

Лекция 6

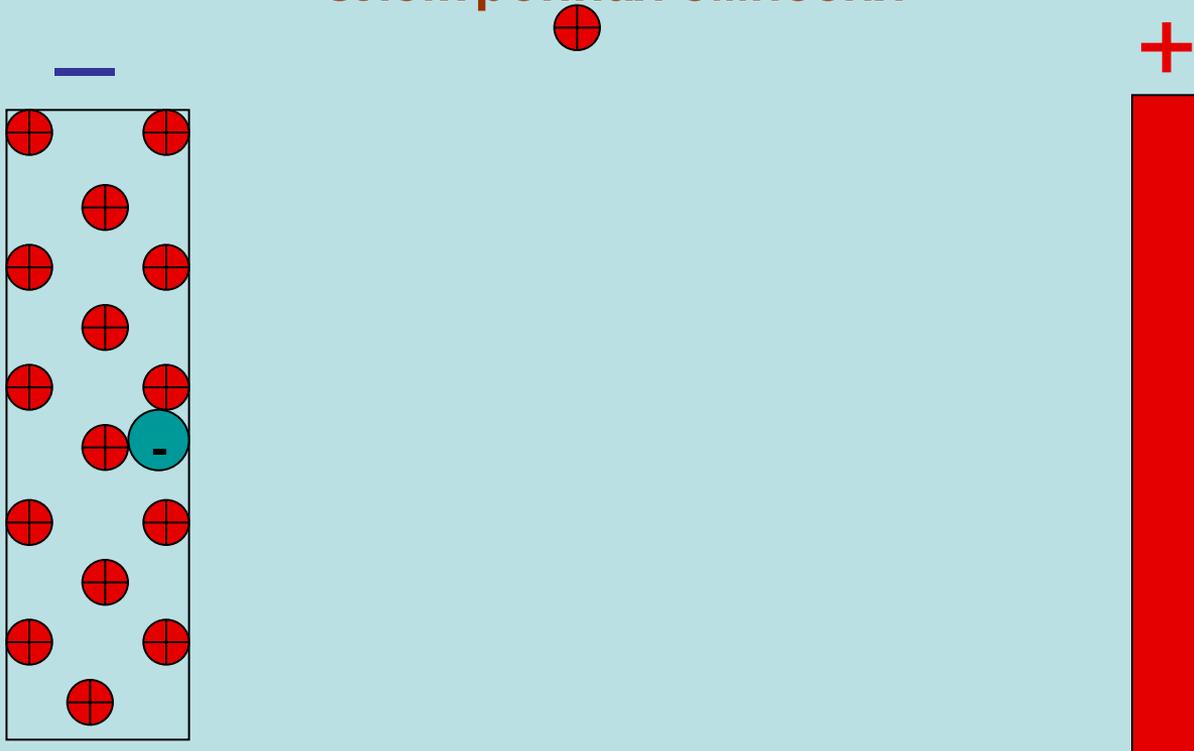
Электрический ток в различных средах

Электрический ток в вакууме.

Ионно-электронная эмиссия

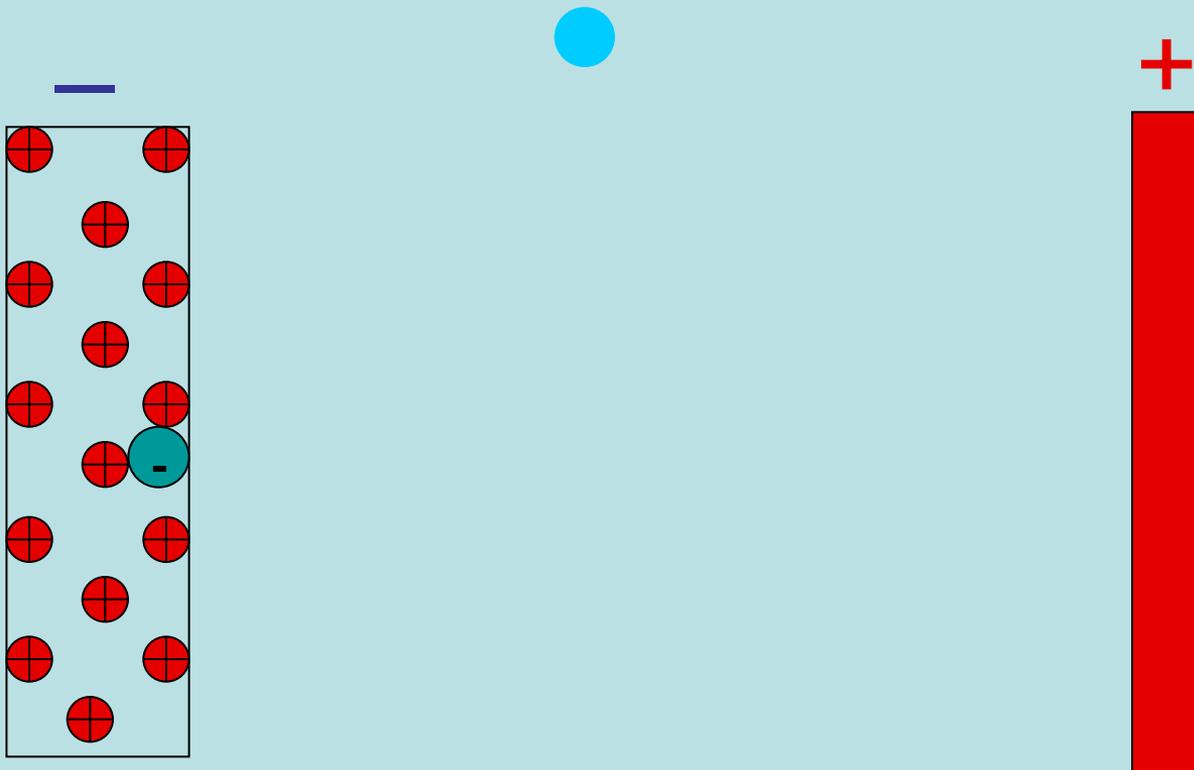
Электрический ток в вакууме – направленный поток заряженных частиц, обычно – электронов.

Электронная эмиссия



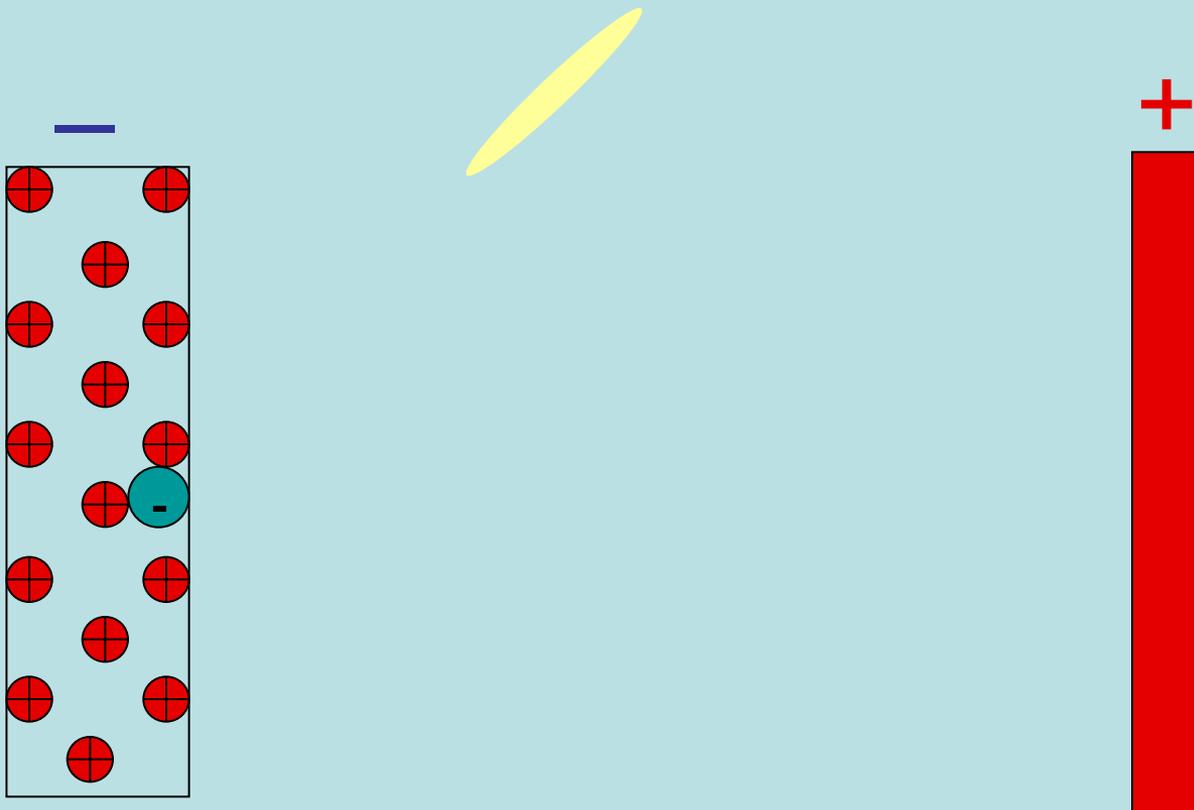
Электрический ток в вакууме.

