

ДОКЛАД

*С. А. Белянченко , В.А. Ильевский (ООО «МЭЛЗ ФЭУ» г.Москва)
Б.К Лубсандорджиев (ИЯИ, г.Москва)
В.И. Рыкалин (ИФВЭ, г.Протвино)*

**«Российские
сцинтилляционные ФЭУ –
разработка и производство
МЭЛЗ»**



- ООО «МЭЛЗ ФЭУ» занимается разработкой и серийным выпуском различных типов ФЭУ, как пороговых, имеющих высокую чувствительность и скорость счёта импульсов, так и спектрометрических, обладающих низким уровнем шума и отличным энергетическим разрешением и производством электронно-оптических преобразователей (ЭОПов) 2-го, 2+ и 3-го поколений.

- Фотоэлектронные умножители (ФЭУ), применяемые в качестве фотоприёмников, актуальны и по настоящее время. Широкое применение сцинтилляционных блоков детектирования для физики высоких энергий, астрофизики, систем безопасности и медицинской диагностики требуют большого разнообразия типов фотоэлектронных умножителей, как по габаритам, так и по параметрам.



- Одной из последних разработок МЭЛЗа является ФЭУ предназначенный для регистрации наносекундных световых импульсов, генерируемых нейтрино в рабочем объеме детектора глубоководного нейтринного телескопа по проекту KM3Net . Данный фотоумножитель выполнен в стеклооболочке с диаметром рабочей площади фотокатода 3 дюйма (76 мм) и радиусом его кривизны 43,2 мм. Габаритная длина без штырьков 105 мм, внешний диаметр горловины 52 мм.





«МЭЛЗ ФЭУ»

фотоэлектронные умножители

ФЭУ - КМ3Net

**ФЭУ - КМ3Net предназначен для
глубоководного нейтринного телескопа
проекта KM3Net**

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Специализированный фотоэлектронный умножитель
предназначен для глубоководного нейтринного телескопа*

Диаметр фотокатода, мм	76
Материал окна	C52-I стекло
Оптический вход	торцевой
Тип диодной системы	Коробчато-корытообразный
Число диодов	10
Конструктивное оформление	стеклянное, с жесткими выводами
Рабочее положение	Любое
Диаметр баллона, мм, не более	78
Посадочная дырка, мм, не более	105

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ при t=25°C

	Min.	Typ.	Max.
Длина волны, нм	320	-	650
Спектральная чувствительность фотокатода на длине волны 404 нм, мА/В	130	-	-
Напряжение питания при световой чувствительности 100 А/лм, В	-	-	1400
Неоднородность чувствительности по фотокатоду, %	-	-	10
Коэффициент усиления	-	5x10 ⁶	-
Длительность импульса на полувысоте, нс	-	-	3
Квантовая эффективность на длине волны 450 нм, %	-	30	-



«МЭЛЗ ФЭУ»

