

Литература

1. **Розанов Л.Н.** Вакуумная техника. – М.: Высшая школа, 2007.
2. **Шимони К.** Физическая электроника. – М.: Энергия, 1977.
3. **Воробьев М.Д.** Полупроводниковая и вакуумная электроника. – М.: Издательский дом МЭИ, 2005..2010.

Способы и средства получения вакуума

Вакуум

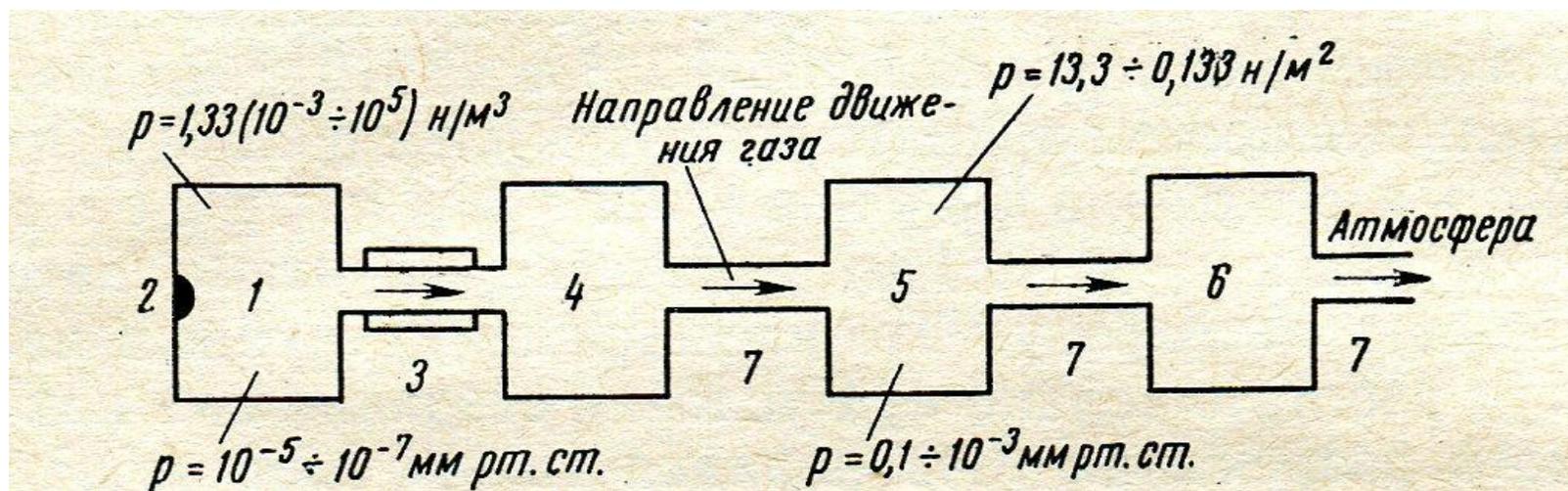
$$p = \frac{2}{3} n \overline{mv^2}$$

Единицы давления: Н/м² – Паскаль (Па)

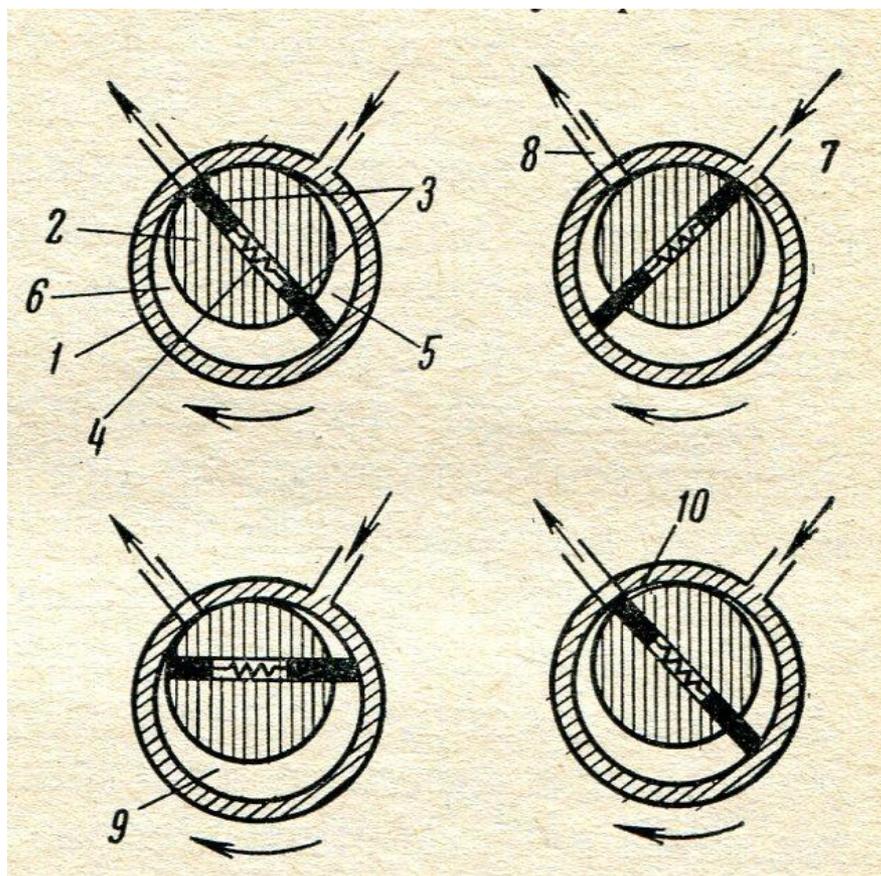
мм ртутного столба – мм.рт.ст.