Вторичная электронная эмиссия



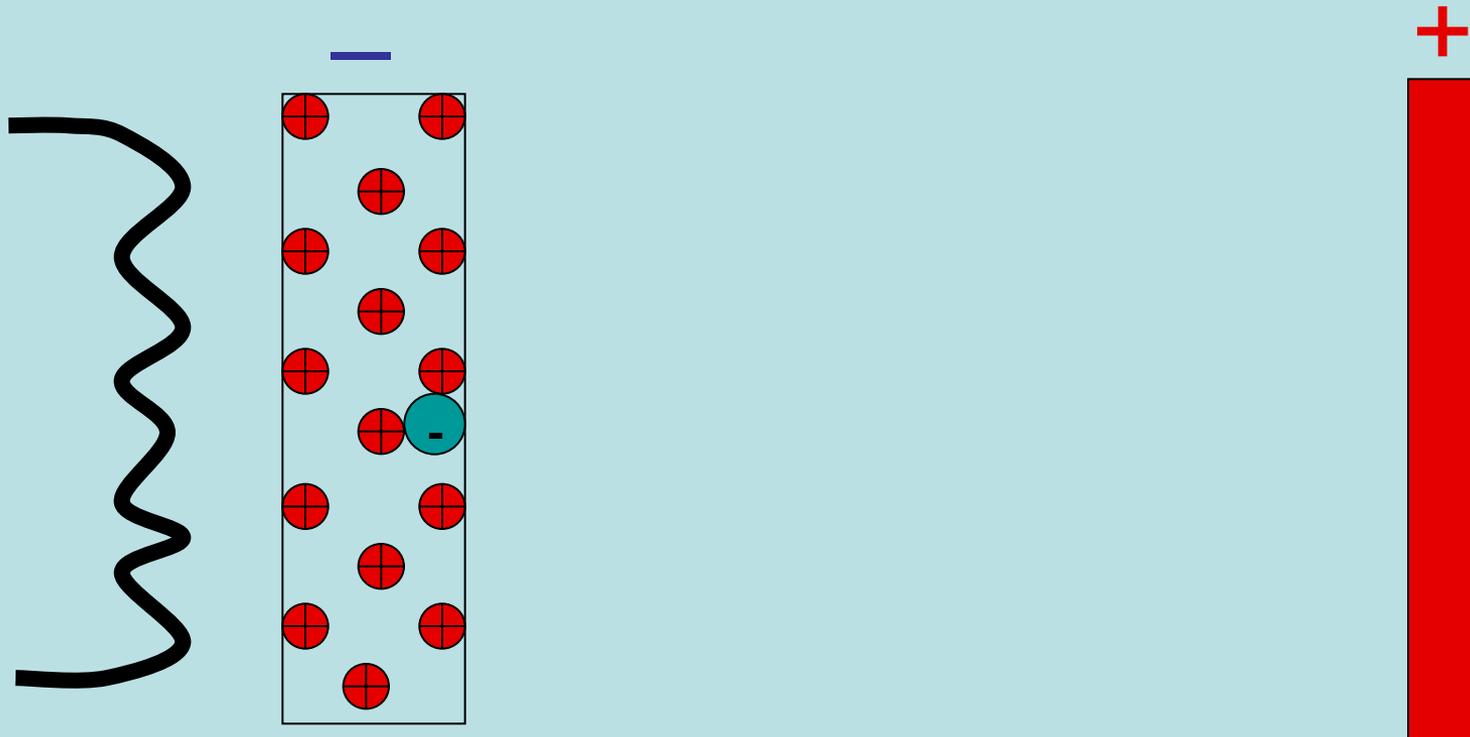
Электрический ток в вакууме.

Фотоэлектронная эмиссия



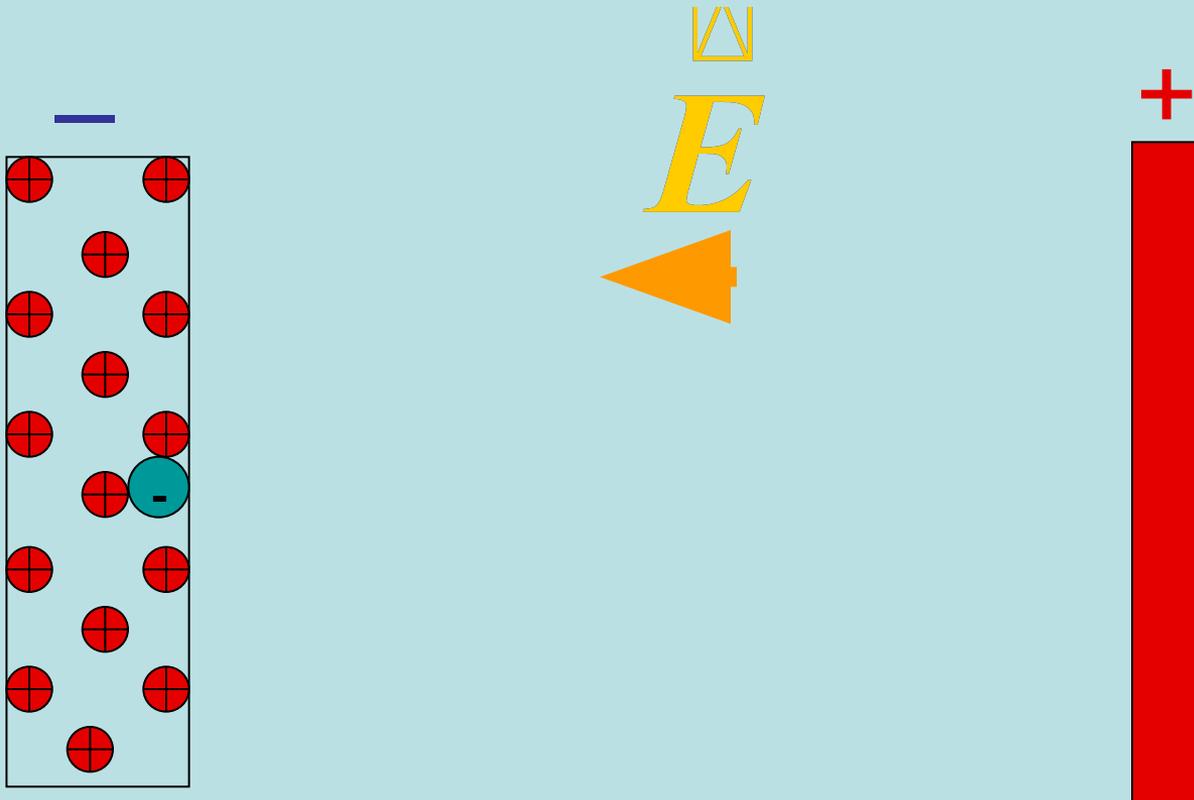
Электрический ток в вакууме.

Термоэлектронная эмиссия



Электрический ток в вакууме.

Автоэлектронная эмиссия



Виды эмиссии электронов

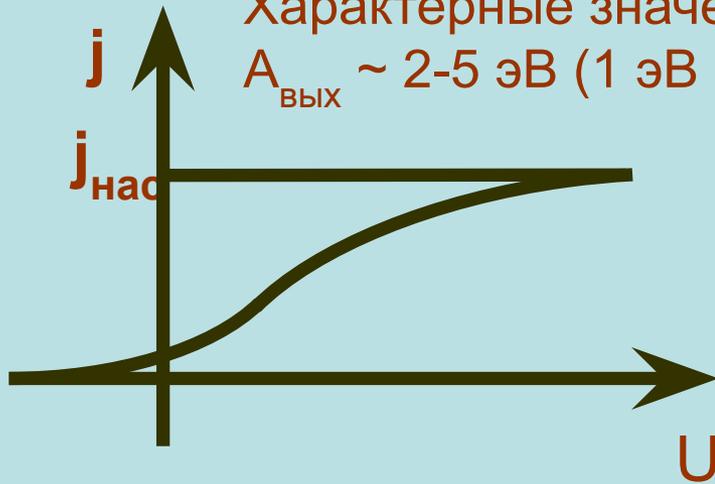
Виды эмиссии	Условия возникновения
Ионно-электронная	Бомбардировка катода положительными ионами
Вторичная электронная	Бомбардировка катода электронами
Фотоэлектронная	Воздействие на катод электромагнитным излучением
Термоэлектронная	Нагрев катода
Автоэлектронная	Большая напряжённость электрического поля

Термоэлектронная эмиссия

Термоэлектронная эмиссия - испускание электронов нагретыми телами (обычно металлами) в вакуум или другую среду.

Работа выхода - минимальная энергия, которую надо затратить для удаления электрона из твердого или жидкого вещества в вакуум (в состояние с равной нулю кинетической и потенциальной энергией).

