

Электричество и магнетизм

Часть 3. Электрический ток.

Погосов Артур Григорьевич

Уважаемые студенты!

Предлагаю вашему вниманию иллюстративный материал к лекциям по электричеству и магнетизму.

Обратите внимание: эти лекции читаются классическим способом ("мелом по доске"), сопровождаются комментариями, выводами формул и пояснениями, как это обычно принято. Представленный же материал лишён этого всего, содержит лишь иллюстрации и основные формулы, что можно рассматривать как "фонное" сопровождение лекций, но никак не замену самих лекций и ваших конспектов.

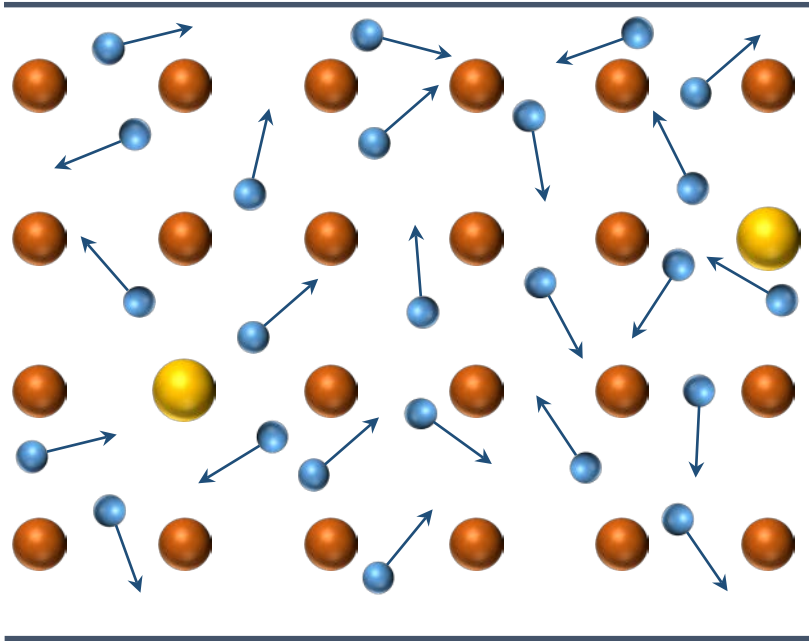
В то же время, я рассчитываю, что этот материал поможет хотя бы некоторым из вас лучше усвоить содержание лекций, вспомнить логику и последовательность изложения. Кроме того, такой сверхкраткий экстракт иногда позволяет по-другому взглянуть на курс: охватить его в целом, увидеть взаимосвязь частей.

А.Г.Погосов.

Электрический ток



Дрейфовая скорость



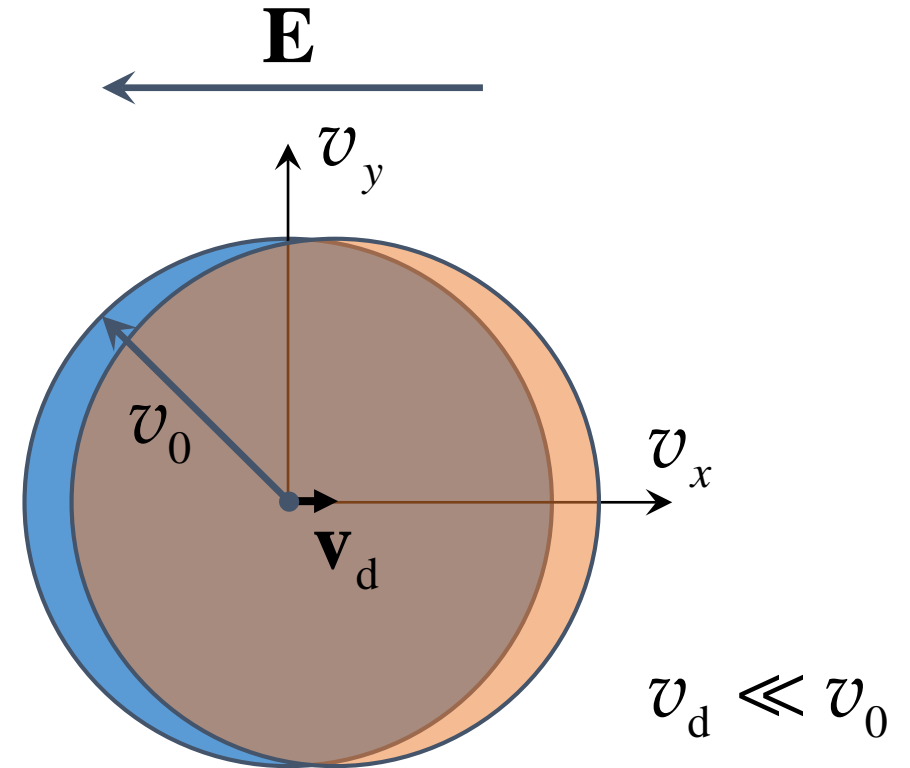
$$\mathbf{v}_d = \langle \mathbf{v} \rangle$$

