# Elektřina a magnetismus

| | |
|---|---|
| $Q = e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ | **Elementární náboj** |
| $\vec{F}_{12} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon}\dfrac{Q_1 Q_2}{r_{12}^3}\vec{r}_{12}$ , <br> $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$ | **Coulombův zákon pro elektrostatickou sílu** |
| $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}_E}{Q}$ , <br> $\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon}\sum_{i=1}^{n}\dfrac{Q_i}{r_i^3}\vec{r}_i$ <br> $\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon}\iiint_V \dfrac{\rho\,\mathrm{d}V}{r^3}\vec{r}$ | **Intenzita elektrostatického pole** |
| $\rho = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}V}$ | **Objemová hustota náboje** |
| $\sigma = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}S}$ | **Plošná hustota náboje** |
| $\tau = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}l}$ | **Délková hustota náboje** |
| $N = \oiint_S \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{S} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{\varepsilon_o}$ | **Gausova věta elektrostatiky** |
| $\mathrm{div}\,\vec{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_o}$ | **Gausova věta elektrostatiky v diferenciálním tvaru** |
| $A = Q\int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{r}$ | **Práce při přesunu náboje *Q* v elektrostatickém poli** |

| | |
|---|---|
| $W_P = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{i=1}^{n}\frac{Q_i}{r_i}$ ,<br><br>$W_P = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o}\iiint_V \frac{\rho\,\mathrm{d}V}{r}$ | **Výsledná potenciální energie částice nesoucí náboj *Q* v poli vytvořeném náboji *Qi*** |
| $\varphi = \frac{W_P}{Q}$ ,<br><br>$\varphi = \sum_i \varphi_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_i \frac{Q_i}{r_i}$ ,<br><br>$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\iiint_V \frac{\rho\,\mathrm{d}V}{r}$ ,<br><br>$\vec{E} = -\mathrm{grad}\,\varphi$ , $\varphi = -\int_{\infty}^{R}\vec{E}\,\mathrm{d}\vec{r}$ ,<br><br>$\mathrm{rot}\,\vec{E} = \vec{0}$ | **Potenciál elektrostatického pole** |
| $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{r}$ | **Elektrické napětí** |
| $\mathrm{div}(-\,\mathrm{grad}\,\varphi) = -\Delta\varphi = \frac{\rho}{\varepsilon_o}$ | **Poissonova rovnice pro elektrostatické pole** |
| $\rho = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta\varphi = 0 \quad \Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0$ | **Laplaceova rovnice pro elektrostatické pole** |
| $\vec{p} = Q\vec{l}$ | **Dipólový moment** |
| $\varphi = \frac{Ql\cos\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{r^3}$ ,<br><br>$\vec{E} = -\mathrm{grad}\,\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{3(\vec{p}\cdot\vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3}\right)$ | **Elektrostatické pole dipólu** |

| | |
|---|---|
| $\vec{M} = \vec{l} \times Q\vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}$ , <br> $\vec{F}_p = (\vec{p} \cdot \nabla)\vec{E}$ | **Moment síly a síla působící na elektrický dipól v elektrostatickém poli** |
| $C = \dfrac{Q}{\varphi}$ | **Kapacita vodiče** |
| $C = \dfrac{Q}{U} > 0$ | **Kapacita kondenzátoru** |
| $C = \varepsilon \dfrac{S}{d}$ | **Kapacita deskového kondenzátoru** |
| $\dfrac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \dfrac{1}{C_i}$ | **Kapacita sériového zapojení kondenzátorů** |
| $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$ | **Kapacita paralelního zapojení kondenzátorů** |
| $\vec{P} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}V}$ | **Vektor polarizace** |
| $\rho_v = -\mathrm{div}\,\vec{P}$ | **Vázaný náboj v dielektriku** |
| $\vec{D} = \varepsilon_o \vec{E} + \vec{P}$ | **Vektor elektrické indukce** |
| $\mathrm{div}\left(\varepsilon_o \vec{E} + \vec{P}\right) = \mathrm{div}\,\vec{D} = \rho$ | **3.Maxwellova rovnice (Gaussova věta elektrostatiky v diferenciálním tvaru)** |
| $\oint_S \vec{D}\mathrm{d}\vec{S} = \sum Q_i = \iiint_V \rho \mathrm{d}V$ | **Gaussova věta elektrostatiky v integrálním tvaru** |
| $\vec{D} = \varepsilon_o\left(1+\kappa\right)\vec{E} = \varepsilon_o \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon \vec{E}$ | **Závislost elektrické indukce a intenzity v lineárním izotropním prostředí** |