Характерные значения работы выхода для металлов $A_{\text{вых}} \sim 2-5 \text{ эВ}$ ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

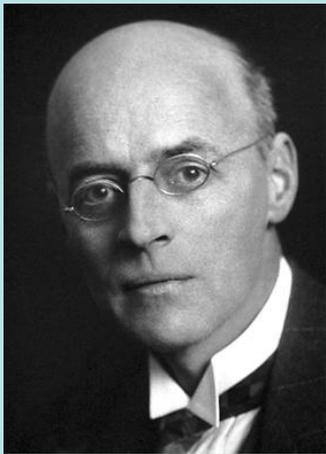


Зависимость плотности термоэлектронного тока j от напряжения между катодом и анодом

Плотность тока насыщения

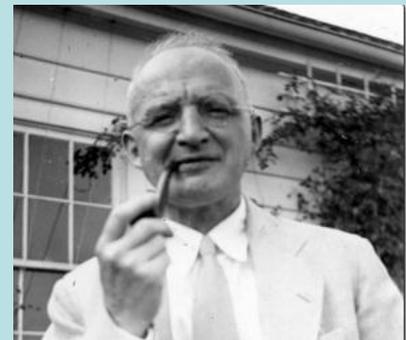
$$j_{нас} = CT^2 \exp(-A_{вых} / kT)$$

$$C = \frac{4\pi m e k_B^2}{h^3} = 1,2 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2 \cdot K^2}$$



*Owen Willans
Richardson*
1879 — 1959

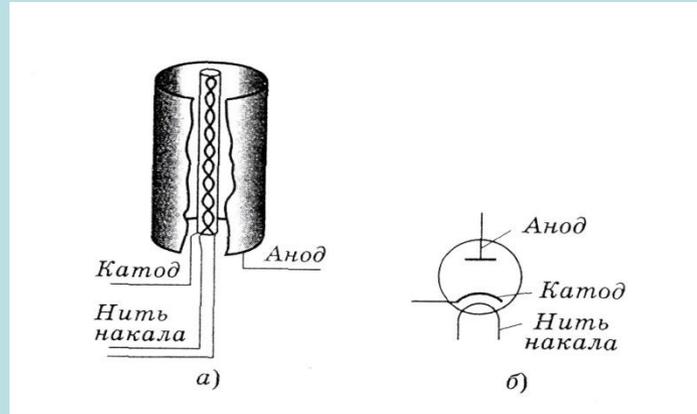
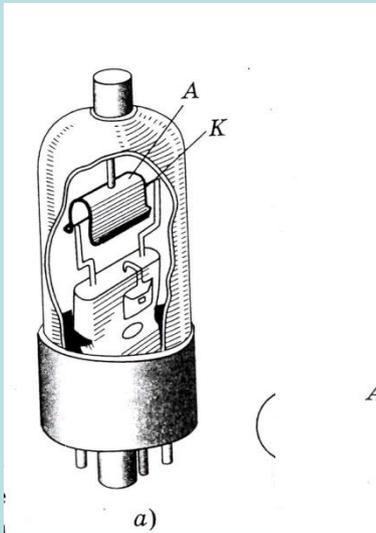
закон Ричардсона-Дешмана



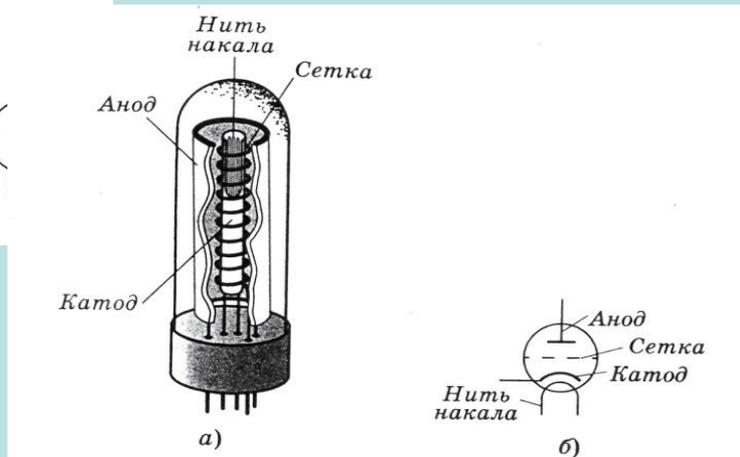
*Saul
Dushman*
1883 — 1954

Электронные лампы

Диод с катодом
прямого накала



Диод с подогреваемым
катодом



Триод с подогреваемым
катодом

Электрический ток в газах

Электрический ток в газах представляет собой направленное движение положительных ионов к катоду, отрицательных ионов и электронов – к аноду.

*Процесс прохождения электрического тока в ионизованных газах, возникновение и поддержание ионизованного состояния под действием электрического поля называется **электрическим разрядом.***

Ионизация и рекомбинация

Ионизация – процесс образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из нейтральных атомов и молекул.

Виды ионизации

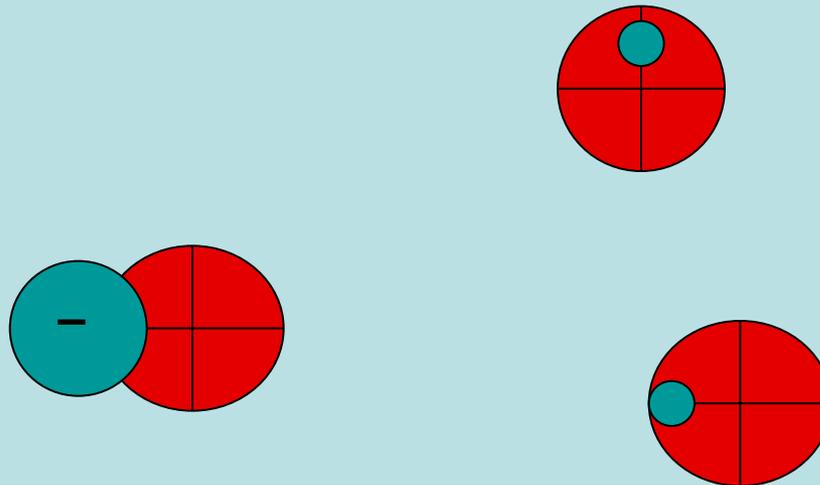
Ударная ионизация

Термическая ионизация

Фотоионизация

Рекомбинация – процесс образования нейтральных атомов и молекул из электронов и ионов.

Процессы ионизации и рекомбинации в газах



Газовый разряд

Процесс прохождения электрического тока в ионизованных газах, возникновение и поддержание ионизованного состояния под действием электрического поля называется электрическим разрядом.



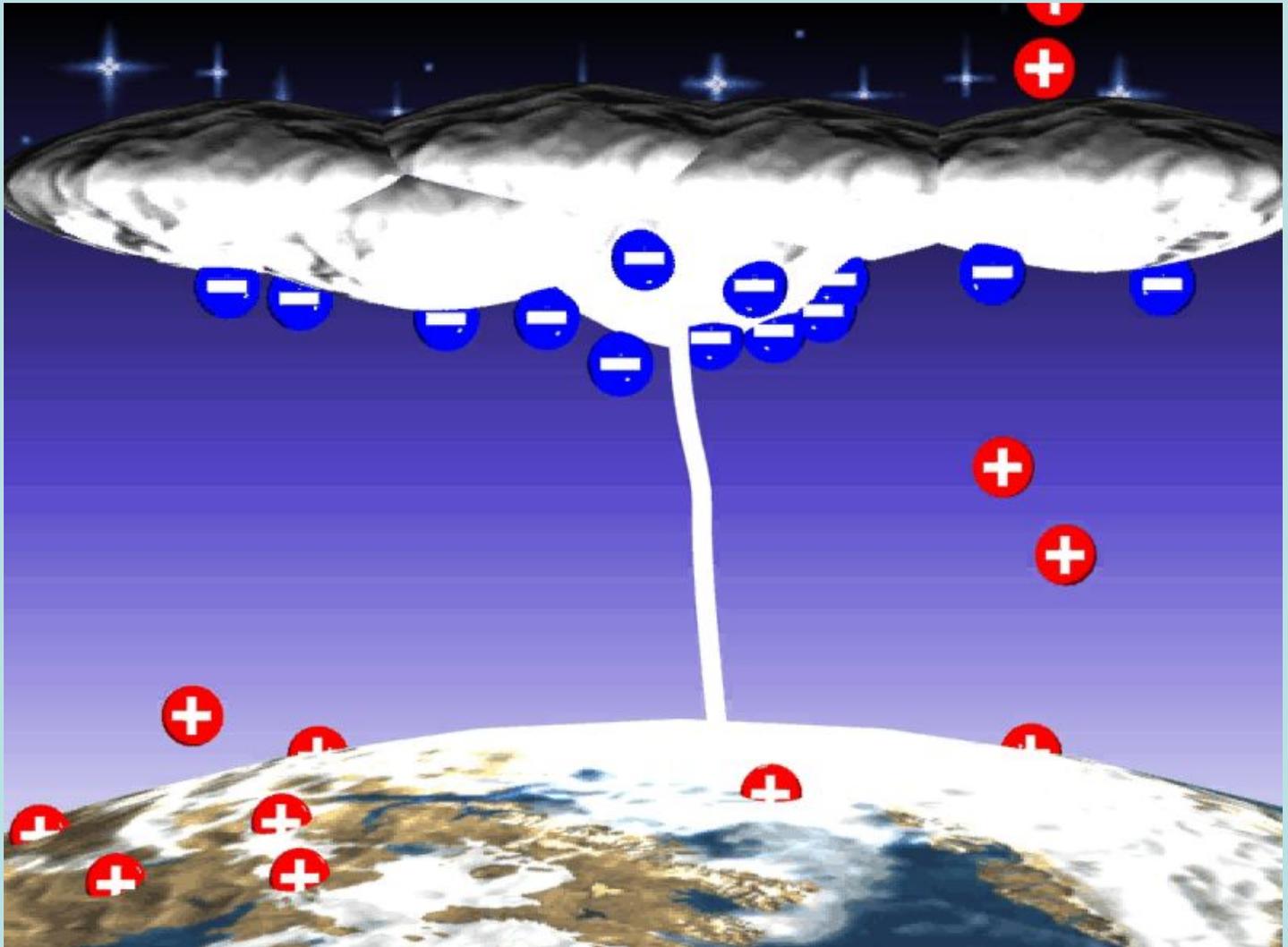
Виды газового разряда

- *Несамостоятельный разряд* прекращается после действия ионизатора.
- *Самостоятельный разряд* не нуждается для своего поддержания во внешнем ионизаторе.