$$\mathbf{1 \text{ мм.рт.ст} = 133,3 \text{ Па}}$$

Структурная схема установки для получения высокого вакуума в откачиваемом объеме



Пластинчато-роторный форвакуумный насос



Пластинчато-статорный форвакуумный насос

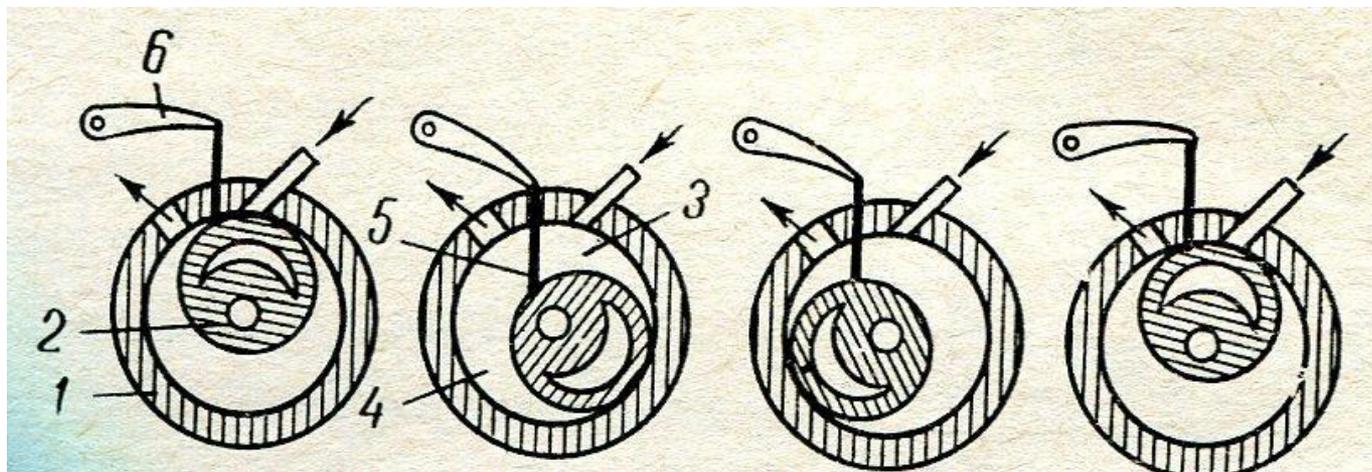


Схема молекулярной откачки

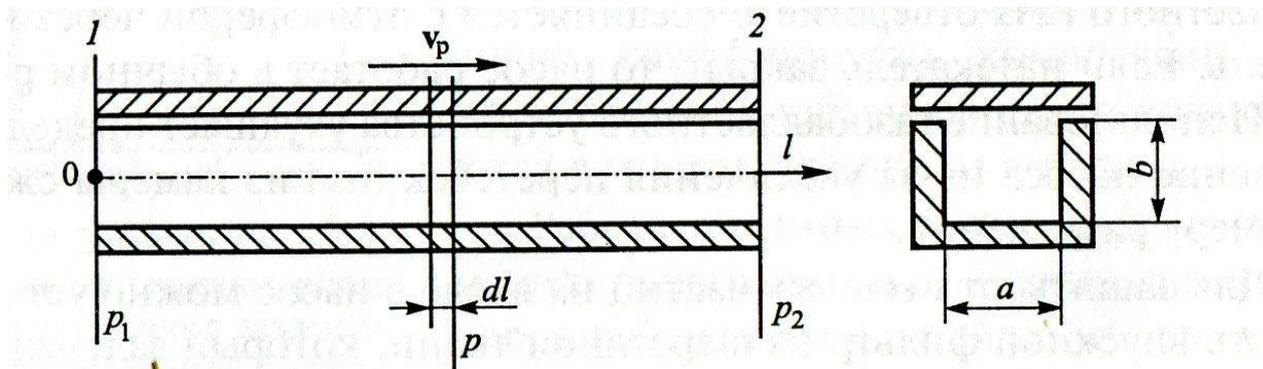
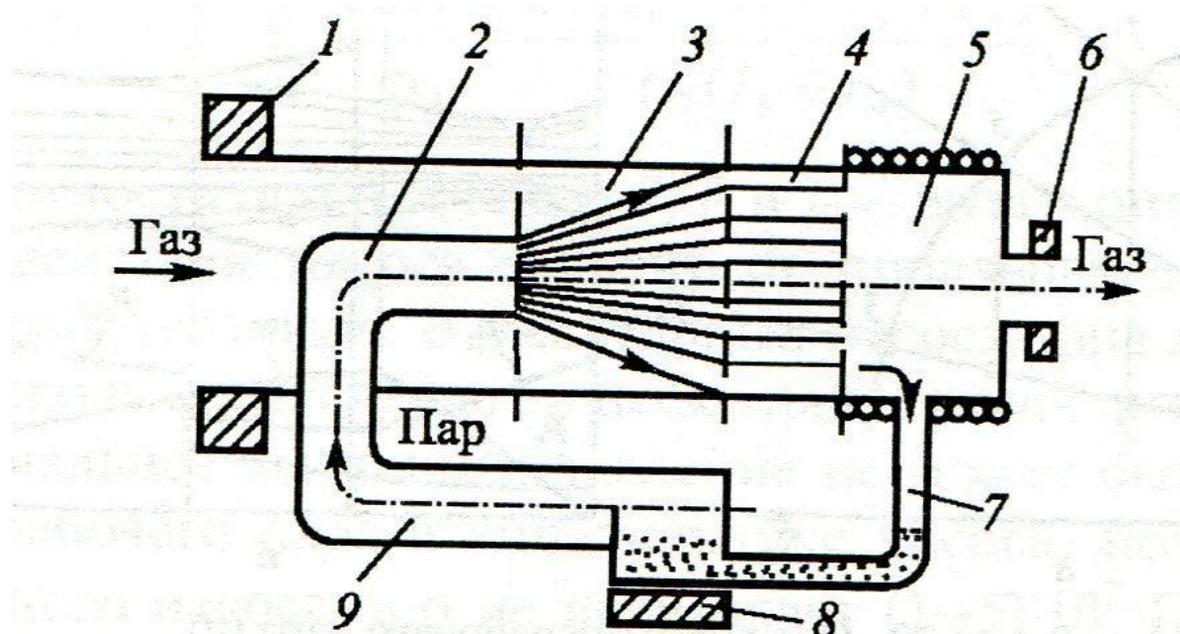
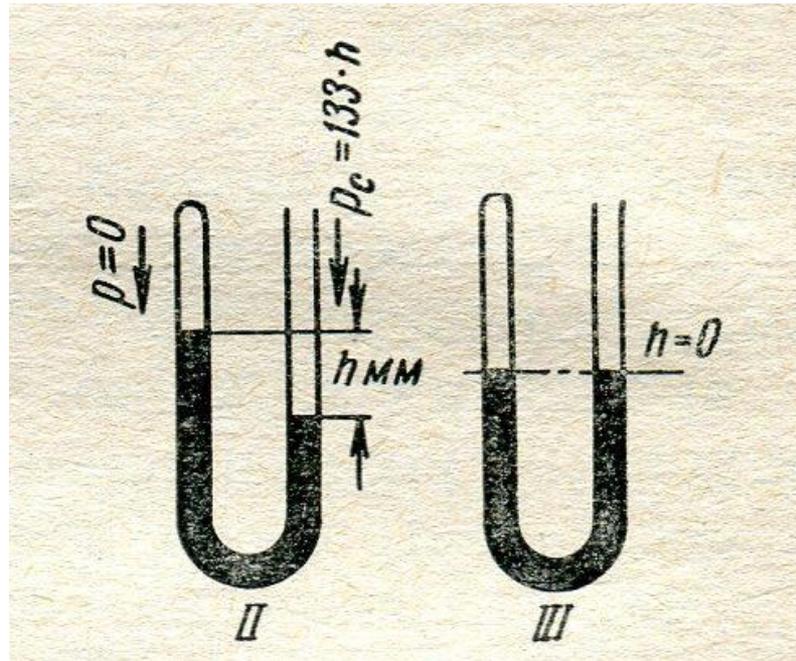


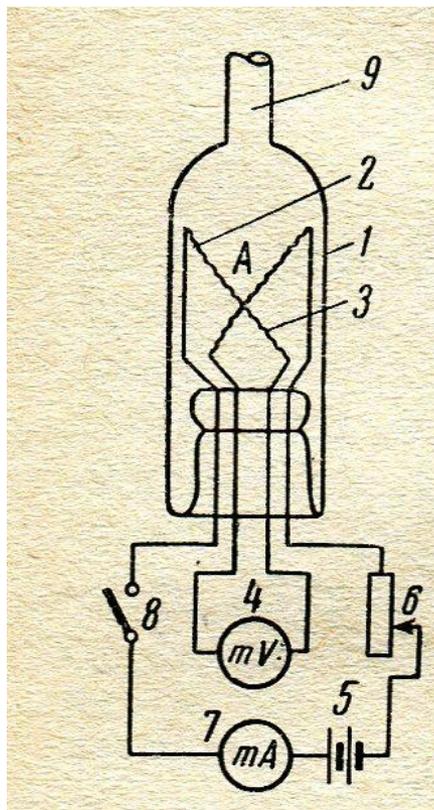
Схема пароструйной откачки



Вакуумметры



Термопарный манометрический преобразователь



Термопарный манометрический преобразователь

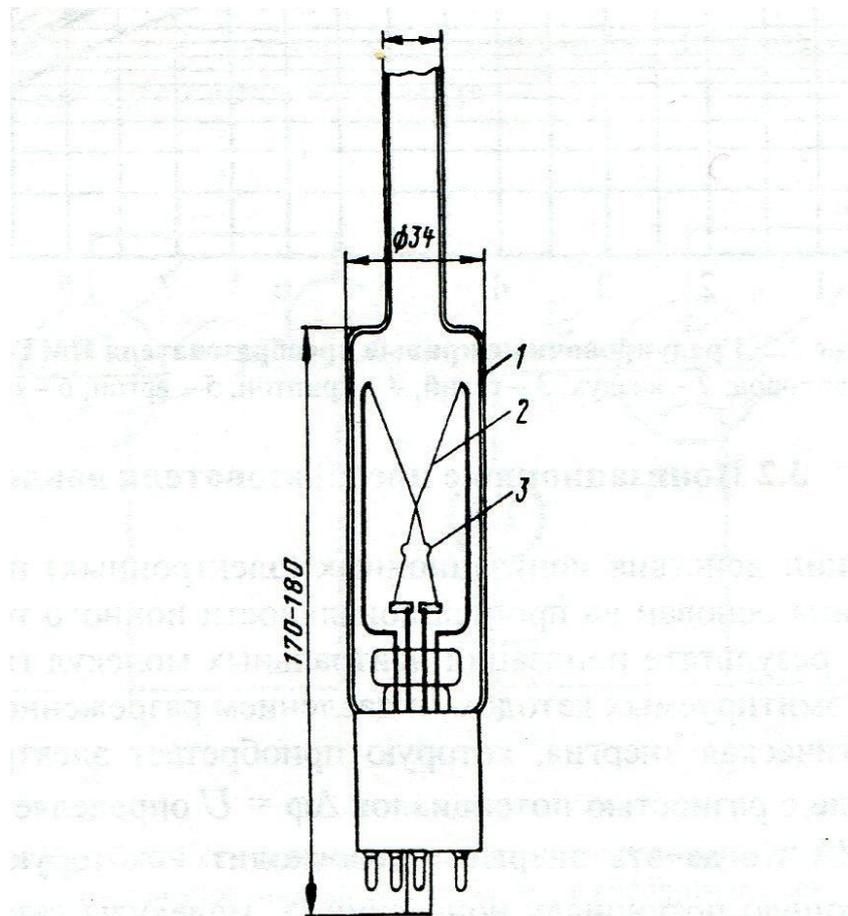
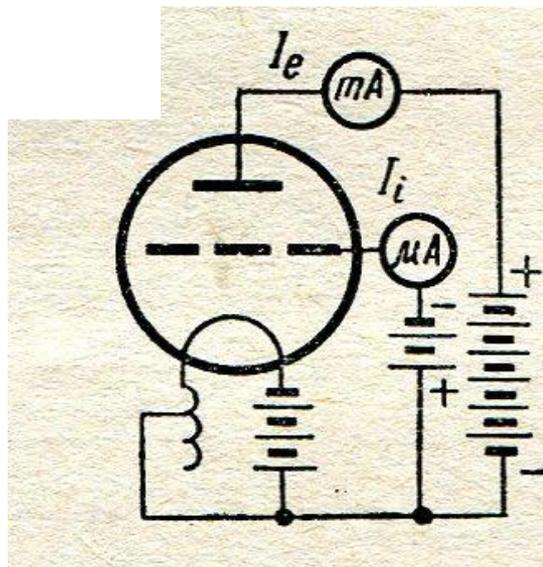
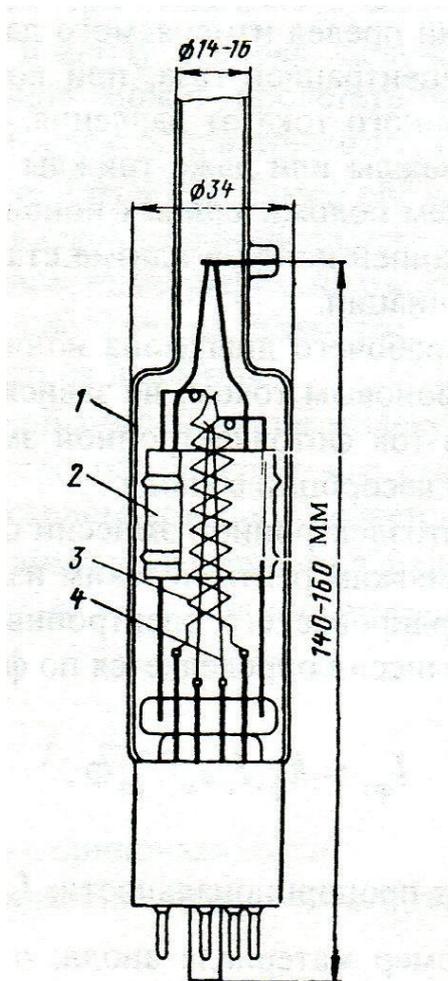


