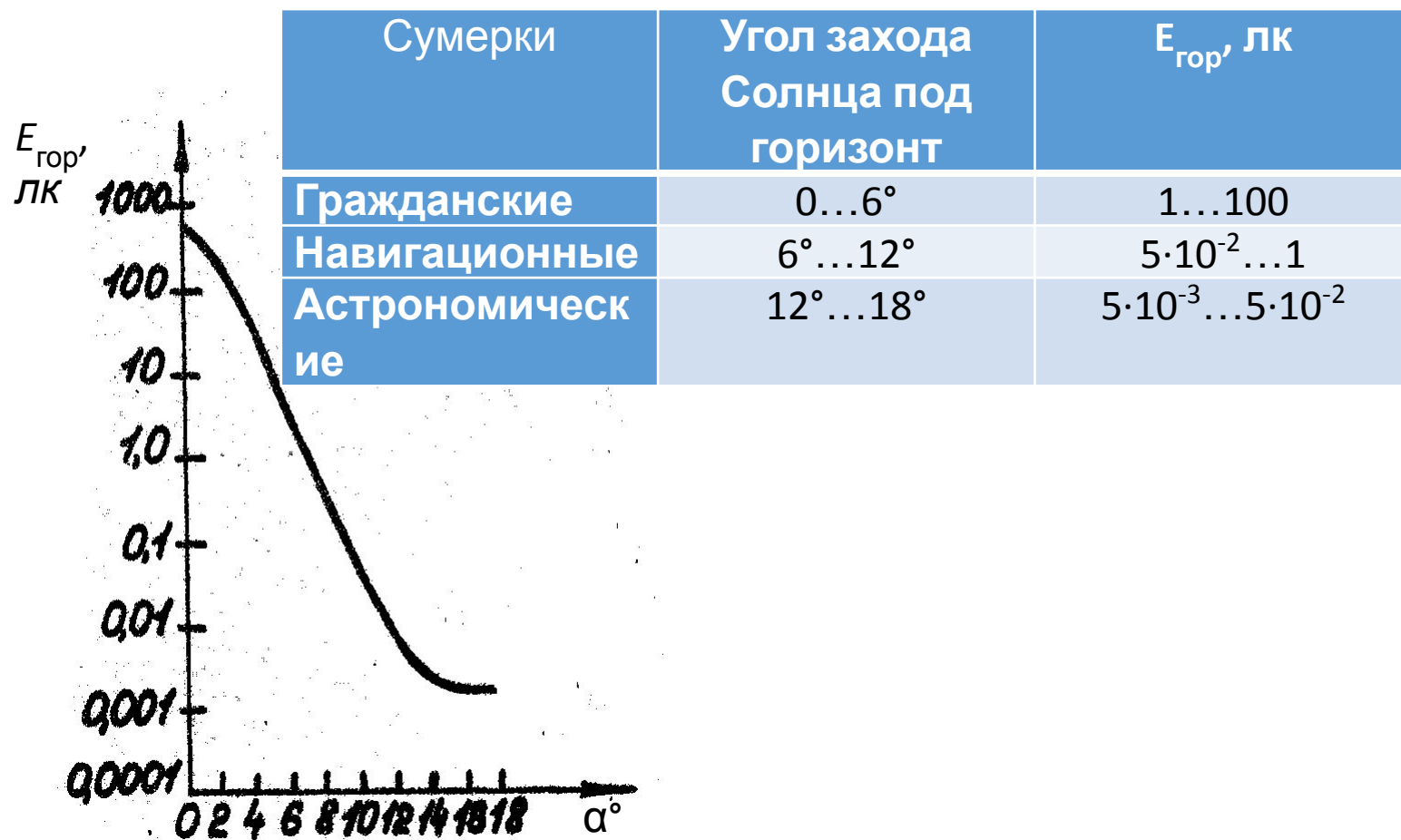
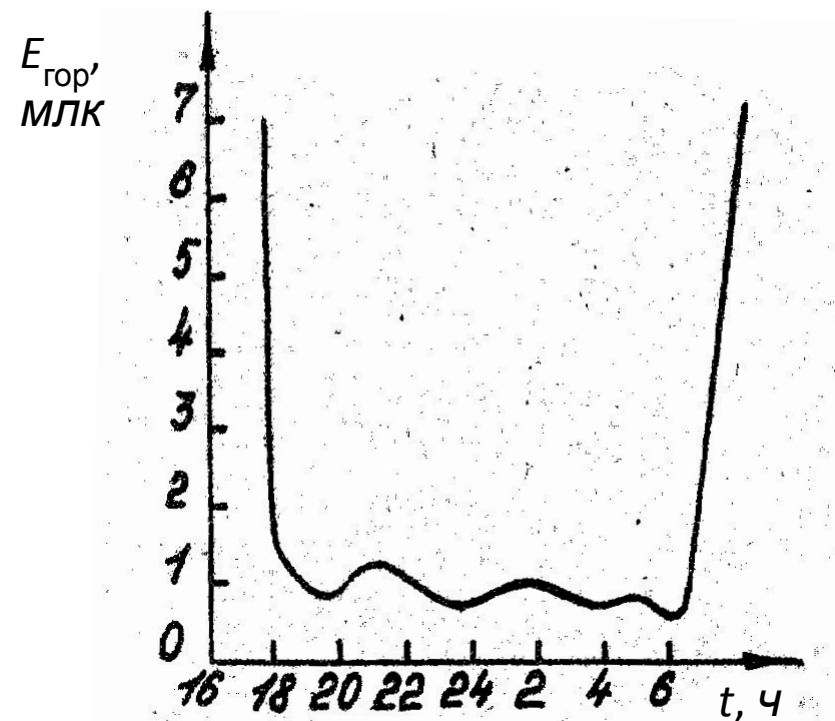


Условия наблюдения

Естественная ночная освещенность (ЕНО)



