

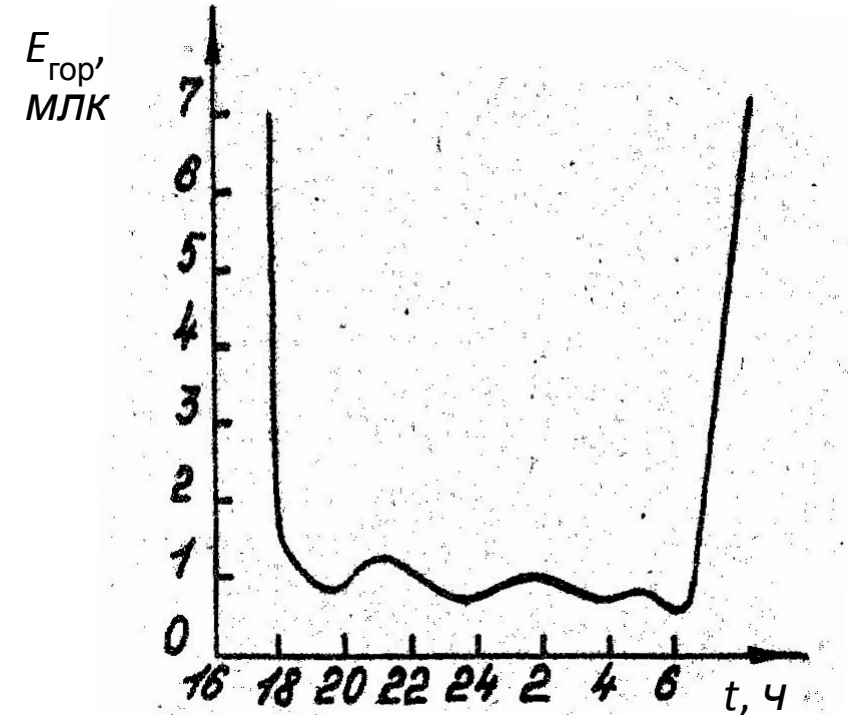
# Условия наблюдения

## Естественная ночная освещенность (ЕНО)

Сумерки	Угол захода Солнца под горизонт	$E_{\text{гор}}, \text{лк}$
Гражданские	$0 \dots 6^\circ$	$1 \dots 100$
Навигационные	$6^\circ \dots 12^\circ$	$5 \cdot 10^{-2} \dots 1$
Астрономические	$12^\circ \dots 18^\circ$	$5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$