Рис.3.1. Термопарный манометрический преобразователь ПМТ-2

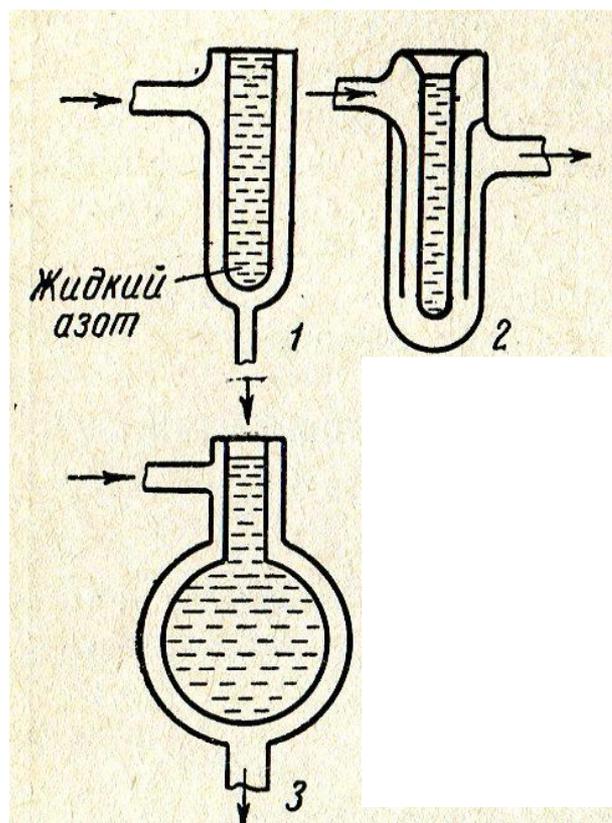
Схема включения ионизационного манометрического преобразователя



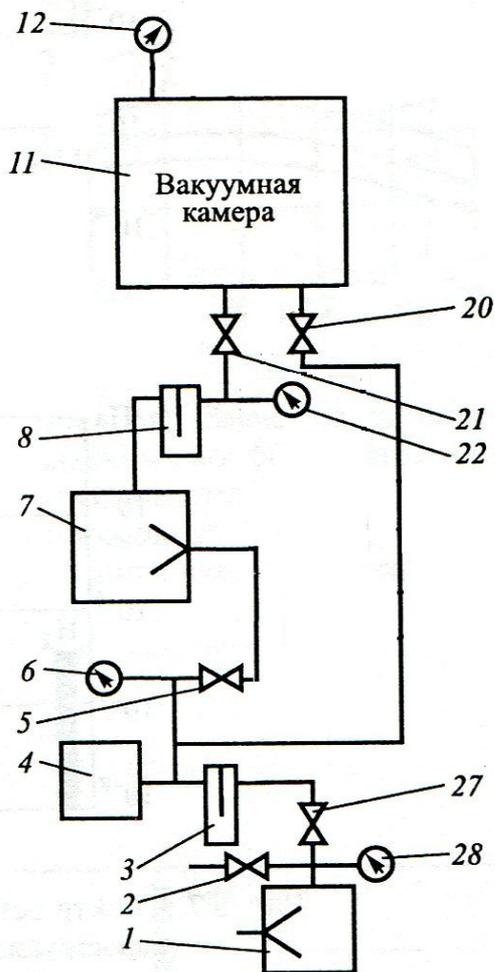
Ионизационный манометрический преобразователь



Охлаждаемые ловушки



Система для получения высокого вакуума

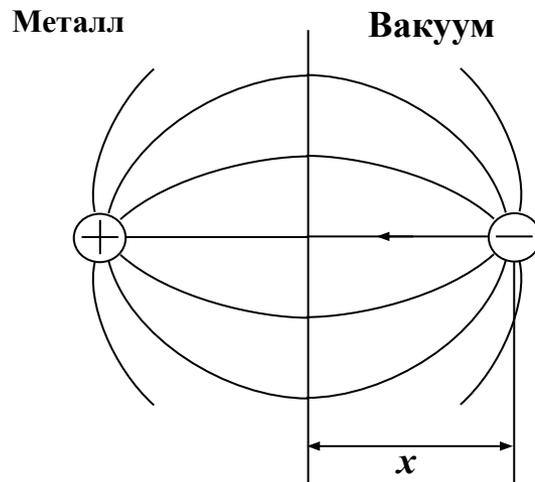


1. Способы получения вакуума
2. Методы и приборы для получения вакуума
3. Система для получения высокого вакуума

Термоэлектронная эмиссия
Термоэлектронные катоды

Термоэлектронная эмиссия

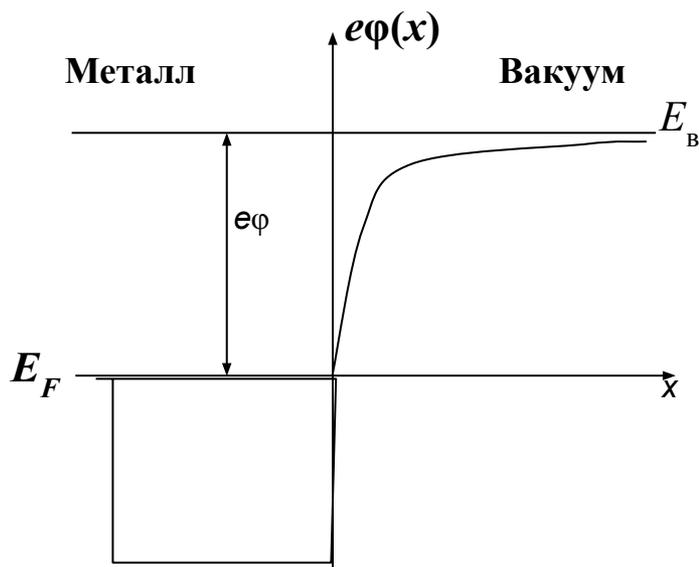
Контакт металл - вакуум



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

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

Энергетическая диаграмма контакта металл – вакуум



$$e\varphi(x) = \int_0^x F dx.$$

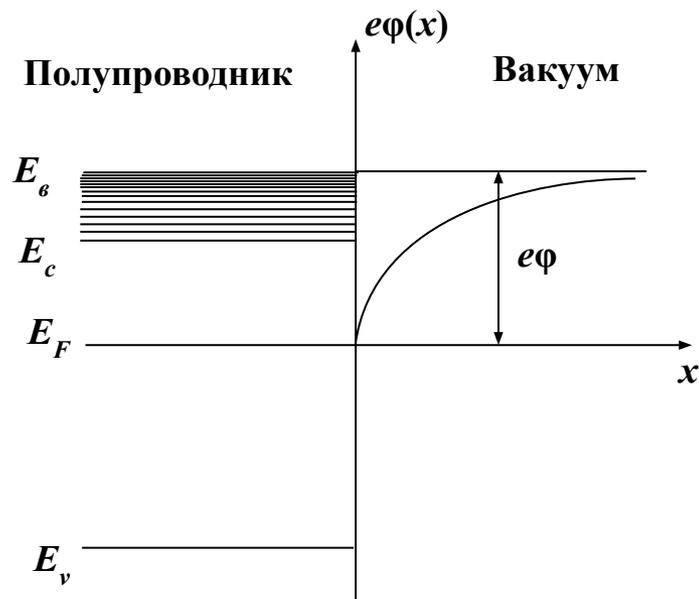
работа выхода электрона из твердого тела

Основное уравнение термоэлектронной эмиссии (уравнение Ричардсона)