$$\mathbf{v}_d = \mu \mathbf{E}$$

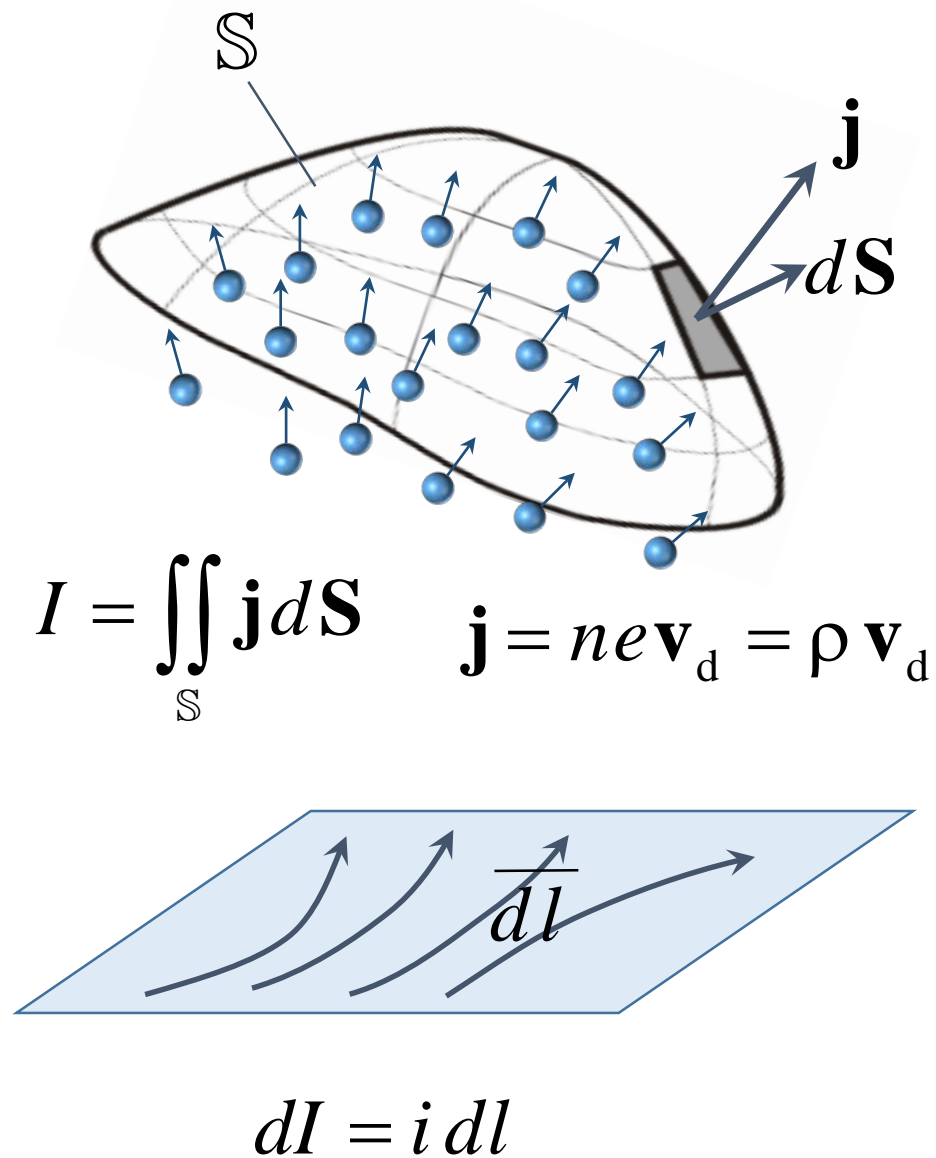
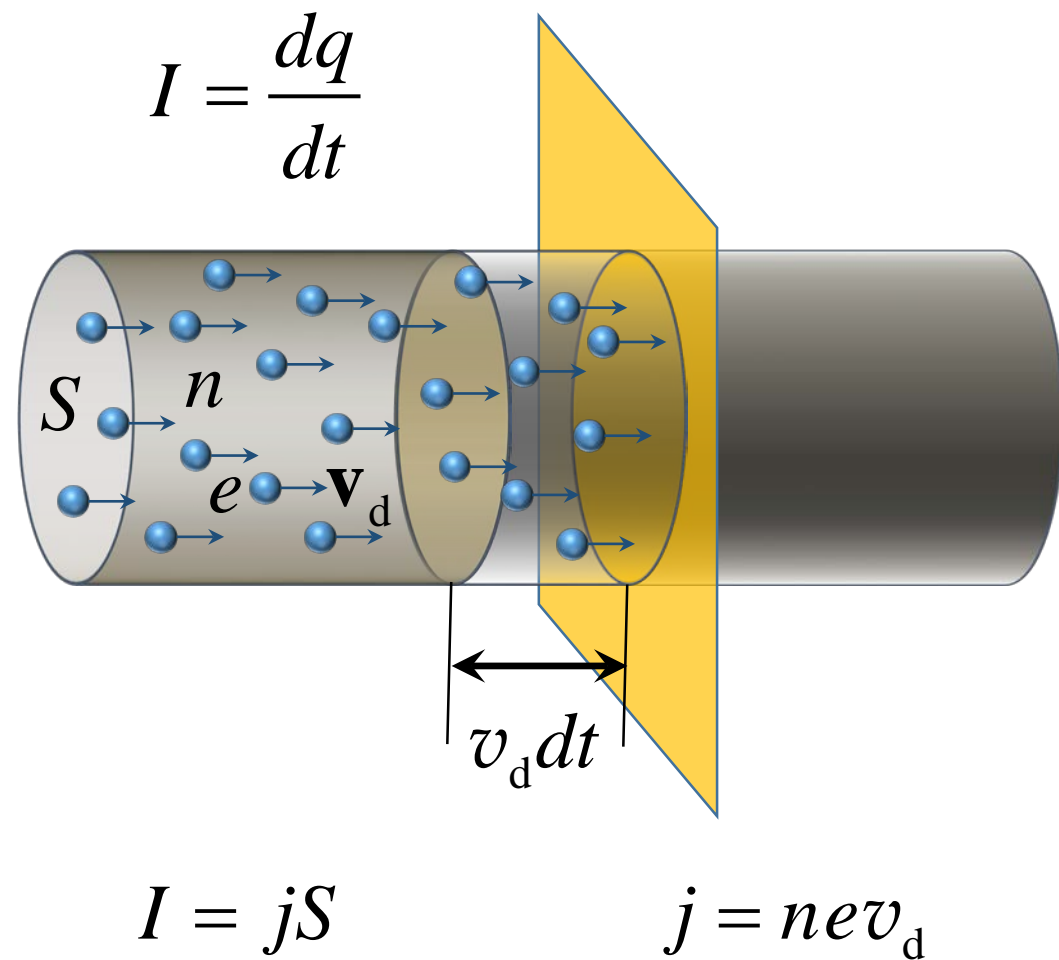
подвижность

