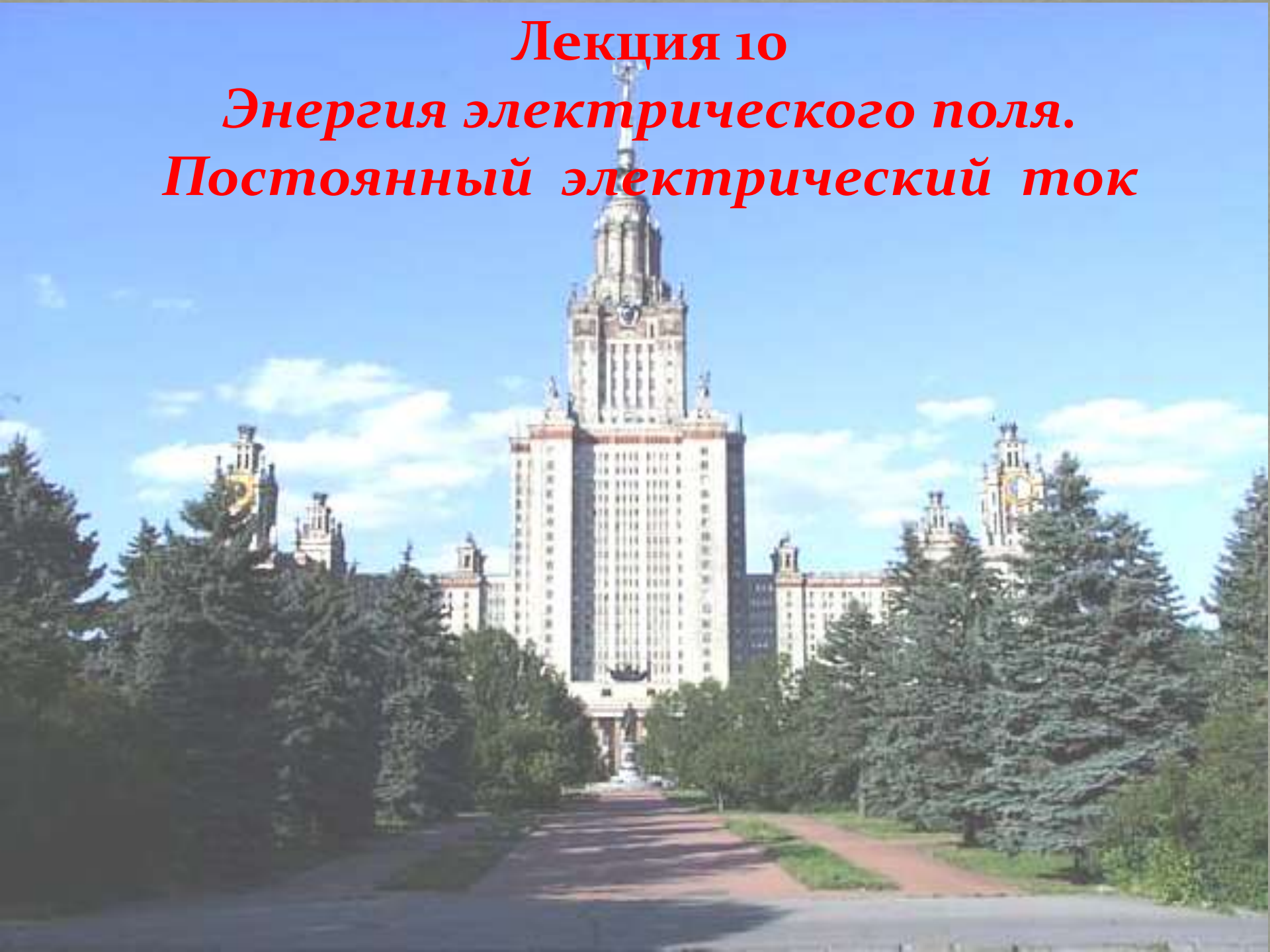


Лекция 10
***Энергия электрического поля.
Постоянный электрический ток***



Как рассчитать ёмкость конденсатора

??