фотоэлектронные умножители

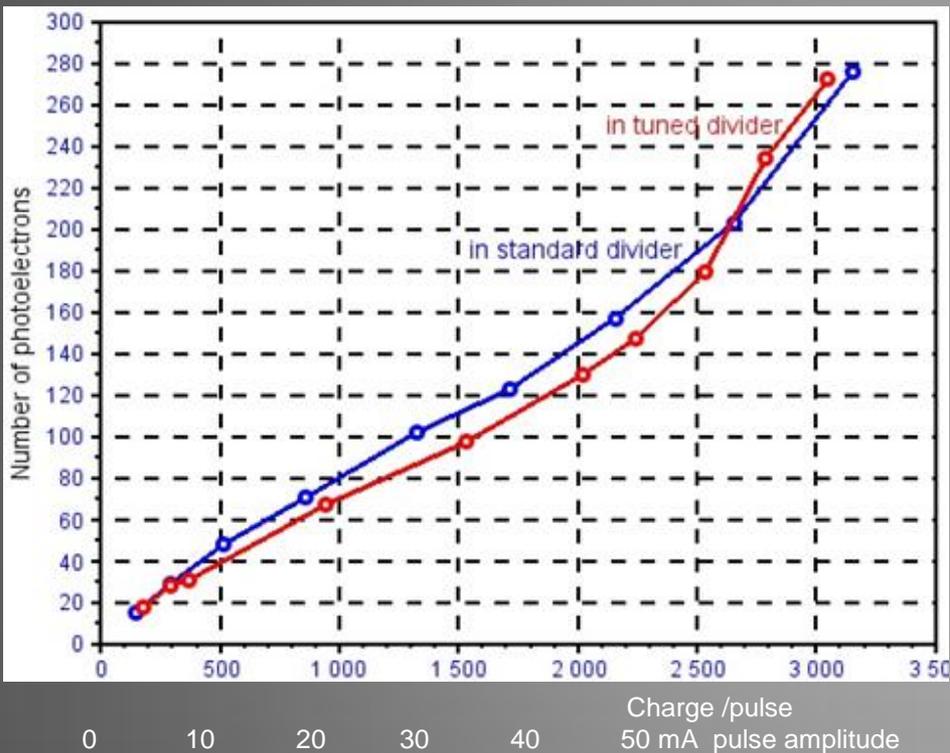
Тел./факс: +7(499) 995-02-02/33

www.melz-feu.ru

E-mail: info@melz-feu.ru

KM3Net PMT.

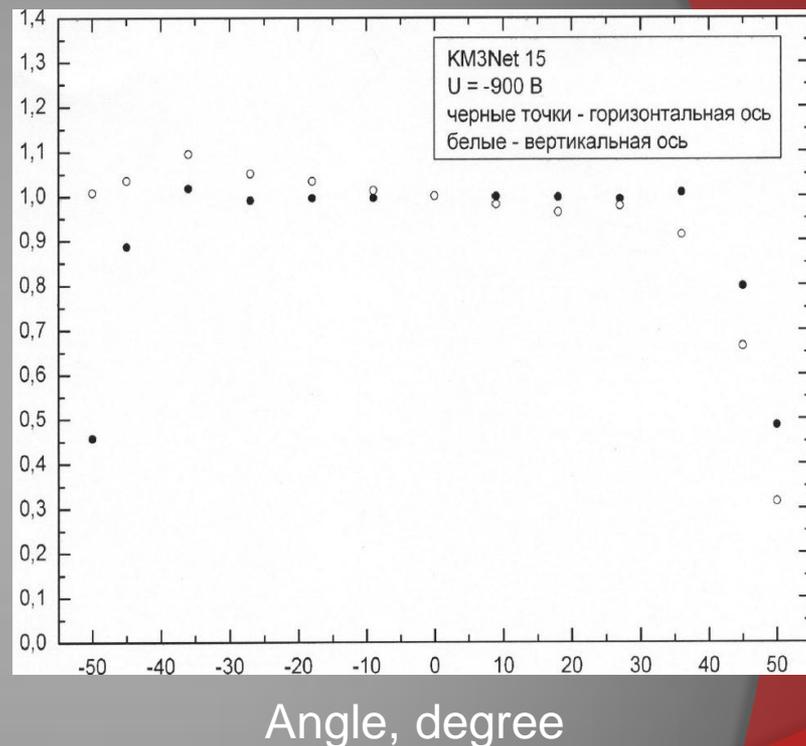
Linearity on anode current in the pulses of 20 ns width



Blue circles – the standard divider, red circle – the tuned divider.

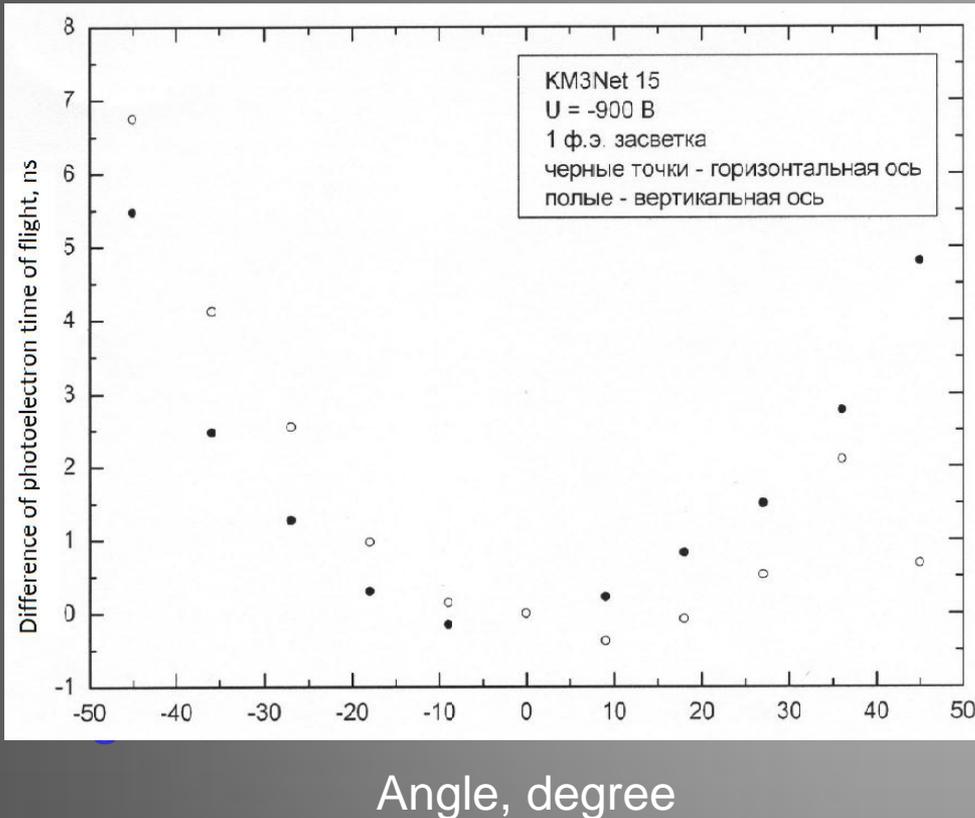
KM3Net PMT.