Типы самостоятельного разряда

Тип разряда	Давление	Факторы, поддерживающие разряд
Тлеющий	< 100-250 Па	Ионизация электронным ударом, вторичная эмиссия электронов с катода
Коронный	атмосферное	Ионизация электронным ударом при высокой напряженности электрического поля ($> 3 \cdot 10^6$ В/м)
Искровой	атмосферное	Ионизация электронным ударом при высокой напряженности электрического поля ($> 3 \cdot 10^6$ В/м), ионизация газа излучением искры
Дуговой	атмосферное	Термоэлектронная эмиссия

Молния



Плазма

- **Плазма** – полностью или частично ионизованный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы.

**Степень ионизации
плазмы.**

$$\alpha = \frac{N_q}{N}$$

Классификация

<i>По степени ионизации:</i>	<i>По температуре:</i>
Слабо ионизованная ($\alpha \sim$ долей %).	Низкотемпературная ($T_i < 10^5$ К)
Частично ионизованная ($\alpha \sim 1\%$).	Высокотемпературная ($T_i \sim 10^6 - 10^8$ К)
Сильно ионизованная ($\alpha \sim 100\%$).	

Рекомбинация

- Число ионов, рекомбинирующих в единицу времени в единице объёма газа:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = r \cdot n^2$$

r – коэффициент рекомбинации

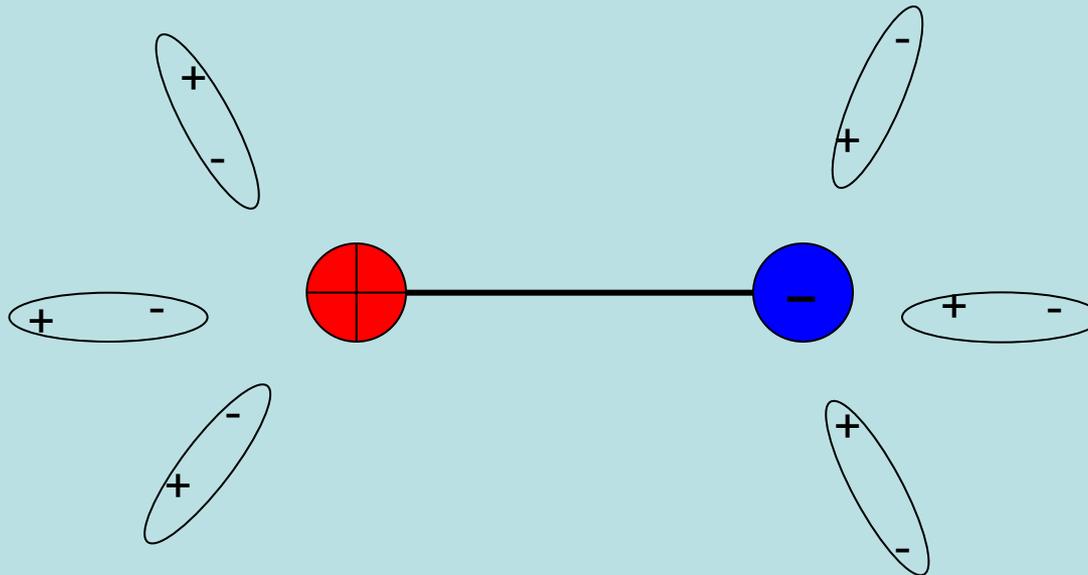
n – концентрация ионов

Электрический ток в жидкостях

- **Электролиз** (от греч. *elektron* – янтарь и греч. *lysis* — разложение, растворение, распад), совокупность процессов электрохимического окисления-восстановления на погруженных в электролит электродах при прохождении через него электрического тока.
- **Электролиты** – жидкие или твёрдые вещества и системы, в которых присутствуют в сколько-нибудь заметной концентрации ионы, обуславливающие прохождение электрического тока.

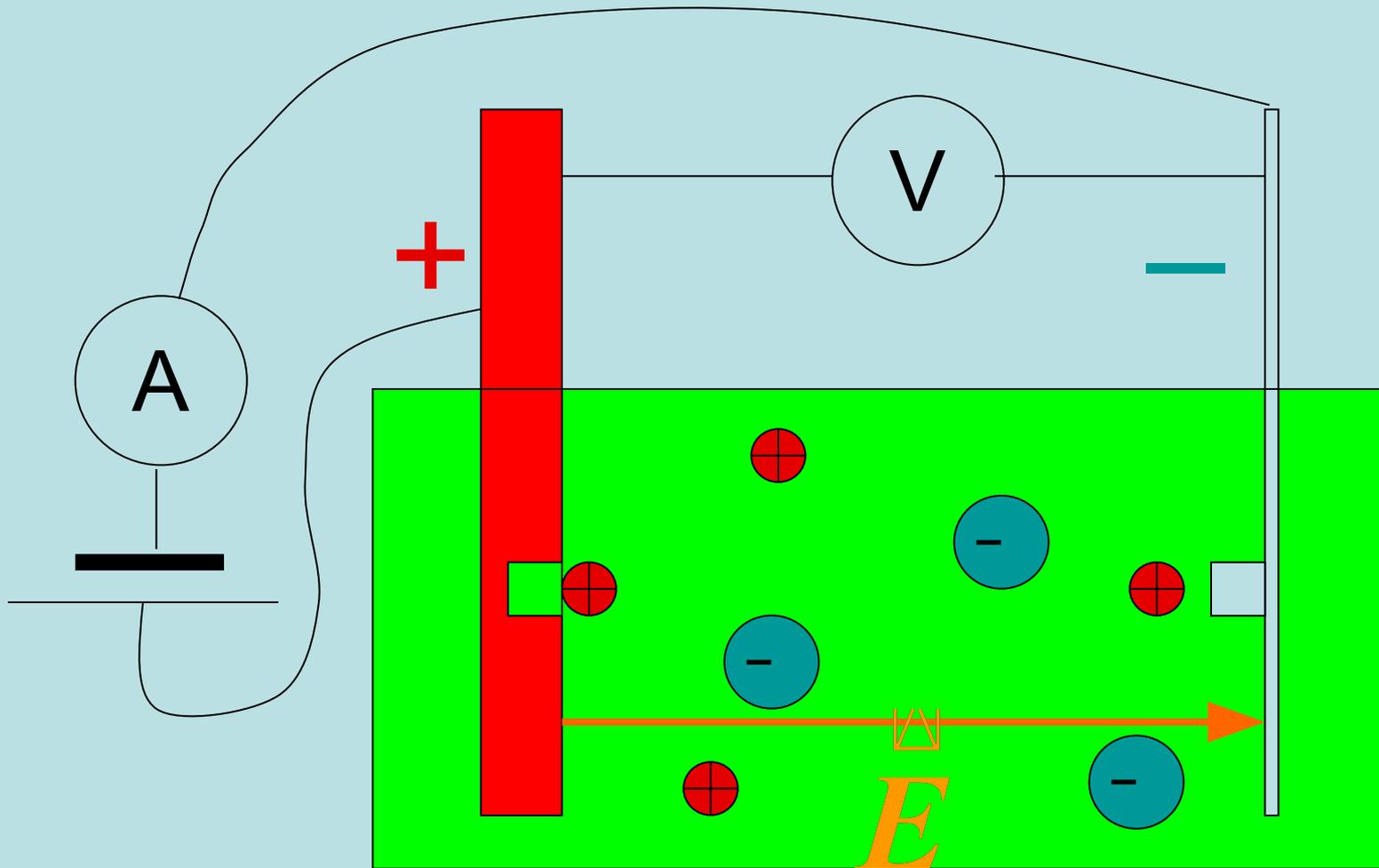
Электрический ток в ЖИДКОСТЯХ

Электролитическая диссоциация



Электролиты обладают ионной проводимостью.