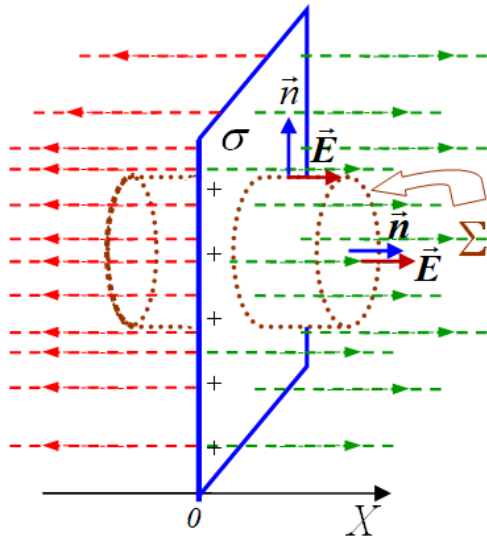
- 1. Найти напряжённость поля между обкладками $\vec{E}(\vec{r})$;
- 2. разность потенциалов между обкладками выразить через q :

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

- 3. применить определение ёмкости: $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$.

Как считать на практике ?

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



- 1. Найти напряжённость поля между обкладками:

$$\oint_{\Sigma} E_n dS = E \cdot 2S_{\text{осн.}} \Rightarrow E \cdot 2S_{\text{осн.}} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sigma \cdot S_{\text{осн.}}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

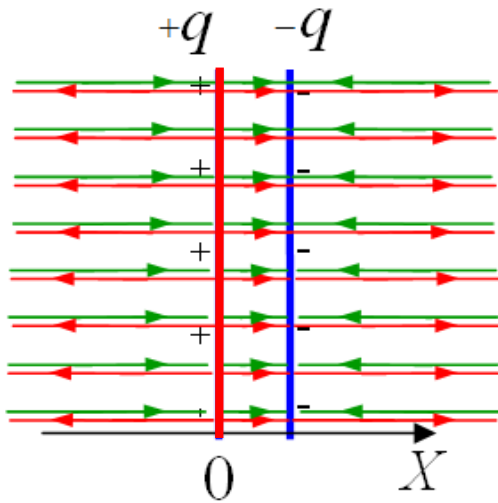
Вернём вторую пластину “на место”:

$$\vec{E}_{вне} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 0 \quad \text{— поле вне конденсатора;}$$

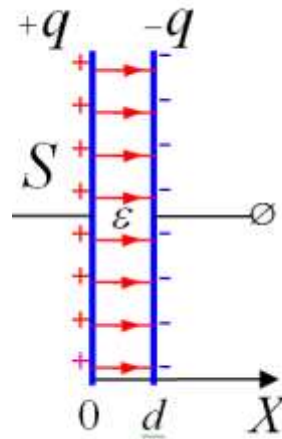
$$\vec{E}_{внутри} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 2\vec{E}^{(+)} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \vec{e}_+ + \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \vec{e}_+ = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} \vec{e}_+$$

Суперпозиция полей

поле внутри
“пустого” конденсатора



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$



$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} E_l dl = \int_0^d E_x dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} dx = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon\epsilon_0}$$

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\sigma \cdot d / \epsilon\epsilon_0} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S \cdot q}{q \cdot d}$$

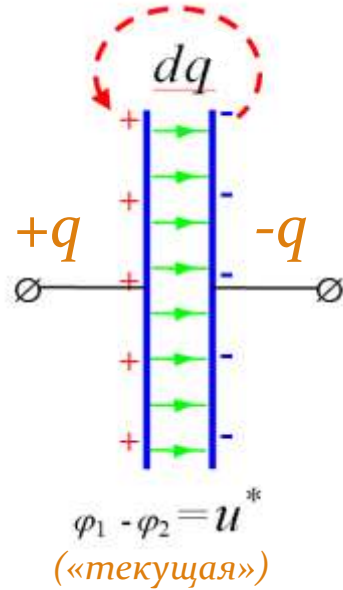
И вот результат:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$