Безоблачное небо

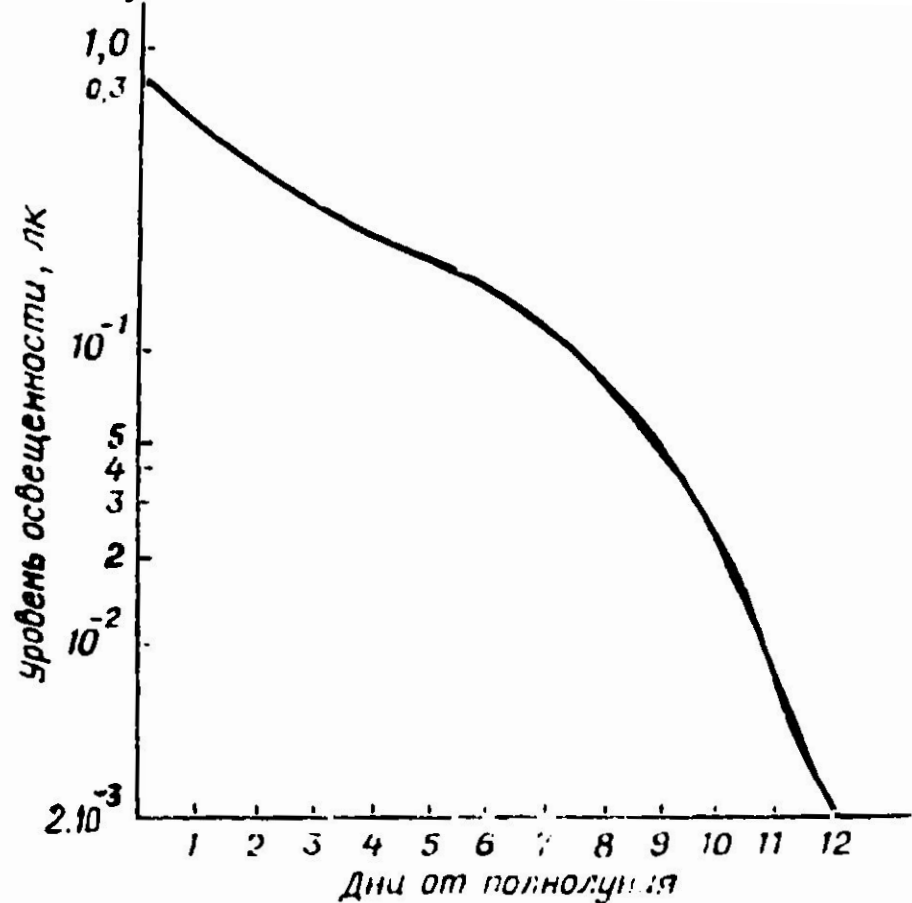


Зима, безоблачное небо

# Условия наблюдения

## Естественная ночная освещенность

Освещенность, создаваемая  
луной



Диапазон изменения естественной



# Условия наблюдения

## Естественная ночная освещенность

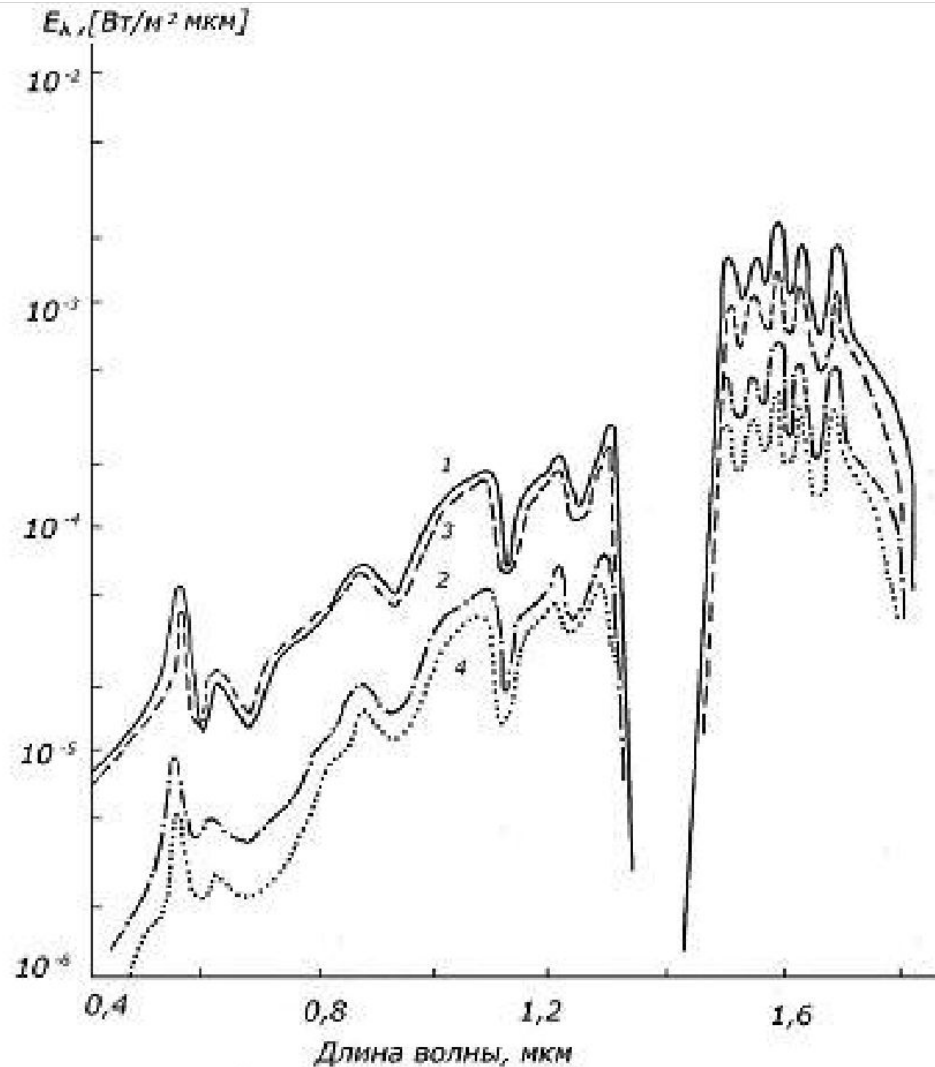
Спектральная плотность облученности от небесного свода  
НОЧЬЮ

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)