Angle dependence of collection efficiency of photoelectrons (Bayarto Lubsandorzhev data)



Black points – the dependence corresponded to a line of the cross section in parallel to a direction of the first dynode length, circles – the dependence corresponded to a line of the cross section in perpendicular to this direction.

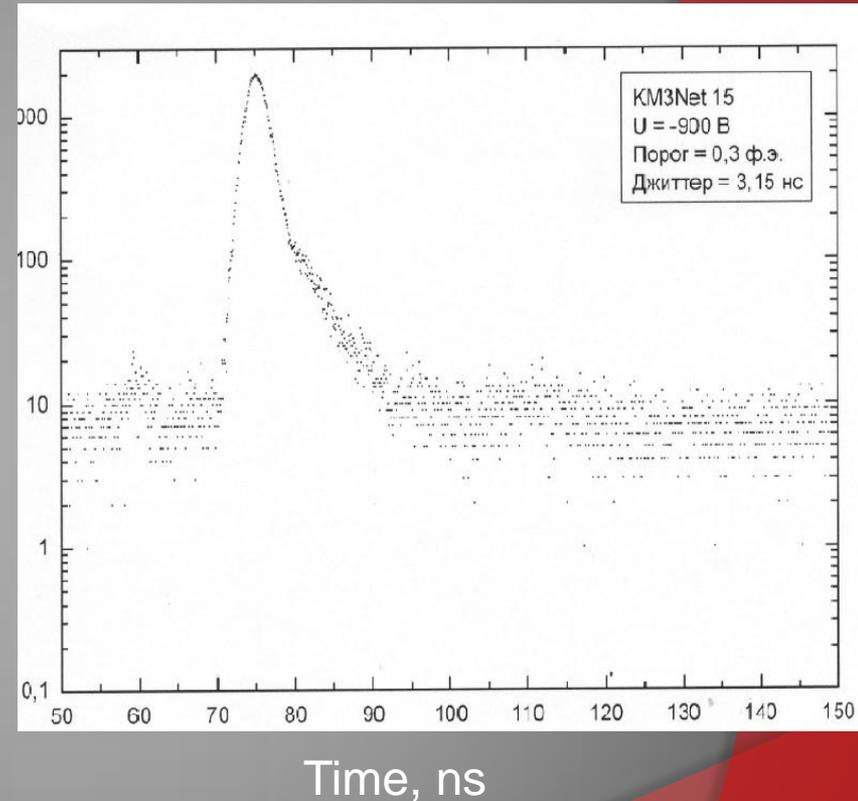
KM3Net PMT. Angle dependence of photoelectron time of flight



