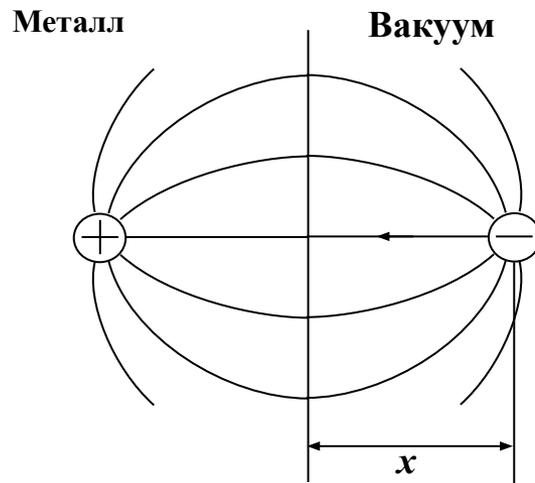


# Термоэлектронная эмиссия

## Контакт металл - вакуум



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{x^2}$$

$$A = \int_0^x F dx.$$

# Основное уравнение термоэлектронной эмиссии (уравнение Ричардсона – Дэшмана 1882г)

$$j_{\text{э}} = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

$A_0 = 120,4 \text{ А/см}^2\text{К}^2$  – постоянная Зоммерфельда

# Последовательность получения уравнения Ричардсона

1. Распределение электронов по импульсам в твердом теле (Ферми-Дирака)
2. Определение потока электронов на границе твердое тело–вакуум в сторону вакуума
3. Выделение из потока только тех электронов, которые удовлетворяют условиям выхода в вакуум  $E - E_F \leq e\phi$

$$dn_p = \frac{2}{h^3} \frac{dp_x dp_y dp_z}{\exp\left(\frac{E(p) - E_F}{kT}\right) + 1}$$

$$p_x \div p_x + dp_x$$

$$p_y \div p_y + dp_y$$

$$p_z \div p_z + dp_z$$

$$E(p) = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2m}$$

$$dN_{p_x} = \frac{2}{h^3} dp_x \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dp_y dp_z}{\exp\left(\frac{E(p) - E_F}{kT}\right) + 1}$$

$$p_x \div p_x + dp_x$$

$$j_{p_x} = e v_x dn_{p_x}$$

$$j_{\partial} = e \int_{p_x = \sqrt{2e\psi m}}^{\infty} \frac{p_x}{m} d\nu_{p_x}$$

$$j_{\partial} = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\psi}{kT}\right)$$

$$\begin{aligned} j_{\partial} &= A_0 T^2 (1 - z) \exp\left(-\frac{e\psi}{kT}\right) = \\ &= A_0 T^2 D \exp\left(-\frac{e\psi}{kT}\right) \end{aligned}$$

$$e\varphi \Rightarrow e\varphi - \Delta(e\varphi)$$

$$\varepsilon \neq 0 \quad j\vartheta = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi - \Delta(e\varphi)}{kT}\right) =$$

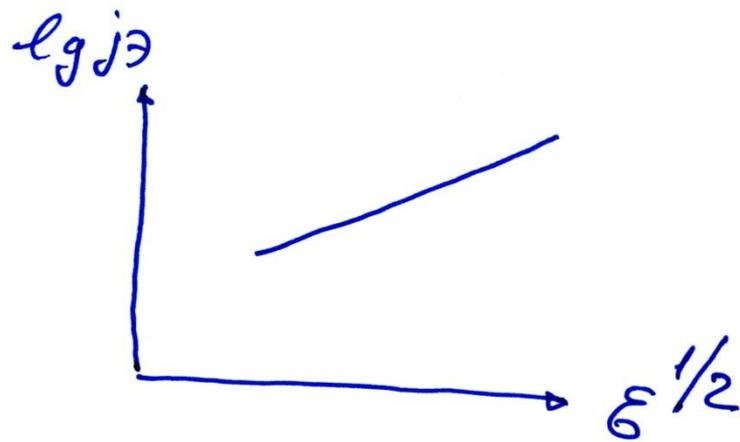
$$= A_0 T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right) \exp\left(\frac{\Delta(e\varphi)}{kT}\right) =$$