$$\mu = \frac{e \tau}{m}$$

время свободного пробега



Плотность тока



Электропроводность

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$$

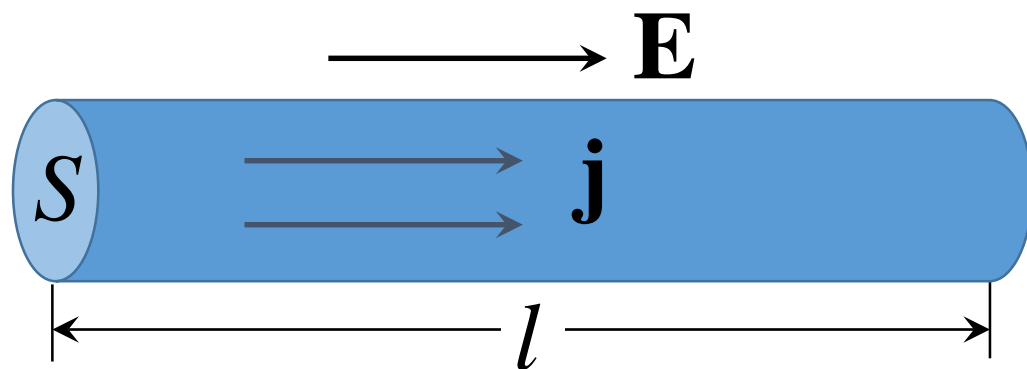
$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$



Пауль Друде
(1863 – 1906)

Закон Ома

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \quad \text{дифференциальный}$$



$$I = \frac{U}{R} \quad \text{интегральный}$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \begin{array}{l} \text{удельное} \\ \text{сопротивление} \end{array} \quad \rho = \frac{1}{\sigma}$$



Георґ Сїмон Ом
(1789 — 1854)

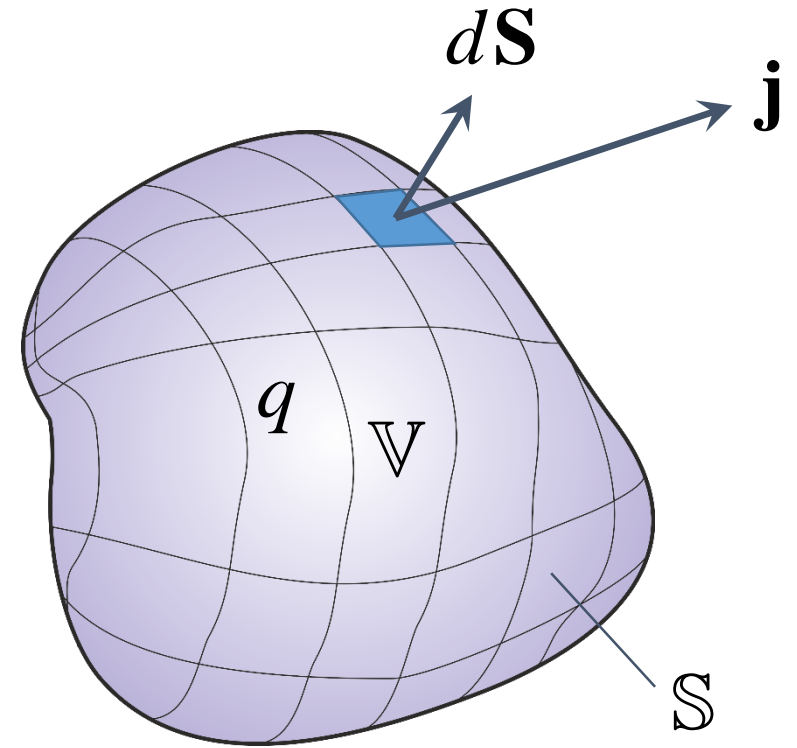
Уравнение непрерывности

$$\frac{dq}{dt} = -I \quad \text{закон сохранения заряда}$$

$$I = \oint_S \mathbf{j} d\mathbf{S} = \iiint_V \operatorname{div} \mathbf{j} dV$$

$$\iiint_V \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} \right) dV = 0$$

