
Постоянный электрический ток

Лекция №3

План:

1. Электрический ток. Сила тока. Плотность тока.
2. Электродвижущая сила. Напряжение. Источник тока.
3. Сопротивление проводника.
4. Закон Ома.
5. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа.
6. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца.
7. Лабораторные работы №1, №2

1. Электрический ток. Сила тока. Плотность тока

- **Электрический ток** – упорядоченное движение заряженных частиц (носителей тока)
- **Постоянный электрический ток** – электрический ток, сила и направление которого с течением времени не изменяются



1. Электрический ток. Сила тока.

Плотность тока

- **Сила тока** – физическая величина, равная электрическому заряду, прошедшему через поперечное сечение проводника за единицу времени

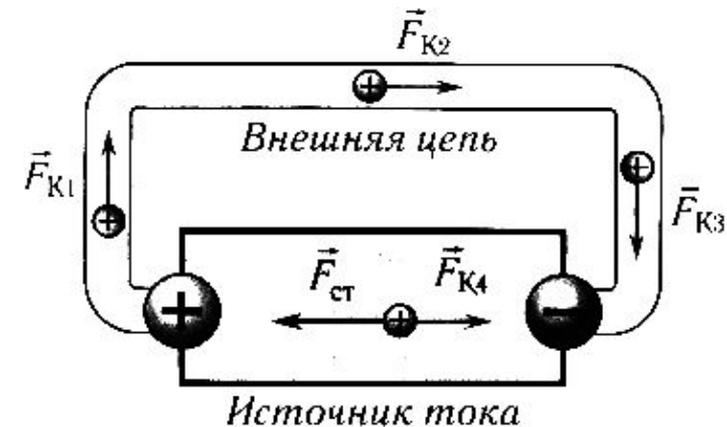
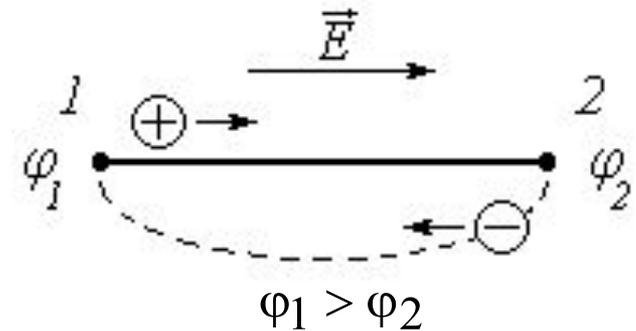
$$I = \frac{dq}{dt}$$

- **Плотность тока** – векторная физическая величина, численно равная силе тока, протекающего через единицу площади поперечного сечения проводника. Направление совпадает с направлением тока

$$j = \frac{dI}{dS}$$

2. Электродвижущая сила. Напряжение. Источник тока

- **Сторонние силы** – любые силы, действующие на заряженные частицы, за исключением кулоновских сил.
- Сторонние силы действуют внутри **источника тока**



2. Электродвижущая сила. Напряжение.

Источник тока

- **Разность потенциалов** – это физическая величина, численно равная работе кулоновских сил по перемещению единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{кул}}}{q}$$

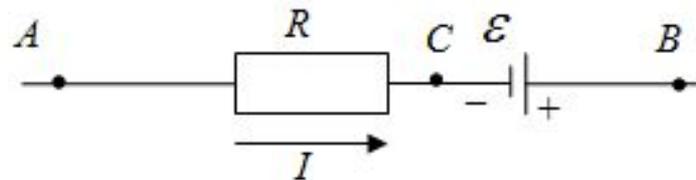
- **Электродвижущая сила** – это физическая величина, численно равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда внутри источника тока

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

- **Напряжение** – это физическая величина, численно равная работе кулоновских и сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2

$$U = \frac{A}{q} = \frac{A_{\text{кул}}}{q} + \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

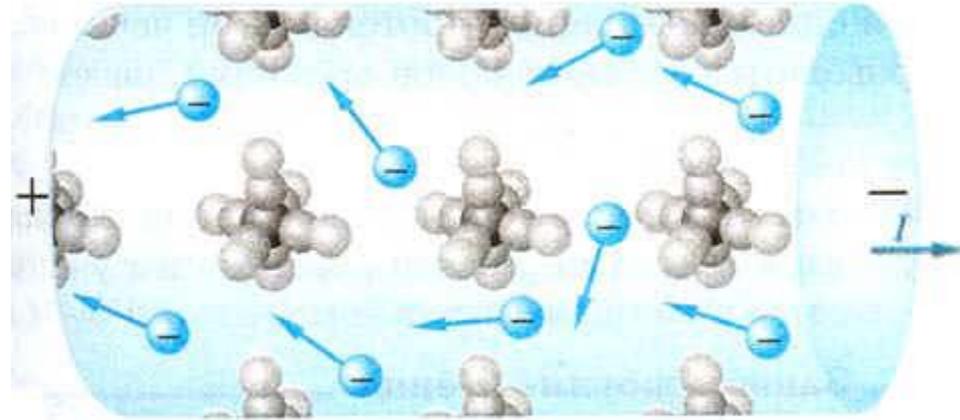
$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$$