Безоблачное
небо

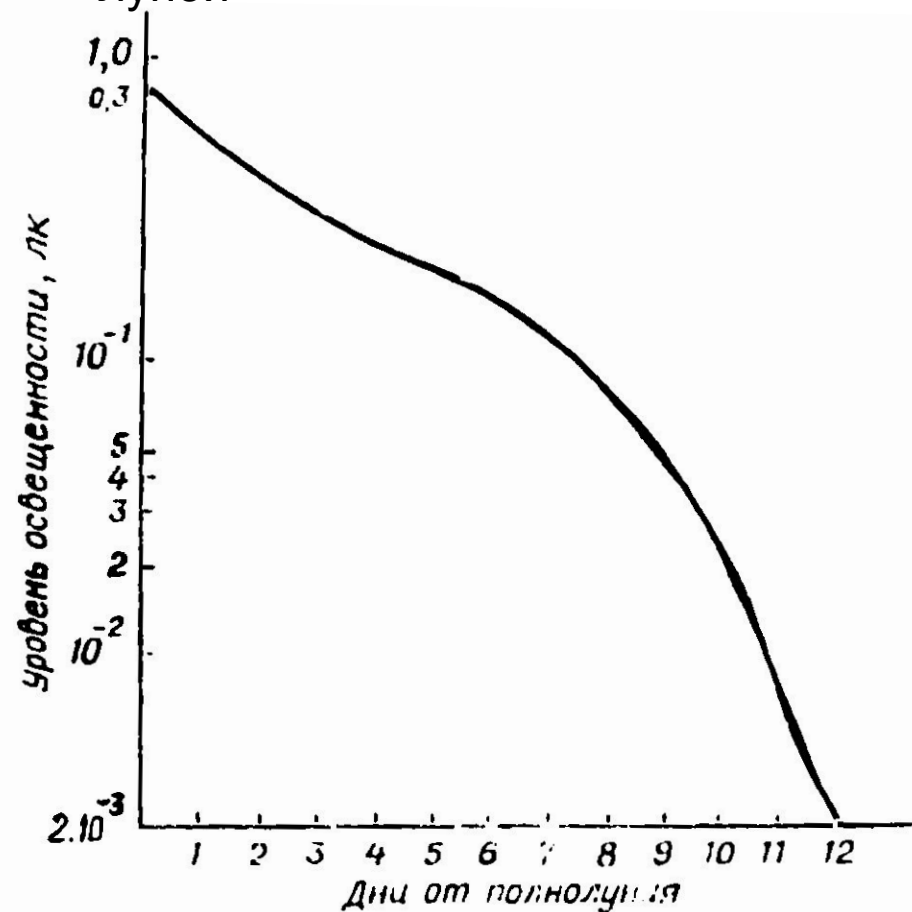


Зима, безоблачное
небо

Условия наблюдения

Естественная ночная освещенность

Освещенность, создаваемая
луной



Диапазон изменения естественной



Условия наблюдения

Естественная ночная освещенность

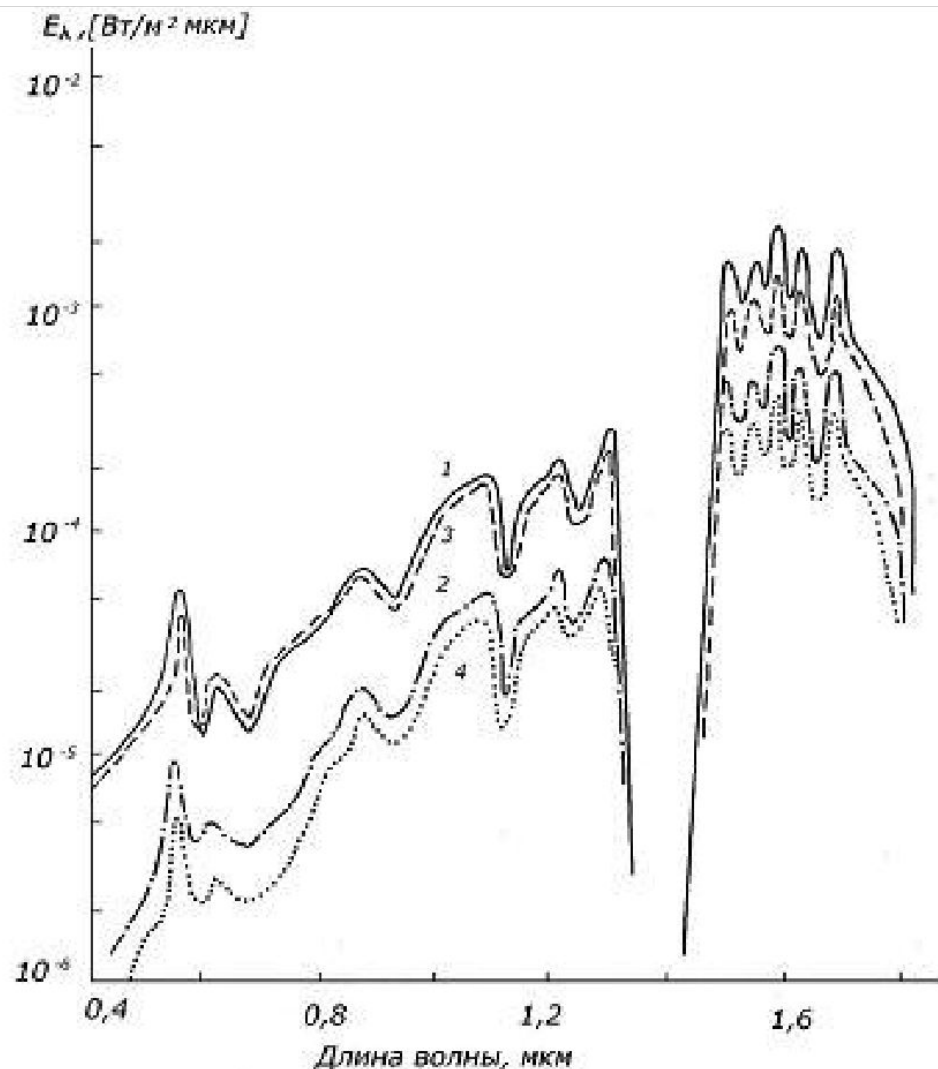
Спектральная плотность облученности от небесного свода
НОЧЬЮ

1 - $E_{\text{гор}} = 1,4 \cdot 10^{-3}$ лк (ясно)

2 - $E_{\text{гор}} = 3,5 \cdot 10^{-4}$ лк (сплошная облачность)

3 - $E_{\text{верт}} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ лк (ясно, снег)

4 - $E_{\text{верт}} = 2,5 \cdot 10^{-4}$ лк (сплошная облачность, зеленый фон)

