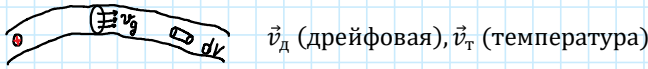


# §13. Законы постоянного электрического тока

9 марта 2016 г. 10:02

**Электрический ток** - направленное движение электрических зарядов

Характеристика электрического тока - **сила тока**  $I = \frac{dq}{dt}$  - заряд который переносится через поперечное сечение проводника за 1 секунду



За направление принимается направление движение положительных зарядов

**Плотность тока**

$dV$  - трубка тока;  $dV = d\vec{l} \cdot d\vec{S}$

$$dI = \frac{dq}{dt} \quad (dI \text{ в трубке тока}) \quad \Rightarrow \quad \vec{j} = \frac{dq \cdot \vec{n}}{dt \cdot dS} = \frac{\rho \cdot dV \cdot \vec{n}}{dt \cdot dS} = \frac{\rho \cdot d\vec{l} \cdot d\vec{S} \cdot \vec{n}}{dt \cdot dS} = \left[ \frac{d\vec{l}}{dt} = v_g \right] = \rho \vec{v}_g$$

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \cdot \vec{n}$$

$$\vec{j} = \rho \vec{v}_g$$

$$\rho = q_0 n$$

$$q_0 = e$$

$$n = \frac{dN}{dV}$$

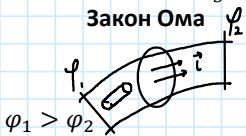
(концентрация)

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \cdot \vec{n} = q_0 n \vec{v}_g$$

$$dI = \vec{j} d\vec{S}$$

$$I = \int dI = \int_S \vec{j} d\vec{S}$$

**Закон Ома**



$$\phi_2 - \phi_1 = - \int_l \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

$$\phi_1 - \phi_2 = U = \int \vec{E} d\vec{l} \quad \text{— напряжение}$$

$$I \sim U \Rightarrow I = \frac{1}{R} U \quad R \text{ — сопротивление проводника}$$

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

Рассмотрим трубку тока  $dV$

$dI$

$dU$

$dR$

$$dI = \frac{dU}{dR} \Rightarrow dU = dR \cdot dI \quad (dV)$$

$$\int dU = \int dR dI \Rightarrow (V) \Rightarrow \boxed{U = RI} \quad \text{— закон Ома в интегральной форме}$$

$dR \sim dl$

$$\Rightarrow dR = \rho \frac{dl}{dS}$$

$R = \rho \frac{l}{S}$  — сопротивление цилиндрического проводника

$dR \sim \frac{1}{dS}$

$\rho$  — удельное сопротивление

$$dI = \vec{j} d\vec{S} \quad \Rightarrow \quad \vec{j} \cdot d\vec{S} = \frac{dS}{\rho dl} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad | \cdot \vec{n}$$

$$dU = \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \Rightarrow \frac{1}{\rho} = \sigma \quad \text{— удельная проводимость}$$

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

закон Ома в дифференциальной форме

$$\frac{1}{\rho} = \sigma \quad \text{— удельная проводимость}$$

• Закон Джоуля - Ленца

$$F = dq \cdot \vec{E} \quad dW = dq \cdot dU (dW = dQ)$$

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} = dq \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$dA = dW$  (внутр. энергия проводника)

$$\frac{dA}{dt} = \frac{dw}{dt} = \frac{dq \cdot \vec{E} d\vec{l}}{dt} = dI \cdot dU$$

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

$$\vec{E} d\vec{l} = dU$$

для  $dV \quad \frac{dw}{dt} = dI \cdot dU \Rightarrow dw = dI \cdot dU \cdot dt$

для  $v \quad \int_V dW = \int_V dI \cdot dU \cdot dt \Rightarrow dW = I \cdot U \cdot dt$  - закон Джоуля-Ленца в интегральной форме

$$\frac{dW}{dt} = I \cdot U - \text{мощность электрического тока } I = \int dI \quad U = \int dU = \varphi_1 - \varphi_2$$

Найдём выражение для закона Джоуля - Ленца в дифференциальной форме

Имеем для трубки тока

для  $dV \quad \frac{dw}{dt} = dI \cdot dU$

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{S} \quad \Rightarrow \frac{dw}{dt} = \vec{j} \cdot d\vec{S} \cdot \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$dU = \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \left| \quad d\vec{l} \cdot d\vec{S} = dV \right.$$

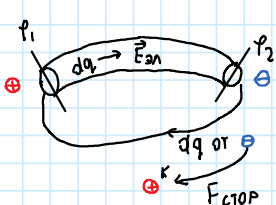
$$\frac{dw}{dt} = \vec{j} \vec{E} \cdot dV$$

$$w = \frac{dW}{dV \cdot dt} = \vec{j} \vec{E} \Rightarrow w = \vec{j} \vec{E}$$

Из закона Ома  $\vec{j} = \sigma \vec{E} \Rightarrow w = \sigma \vec{E} \vec{E} = \sigma E^2$

Энергия, поделённая на объём - плотность; поделённая ещё на время - мощность плотности. Произведение плотности тока на напряжённость электрического поля равно энергии, которая выделяется в единице объёма проводника за единицу времени

**ЭДС - электродвижущая сила**



$$\vec{F}_{эл} = q \cdot \vec{E}$$

$$\vec{F}_{ст} = q \cdot E_{ст}$$

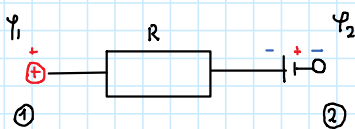
$$\vec{E}_{ст} = \frac{d\vec{F}_{ст}}{dq} \text{ (такого поля нет)}$$

Тогда закон Ома

$$dV \Rightarrow \vec{j} = \sigma \vec{E} = \sigma \vec{E}_{эл} + \sigma \vec{E}_{ст}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_{эл} + \vec{E}_{ст}$$

участок проводника



$$\frac{dS}{dS} \rho \vec{j} \cdot d\vec{l} = \vec{E}_{эл} d\vec{l} + \vec{E}_{ст} \cdot d\vec{l}$$

$$\int_1^2 dR \cdot \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 E_{эл} d\vec{l} + \int_1^2 E_{ст} d\vec{l}$$

$$\int_1^2 dR \cdot dI = R_{12} I$$

$$\int_1^2 \vec{E}_{эл} d\vec{l} = U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\int_1^2 \vec{E}_{ст} d\vec{l} = \mathcal{E}_{12} \text{ (ЭДС)}$$

$$\Rightarrow \text{Соотношение для участка проводника: } R_{12} I = U_{12} + \mathcal{E}_{12}$$

Замкнём электрическую цепь

$$\oint \vec{E}_{эл} d\vec{l} = 0$$

$$RI = \mathcal{E}$$

R- полное сопротивление

$\mathcal{E}$  — работа сторонних сил по переносу единичного положительного заряда во всей замкнутой цепи

$$q = 1 \text{ кл, } A$$

Закон Ома для замкнутой цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$