



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 96-42

ОНФ

С.В.Беликов, Ю.В.Гилицкий, Ю.Е.Гутников, А.Г.Денисов,
В.И.Кочетков, В.В.Макеев, Е.А.Мельников, А.П.Усачев

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ФЭУ-115М
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА
УСТАНОВКИ ФЕНИКС**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 1996

Аннотация

Беликов С.В. и др. Характеристики фотоумножителей ФЭУ-115М для электромагнитного калориметра установки ФЕНИКС: Препринт ИФВЭ 96-42. – Протвино, 1996. – 10 с., 7 рис., библиогр.: 4.

Представлены результаты измерений основных характеристик фотоумножителей ФЭУ-115: усиление, линейность, квантовая эффективность и неоднородность фотокатода. Описан автоматизированный стенд для измерения параметров фотоумножителей.

Abstract

Belikov S.V. et al. Characteristics of the Photomultipliers FEU-115M for EMCal PHENIX: IHEP Preprint 96-42. – Protvino, 1996. – p. 10, figs. 7, refs.: 4.

This paper presents the measurements results of the main characteristics for PMTs FEU-115M: gain, linearity, quantum efficiency and photocathode nonuniformity. The automatic set-up for photomultipliers testing is also described.

Введение

В настоящее время в Брукхейвенской национальной лаборатории (США) создается физическая установка ФЕНИКС, предназначенная для изучения процессов образования и свойств кварк-глюонной плазмы при столкновениях встречных пучков ионов различных химических элементов (вплоть до золота) с энергией 100 ГэВ/нуклон на ускорителе RHIC (БНЛ, США). Одним из основных детекторов установки является электромагнитный калориметр (ЭМК), состоящий из двух частей: свинцово-сцинтилляционного (PbSc) калориметра типа “шашлык” с волоконным съемом света и калориметра из свинцового стекла. Основные задачи ЭМК ФЕНИКС — идентифицировать электроны и фотоны, измерить их энергию и координату, обеспечить триггер на редкие события, когда электроны и фотоны рождаются с высокими поперечными импульсами [1].

Общая площадь, перекрываемая ЭМК, составляет 60 м², при этом 75% площади приходится на долю PbSc-калориметра. Вес активной части PbSc-калориметра около 70 тонн, число каналов 15552.

Для обеспечения необходимых точностных характеристик фотоприемники для PbSc-калориметра должны удовлетворять следующим требованиям:

- средняя квантовая эффективность фотокатода в центральной области диаметром 10 мм при длине волны света 490 нм $\geq 12,5\%$;
- геометрическая неоднородность чувствительности фотокатода в центральной области диаметром 10 мм $\leq 10\%$;
- нелинейность выходного импульсного анодного тока в диапазоне токов 0-40 мА $\leq 2\%$;
- длительность переднего фронта импульса анодного тока (по уровню 0,1-0,9) < 4 нс;
- коэффициент усиления $2 \times 10^5 \div 2 \times 10^6$.

В качестве фотоприемников для PbSc-калориметра были выбраны фотоэлектронные умножители ФЭУ-115М, имеющие 12-диодный каскад усиления линей-

ного типа, и сдвинутый по чувствительности в зеленую область спектра мультищелочной фотокатод с рабочим диаметром 25 мм. Посадочная длина ФЭУ-115М составляет 90 мм, диаметр колбы 30 мм. ФЭУ-115М является модернизацией известного фотоумножителя ФЭУ-115 [2] с целью увеличения предела линейности по выходному импульсному анодному току и повышения квантовой эффективности фотокатода в зеленой области спектра.

В данной работе приведены результаты измерения основных характеристик ФЭУ-115М.