3. Сопротивление проводника

- **Электрическое сопротивление проводника** - основная электрическая характеристика проводника, определяющая его противодействие упорядоченному перемещению носителей тока

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

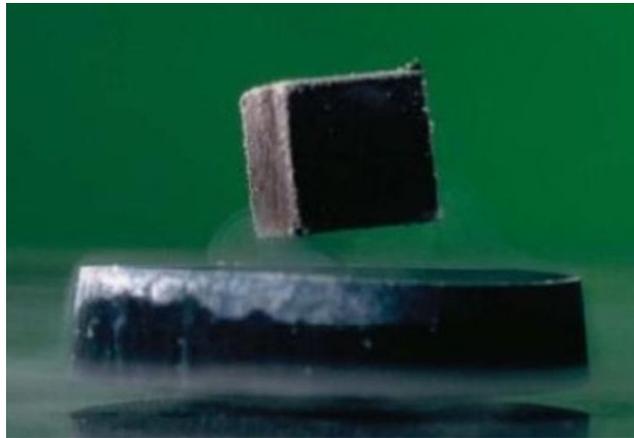
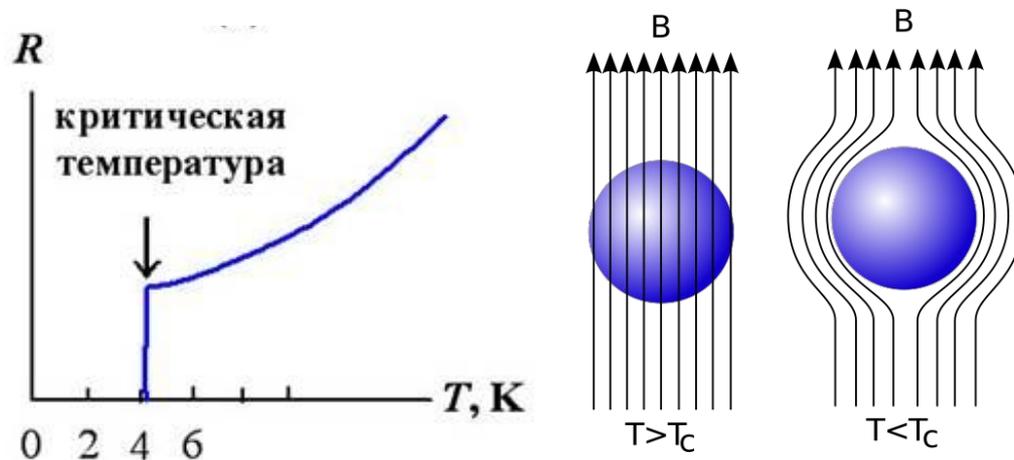


- **Удельное электрическое сопротивление проводника** – физическая величина, численно равная сопротивлению однородного проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения

