

Основные константы

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Ф м}^{-1},$$
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Н м}^{-1},$$
$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \approx 3.00 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}.$$

Электростатика

Закон Кулона:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}.$$

Напряжённость:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i.$$

Суперпозиция:

$$\vec{E} = \sum_k \vec{E}_k.$$

Дипольный момент:

$$\vec{p} = q \vec{d}.$$

Поле диполя ($r \gg d$):

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3} [3(\vec{p} \cdot \hat{r}) \hat{r} - \vec{p}].$$

Момент сил:

$$\vec{N} = \vec{p} \times \vec{E}.$$

Теорема Гаусса:

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{enc}}}{\varepsilon_0}.$$

(дифф. форма):

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\varepsilon_0.$$

Потенциал:

$$\phi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}.$$

(связь с полем):

$$\vec{E} = -\nabla\phi.$$

Пуассон/Лаплас:

$$\boxed{\nabla^2 \phi = -\rho/\varepsilon_0}, \quad (\rho = 0) \Rightarrow \nabla^2 \phi = 0.$$

Конденсаторы и энергия

$$C_{\text{пл}} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d},$$
$$C_{\text{сфер}} = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1},$$
$$C_{\text{цил}} = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(R_2/R_1)}.$$

Энергия:

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} C V^2, \quad u_E = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}.$$

$$C_{\text{посл}}^{-1} = \sum C_i^{-1}, \quad C_{\text{пар}} = \sum C_i.$$

Проводники и ток

Закон Ома:

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

Уравн. непр-ти:

$$\nabla \cdot \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

Сопротивление:

$$R = \rho_\Omega \frac{l}{S}.$$

Закон Джоуля-Ленца:

$$P = I^2 R, \quad p = \vec{j} \cdot \vec{E}.$$

Магнетизм (статический)

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}).$$

Био–Савар:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$

Прямой провод:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Кольцо (в центре):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Теорема Гаусса:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \text{ или } \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$$

Закон Ампера:

$$\boxed{\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}}.$$

Магн. момент:

$$\vec{m} = I \vec{S}, \quad \vec{N} = \vec{m} \times \vec{B}.$$

Энергия диполя:

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B}.$$

Индукция и волны

Закон Фарадея:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Индуктивность:

$$\Phi_B = LI, \quad \mathcal{E} = -L \dot{I}, \quad U = \tfrac{1}{2} LI^2.$$

Ток смещения:

$$I_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}.$$

Уравнения Максвелла

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\varepsilon_0, \qquad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \qquad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Электромагнитные волны (в вакууме)

Волновое уравн.:

$$\boxed{\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0} \quad (\text{и для } \vec{B}).$$

$$\vec{k} \perp \vec{E} \perp \vec{B}, \quad |\vec{E}| = c|\vec{B}|, \quad \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}.$$

Колебательный контур

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}(t).$$
$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}, \quad \gamma = R/(2L), \quad Q = \omega_0/(2\gamma).$$

Импеданс:

$$Z(\omega) = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}.$$

Мощность:

$$P_{\text{avg}} = I_{\text{rms}} V_{\text{rms}} \cos \varphi, \quad \cos \varphi = R/Z.$$

Длинные линии

$$\frac{\partial V}{\partial x} = -L \frac{\partial I}{\partial t} - RI, \quad \frac{\partial I}{\partial x} = -C \frac{\partial V}{\partial t} - GV.$$
$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}, \quad \Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}.$$
$$v \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{линия без потерь}).$$