$$= j\vartheta_0 \exp\left(\frac{\Delta(e\varphi)}{kT}\right)$$

$$\Delta(e\varphi) = \frac{e^{3/2} \varepsilon^{1/2}}{\sqrt{4\pi \varepsilon_0}}$$

$$\lg \frac{j^2}{j^2_0} = 1,906 \frac{\varepsilon^{1/2}}{T}$$

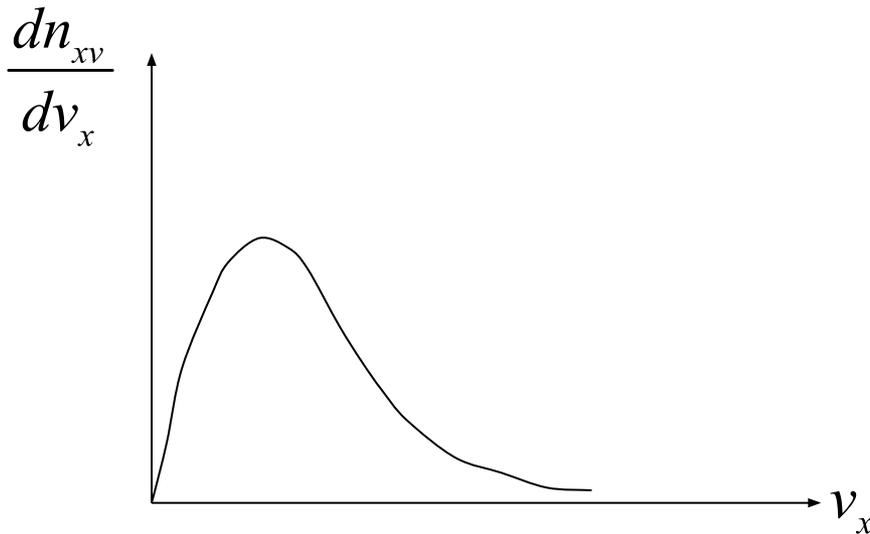
$$\varepsilon \text{ [B/cm]}$$



# Распределение Максвелла - Больцмана

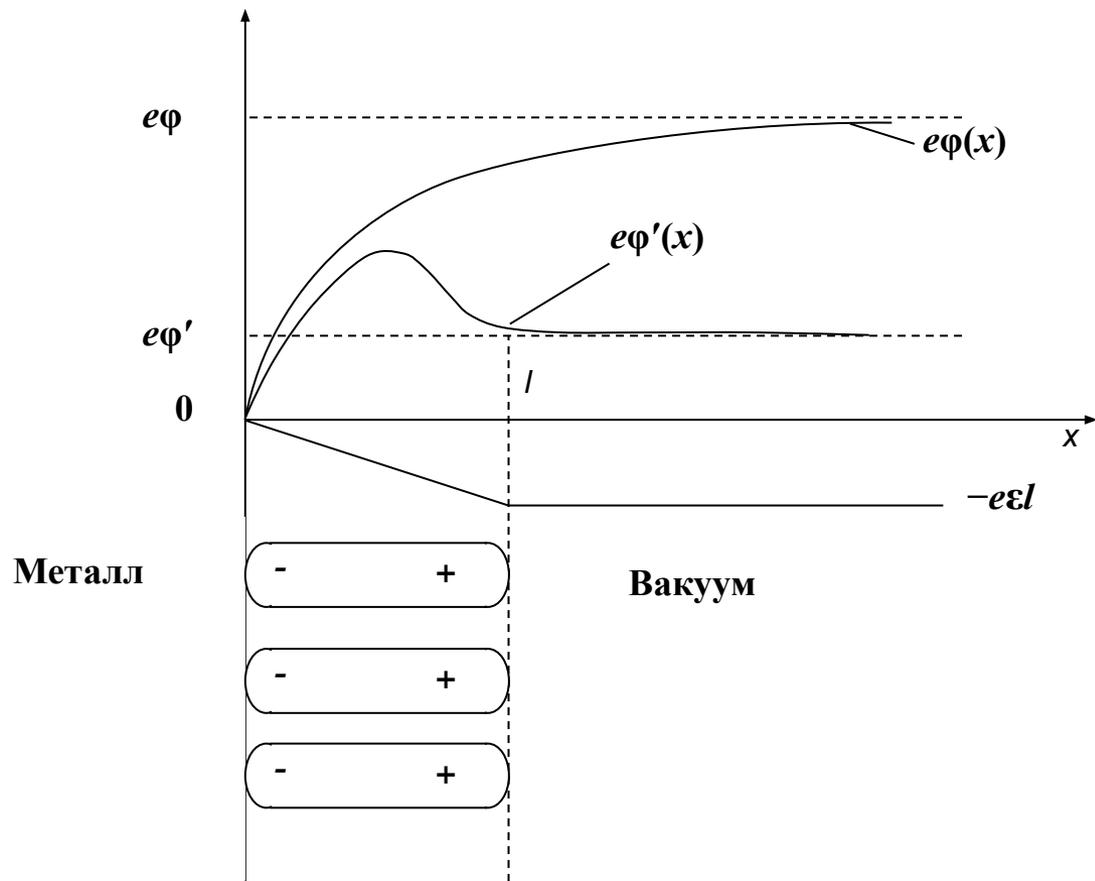
$$dn_{vx} = j_{\text{э}} \frac{m}{ekT} v_x \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x$$