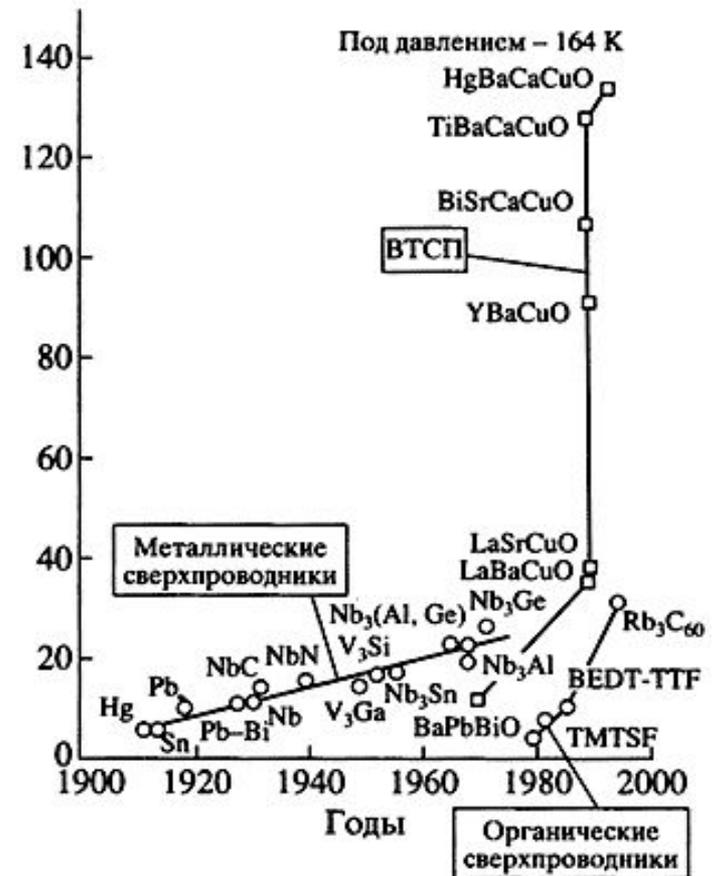
$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

3. Сверхпроводимость

- 1911 г. Г. Камерлинг-Оннес
- 1933 г. Мейсер и Оксенфельд



Критическая температура, К



4. Закон Ома

- 1826 г. Георг Ом

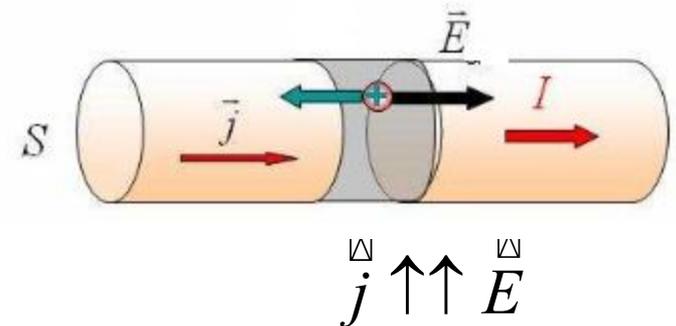
$$I = \frac{U}{R}$$

- Связь между вектором плотности тока и вектором напряженности электрического поля в точке проводника

$$\left. \begin{array}{l} I = j \cdot dS \\ U = E \cdot dl \\ R = \rho \frac{dl}{dS} \end{array} \right\} \rightarrow j \cdot dS = \frac{E \cdot dl}{\rho \cdot \frac{dl}{dS}}$$

$$j = \frac{1}{\rho} E = \sigma \cdot E$$

Закон Ома для однородного участка цепи в дифференциальной форме



$$\vec{j} = \sigma \cdot (\vec{E} + \vec{E}^*)$$

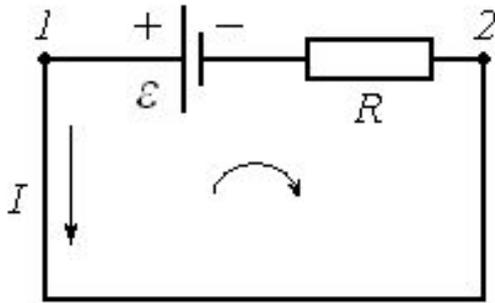
Закон Ома для неоднородного участка цепи в дифференциальной форме

4. Закон Ома

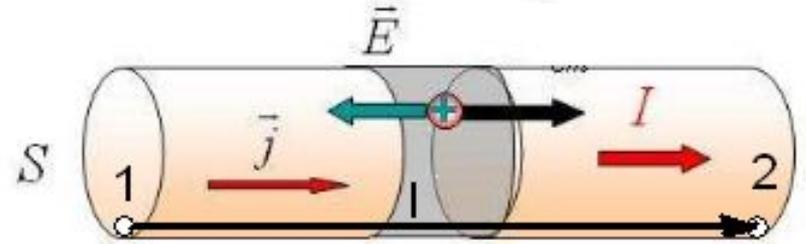
$$j_l = \sigma \cdot (E_l + E_l^*)$$

$$j_l = \frac{I}{S} \quad \sigma = \frac{1}{\rho} \quad I \frac{\rho}{S} = E_l + E_l^*$$

$$I \int_1^2 \rho \frac{dl}{S} = \int_1^2 E_l dl + \int_1^2 E_l^* dl$$



$$-I \cdot R = -\varepsilon + \varphi_1 - \varphi_2$$



- Закон Ома для неоднородного участка цепи (обобщенный закон Ома)