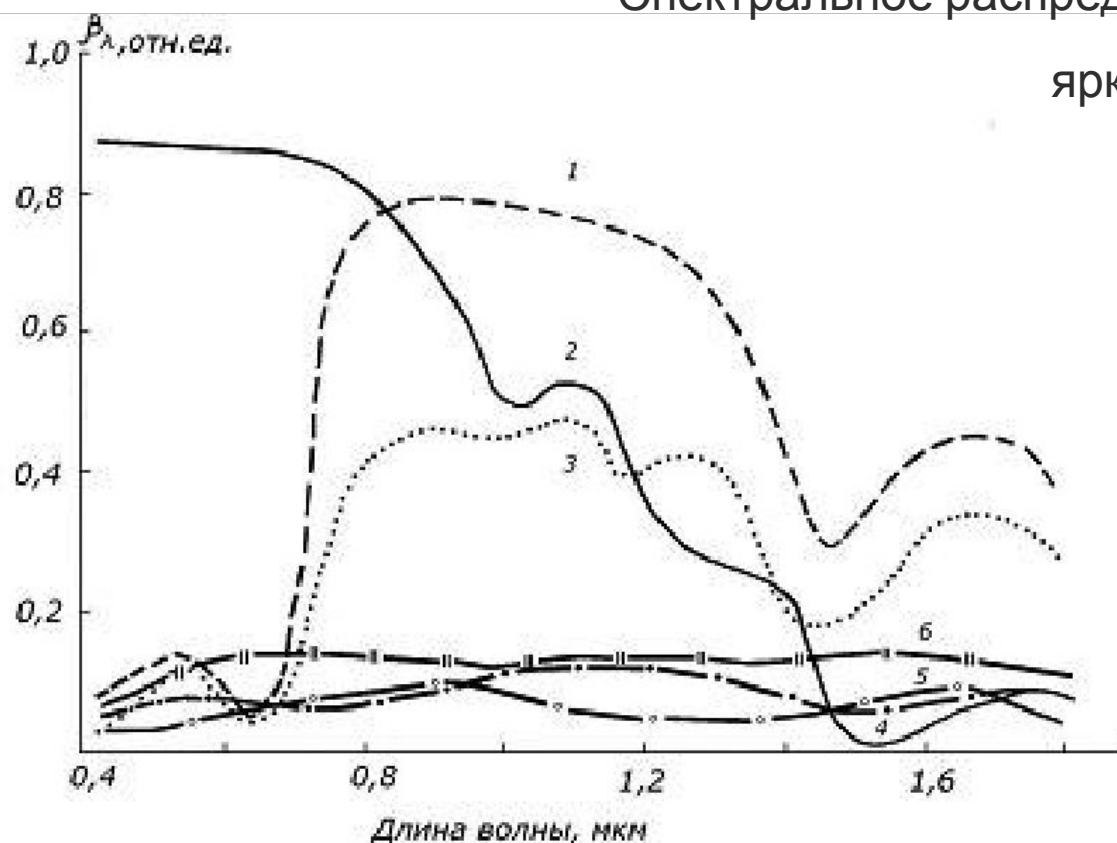


Условия наблюдения

Спектральные характеристики объектов и фонов

Спектральное распределение коэффициентов

яркости



1 — зеленая трава

2 — снег

3 — хвойный лес

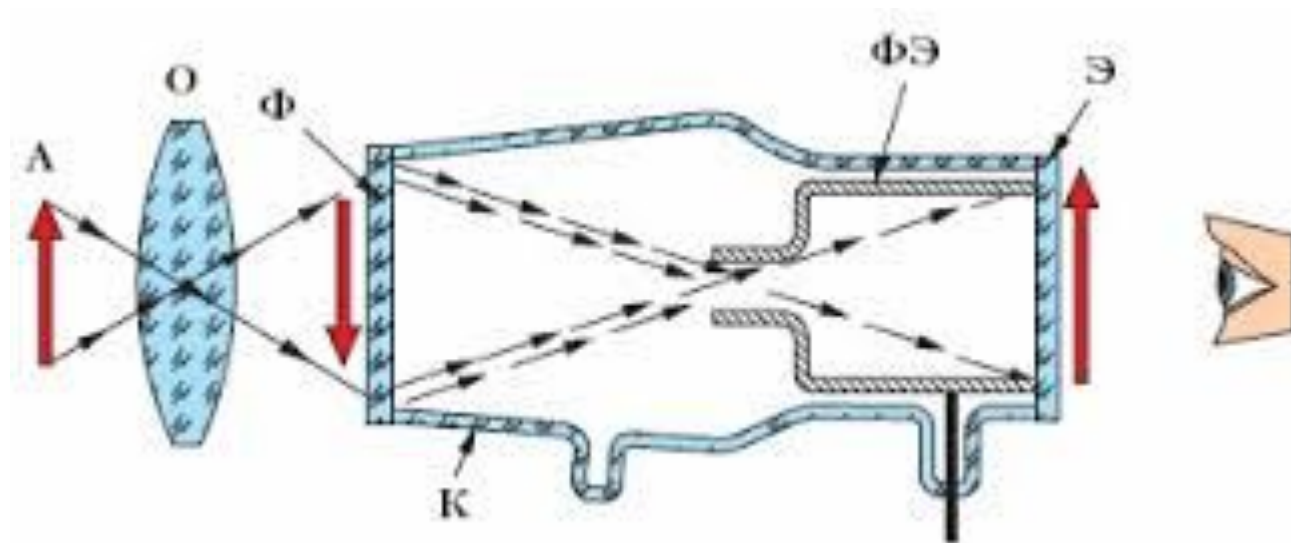
4 — чернозем

