

Лекция №2.

Вакуум и катоды

Вакуум – среда свободная от вещества

Постулаты физики вакуума:

- газ состоит из отдельных движущихся молекул;
- существует постоянное распределение молекул газа по скоростям;
- при движении молекул газа нет преимущественных направлений, пространство газовых молекул изотропно;
- температура газа – величина, пропорциональная средней кинетической энергии его молекул;
- при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа адсорбируется.

Каждой адсорбированной стенкой сосуда молекуле соответствует одна десорбированная молекула с противоположным направлением вектора скорости, а суммарное изменение количества движения ΔK адсорбированной и десорбированной молекул равен

$$\Delta K = 2mv \cos \Theta,$$

где Θ – угол между нормалью к поверхности и вектором скорости.

Под давлением газа понимают средний импульс ΔK передаваемый

Уравнение Менделеева-Клапейрона:
$$pV = \frac{Nn}{M}RT$$

где N — число молекул;

m — масса одной молекулы;

M — масса газа, выраженная в тех же единицах, что и m, и численно равная его молекулярной массе;

R — универсальная газовая постоянная, численное значение которой зависит от выбранной системы единиц. В системе СИ: $R = 8,3146 \cdot 10^3 \text{ Дж/(К*кмоль)}$, а давление измеряется в Паскалях (Па).

Единицы давления

	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техническая атмосфера (at, ат)	Физическая атмосфера (atm, атм)	Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр)
1 Па	1 Н/м ²	10 ⁻⁵	10,197·10 ⁻⁶	9,8692·10 ⁻⁶	7,5006·10 ⁻³
1 бар	10 ⁵	1·10 ⁶ дин/см ²	1,0197	0,98692	750,06
1 ат	98066,5	0,980665	1 кгс/см ²	0,96784	735,56
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760
1 мм рт. ст.	133,322	1,3332·10 ⁻³	1,3595·10 ⁻³	1,3158·10 ⁻³	1 мм рт. ст.

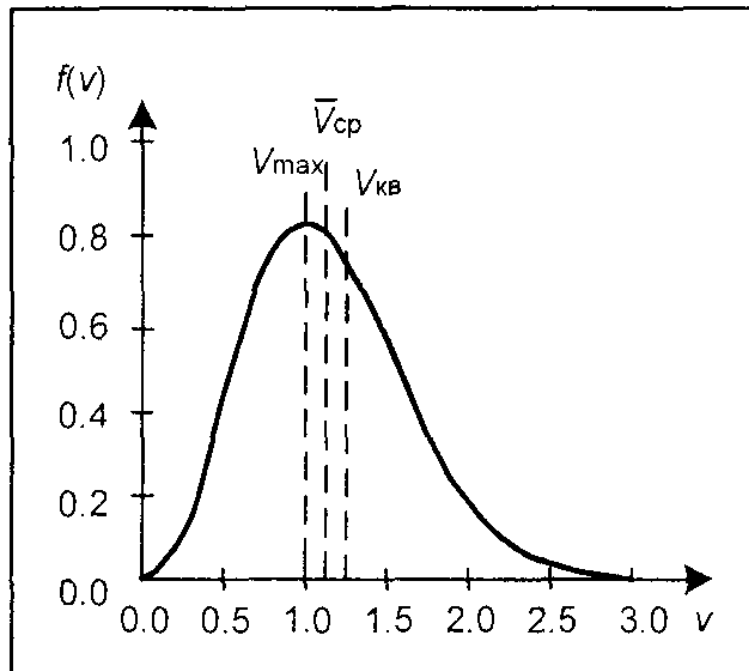
где
$$v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N}}$$
 — средняя квадратичная скорость теплового движения молекул.

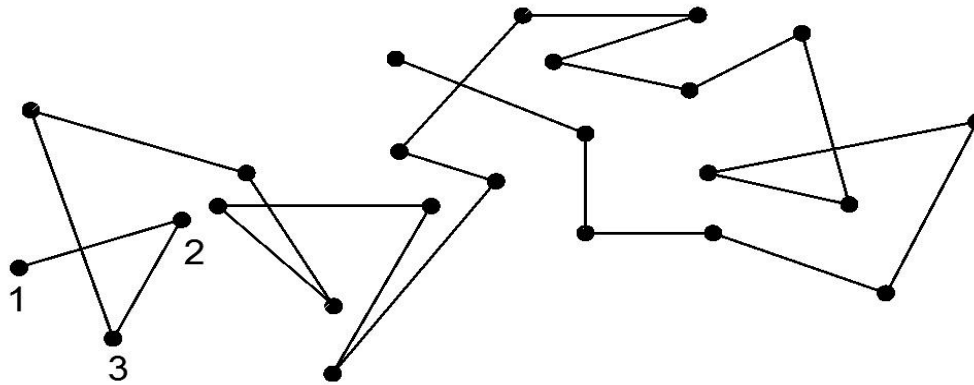
Средняя квадратичная скорость молекул газа определяется температурой газа T