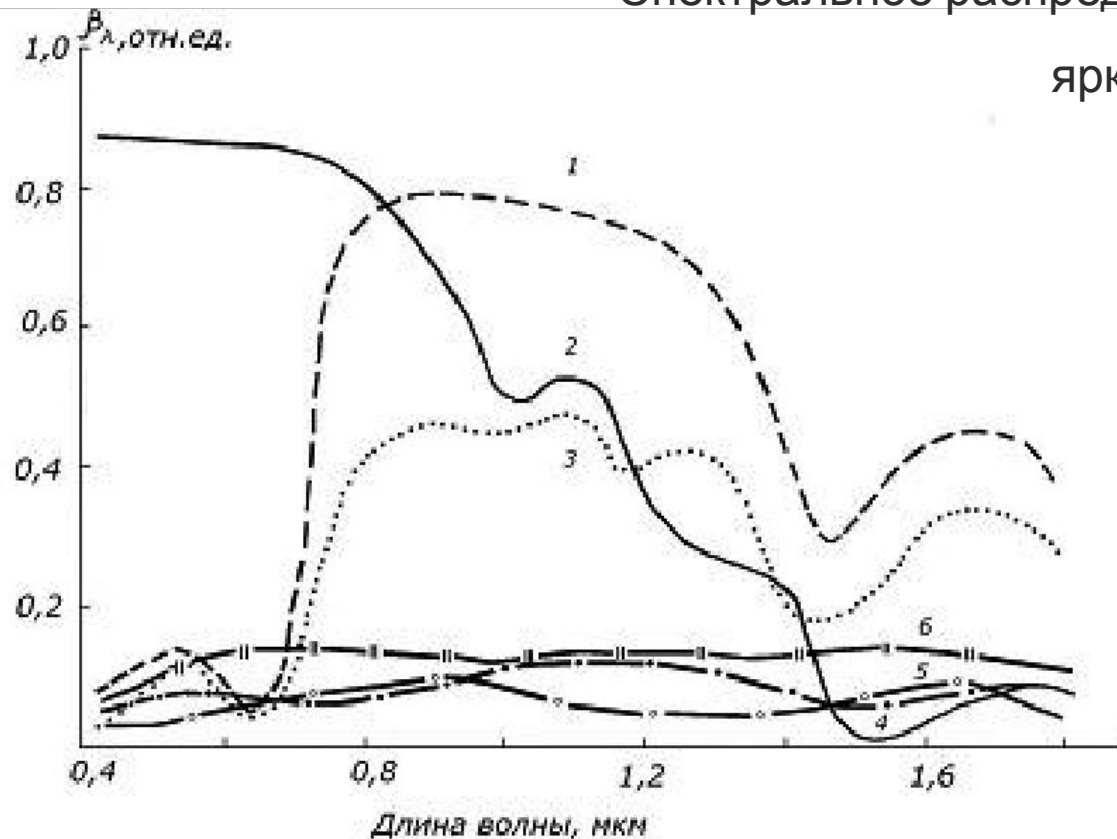


# Условия наблюдения

## Спектральные характеристики объектов и фонов

Спектральное распределение коэффициентов

яркости



1 – зеленая трава

2 – снег

3 – хвойный лес

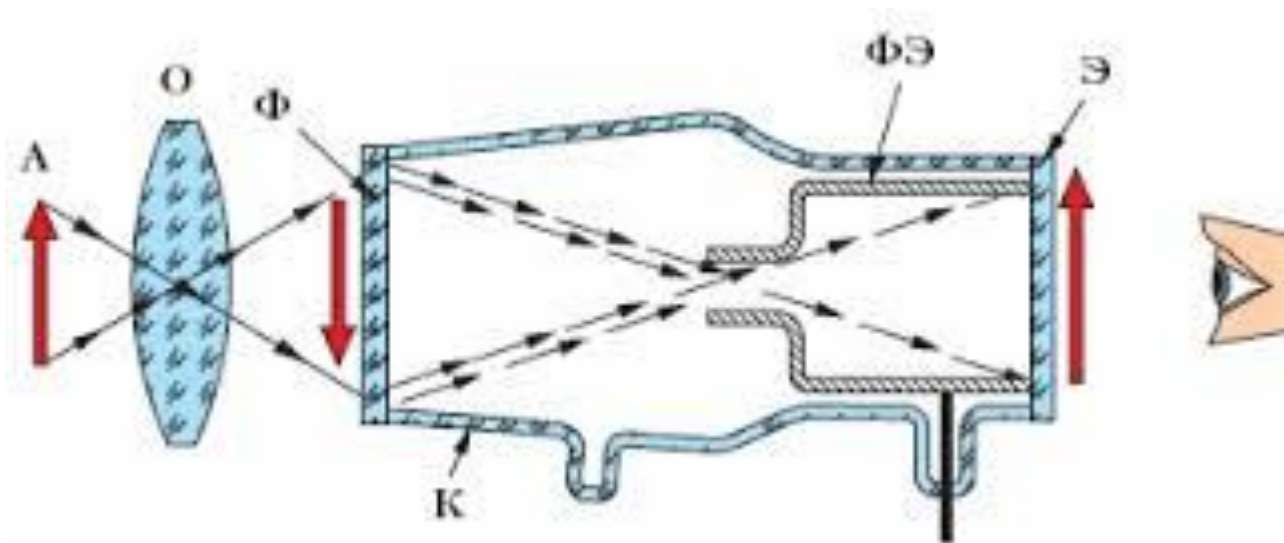
4 – чернозем

5 – американская краска для военной техники

6 – краска НПФ-10

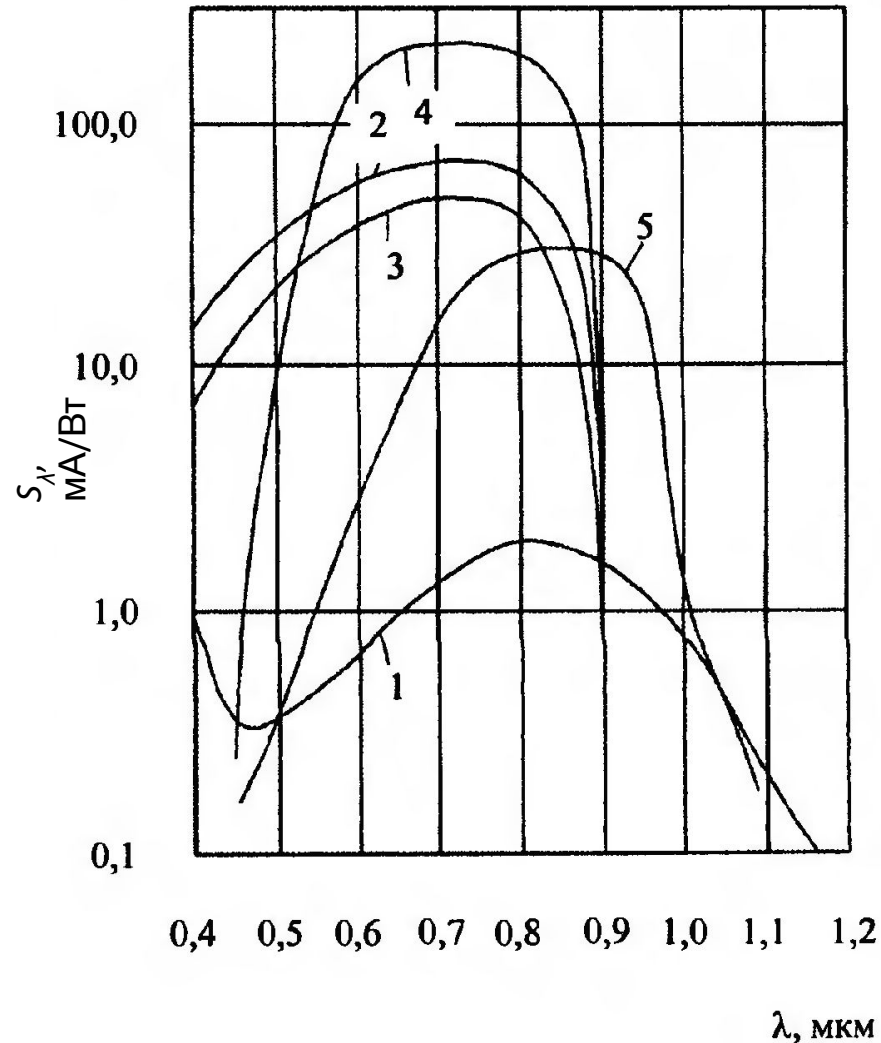
# Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)