Angle, degree

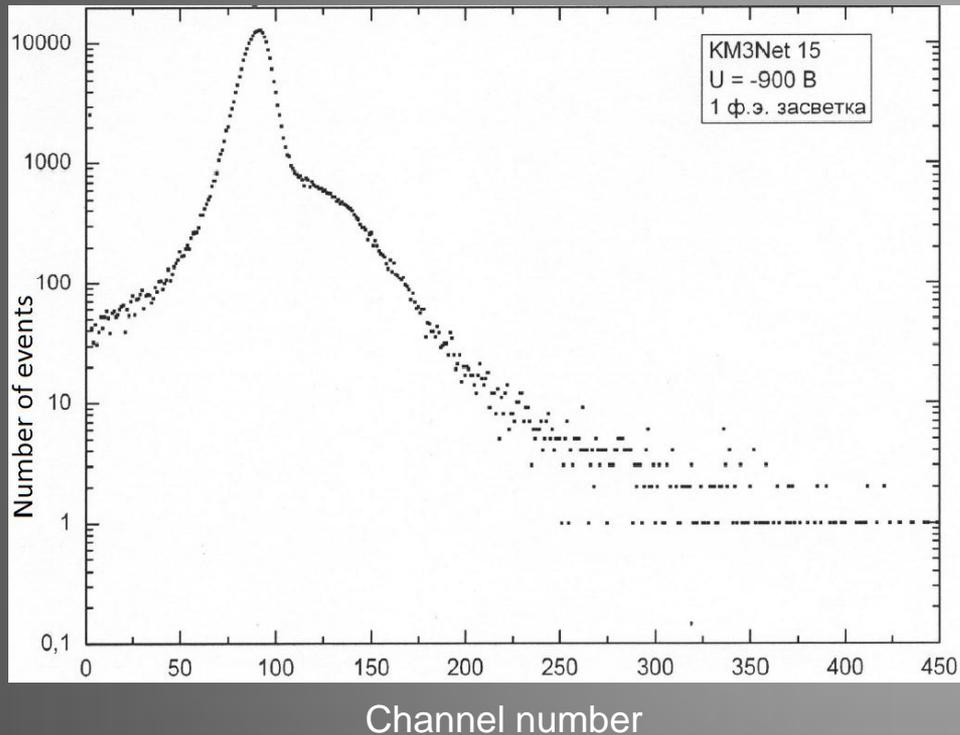
Black points – the dependence corresponded to a line of the cross section in parallel to a direction of the first dynode length, circles – corresponded to a line of the cross section in perpendicular to this direction.

KM3Net PMT. SINGLE PHOTOELECTRON TIME JITTER.



Time, ns

KM3Net PMT. Single photoelectron spectrum.



CONCLUSION:

Designed KM3Net PMT suits to requirements of the experiment.

TASKS FOR THE NEAR FUTURE:

1. To improve single photoelectron spectrum.
2. To increase an output of the of PMT's with the required photocathode sensitivity.

The PMT's with cylindrical photocathodes.



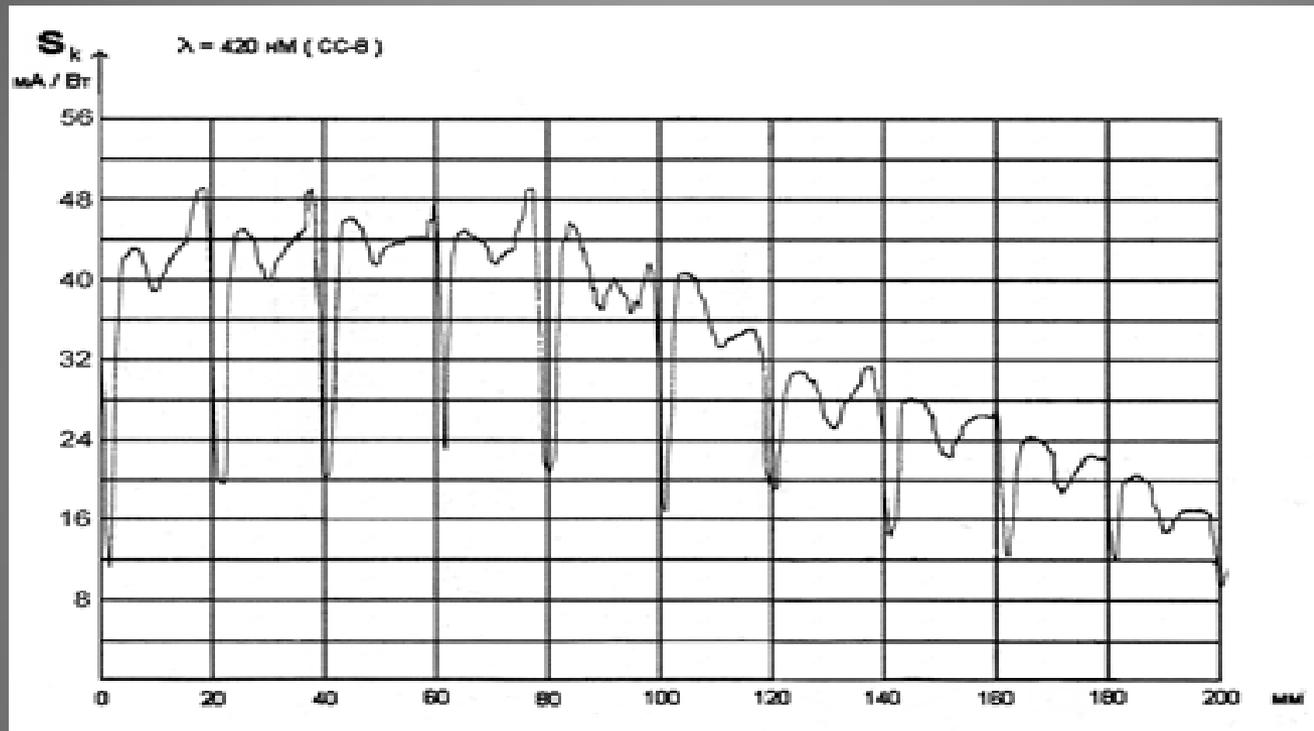
Photo PMT (PMT FEU KF) with sizes of photocathode $\text{Ø}40 \times 200 \text{mm}^2$, evaporated aluminum corbels are intended for leveling electric potential along the photocathode.