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad \text{где } k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/К} - \text{постоянная Больцмана}$$

Максвелловское распределение молекул газа по скоростям:

$$dn_v = 4n\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right) dv \quad \text{где } dn_v - \text{количество молекул, имеющих скорость от } v \text{ до } v+dv$$





Тепловое движение молекулы газа.
1,2,3 и т.д. – места столкновения с
другими молекулами

Длина свободного пробега:
$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} N_1 \pi \sigma^2 \left(1 + \frac{C}{T} \right)}$$

где N_1 – молекулярная концентрация;
 σ – эффективный диаметр молекулы;
 T – абсолютная температура;
 C – постоянная, зависящая от рода газа

Значения средней длины свободного пробега молекул воздуха

Давление воздуха		Средняя длина свободного пробега молекулы воздуха при T=25°C	
Па	мм. рт. ст.		
$1 \cdot 10^5$	750	$6,2 \cdot 10^{-8}$ м	~0,06 мкм
$1,333 \cdot 10^2$	1	$4,6 \cdot 10^{-5}$ м	46 мкм
$1 \cdot 10^2$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$ м	62 мкм
$1 \cdot 10$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$ м	0,6 мм
1	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$ м	6,2 мм
$1 \cdot 10^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$ м	62 мм
$1 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$ м	620 мм
$1 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^0$ м	6,2 м
$1 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^1$ м	62 м
$1 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$6,2 \cdot 10^2$ м	620 м
$1 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$	$6,2 \cdot 10^3$ м	6,2 км

Степени вакуума в зависимости от трудности их достижения

Степень вакуума		Низкий	Средний	Высокий	Сверхвысокий
Область давлений	Па	>10	$10 - 10^{-1}$	$10^{-2} - 10^{-5}$	$<10^{-5}$
	мм. рт. ст.	$>10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^{-4} - 10^{-7}$	$<10^{-7}$

Технологическое оборудование, используемое для создания необходимого вакуума в ЭВП:

1. Термические установки водородного и вакуумного отжига деталей и узлов.

Предназначены для предварительного обезгаживания деталей и узлов, поступающих на сборку ЭВП, в среде водорода и вакууме при нагреве до температуры 700 - 800°С, в результате чего удаляется газ, растворенный в глубине материала.

2. Различного типа термическое оборудование для высокотемпературной пайки в среде водорода, формер-газе и вакууме, применяемые при сборке изделий для соединения предварительно изготовленных узлов.

3. Установки лазерной, электронно-лучевой и аргонно-дуговой сварки.

4. Гелевые течеискатели, с помощью которых производится проверка соединений на вакуумную плотность.



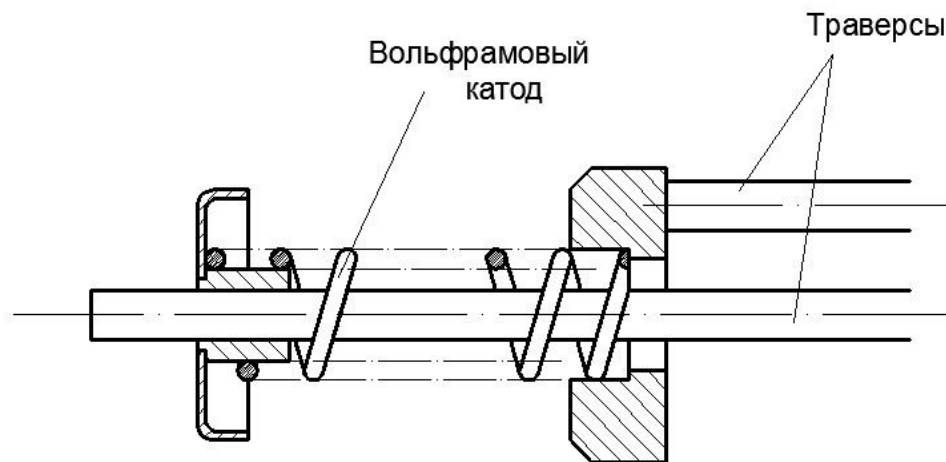
5. Откачные посты, обеспечивающие откачку изделий до давления ниже $5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.



