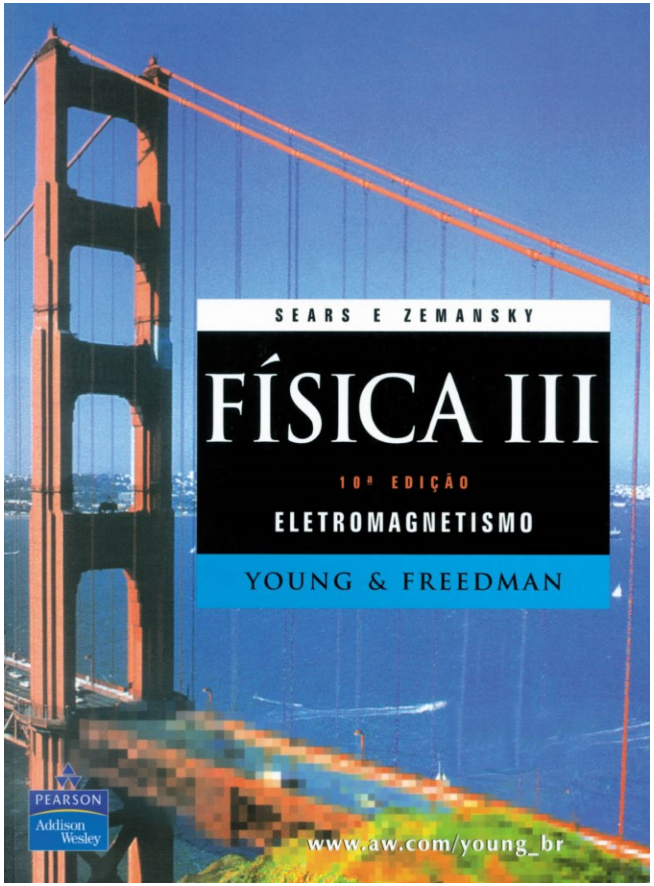
FÍSICA III
Eletromagnetismo
Fórmulas



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$ (lei de Coulomb: força entre cargas puntiformes). (22.2)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$ (definição de campo elétrico como força elétrica por unidade de carga). (22.3)

$$\vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$$ (força que atua sobre uma carga puntiforme q_0 provocada pelo campo elétrico $\vec{E}$). (22.4)

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q|}{r^2} \quad \text{(módulo do campo elétrico de uma carga puntiforme).} \qquad (22.6)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r} \quad \text{(vetor campo elétrico de uma carga puntiforme).} \qquad (22.7)$$

$$p = qd \quad \text{(módulo do momento de dipolo elétrico).} \qquad (22.14)$$

$$\tau = pE\,\mathrm{sen}\phi \quad \text{(módulo do torque sobre um dipolo elétrico).} \qquad (22.15)$$

$$\vec{\boldsymbol{\tau}} = \vec{\boldsymbol{p}} \times \vec{\boldsymbol{E}} \quad \text{(vetor torque sobre um dipolo elétrico).} \qquad (22.16)$$

$$U = -\vec{\boldsymbol{p}} \cdot \vec{\boldsymbol{E}} \quad \text{(energia potencial de um dipolo elétrico em um campo elétrico).} \qquad (22.18)$$

$$\Phi_E = \int E \cos\phi \, dA = \int E_{\perp} dA = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad \text{(definição geral de fluxo elétrico).} \tag{23.5}$$

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{inte}}}{\epsilon_0} \quad \text{(lei de Gauss).} \tag{23.8}$$

$$\Phi_E = \oint E \cos\phi \, dA = \oint E_{\perp} dA = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{inte}}}{\epsilon_0} \quad \text{(diversas formas da lei de Gauss).} \tag{23.9}$$

$$W_{a\to b} = U_a - U_b = -(U_b - U_a) = -\Delta U$$ (trabalho realizado por uma força conservativa). (24.2)

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r}$$ (energia potencial elétrica de duas cargas puntiformes q e q_0). (24.9)

$$U = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \cdots\right) = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$ (carga puntiforme q_0 e um conjunto de cargas q_i). (24.10)