$$I \cdot R = \varepsilon + \varphi_1 - \varphi_2$$

- Закон Ома для однородного участка цепи

$$I \cdot R = \varphi_1 - \varphi_2$$

- Закон Ома для замкнутой цепи

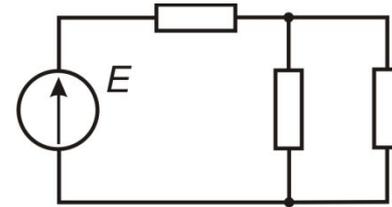
$$I \cdot R = \varepsilon$$

5. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа

Неразветвленная цепь



Разветвленная цепь



- **Ветвь** - участок цепи, образованный последовательно соединенными элементами, заключенными между двумя узлами
- **Узел** - точка цепи, в которой сходится не менее трех ветвей

1947 г. Г. Кирхгоф. **Правила Кирхгофа:**

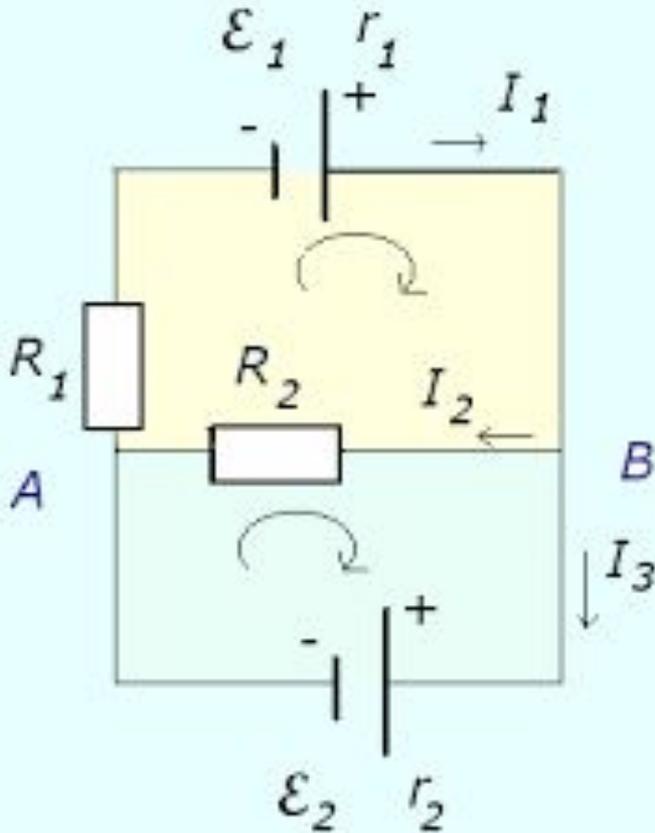
1) Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в любом узле равна нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

2) В замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений сил токов на соответствующее сопротивление равна алгебраической сумме всех ЭДС в контуре

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{k=1}^m \mathcal{E}_k$$

5. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа



1 правило Кирхгофа для узла В

$$I_1 = I_2 + I_3$$

2 правило Кирхгофа для контура I

$$I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r_1 + I_2 \cdot R_2 = \varepsilon_1$$

2 правило Кирхгофа для контура II

$$-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot r_2 = -\varepsilon_2$$

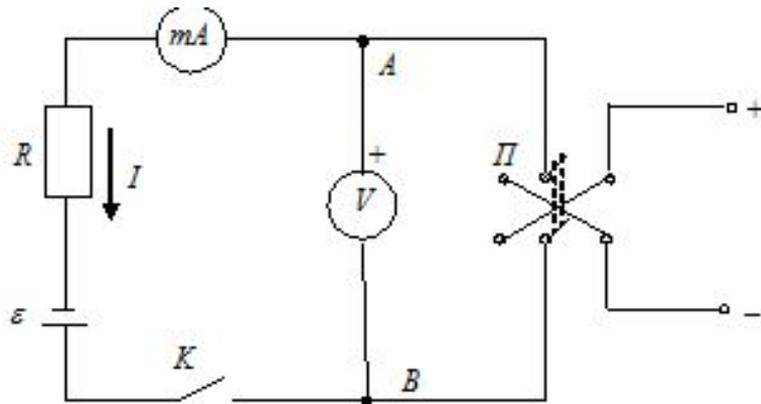
2 правило Кирхгофа для контура III

$$I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r_1 + I_3 \cdot r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

