

KOMPENDIJ FIZIKE (Fizika 1 i Fizika 2) ZA FER U FORMULAMA

KINEMATIKA SITNOG TIJELA

Gibanje po pravcu

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d^2\vec{s}}{dt^2}, \quad s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt, \quad v = \int_{t_1}^{t_2} a dt$$

Jednoliko gibanje

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t + \vec{s}_0$$

Jednoliko ubrzano gibanje

$$\vec{s} = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{s}_0 \quad v^2 = 2as + v_0^2$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

Gibanje po kružnici

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \alpha = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \quad \vec{a}_r = -\vec{\omega} \times \vec{v} \quad \vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{r}$$

Jednoliko gibanje po kružnici

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

Jednoliko ubrzano gibanje

$$\varphi = \frac{1}{2} \alpha t^2 + \omega_0 t + \varphi_0 \quad \omega^2 = 2\alpha\varphi + \omega_0^2$$

$$\omega = \alpha t + \omega_0$$

Kosi hitac

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha \quad v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt$$

$$x = v_0 t \cos \alpha \quad y = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y = x \tan \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \quad t_H = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad X = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

DINAMIKA ČESTICE

Newtonovi zakoni gibanja

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \vec{F} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (m = \text{konst.}) \quad \vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

$$F_{\text{tr}} = \mu N, \quad \vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

Centar mase

$$\vec{r}_{\text{CM}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \vec{r}_{\text{CM}} = \int \frac{\vec{r} dm}{m}$$

Centripetalna sila

$$\vec{F}_{\text{CP}} = -m\omega^2 \vec{r}, \quad |\vec{F}_{\text{CP}}| = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

RAD I ENERGIJA. SUDARI

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad \vec{P} = \frac{W}{t} \quad P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad E_p = mgh \quad E_p = \frac{1}{2} kx^2 \quad \eta = \frac{W_D}{W_U}$$

Elastični sraz

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$$

$$\vec{v}_1' = \frac{(m_1 - m_2) \vec{v}_1 + 2m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{v}_2' = \frac{(m_2 - m_1) \vec{v}_2 + 2m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2}$$

Neelastični sraz

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}' \quad \vec{v}' = \frac{m_2 \vec{v}_2 + m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{v}_1 - \vec{v}_2 = -(\vec{v}_1' - \vec{v}_2') \quad q = -\frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2$$

$$\text{Koeficijent restitucije: } k = \frac{|\vec{v}_1' - \vec{v}_2'|}{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}$$

VRTNJA KRUTOG TIJELA

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad I = \int r^2 dm \quad I = I_{\text{CM}} + m \cdot d^2$$

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} \quad \vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

Vrtnja oko glavnih osi inercije

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad \vec{M} = I \cdot \vec{\alpha} \quad (I = \text{konst.})$$

Snaga i energija pri vrtnji

$$W = \int_0^\varphi M d\varphi \quad W = M\varphi \quad (M = \text{konst.})$$

$$P = M\omega \quad E_k = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{CM}}^2 + \frac{1}{2} I_{\text{CM}} \cdot \omega^2$$

Tijelo	I	Položaj osi
tanki prsten	$m \cdot r^2$	\perp na ravninu prstena
okrugla ploča	$(m \cdot r^2)/2$	\perp na ravninu ploče
puni valjak	$(m \cdot r^2)/2$	uzdužna os valjka
tanki šuplji valjak	$m \cdot r^2$	uzdužna os valjka
šuplji valjak	$m \cdot (r_1^2 + r_2^2)/2$	uzdužna os valjka
kugla	$(2m \cdot r^2)/5$	kroz središte kugle
tanka šuplja kugla	$(2m \cdot r^2)/3$	kroz središte kugle
čun (stožac)	$(3m \cdot r^2)/10$	uzdužna os stošca
tanki štapić duljine l	$(m \cdot l^2)/12$	\perp na središtu štapa

ZVRK

$$\text{Slobodni zvrk: } \vec{M} = 0 = \frac{d\vec{L}}{dt} \Rightarrow \vec{L} = I\vec{\omega}$$

$$\text{Čun (nutacije): } \vec{L}_A = I_0 \vec{\omega}_0 + I_1 \vec{\omega}_1$$

$$\text{Precesija: } \vec{M} = \vec{\Omega} \times \vec{L} \quad \Omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M}{L}$$

INERCIJSKI I NEINERCIJSKI SUSTAVI

Galilejeve transformacije

$$x = x' + vt' \quad y = y' \quad z = z' \quad t = t'$$

$$v = v'_x + v_0 \quad v_y = v'_y \quad v_z = v'_z \quad a = a'$$

Inercijalne sile

$$\vec{m} \cdot \vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_i \quad \vec{F}_i = -m\vec{a}_0$$

$$\vec{F}_{\text{CF}} = m \cdot \vec{\omega}^2 \cdot \vec{r}' \quad \vec{F}_{\text{COR}} = 2 \cdot m \cdot \vec{v}' \times \vec{\omega}$$