5 — американская краска для военной техники

6 — краска НПФ-10

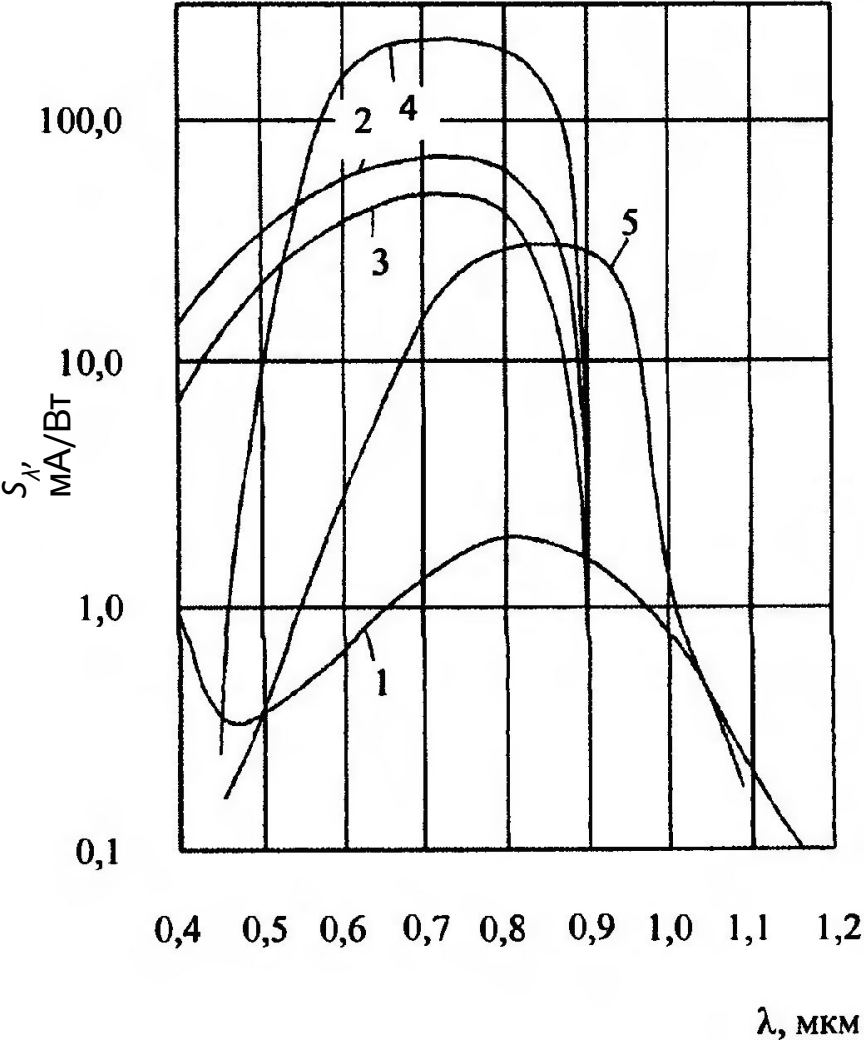
Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)

ЭОП 0-го поколения



Электронно-оптические преобразователи

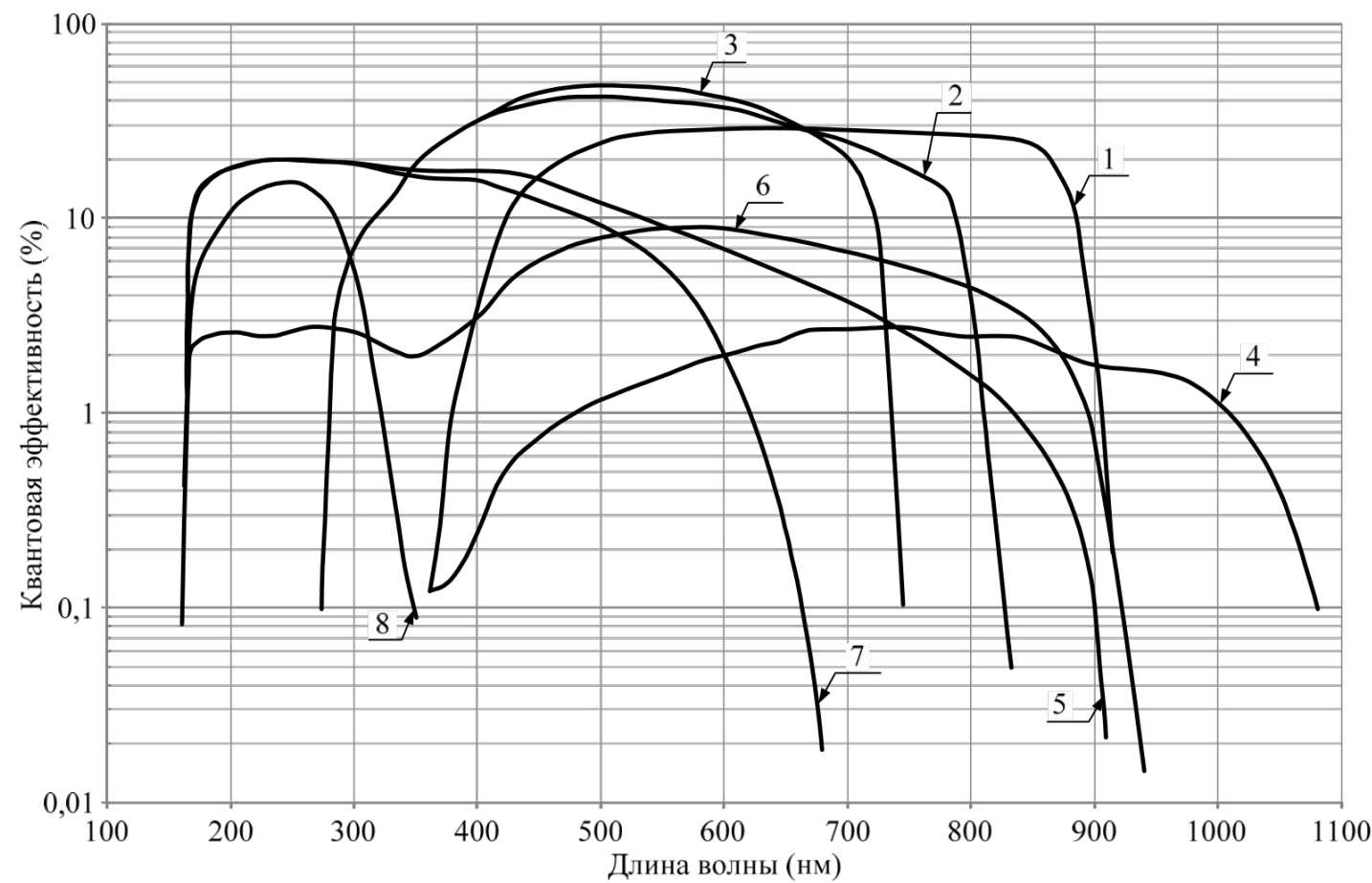
Спектральная чувствительность фотокатодов



