Лекция 10.
Энергия электрического поля.
Постоянный электрический ток

Как рассчитать электроёмкость конденсатора ??

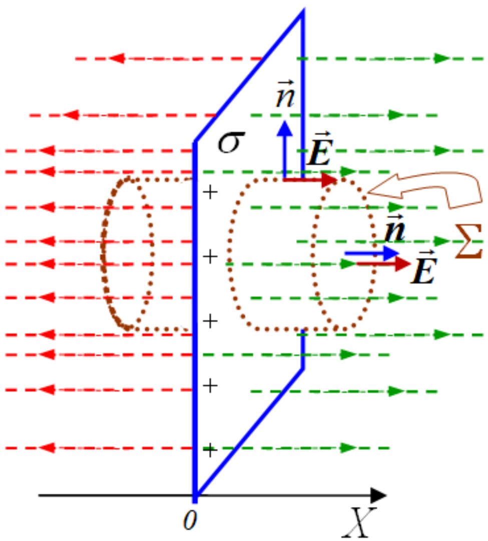
- 1. *Найти напряжённость поля между обкладками* $\vec{E}(\vec{r})$;
- 2. *разность потенциалов между обкладками выразить через* q:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} (\vec{E}, d\vec{l})$$

- 3. *применить определение электроёмкости*: $C = \dfrac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$.

Как считать на практике ?

Пример: (Задача 7.14,*a*) Получить выражения для электроёмкости **плоского конденсатора** с площадью пластин *S* и расстоянием *d* между ними. Конденсатор заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε.



- 1. *Найти напряжённость поля между обкладками*:

$$\oint_\Sigma E_n dS = E \cdot 2S_{осн.} \quad \Rightarrow \quad E \cdot 2S_{осн.} = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \sigma \cdot S_{осн.}$$

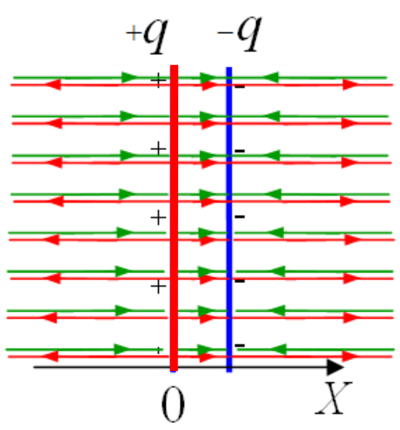
$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

Вернём вторую пластину “на место”:

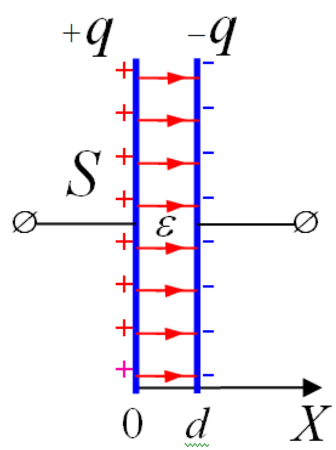
$$\begin{cases} \vec{E}^{\,вне} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 0 \quad - \textit{поле вне конденсатора}; \\ \vec{E}^{\,внутри} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 2\vec{E}^{(+)} = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\vec{e}_+ + \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\vec{e}_+ \end{cases}$$

Суперпозиция полей

поле внутри “пустого” конденсатора



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$



$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} E_l\,dl = \int_0^d E_x\,dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\,dx = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\sigma \cdot d / \varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S \cdot \cancel{q}}{\cancel{q} \cdot d}.$$

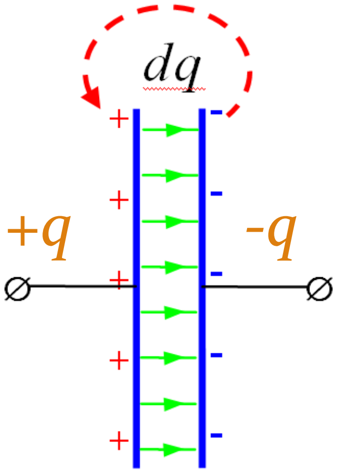
И вот результат:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

Энергия заряженного конденсатора ≡ Энергия электрического поля

10.3. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля

$$\frac{Cu^2}{2} \quad ??$$



$\varphi_1 - \varphi_2 = u^*$

(«текущая»)