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

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

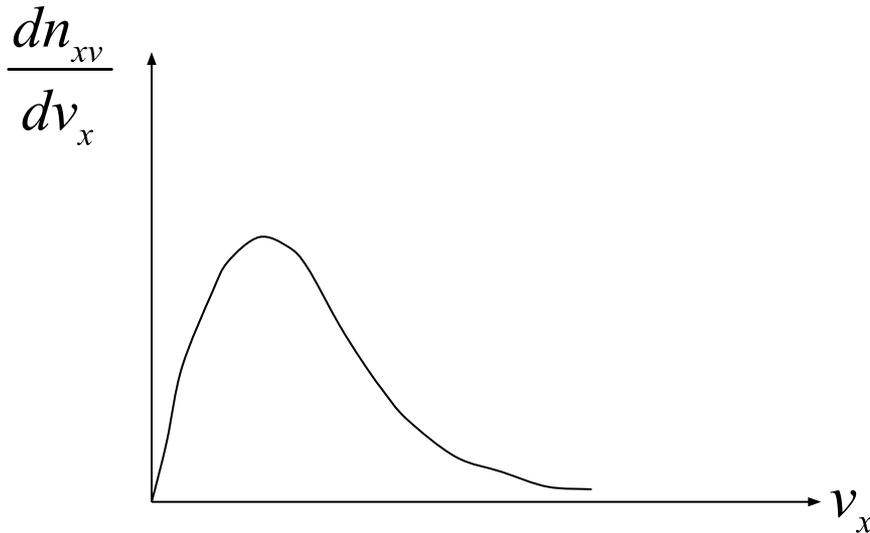
Энергетическая диаграмма контакта полупроводник - вакуум



Распределение эмитированных электронов по начальным скоростям

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

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



Вольт-амперная характеристика вакуумного диода при задерживающем электрическом поле между анодом и катодом

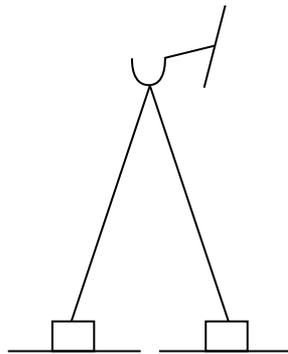
$$I_a = Se \int_{v_x = \sqrt{\frac{2e|U_a|}{m}}}^{\infty} v_x dn_{vx} = I \exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right)$$

$$U_a < 0$$

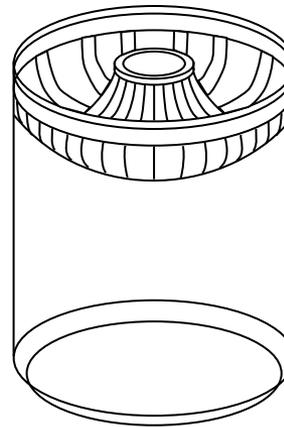
Задача 1

Рассчитать ток в диоде, у которого плоский эмиттер электронов имеет площадь $0,1$ кв.см, температуру 2700 К и напряжение коллектора электронов (анода) минус 1 В. Работа выхода эмиттера составляет $4,5$ эВ.

Термоэлектронные катоды из чистых металлов (W)

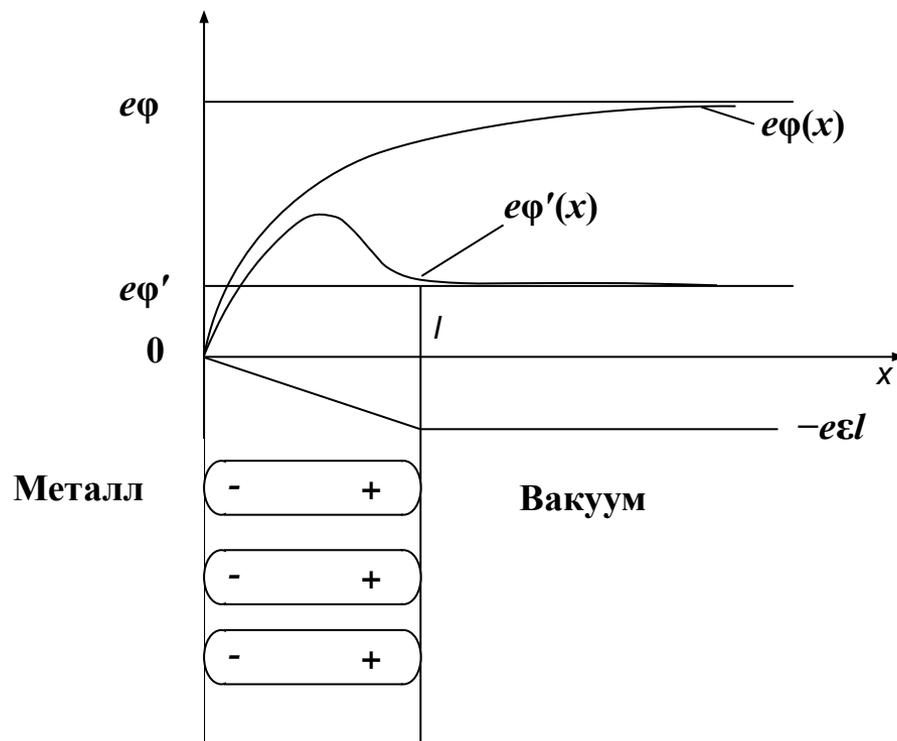


a)

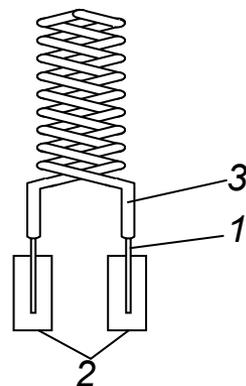
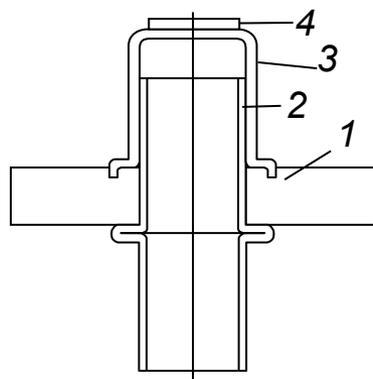


б)

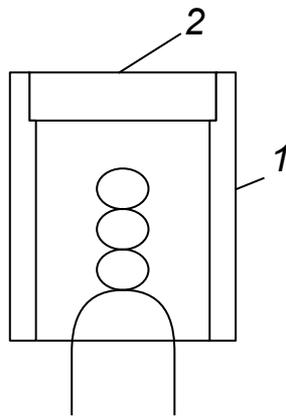
Снижение работы выхода при нанесении пленки чужеродных атомов