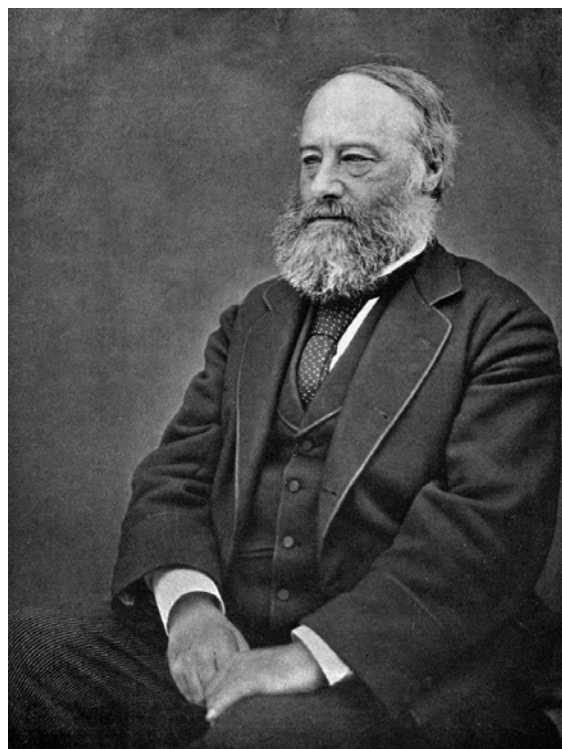
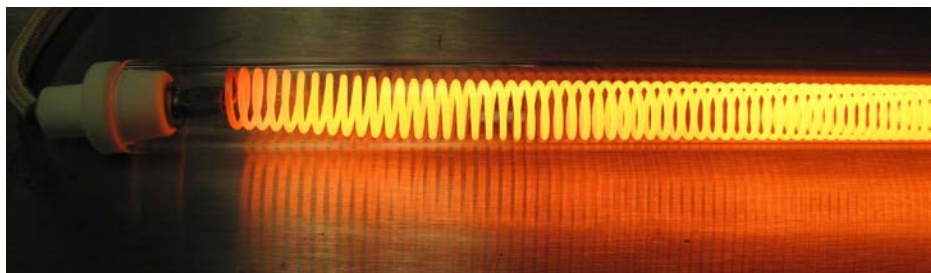
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} = 0$$



Закон Джоуля — Ленца

$$\dot{Q} = \iiint \mathbf{j} \mathbf{E} dV$$

$$\dot{Q} = UI$$



Джеймс Прэскотт
Джо́уль
(1818 — 1889)



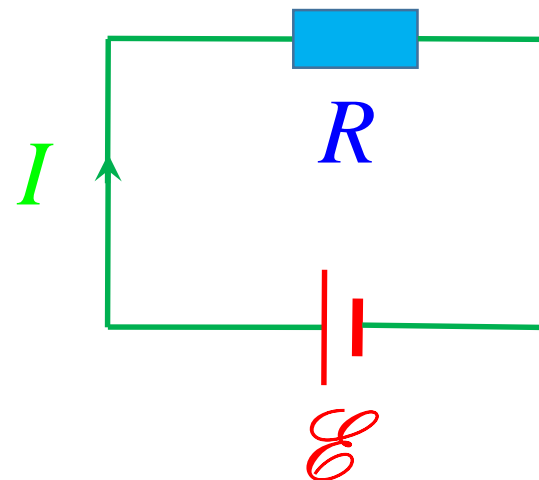
Эмилий Христианович
Ленц
(1804 — 1865)

