

## Elektrostatyka

Prawo Coulomba	$F =  q_1 q_2  / (4\pi\epsilon_r \epsilon_0 r^2) =  q_1 q_2  / (4\pi\epsilon r^2)$
Natężenie pola	$\vec{E} = \vec{F} / q_0$
Wektor indukcji pola elektrycznego	$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon \vec{E}$
Moment siły działającej na dipol $\vec{p} = q\vec{d}$	$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$
Energia potencjalna dipola	$E_p = -\vec{p} \cdot \vec{E}$
Prawo Gaussa	$\epsilon_r \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = Q_{wew}$
Związek pracy z energią potencjalną	$\Delta E_p = E_p^{końcowa} - E_p^{początkowa} = -W$
Energia potencjalna	$E_p(r) = -W_{\infty \rightarrow r}$
Różnica potencjału	$\Delta V = V_{końcowy} - V_{początkowy} = -W/q$
Potencjał w punkcie	$V_p(r) = -W_{\infty \rightarrow r} / q = E_p / q$
Związek energii z potencjałem	$\vec{E} = -\text{grad } V$
Pojemność elektryczna	$C = Q/U$
Pojemność płaskiego kondensatora	$C = \epsilon_r \epsilon_0 S / d = \epsilon S / d$
Energia potencjalna kondensatora płaskiego	$E_p = CU^2 / 2$
Gęstość energii pola elektrostatycznego	$u_E = \vec{D} \cdot \vec{E} / 2 = \epsilon_r \epsilon_0 E^2 / 2$
Pojemność układu kondensatorów połączonych równolegle	$C = \sum C_i$

## Stały prąd elektryczny

Natężenie prądu	$I = dq/dt$
Wektor gęstości prądu	$\vec{j} = ne\vec{v}_d$
Prawo Ohma	$R = U/I$
Różniczkowe prawo Ohma	$\vec{j} = \sigma \vec{E}$
Opór prostoliniowego przewodnika	$R = \rho L / S = L / (\sigma S)$
Zależność oporu właściwego od temperatury	$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$
Moc elektryczna	$P = U \cdot I$

## Stały prąd elektryczny c.d.

Siła elektromotoryczna	$\mathcal{E}_{SEM} = dW/dq$
Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego	$I = \mathcal{E}_{SEM} / (R+r)$
Opór układu oporników połączonych szeregowo	$R = \sum R_i$
Ładowanie kondensatora	$q(t) = C \mathcal{E}_{SEM} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \right]$
Rozładowywanie kondensatora	$q(t) = q_0 \exp\left(\frac{-t}{RC}\right)$

## Magnetostatyka

Siła Lorentza	$\vec{F}_L = Q \cdot \vec{V} \times \vec{B}$
Siła Lorentza	$\vec{F}_L = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$
Prawo Gaussa	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$
Magnetyczny moment dipolowy	$\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$
Moment siły działającej na dipol	$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$
Energia potencjalna dipola magnetycznego	$E_p = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$
Związek pracy z energią potencjalną	$\Delta E_p = E_p^{końcowa} - E_p^{początkowa} = -W$

## Źródła pola magnetycznego

Prawo Biota-Savarta	$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$
Wektor natężenia pola magnetycznego	$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$
Pole magnetycznego prostoliniowego przewodnika	$B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2\pi R}$
Pole magnetycznego przewodnika w kształcie łuku okręgu	$B = \frac{\mu_0 \mu_r I \phi}{4\pi R}$
Prawo Ampere'a	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \mu_r I_p$
Pole solenoidu	$B = n \mu_0 \mu_r I = \mu_0 \mu_r IN / L = \mu IN / L$
Pole toroidu	$B = \mu_0 \mu_r IN / (2\pi r) = \mu IN / (2\pi r)$