10.3. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля

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



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

$$W_{\text{э}} = \frac{q^2}{2C}$$

или $W_{\text{э}} = \frac{Cu^2}{2}$

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

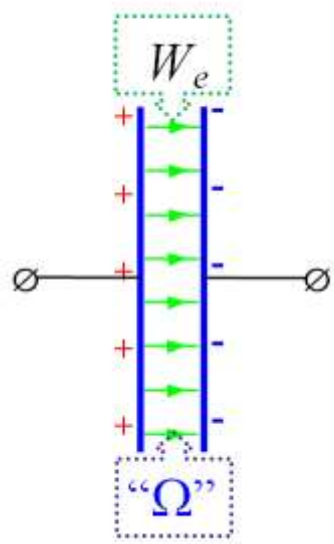
копить заряд / сгущать поле → коптить энергию !!

$$W_{\text{э}} = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \cdot Sd = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \cdot V$$

Энергия заряженного конденсатора $\equiv$ Энергия электрического поля



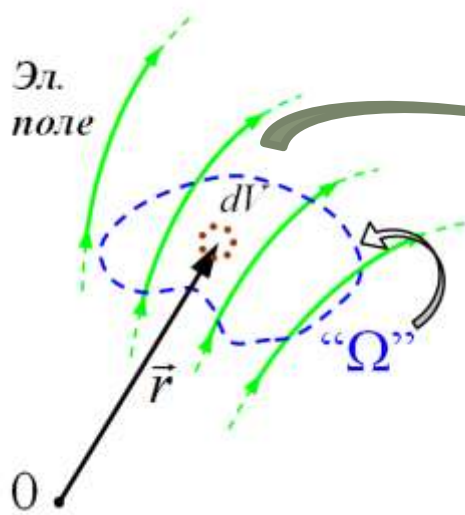
Энергия заряженного конденсатора $\equiv$ Энергия электрического поля



$$W_{\text{э}} = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \cdot Sd = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \cdot \underline{V} \quad ??$$

плотность энергии электрического поля

$$w_{\text{э}} = \frac{\delta W_{\text{э}}}{dV} \Rightarrow w_{\text{э}} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \quad !!$$



$$w_{\text{э}} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2(\vec{r})}{2} \Rightarrow$$

$$W_{\text{э}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2} \int_{\text{"Ω"}} E^2(\vec{r}) dV$$

Применение конденсаторов

50. Энергия заряженного конденсатора



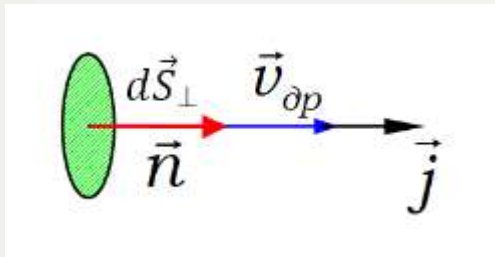
§ 12. Постоянный электрический ток

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 :