Photo of scintillator of $50 \times 200 \times 1000 \text{mm}^3$ with the PMT FEU KF introduced inside the scintillator body.

The PMT's with cylindrical photocathodes.

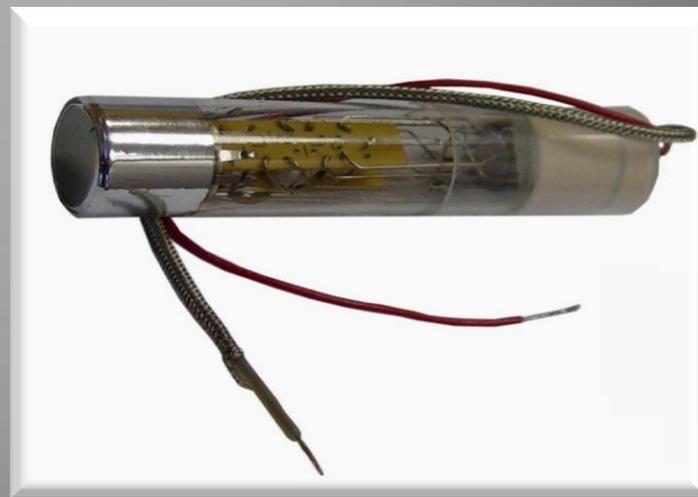
A few samples of PMT FEU KF were made before a termination of the ISTC project. Average on perimeter photocathode blue sensitivity of one from first samples is shown below.



Dependence of blue sensitivity of the FEU KF photocathode on longitudinal coordinate.

At average on all square of photocathode blue sensitivity was near 30mA/W, Registration efficiency of gamma quanta by scintillating counter of $50 \times 200 \times 1000 \text{ mm}^3$ with that PMT and PMT FEU 184 (blue sensitivity 120mA/W) was equal practically. Therefore, at an increase of the blue sensitivity of PMT FEU KF to 120mA/W it is necessary to expect at least the fivefold increase in a quantity of photoelectrons at registration of gamma quanta.

- Представляет интерес для потребителя ФЭУ-86У с залитым компаундом делителем напряжения. Имеет диаметр фотокатода 16 мм при максимальном диаметре 22 мм и массе не более 50г. Световой эквивалент шума темнового тока анода составляет не более 5×10^{-13} лм/Гц^{1/2}, а скорость счёта темновых импульсов на уровне одноэлектронного пика не более 300 1/с, что по всей совокупности параметров позволяет считать ФЭУ-86У лучшим пороговым фотоумножителем выпускающимся в России. Активно используется в портативной аппаратуре контроля воздушной среды в закрытых помещениях.



**MELZ FEU**

Photomultiplier Tubes Manufacturer

Photomultiplier Tube

FEU – 86U

Photomultiplier Tube with 20 mm diameter, 10-stage Box-and-Grid Type, Head-on Sb-Cs Photocathode, Built-in Divider and Magnetic Shield

GENERAL**Application:** scintillation counters and threshold light measurement

Photocathode material	Sb-Cs
Photocathode diameter, mm	16
Window material	UT-49 glass
Optical input	Head-on
Dynode assembly	Box and grid focusing type
Dynode material	Sb-Cs
Number of dynodes	10
Spectral response, nm	250-650
Wavelength of maximum response, nm	440
Design	glass with flexible wires
Working position	any
Bulb diameter, mm, max	20
Bulb height without pins, mm, max	105
Weight, g, max	50