	Фотокатод	Интегральная чувствительность, мкА/лм	Плотность темного тока, А/см ²
1	Серебряно-кислородно-цезиевый (S-1)	20...70	$10^{-13} \dots 10^{-10}$
2	Улучшенный многощелочной (Super S-25)	до 650	$10^{-17} \dots 10^{-16}$
3	Многощелочной (S-25)	250...350	$10^{-17} \dots 10^{-16}$
4	На основе GaAs	900...1600	10^{-13}
5	На основе GaAs:In	1500	10^{-13}

Электронно-оптические преобразователи

Квантовая эффективность фотокатодов



	Материал фотокатода	Материал входного окна
1	GaAs (арсенид галлия)	Боросиликатное стекло
2	Улучшенный красный GaAsP (галлия арсенид-фосфид)	Боросиликатное стекло
3	GaAsP (галлия арсенид-фосфид)	Боросиликатное стекло
4	InGaAs (индий галлий арсенид)	Боросиликатное стекло
5	Многощелочной	Синтетический диоксид кремния
6	Улучшенный многощелочной	Синтетический диоксид кремния
7	Бищелочной (сурьмяно-рубий цезия Sb-Rb-Cs, сурьма-калий-цезий Sb-K-Cs)	Синтетический диоксид кремния
8	Теллурид цезия	Синтетический диоксид кремния

Электронно-оптические преобразователи

Характеристики фотокатодов

Шумовая характеристика

$$\overline{I_{\text{ш}}^2} = 2eI_{\text{тэ}}\Delta f$$

$I_{\text{тэ}}$ – ток термоэмиссии

Δf – полоса частот измерительного устройства

Частотная характеристика

$$|T(f)| = \left[1 + (2\pi f\tau_{\text{фк}})^2\right]^{-0,5}$$

$$\tau_{\text{фк}} = 10^{-9} \text{ с}$$

Температурная характеристика

$$j_{\text{тэ}} = aT^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

Оптические характеристики

$$\tau(\lambda), \rho(\lambda), \alpha(\lambda)$$

Геометрические

характеристики

Площадь, толщина

Временные характеристики

Старение, срок службы,
сохраняемость при
различных
условиях

Механические свойства

Виброустойчивость, ударопрочность и
т.д.

Электронно-оптические преобразователи

Фокусирующие системы

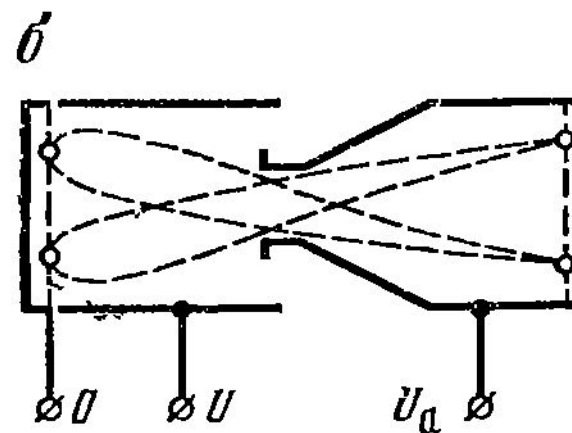
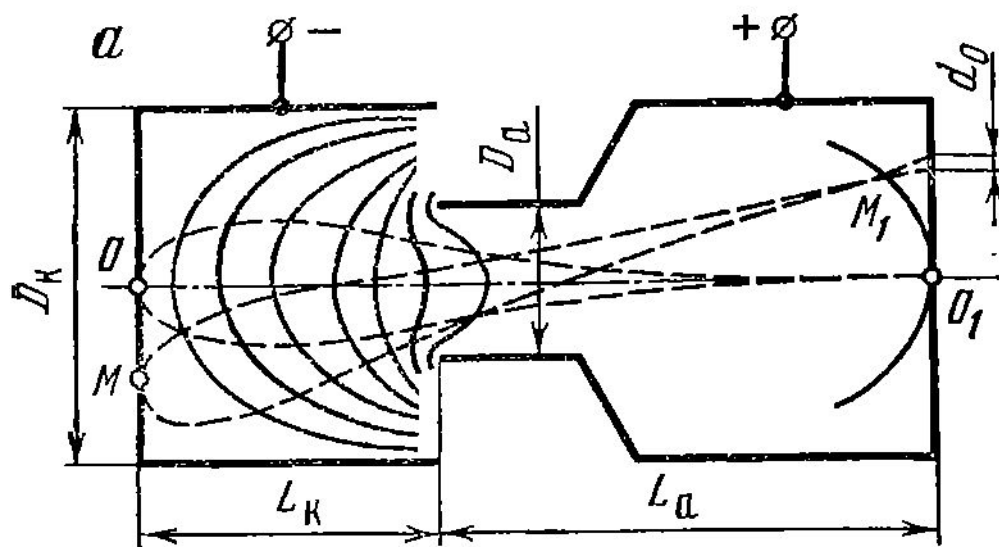
Назначение

- перенос изображения из области фотокатода на экран
- значительное ускорение электронов

Трудности реализации

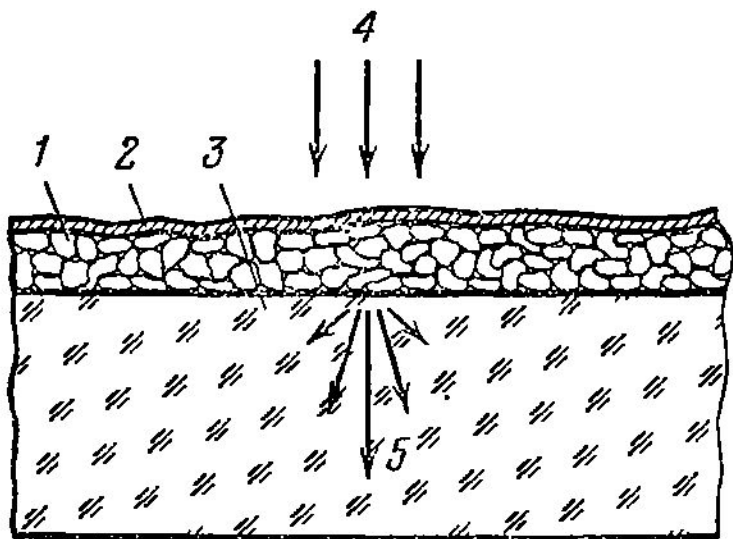
- отображение больших поверхностей
- разброс направлений вылета фотоэлектронов

$$n(\alpha) \approx n_0 \cos \alpha$$
- Разброс начальных скоростей (энергий) фотоэлектронов