$$I = \frac{dq}{dt} \Big|_{\Sigma}$$



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

$$\vec{j} \uparrow \uparrow \vec{v}_{др}$$

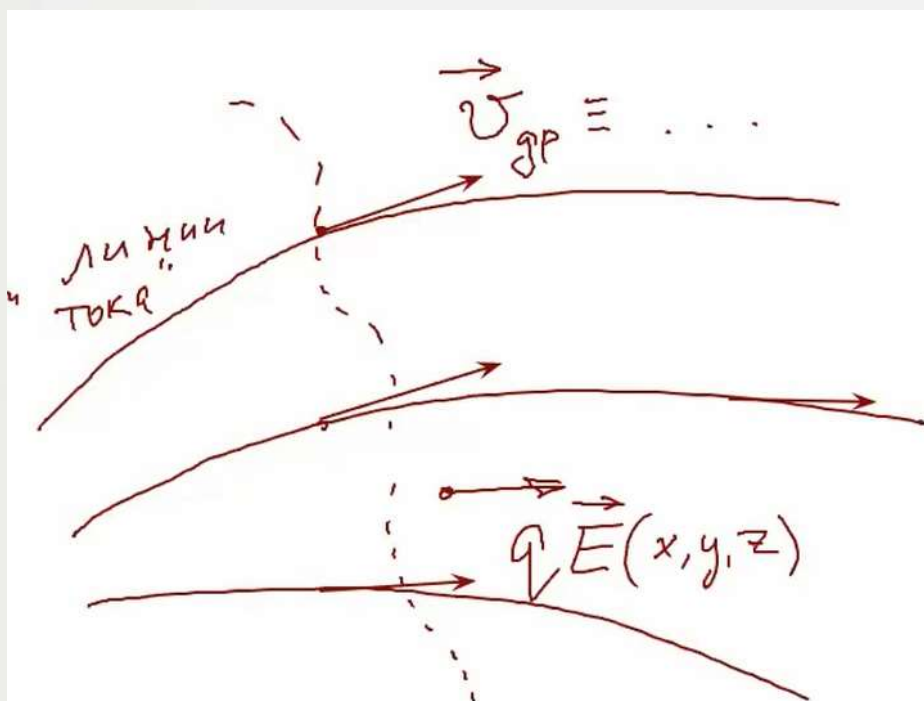
$$\vec{j} = qn\vec{v}_{др}$$

Через любую поверхность Σ
в проводящей среде:

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

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

Характеристики электрического тока

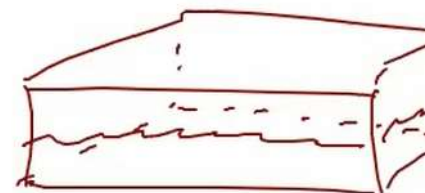


$$\vec{j} : j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

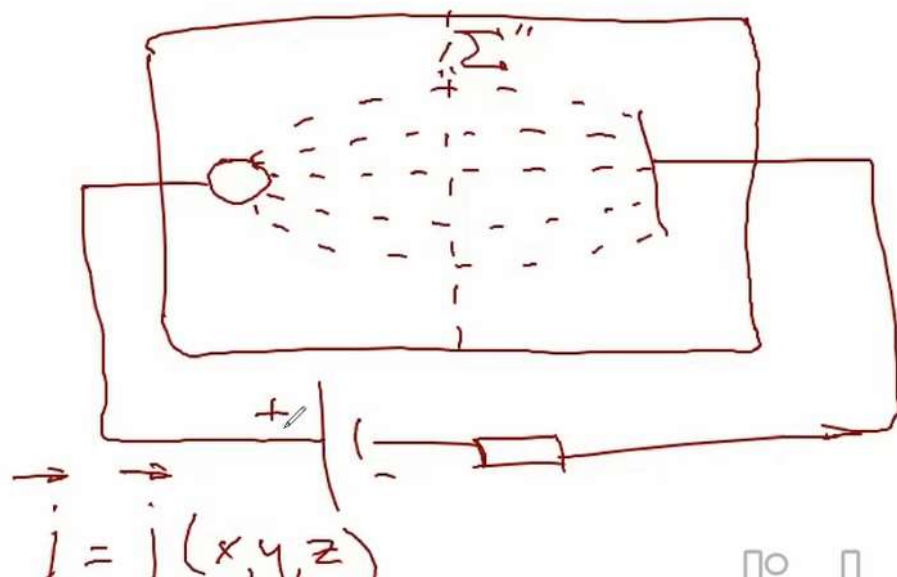
Below the equation, there are three upward-pointing arrows, with the middle one labeled $\vec{v}_{gp}$.

$$I = dq/dt$$

Below the equation, there is a diagram of a wire cross-section with a vector $\vec{I}$ pointing to the right and a small area element ds .