KLASIČNA GRAVITACIJA

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad \vec{\gamma} = -G \cdot \frac{m}{r^2} \vec{r}_0$$

$$E = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r} \quad \varphi = -G \cdot \frac{m}{r}$$

$$\vec{F}(\vec{r}) = -\frac{d}{d\vec{r}} E_p(\vec{r}) = -\vec{\nabla} E_p(\vec{r})$$

RELATIVISTIČKA MEHANIKA

Lorentzove transformacije

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad y' = y' \quad z' = z' \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

Slaganje brzina

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x} \quad u'_y = \frac{u_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x}$$

$$u'_z = \frac{u_z \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \frac{v}{c^2} \cdot u_x}$$

Energija

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$E_k = E - mc^2 = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad \vec{v} = \frac{c^2}{E} \vec{p}$$

$$E = c \sqrt{p^2 + m^2 c^2} \quad pc = \sqrt{E_k^2 + 2mc^2 E_k}$$

STATIKA TEKUĆINA

$$p = \frac{dF}{dS} \quad p = p_0 + \rho g h \quad F_a = \rho g V$$

$$\text{Površinska napetost: } \sigma = \frac{\Delta W}{\Delta S} = \frac{F}{2l}$$

$$\text{Laplaceova formula: } \Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\text{Kapilarne pojave: } h = \frac{2\sigma \cos \vartheta}{\rho g r}$$

Barometarska formula

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}, T = \text{konst.}, p_0 = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta h} = -6,5 \frac{\text{K}}{\text{km}} \quad p = p_0 \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h / \text{m}}{288} \right)^{5,255}$$

DINAMIKA (STRUJANJE) TEKUĆINA

$$Q = Sv = \text{konst.} \quad p + \rho g h + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \text{konst.}$$

$$F_{\text{TR}} = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dz} \quad \text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta}$$

Poiseuilleov zakon:

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\eta l} (R^2 - r^2) \quad Q = \frac{\pi}{8\eta} \frac{p_1 - p_2}{l} R^4$$

$$F_{TR} = 8\pi\eta l \bar{v}$$

$$\text{Stokesov zakon: } F_{TR} = 6\pi\eta R v$$

$$\text{Turbulentno strujanje: } F_{OT} = \frac{1}{2} C_D \rho v^2$$

TOPLINA I TEMPERATURA

Rastezanje čvrstih tijela

$$l_t = l_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad \alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 \cdot t} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T}$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma \Delta T) \quad \gamma = \frac{V - V_0}{V_0 \cdot t} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} = 3\alpha$$

Jednadžba stanja idealnog plina

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

$$pV = \text{konst.} \quad T = \text{konst.}$$

$$V = V_0 \frac{T}{T_0} \quad p = \text{konst.}$$

$$p = p_0 \frac{T}{T_0} \quad V = \text{konst.}$$

Širenje topline

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} St \quad R = \frac{\Delta T}{\Phi} \quad R = \frac{\Delta x}{\lambda S}$$

$$q = h_c (T_p - T_f)$$

TERMODINAMIKA

Prvi zakon termodinamike

$$\delta Q = dU + \delta W \quad U = n \frac{i}{2} RT$$

Molarni toplinski kapaciteti

$$C_V = \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{V=\text{konst.}} \quad C_p = \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_{p=\text{konst.}}$$

$$C_p - C_V = R \quad \kappa = \frac{C_p}{C_V}$$

Specifični toplinski kapaciteti

$$c_p = \frac{C_p}{M} \quad c_v = \frac{C_V}{M}$$

$$\text{Rad plina: } W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Poissonove jednadžbe ($dQ = 0$)

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\kappa, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Rad plina pri adijabatskoj promjeni

$$W = \frac{nR}{\kappa-1} (T_1 - T_2) = \frac{nRT_1}{\kappa-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{pV}{\kappa-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$T = \text{konst.: } W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Toplinski (Carnotov) stroj

$$W = Q_1 + Q_2 = |Q_1| - |Q_2| = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{Q_1} \quad \varepsilon = \frac{Q_2}{W}$$

Entropija

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad S = k \cdot \ln P$$

KINETIČKO-MOLEKULARNA TEORIJA TOPLINE

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m \overline{v^2} = \frac{1}{3} \rho \cdot v_{\text{ef}}^2$$

$$v_{\text{ef}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad pV = NkT$$

$$E_k = \frac{3}{2} kT \quad U = \frac{i}{2} NkT = \frac{i}{2} nRT$$

Maxwellova razdioba

$$N_v = \frac{dN}{dv} = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot M}}$$

Maxwell-Boltzmannova razdioba

$$N_E = \frac{dN}{dE} = \frac{2N}{\sqrt{\pi} \cdot k^3 T^3} \sqrt{E} \exp \left(-\frac{E}{kT} \right)$$

$$E_{\text{max}} = \frac{kT}{2} \quad \bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Molarni toplinski kapaciteti

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad C_p = \frac{i+2}{2} R$$

Van der Waalsova jednadžba

$$\left(p + n^2 \frac{a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

$$a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{p_c} \quad b = \frac{RT_c}{8p_c}$$

