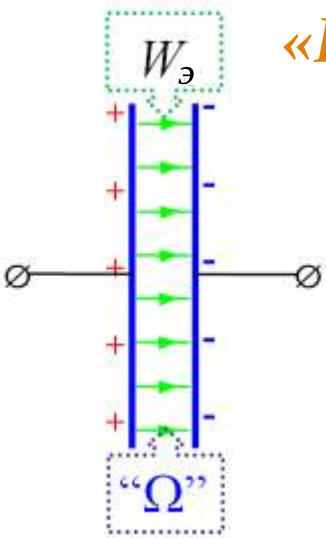
Лекция 11

Постоянный электрический ток

Ещё раз:



«Вопрос для раздумий» (Д.З.):

Две пластины

«+» и «-» $\dfrac{q^2}{2C} > 0$

Два заряда

«+» и «-»

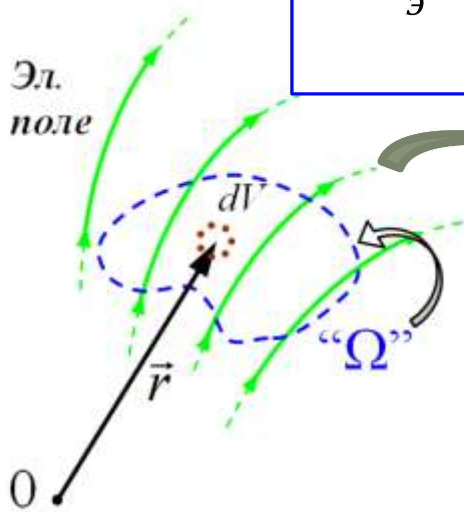
$$W_э = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r} \Rightarrow -k\frac{q^2}{r} < 0$$

??

плотность энергии электрического поля

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

!!



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

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

(*Электродинамика – заряды в движении*)

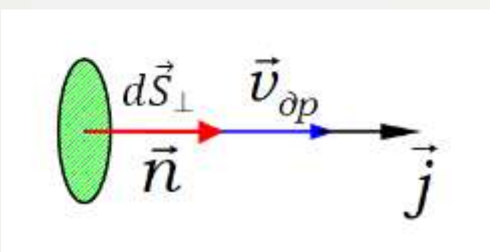
§ 12. Постоянный электрический ток

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**:*

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



$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} \qquad \vec{j} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}_{\partial p}$$

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

Через любую поверхность Σ в проводящей среде:

$$I = \int_{\Sigma} (\vec{j}, d\vec{S})$$

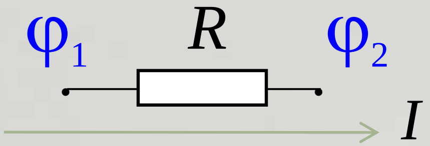
или:

$$\left(I = \int_{\Sigma} j_n dS \right)$$

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

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

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



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

"Потенциал падает"

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

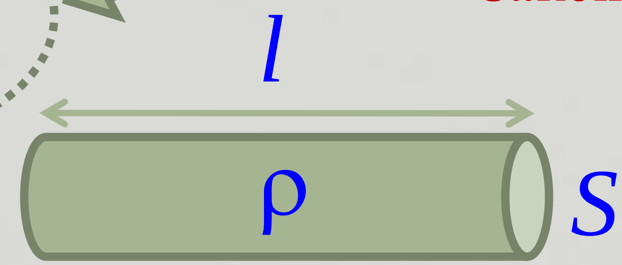
(**Опр.**) ***Электрическое сопротивление*** :