## Indukcja elektromagnetyczna, magnetyzm materii

Strumień magnetyczny	$\Phi_{\text{mag.}} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S}$
Prawo Faradaya	$\mathcal{E}_{\text{SEM}} = -d\Phi_{\text{mag.}}/dt = \oint \vec{E} \cdot d\vec{L}$
Indukcyjność cewki	$L = N\Phi_{\text{mag.}} / I$
SEM samoindukcji	$\mathcal{E}_{\text{SEM}} = -L dI/dt$
Indukcyjność wzajemna	$\mathcal{E}_{\text{SEM}}^{(1)} = -M dI_2/dt$ $\mathcal{E}_{\text{SEM}}^{(2)} = -M dI_1/dt$
Szeregowy obwód RL – włączanie prądu	$I(t) = \frac{\mathcal{E}_{\text{SEM}}}{R} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t \cdot R}{L}\right) \right]$
Szeregowy obwód RL – wyłączanie prądu	$I(t) = I_0 \cdot \exp\left(\frac{-t \cdot R}{L}\right)$
Energia pola magnetycznego cewki	$E_{\text{mag.}} = LI^2 / 2$
Gęstość energii pola magnetycznego	$u_{\text{mag.}} = \vec{B} \cdot \vec{H} / 2 = \mu_r \mu_0 H^2 / 2$
Uogólnione prawo Ampera'a-Maxwella	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r d\Phi_{\text{elektr.}}/dt + \mu_0 \mu_r I_p = \mu \epsilon d\Phi_{\text{elektr.}}/dt + \mu I_p$

## Drgania elektromagnetyczne i prąd zmienny

Obwód LC	$q(t) = q_{\text{max}} \cdot \cos\left\{ \left[ t / (\sqrt{LC}) \right] + \varphi \right\}$
Obwód RLC	$q(t) = q_{\text{max}} \cdot \exp\left(\frac{-Rt}{2L}\right) \cos(\Omega t + \varphi);$ $\Omega^2 = (1/LC)^2 - [R/(2L)]^2$
Obwód RLC: wymuszone drgania elektryczne	$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_{\text{wym.}} \cdot t), \mathcal{E}_{\text{sk.}} = \mathcal{E}_{\text{max}} / \sqrt{2},$ $I(t) = I_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_{\text{wym.}} \cdot t - \varphi), \text{tg}\varphi = \frac{R_L - R_C}{R},$ $I_{\text{max}} = \mathcal{E}_{\text{max}} / Z = \mathcal{E}_{\text{max}} / \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2},$ $R_L = \omega_{\text{wym.}} \cdot L, R_C = 1/(\omega_{\text{wym.}} \cdot C), I_{\text{sk.}} = I_{\text{max}} / \sqrt{2},$ $P = I_{\text{sk.}} \mathcal{E}_{\text{sk.}} \cos \varphi.$
Transformatory	$U_w = U_p N_w / N_p; I_w = I_p N_p / N_w$

## Fale elektromagnetyczne

Pole fali	$E(x, t) = E_{\text{max}} \cdot \sin(kx - \omega t),$ $B(x, t) = B_{\text{max}} \cdot \sin(kx - \omega t)$
Prędkość	$c = E_{\text{max}} / B_{\text{max}} = 1 / \sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r} = c_0 / n,$ $c_0 = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}, n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$

## Fale elektromagnetyczne c.d.

Wektor Poyntinga	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = (\vec{E} \times \vec{B}) / (\mu_0 \mu_r)$
Natężenie średnie fali	$I = \langle \vec{S} \rangle = \epsilon_0 \epsilon_r c (E_{\text{max}})^2 / 2$
Natężenie w odległości r od źródła fali	$I(r) = P_{\text{źródła}} / (4\pi r^2)$
Ciśnienie fali – pełna absorpcja	$p = I / c$
Ciśnienie fali – pełne odbicie	$p = 2I / c$
Natężenie światła spolaryzowanego	$I_{\text{spol.}} = I_{\text{niespol.}} / 2$
Prawo Malusa	$I_{\text{spol.}} = I_{\text{spol.}}^{(0)} \cos^2 \Theta$
Prawe załamania	$n_1 \sin \Theta_1 = n_2 \sin \Theta_2$