Frekvencija sudara molekule u plinu: $z = \frac{4}{3} n d^2 v$

TITRANJE

Elastičnost materijala

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta x}{x} \quad M = D \vartheta \quad D = \frac{\pi r^4}{2 l} G$$

Harmonički oscilator

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} + ks = 0 \quad s = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad E = \frac{1}{2} k A^2$$

Matematičko njihalo

$$\frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = -\frac{g}{l} \vartheta \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T_g = T \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\vartheta}{2} \right)$$

Fizičko njihalo

$$I \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} + mgL\vartheta = 0, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgL}}, \quad l_r = \frac{I}{mL}$$

Prigušeno titranje

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = 0$$

$$s(t) = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi), \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad \lambda = \delta \cdot T$$

Prisilno titranje

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = A_0 \sin \omega t, \quad A_0 = \frac{F}{m}$$

$$s(t) = A(\omega) \sin(\omega t + \varphi),$$

$$A(\omega) = \frac{A_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}, \quad \tan \varphi = \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2},$$

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$

Frekvencija udara

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad f = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\pi}$$

MEHANIČKI VALOVI

$$v = \lambda f, \quad \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \frac{\mu}{F} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0$$

$$s = A \sin(\omega t - kx), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \bar{P} = \frac{A^2}{2} k \omega F$$

Transverzalni stojni valovi na užetu

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}, \quad s_n = 2A \sin(k_n x) \cos(\omega_n t), \quad \lambda_n = \frac{2l}{n}$$

Rub:

$$\text{čvrst-čvrst:} \quad \lambda_n = 2L/n$$

$$\text{čvrst-slobodan:} \quad \lambda_n = \frac{4L}{2n-1}$$

$$\text{slobodan-slobodan:} \quad \lambda_n = 2L/n, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Longitudinalni valovi

$$\text{u čvrstom tijelu:} \quad v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$\text{u kapljevinu:} \quad v = \sqrt{\frac{1}{K\rho}}$$

$$\text{u plinovima:} \quad v = \sqrt{\frac{\kappa \cdot p}{\rho}} = \sqrt{\kappa \frac{RT}{M}}$$

Zvuk. Dopplerova pojava

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 20 \cdot \log \frac{\Delta P_{\text{u.s.}}}{(\Delta P_{\text{max}})_0}, \quad f_0 \approx 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$$

$$f_p = f_s \frac{v - \vec{r}_0 \cdot \vec{v}_p}{v - \vec{r}_0 \cdot \vec{v}_i}, \quad \lambda = \frac{v}{f_s}$$

Optički Dopplerov efekt

$$T' = T \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}, \quad f' = f \sqrt{\frac{1-v/c}{1+v/c}}$$

$$\text{relativni pomak } z: \quad z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$$

$$z = v/c = \beta \quad (\text{za male brzine})$$

$$z = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} + 1 \quad (\text{relativistički})$$

ELEKTRICITET I MAGNETIZAM

Coulombov zakon

$$1. \text{ Sila između dva točkasta naboja: } \vec{F}_2 = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2},$$

$$\text{gdje je } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}, \quad \vec{r}_{21} \text{ jedinični}$$

vektor usmjeren od naboja 1 prema naboju 2, a \vec{F}_2 sila koja djeluje na naboj 2. Električni naboji q_1 i q_2 su skalarne veličine s predznakom i jedinicom naboja.

2. Ukupna sila n točkastih naboja koji djeluju na naboj q_n kojem poznajemo položaj (koordinate x , y i z):

$$\vec{E}_0 = kq_0 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{0i}^3} \vec{r}_{0i} = kq_0 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_i|^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i), \text{ gdje je}$$

\vec{r}_{0i} vektor od i -tog naboja sustava do točke (x, y, z) , a \vec{r}_{0i} pripadni jedinični vektor. ($\vec{r}_{0i} \cdot \vec{r}_{0i} = r_{0i}^2$).

Jakost električnog polja

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

Jakost električnog polja na udaljenosti r od naboja Q :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{r}_0. \text{ Izraz vrijedi i za polje nabijene kugle}$$

polumjera R , u području $r \geq R$. Dielektrična konstanta iznosi $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, gdje je ϵ_r relativna dielektrična konstanta.

Električno polje sustava naboja:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_{0i}^2} \vec{r}_{0i}, \text{ gdje je } \vec{r}_{0i} \text{ vektor od } i\text{-tog naboja}$$

sustava do točke (x, y, z) , a \vec{r}_{0i} pripadni jedinični vektor.

Polje vrlo dugog ravnog vodiča:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{r}_0, \lambda - \text{linijska gustoća naboja; } \vec{r}_0 - \text{jedinični vektor}$$

Polje ravnomjerno nabijene beskonačne ravnine:

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{x}_0; \sigma - \text{plošna gustoća naboja na ravnini,}$$

\vec{x}_0 - jedinični vektor okomit na ravninu. Izraz vrijedi i za slučaj ravnomjerno raspoređenog naboja po zamišljenoj ravnini, koji stvara električno polje s obje strane.