ЭОП 0-го поколения



# Электронно-оптические преобразователи

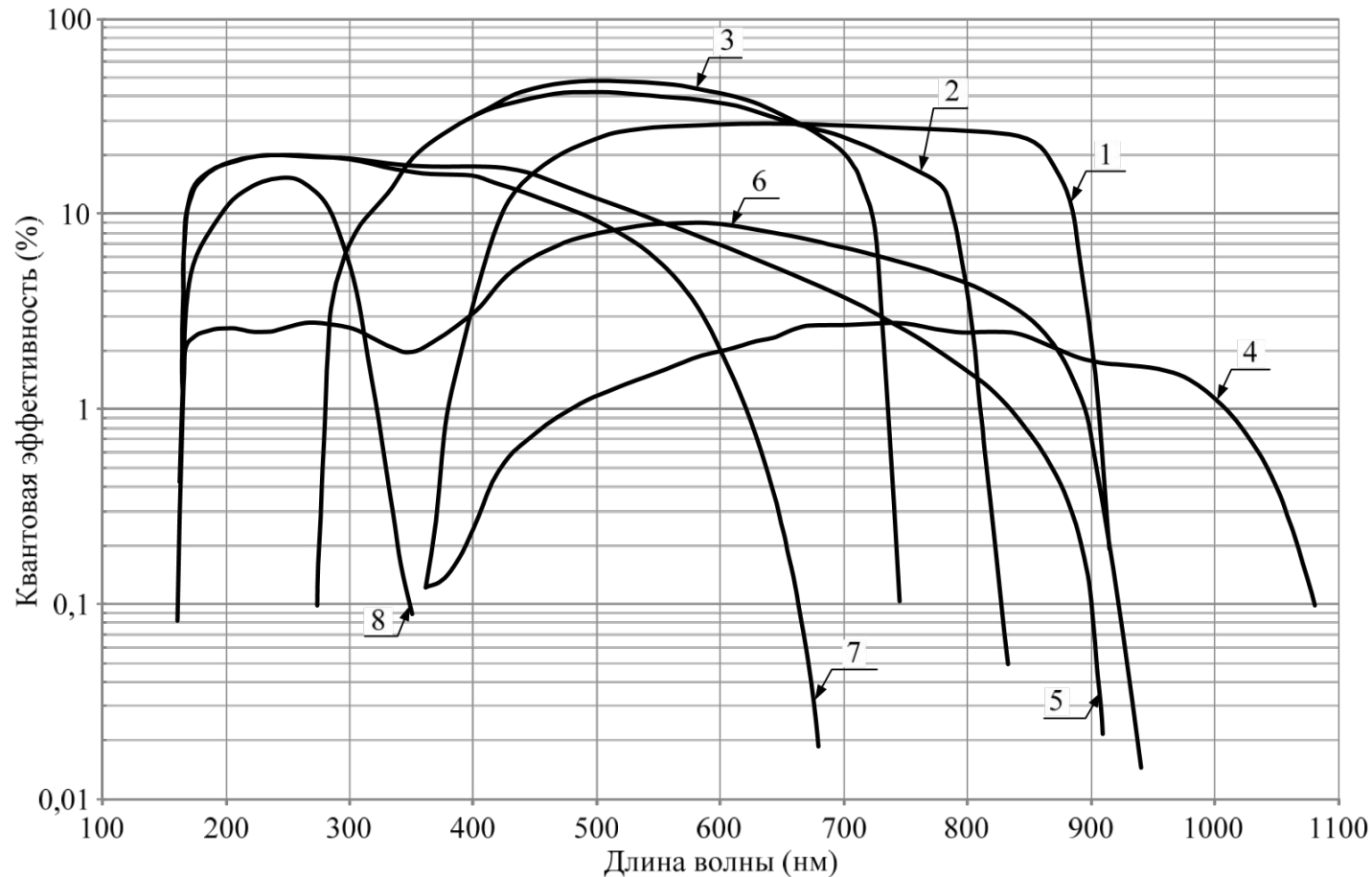
## Спектральная чувствительность фотокатодов



	Фотокатод	Интегральная чувствительность, мкА/лм	Плотность темного тока, А/см <sup>2</sup>
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 (сурьяно-рубидий 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

$\Delta f$  – 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

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

Механические свойства

Виброустойчивость, ударпрочность и  
т.д.