число электронов выходящих с катода за  $s$  и имеющих скорости в диапазоне значений  $v_x \div v_x + dv_x$



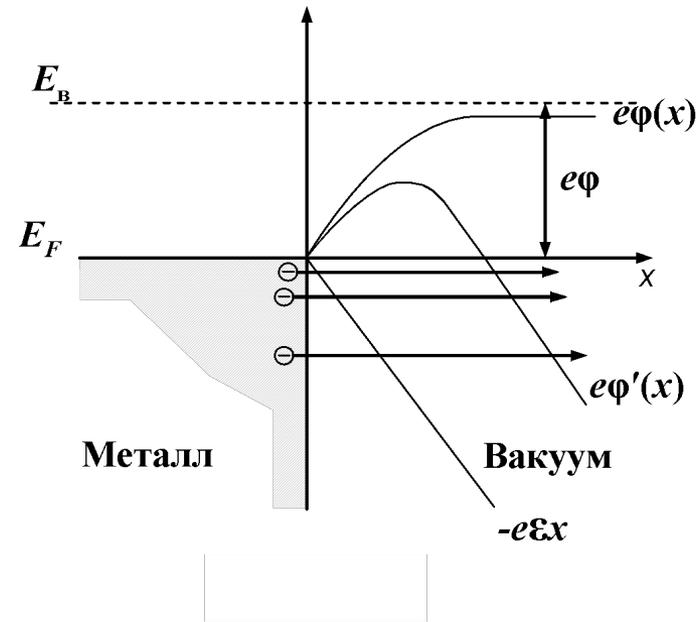
$$I_a = Se \int_{v_x = \sqrt{\frac{2e|U_a|}{m}}}^{\infty} v_x dn_{vx} = I \exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right)$$