Электронно-оптические преобразователи

Катодолюминесцентные экраны



- 1 – кристаллы люминофора
- 2 – алюминиевая пленка
- 3 – стеклянное окно
- 4 – падающий электронный пучок
- 5 – излучение люминофора

$$L_{\text{ЭК}} = aj(U - U_{\text{пор}})^{\alpha} \approx ajU^2$$

$$\eta_{\text{св}} = \frac{\Phi_{\text{ЭК}}}{IU} =$$

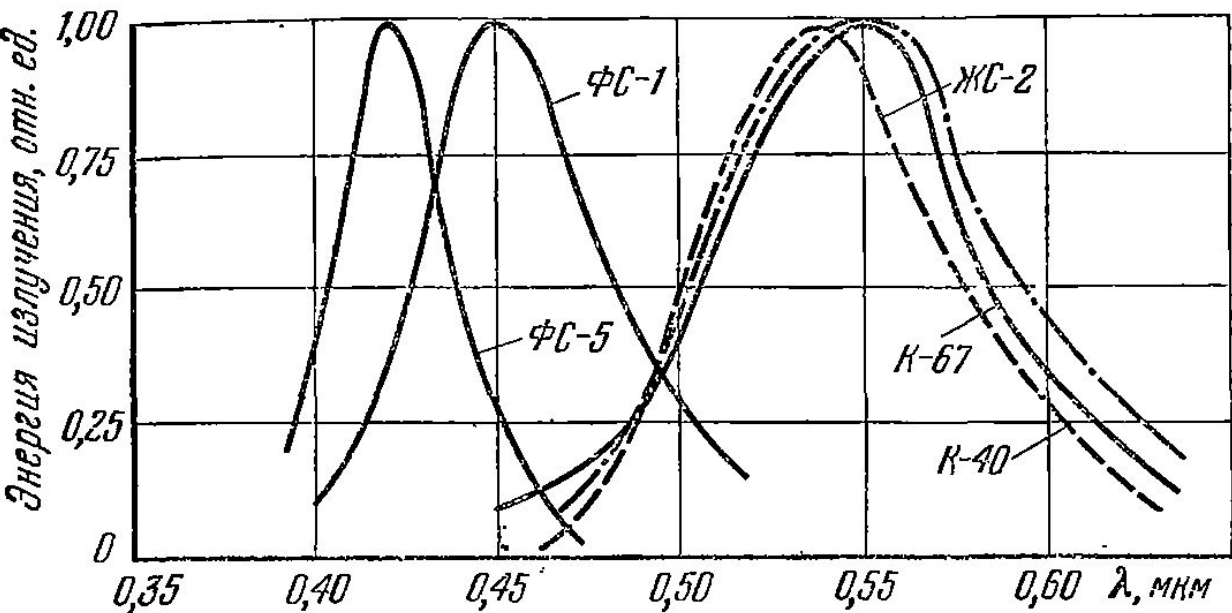
$$= \frac{\pi L_{\text{ЭК}} A_{\text{ЭК}}}{IU} \approx$$

$$\approx \frac{\pi ajU^2 A_{\text{ЭК}}}{IU} =$$

$$= \pi aU$$

Электронно-оптические преобразователи

Катодолюминесцентные экраны



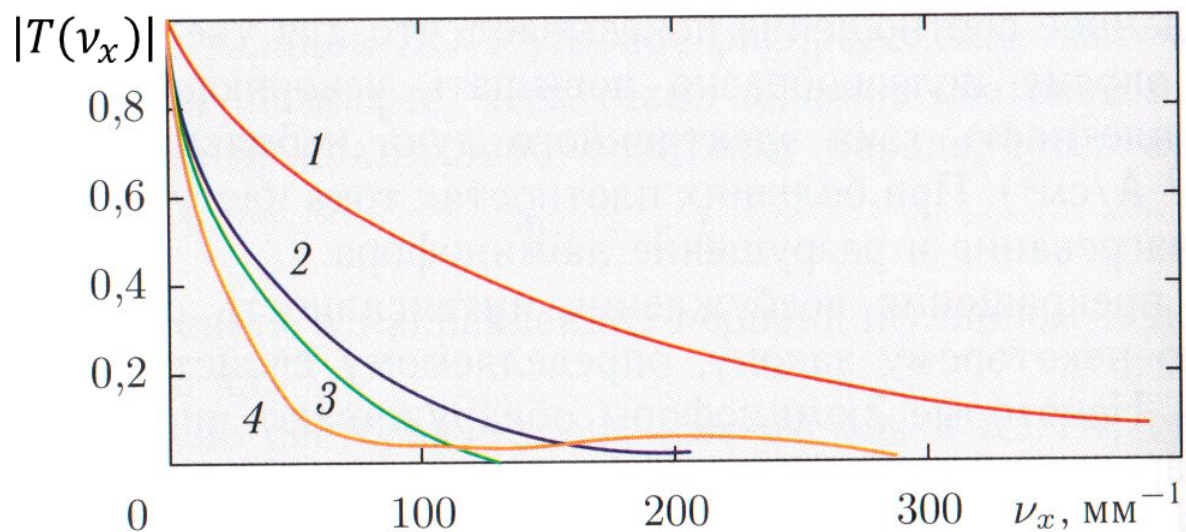
Марка люминофора	Цвет свечения	Состав люминофора	Длина волны в максимуме спектральной характеристики, нм	Светоотдача экранов, св/см	Время послесвечения (сек) при спаде яркости до:	
					5%	1%
ФС-1	Фиолетово-синий	ZnS:Ag	450	30*	$5 \cdot 10^{-2}$	—
К-72	Желто-зеленый	ZnS:Ag (Ni)	450	30*	$(3 \div 4) \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
К-40		ZnS $\times$	550	13**	$5 \cdot 10^{-2}$	—
ЖЗ-2		$\times$ ZnSe:Cu	550	12**	$(3 \div 4) \cdot 10^{-3}$	—
К-67		$\times$ ZnS $\times$ $\times$ ZnSe:Ag $\times$ ZnS $\times$ $\times$ CdS:Ag	550	15**	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$

* Для экранов синего свечения дается светоотдача, измеренная с помощью фотоприемника с сурьмяно-цезиевым фотокатодом.