Оксидный катод косвенного накала



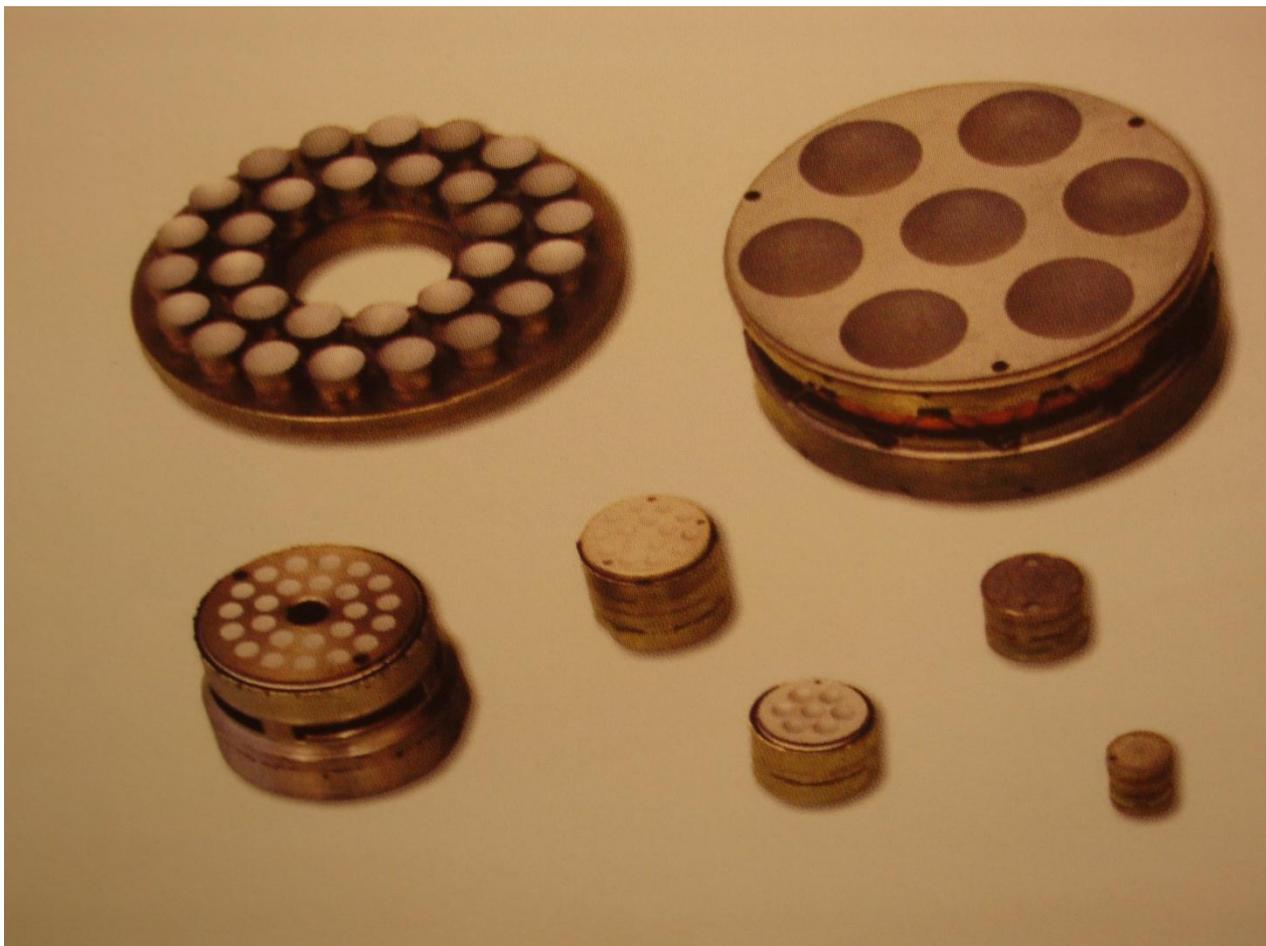
Металлопористый катод



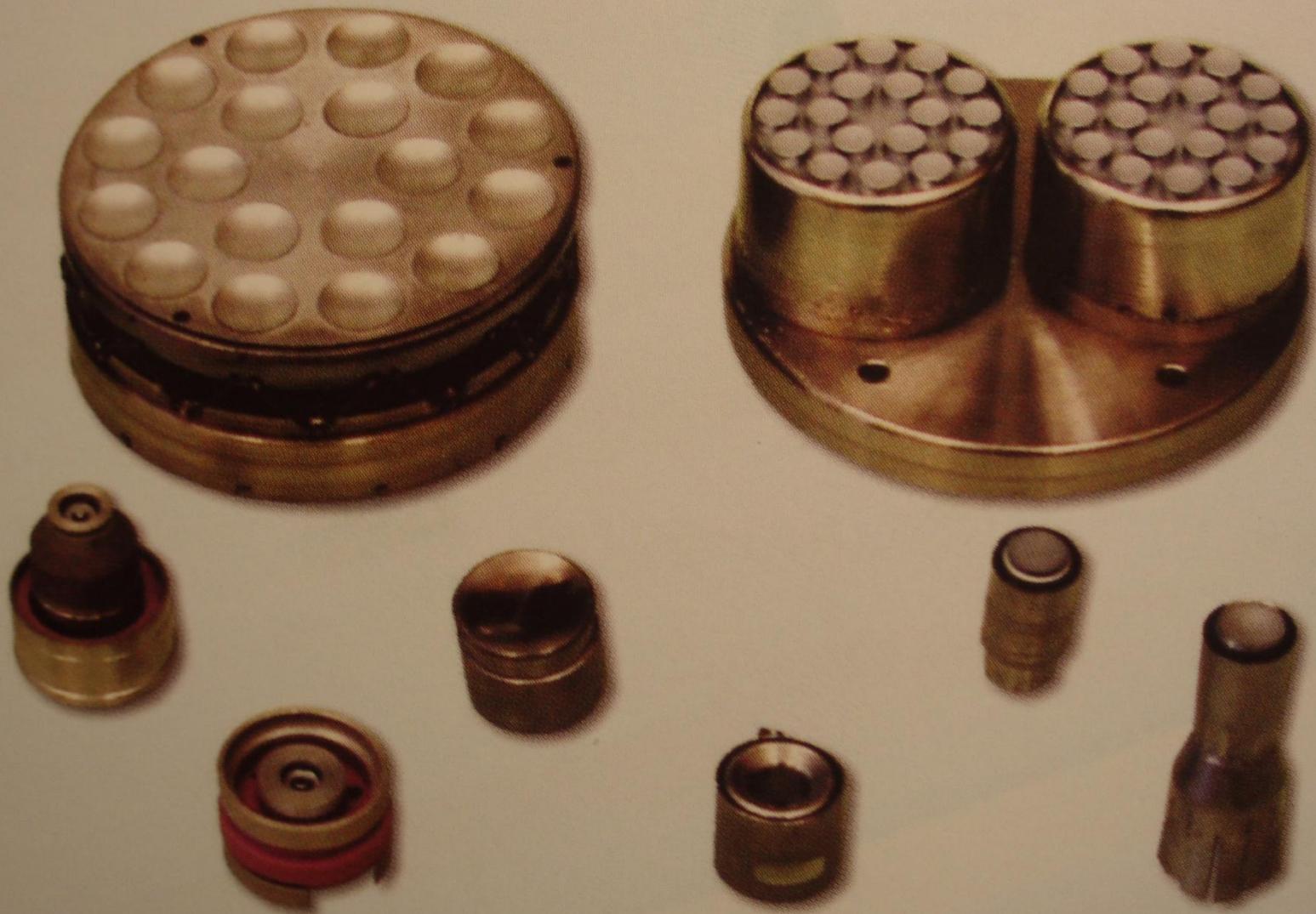
Оксидные катоды



Металлопористые катоды



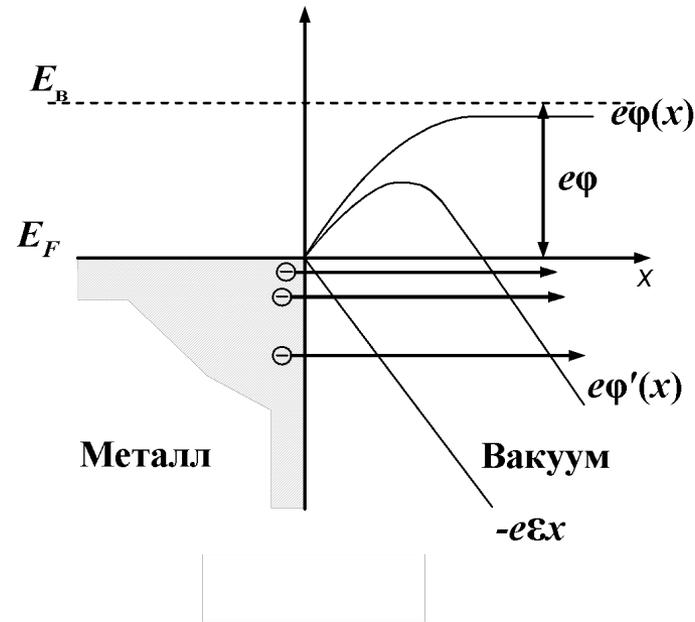
Металлопористые катоды



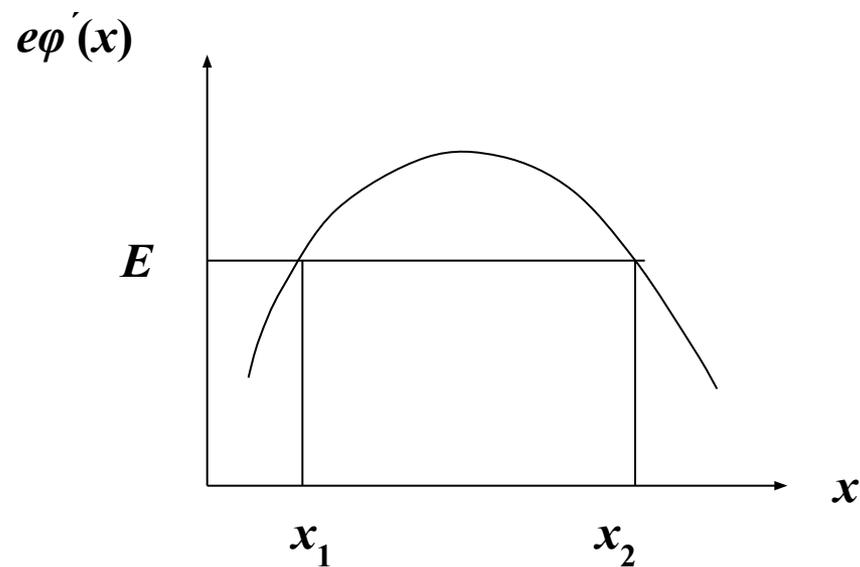
1. Механизм термоэлектронной эмиссии, энергетические диаграммы контактов металл-вакуум, полупроводник – вакуум.
2. Уравнение Ричардсона, последовательность вывода, работа выхода.
3. Распределение электронов по начальным скоростям при термоэмиссии, вольт-амперные характеристики при задерживающем электрическом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

Автоэлектронная эмиссия
Автоэлектронные катоды

Энергетическая диаграмма контакта металл-вакуум при больших электрических полях



Прозрачность потенциального барьера



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

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 см^2 эмитирующей поверхности изнутри твердого тела, и имеющих импульсы в диапазоне

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

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

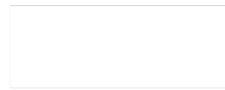
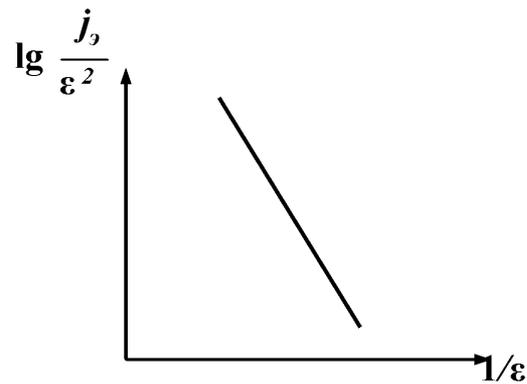
Плотность тока автоэлектронной эмиссии