## Zwierciadła i soczewki. Interferencja. Dyfrakcja

Zwierciadła sferyczne	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$
Cienkie soczewki	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{soczewki}}}{n_{\text{otoczenia}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$
Długość fali w ośrodku	$\lambda = \lambda_0 / n$
Doświadczenie Younga – interferencja konstruktywna	$d \cdot \sin \Theta = m \cdot \lambda; m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$
Interferencja konstruktywna w cienkich warstwach	$2d = (2m + 1) \frac{\lambda}{2n}; m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$
Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie - minima	$a \cdot \sin \Theta = m \cdot \lambda; m = \pm 1, \pm 2, \dots$
Dyfrakcja na okrągłej szczelinie - minima	$\sin \Theta = 1, 22 (\lambda / d)$
Dyfrakcja na siatce dyfrakcyjnej - maksima	$d \cdot \sin \Theta = m \cdot \lambda;$ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$
Dyfrakcja na siatce krystalograficznej – maksima, warunek Bragga	$d \cdot \cos(90^\circ - \Theta) = m \cdot \lambda,$ $m = 1, 2, \dots$
Kryterium Rayleigha	$\Theta_R = 1, 22 (\lambda / D)$

## Szczególna teoria względności

Transformacje Lorentza	$x' = \gamma(x - Vt), \gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2},$ $y' = y, z' = z, t' = \gamma(t - Vx/c^2)$
Dylatacja czasu	$\Delta t \cdot \sqrt{1 - \beta^2} = \Delta t_0, \beta = V/c$
Skrócenie długości	$L_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2} = L$
Transformacja prędkości	$V_x = \frac{V'_x + V}{1 + V'_x V/c^2}$
Relatywistyczny efekt Dopplera – źródło oddala się	$f = f_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$
Pęd relatywistyczny	$\vec{p} = \gamma m_0 \vec{V}$
Całkowita energia relatywistyczna	$E_{\text{rel.}}^{\text{całk.}} = \gamma m_0 c^2$
Relatywistyczna energia i pęd	$(E_{\text{rel.}}^{\text{całk.}})^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2,$ $(pc)^2 = (E_{\text{rel.}}^{\text{kinetyczna}})^2 + 2E_{\text{rel.}}^{\text{kinetyczna}} m_0 c^2$
Relatywistyczna energia kinetyczna	$E_{\text{rel.}}^{\text{kinetyczna}} = (\gamma - 1)m_0 c^2 =$ $= E_{\text{rel.}}^{\text{całk.}} - m_0 c^2$

## Fotony i fale materii

Promień n-tej orbity modelu Bohra atomu wodoru	$r_n = n^2 \left( \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} \right) = n^2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Prędkość elektronu na n-tej orbicie modelu Bohra atomu wodoru	$v_n = \frac{e^2}{2h\epsilon_0 n} = \frac{2,19 \cdot 10^6}{n} \text{ m/s}$
Poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru	$E_n = -\left( \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2 n^2} \right) = -\frac{E_1}{n^2} =$ $= -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}, n = 1, 2, 3, \dots$
Kwant energii (foton) $\hbar$	$E = h\nu$
Prawo Stefana-Boltzmana	$\Phi = \sigma T^4;$ $\sigma \approx 6 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$
Pęd fotonu	$p = E/c = h\nu/c = h/\lambda$

## Fotony i fale materii c.d.

Prawo Wiena	$\lambda_{\text{max.}} \cdot T = \text{const.}$
Równanie Einsteina fotoefektu	$h\nu = E_e^{\text{kin}} + W$
Przesunięcie Comptona	$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\phi)$
Minimalna energii kreacji cząstka-antycząstka	$E_{\text{min}} = 2m_0 c^2$
Hipoteza de Broglie'a	$\lambda = h/p$
Równanie Schrödingera	$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$
Funkcja falowa stanu stacjonarnego	$\Psi(x) = \psi(x) \exp(-iEt/\hbar)$
Zasada nieoznaczoności dla pojedynczego pomiaru	$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar;$ $\Delta p_y \Delta y \geq \hbar;$ $\Delta p_z \Delta z \geq \hbar$
Zasada nieoznaczoności dla serii pomiarów	$\sigma(p_x)\sigma(x) \geq \hbar/4;$ $\sigma(p_y)\sigma(y) \geq \hbar/4;$ $\sigma(p_z)\sigma(z) \geq \hbar/4$
Zasada nieoznaczoności dla pojedynczego pomiaru	$\Delta E \Delta t \geq \hbar$
Zasada nieoznaczoności dla serii pomiarów	$\sigma(E)\sigma(t) \geq \hbar/4$
Tunelowanie kwantowe	$T \approx \exp(-2kL),$ $k = \sqrt{\frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}$
Długości fal materii cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$\lambda_n = 2L/n;$ $n = 1, 2, 3, \dots$
Energia cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$E_n = p_n^2/2m = (h/\lambda_n)^2/2m =$ $= \left( \frac{h^2}{8mL^2} \right) n^2 = E_1 n^2, n = 1, 2, 3, \dots$
Funkcja falowa cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$\psi_n(x) = \sqrt{(2/L)} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$
Poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru	$E_n = -\left( \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2 n^2} \right) = -\frac{E_1}{n^2} =$ $= -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}, n = 1, 2, 3, \dots$