Геометрические  
характеристики

Площадь, толщина

Временные характеристики

Старение, срок службы,  
сохраняемость при  
различных  
условиях



# Электронно-оптические преобразователи

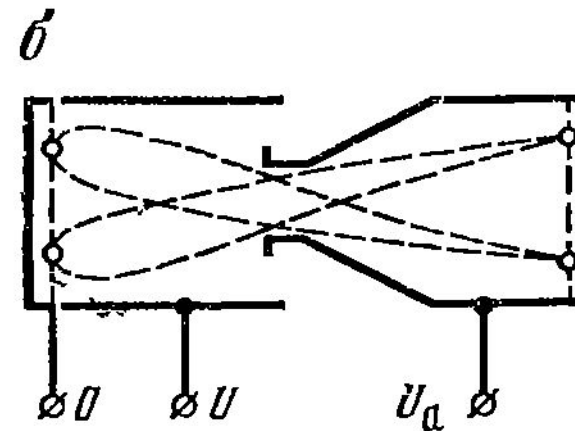
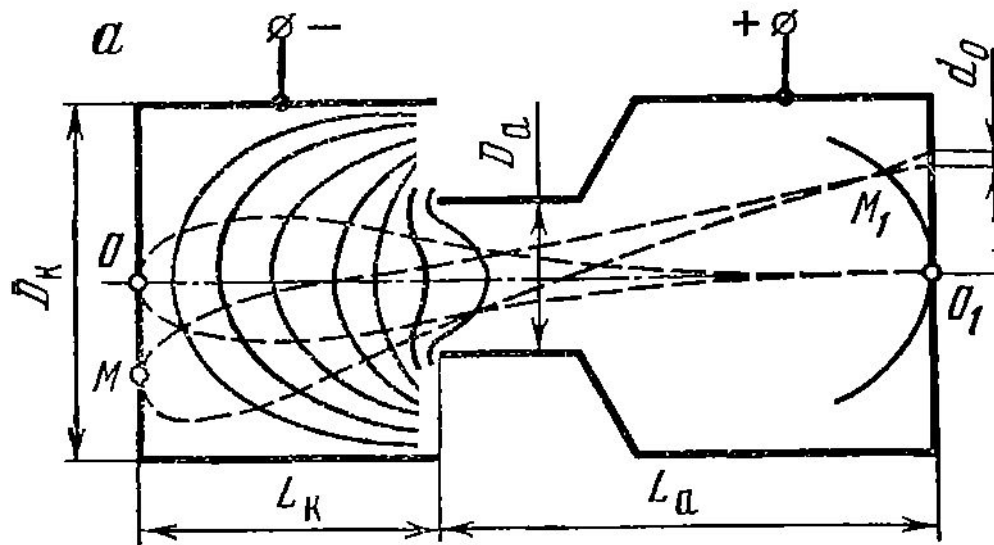
## Фокусирующие системы

### Назначение

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

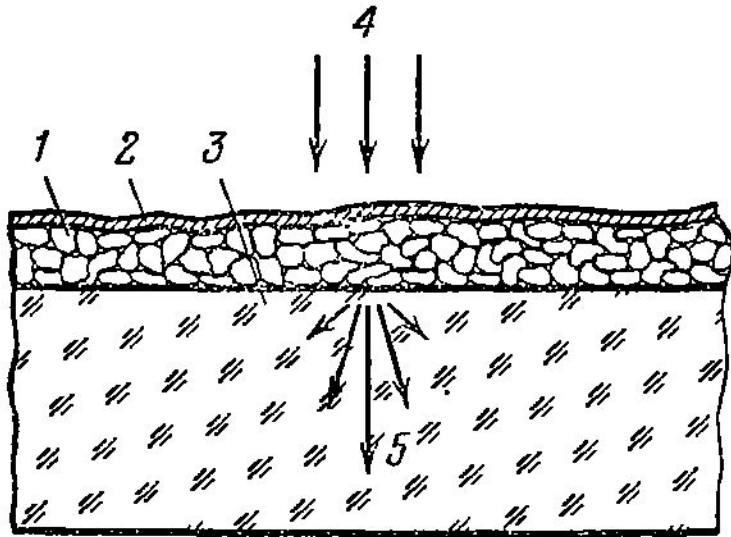
### Трудности реализации

- отображение больших поверхностей
- разброс направлений вылета фотоэлектронов  
 $n(\alpha) \approx n_0 \cos \alpha$
- Разброс начальных скоростей (энергий) фотоэлектронов