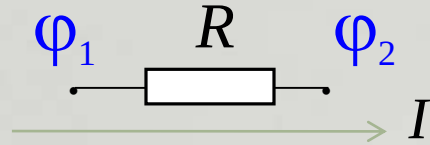
Электролиз К



по П

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

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



“Потенциал падает”

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

➡ (Опр.) Электрическое сопротивление :

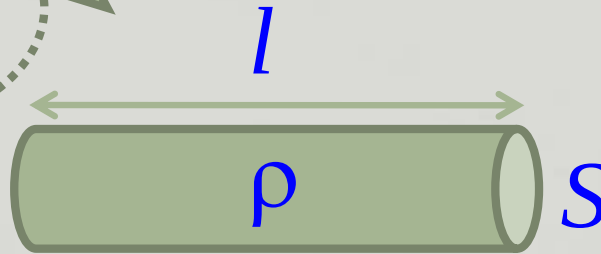
$$R = \frac{u}{I}$$

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

• Закон Ома :

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

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



$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$$

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

Зависит от температуры
для металлов

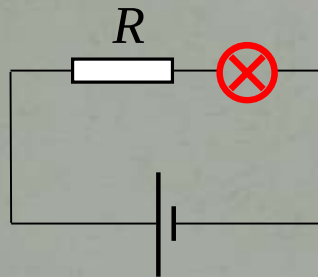
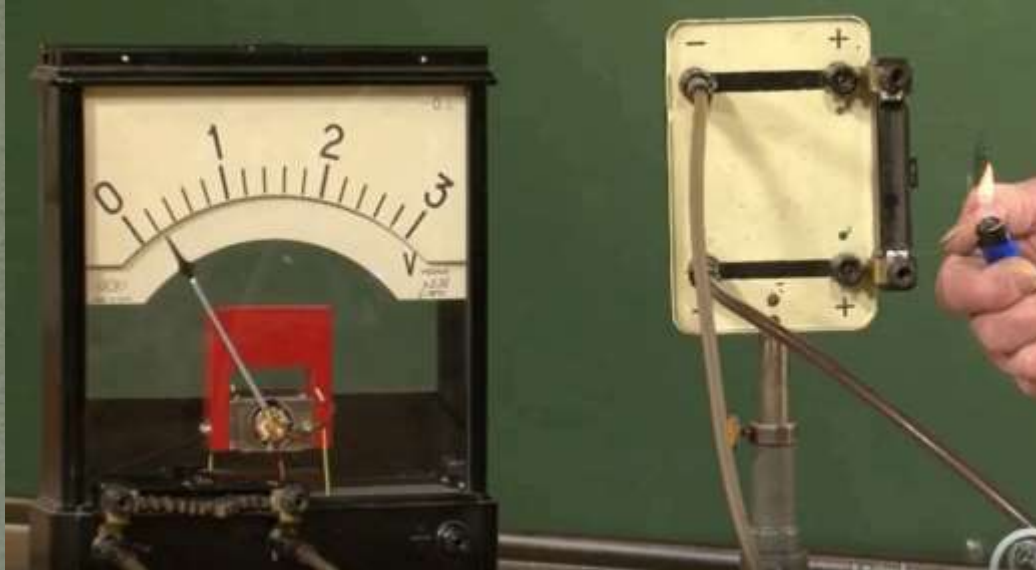
“Потенциал падает”



Зависимость ρ от температуры

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

Металлы



Полупроводники



12.3. Закон Ома в дифференциальной (локальной) форме

$$\left\{ \begin{array}{ll} dI = \frac{1}{R} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2); & \text{закон Ома} \\ dI = j \cdot dS; & \text{связь между силой и плотностью тока} \\ R = \rho \frac{dl}{dS}; & \text{омическое сопротивление} \\ \varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot dl & \text{связь разности потенциалов и напряжённости} \end{array} \right.$$