Электролиз



Законы электролиза

$$m = m_{\text{иона}} \cdot N_{\text{ионов}}$$

$$m_{\text{иона}} = \frac{\mu}{N_A}$$

$$N_{\text{ионов}} = \frac{q}{q_{\text{иона}}}$$

$$q = It$$

$$q_{\text{иона}} = e \cdot z$$

$$m = kIt$$

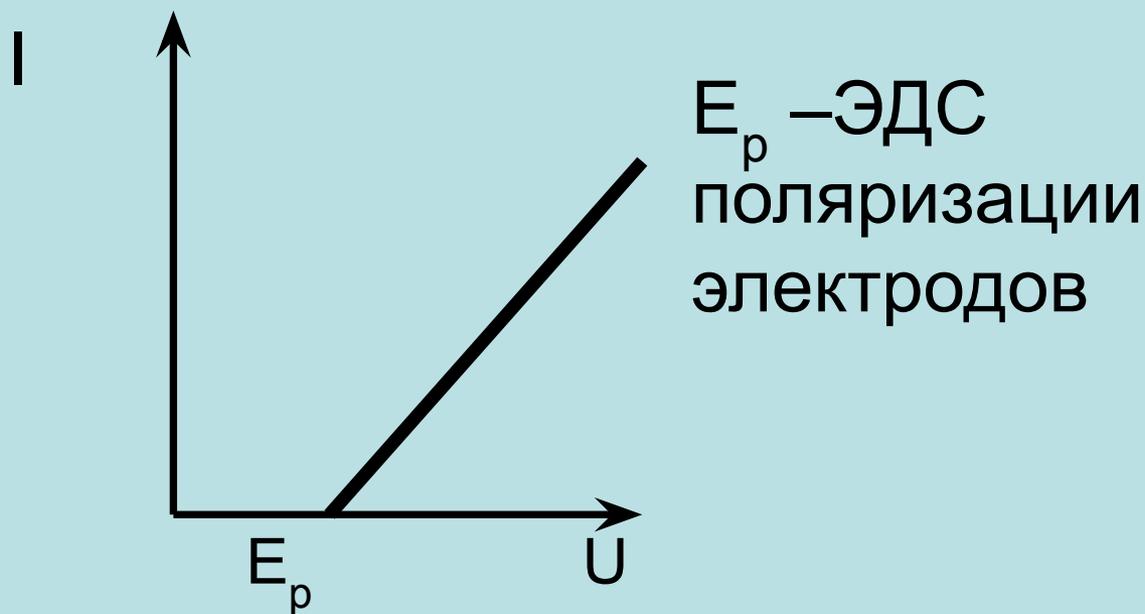
$$k = \frac{\mu}{ezN_A}$$

$$m = kIt \cdot \eta$$

$$F = eN_A$$

$$k = \frac{1}{F} \frac{\mu}{z}$$

Закон Ома для электролитов

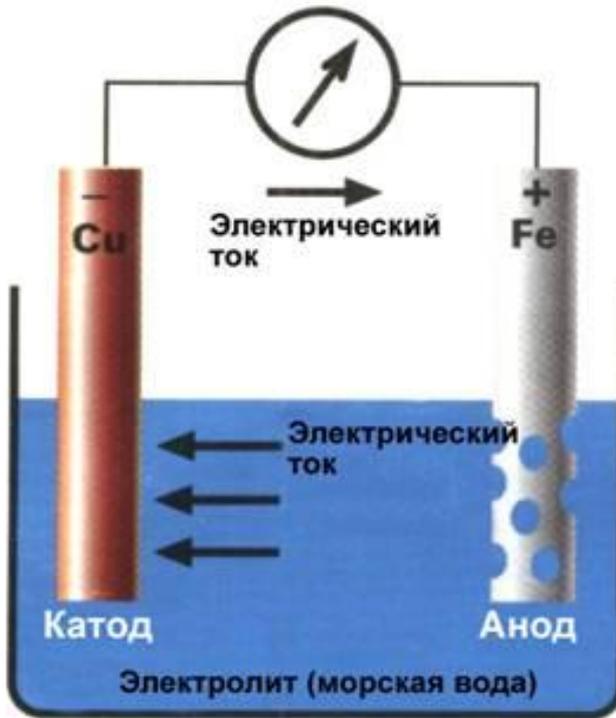


Электрохимический ряд напряжений металлов

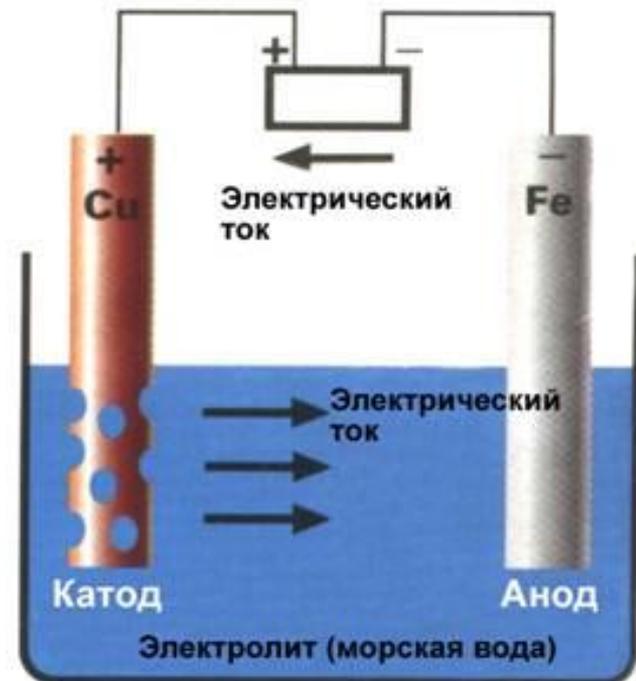
<i>Li</i>	<i>Cs</i>	<i>K</i>	<i>Ba</i>	<i>Ca</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	H_2	<i>Cu</i>	<i>Ag</i>	<i>Hg</i>	<i>Pt</i>	<i>Au</i>
-3.04	-3.01	-2.92	-2.90	-2.87	-2.71	-2.36	-1.66	-0.76	-0.44	-0.28	-0.25	-0.14	-0.13	0	+0.34	+0.80	+0.85	-1.28	-1.50
Li^+	Cs^+	K^+	Ba^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Zn^{2+}	Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Sn^{2+}	Pb^{2+}	$2H^+$	Cu^{2+}	Ag^+	Hg^+	Pt^{2+}	Au^{3+}

Коррозия

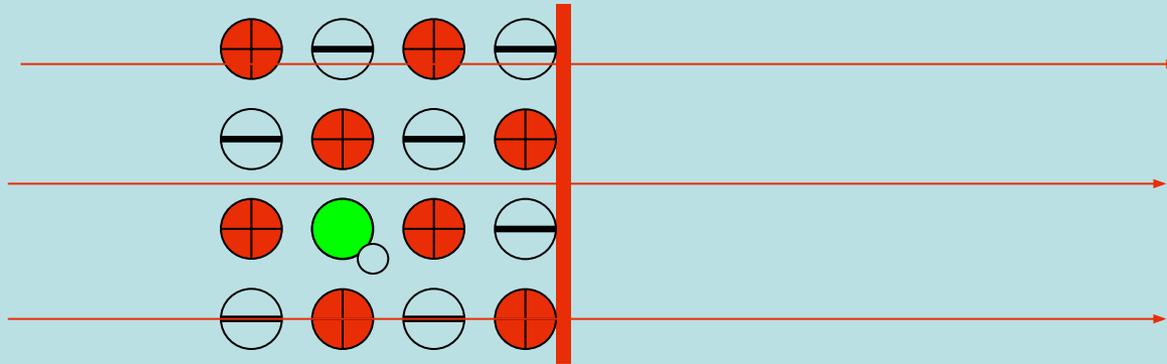
Гальваническая коррозия



Электролитическая коррозия

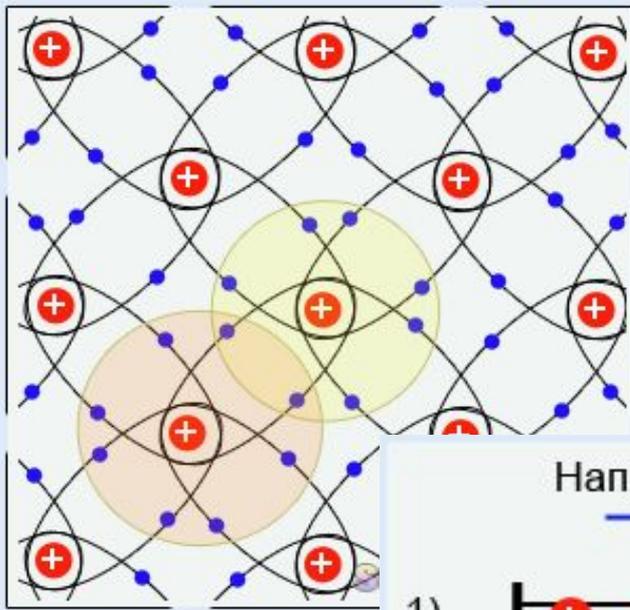


Электрический ток в диэлектриках

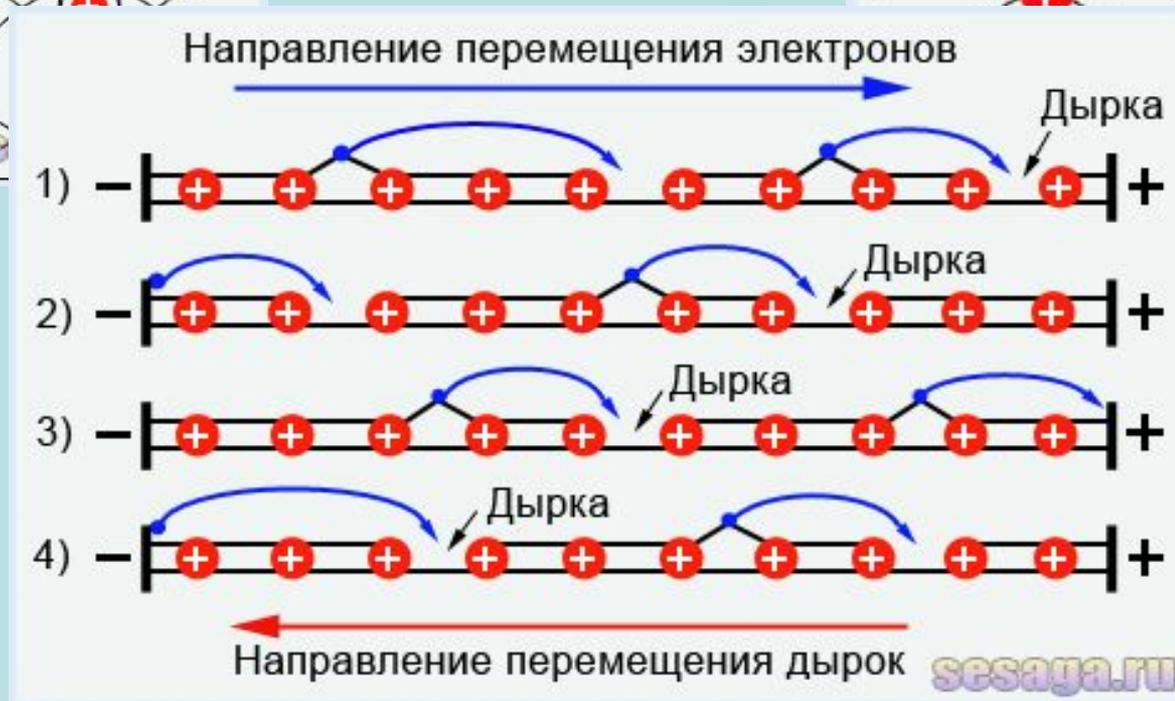
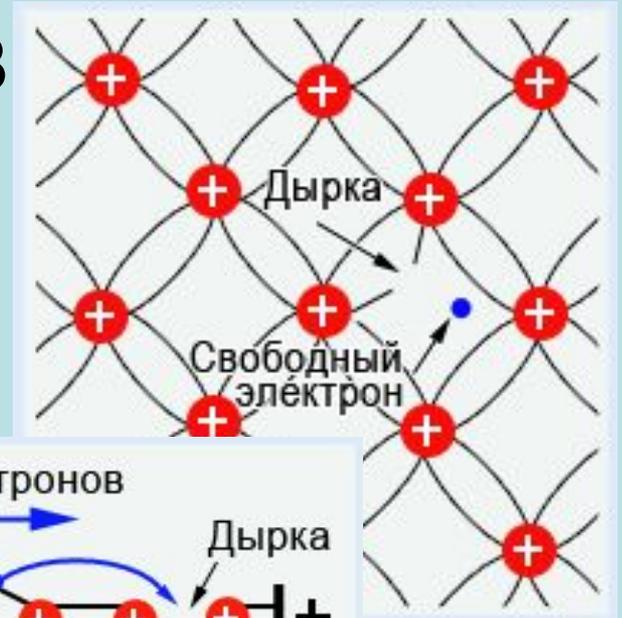