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

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

• **Закон Ома :**

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



$$[\rho] = Ом\cdot м$$

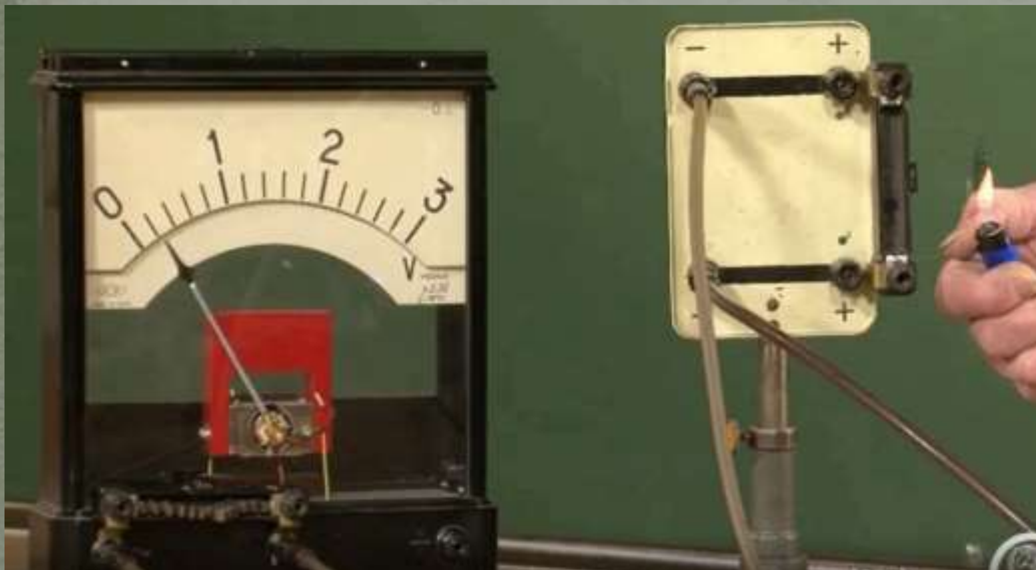
$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\cdot t^\circ)$$

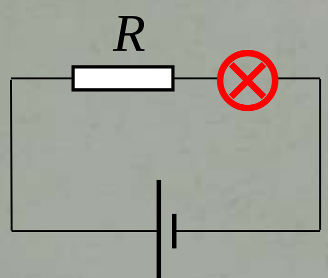
Зависит от температуры для металлов


“Потенциал падает”
R

Зависимость ρ от температуры $\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t^\circ)$

Металлы





12.3. Закон Ома
в дифференциальной (локальной) форме

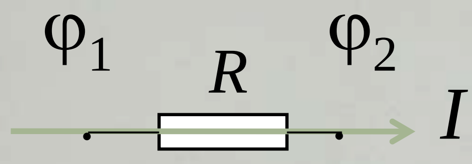
$$\begin{cases} dI = \dfrac{1}{R}\cdot(\varphi_1 - \varphi_2)\,; & \textit{закон Ома} \\ dI = j \cdot dS\,; & \textit{связь между силой и плотностью тока} \\ R = \rho\dfrac{dl}{dS}\,; & \textit{омическое сопротивление} \\ \varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot dl & \textit{связь разности потенциалов и напряжённости}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

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

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

12.4. Работа и мощность тока

а) Закон Джоуля – Ленца в интегральной форме (1842)



$$Q = I^2 R \Delta t$$

?? – откуда эта энергия?

Мощность (тепло в единицу времени) : $P = I^2 R$

"Работа тока": $A_{12} = q\cdot(\varphi_1 - \varphi_2) = u\cdot q = u\cdot(I\cdot\Delta t)$

б) Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной (локальной) форме

для малого элемента проводящей среды:

$$\begin{cases} \delta Q = R\cdot I^2\cdot\Delta t\,; & \textit{закон Джоуля – Ленца} \\ \dfrac{\delta Q}{dV} \equiv w\,; & \textit{"плотность тепловыделения"} \\ \dfrac{w}{\Delta t} \equiv w_\tau\,; & \textit{"удельная мощность тепловыделения"} \\ dI = j\cdot dS\,; & \textit{связь силы и плотности тока} \\ R = \rho\dfrac{dl}{dS}\,; & \textit{омическое сопротивление.} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad w_\tau = \rho\cdot j^2$$