$$U_a < 0$$

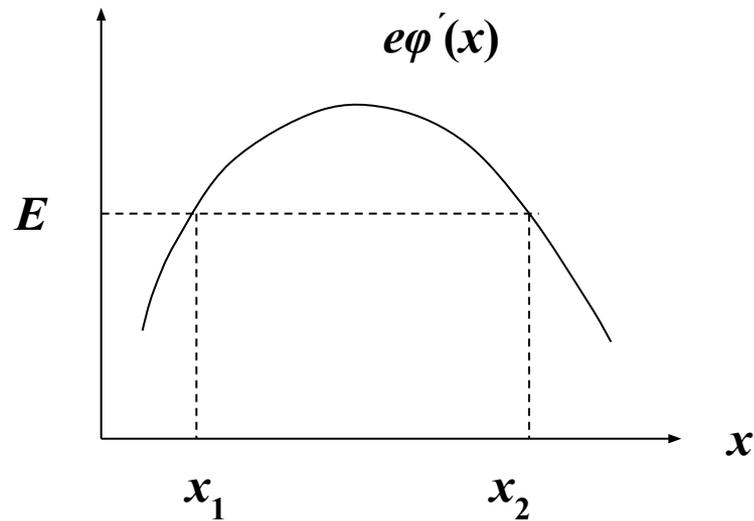


1. Механизм термоэлектронной эмиссии, энергетические диаграммы контактов металл-вакуум, полупроводник – вакуум.
2. Уравнение Ричардсона, последовательность вывода, работа выхода.
3. Распределение электронов по начальным скоростям при термоэмиссии, вольт-амперные характеристики при задерживающем электрическом поле, влияние температуры.
4. Влияние внешнего электрического поля на термоэмиссию, нормальный эффект Шоттки.
5. Термоэлектронные катоды из чистых металлов, эффективные терموкатоды. Основные эмиссионные параметры, виды конструктивного оформления.

# Энергетическая диаграмма контакта металл-вакуум при больших электрических полях (механизм возникновения АЭ)



# Прозрачность потенциального барьера



$$D(\mathcal{E}, E) = \exp \left[ -\frac{4\pi(2m)^{1/2}}{h} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{e\phi'(x) - E} dx \right]$$

# К расчету тока автоэлектронной эмиссии

Концентрация электронов в твердом теле, импульсы которых заключены в диапазоне  $p_x \div p_x + dp_x$ ;  $p_y \div p_y + dp_y$   $p_z \div p_z + dp_z$

$$dn_{p_x p_y p_z} = \frac{2}{h^3} \frac{dp_x dp_y dp_z}{\exp\left(\left(\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2m} - E_F\right) / kT + 1\right)}$$

Число электронов в твердом теле, падающих на  $1 \text{ см}^2$  эмитирующей поверхности изнутри твердого тела, и имеющих импульсы в диапазоне

$$p_x \div p_x + dp_x; p_y \div p_y + dp_y; p_z \div p_z + dp_z$$

$$v_x dn_{p_x p_y p_z} = \frac{p_x}{m} \frac{2}{h^3} \frac{dp_x dp_y dp_z}{\exp\left(\left(\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2m} - E_F\right) / kT + 1\right)}$$

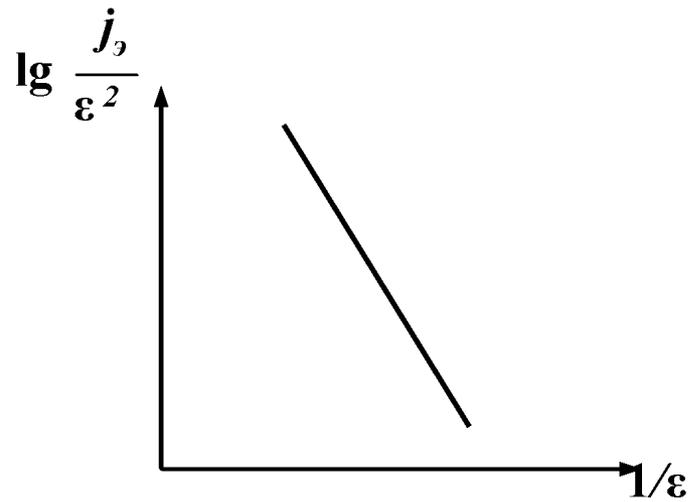
# Плотность тока автоэлектронной эмиссии