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \quad \text{(potencial de uma carga puntiforme),} \tag{24.14}$$

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i} \quad \text{(potencial de um conjunto de cargas puntiformes).} \tag{24.15}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{dq}{r} \quad \text{(potencial de uma distribuição contínua de cargas),} \tag{24.16}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_a^b E \cos\phi \; dl$$ (diferença de potencial com uma integral de $\vec{E}$). (24.17)

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \qquad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \qquad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$ (componentes de $\vec{E}$ em termos de V). (24.19)

$$\vec{E} = -\left(\hat{\imath}\frac{\partial V}{\partial x} + \hat{\jmath}\frac{\partial V}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial V}{\partial z}\right)$$ ($\vec{E}$ em termos de V). (24.20)

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \quad \text{(definição de capacitância).} \tag{25.1}$$

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \text{(capacitância de um capacitor com placas paralelas no vácuo).} \tag{25.2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots \quad \text{(capacitores em série).} \tag{25.5}$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad \text{(capacitores em paralelo).} \tag{25.7}$$

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV \qquad \text{(energia potencial acumulada em um capacitor).} \tag{25.9}$$

$$u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \qquad \text{(densidade de energia elétrica no vácuo)} \tag{25.11}$$

$$\epsilon = K\epsilon_0 \quad \text{(definição de permissividade).} \tag{25.16}$$

$$C = KC_0 = K\epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d} \quad \text{(capacitor com placas paralelas, dielétrico entre as placas).} \tag{25.18}$$

$$u = \frac{1}{2} K\epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \quad \text{(densidade de energia elétrica em um dielétrico).} \tag{25.19}$$

$$\oint K\vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{int-liv}}}{\epsilon_0} \quad \text{(lei de Gauss em um dielétrico),} \tag{25.22}$$

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{(definição de corrente).} \qquad (26.1)$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = n|q|v_{\mathrm{d}}A \quad \text{(expressão geral da corrente).} \qquad (26.2)$$

$$\vec{\boldsymbol{J}} = nq\vec{\boldsymbol{v}}_{\mathrm{d}} \quad \text{(vetor densidade de corrente).} \qquad (26.4)$$

$$\rho = \frac{E}{J} \qquad \text{(definição de resistividade).} \tag{26.5}$$

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \qquad \text{(resistividade em função da temperatura),} \tag{26.6}$$

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad \text{(relação entre resistência e resistividade).} \tag{26.10}$$

$$V = IR \quad \text{(relação entre voltagem, corrente e resistência)} \tag{26.11}$$

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir \quad \text{(voltagem nos terminais da fonte com resistência interna).} \tag{26.15}$$

$$\frac{dW}{dt} = P = V_{ab} I \quad \text{(taxa de fornecimento de energia elétrica para um elemento do circuito).} \tag{26.17}$$

$$P = V_{ab} I = I^2 R = \frac{V_{ab}{}^2}{R} \quad \text{(potência fornecida a um resistor).} \tag{26.18}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots \quad \text{(resistores em série).} \tag{27.1}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots \qquad \text{(resistores em paralelo).}$$

$$\Sigma I = 0 \qquad \text{(lei dos nós, válida para qualquer nó).} \tag{27.5}$$

$$\Sigma V = 0 \quad \text{(lei das malhas, válida para qualquer malha).}$$

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{(circuito } R\text{-}C\text{, carregando um capacitor).} \tag{27.12}$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad \text{(circuito } R\text{-}C\text{, carregando um capacitor).} \tag{27.13}$$

$$\tau = RC \quad \text{(constante de tempo de um circuito } R\text{-}C\text{).} \tag{27.14}$$

$$q = Q_0 e^{-t/RC} \quad \text{(circuito } R\text{-}C\text{, descarregando um capacitor).} \tag{27.16}$$