(внешних сил)

$$dA = dq\cdot(\varphi_2 - \varphi_1)^* = dq\cdot u^* = \left\{C = \frac{q^*}{u^*}\right\} = dq\cdot\frac{q^*}{C}$$

$$A = \int_0^q \frac{q^*}{C}\,dq^* = \frac{q^2}{2C}$$

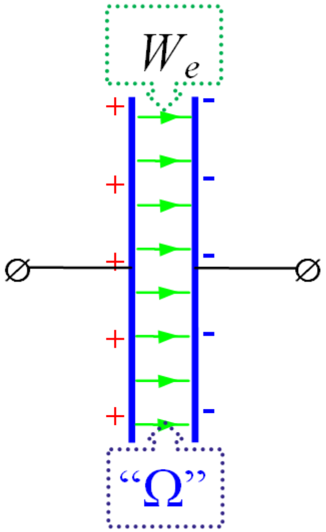
$$W_э = \frac{q^2}{2C}$$

или $W_э = \dfrac{Cu^2}{2}$

копить заряд / сгущать поле → копить энергию !!

$$W_э = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot V$$

Энергия заряженного конденсатора ≡ Энергия электрического поля

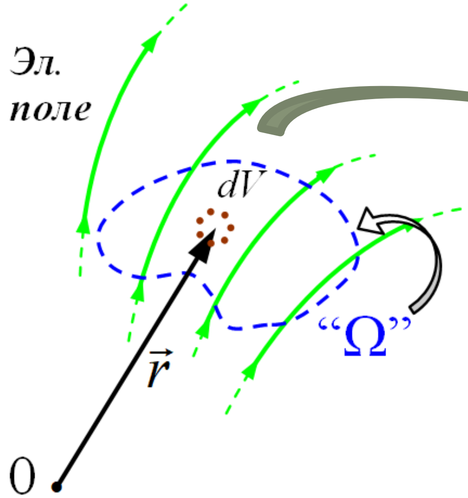


$$W_э = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot V$$??

плотность энергии электрического поля

$$\boxed{w_э = \frac{\delta W_э}{dV}} \Rightarrow w_э = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

!!



$$w_э = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2(\vec{r})}{2} \Rightarrow$$

$$W_э = \frac{\varepsilon_0\varepsilon}{2}\int_{"\Omega"} E^2(\vec{r})dV$$

Применение конденсаторов

(Электродинамика – заряды в движении)

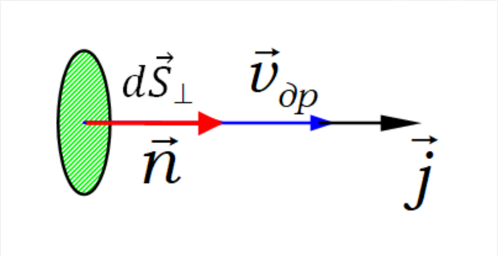
§ 12. Постоянный электрический ток

12.1. Сила тока и плотность тока

(**Опр.**) *Электрический ток – это упорядоченное движение заряженных частиц (тел) в веществе или в вакууме*

(**Опр.**) ***Силой тока*** I ***называется отношение модуля заряда*** dq, ***переносимого через некоторую поверхность "Σ" за малый интервал времени*** dt, ***к величине этого интервала*** :

$$\boxed{I = \left.\frac{dq}{dt}\right|_{\Sigma}}$$



$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

$$\vec{j} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}_{\partial p}$$

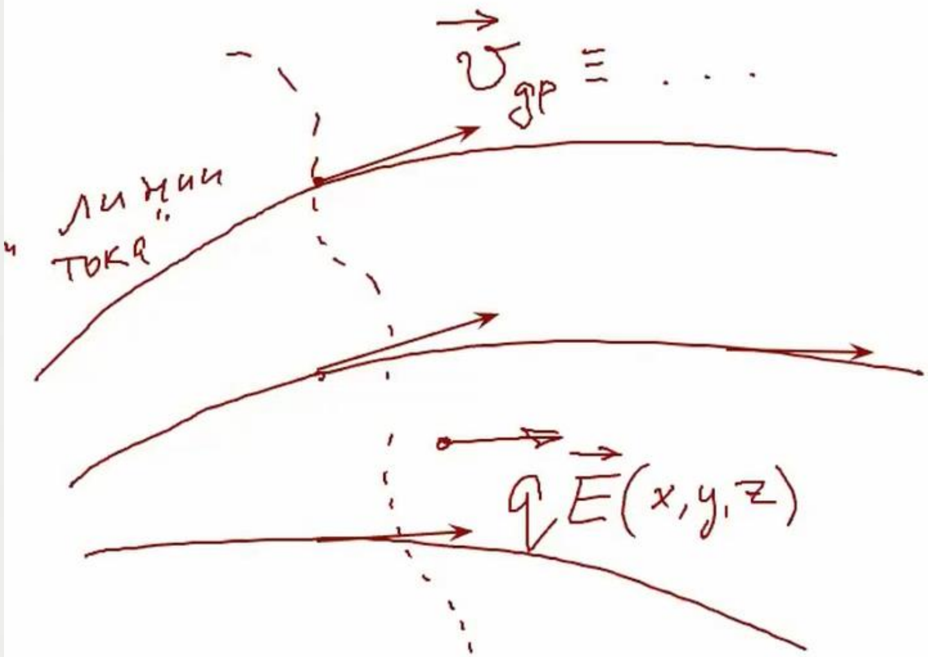
$$\vec{j} = qn\vec{\upsilon}_{\partial p}.$$