MAIN PARAMETERS at 25 °C

	Min.	Typ.	Max.
Luminous photocathode sensitivity, $\mu\text{A/lm}$	60	80	-
Spectral photocathode sensitivity of photocathode at 410 nm, mA/W	50	75	-
Luminous anode sensitivity, A/lm	-	-	100
Supply voltage, V, max at anode sensitivity 100 A/lm	-	800	1400
Dark anode current after 30 min storage in darkness, nA, at voltage corresponding to anode sensitivity 100 A/lm	-	1	50
Gain	-	1.0×10^6	-
Number of dark current pulses/second after 30 min storage in darkness	-	200	300
Electron transit time, ns	-	15	-
MTBF, hours	-	2000	-

LIMITING VALUES

Maximum supply voltage with the reference to U_{SA} at sensitivity 100 A/lm, not more than 5 min	$1.1 \cdot U_{SA}$
Anode current, mA	0.002
Operating temperature, °C	-60...+60



*Dimensions in millimeters

Также широко используются фотоумножители с диаметром колбы 30 мм (диаметр фотокатода 25 мм), это ФЭУ-85Б и ФЭУ-115М8. Их общей особенностью является наличие бищелочного фотокатода, который позволил улучшить энергетические характеристики изделий. Например ФЭУ-85Б имеет напряжение питания при световой анодной чувствительности 10 А/лм не более 800 В, а при 100 А/лм – не более 1000 В. Энергетическое разрешение с кристаллом NaI (Тl) 25x25 мм, по ^{137}Cs – не более 8,5%, а энергетический эквивалент собственных шумов не более 1 кэВ. По желанию потребителя может выпускаться с делителем напряжения залитым компаундом с диаметром, не выходящим за диаметр колбы 30 мм.





“MELZ FEU”

PMT manufactures

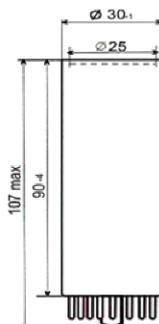
PMT
FEU – 85B

PMT with end optical input:
diameter up to 30 mm

GENERAL

The PMT has been designed to work in scintillation counters and spectrometric devices.

Photocathode material	Sb-K-Cs
Photocathode diameter, mm	25
Window material	C95-2 glass
Optical input	end
Dynode assemble	trough type
Dynode material	Sb-Cs
Number of dynodes	11
Design	glass, with rigid pins
Working position	any
Bulb diameter, mm, max	30
Seated height, mm, max	90
Weight, g, max	50

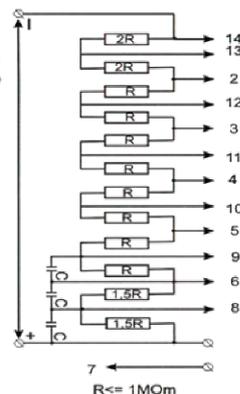
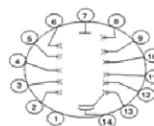


BASE PARAMETERS

Photocathode sensitivity, A/lm	7×10^{-5}
Supply voltage, V, max	
at anode sensitivity 10 A/lm	800
at anode sensitivity 100 A/lm	1000
Dark anode current, A	
at voltage corresponding	
to anode sensitivity 10 A/lm	1×10^{-9}
to anode sensitivity 100 A/lm	1×10^{-8}
Energy resolution for ^{137}Cs , %	8,5
Energy equivalent of inherent noise, keV	
at 25 °C	1
Lifetime, h	
at 25 °C	2000

LIMITATION

Supply voltage, V	1,05 Usa
Usa – voltage corresponding to anode sensitivity 100 A/lm	