1. Автоматизированный стенд для измерения параметров фотоумножителей

Для измерения характеристик ФЭУ-115М был создан универсальный автоматизированный стенд, схематически изображенный на рис.1. Стенд состоит из двух горизонтальных платформ, установленных с зазором 0,5 мм. Верхняя платформа неподвижна, и в ней в соответствующих посадочных местах вертикально размещены 16 измеряемых и 3 вспомогательных ФЭУ: триггерный (Т), опорный (Р) и калибровочный (К) фотоумножители. Нижняя платформа с помощью шаговых двигателей (М) может перемещаться параллельно верхней в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Точность относительного позиционирования платформ лучше 0,1 мм. Нижняя платформа предназначена для крепления двух групп светоподводящих волокон: полиметилметакрилатных (ПММА) волокон диаметром 1 мм (без сцинтиллирующих и спектросмещающих добавок) и спектросмещающих волокон ВCF-99(29А) также диаметром 1 мм с максимумом спектра высвечивания 498 нм [3]. Торцы ПММА-волокон выведены на верхнюю плоскость нижней платформы, а торцы ВCF-99(29А)-волокон утоплены вглубь платформы на 10 мм в конических отверстиях для формирования на поверхности фотокатода каждого ФЭУ равномерного светового пятна диаметром 10 мм.

ПММА-волокна предназначены для передачи на фотокатод каждого ФЭУ света от зеленого светодиода HLMA-CPOO с максимумом спектра высвечивания 572 нм. Между светодиодом и отполированными торцами ПММА-волокон, собранными в пучок, расположен ослабитель света (ФК) с набором нейтральных светофильтров с различными коэффициентами пропускания. Для запуска светодиода используется генератор (Г) стабильной амплитуды с частотой импульсов 1 кГц, шириной импульсов по основанию 5 нс и максимальной амплитудой импульсов 120 В на нагрузке 50 Ом. Амплитуда импульсов генератора может быть уменьшена с помощью аттенюатора в соответствии с требуемым количеством света.

Волокна ВCF-99(29А) предназначены для передачи на фотокатод каждого ФЭУ переизлученного света от выбранного для PbSc-калориметра полистирольного сцинтиллятора [4]. Сцинтиллятор возбуждается от импульсного азотного лазера ЛГИ-503 ультрафиолетовым светом с длиной волны 337 нм, передающимся по световоду длиной 15 м. Лазер работает на внутреннем запуске при частоте 100 Гц. Лазерный свет фокусируется на торец передающего световода с помощью кварцевой линзы.

