близок к ХР-2020/Г и вполне может быть использован для МПГЧС установки комплекса "Меченые нейтрино".

Улучшая качество оптической системы черенковского счётчика, подбирая ФЭУ с чувствительностями 70-80 мА/Вт, можно получить константу $N_0 \sim 100 + 150$ 1/см.

В заключение авторы приносят благодарность сотрудникам Серпуховского научно-экспериментального отдела Шумакову М.Н. за он-лайн обеспечение измерений, Григалашвили Т.С. за поддержку работы и обсуждение результатов измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов С.П. Пучки меченых нейтрино - новый шаг в методике нейтринных исследований. М.: Изд-во МИФИ, 1984.
2. Гавришук О.П., Семенов В.К. Препринт ИФВЭ, 84-46, 1984, Серпухов.
3. Philips Data Handbook, Electron tubes, part 9, June, 1980.
4. Архангельский Б.В., Добрынин В.И. и др. Препринт ИФВЭ, 87-41, 1987, Серпухов.
5. Коллар Д. и др. Сообщение ОИЯИ 13-9003, 1975, Дубна.
6. J.R.Prescott. NIM, 39 (1966), p.173-179.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

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.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
-	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
D2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 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., Шалыгин А.Б.

13-87-828

Исследование некоторых характеристик ФЭУ-143 в пороговых газовых черенковских счетчиках

Исследован фотоумножитель ФЭУ-143 в газовом пороговом черенковском счетчике на пучке электронов с импульсом 3,5 ГэВ/с. Приведена сравнительная характеристика с ФЭУ-139 и XP-2020/Q. В результате измерений определены спектральные характеристики фотоумножителей, показаны их одноэлектронные спектры. Определена константа счетчика для ФЭУ-143 ~ 118 1/см, для ФЭУ-139 ~ 95 1/см, для XP-2020/Q ~ 126 1/см, которая характеризует оптические свойства счетчика. Показано применение на ФЭУ-143 и ФЭУ-139 пленочных преобразователей ультрафиолетового излучения, которые увеличивают амплитуду сигнала с ФЭУ в 1,8 раза.

Работа выполнена в Серпуховском научно-экспериментальном отделе ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Gavrishchyuk O.P., Shalygin A.B.

13-87-828

Investigation of Some Characteristics of FEU-143 Photomultipliers in Gaseous Threshold Cherenkov Counters

The FEU-143 photomultiplier was studied in a gaseous Cherenkov counter at the electron beam of 3.5 GeV/c momentum. Comparative characteristic with FEU-139 and XP-2020/Q is presented. As a result of measurements spectral characteristics of photomultipliers were defined, their one-electron spectra were shown. Constant of counter for FEU-143 was determined as 118 1/cm, for FEU-139 as 95 1/cm, for XP-2020/Q as 126 1/cm. It characterizes the optical properties of the counter. Using on FEU-143 and FEU-139 of ultraviolet radiation film shifters which increase the amplitude of FEU signal by a factor of 1.8 is shown.

The investigation has been performed at the Serpikhov Scientific-Experimental Department, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987