ЭДС

$$\mathbf{E}_{\text{стор}} = \frac{\mathbf{F}_{\text{стор}}}{e}$$

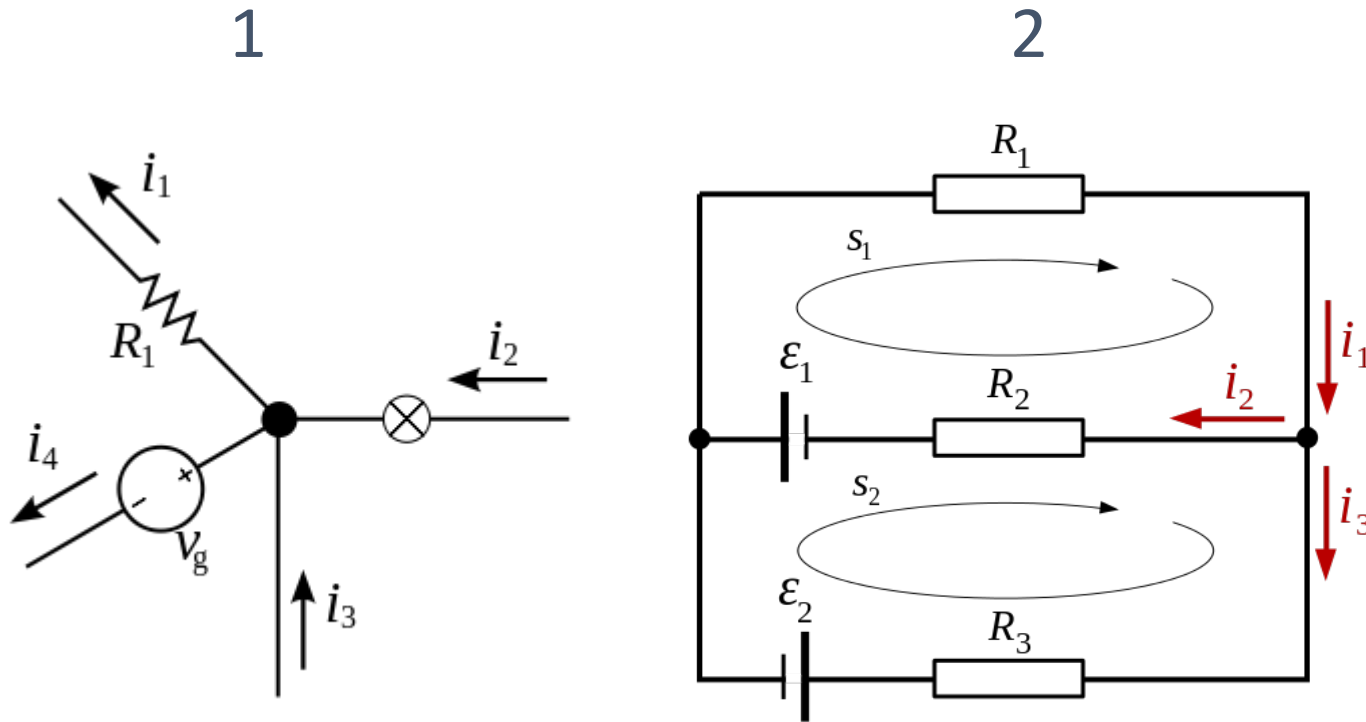
$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{E}_{\text{стор}})$$