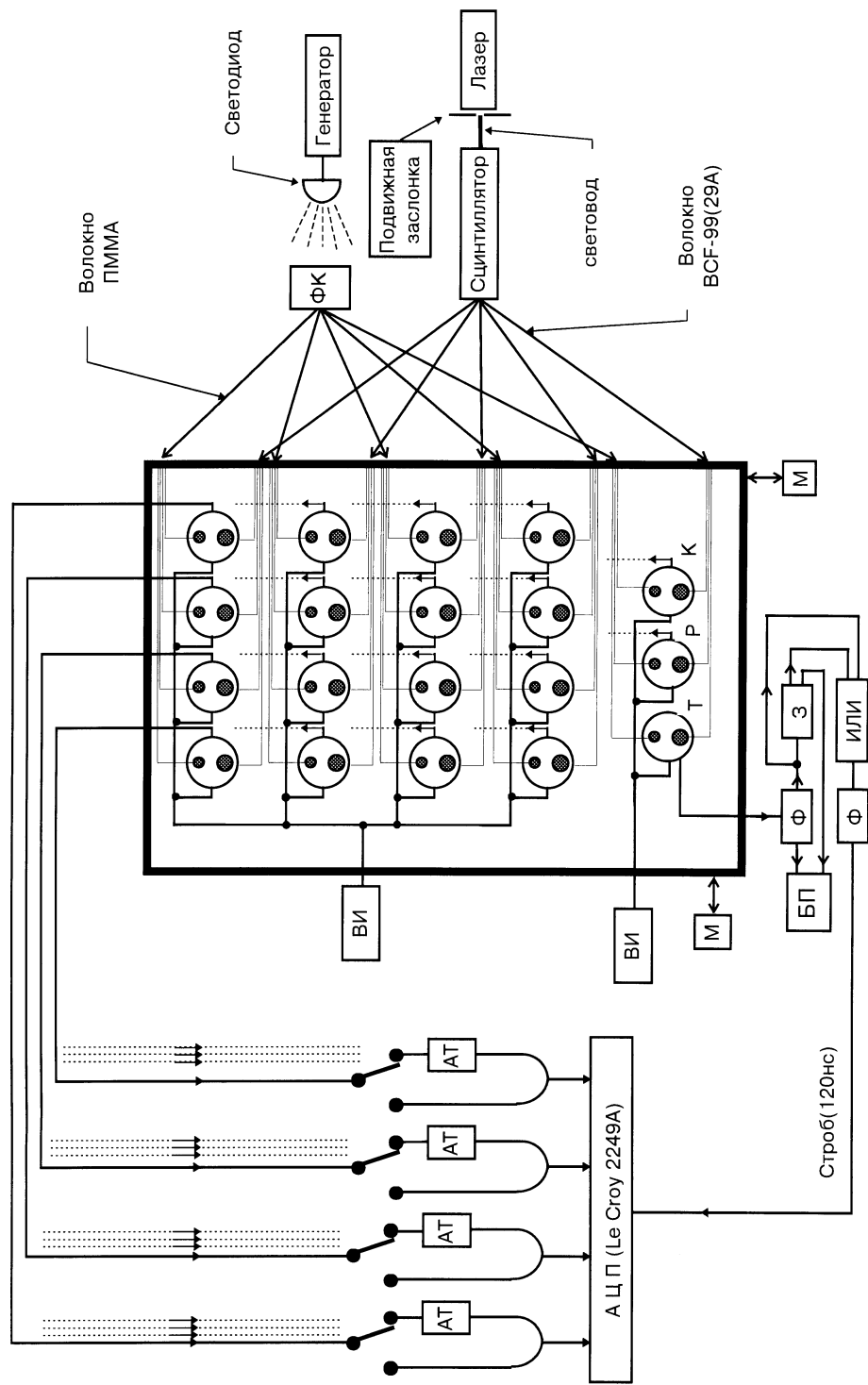


Рис. 1. Схема универсального автоматизированного стенда для изучения характеристик фотоумножителей: ФК — ослабитель света с набором нейтральных светофильтров; М — шаговые двигатели; ВИ — источники высокого напряжения; АТ — аттенуаторы; АЦП — амплитудно-цифровой преобразователь; БП — блок прерываний; Ф — формирователь; З — задержка; Т — триггерный ФЭУ; Р — опорный ФЭУ; К — калибровочный ФЭУ.

Подвижная заслонка, связанная с микро мотором и расположенная после кварцевой линзы, открывает/закрывает доступ лазерного света в передающий световод.

Делители высокого напряжения питания измеряемых и вспомогательных ФЭУ изготовлены на дискретных компонентах и расположены на двух отдельных платах. Использовались "неравномерные" делители, схема которых представлена на рис.2. Каждая плата делителей запитывалась от собственного высокостабильного источника высокого напряжения (ВИ). *0.5cm