Проводимость ионных
кристаллов

Проводимость ковалентных кристаллов



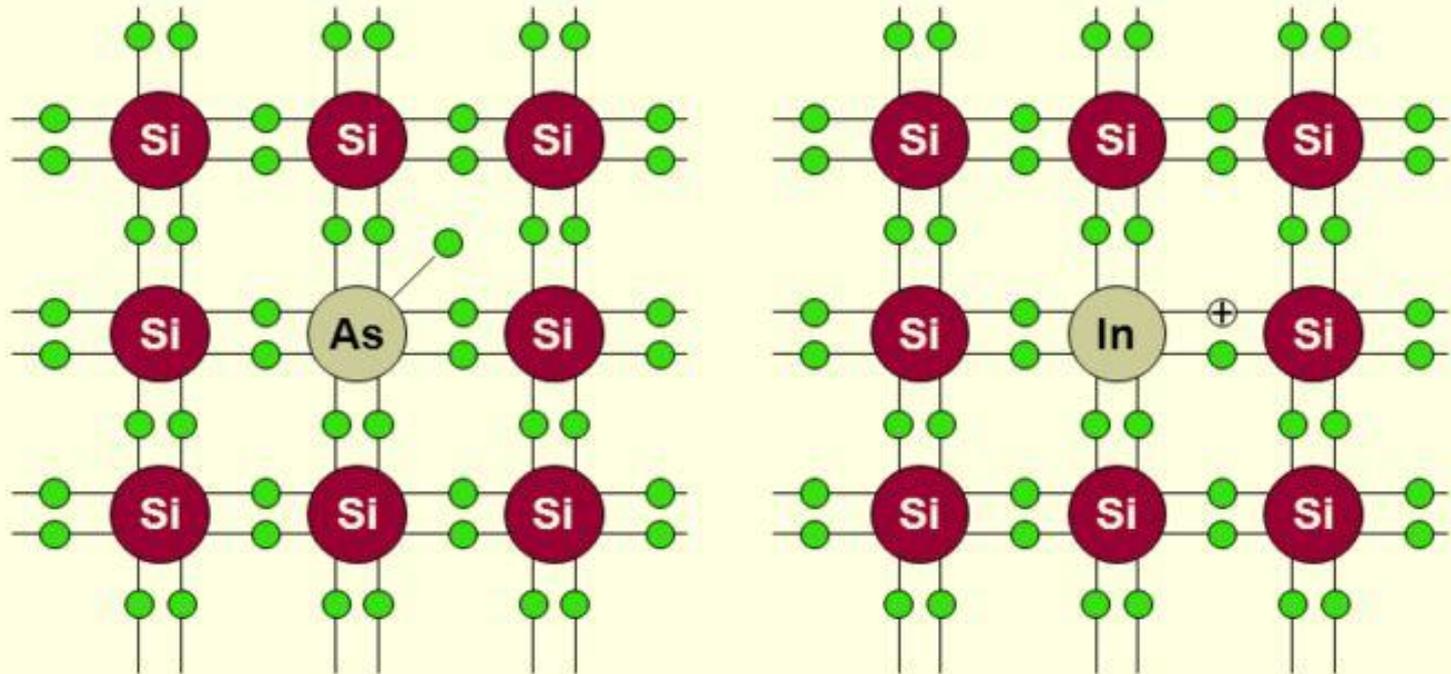
кристаллов



Проводники, полупроводники, изоляторы

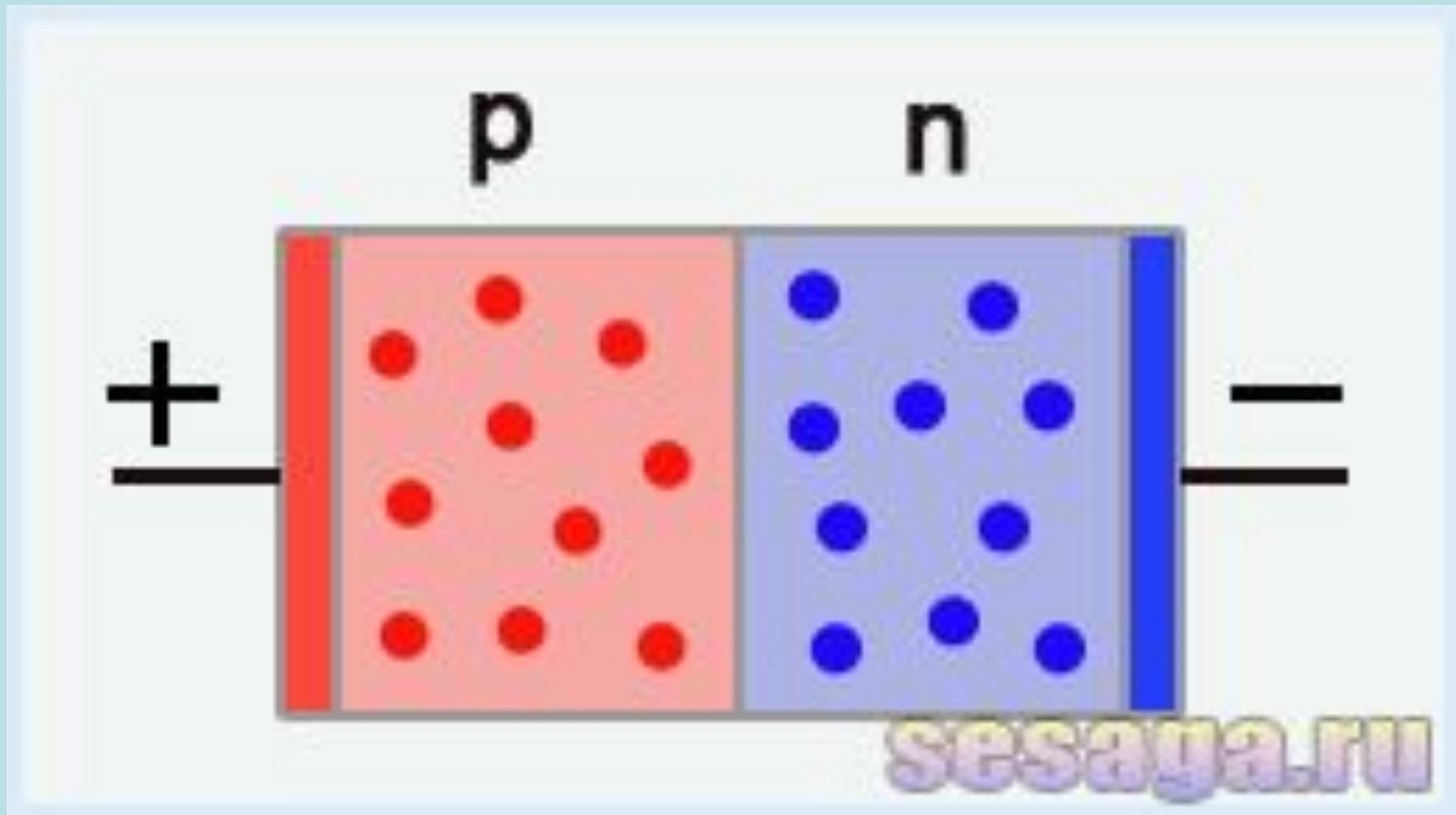
Тип вещества	Удельное сопротивление, Ом·м	Удельная электропроводность, См/м
Проводник	$<10^{-6}$	$>10^6$
Полупроводник	$10^{-6} - 10^6$	$10^{-6} - 10^6$
Изолятор	$>10^6$	$<10^{-6}$