Polje ravnomjerno nabijene beskonačne metalne ploče:

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{x}_0; \sigma - \text{plošna gustoća naboja na jednoj}$$

strani ploče, \vec{x}_0 - jedinični vektor okomit na nabijenu ploču i okrenut prema dielektriku. Izraz vrijedi i za polje u neposrednoj blizini metalne elektrode proizvoljnog oblika, ali tada za σ , koja se sada mijenja po elektrodi, treba uzeti vrijednost na mjestu elektrode tik uz promatranu točku u dielektriku.

Polje između dviju ravnomjerno i suprotno nabijenih paralelnih ravnina:

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{x}_0.$$

Proporcionalnost između vektora električnog pomaka i jakosti električnog polja: $\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$.

Električni dipolni moment: $\vec{p} = \vec{d} \cdot Q$

Moment para sila na dipol u homogenom električnom polju: $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$

Potencijalna energija dipola: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

Gaussov zakon

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \left(\sum_i q_i \right)_S, \text{ odnosno tok vektora}$$

električnog pomaka \vec{D} kroz bilo koju zatvorenu plohu, tj integral $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s}$ po toj plohi, jednak je ukupnom električnom naboju obuhvaćenom tom plohom.

Električni potencijal

$$\text{Definicija: } V(P) = \frac{E_p(P)}{q} = - \int_{P_0}^P \vec{E} \cdot d\vec{s} + V(P_0); \text{ gdje}$$

je P_0 referentna točka, a P točka u kojoj računamo potencijal.

Razlika potencijala između dvije točke P_1 i P_2 :

$$V(P_2) - V(P_1) = - \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\text{Potencijal točkastog naboja: } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

Električno polje je gradijent potencijala:

$$\vec{E} = -\text{grad } V = - \left(\frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} \right), (\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}) -$$

jedinični vektori

Potencijal izolirane metalne kugle polumjera R :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R}$$

Potencijalna energija sustava naboja:

$$E_p = \frac{\epsilon_0}{2} \int_V E^2 dV$$

$$\text{Gustoća energije u električnom polju: } u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

Kapacitet vodiča: $C = Q/\Delta V$

$$\text{Kapacitet pločastog kondenzatora: } C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Kapacitet cilindričnog kondenzatora:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln(r_2/r_1)}, l - \text{duljina cilindra, } r - \text{radius}$$

cilindra, $r_2 > r_1$

Kapacitet kuglastog kondenzatora:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}; r - \text{radius kugle, } r_2 > r_1$$

Paralelni spoj: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$

Serijski spoj: $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots$

Električno polje u dielektriku između paralelnih

$$\text{ploča: } \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_r} \vec{E}_0$$

$$\text{Energija kondenzatora: } W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q \cdot U}{2}$$

$$\text{Gustoća energije u dielektriku: } w = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2$$

Električna struja, Ohmov zakon:

Ohmov zakon: $I = \frac{U}{R}$

Pad napona: $U = RI$

Električna struja: $I = \frac{dq}{dt}$

Gustoća struje: $j = \frac{I}{S}$

Serijski spoj otpora: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Paralelni spoj otpora: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$

Električni otpor: $R = \rho \frac{l}{S}$

Ovisnost otpora o temperaturi: $R_2 = R_1 (1 + \alpha \Delta T)$

Veza između vodljivosti i otpornosti: $\sigma = \frac{1}{\rho}; G = \frac{1}{R}$

Električno polje u homogenoj žici: $E = U/l$

Napon na stezaljkama izvora: $U = E - R_{\text{int}} I$

Snaga električne struje: $P = UI$

Snaga na omskome vodiču: $P = I^2 R$

Kirchhoffova pravila:

I. Zbroj jakosti struja koje ulaze u čvorište jednak je zbroju jakosti struja koje izlaze iz čvorišta.

II. U svakoj zatvorenoj petlji zbroj svih elektromotornih sila jednak je zbroju svih padova napona na otpornicima: $\sum_i E_i = \sum_i R_i I_i$

Istosmjerna struja

RC strujni krug s baterijom: $I = \frac{E}{R} e^{-t/RC}$

Izbijanje kondenzatora preko otpornika R:

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\frac{E}{R} e^{-t/RC}$$

Vremenska konstanta RC kruga: $T = RC$

Izmjenične struje

Efektivna vrijednost periodički promjenjive veličine, npr. struje $i(t)$, definirana je kao

$$I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) \cdot dt}$$

Efektivna vrijednost sinusoidalnog napona i struje:

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}; I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Induktivni otpor: $R_L = \omega L$

Kapacitivni otpor: $R_C = \frac{1}{\omega C}$

Impedancija: $Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}$

Admitancija: $Y = \sqrt{G^2 + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}$

Ohmov zakon za izmjeničnu struju: $I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y$

Radna snaga izmjenične struje: $P = UI \cos \varphi$

Jalova snaga: $Q = UI \sin \varphi$

Prividna snaga: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Faktor snage: $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