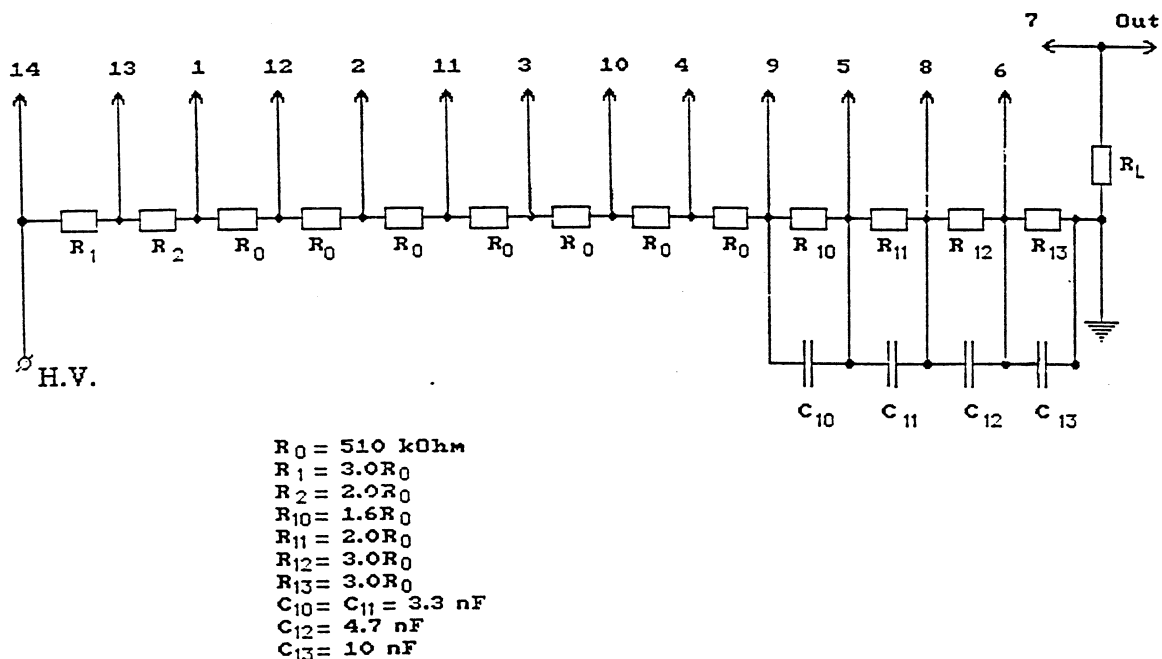


Рис. 2. Схема делителя высокого напряжения для ФЭУ-115М.

Для измерения амплитуд токовых импульсов с ФЭУ использовался зарядочувствительный АЦП LeCroy 2249А. В связи с тем что данный тип АЦП не обеспечивает необходимого динамического диапазона для измеряемых сигналов, использовались управляемые аттенюаторы (АТ) с коэффициентом ослабления 15. Блок прерываний (БП) обеспечивает синхронизацию считывания информации.

Все узлы стенда — шаговые двигатели М, источники высокого напряжения ВИ, генератор Г, аттенюаторы АТ, ослабитель света ФК и заслонка лазерного света — управляются программно с помощью компьютера. Разработанное программное обеспечение позволяет проводить измерение основных характеристик фотоумножителей — квантовой эффективности, усиления, линейности, геометрической неоднородности фотокатода — в полностью автоматическом режиме. При этом на экран дисплея компьютера выводится в виде графиков и гистограмм необходимая оперативная информация об измеряемых параметрах ФЭУ.

2. Измерение линейности и усиления ФЭУ

Для измерения предела линейности выходного импульсного анодного тока и усиления фотоумножителей в качестве импульсного источника света использовался только светодиод HLMA-CPOO, “поджигаемый” импульсами от генератора Г. Доступ света от лазера к фотоумножителям закрыт. На подготовительном этапе измерений производится включение источников питания фотоумножителей, позиционирование торцов светоподводящих ПММА-волокон по центру фотокатода каждого ФЭУ и выбор светофильтра с необходимым коэффициентом пропускания. Первоначальное значение напряжения питания ФЭУ устанавливается равным 1600 В.

После выдержки в течение 90 секунд, необходимой для стабилизации режима работы фотоумножителей, измеряются средние значения амплитуд сигналов ФЭУ при статистике 40000 событий. Затем происходит смена светофильтра на другой, у которого пропускание в два раза выше, и после такой же временной выдержки повторяются измерения амплитуд. Подобная процедура со сменой светофильтров повторяется 10 раз с увеличением первоначального значения напряжения на 40 В при каждом шаге. После завершения данного цикла измерений для каждого ФЭУ при каждом значении высокого напряжения вычисляется отношение амплитуд сигналов для различных световых потоков. Используя линейный фит, определяют амплитуду выходного импульсного тока, при котором это отношение отличается более чем на 2% от первоначального значения.

Распределение по пределу линейности выходного импульсного тока для ФЭУ-115М показано на рис.3. Оно не является гауссовым и имеет длинный “хвост” в область больших токов. Максимум распределения соответствует амплитуде тока 80 мА при среднем значении 92 мА. Нелинейность отдельных образцов ФЭУ-115М вплоть до токов 200 мА составляет менее 2%.

Данные об амплитудах сигналов для ослабленного светового потока, полученные в описанном выше цикле измерений, используются и для определения параметров усиления каждого ФЭУ. Зависимость усиления фотоумножителя от напряжения питания параметризовалась функцией $A = C \times (V/V_0)^k$ при $V_0=1$ kV.