Через любую поверхность Σ в проводящей среде:

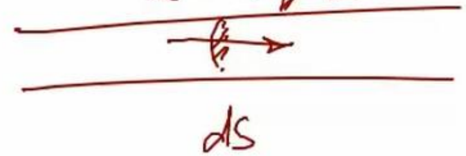
$$\left\{\begin{aligned} &I = \int_{\Sigma} (\vec{j}, d\vec{S}) \quad \text{или:} \\ &I = \int_{\Sigma} j_n dS \end{aligned}\right.$$

"Поток векторного поля" $\vec{j}(x, y, z) \equiv \vec{j}(\vec{r})$

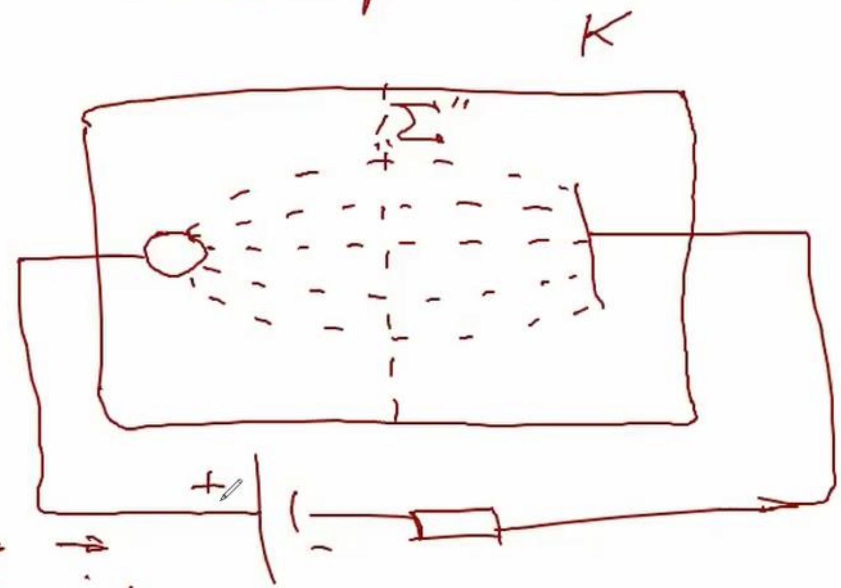
Характеристики электрического тока



$$I = dq/dt$$



Электролиз

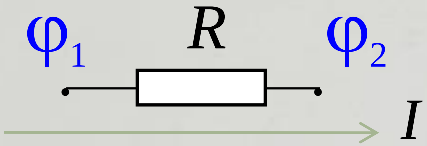


$$\vec{j}\ :\ j = \frac{dI}{dS_\perp}$$

$$\vec{j} \uparrow\uparrow \vec{v}_{др} \qquad \vec{j} = \vec{j}(x,y,z)$$

12.2. Закон Ома для однородного участка цепи
(в интегральной форме)

♣ ***Сила тока прямо пропорциональна разности потенциалов между концами однородного участка цепи*:**



$$I \sim \varphi_1 - \varphi_2 \quad \textit{или} \quad I = \Lambda\cdot(\varphi_1 - \varphi_2)$$

"Потенциал падает"

$$(\varphi_1 - \varphi_2) \equiv u$$

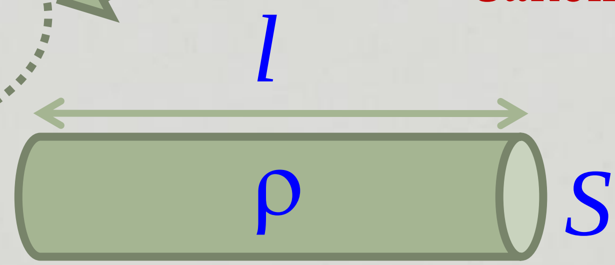
(**Опр.**) ***Электрическое сопротивление*** :