или

$$w_\tau = \frac{1}{\rho}\cdot E^2$$

§ 13. Электродвижущая сила

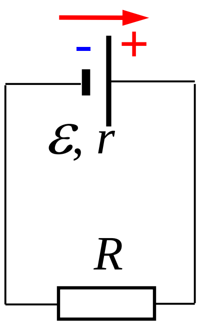
13.1. Источники тока. ЭДС

$$\mathcal{E} = \frac{A^{ст.}}{q}$$

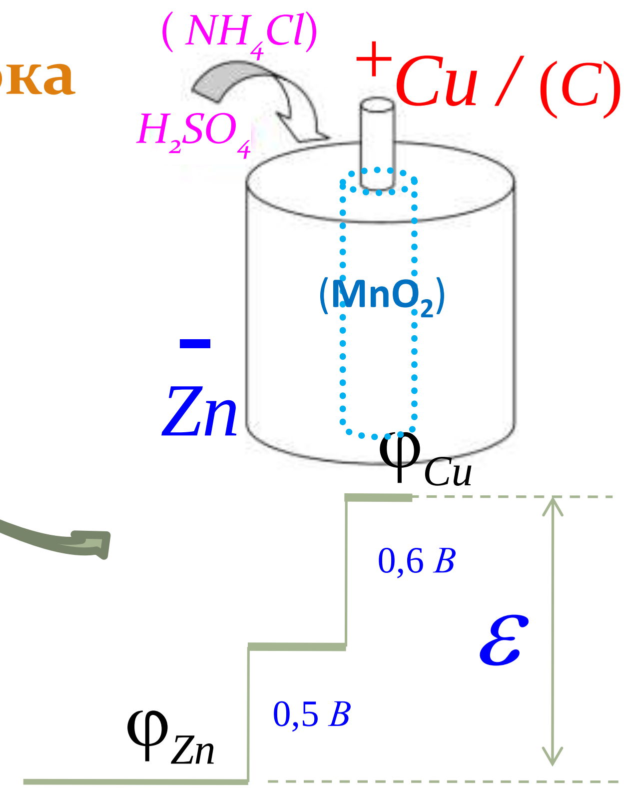
??

Вольты

(Опр.) ***ЭДС равна отношению работы сторонних сил по перемещению заряда в источнике тока к величине этого заряда***



"Химический" источник тока «Элемент Вольта»:

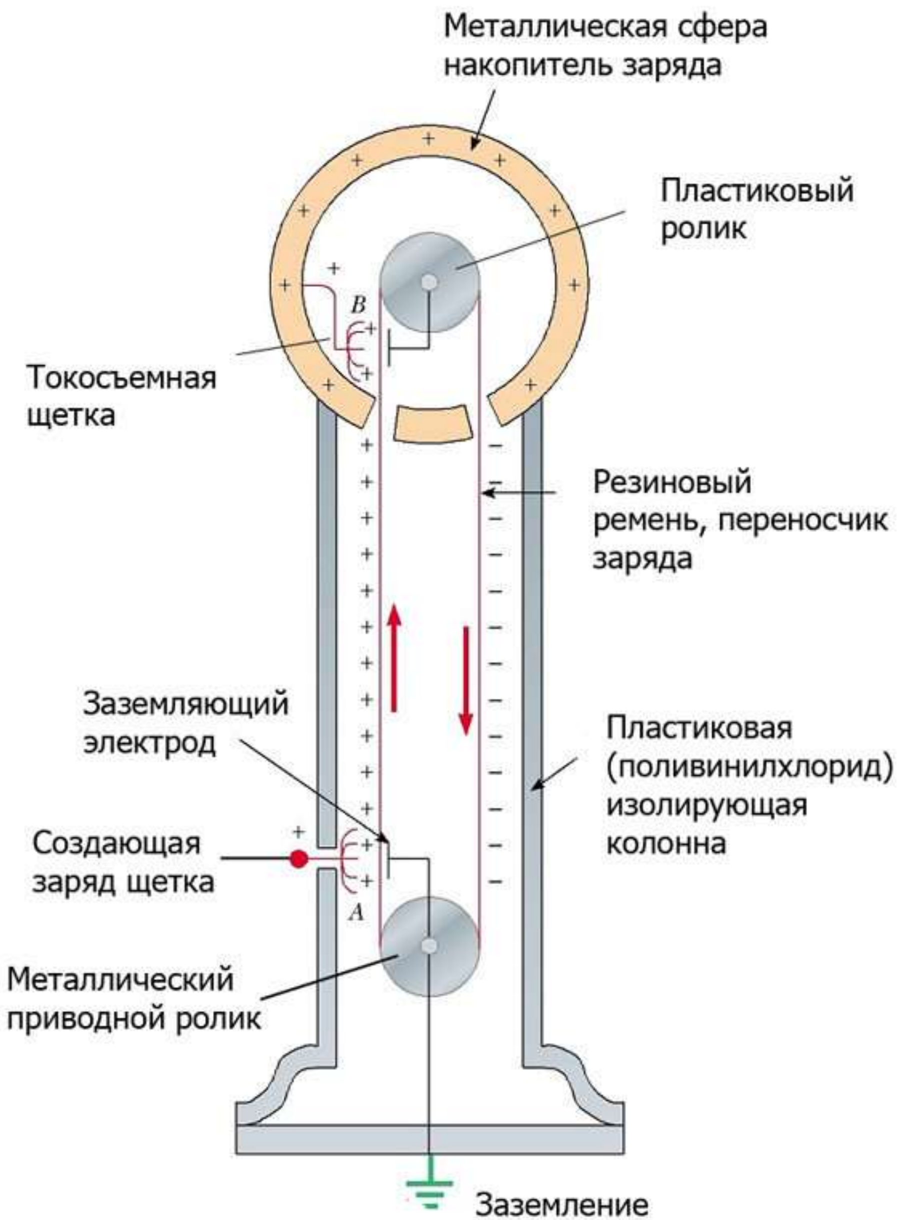


сульфат цинка

$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$

$A^{ст.}$: $7 \cdot 10^6$ Дж/кг **!!**

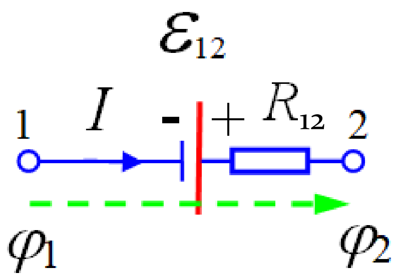
Генератор Ван-де-Граафа




0
1
2
3

13.1. Закон Ома для неоднородного участка цепи

(на котором действует ЭДС)



$$A_{1\to 2} = \underbrace{q\cdot(\varphi_1 - \varphi_2)}_{\text{работа поля}} + \underbrace{q\cdot\mathcal{E}_{12}}_{\text{работа сторонних сил}};$$

$$Q = I^2 R_{12}\cdot\Delta t$$

$$I^2 R_{12}\cdot\Delta t = R_{12}\cdot I\cdot(I\Delta t) = R_{12}\cdot I\cdot q$$

Сохранение энергии: $A_{1\to 2} \to Q$:

$$I\cdot R_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$$

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}}{R_{12}}$$

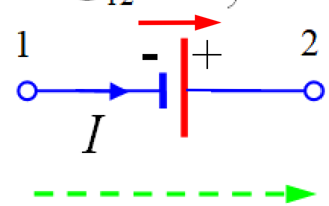
(*А можно и так:* $\varphi_1 + \mathcal{E}_{12} - I\cdot R_{12} = \varphi_2$)

Здесь I и $\mathcal{E}_{12}$ – величины «алгебраические»! (±)

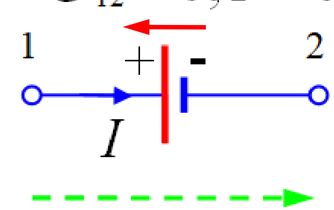
Важные замечания:

1. Знаки: ?!

$\mathcal{E}_{12} > 0, I > 0$



$\mathcal{E}_{12} < 0, I > 0$



«направление обхода»

2. $\mathcal{E}$ = 0 $\quad\to\quad I = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$

("однородный участок")

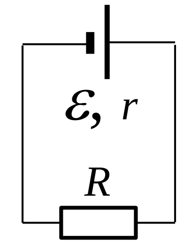
3. $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$**:**

соединим точки «1» и «2» - замкнём цепь

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

“Замкнутая цепь”

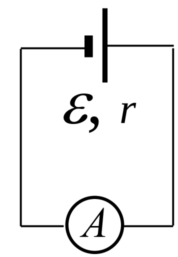
(/ ”Полная цепь”)



4. ***“Внутреннее сопротивление источника”*:** $R_{12} - R = r$

“Короткое замыкание” – $R = 0$:

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{к.з.}}}$$



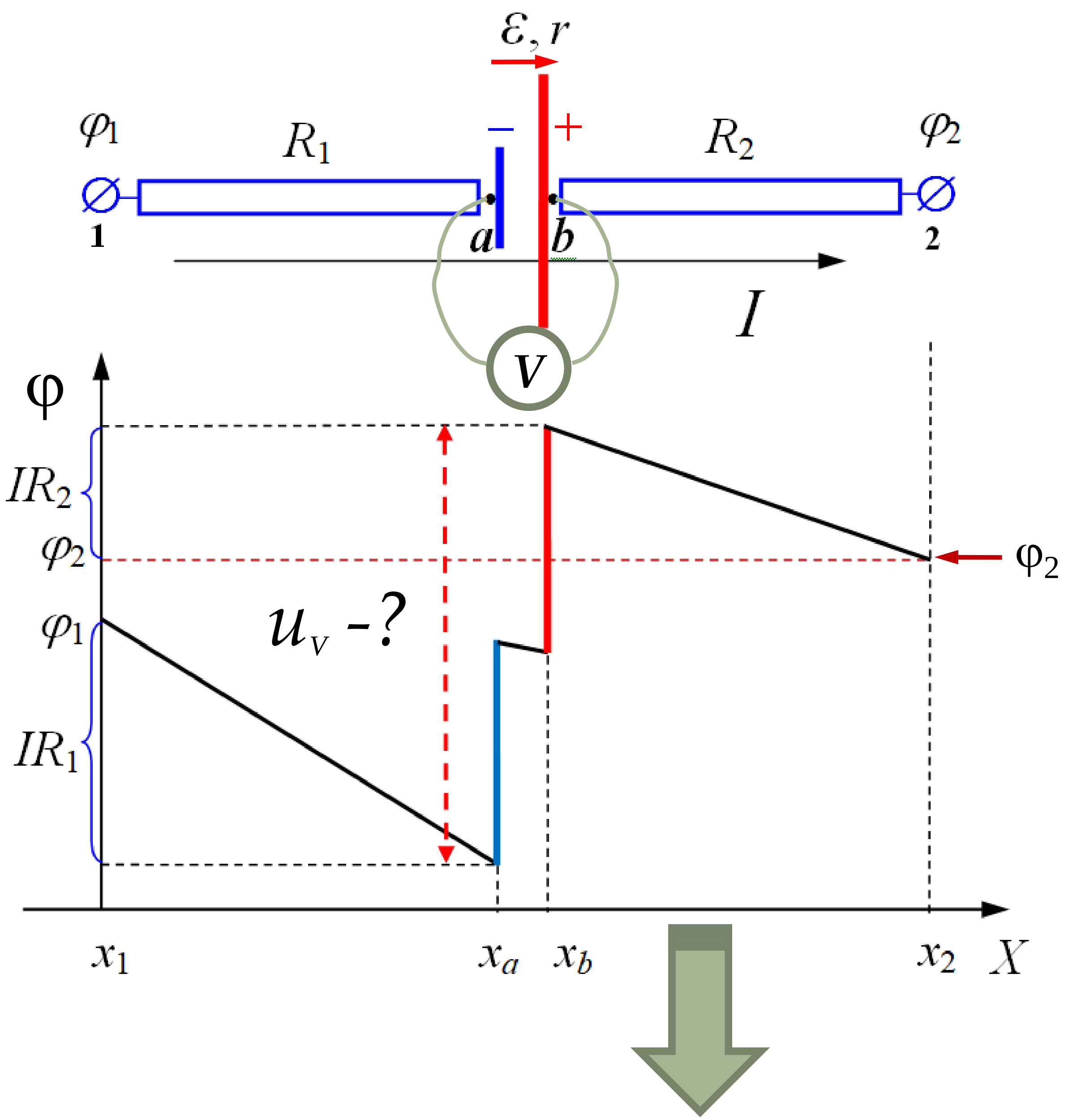
5. u_{12} **– “напряжение”** (IR_{12})**:** $u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$

Удельная работа электрических **И** сторонних сил на участке цепи ***!!***

$u_{12} \neq \varphi_1 - \varphi_2$ в общем случае

Полезное дополнение :

“Эволюция” потенциала:



1) Может ли φ_2 быть больше φ_1

??

2) Что покажет вольтметр $\mathcal{U}_V$

??