Rezonantna frekvencija: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Transformatorski omjer: $U_1 : U_2 = I_2 : I_1 = N_1 : N_2$

Trofazni sustav

$$U_R = U_{R_{\text{max}}} \sin \omega t$$

Trofazni napon: $U_S = U_{S_{\text{max}}} \sin(\omega t + 2\pi/3)$

$$U_T = U_{T_{\text{max}}} \sin(\omega t + 4\pi/3)$$

$$I_R = I_{R_{\text{max}}} \sin \omega t$$

Trofazna struja: $I_S = I_{S_{\text{max}}} \sin(\omega t + 2\pi/3)$

$$I_T = I_{T_{\text{max}}} \sin(\omega t + 4\pi/3)$$

Simetrični trofazni sustav u spoju zvijezda

Linijski napon (napon između dvije faze, npr. R i S):

$$U_{RS} = \sqrt{3} \cdot U_{R_{\text{max}}} \sin(\omega t - \pi/6)$$

Odnos faznih i linijskih napona:

$$U_{RS} = U_{RS} = U_{ST} = \sqrt{3} \cdot U, \text{ gdje je}$$

$U = U_{OR} = U_{OS} = U_{OT}$ fazni napon. Za trokutni spoj vrijedi: $U_{RS} = U_{RT} = U_{ST} = U$

Snaga trofaznih sustava jednaka je zbroju snaga pojedinih faza, a u slučaju simetričnog sustava vrijedi $P = 3 \cdot U \cdot I$, gdje su U i I označeni fazni napon i fazna struja.

MAGNETIZAM

Magnetsko polje

Magnetska sila između dva naboja koji se gibaju:

$$\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \cdot q'}{r^2} \vec{v} \times (\vec{v}' \times \vec{r})$$

Magnetsko polje točkastog naboja:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q'}{r^2} (\vec{v}' \times \vec{r})$$

Gaussov zakon za magnetizam: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

Biot-Savartov zakon: $d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Jakost magnetskog polja na osi prstena

$$\text{postavljenog u x-y ravnini: } H_z = \frac{b^2 I}{2(b^2 + z^2)^{3/2}}$$

gdje je b polumjer prstena. Jakost polja u središtu prstena dobije se uvrštavajući $z=0$ u gornju jednadžbu.

Jakost magnetskog polja cilindrične zavojnice -

solenoida: $H_z = \frac{I \cdot n}{2} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$, gdje je n broj

zavoja po jedinici duljine duž zavojnice.

Jakost magnetskog polja na udaljenosti a od ravnog

vodiča: $H = \frac{I}{2\pi \cdot a}$

Sile po jedinici duljine između dvaju paralelnih vodiča kroz koje teku struje I_1 i I_2 udaljenih za a :

$$F = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \left(\frac{2I_1 I_2}{a} \right)$$

Ampereov zakon: $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$

Kružna staza u magnetskom polju: $r = \frac{P}{qB}$

Ciklotronska frekvencija: $f = \frac{qB}{2\pi m}$

Lorentzova sila: $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

Sila na segment vodiča: $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$

Veza između jakosti magnetskog polja i magnetske

indukcije: $H = \frac{B}{\mu}$, gdje je $\mu = \mu_0(1 + \chi_m)$

magnetska permeabilnost.

Elektromagnetska indukcija

Inducirana EMS u vodljivom štupu duljine l koji se

giba u magnetskom polju B brzinom v okomitom i na B i na l : $U_{ind} = vBl$

Faradayev zakon:

$$U_{ind} = - \frac{d\Phi_B}{dt}, \text{ integralni oblik}$$

$$\oint_{\text{zatvoreni put}} \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Magnetski tok: $\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S}$

Međuvodička indukcija: $U_{21} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$

Samoindukcija: $U_s = -L \frac{dI}{dt}$

Samoinduktivitet zavojnice po jedinici duljine:

$\mu_0 n^2 \pi b^2$, gdje je n broj zavoja po jedinici duljine, a

b radius solenoida.

Samoinduktivitet toroidalne zavojnice:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} N^2 h \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

Samoinduktivitet ravnog vodiča:

$$L = 2\mu_0 \cdot l \left(\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - 0,75 \right); r - \text{radius vodiča, } l -$$

duljina vodiča, $l \gg r$

Samoinduktivitet koaksijalnog kabela:

$$L = 2\mu_0 \cdot l \left(\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) - 0,25 \right); r_o - \text{vanjski radius, } r_i -$$

unutarnji radius, l - duljina kabela

Magnetska energija u zavojnici: $W_L = \frac{1}{2} LI^2$

Gustoća magnetske energije: $w_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$

Istosmjerni RL strujni krug

Uključivanje: $I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$

Isključivanje: $I = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$

Vremenska konstanta RL kruga: $T = L/R$

MAXWELLOVE JEDNADŽBE

$$\iiint_V \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \rho \, dV$$

$$\iiint_V \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon \cdot E^2, \quad w_m = \frac{1}{2} \mu \cdot H^2$$

ELEKTROMAGNETSKI VALOVI

Valna jednadžba za električno polje \vec{E} :