На рис.4 приведены распределения значений величины **K** для выбранного нами типа делителя напряжения. Физический смысл этого параметра заключается в том, что он определяет “эффективное число динодов” фотоумножителя для равномерного делителя напряжения. Поскольку при измерениях был использован неравномерный тип делителя, то среднее значение величины **K** отличается от числа динодов ФЭУ-115М, равного 12. Дисперсия величины **K** обусловлена технологическими причинами производства: разницей в коэффициентах вторичной эмиссии динодов, неполной идентичностью фокусирующей системы различных экземпляров фотоумножителей, а также разбросом параметров используемых делителей. Полный цикл измерения линейности и параметров усиления ФЭУ-115М занимает около 35 минут.

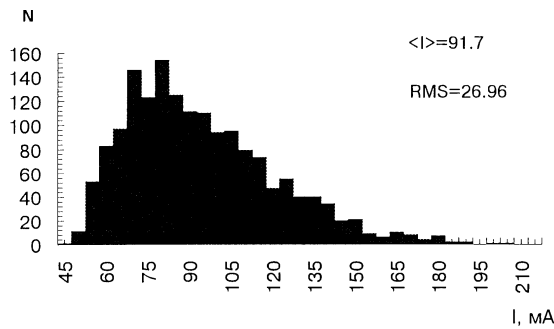


Рис. 3. Распределение по пределу линейности выходного импульсного тока для ФЭУ-115М.

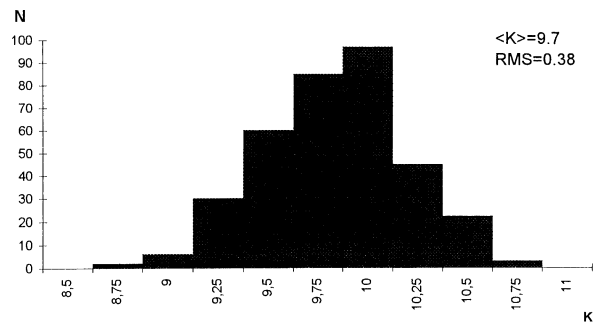


Рис. 4. Распределение по “эффективному числу динодов” ФЭУ-115М.

3. Измерение геометрической неоднородности чувствительности фотокатода

Измерение геометрической неоднородности чувствительности фотокатода ФЭУ проводилось методом сканирования выбранной области входного окна фотоумножителей световым пятном от ПММА-волокон диаметром 1 мм. В качестве источника света при данных измерениях использовался только светодиод.

В серийных измерениях неоднородность фотокатода определялась в центральной области входного окна размером 10×10 мм. Сканирование осуществлялось с шагом 1 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В каждой точке измерялись средние значения амплитуд сигналов ФЭУ при статистике 2000 событий. По завершении сканирования для каждого ФЭУ находилось среднее значение A отклика фотоумножителя по точкам сканирования и среднеквадратичное отклонение σ . В качестве меры неоднородности фотокатода использовалось отношение σ/A . Распределение данной величины для партии измеренных ФЭУ-115М представлено на рис.5.

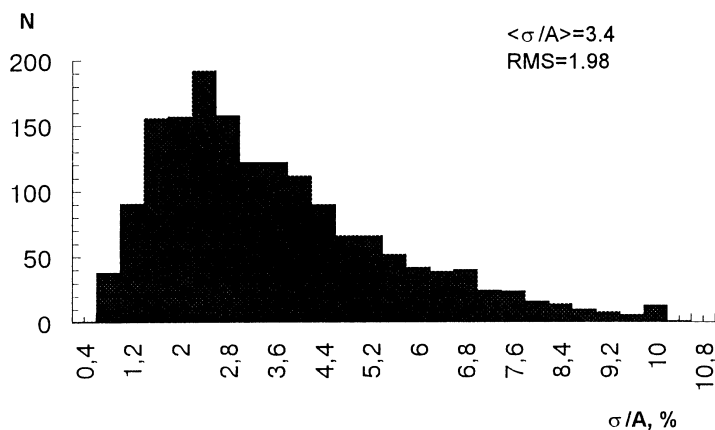


Рис. 5. Распределение по неоднородности фотокатода ФЭУ-115М.