# Электронно-оптические преобразователи

## Катодолюминесцентные экраны



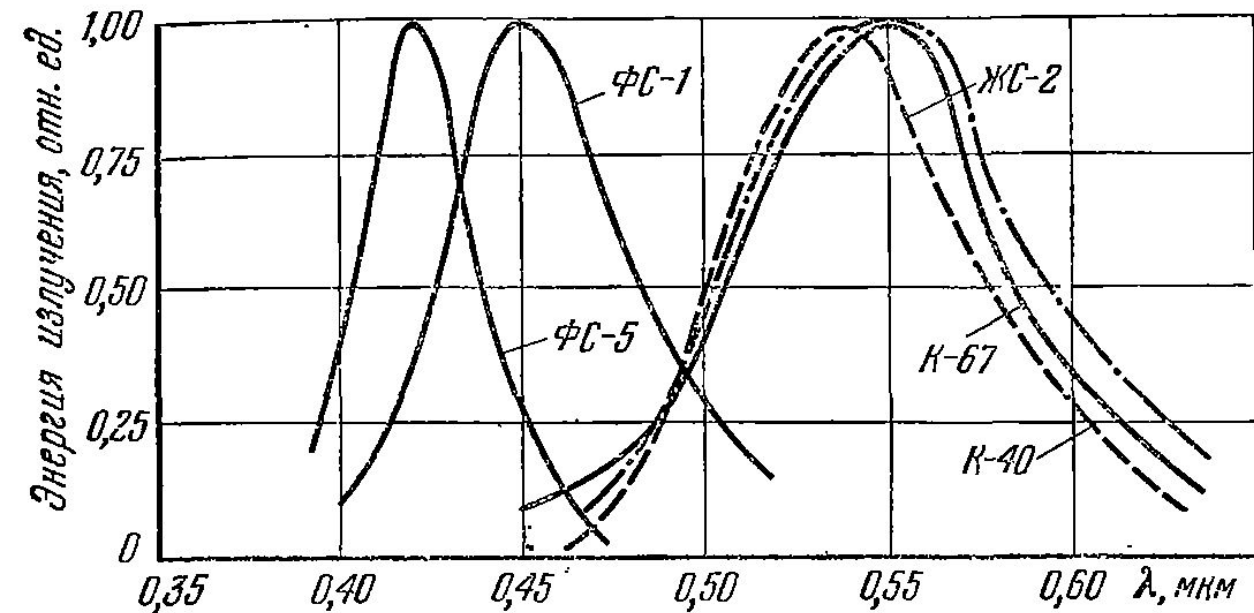
- 1 – кристаллы люминофора
- 2 – алюминиевая пленка
- 3 – стеклянное окно
- 4 – падающий электронный пучок
- 5 – излучение люминофора

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

$$\begin{aligned} \eta_{\text{св}} &= \frac{\Phi_{\text{ЭК}}}{IU} = \\ &= \frac{\pi L_{\text{ЭК}} A_{\text{ЭК}}}{IU} \approx \\ &\approx \frac{\pi ajU^2 A_{\text{ЭК}}}{IU} = \\ &= \pi aU \end{aligned}$$

# Электронно-оптические преобразователи

## Катодолюминесцентные экраны



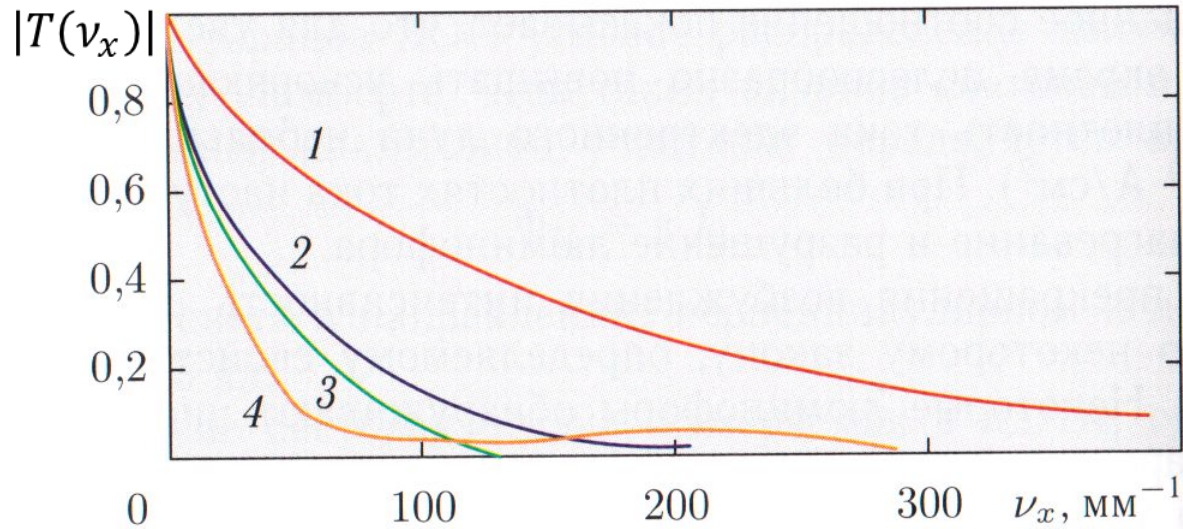
Марка люминофора	Цвет свечения	Состав люминофора	Длина волны в максимуме спектральной характеристики, нм	Светоотдача экранов, св/вт	Время послесвечения (сек) при спаде яркости до:	
					5%	1%
ФС-1	Фиолетово-синий	ZnS:Ag	450	30*	$5 \cdot 10^{-2}$	—
К-72	„	ZnS:Ag (Ni)	450	30*	$(3 \div 4) \cdot 10^{-3}$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