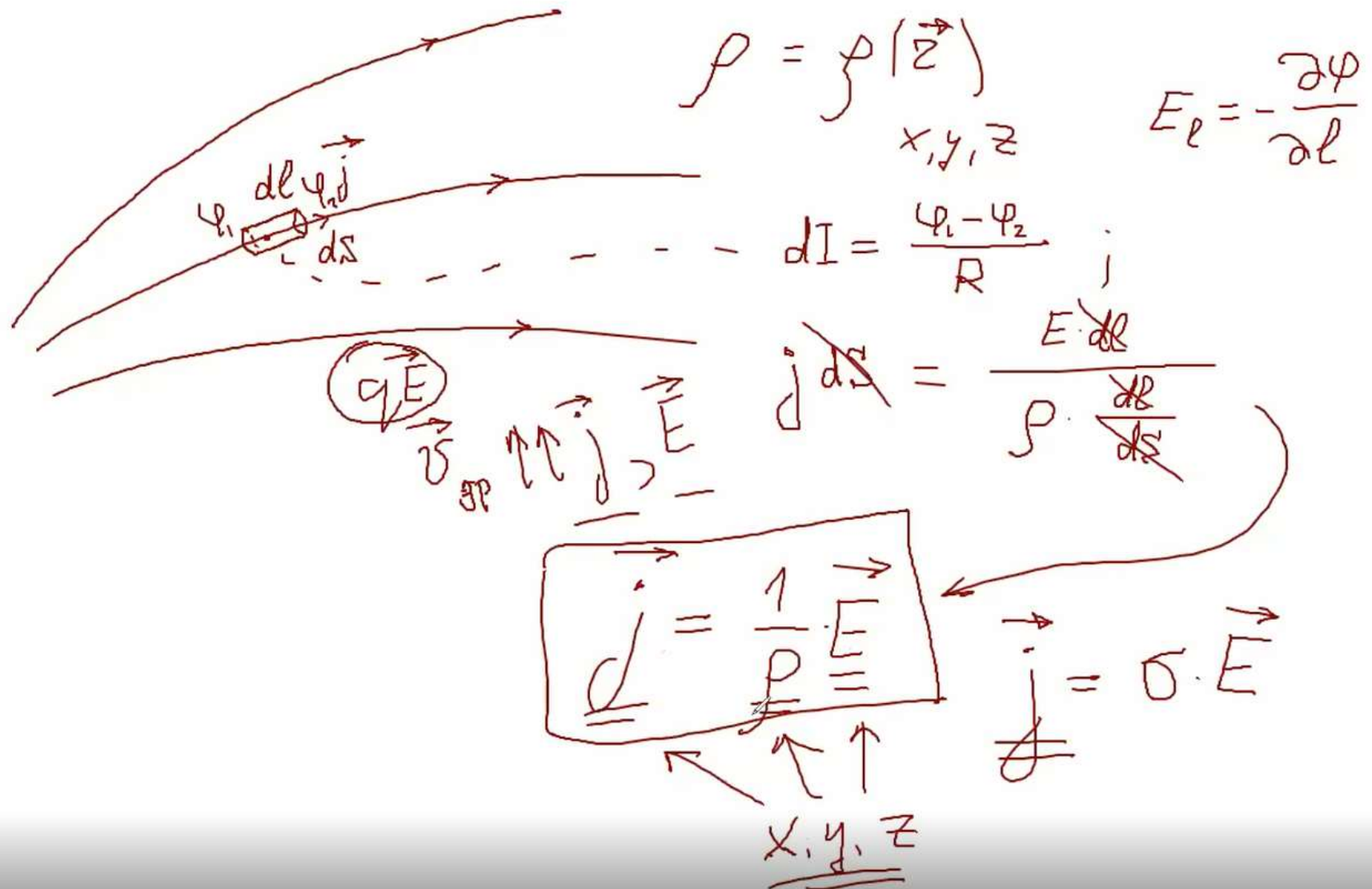
$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E}$$

$$\left(\text{или } \vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \right)$$



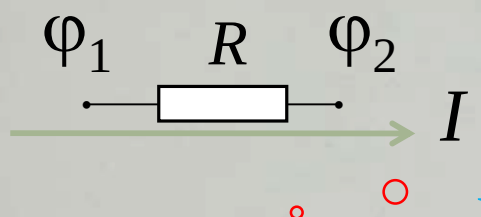
$$\vec{j} = \vec{j}(x, y, z), \quad \vec{E}(x, y, z), \quad \rho(x, y, z)$$

12.3. Закон Ома в дифференциальной (локальной) форме



12.4. Работа и мощность тока

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



φ_1 R φ_2 I

$Q = I^2 R \Delta t$?? – 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

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

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

или

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