** Для экранов желто-зеленого свечения светоотдача измеряется с помощью фотоприемника, скорректированного под кривую видности глаза

Электронно-оптические преобразователи

Катодолюминесцентные экраны



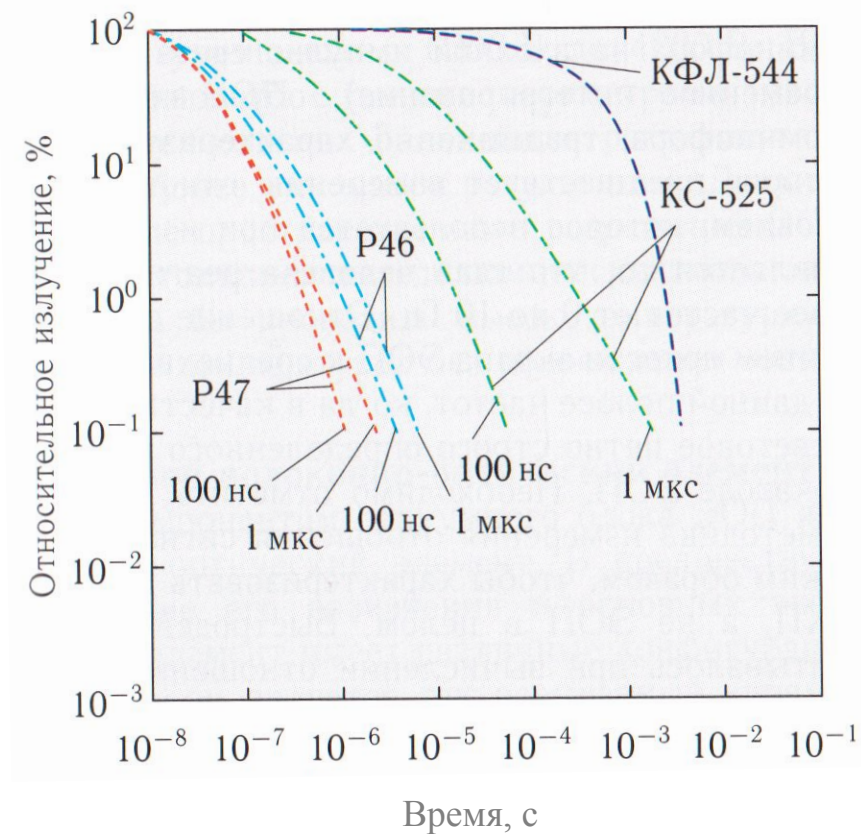
МПФ экрана, полученные различными методами

1 – нанесение воздушной струей

2 – методом катафореза

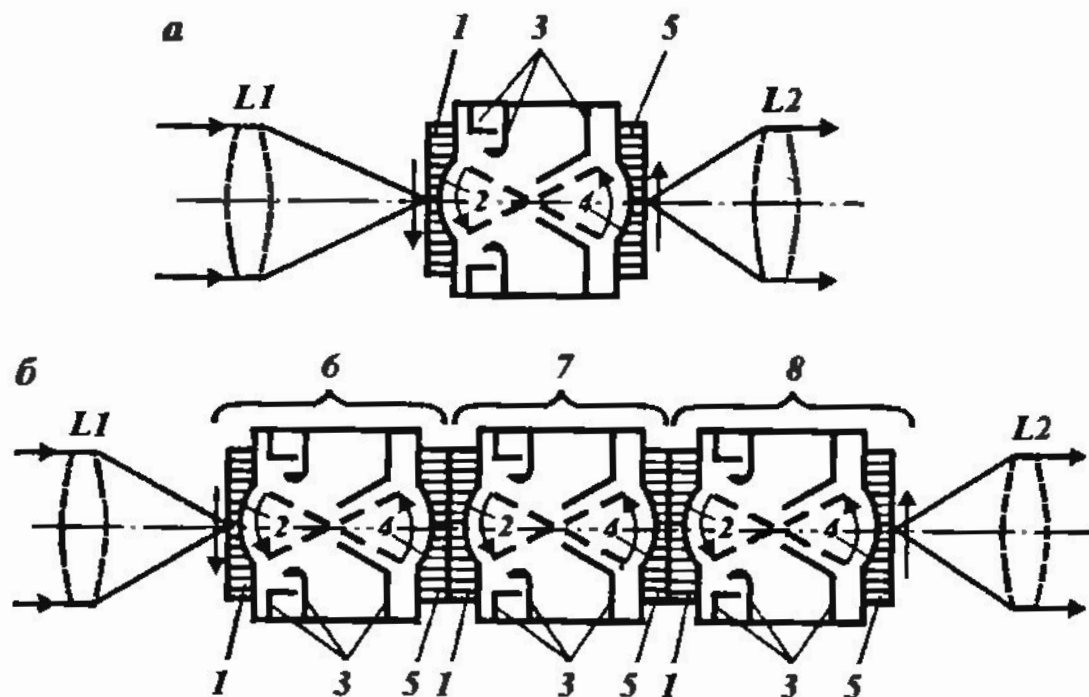
3 – методом осаждения

4 – бесструктурный прозрачный экран



Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)

ЭОП 1-го поколения



a – одномодульный

б – трехмодульный

L1 – объектив

L2 – окуляр

1 – входной волоконно-
оптический
элемент (ВОЭ)