$$j_{\vartheta} = e \int D(\mathcal{E}, E) v_x dn_{p_x p_y p_z}$$

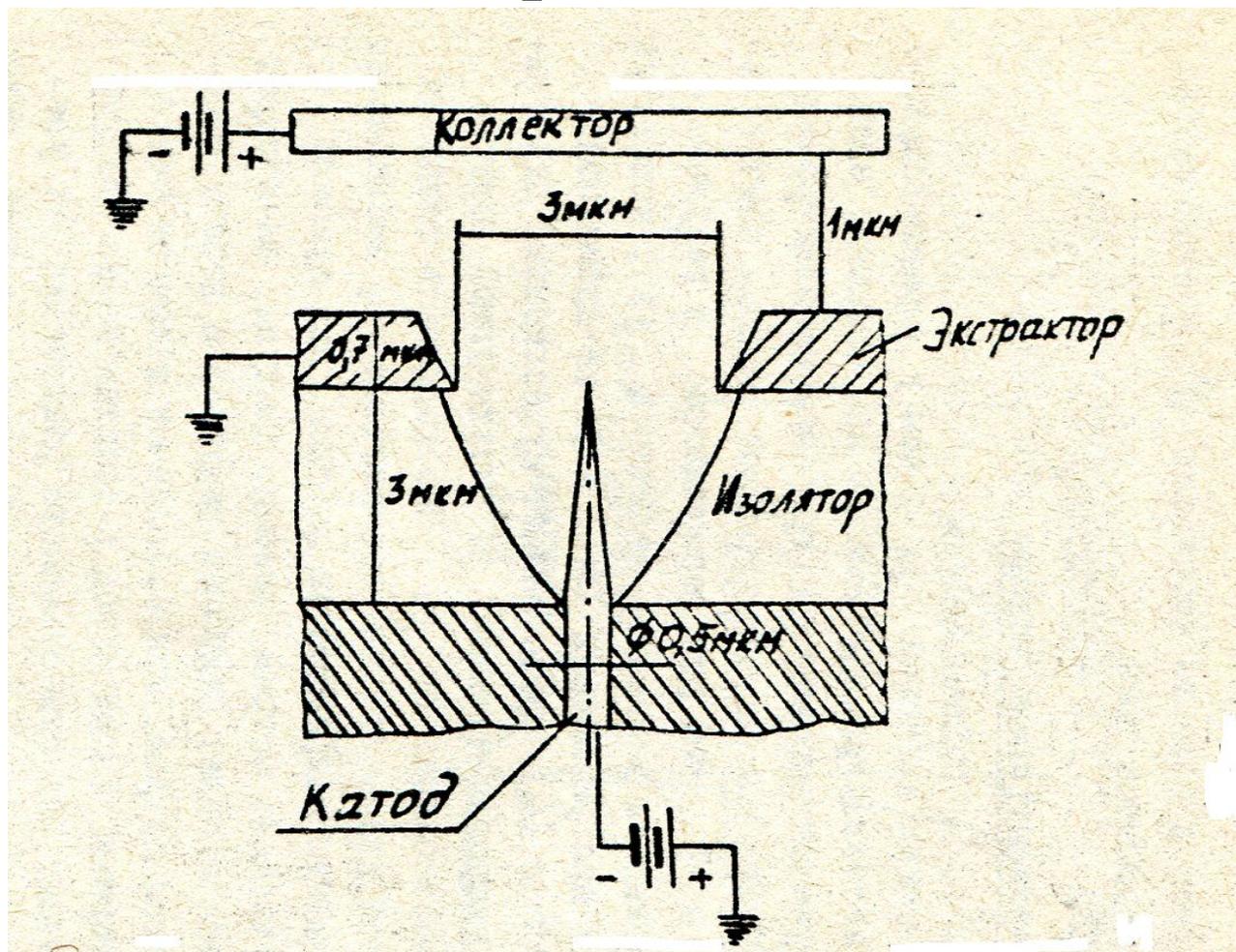
$$E = \frac{p_x^2}{2m}$$

# Уравнение Фаулера - Нордгейма

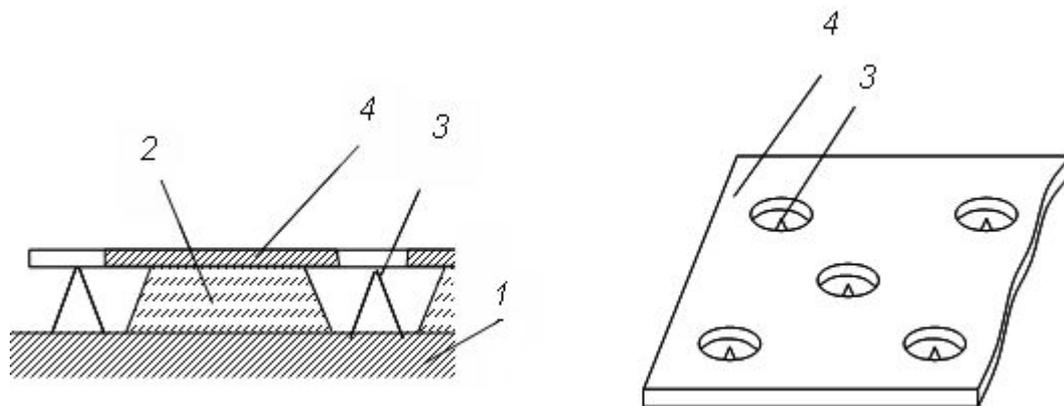
$$j_{\text{э}} = B\varepsilon^2 \exp\left(-\frac{C}{\varepsilon}\right)$$



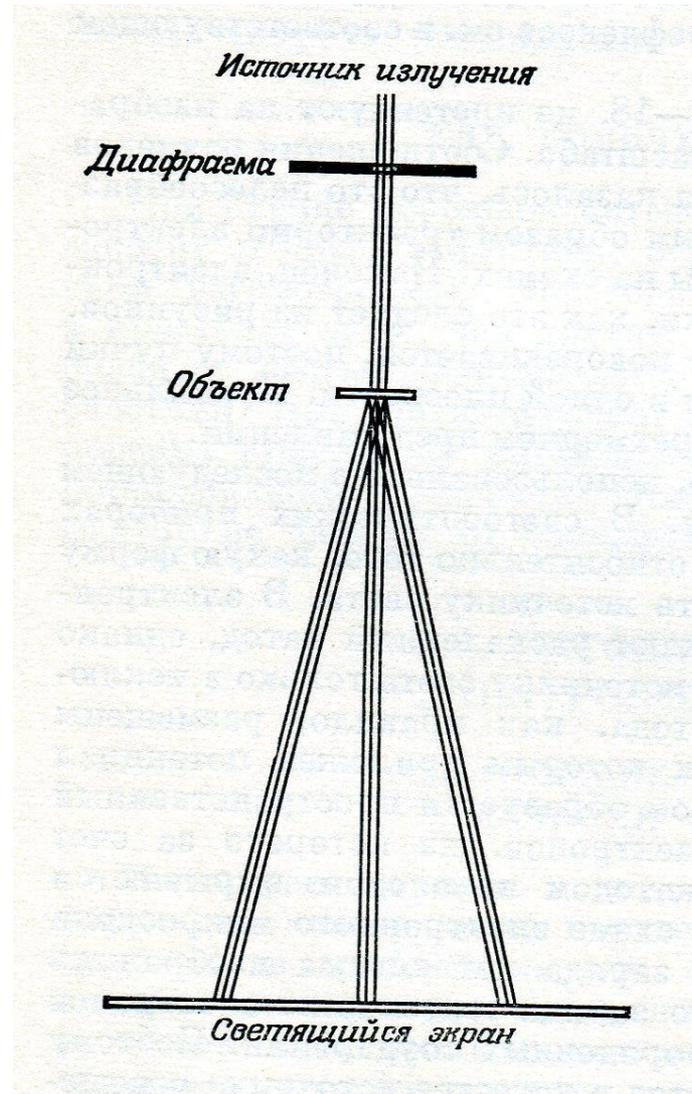
# Диодная микроячейка с автоэлектронным катодом



# Матричный автоэлектронный катод



# Просвечивающий электронный микроскоп



1. Механизм и особенности АЭ эмиссии.

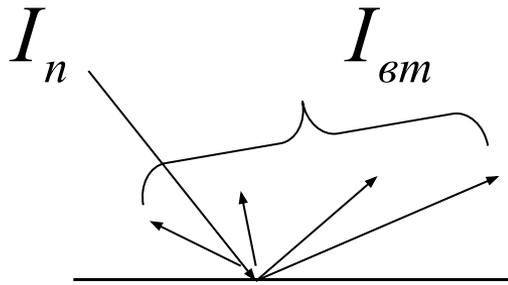
2. АЭ – катоды, конструктивные особенности. Области практического использования АЭ эмиссии.