Измерение геометрической неоднородности чувствительности фотокатода занимает менее 5 минут.

4. Измерение квантовой эффективности

Измерение интегральной квантовой эффективности ФЭУ-115М для спектра высвечивания волокна ВСФ-99(29А) осуществлялось методом сравнения отклика измеряемого фотоумножителя с откликом калибровочного ФЭУ с известной спектральной квантовой чувствительностью фотокатода. При данных измерениях в качестве источника света использовался только лазер. Засветка поверхности фотокатода каждого ФЭУ производилась равномерным световым пятном диаметром 10 мм.

Величина интегральной квантовой эффективности ФЭУ находилась из соотношения

$$QE_{test} = QE_{cal} \times \frac{N_{test}}{N_{cal}} \times P, \quad (1)$$

где QE_{test} , QE_{cal} — квантовые эффективности измеряемого и калибровочного фотоумножителей соответственно; N_{test} , N_{cal} — число фотоэлектронов для измеряемого и калибровочного ФЭУ соответственно; $P = S_{cal}/S_{test}$ — корректирующий множитель, учитывающий разницу в световых потоках S для калибровочного и измеряемых фотоумножителей.

Число фотоэлектронов $N^{ph.e.}$ определяется из ширины амплитудных распределений сигналов ФЭУ по формуле

$$N^{ph.e.} = A/\sigma, \quad (2)$$

где σ — дисперсия; A — среднее значение амплитудного распределения. Эти величины находились из фита экспериментальных распределений функцией Гаусса. Измерение средних значений амплитуд сигналов ФЭУ происходило при статистике 10000 событий. Значения амплитуд измеряемых и калибровочного фотоумножителей нормировались на величину амплитуды опорного ФЭУ. Корректирующие множители P для каждого посадочного места тестируемых фотоумножителей были измерены (и периодически контролировались) с помощью одного ФЭУ.

Интегральная квантовая эффективность ФЭУ представляет собой свертку спектральной квантовой чувствительности фотокатода с отнормированным спектром высвечивания волокна ВСФ-99(29А). Для калибровочного ФЭУ-115М была определена интегральная квантовая эффективность $QE_{cal} = 10,5\%$. На рис.6 показаны спектральные чувствительности фотокатодов двух экземпляров ФЭУ-115М, один из которых использовался как калибровочный¹.

Из сравнения спектральных чувствительностей видно, что они различаются не только по величине, но и по форме. На этом же рисунке показан спектр высвечивания спектросмещающего волокна ВСФ-99(29А), измеренный в работе [3], который использовался для нахождения QE_{cal} .

¹Измерения спектральной чувствительности проведены фирмой Hamamatsu.