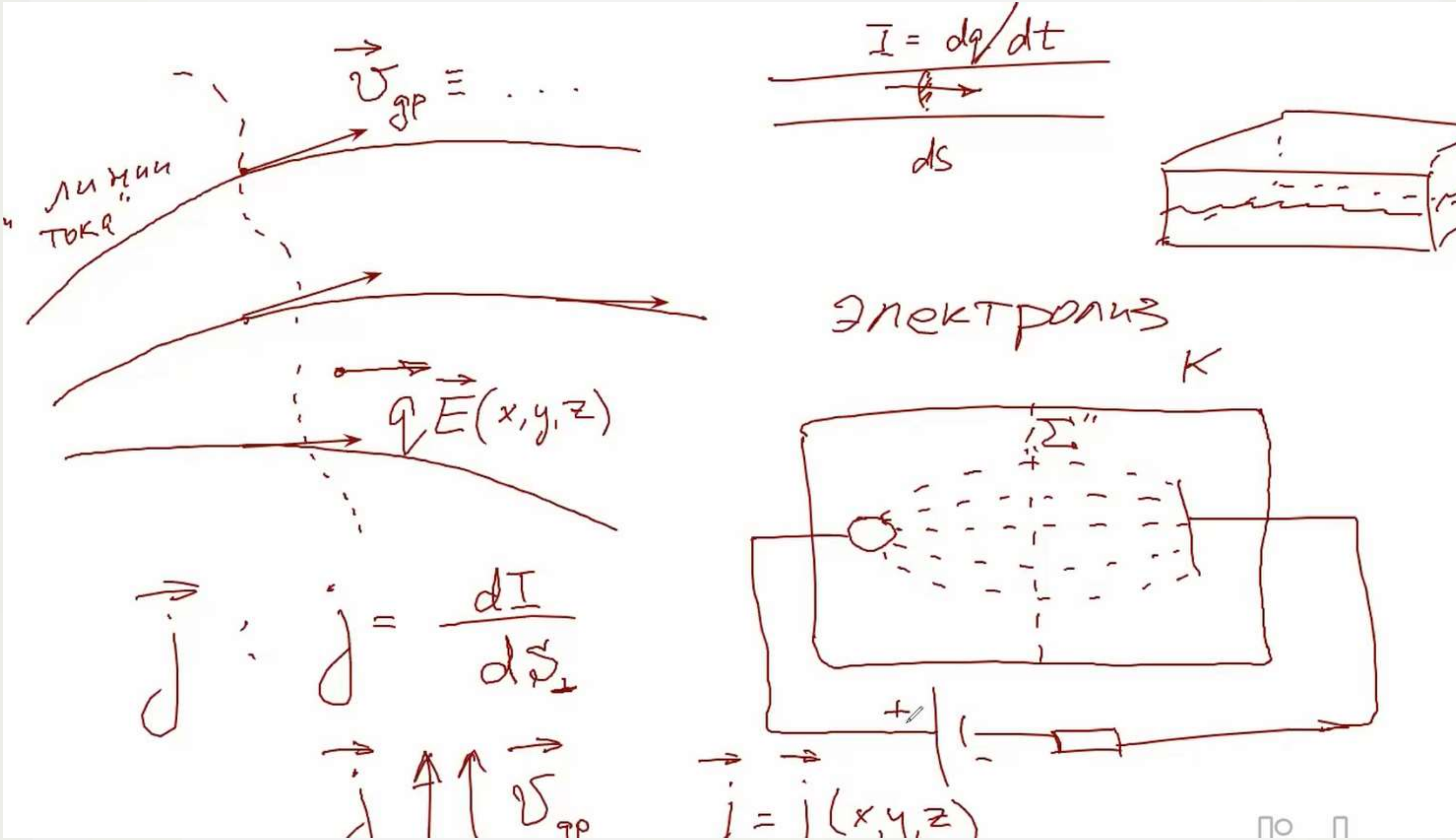
3) Как измерить $\mathcal{E}$

??

4) А если поменять полярность $\mathcal{E}$

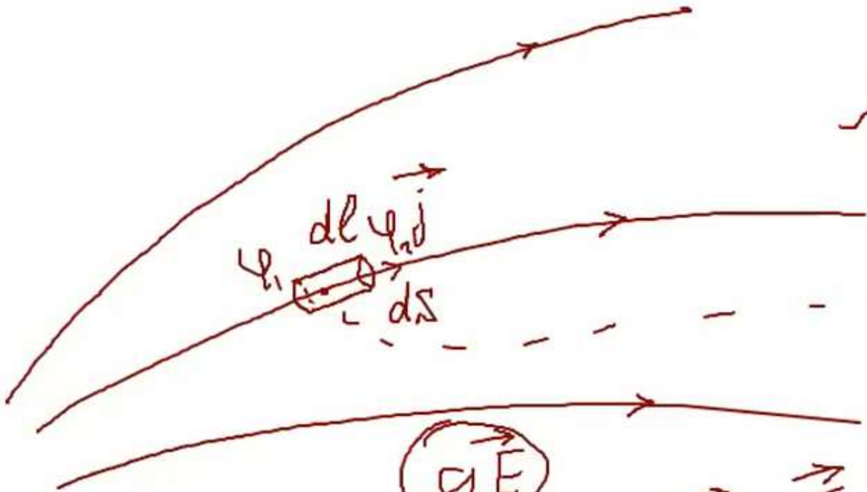
??

Характеристики электрического тока



доска

12.3. Закон Ома в дифференциальной (локальной) форме



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

x, y, z

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

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

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

$q\vec E$

$\vec v_{др} \uparrow\uparrow \vec j, \vec E$

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

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

x, y, z