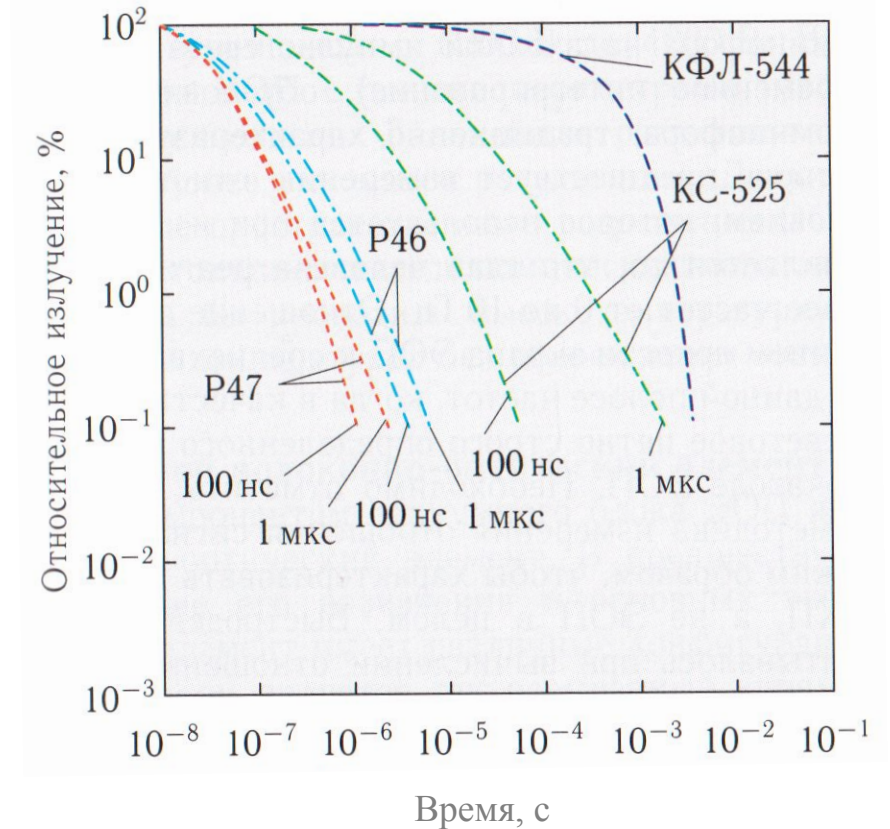
# Электронно-оптические преобразователи

## Катодолюминесцентные экраны



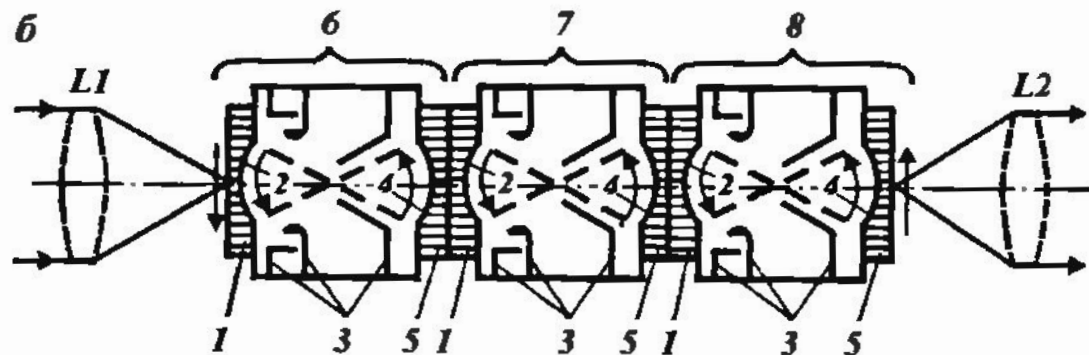
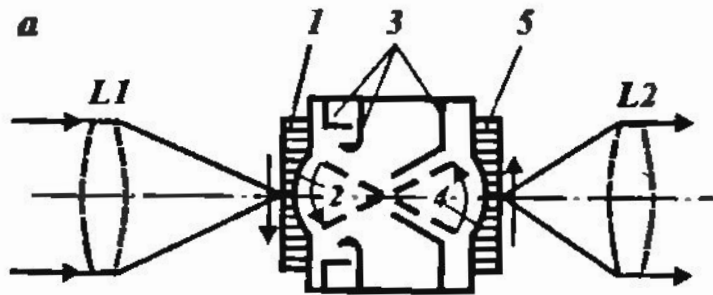
МПФ экрана, полученные различными методами

- 1 – нанесение воздушной струей
- 2 – методом катафореза
- 3 – методом осаждения
- 4 – бесструктурный прозрачный экран



# Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)

## ЭОП 1-го поколения



*а* – одномодульный

*б* – трехмодульный

*L1* – объектив

*L2* – окуляр

*1* – входной волоконно-  
оптический  
элемент (ВОЭ)