$$\mathcal{E} = \oint \mathbf{E}_{\text{стор}} dl$$



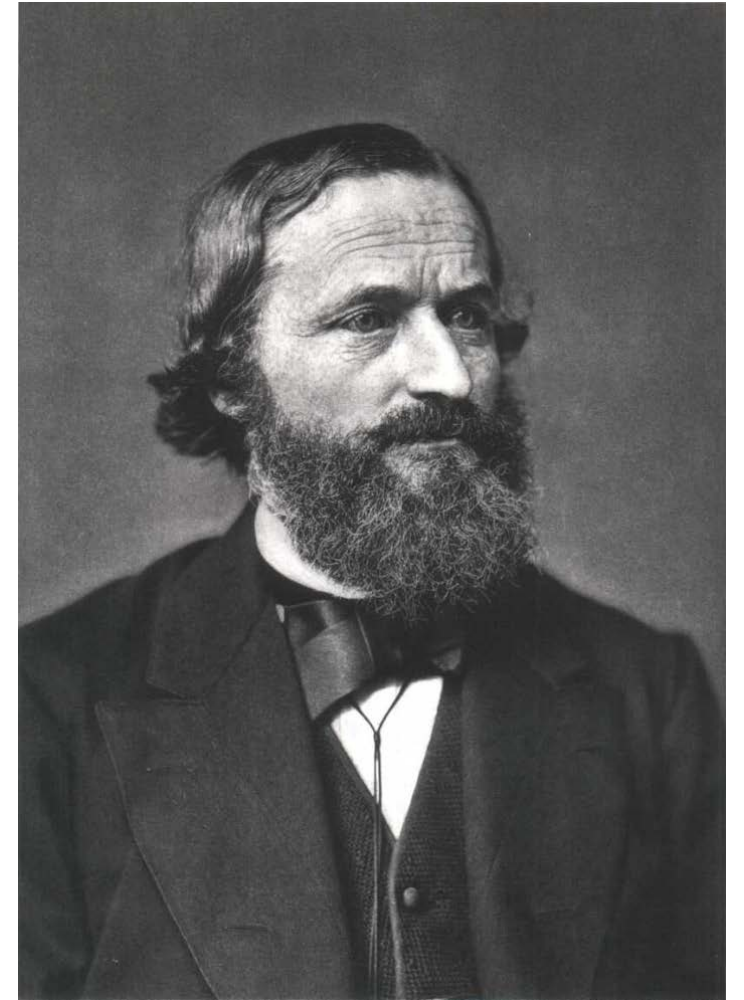
$$\mathcal{E} = U = IR$$

Правила Кирхгофа



$$\sum_k I_k = 0$$

$$\sum_k \mathcal{E}_k = \sum_k U_k = \sum_k I_k R_k$$



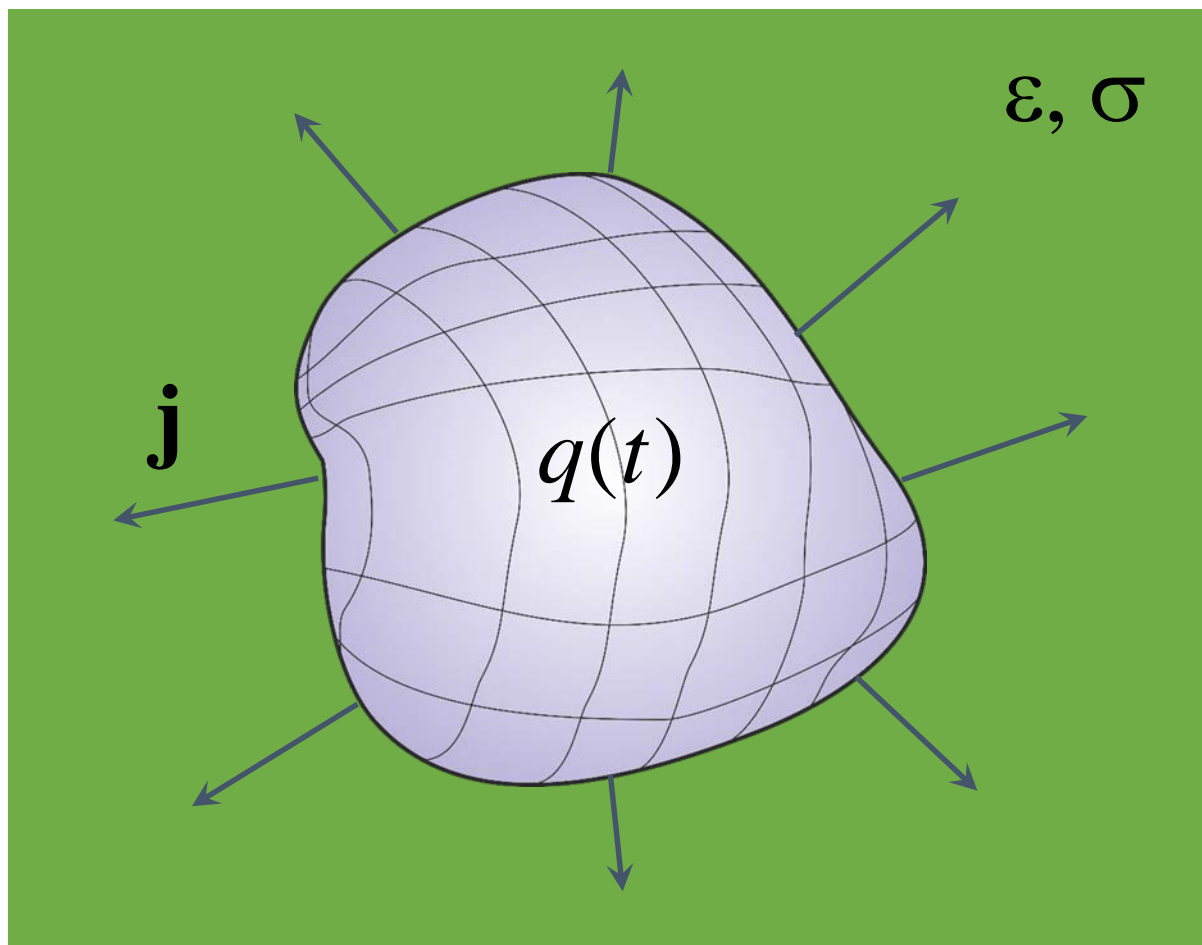
Густав Роберт Кирхгоф
(1824 — 1887)

Граничные условия при стационарных токах

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = 0 \quad \Rightarrow \quad j_n \Big| - \text{непр.}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = 0 \Rightarrow \operatorname{rot} \frac{\mathbf{j}}{\sigma} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{j_\tau}{\sigma} \Big| - \text{непр.}$$

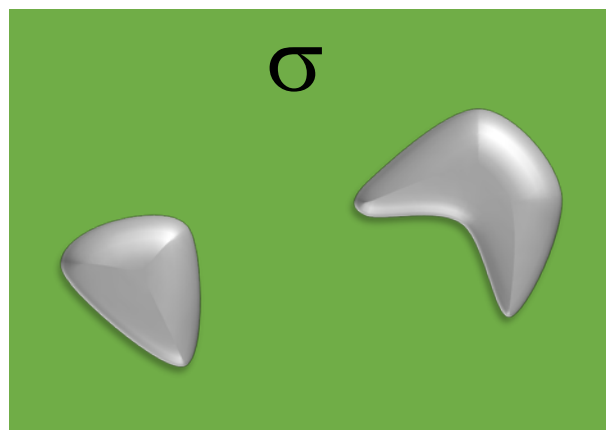
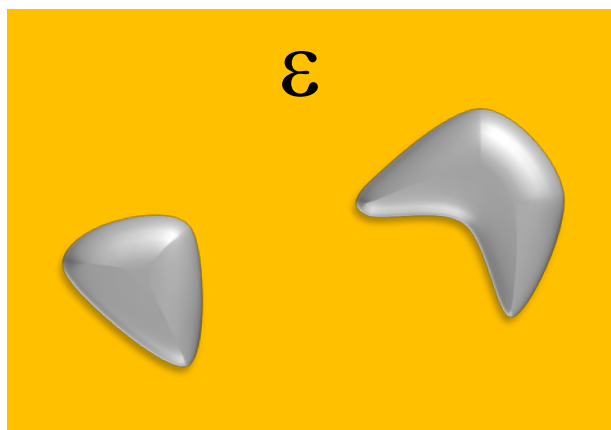
Максвелловская релаксация



$$q(t) = q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{\epsilon}{4\pi\sigma}$$