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$\Delta \vec{E} = (\nabla^2) \vec{E}$ je Laplaceov operator koji djeluje na vektor \vec{E} :

$$\begin{aligned} \Delta \vec{E} &= \Delta E_x \vec{i} + \Delta E_y \vec{j} + \Delta E_z \vec{k} \\ &= \left(\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \right) \vec{i} + \\ &+ \left(\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} \right) \vec{j} + \\ &+ \left(\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2} \right) \vec{k}. \end{aligned}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \sin(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}),$$

$$E_0 = v B_0, \quad \vec{E} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} (\vec{B} \times \vec{u}), \quad \frac{E_0}{H_0} = \frac{377 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\text{Ukupna gustoća energije: } w = \frac{1}{2} \epsilon \cdot E^2 + \frac{1}{2\mu} B^2$$

$$\text{Poytingov vektor: } \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \vec{u} = \frac{1}{\epsilon} \vec{E}_0 \vec{E}_0^2$$

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E}_0 \vec{E}_0^2 \quad \vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E}_0 \vec{H}_0$$

GEOMETRIJSKA OPTIKA $\omega = 2\pi f$

Zakon loma

$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n = \frac{c}{v}, \quad \sin u_g = \frac{n_2}{n_1}$$

Sferno zrcalo. Povećanje

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}, \quad m = -\frac{b}{a}$$

Planparalelna ploča

$$\Delta = d \sin u \left[1 - \frac{\cos u}{\sqrt{n^2 - \sin^2 u}} \right]$$

Prizma

$$\delta = u_1 - l_1 + u_2 - l_2, \quad A = l_1 + l_2, \quad n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + A}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}}$$

Sferni dioptrar. Tanka leća

$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r}, \quad m = -\frac{n_1}{n_2} \frac{b}{a},$$

$$f_b - f_a = r, \quad \frac{f_b}{f_a} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f} = J$$

FIZIKALNA OPTIKA

Interferencija

Uvjet za konstruktivnu interferenciju:

optička razlika puta = $m\lambda$, $m = 1, 2, 3, \dots$

Uvjet za destruktivnu interferenciju:

optička razlika puta = $(2m-1)\frac{\lambda}{2}$, $m = 1, 2, 3, \dots$

$$\text{Youngov pokus: } \frac{ay}{d} = m\lambda$$

$$\text{Tanka ploča: } 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 u} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

Newtonovi kolobari

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

$$d = \frac{r^2}{2R} \cdot n \quad (\text{sredstvo } n \text{ u klinu})$$

Svijetli kolobar (reflektirana svjetlost):

$$r_s = \sqrt{R(2m-1)\frac{\lambda}{2}}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Tamni kolobar (reflektirana svjetlost):

$$r_t = \sqrt{Rm\lambda}, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Uvjeti (formule) su obratni za transmitiranu svjetlost.

Ogib (Difrakcija)

Jedna pukotina

$$I(\alpha) = I_0 \frac{\sin^2 y}{y^2}, \quad y = \frac{d\pi}{\lambda} \sin \alpha$$

uvjet za minimum: $d \sin \alpha = n\lambda$, $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Dvije pukotine

$$I_D(\alpha) = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha} \right]^2 \left[\frac{\sin\left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\sin\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin \alpha\right)} \right]^2$$

Optička rešetka

$$I(\alpha) = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha} \right]^2 \left[\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)} \right]^2$$

uvjet za maksimum: $d \sin \alpha = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$
moć razlučivanja rešetke, disperzija spektra:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{mN'} \frac{d\alpha}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \alpha}$$

Polarizacija

Brewsterov zakon: $\tan u_B = (n_2/n_1)$

Malusov zakon: $I = I_0 \cos^2 \varphi$

$$\text{Polaroid: } I = \frac{1}{2} I_0$$

FOTOMETRIJA

$$d\Phi = I d\omega, \quad E = \frac{d\Phi}{ds} = \frac{I}{r^2} \cos \phi$$

$$d\Phi' = d\Phi \frac{r^2}{r'^2}, \quad I = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$dI = \frac{d^2\Phi}{d\Omega} = L dA \cos \alpha = I_0 \cos \alpha$$

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2} = \sin \alpha \cdot d\alpha \cdot d\varphi, \quad \Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}$$

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos \alpha}, \quad R = \frac{d\Phi}{dA}$$

$$dP = J \cdot d\Omega, \quad dI = K(\lambda) \cdot d\lambda$$

KVANTNA PRIRODA SVJETLOSTI

Stefan-Boltzmannov zakon

$$I = \int_0^\infty f(\lambda, T) d\lambda, \quad I = \sigma T^4$$

$$\text{Wienov zakon: } \lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

Planckov zakon zračenja

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

$$f(f, T) = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{f^3}{\exp\left(\frac{hf}{kT}\right) - 1}$$

$$\bar{E} = \frac{hf}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}$$

Fotoelektrični efekt

$$E = hf, \quad \frac{mv^2}{2} \leq hf - W_i$$

$$W_i = h \cdot f_{gr} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{gr}}$$