| | |
|---|---|
| $W=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}Q_i\varphi_i=\frac{1}{8\pi\varepsilon}\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{k=1\\ i\neq k}}^{n}\frac{Q_iQ_k}{r_{ik}}$ , <br><br> $W=\frac{1}{2}\iiint_V\rho\varphi\,\mathrm{d}V+\frac{1}{2}\iint_S\sigma\varphi\,\mathrm{d}S$ | **Energie elektrostatického pole** |
| $W=\frac{1}{2}CU^2=\frac{Q^2}{2C}=\frac{Q^2d}{2\varepsilon S}$ | **Energie nabitého deskového kondenzátoru** |
| $I=\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$ | **Elektrický proud** |
| $\vec{j}=\rho\vec{v}_d$ , $\quad \mathrm{d}I=\vec{j}\,\mathrm{d}\vec{S}$ | **Vektor proudové hustoty** |
| $\frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}t}+\mathrm{div}\,\vec{j}=0$ | **Rovnice kontinuity el.proudu (zákon zachování náboje)** |
| $\frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}t}=0 \quad\Rightarrow\quad \oint\!\!\oint_S\vec{j}\,\mathrm{d}\vec{S}=\sum_{k=1}^{n}I_k=0$ | **1.Kirchhoffův zákon (pro uzly)** |
| $\sum_{i=1}^{n}R_iI_i=\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i$ | **2.Kirchhoffův zákon (pro uzavřené obvody)** |
| $\vec{j}=\gamma\vec{E}$ | **Ohmův zákon v diferenciálním tvaru** |
| $I=\mathrm{konst.}\ \Rightarrow U=R\cdot I$ | **Ohmův zákon pro homogenní vodič** |
| $R=\int_0^l\frac{\mathrm{d}r}{\gamma S}$ , <br><br> $\gamma=\mathrm{konst.}\ S=\mathrm{konst.}$ <br><br> $R=\frac{l}{\gamma.S}=\rho\frac{l}{S}$ | **Elektrický odpor** |

| | |
|---|---|
| $R = \sum_{i=1}^{n} R_i$ | **Sériové zapojení odporů** |
| $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$ | **Paralelní zapojení odporů** |
| $R \approx R_0(1+\alpha\Delta t)$ | **Teplotní závislost elektrického odporu** |
| $m = AQ = AIt$ | **1.Faradayův zákon elektrolýzy** |
| $A = \frac{M_m}{\nu F}$ , <br> $F = 9{,}6485 \cdot 10^4 \mathrm{C/mol}$ | **2.Faradayův zákon elektrolýzy** |
| $P = I.U = I^2.R = \frac{U^2}{R}$ | **Výkon elektrického proudu** |
| $W_Q = UIt = RI^2t$ | **Teplo vyvinuté při průchodu elektrického proudu *I* vodičem s odporem *R* za dobu *t* (Jouleovo teplo)** |
| $\vec{j}_p = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ | **Proudová hustota posuvného proudu** |
| $Q = Q_0 e^{-t/RC}$ , <br> $I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -\left(\frac{Q_0}{RC}\right) e^{-t/RC}$ | **Vybíjení kondenzátoru přes odpor** |
| $\vec{F} = Q(\vec{v} \times \vec{B})$ | **Lorenzova síla působící na pohybující se náboj v magnetickém poli** |
| $\vec{F} = \int_L I(\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B})$ | **Síla, kterou působí magnetické pole na proudovodič** |