Аналогия: электростатика — ток



$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = 0$$

$$\oiint \mathbf{D} d\mathbf{S} = 4\pi q$$

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi$$

$$\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = 0$$

$$\oiint \mathbf{j} d\mathbf{S} = I$$

$$\varphi \longleftrightarrow \varphi$$

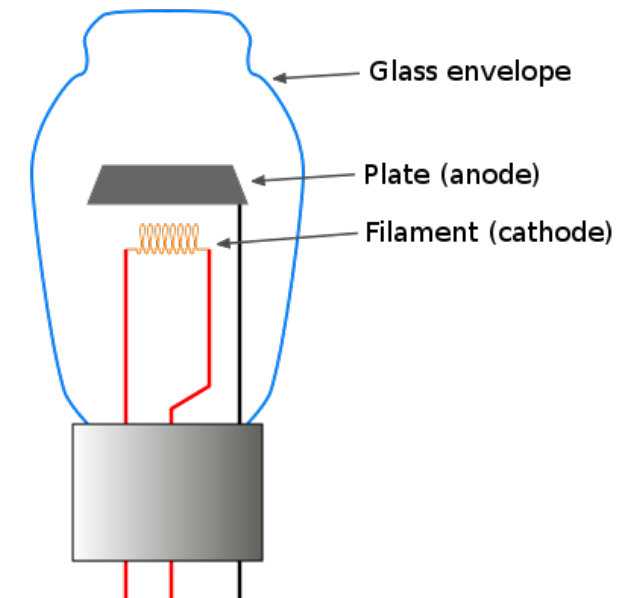
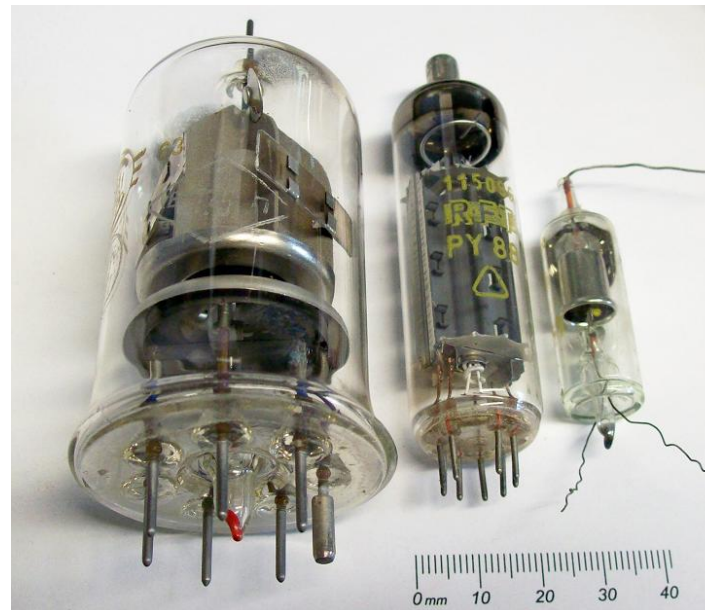
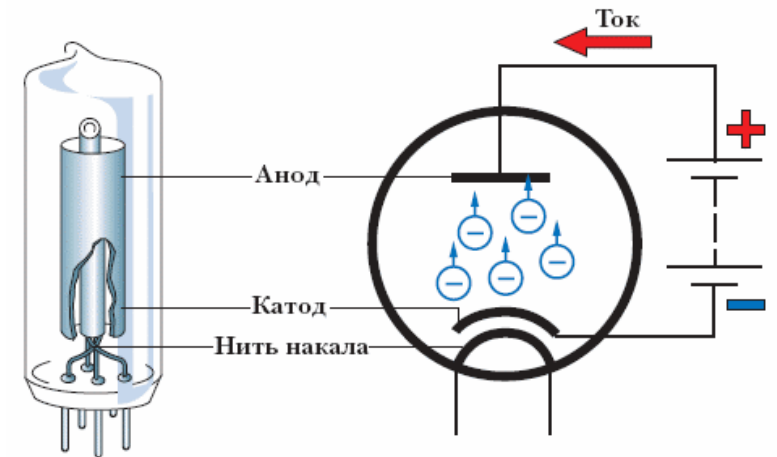
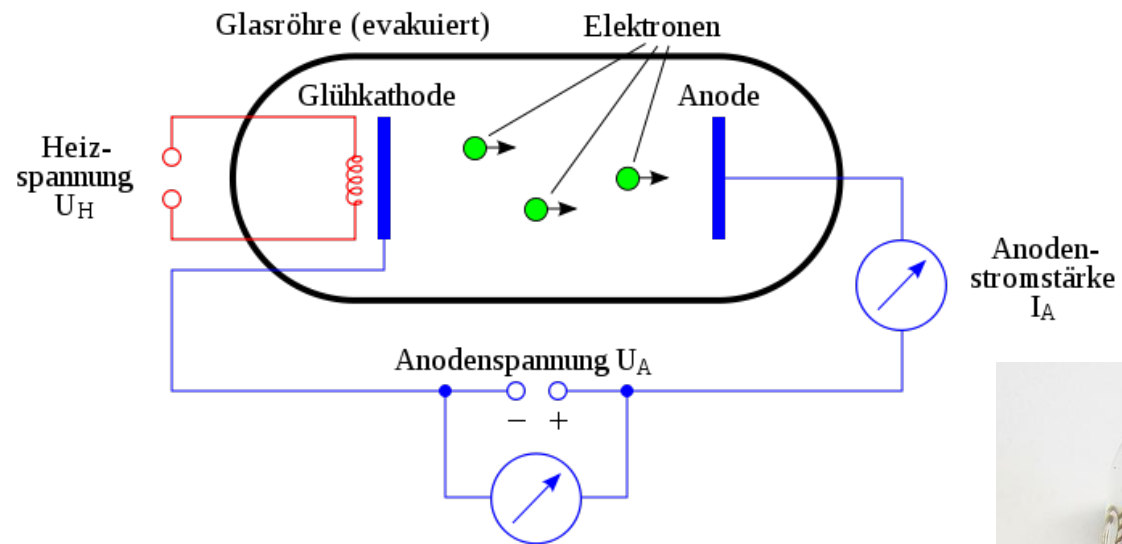
$$\mathbf{D} \longleftrightarrow \mathbf{j}$$