Примесная проводимость полупроводников

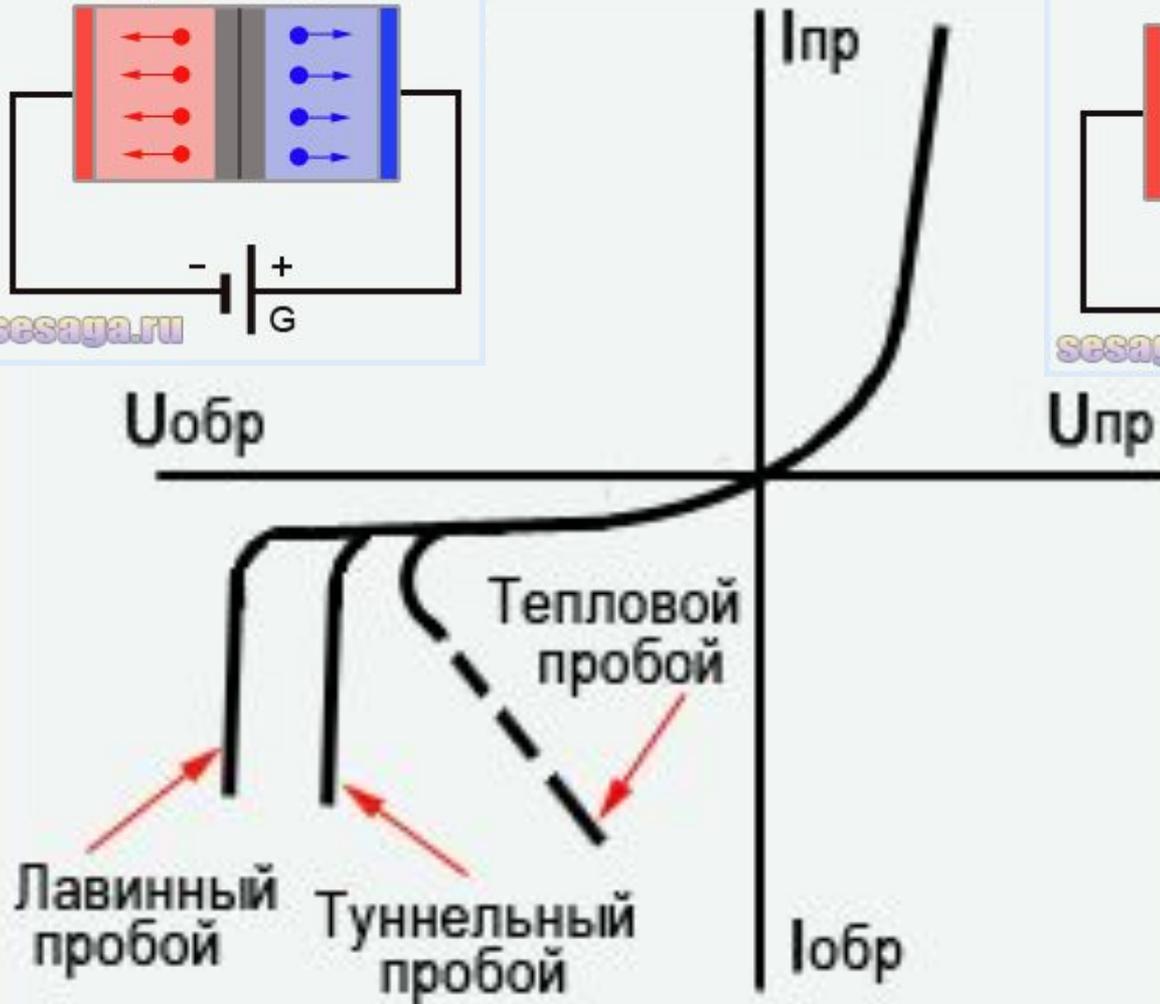
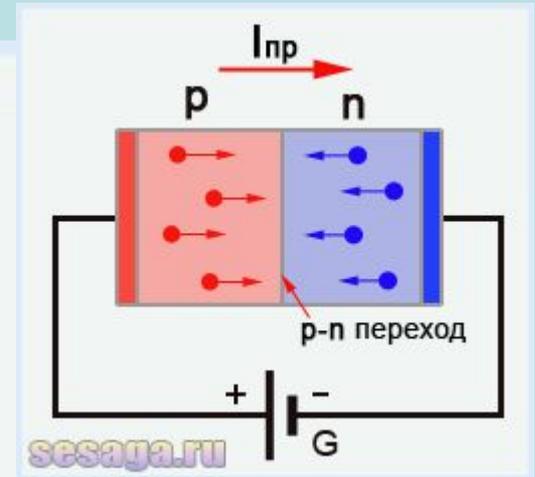
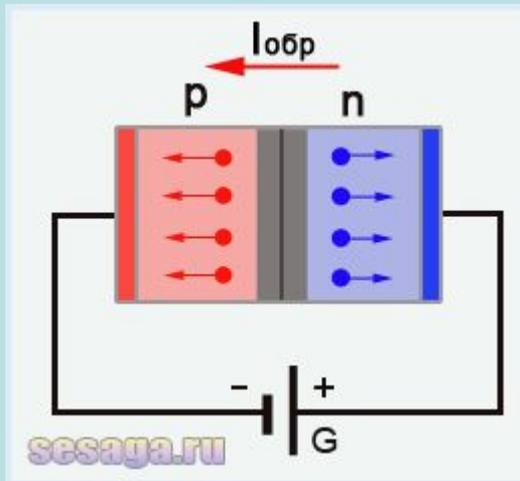


«Лишние электроны в полупроводниках n-типа и «лишние» дырки в полупроводниках p-типа обеспечивают **ПРИМЕСНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ**»

P-n переход



Полупроводниковый диод



Температурная зависимость электросопротивления

- Температурный коэффициент электрического сопротивления - величина, равная относительному изменению электрического сопротивления участка электрической цепи или удельного сопротивления вещества при изменении температуры на единицу.

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

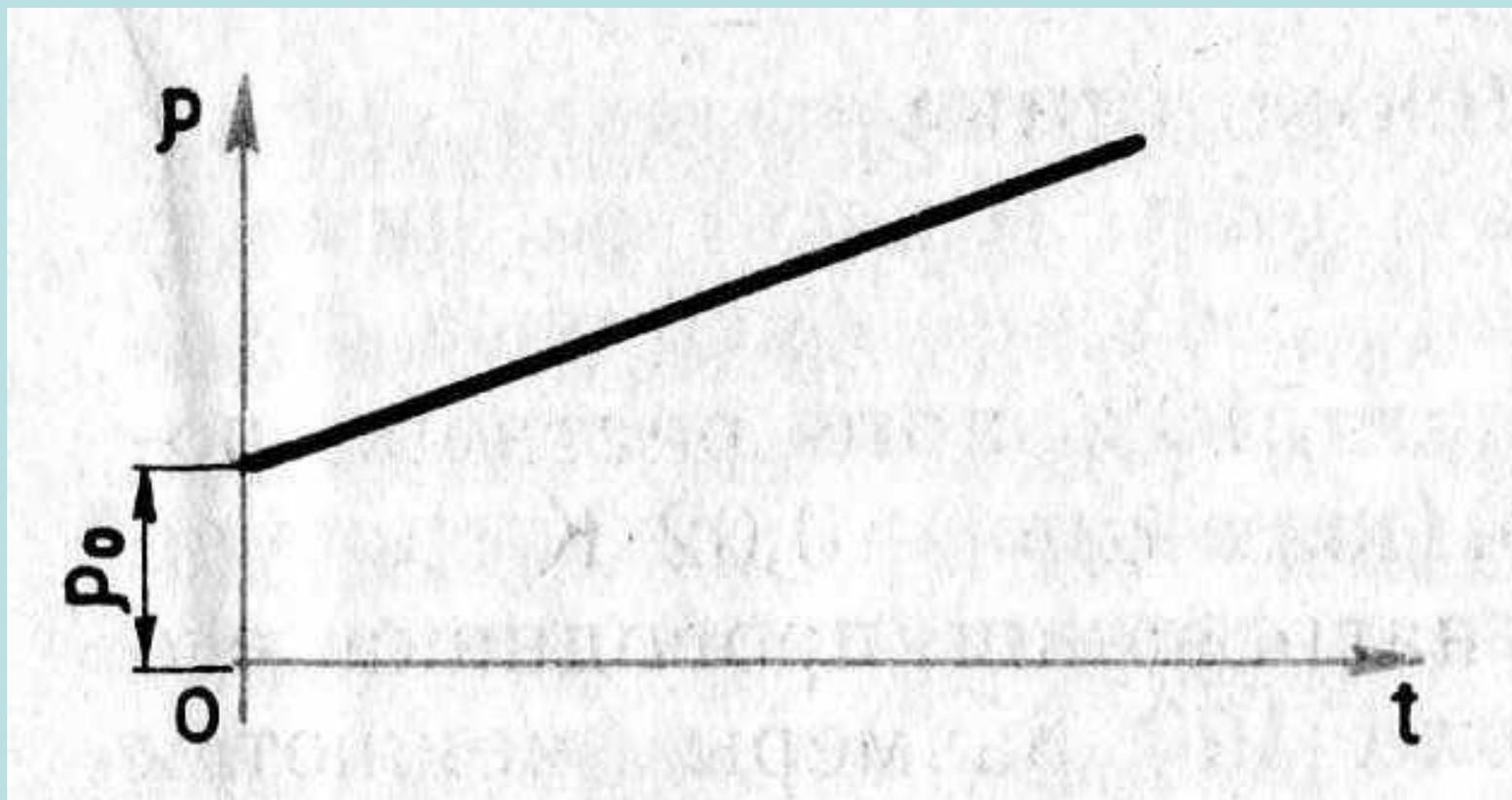
- Температурный коэффициент сопротивления характеризует зависимость электрического сопротивления от температуры и измеряется в кельвинах в минус первой степени (K^{-1}).