6. Работа и мощность электрического тока

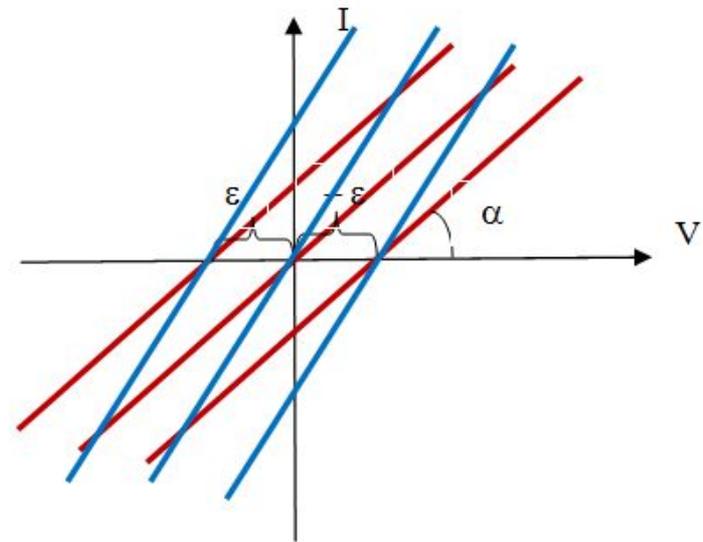
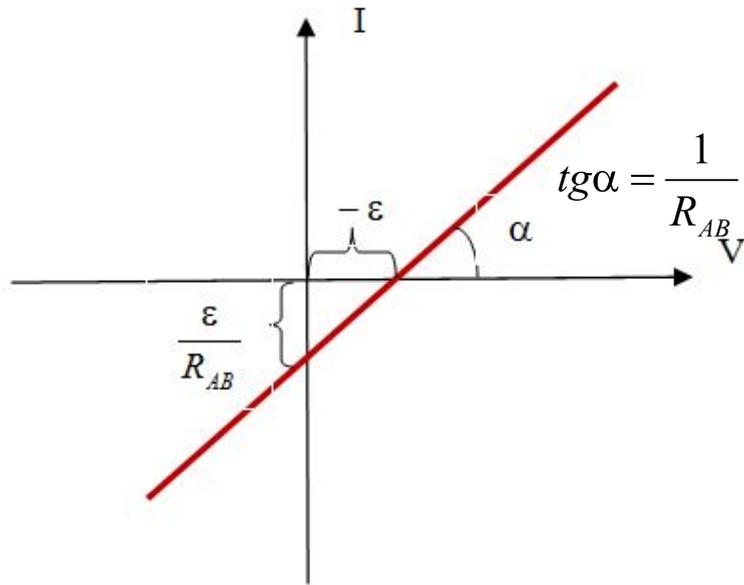
- **Работа тока** – работа сил электрического поля и сторонних сил, создающих упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике $A = q \cdot U = I \cdot U \cdot t$
- **Мощность тока** – работа, совершаемая электрическим током в единицу времени $P = \frac{A}{t} = I \cdot U$
- **Мощность потерь** (бесполезная мощность) – тратится на нагревание источника тока $P_{\text{о}} = I^2 \cdot r$
- **Полезная мощность** – выделяется на нагрузке (доставляется потребителю) $P_n = I \cdot \varepsilon - I^2 \cdot r$
- **Закон Джоуля-Ленца** $Q = I^2 \cdot R \cdot t$

Лабораторная работа №1



$$IR_{AB} = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{AB}} + \frac{V}{R_{AB}}$$



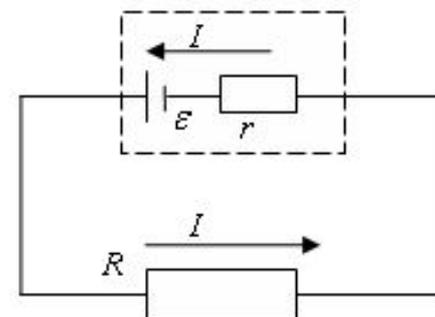
Лабораторная работа №2

$$I(R+r) = \varepsilon \Rightarrow IR = \varepsilon - Ir \Rightarrow U = \varepsilon - Ir$$

$$P = I \cdot \varepsilon$$

$$P_n = I \cdot \varepsilon - I^2 \cdot r = I \cdot U$$

$$\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{I \cdot U}{I \cdot \varepsilon} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon - Ir}{\varepsilon}$$



$$\frac{dP_n}{dI} = \varepsilon - 2I \cdot r = 0$$

$$I = \frac{\varepsilon}{2r}$$

$$\frac{d^2P_n}{dI^2} = -2r < 0$$