$$\boxed{R = \frac{u}{I}}$$

• **Закон Ома :**

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

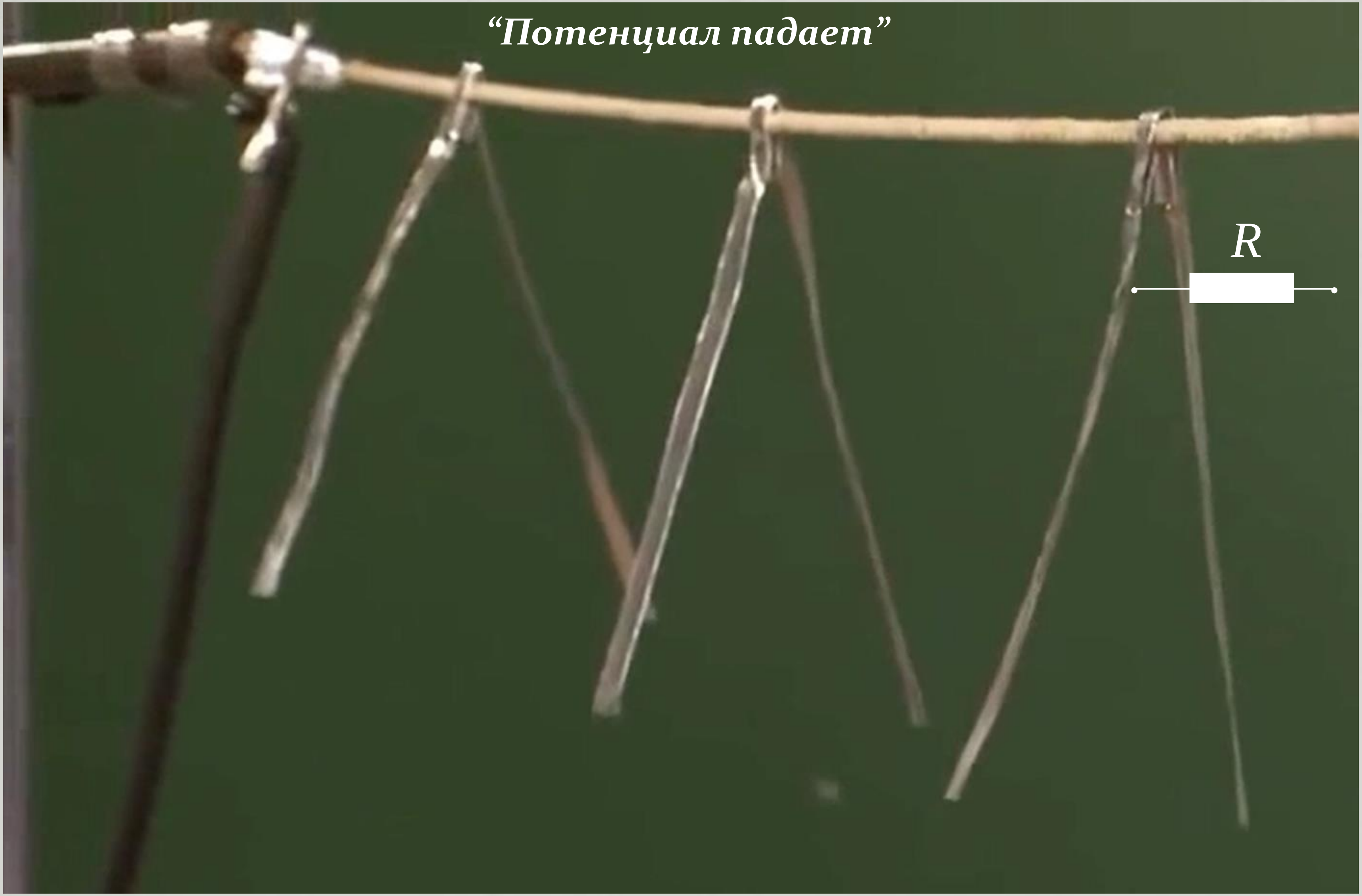
$$R = \rho\frac{l}{S}$$



$$[\rho] = Ом\cdot м$$

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

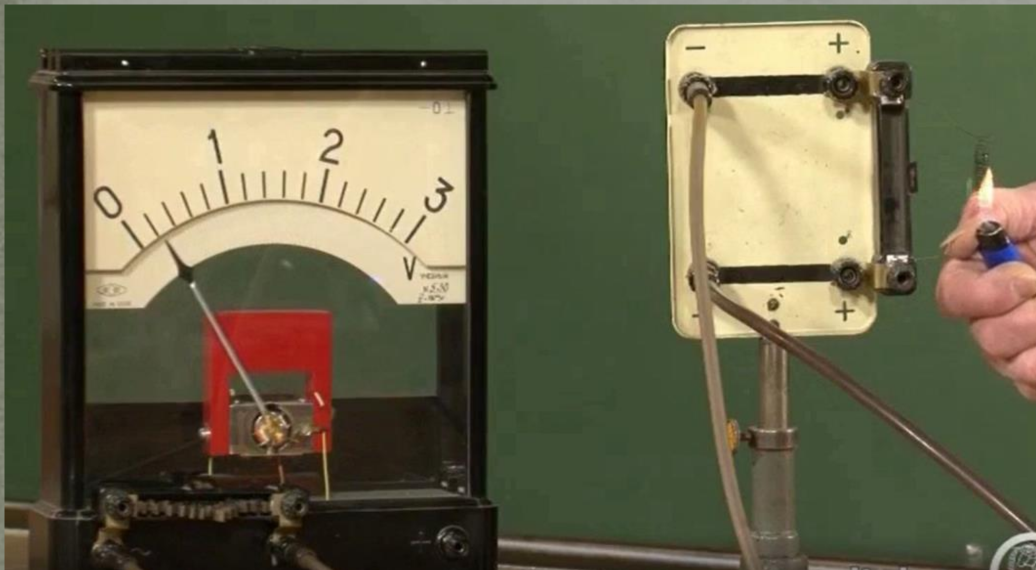
Зависит от температуры для металлов

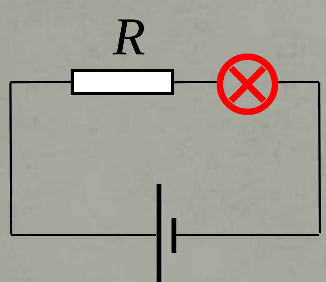

“Потенциал падает”
R

Зависимость ρ от температуры

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

Металлы





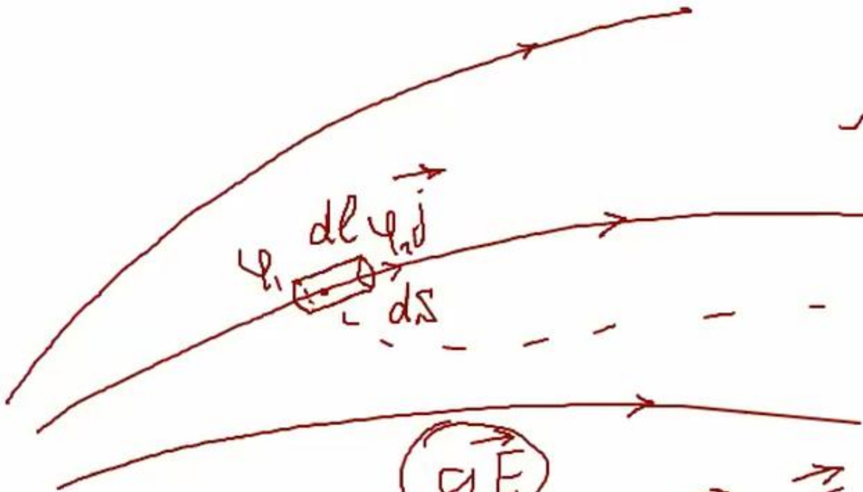
12.3. Закон Ома в дифференциальной (локальной) форме

$$\begin{cases} dI = \dfrac{1}{R}\cdot(\varphi_1 - \varphi_2)\,; & \textit{закон Ома} \\ dI = j\cdot dS\,; & \textit{связь между силой и плотностью тока} \\ R = \rho\dfrac{dl}{dS}\,; & \textit{омическое сопротивление} \\ \varphi_1 - \varphi_2 = E\cdot dl & \textit{связь разности потенциалов и напряжённости} \end{cases}$$

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho}\vec{E} \qquad \left(\textit{или} \quad \vec{j} = \sigma\cdot\vec{E}\right)$$

$$\vec{j} = \vec{j}(x, y, z), \quad \vec{E}(x, y, z), \quad \rho(x, y, z)$$

12.3. Закон Ома
в дифференциальной (локальной) форме



$$\rho = \rho(\vec{r})$$

x, y, z

$$E_l = -\frac{\partial \varphi}{\partial l}$$

$$dI = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$$

$$j\,\cancel{dS} = \frac{E \cdot \cancel{dl}}{\rho \cdot \frac{\cancel{dl}}{\cancel{dS}}}$$

$q\vec{E}$

$\vec{v}_{\text{др}} \uparrow\uparrow \vec{j}, \vec{E}$

$$\boxed{\vec{j} = \frac{1}{\rho} \cdot \vec{E}}$$

x, y, z

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