# Другие виды эмиссии:

- Экзоэлектронная (Эффект Крамера)
- Ионно-электронная
- Электронная эмиссия из МДМ структур
- Электронная эмиссия из р-п перехода

# Вторичная электронная эмиссия

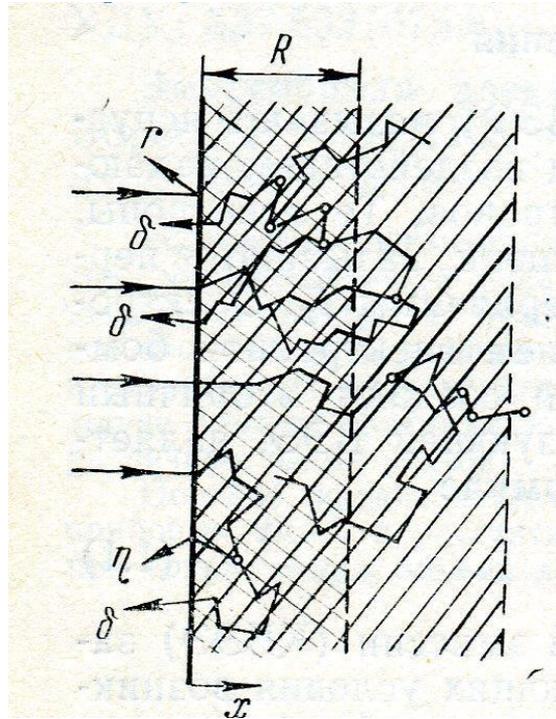
## Коэффициент вторичной эмиссии



$$\sigma = \frac{I_{вт}}{I_n}$$

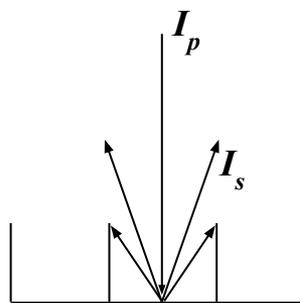
$$E_{\text{мин}} = 10 - 15 \text{ эВ}$$

# Механизм возникновения вторичной электронной эмиссии

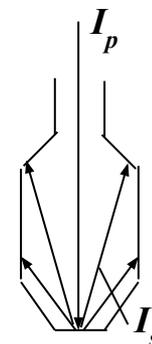


$$\sigma = \delta + \eta + r$$

# Подавление влияния вторичной эмиссии в электровакуумных приборах



a)



б)

$F_{\lambda}$  — мощность монохроматического излучения  
с частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$ , падающего на поверхность  
(лучистый поток)

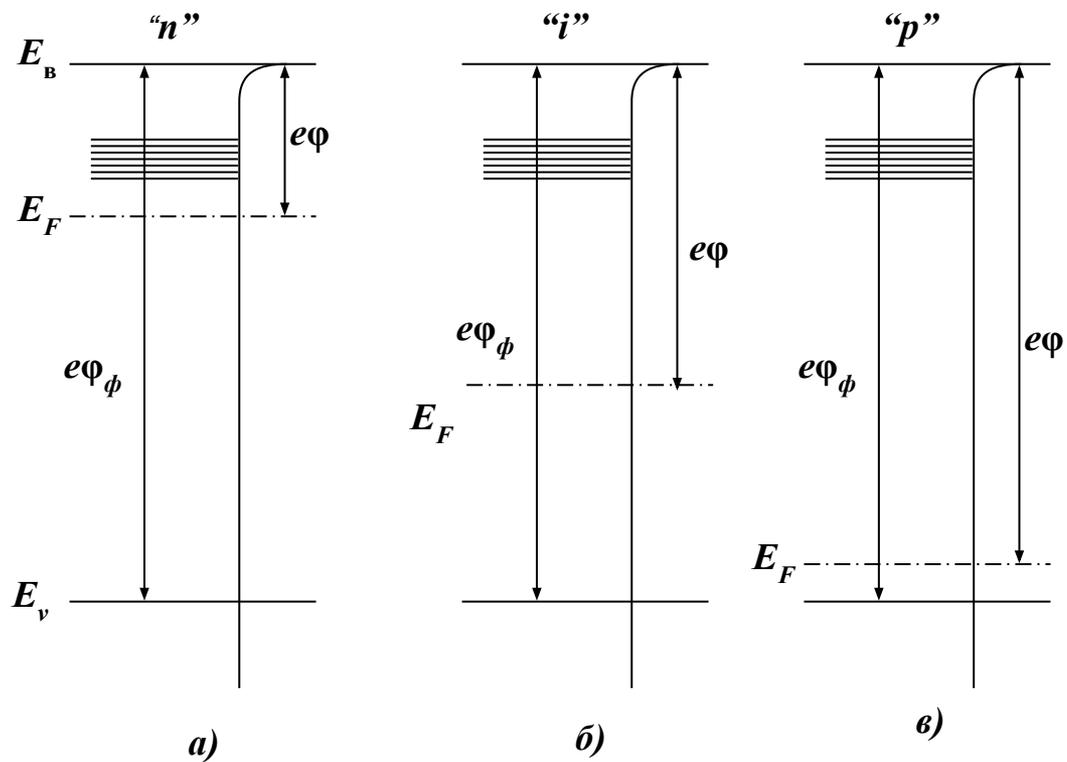
$$N = \frac{F_{\lambda}}{h\nu} - \text{число фотонов, падающих на поверхность за 1 с}$$