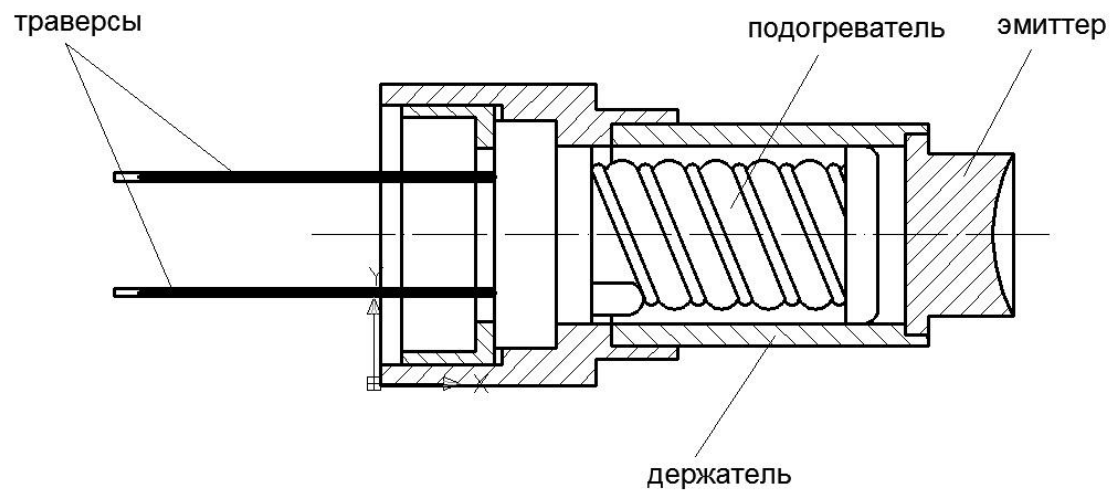
6. Технологические насосы, которые осуществляют докачку ЭВП, снятого с откачного поста, в процессе его дальнейшего изготовления, включающего в себя тренировку, технологический прогон и т.д. После окончания технологического процесса изготовления эти насосы отделяются от приборов при сохранении вакуума внутри его.



Прямонакальный катод



Катод косвенного накала



Термоэлектронная эмиссия

$$\frac{mv_i^2}{2} \geq e\varphi \text{ - Условие вылета электрона из катода}$$

m – масса электрона

v_i – проекция скорости электронов на нормаль к поверхности

$e\varphi$ – работа выхода.

Температурная зависимость плотности термоэмиссии электронов выражается уравнением Ричардсона – Дешмана:

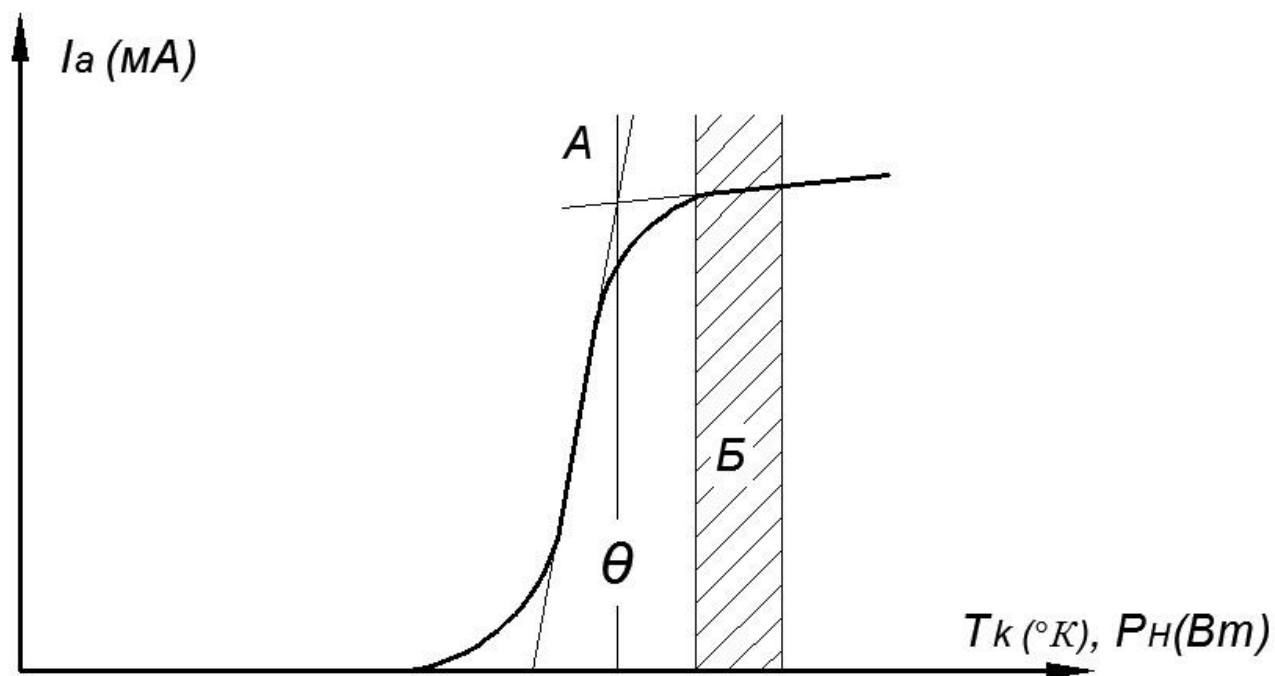
$$j_s = A T^2 e^{-\frac{e\varphi}{kT}}$$

j_s – максимальная плотность тока эмиссии (ток насыщения), А/см²;

$A_0 = 120 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{град}^{-2}$;

T – температура эмитирующей поверхности катода, °K;

$k = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/К}$ – постоянная Больцмана



**Зависимость катодного тока от температуры при
постоянном анодном напряжении**

θ – характеристическая температура;

Б – зона рабочих температур катода;