Comptonov efekt

$$hf + mc^2 = hf' + \gamma mc^2,$$

$$(\gamma mv)^2 = \left(\frac{hf}{c}\right)^2 + \left(\frac{hf'}{c}\right)^2 - \frac{2h^2 f f'}{c^2} \cos \vartheta$$

$$\gamma = \left(1 - v^2/c^2\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{mc} \sin^2 \frac{\vartheta}{2}, \quad \frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

STRUKTURA ATOMA

Bohrov model

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad r_n = \frac{e_0 h^2}{\pi m Z e^2} n^2 \quad \text{za } n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_n = -\frac{Z^2 m e^4}{8 h^2 e_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad h\nu = E_n - E_k$$

Magnetski dipolni moment elektrona s orbitalnim kutnim momentom količine gibanja

$$\mu_L = \frac{e}{2m} L = \frac{eh}{2m} \sqrt{\ell(\ell+1)}$$

Magnetski spinski moment elektrona sa spinskim kutnim momentom količine gibanja

$$\mu_s = \frac{e}{m} L_s = \frac{e}{m} h \sqrt{s(s+1)}$$

Zeemanov efekt

$$E_{n,l,m} = -\frac{Z^2 m e^4}{8 h^2 e_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} + \mu_B \cdot m \cdot B$$

$$\text{za } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm \ell$$

Moseleyev zakon

$$hf = E_n - E_k = 13,6(Z-a)^2 \cdot \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad [\text{eV}]$$

$$\text{K-serija } a \approx 1$$

$$f = cR \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) (Z-a)^2$$

$$\text{L-serija } a \approx 7,4$$

$$f = cR \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) (Z-a)^2$$

Braggov zakon

$$2d \sin \vartheta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

De Broglieve relacije

$$\gamma mc^2 = hf, \quad p = \gamma mv = \frac{h}{\lambda}$$

ATOMSKA JEZGRA

Defekt mase

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_A$$

Energija vezanja

$$E_0 = [Zm_p + (A-Z)m_n - m_A] c^2$$

$$E_0 = [Zm_{H1} + (A-Z)m_n - m_A] c^2$$

Zakon radioaktivnog raspada

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad T = \frac{1}{\lambda}$$

Svojstva jezgre

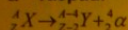
$$R = r_0 \cdot A^{1/3}, \quad r_0 \approx 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

$A=(Z+N)$ broj nukleona (bariona) u jezgri

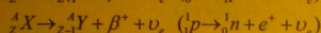
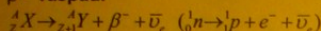
Nuklearne reakcije ($a + X \rightarrow Y + b$). Udarni presjek

$$Q = (m_X + m_a)c^2 - (m_Y + m_b)c^2, \quad \sigma = \frac{\Delta N}{nN\Delta x}$$

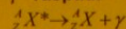
α - raspad:



β^+ - raspad:



γ - raspad:



Rutherfordov diferencijalni udarni presjek za raspršenje čestice (bez spina) mase m i naboja q = ze na jezgri (naboj Q = Ze)

$$\sigma(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{z^2 Z^2 e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 4m^2 v^4} \cdot \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

TABLICA ELEMENATA

Z	X	A	Z	X	A	Z	X	A	Z	X	A	Z	X	A
1.	H	1,0079	23.	V	50,9415	45.	Rh	102,9055	67.	Ho	164,9303	89.	Ac	227,0278
2.	He	4,0026	24.	Cr	51,9961	46.	Pd	106,42	68.	Er	167,26	90.	Th	232,0381
3.	Li	6,941	25.	Mn	54,9381	47.	Ag	107,8682	69.	Tm	168,9342	91.	Pa	231,0359
4.	Be	9,0122	26.	Fe	55,847	48.	Cd	112,411	70.	Yb	173,04	92.	U	238,0289
5.	B	10,811	27.	Co	58,9332	49.	In	114,82	71.	Lu	174,967	93.	Np	237,0482
6.	C	12,011	28.	Ni	58,69	50.	Sn	118,710	72.	Hf	178,49	94.	Pu	(244)
7.	N	14,0067	29.	Cu	63,546	51.	Sb	121,75	73.	Ta	180,9479	95.	Am	(243)
8.	O	15,9994	30.	Zn	65,39	52.	Te	127,60	74.	W	183,85	96.	Cm	(247)
9.	F	18,9984	31.	Ga	69,723	53.	I	126,9045	75.	Re	186,207	97.	Bq	(247)
10.	Ne	20,1797	32.	Ge	72,61	54.	Xe	131,29	76.	Os	190,2	98.	Cf	(251)
11.	Na	22,9898	33.	As	74,9216	55.	Cs	132,9054	77.	Ir	192,22	99.	Es	(252)
12.	Mg	24,3050	34.	Se	78,96	56.	Ba	137,327	78.	Pt	195,08	100.	Fm	(257)
13.	Al	26,9815	35.	Br	79,904	57.	La	138,9055	79.	Au	196,9665	101.	Md	(258)
14.	Si	28,0855	36.	Kr	83,80	58.	Ce	140,115	80.	Hg	200,59	102.	No	(259)
15.	P	30,9738	37.	Rb	85,4678	59.	Pr	140,9077	81.	Tl	204,3833	103.	Lr	(260)
16.	S	32,066	38.	Sr	87,62	60.	Nd	144,24	82.	Pb	207,2	104.	Rf	(261)
17.	Cl	35,4527	39.	Y	88,9059	61.	Pm	(145)	83.	Bi	208,9804	105.	Ha	(262)
18.	Ar	39,948	40.	Zr	91,224	62.	Sm	150,36	84.	Po	(209)	106.		(263)
19.	K	39,0983	41.	Nb	92,9064	63.	Eu	151,965	85.	At	(210)	107.		(262)
20.	Ca	40,078	42.	Mo	95,94	64.	Gd	157,25	86.	Rn	(222)	108.		(265)
21.	Sc	44,9559	43.	Tc	(98)	65.	Tb	158,9253	87.	Fr	(223)	109.		(266)
22.	Ti	47,88	44.	Ru	101,07	66.	Dy	165,50	88.	Ra	226,0254			