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

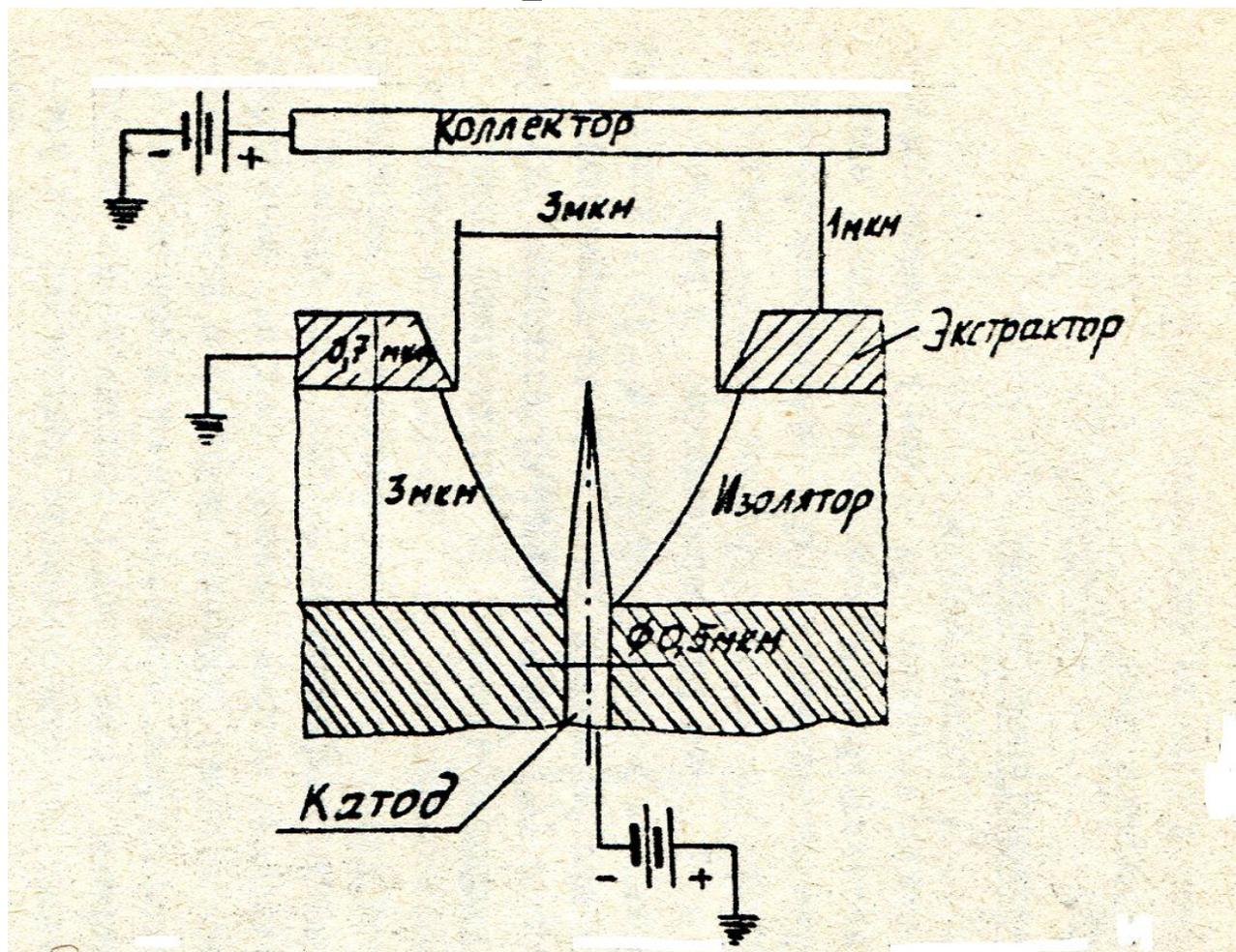
$$E = \frac{p_x^2}{2m}$$

Уравнение Фаулера - Нордгейма

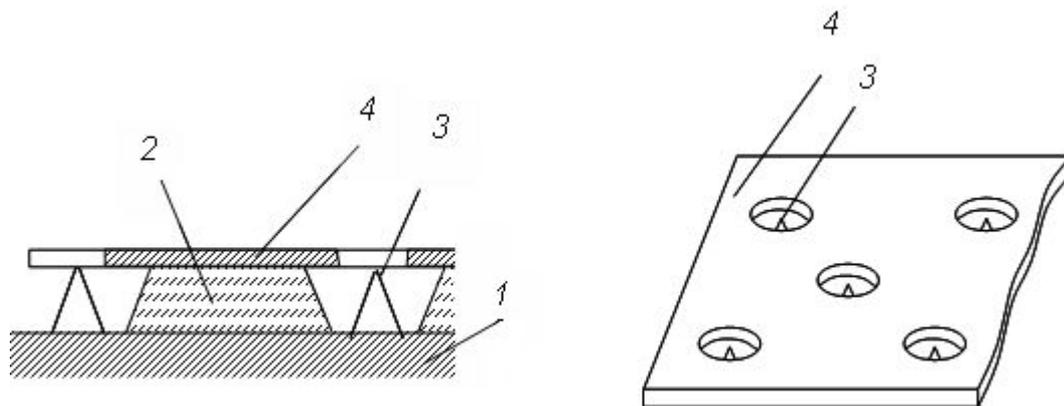
$$j_{\text{э}} = B\varepsilon^2 \exp\left(-\frac{C}{\varepsilon}\right)$$



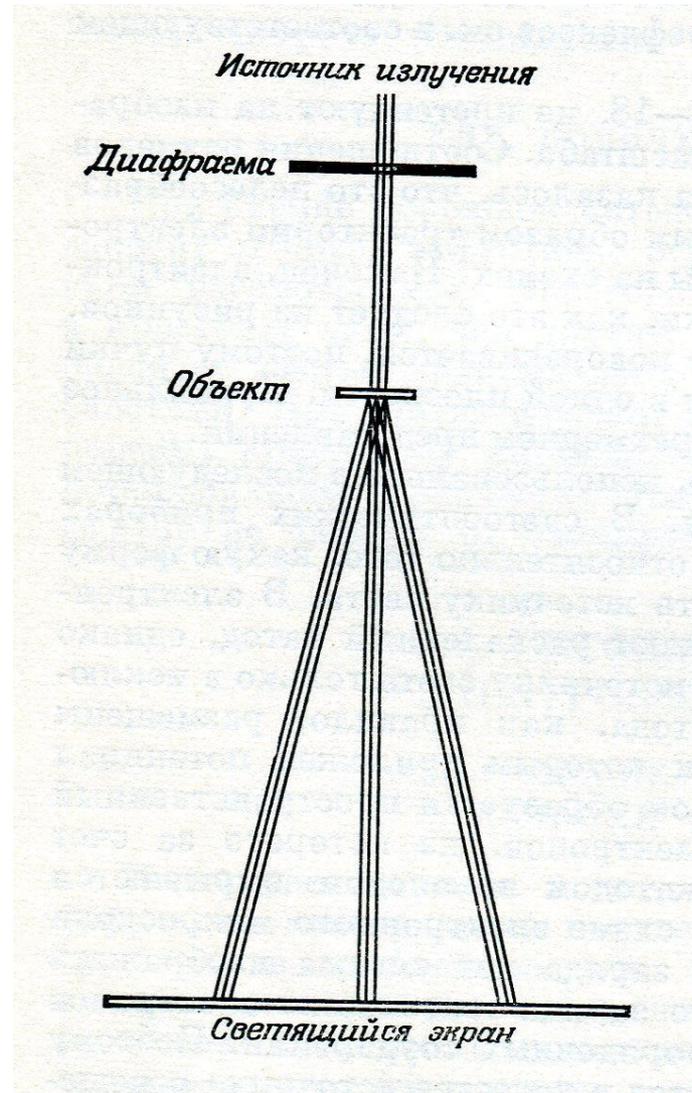
Диодная микроячейка с автоэлектронным катодом



Матричный автоэлектронный катод



Просвечивающий электронный микроскоп



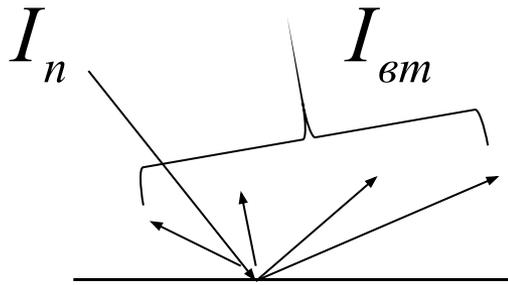
1. Механизм и особенности АЭ эмиссии.