Температурная зависимость электросопротивления

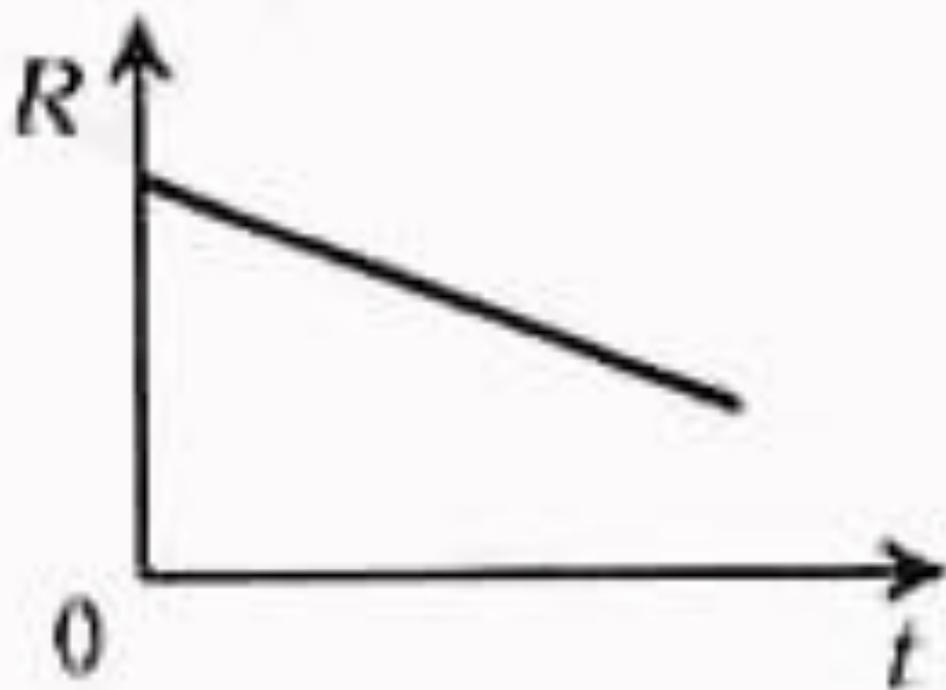
$$\rho = 1 / \sigma = \frac{2m \langle v_{\text{теплового движения}} \rangle}{ne^2 \lambda}$$

$$\langle v_{\text{теплового движения}} \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

Температурная зависимость удельного сопротивления металлов



Температурная зависимость сопротивления электролитов



Температурная зависимость удельной электропроводности диэлектриков

$$\sigma = \frac{ne^2\lambda}{2m\langle v \rangle}$$

$$n \sim \exp(-W_a / kT)$$

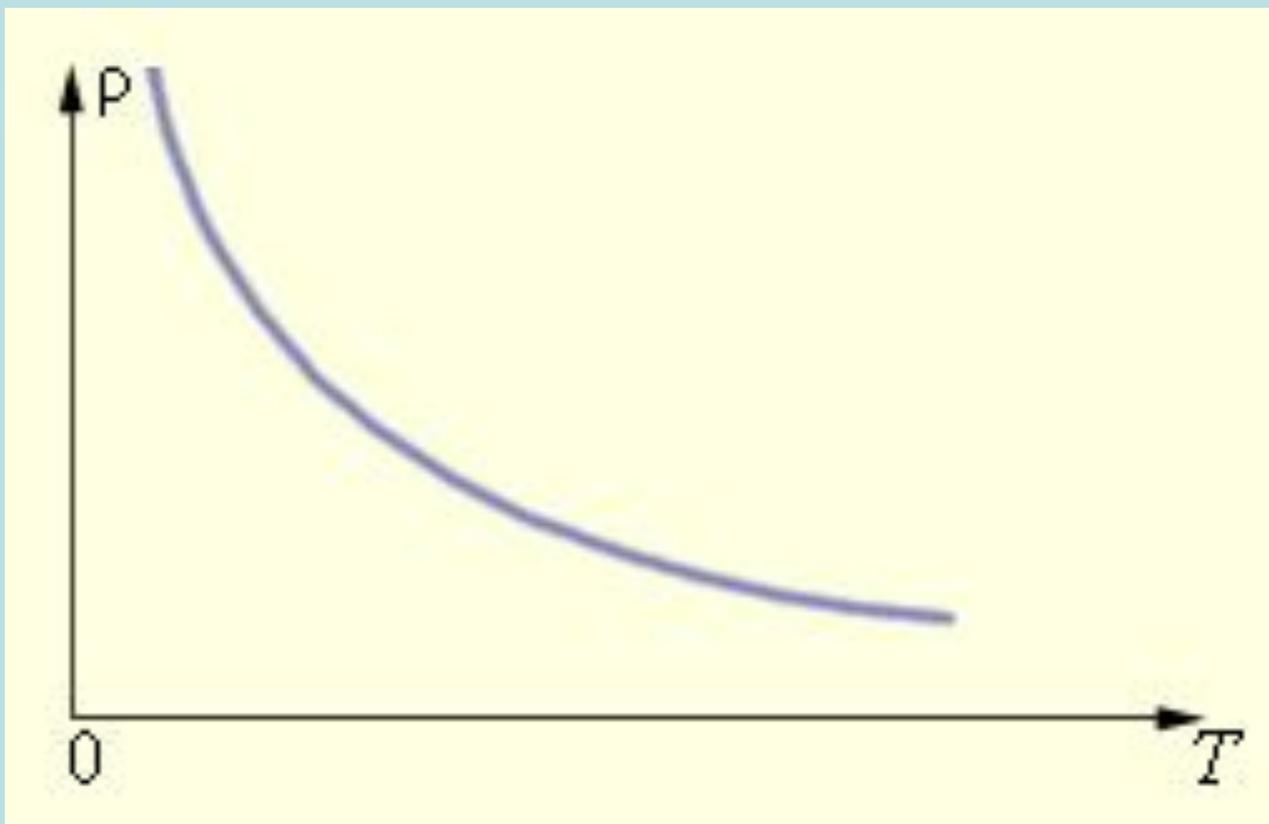
$$\sigma = C \exp(-W_a / kT)$$

W_a – энергия активации носителей зарядов

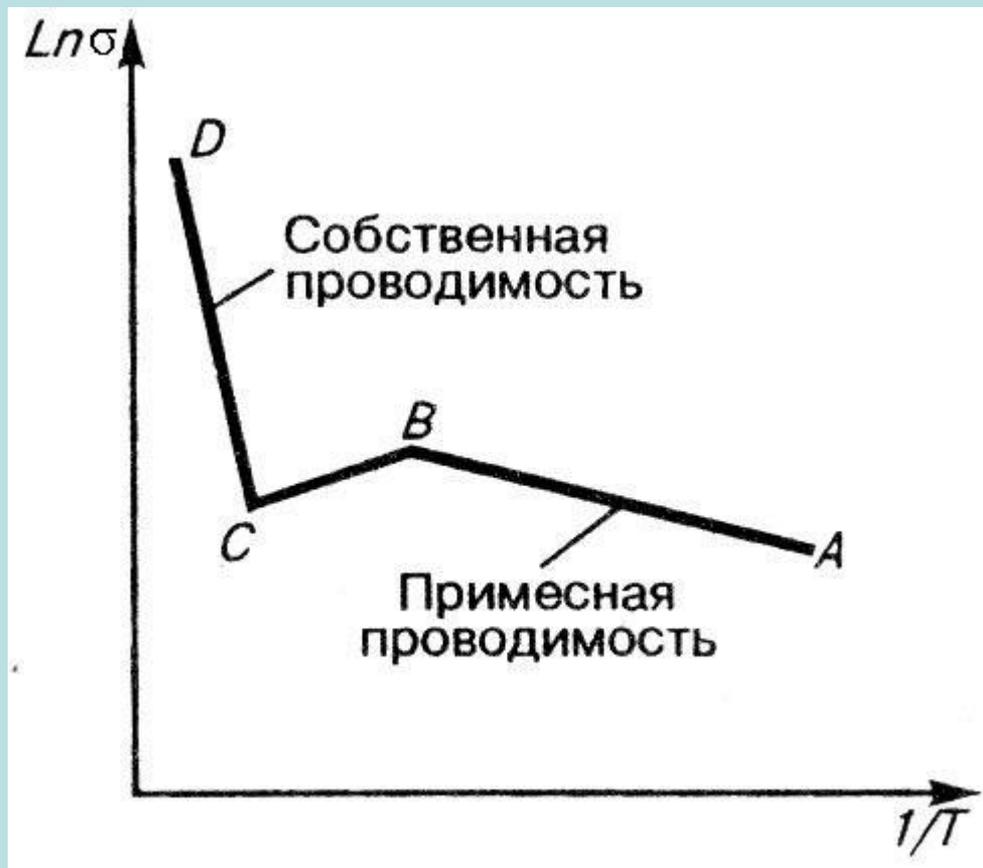
$W_a > 2$ эВ – изолятор

$W_a < 2$ эВ – полупроводник

Температурная зависимость удельного сопротивления диэлектриков



Температурная зависимость удельной электропроводности легированных полупроводников



Температурная зависимость электросопротивления

- Для большинства **металлов** температурный коэффициент сопротивления положителен: их сопротивление растёт с ростом температуры вследствие рассеяния электронов на фононах (тепловых колебаниях кристаллической решётки).
- Для **диэлектриков** он отрицателен.
- Качественно такой же характер имеет температурная зависимость сопротивления твёрдых и неполярных жидких **электролитов**. Полярные жидкости уменьшают своё удельное сопротивление с ростом температуры более резко вследствие роста степени диссоциации и уменьшения вязкости.
- Температурная зависимость сопротивления металлических **сплавов, газов и легированных полупроводников** носит более сложный характер.
- Существуют сплавы (константан, манганин), имеющие очень малый температурный коэффициент сопротивления, то есть их сопротивление очень слабо зависит от температуры. Эти сплавы применяются в электроизмерительной аппаратуре.