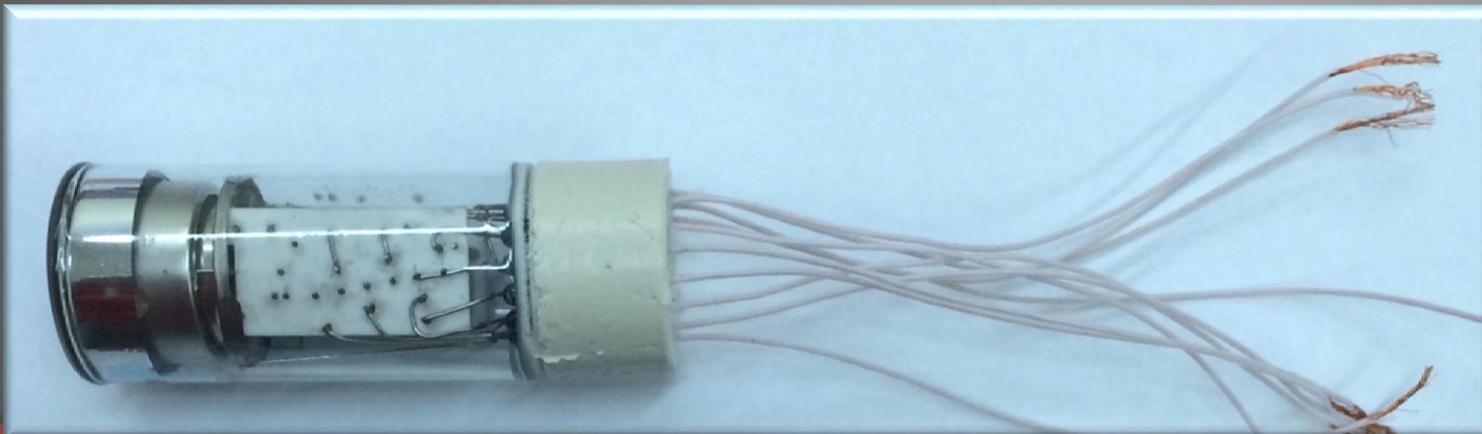


“MELZ FEU”

PMT manufactures

tel./fax: **(499) 995-02-33**
WWW: www.melz-feu.ru
E-mail: info@melz-feu.ru

ФЭУ-115М8 применяется в порталах большой площади для обнаружения радиоактивных объектов в транспортных потоках. При диаметре колбы в 30 мм и посадочной длине не более 67 мм, имеет массу не более 50 г и рабочий диаметр фотокатода не менее 25 мм, что позволяет эффективно собирать свет с большого объёма сцинтиллятора с помощью оптического волокна на фотокатод ФЭУ. При рабочем напряжении 1300-1400 В, имеет энергетический эквивалент собственных шумов не более 6 кэВ и энергетическое разрешение с кристаллом NaI (Тl) 25x25 мм, по ^{137}Cs – не более 10%. Кроме того, он является альтернативой ранее выпускавшимся другим изготовителем ФЭУ-35 и ФЭУ-35-1, т.к. по сравнению с ними обладает большей, чем в 2 раза спектральной чувствительностью на длине волны 410 нм – 5×10^{-2} А/Вт и меньшим рабочим напряжением.





MELZ FEU

Photomultiplier Tubes Manufacturer

Photomultiplier Tube

FEU – 115M8

Photomultiplier Tube with 30 mm diameter, 8-stage Linear-Focusing Type, Head-on Multialkali Photocathode

GENERAL

Application: spectrometric devices in visible and close IR zones

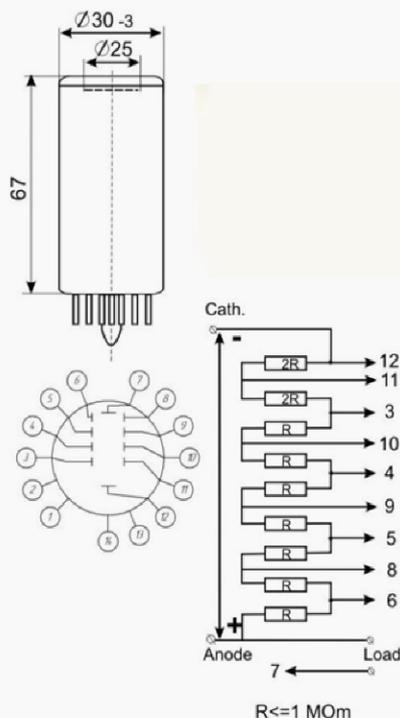
Photocathode material	Sb-K-Na-Cs
Photocathode diameter, mm	25
Window material	C95-2 glass
Optical input	Head-on
Dynode assembly	Linear focusing type
Dynode material	Sb-Cs
Number of dynodes	8
Spectral response, nm	300-850
Wavelength of maximum response, nm	420
Design	glass, with flexible wires
Working position	any
Bulb diameter, mm, max	30
Bulb height without pins, mm, max	67
Weight, g, max	50

MAIN PARAMETERS at 25 °C

	Min.	Typ.	Max.
Luminous photocathode sensitivity, $\mu\text{A/lm}$	90	100	-
Spectral photocathode sensitivity of photocathode at 410 nm, mA/W	50	70	-
Luminous anode sensitivity, A/lm	-	-	30
Supply voltage, V, max at anode sensitivity 30 A/lm	-	1000	1400
Dark anode current after 30 min storage in darkness, nA, at voltage corresponding to anode sensitivity 30 A/lm	-	5	30
Gain	-	10^5	-
Anode pulse rise time, ns	-	3	-
Electron transit time, ns	-	35	-
Energy resolution for ^{137}Cs , NaJ(Tl) $\varnothing 25 \times 25 \text{mm}$, %	-	8	9
Energy equivalent of inherent noise, keV	-	2	6
MTBF, hours		2000	