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

Вторичная электронная эмиссия

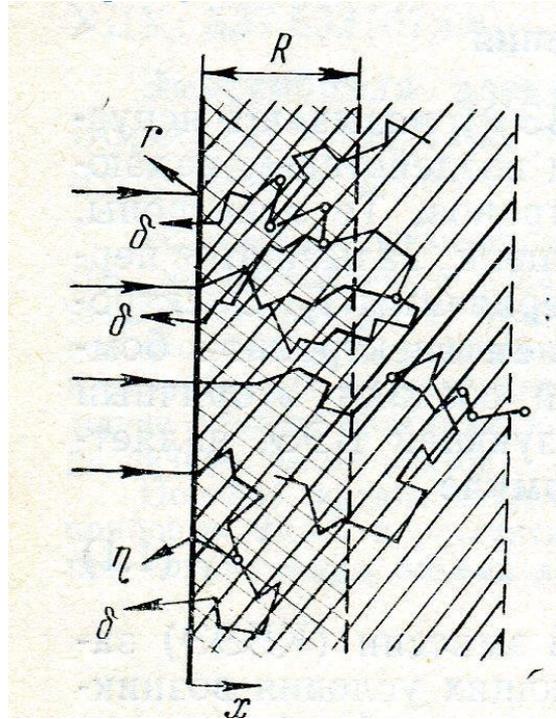
Вторичная электронная эмиссия

Коэффициент вторичной эмиссии



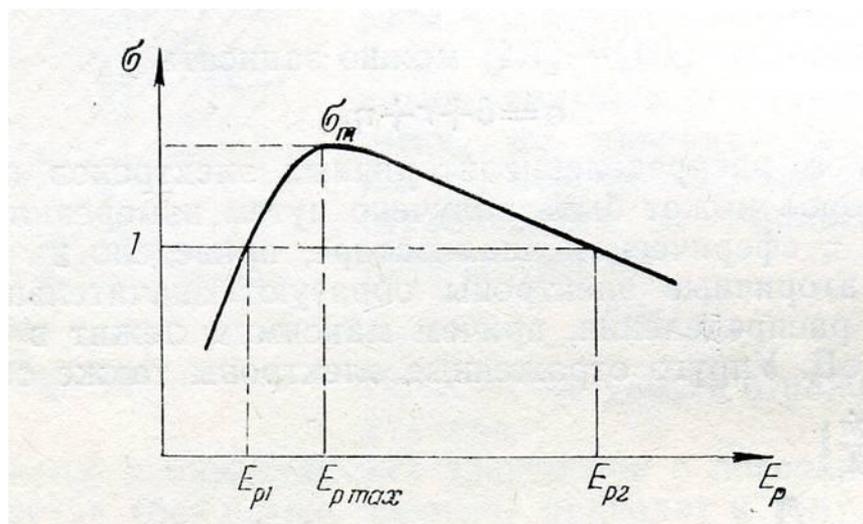
$$\sigma = \frac{I_{вт}}{I_n}$$

Механизм возникновения вторичной электронной эмиссии

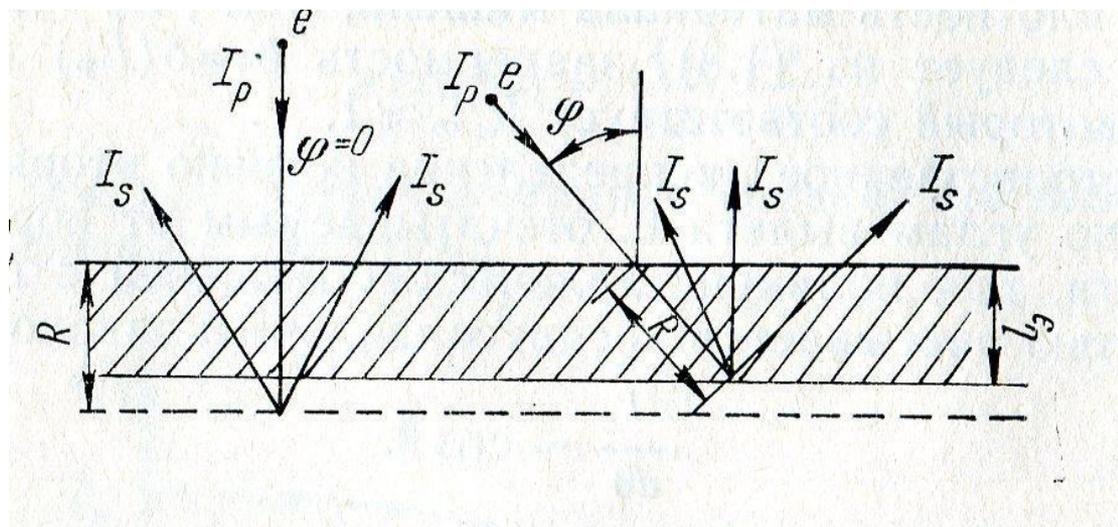


$$\sigma = \delta + \eta + r$$

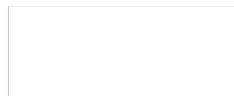
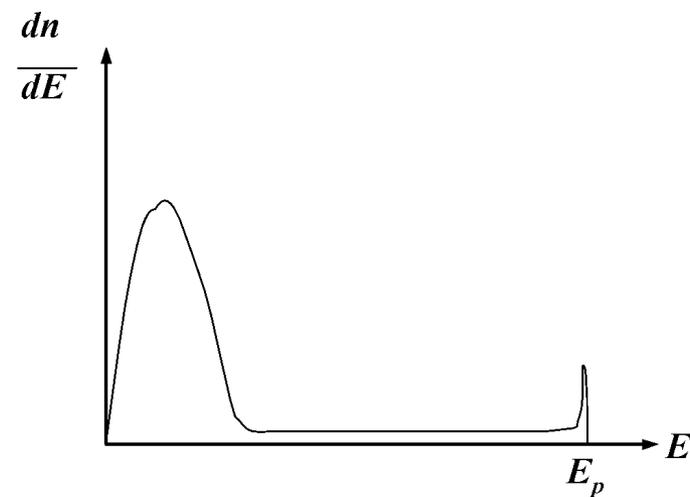
Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов



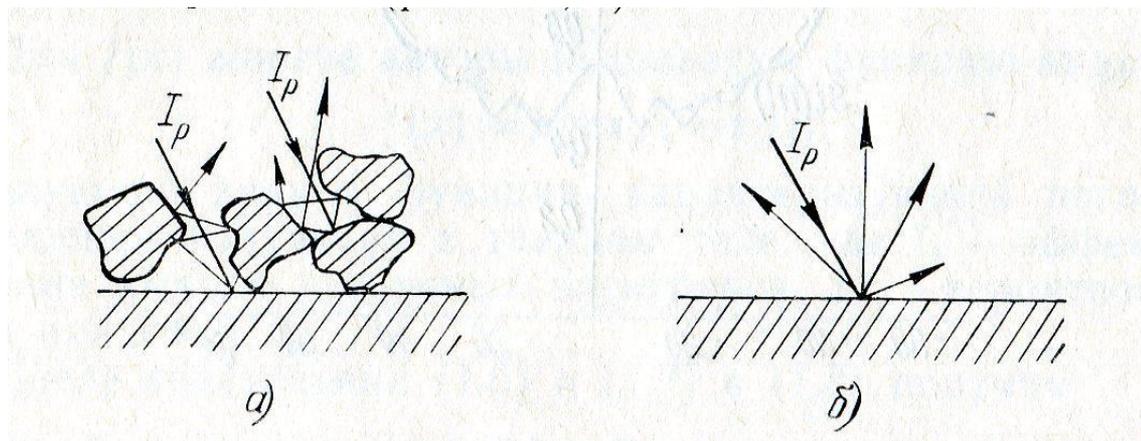
Зависимость вторичной эмиссии от угла падения первичных электронов



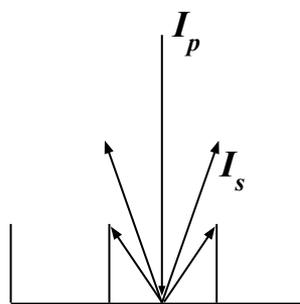
Распределение вторичных электронов по энергиям



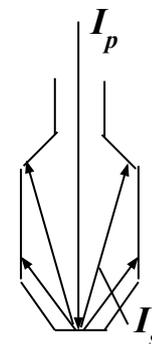
Зависимость вторичной эмиссии от рельефа поверхности



Подавление влияния вторичной эмиссии в электровакуумных приборах

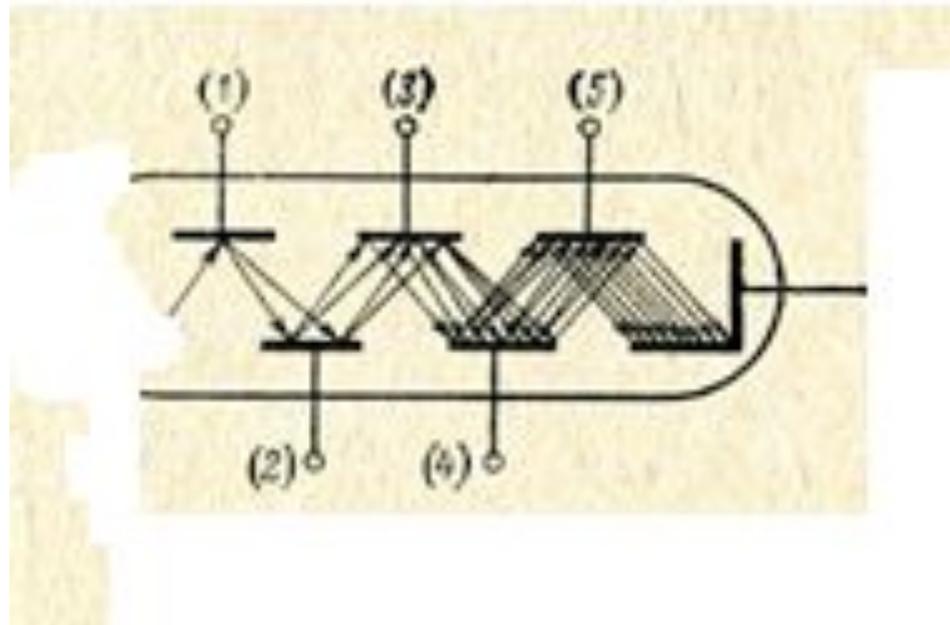


a)