2 – фотокатод

3 – фокусирующие электроды
электростатической оптики

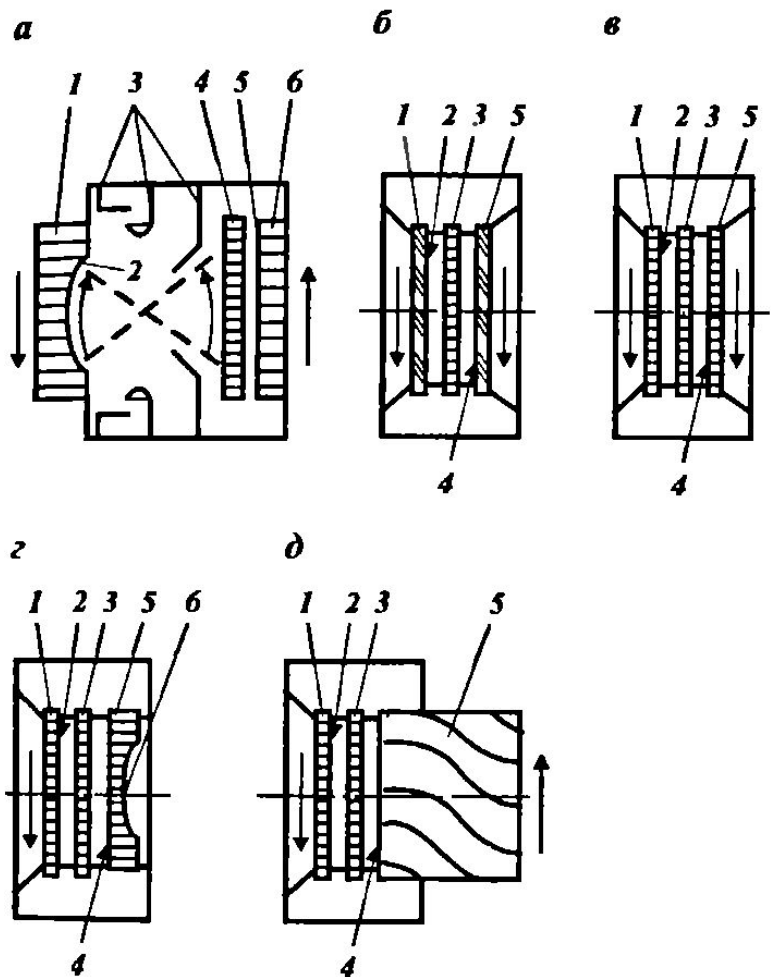
4 – люминесцентный экран

5 – выходной ВОЭ

6, 7, 8 – 1, 2, 3-й модули

Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)

ЭОП 2, 3-го поколений



а – ЭОП инверторного типа

1 – входной ВОЭ

2 – фотокатод

3 – фокусирующие электроды
электростатической оптики

4 – микроканальная пластина (МКП)

5 – люминесцентный экран

6 – выходной ВОЭ

б – г – ЭОП бипланарного типа

1 – входное окно (б) или входной ВОЭ (в – г)

2 – фотокатод

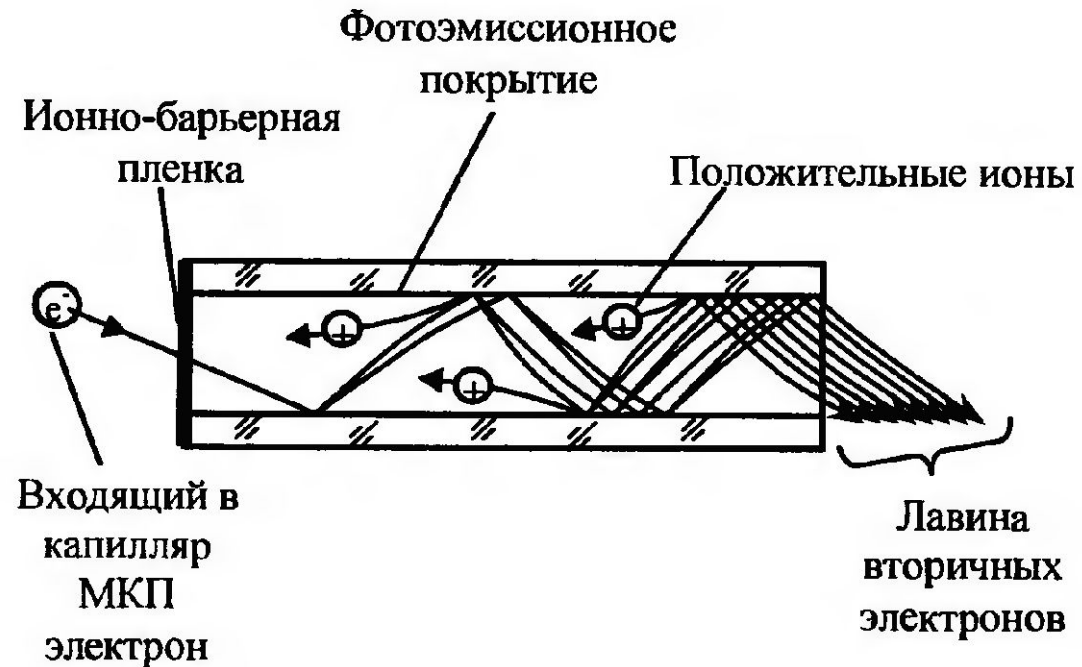
3 – МКП

4 – люминесцентный экран

6 – выходное стекло (б) или выходной ВОЭ (в – г)

Электронно-оптические преобразователи

Микроканальные пластины



Электронно-оптические преобразователи

Параметры ЭОП

Коэффициент преобразования

$$\eta_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{ЭК}}}{\Phi_{\text{ФК}}} = \\ = SK_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}$$

Яркость темнового фона

$$L_{\text{ЭТ}} = \frac{\Phi_{\text{ЭТ}}}{\pi A_{\text{ЭК}}} =$$

$$= \frac{i_{\text{ЭТ}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi A_{\text{ЭК}}} =$$

$$= \frac{j_{\text{ТЭ}} A_{\text{ФК}} K_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi A_{\text{Э}}} =$$

$$= \frac{j_{\text{ТЭ}} K_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi \Gamma_{\text{ЭО}}^2}$$

Коэффициент преобразования по яркости

$$\eta_L = \frac{L_{\text{ЭК}}}{E_{\text{ФК}}} =$$

$$= \frac{SK_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi \Gamma_{\text{ЭО}}^2}$$

Электронно-оптическое увеличение

$$\Gamma_{\text{ЭО}} = \frac{l_{\text{ЭК}}}{l_{\text{ФК}}}$$

Отношение сигнал/шум

Источники шума:

- термоэмиссия
- автоэлектронная эмиссия
- флуктуации в потоке фотонов

Предел
разрешения
Рабочее
разрешение