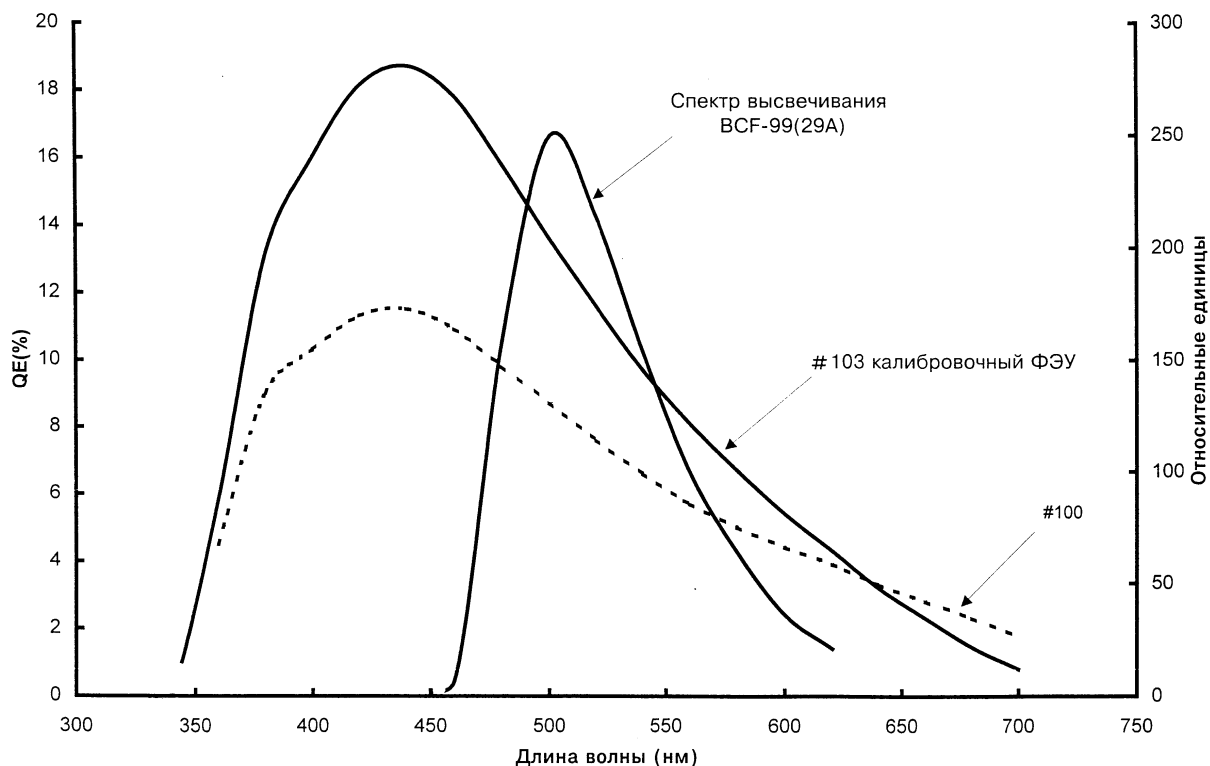


Рис. 6. Спектры квантовой чувствительности для двух экземпляров ФЭУ-115М и спектр высвечивания волокна BCF-99(29A).

На рис.7 представлены: а) распределение по квантовой эффективности фотоумножителей ФЭУ-115М при длине волны света $\lambda=500$ нм (измерения проведены на заводе-изготовителе МЭЛЗ); б) распределение по интегральной квантовой эффективности ФЭУ-115М в диапазоне спектра высвечивания волокна BCF-99(29A); в) корреляционная зависимость измерений а) и б). Среднее значение квантовой эффективности ФЭУ-115М при длине волны света $\lambda=500$ нм составляет 14,8%, а среднее значение интегральной квантовой эффективности — 13,6%.

Измерение квантовой эффективности ФЭУ-115М занимает около 2 минут.

Заключение

На специально созданном автоматизированном стенде были измерены основные характеристики модернизированных фотоумножителей ФЭУ-115М, которые будут использоваться в качестве фотоприемников в PbSc-калориметре установки ФЕНИКС (RHIC, USA).

Полученные значения — средняя квантовая эффективность 13,6%, минимальный (на уровне 2%) предел линейности выходного импульсного тока 40 мА, среднее значение линейности 92 мА, средняя геометрическая неоднородность чувствительности фотокатода в центральной области (10×10) мм² 3,4% — удовлетворяют требованиям для точностных характеристик PbSc-калориметра установки ФЕНИКС.