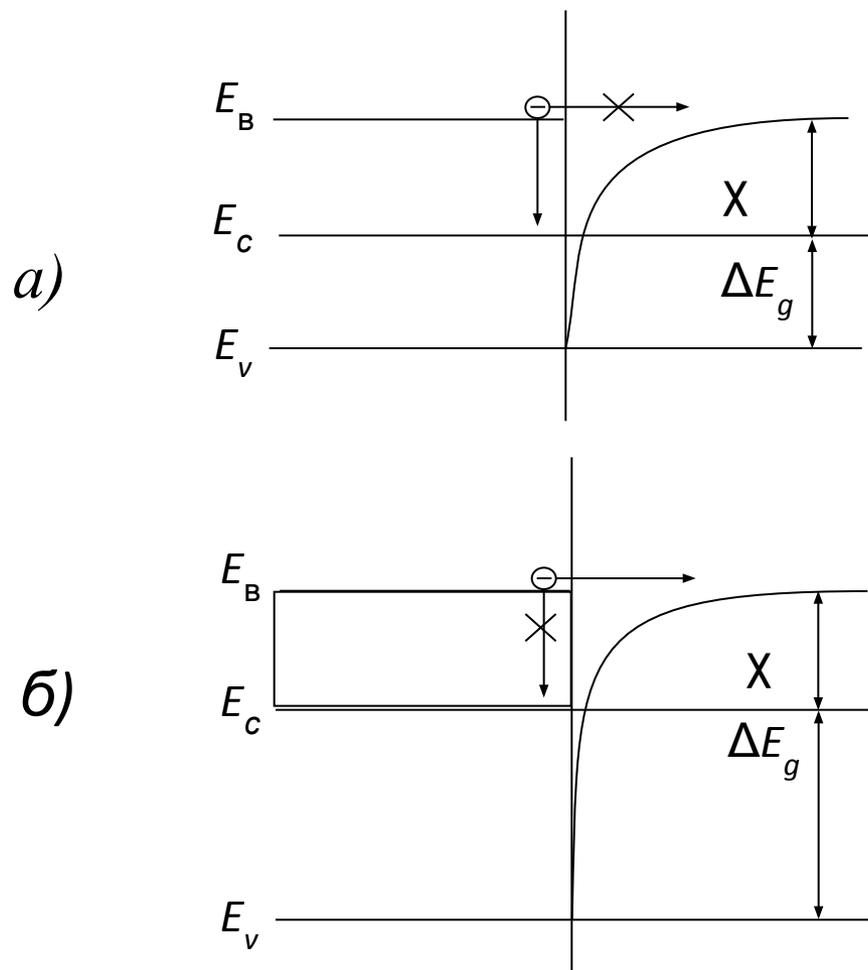


б)

Электронный умножитель



Вторичная эмиссия полупроводников с различными соотношениями энергии электронного сродства и ширины запрещенной зоны



1. Вторичная электронная эмиссия. Механизм возникновения. Зависимость от энергии, угла падения первичных электронов и рельефа поверхности.

2. Влияние вторичной электронной эмиссии на работу ЭВП. Способы подавления и усиления вторичной электронной эмиссии.

Фотоэлектронная эмиссия

Оптический диапазон электромагнитного излучения

Оптический диапазон электромагнитного излучения – $\lambda = 10^{-9} \div 10^{-3}$ м

Диапазон излучения, воспринимаемый глазом – $\lambda = 380 \div 780$ нм

Ультрафиолетовый диапазон – $\lambda < 380$ нм

Инфракрасный диапазон – $\lambda > 780$ нм

$$\lambda \nu = 3 \cdot 10^8 \text{ м / с}$$

$$E = h\nu$$

Фотоэлектронная эмиссия

F_λ — мощность монохроматического излучения с частотой ν и длиной волны λ , падающего на поверхность (лучистый поток)

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

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

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

$I_\phi \sim F$ закон Столетова

Фотоэлектронная работа выхода

Закон Эйнштейна

$$E_{\max} = h\nu - e\varphi_{\phi}$$

$e\varphi_{\phi}$ – фотоэлектронная работа выхода

для металлов совпадает с работой выхода
при термоэмиссии

«Красная граница» фотоэффекта:

$$h\nu_0 - e\varphi_{\phi} = 0$$

$$\nu_0 = \frac{e\varphi_{\phi}}{h}$$

$$\text{при } \nu \leq \nu_0 \quad I_{\phi} = 0$$

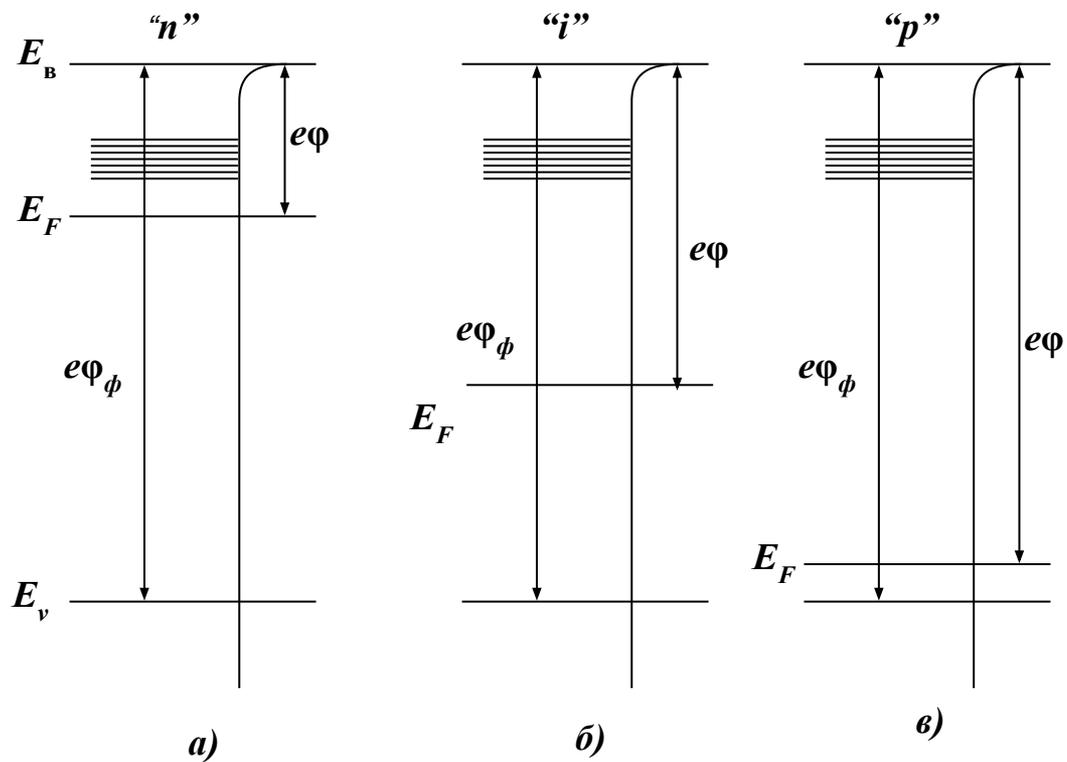
Задача 2.

Определить максимальное значение работы выхода металлического эмиттера фотоэлектронов, у которого может наблюдаться фотоэффект в видимой части оптического диапазона

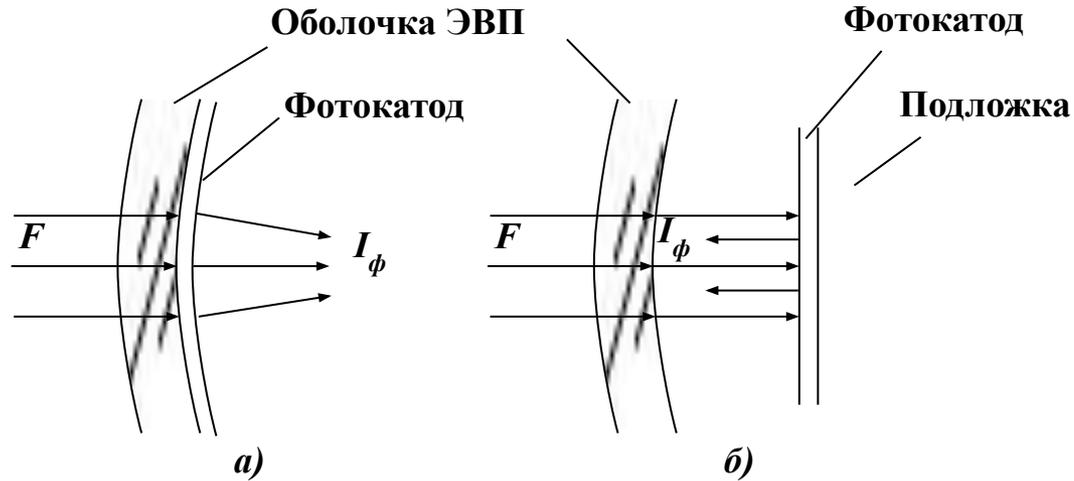
Задача 3

Определить, каким должно быть напряжение анода в диоде с металлическим фотоэмиттером, чтобы анодный ток был равен нулю. На эмиттер падает излучение с длиной волны 200 нм, работа выхода эмиттера равна 3,5 эВ.

Фотоэлектронная и термоэлектронная работа выхода полупроводников



Фотоэлектронные катоды



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

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

$F_{св}$ – световой поток, лм

Cs_2Te , MgF_2 , RbTe

Cs_3Sb

30 – 100 мкА/лм

(40 – 80 мА/Вт) макс

$\text{Ag}_0 - \text{Cs}$

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

2. Фотоэлектронные катоды, основные параметры, спектральная характеристика.

Области использования