| | |
|---|---|
| $\vec{B}(\vec{r})=\frac{\mu_o}{4\pi}\int_L \frac{I(\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r})}{r^3}=\frac{\mu_o}{4\pi}\int_L \frac{I(\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{r}_o)}{r^2}$, <br> $\mu_o=\frac{1}{\varepsilon_0 c^2}=4\pi\cdot 10^{-7}\,\mathrm{Hm}^{-1}$, <br> $\vec{B}=\sum \vec{B}_i$ , <br> $\vec{B}(\vec{r})=\frac{\mu_o}{4\pi}\int_V \frac{(\vec{j}\times\vec{r})}{r^3}=\frac{\mu_o}{4\pi}\int_V \frac{(\vec{j}\times\vec{r}_o)}{r^2}$ | **Biot-Savartův zákon pro výpočet indukce magnetického pole vodiče protékaného proudem** |
| $B=\frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ | **Indukce magnetického pole dlouhého přímého liniového vodiče** |
| $B \doteq \mu_0 \frac{IN}{L}$ | **Indukce magnetického pole na ose uvnitř dlouhé cívky** |
| $\mathrm{d}\Phi\cdot\oint \frac{\mathrm{d}l}{\mu \mathrm{d}S}=\mathrm{d}\Phi\cdot R_m=NI$ | **Hopkinsonův zákon pro magnetický obvod** |
| $\Phi=\iint_S \vec{B}\,\mathrm{d}\vec{S}$ | **Magnetický indukční tok** |
| $\mathrm{div}\vec{B}=0$ | **4.Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru (Gaussova věta magnetismu)** |
| $\oiint_S \vec{B}\,\mathrm{d}\vec{S}=0$ | **4.Maxwellova rovnice v integrálním tvaru (Gaussova věta magnetismu)** |
| $\oint_C \vec{B}\,\mathrm{d}\vec{l}=\mu_o\sum I_k$ | **Zákon celkového proudu** |
| $\mathrm{rot}\,\vec{B}=\mu_o\,\vec{j}_{celk}$ | **Rotace magnetického pole** |
| $\vec{m}=I.\vec{S}$ | **Magnetický dipólový moment smyčky** |

| | |
|---|---|
| $\vec{M}_{mech} = I\vec{S} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}$ | **Mechanický moment působící na smyčku protékanou proudem v magnetickém poli** |
| $\vec{M} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{m}}{\mathrm{d}V}$ | **Vektor magnetizace** |
| $\vec{H} = \dfrac{1}{\mu_o}\vec{B} - \vec{M}$ | **Vektor intenzity magnetického pole** |
| $\oint_C \vec{H}\,\mathrm{d}\vec{l} = I\,, \qquad \oint_C \vec{H}\,\mathrm{d}\vec{l} = \iint_S \left(\vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)\mathrm{d}\vec{S}$ | **1.Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu) v integrálním tvaru** |
| $\mathrm{rot}\,\vec{H} = \vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ | **1.Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu) v diferenciálním tvaru** |
| $\vec{B} = \mu_o\left(\vec{H} + \vec{M}\right) = \mu_o(1+\chi_m)\vec{H} = \mu_o\mu_r\vec{H} = \mu\vec{H}$ | **Vztah magnetické indukce a intenzity** |
| $\mu = \mu_o(1+\chi_m) = \mu_o\mu_r$ | **Relativní permeabilita** |
| $U_{in} = \oint_C \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{l} = \oint_C \left(\vec{v} \times \vec{B}\right)\mathrm{d}\vec{l}$ <br> $\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -\oint_C \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{l} = U_{in}$ | **Indukované napětí při pohybu uzavřeného vodiče v magnetickém poli (Faradayův indukční zákon)** |
| $\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ | **2. Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru (zákon elektromagnetické indukce)** |
| $\oint_C \vec{E}\mathrm{d}\vec{l} = -\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\iint_S \vec{B}\,\mathrm{d}\vec{S}$ | **2. Maxwellova rovnice v integrálním tvaru (zákon elektromagnetické indukce)** |

| | |
|---|---|
| $\Phi = I \cdot L$<br><br>$L = \frac{\mu}{4\pi} \iint_S \oint_C \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} d\vec{S}$ | **Vlastní indukčnost vodiče** |
| $L = \text{konst.} \;\Rightarrow\; U_{in} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$ | **Napětí indukované časově proměnným proudem** |
| $\Phi_{21} = L_{21} I_1,\; L_{12} = -L_{21},\; U_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21}\frac{dI_1}{dt}$ | **Vzájemná indukčnost** |
| $W_m = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} L_{ik} I_i I_k = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} I_k \Phi_k$ | **Celková energie *n* magnetických obvodů** |
| $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ ,<br><br>$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ | **Harmonický střídavý proud** |
| $L\frac{d^2 I}{dt^2} + R\frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$ | **Diferenciální rovnice pro sériový RLC obvod** |
| $X_C = 1/\omega C$ | **Kapacitní odpor** |
| $X_L = \omega L$ | **Induktivní odpor** |
| $X = X_L - X_C$ | **Reaktance** |
| $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ ,<br><br>$\mathrm{tg}\,\varphi = X / R$ | **Impedance a fázový posun mezi napětím a proudem** |
| $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ | **Rezonanční frekvence RLC obvodu** |