LIMITING VALUES

Maximum supply voltage with the reference to U_{SA} at sensitivity 100 A/lm	$1.1 \cdot U_{SA}$
Anode current, mA	0.25
Operating temperature, °C	-60...+60



*Dimensions in millimeters

Нельзя не отметить и ФЭУ-184, который уже много лет изготавливает МЭЛЗ и на базе которого разработаны многие его модификации. ФЭУ-184 имеет диаметр колбы 52 мм, рабочий диаметр фотокатода 46 мм, посадочную длину 110 мм и массу не более 120 г. При световой анодной чувствительности 10 А/лм его рабочее напряжение составляет не более 1350 В, а типовое значение

650-750 В, энергетическое разрешение с кристаллом NaI (Тl)40x40 мм, по ^{137}Cs – не менее 7%, по ^{57}Co – не менее 9,6% (типовое значение 8,4 - 8,8%), энергетический эквивалент собственных шумов не более 3 кэВ (типовое значение 0,7 кэВ). Такие же параметры имеет и трехдюймовый фотоумножитель ФЭУ-184ТД. Кроме того разработан вариант в термостойком исполнении ФЭУ-184Т, работоспособный при температуре окружающей среды до 150°C, имеющий при указанной температуре энергетический эквивалент собственных шумов не более 40 кэВ, и уход анодной чувствительности не более 50%.





MELZ FEU

Photomultiplier Tubes Manufacturer

Photomultiplier Tube

FEU – 184

Photomultiplier Tube with 52 mm diameter, 10-stage Box-&-line-Focusing Type, Head-on Bi-alkali Photocathode, γ -ray Detector.

GENERAL

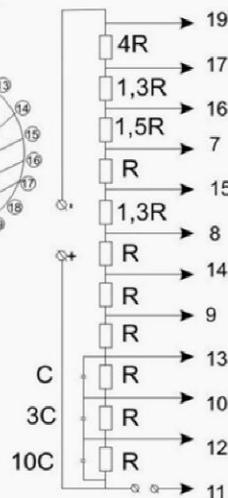
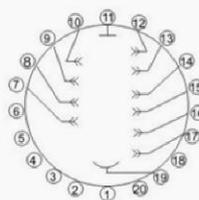
Application: scintillation counter, especially for γ -ray chambers	
Photocathode material	Sb-K- Cs
Photocathode diameter, mm	46
Window material	C-52-1 glass
Optical input	Head-on
Dynode assembly	Box 3 & line 7
Dynode material	Sb-Cs
Number of dynodes	10
Spectral response, nm	300-650
Wavelength of maximum response, nm	420
Design	glass, with rigid pins
Working position	any
Bulb diameter, mm, max	52
Bulb height without pins, mm, max	110
Weight, g, max	120

MAIN PARAMETERS at 25 °C

	Min.	Typ.	Max.
Luminous photocathode sensitivity, μ A/lm	70	100	-
Spectral photocathode sensitivity of photocathode at 410 nm, mA/W	70	90	-
Luminous anode sensitivity, A/lm	8	10	30
Supply voltage, V, max at anode sensitivity 10 A/lm	-	800	1350
Dark anode current after 30 min storage in darkness, nA, at voltage corresponding to anode sensitivity 10 A/lm	-	2	20
Gain	-	2×10^5	-
Anode pulse rise time, ns	-	7	-
Electron transit time, ns	-	50	-
Energy resolution for $^{137}\text{Cs, NaJ(Tl)}\phi 40 \times 40$, %	-	6	7
$^{57}\text{Co, NaJ(Tl)}\phi 40 \times 40$, %	-	8	9,6
Energy equivalent of inherent noise, keV	-	0,7	3
MTBF, hours	-	1000	-

LIMITING VALUES

Maximum supply voltage with the reference to U_{SA} at sensitivity 10 A/lm	$1.1 \cdot U_{SA}$
Anode current, mA	0.002
Operating temperature, °C	-60 60



C = 33 pF R <= 1M Ω m

*Dimensions in millimeters

VOLTAGE DISTRIBUTION RATIO

ООО «МЭЛЗ ФЭУ» также серийно выпускает термостойкие ФЭУ диаметром 20 и 30 мм с рабочими температурами эксплуатации 120, 150 и 200 °С (ФЭУ-102-1, ФЭУ «Усилие», ФЭУ-74А-1, ФЭУ-158 и ФЭУ-158-14).



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