$$\varepsilon \longleftrightarrow \sigma$$

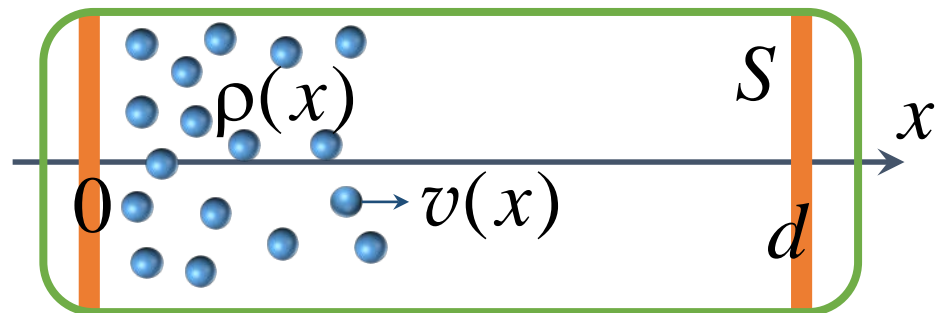
$$U \longleftrightarrow U$$

$$\frac{4\pi C}{\varepsilon} \longleftrightarrow \frac{1}{\sigma R}$$

Вакуумный диод



Закон 3/2

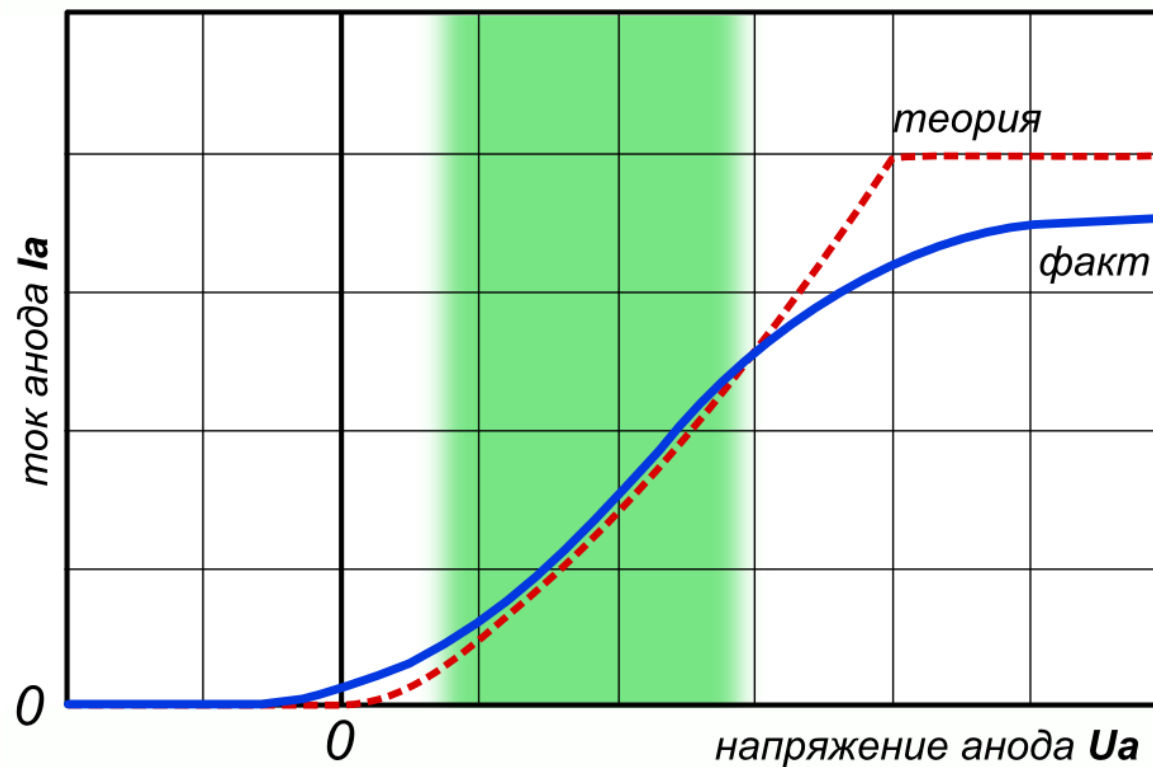


$$\Delta\varphi = -4\pi\rho$$

$$\varphi|_{x=0} = 0 \quad \varphi|_{x=d} = U$$

$$\varphi'|_{x=0} = 0$$

область отсечки область малых напряжений **область действия закона** область перехода в насыщение область насыщения



$$I = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{S}{d^2} U^{3/2}$$