## Atomy wieloelektrodowe

Kwantowanie orbitalnego moment pędu $L_0$ elektronu	$L_{\text{orb}} = \sqrt{l(l+1)}\hbar,$ $l = 0, 1, \dots, n-1$
Kwantowanie przestrzenne orbitalnego moment pędu $L$ elektronu -nu - rzut $L$ na dowolną oś $OZ$	$L_{\text{orb}}^Z = m_Z \hbar,$ $m_Z = -l, -l+1, \dots, l-1, l$
Orbitalny moment magnetyczny elektronu	$\vec{\mu}_{\text{orb.}} = -\frac{e}{2m_e} \cdot \vec{L}_{\text{orb.}}$
Kwantowanie orbitalnego momentu magnetycznego elektronu	$\mu_{\text{orb}}^Z = -\frac{e}{2m_e} \cdot L_{\text{orb}}^Z = -\frac{e\hbar}{2m_e} m_Z = -\mu_B m_Z,$ $m_Z = -l, -l+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, l-1, l$
Spin $S$ elektronu	$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar, s = 1/2$
Kwantowanie spinu $S$ elektronu	$S_Z = m_S \hbar; m_S = \pm 1/2$
Spinowy moment magnetyczny elektronu	$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m_e} \cdot \vec{S}$
Kwantowanie spinowego momentu magnetycznego elektronu	$\mu_s^Z = -\frac{e}{m_e} \cdot S_Z = -2m_S \mu_B$
Granica krótkofalowa promieniowania $X$	$\lambda_{\text{min}} = hc / E_e$
Prawo Moseleya	$f = (2,48 \cdot 10^{15} \text{ Hz})(Z-1)^2$

## Fizyka jądrowa i energia jądrowa

Promień jądra	$r = r_0 A^{1/3}, r_0 = 1,2 \text{ fm}$
Spin $S$ protonu/neutronu	$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar, s = 1/2$
Kwantowanie spinu $S$ protonu/neutronu	$S_Z = m_S \hbar; m_S = \pm 1/2$
Jądrowy magneton	$\mu_j = \frac{e}{2m_{\text{proton}}}$
Kwantowanie momentu magnetycznego protonu	$\mu_p^Z = \pm 2,7928 \mu_j$
Kwantowanie momentu magnetycznego neutronu	$\mu_n^Z = \pm 1,9130 \mu_j$
Prawo rozpadu promieniotwórczego	$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$
Aktywność promieniotwórcza	$R(t) = \lambda N(t)$
Energia wiązania jądra atomowego	$E_B = (Z \cdot M_H + N \cdot M_H - {}^A_Z M) c^2$
Warunek kontrolowanej fuzji izotopów wodoru	$n\tau > 10^{20} \text{ s/m}^3$
Energia wiązania jednego nukleonu	$E_B / A$
Defekt masy reakcji jądrowej	$\Delta M = M_{\text{początkowa}} - M_{\text{końcowa}}$
Energia reakcji jądrowej	$Q = (\Delta M) c^2$

## Rozszerzający się Wszechświat

Prawo Hubble'a	$v = H_0 r; H_0 \approx 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$
----------------	--

Włodzimierz Salejda

Wrocław, 10 VI 2011