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad \text{(circuito } R\text{-}C\text{, descarregando um capacitor).} \tag{27.17}$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$ (força magnética sobre uma partícula carregada). (28.2)

$$\Phi_B = \int B_\perp \, dA = \int B \cos\phi \, dA = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$ (fluxo magnético através de uma superfície). (28.6)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$ (fluxo magnético através de qualquer superfície fechada). (28.8)

$$R = \frac{mv}{|q|B} \quad \text{(raio da órbita circular em um campo magnético).} \tag{28.11}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad \text{(força magnética sobre um segmento de fio retilíneo).} \tag{28.19}$$

$$d\vec{F} = I\, d\vec{l} \times \vec{B} \quad \text{(força magnética sobre um segmento de fio infinitesimal).} \tag{28.20}$$

$$\tau = IBA\,\text{sen}\,\phi \quad \text{(módulo do torque sobre uma espira).} \tag{28.23}$$

$$\vec{\boldsymbol{\tau}} = \vec{\boldsymbol{\mu}} \times \vec{\boldsymbol{B}} \quad \text{(vetor torque sobre uma espira).} \tag{28.26}$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{\boldsymbol{B}} = -\mu B \cos\phi \quad \text{(energia potencial para um dipolo magnético).} \tag{28.27}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$$ (campo magnético de uma carga puntiforme com velocidade constante). (29.2)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$ (campo magnético de um elemento de corrente), (29.6)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$ (fio retilíneo infinito conduzindo uma corrente). (29.9)

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I I'}{2\pi r} \quad \text{(dois fios paralelos longos conduzindo correntes).} \qquad (29.11)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{inte}} \qquad \text{(lei de Ampère).} \qquad (29.20)$$

$$i_{\text{D}} = \epsilon \frac{d\Phi_E}{dt} \qquad \text{(corrente de deslocamento).} \qquad (29.35)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_{\text{C}} + i_{\text{D}})_{\text{inte}} \qquad \text{(lei de Ampère generalizada).} \qquad (29.36)$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{(lei de Faraday da indução).} \tag{30.3}$$

$$\mathcal{E} = vBL \quad \text{(fem do movimento; comprimento e velocidade perpendicular a } \vec{B} \text{ uniforme),} \tag{30.6}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{(percurso de integração estático).} \tag{30.10}$$

$$\mathcal{E}_2 = -M\frac{di_1}{dt} \quad \text{e} \quad \mathcal{E}_1 = -M\frac{di_2}{dt} \quad \text{(fem mutuamente induzida),} \tag{31.4}$$

$$M = \frac{N_2\Phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1\Phi_{B1}}{i_2} \quad \text{(indutância mútua).} \tag{31.5}$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} \quad \text{(auto-indutância).} \tag{31.6}$$

$$\mathcal{E} = -L\frac{di}{dt} \quad \text{(fem auto-induzida).} \qquad (31.7)$$

$$U = L\int_0^I i\,di = \frac{1}{2}LI^2 \quad \text{(energia armazenada em um indutor).} \qquad (31.9)$$

$$u = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad \text{(densidade de energia magnética no vácuo).} \qquad (31.10)$$

$$u = \frac{B^2}{2\mu} \quad \text{(densidade de energia magnética em um material).} \qquad (31.11)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \text{(constante de tempo de um circuito } R\text{-}L\text{).} \qquad (31.16)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{(freqüência angular da oscilação de um circuito } L\text{-}C\text{).} \qquad (31.22)$$

$$\omega' = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad \text{(circuito } R\text{-}L\text{-}C \text{ subamortecido).} \qquad (31.29)$$

$$I_{\text{r.m.}} = \frac{2}{\pi} I = 0{,}637 I \qquad \text{(corrente retificada média de uma corrente senoidal).} \qquad (32.3)$$

$$I_{\text{q-m}} = \frac{I}{\sqrt{2}} \qquad \text{(valor eficaz de uma corrente senoidal).} \qquad (32.4)$$

$$V_{\text{q-m}} = \frac{V}{\sqrt{2}} \qquad \text{(valor eficaz de uma voltagem senoidal).} \qquad (32.5)$$

$$V_R = IR \qquad \text{(amplitude da voltagem através de um resistor, circuito ac).} \tag{32.7}$$