А – точка перехода из режима насыщения в режим
пространственного заряда

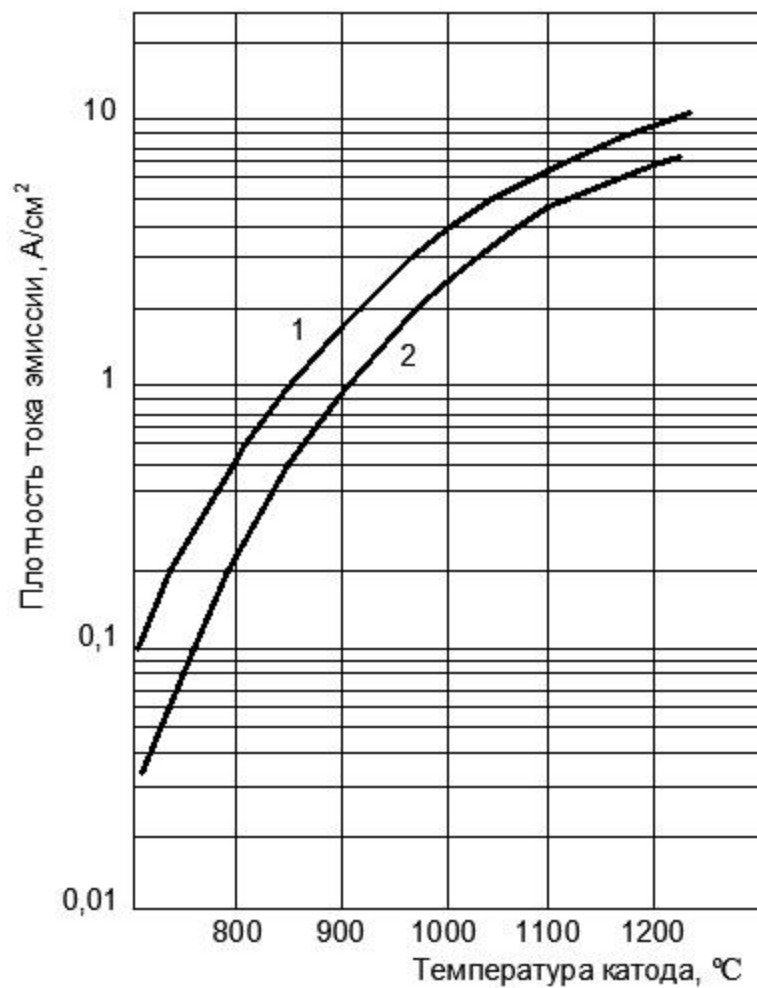
Эмиссионные свойства некоторых металлов

Металл	Точка плавления, °К	Температура при давлении пара 10^{-7} мм рт. ст., °К	Работа выхода, эВ	Удельная эмиссия, А/см ²
W	3640	2520	4,54	$4 \cdot 10^{-1}$
Ta	3270	2370	4,1	$6 \cdot 10^{-1}$
Re	3440	2430	4,7	$26 \cdot 10^{-1}$
Mo	2890	1970	4,15	$5 \cdot 10^{-3}$
C	4400	2030	4,35	$20 \cdot 10^{-3}$
Pt	2050	1650	5,4	$2 \cdot 10^{-8}$
Ni	1730	1070	4,1	$5 \cdot 10^{-9}$
Ba	1120	580	2,11	$1 \cdot 10^{-11}$

Отношение $e\phi/T$ для некоторых металлов

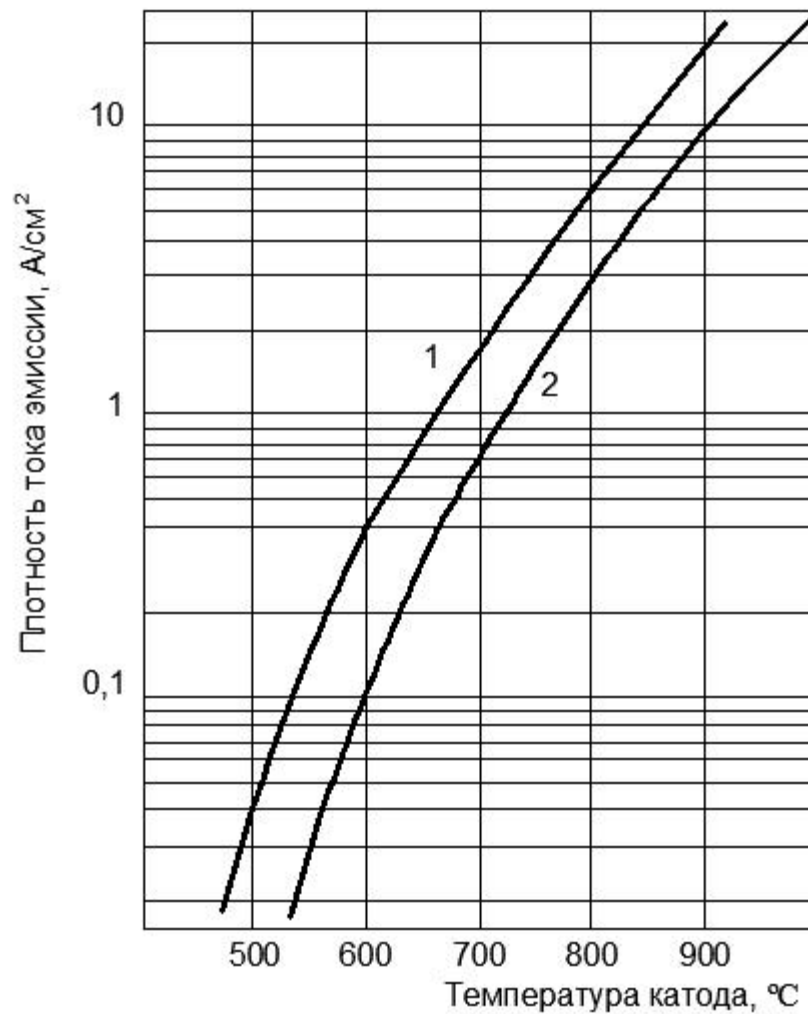
Металл	$e\phi/T$, эВ/°К
тантал	$1,72 \cdot 10^{-3}$
вольфрам	$1,77 \cdot 10^{-3}$
ниобий	$1,91 \cdot 10^{-3}$
молибден	$2,16 \cdot 10^{-3}$

Зависимость плотности тока эмиссии
металлопористого катода, покрытого пленкой осмия
от температуры



1 - эталонное значение зависимости
2 - норма

Зависимость плотности тока эмиссии
оксидного катода от температуры



1 - эталонное значение зависимости
2 - норма