| | |
|---|---|
| $P = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)\,\mathrm{d}t = \frac{1}{2}\varepsilon_m I_m \cos\varphi$ | **Střední hodnota výkonu střídavého elektrického proudu** |
| $\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}, \quad I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ | **Efektivní hodnoty napětí a proudu** |
| $P = I_e \varepsilon_e \cos\varphi$ | **Činný výkon** |
| $P_j = I_e \varepsilon_e \sin\varphi$ | **Jalový výkon** |
| $P_Z = I_e \varepsilon_e$ | **Zdánlivý výkon** |
| $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$ | **Transformační poměr (transformátor)** |
| $\vec{F} = Q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$ | **Lorenzova síla působící na pohybující se náboj *Q* v elektromagnetickém poli** |
| $\vec{N} = \vec{E} \times \vec{H}$ | **Poyintingův vektor** |
| $w = \frac{1}{2}\left(\vec{H}\vec{B} + \vec{E}\vec{D}\right)$ | **Hustota energie elektromagnetického pole** |
| $\int_V \vec{j}\vec{E}^* \mathrm{d}V = \frac{\partial}{\partial t}\int_V w\,\mathrm{d}V + \int_V \vec{j}\vec{E}\,\mathrm{d}V + \oint_S \vec{N}\,\mathrm{d}\vec{S}$ | **Zákon zachování energie v elmag. poli** |
| $\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$ | **Vlnová rovnice pro šíření elmag. vln v homogenním izotropním prostředí bez nábojů a proudů** |
| $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \varepsilon_r \mu_o \mu_r}}$ | **Rychlost šíření elmag.vln v prostředí** |

| | |
|---|---|
| $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}} = 2{,}99792456 \cdot 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ | **Rychlost šíření elmag.vln ve vakuu** |
| $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0(\vec{r}) e^{-i\omega t}$ | **Harmonická elektromagnetická vlna** |
| $\nabla^2 \vec{E}_o(\vec{r}) + k^2 \vec{E}_o(\vec{r}) = 0$ | **Helmholzova rovnice pro amplitudu** |
| $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 \exp\left[ik(\vec{n}\vec{r} - vt)\right] = \vec{E}_0 \exp\left[i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)\right]$ <br> $\vec{E} = -\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}(\vec{n} \times \vec{H}), \; \vec{H} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}(\vec{n} \times \vec{E})$ | **Rovinná harmonická elmag. vlna** |
| $I = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \left\| \vec{E}_o \right\|^2$ | **Intenzita rovinné harmonické elmag. vlny** |
| $V(r,t) = C_1 \frac{\exp(ikr - i\omega t)}{r} + C_2 \frac{\exp(-ikr - i\omega t)}{r}$ | **Sférická harmonická elmag. vlna** |
| $I = C \frac{A^2}{r^2}$ | **Intenzita divergentní sférické harmonické elmag. vlny** |
| $\vec{D} = \hat{\varepsilon}\vec{E}$ , <br> $\vec{B} = \hat{\mu}\vec{H}$ , <br> $\hat{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}, \; \hat{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} \\ \mu_{31} & \mu_{32} & \mu_{33} \end{pmatrix},$ <br> $\vec{s} = \frac{\vec{N}}{w} = \frac{\vec{E} \times \vec{H}}{\frac{1}{2}\left(\vec{H}\vec{B} + \vec{E}\vec{D}\right)}$ <br> $\vec{s} \times \vec{B} + \hat{\varepsilon}^{-1}\vec{D} = \vec{0}$ , <br> $\vec{s} \times \vec{D} - \hat{\mu}^{-1}\vec{B} = \vec{0}$ | **Rovnice pro šíření elmag.vln v anizotropním prostředí** |