$$X_L = \omega L \qquad \text{(reatância indutiva).} \tag{32.12}$$

$$V_L = IX_L \qquad \text{(amplitude da voltagem através de um indutor, circuito ac).} \tag{32.13}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{(reatância capacitativa).} \qquad (32.18)$$

$$V_C = IX_C \quad \text{(amplitude da voltagem através de um capacitor, circuito ac).} \qquad (32.19)$$

$$V = IZ \quad \text{(amplitude da voltagem através de um circuito ac).} \qquad (32.22)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$= \sqrt{R^2 + [\omega L - (1/\omega C)]^2} \quad \text{(impedância de um circuito } R\text{-}L\text{-}C \text{ em série).} \qquad (32.23)$$

$$\tan\phi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad \text{(ângulo de fase de um circuito } R\text{-}L\text{-}C \text{ em série).} \qquad (32.24)$$

$$P_{\text{méd}} = \frac{1}{2} VI \cos\phi = V_{\text{q-m}} I_{\text{q-m}} \cos\phi \quad \text{(potência média de um circuito ac geral).} \qquad (32.30)$$

$$X_L = X_C, \qquad \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}, \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$ (circuito *L-R-C* em série durante a ressonância). (32.31)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$ (voltagens nos terminais do primário e do secundário de um transformador), (32.34)

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$ (correntes no primário e no secundário de um transformador). (32.35)

$$E = cB \qquad \text{(onda eletromagnética no vácuo).} \tag{33.4}$$

$$B = \epsilon_0 \mu_0 c E \qquad \text{(onda eletromagnética no vácuo).} \tag{33.8}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \qquad \text{(velocidade de ondas eletromagnéticas no vácuo).} \tag{33.9}$$

$$E(x,t) = E_{\text{máx}} \operatorname{sen}(\omega t - kx), \qquad B(x,t) = B_{\text{máx}} \operatorname{sen}(\omega t - kx)$$

(onda eletromagnética plana senoidal se propagando no sentido $+x$). (33.16)

$$E_{\text{máx}} = cB_{\text{máx}} \qquad \text{(onda eletromagnética no vácuo).} \tag{33.18}$$

$$E(x,t) = -E_{\text{máx}} \operatorname{sen}(\omega t + kx), \qquad B(x,t) = B_{\text{máx}} \operatorname{sen}(\omega t + kx)$$

(onda eletromagnética plana senoidal se propagando no sentido $-x$). (33.19)

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B} \qquad \text{(vetor de Poynting no vácuo).} \tag{33.25}$$

$$I = S_{\text{méd}} = \frac{E_{\text{máx}}B_{\text{máx}}}{2\mu_0} = \frac{E_{\text{máx}}{}^2}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}E_{\text{máx}}{}^2 = \frac{1}{2}\epsilon_0 c E_{\text{máx}}{}^2 \tag{33.26}$$

(intensidade de uma onda senoidal no vácuo).

$$\frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{S}{c} = \frac{EB}{\mu_0 c} \qquad \text{(taxa do fluxo do momento linear).} \tag{33.28}$$

$$p_{\mathrm{rad}} = \frac{S_{\mathrm{méd}}}{c} = \frac{I}{c} \quad \text{(pressão da radiação, onda totalmente absorvida).} \qquad (33.29)$$

$$p_{\mathrm{rad}} = \frac{2S_{\mathrm{méd}}}{c} = \frac{2I}{c} \quad \text{(pressão da radiação, onda totalmente refletida).} \qquad (33.30)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{KK_{\mathrm{m}}}}\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{KK_{\mathrm{m}}}} \qquad (33.32)$$

(velocidade de uma onda eletromagnética em um dielétrico).

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu}\vec{E} \times \vec{B} \quad \text{(vetor de Poynting em um dielétrico),} \tag{33.35}$$

$$I = \frac{E_{\text{máx}} B_{\text{máx}}}{2\mu} = \frac{E_{\text{máx}}{}^2}{2\mu v} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}E_{\text{máx}}{}^2 = \frac{1}{2}\epsilon v E_{\text{máx}}{}^2$$

$$\text{(onda senoidal em um dielétrico).} \tag{33.37}$$