$$Y = \frac{n}{N} - \text{квантовый выход фотоэлектронной эмиссии}$$

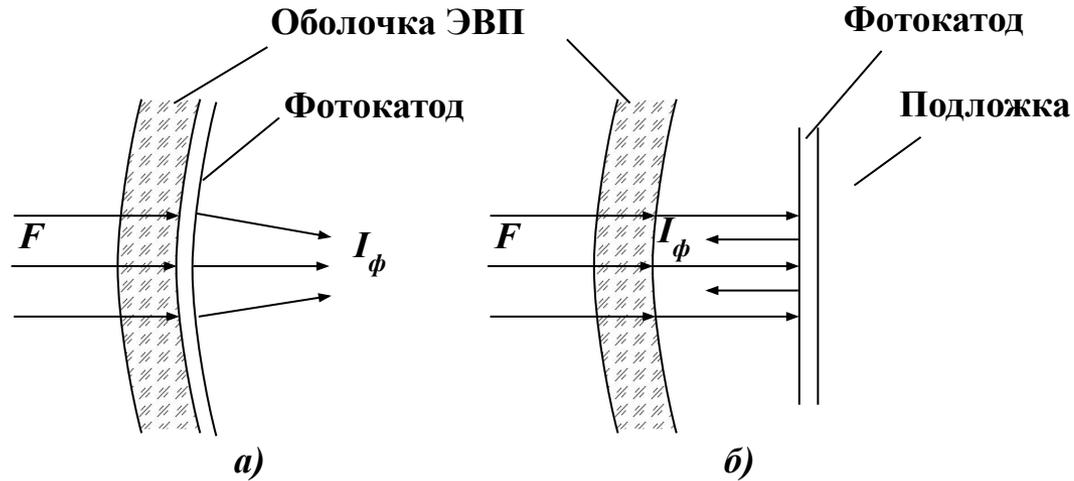
$$I_{\phi} = en = Y \frac{e}{h\nu} F_{\lambda} - \text{ток фотоэлектронной эмиссии}$$

$$I_{\phi} \sim F \quad \text{закон Столетова}$$

# Фотоэлектронная и термоэлектронная работа выхода полупроводников



# Фотоэлектронные катоды



$$S_\lambda = \frac{I_\phi}{F_\lambda} - \text{спектральная чувствительность } \mu\text{кА/Вт}$$

$$S = \frac{I_\phi}{F_{\text{св}}} - \text{интегральная чувствительность } \mu\text{кА/лм}$$

$$F_{\text{св}} - \text{световой поток, лм}$$

1. Фотоэлектронная эмиссия из металлов и полупроводников. Основные законы, фотоэлектронная работа выхода.

2. Фотоэлектронные катоды, основные параметры, спектральная характеристика.

Области использования