Z - redni broj

X - simbol kemijskog elementa

A - atomska masa

Temeljnih 12 fermiona u Standardnome modelu fizike čestica

Generacija (Pokoljenje)	Vrsta	Čestica (Simbol)	Masa (MeV/c ²)	Čestica (Simbol)	Masa (MeV/c ²)
Prva	lepton	elektron (e ⁻)	0,511	elektronski	<3x10 ⁻⁶
Druga	lepton	mion (μ ⁻)	105,66	neutrino (ν _e)	<0,19
Treća	lepton	tau (τ ⁻)	1777,1	mionski neutrino (ν _μ)	<18,2
				tau neutrino (ν _τ)	
Prva	kvark	donji (d)	~ 6	gornji (u)	~ 3
Druga	kvark	strani (s)	~ 120	čarobni (c)	~ 1250
Treća	kvark	dubinski (b)	~ 4200	vršni (t)	~ 173 000

Mase kvarkova su *strujne mase*, a za neutrina su *gornje granice njihovih masa* uz granicu pouzdanosti 90 %.
Jedinica mase jest $1 \text{ MeV}/c^2 = 1,78 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$.

Čestice polja (bozoni) koje prenose temeljne sile između čestica u Standardnome modelu

SILA/POLJE	ČESTICA – PRIJENOSNICA (Simbol)	MASA (GeV/c ²)	NABOJ / SPIN
gravitacijska	graviton (G)	0 ?	0 / 2
slaba nuklearna	W ⁺ i W ⁻ vektorski bozon (W) Z ⁰ vektorski bozon (Z)	80,399 91,187	± 1 / 1 0 / 1
elektromagnetska	foton (γ)	0	0 / 1
jaka nuklearna	Gluon (g)	0	0 / 1

VAŽNIJE FIZIKALNE KONSTANTE

brzina svjetlosti u vakuumu	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
elementarni električni naboj	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
dielektrična konstanta vakuuma	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
permeabilnost vakuuma	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$
gravitacijska konstanta	$G = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
Planckova konstanta	$h = 6,626069 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
reducirana Planckova konstanta	$\hbar = 1,054571 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Boltzmannova konstanta	$k = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
plinska konstanta	$R = 8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
Avogadrov broj	$N_A = 6,02214 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
normirani molarni volumen plina	$V_{mo} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
Loschmidtov broj	$n_L = 2,687 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$
Stefan-Boltzmannova konstanta	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
Rydbergova konstanta	$R_\infty = 1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Rydbergova energija	$hcR_\infty = 13,605 \text{ eV}$
masa mirovanja elektrona	$m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
masa mirovanja protona	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
masa mirovanja neutrona	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
atomska masena konstanta	$m_u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
energijski ekvivalent atomske masene konstante	$\Delta E_u = 931,494 \text{ MeV}$
pretvorbena konstanta	$\hbar c = 197,327 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$
standardna akceleracija slobodnog pada	$g = 9,80665 \text{ ms}^{-2}$
Faradayeva konstanta	$F = 96485,31 \text{ C/mol}$
Comptonova valna duljina elektrona	$\lambda_C = 2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Bohrov polumjer	$r_0 = 0,529177 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
konstanta fine strukture	$\alpha = 7,297353 \cdot 10^{-3} = 1/137$
srednji polumjer Zemlje	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
masa Zemlje	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
polumjer Sunca	$6,95 \cdot 10^8 \text{ m}$
masa Sunca	$1,98 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
polumjer Mjeseca	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$
masa Mjeseca	$7,33 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
srednja udaljenost središta Zemlje i Sunca	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ m}$
srednja udaljenost središta Zemlje i Mjeseca	$3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$
ophodno vrijeme Zemlje oko Sunca	$365,25 \text{ dana}$
ophodno vrijeme Mjeseca oko Zemlje	$27,32 \text{ dana} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ s}$
kutna brzina vrtnje Zemlje oko svoje osi	$7,272 \cdot 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$