*2* – фотокатод

*3* – фокусирующие электроды  
электростатической оптики

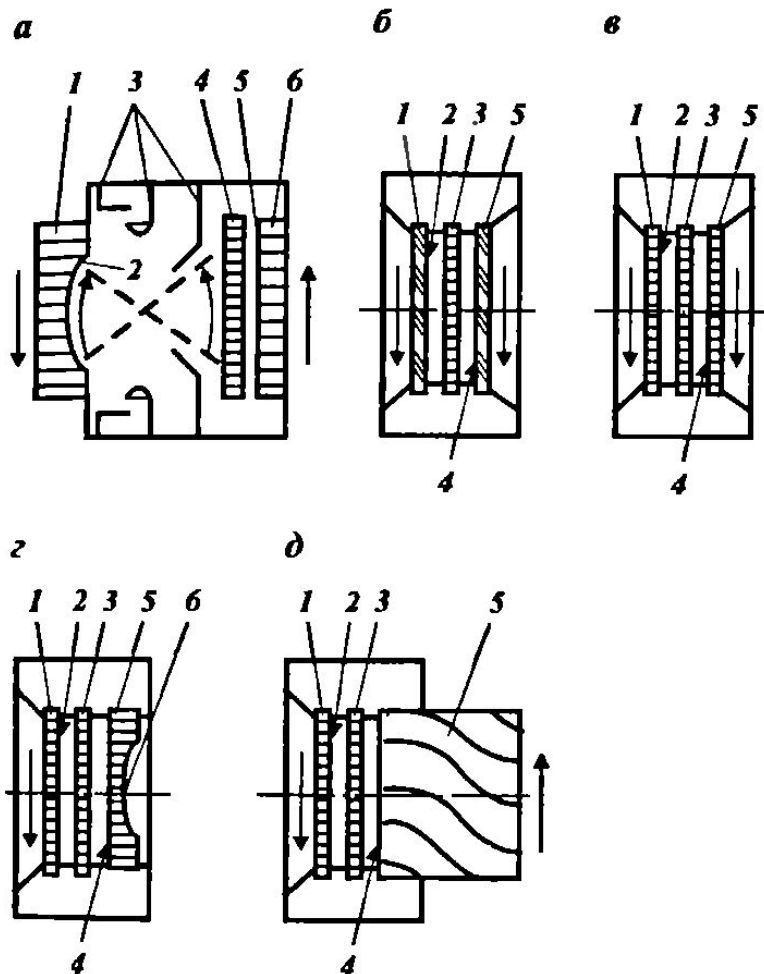
*4* – люминесцентный экран

*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 – д* – ЭОП бипланарного типа

1 – входное окно (*б*) или входной ВОЭ (*в – д*)

2 – фотокатод

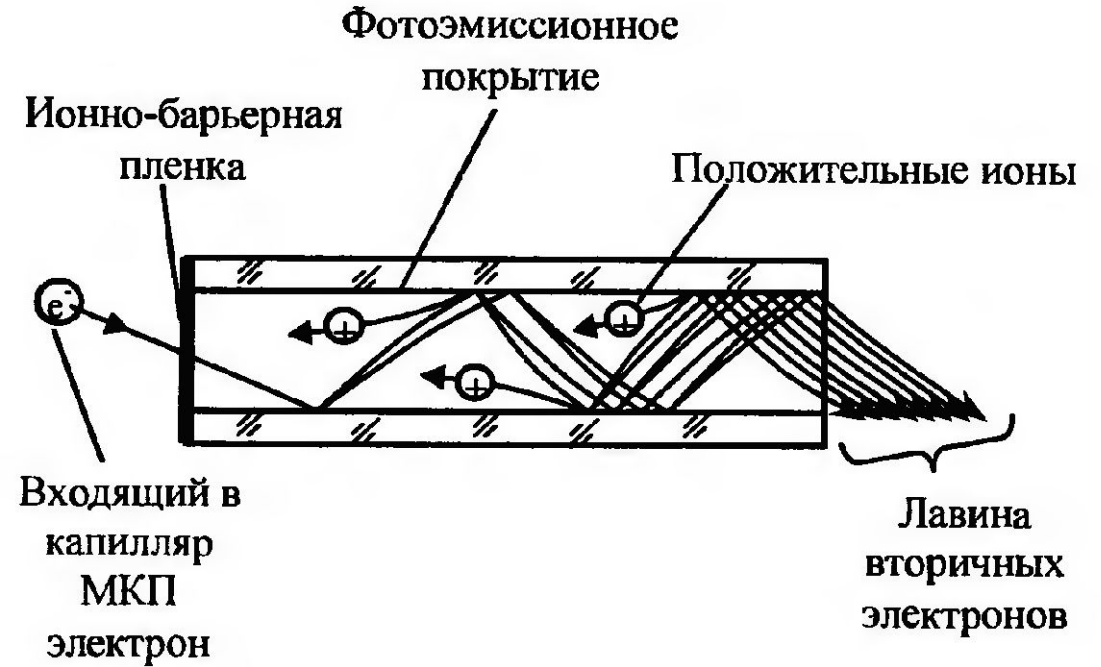
3 – МКП

4 – люминесцентный экран

6 – выходное стекло (*б*) или выходной ВОЭ (*в – д*)

# 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

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

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

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

$$= \frac{j_{\text{ТЭ}} K_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi \Gamma_{\text{Э0}}^2}$$

Отношение сигнал/шум

Источники шума:

- термоэмиссия
- автоэлектронная эмиссия
- флуктуации в потоке фотонов

Предел разрешения  
Рабочее разрешение

Коэффициент преобразования по яркости

$$\eta_L = \frac{L_{\text{ЭК}}}{E_{\text{ФК}}} = \\ = \frac{SK_{\text{МКП}} U \eta_{\text{СВ}}}{\pi \Gamma_{\text{Э0}}^2}$$

Электронно-оптическое увеличение

$$\Gamma_{\text{Э0}} = \frac{l_{\text{ЭК}}}{l_{\text{ФК}}}$$