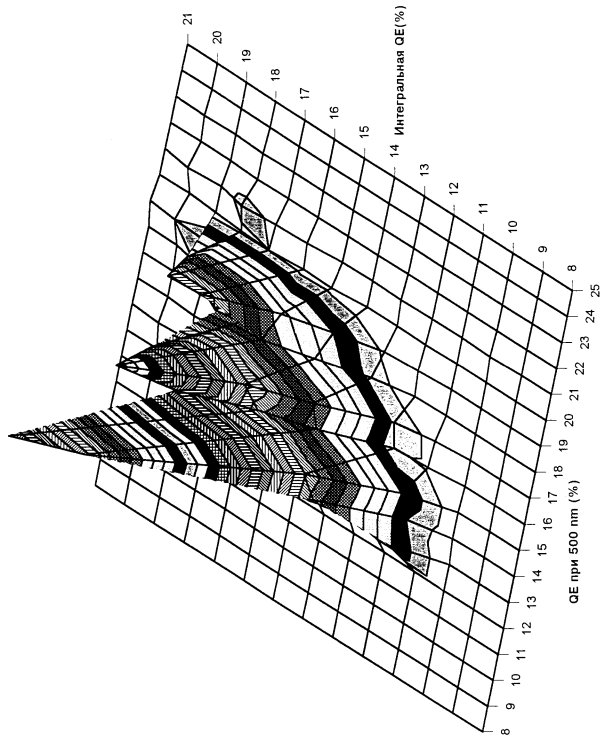
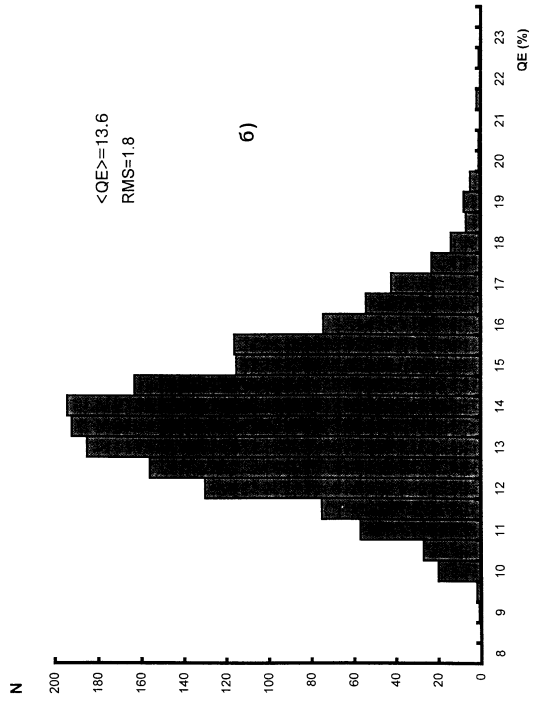
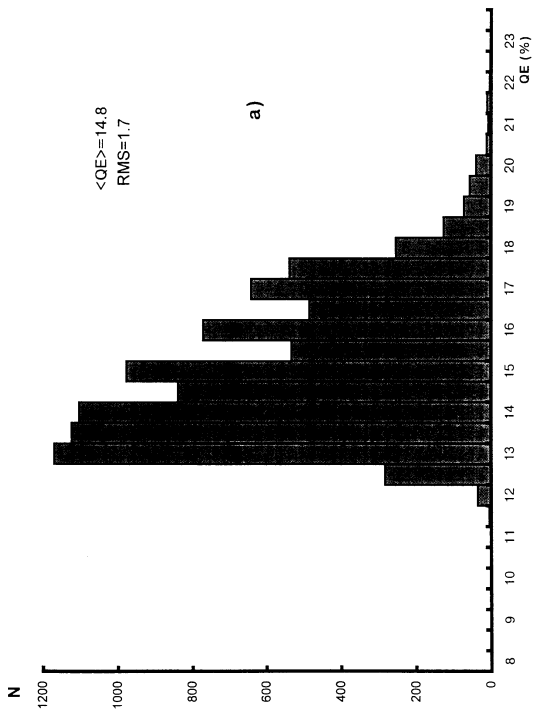


Рис. 7. Распределение по квантовой чувствительности ФЭУ-115М: а) при длине волны света $\lambda = 500$ нм; б) в диапазоне спектра высвечивания волокна ВCF-99(29А); в) корреляционная зависимость измерений квантовой чувствительности при длине волны света $\lambda = 500$ нм и в диапазоне спектра высвечивания волокна ВCF-99(29А).

Список литературы

- [1] PHENIX Conceptual Design Report. BNL, USA, 1993.
- [2] Фотоэлектронные умножители. Внешторгиздат. Изд. № 8287М. — Москва, 1984.
- [3] Беликов С.В., Гутников Ю.Е., Денисов А.Г. и др. — Препринт ИФВЭ 95-118. Протвино, 1995.
- [4] Беликов С.В., Гутников Ю.Е., Денисов А.Г. и др. — Препринт ИФВЭ 95-91. Протвино, 1995.

Рукопись поступила 30 мая 1996 г.

С.В.Беликов и др.

Характеристики фотоумножителей ФЭУ-115М для электромагнитного калориметра установки ФЕНИКС.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 4.06.96. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.
Печ.л. 1,25. Уч.-изд.л. 0,96. Тираж 240. Заказ 677. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

