

Zbirka fizikalnih enačb

Povzetek

Zbirka podaja v strnjeni obliku tiste enačbe, ki so najpogosteje v uporabi pri reševanju fizikalnih nalog. Namenjena je uporabniku, ki osnovne enačbe, s katerimi so v simbolični obliki podani fizikalni zakoni, že pozna, tako da mu praviloma zadoščajo le skopa besedna pojasnila. Pri pisanju simbolov sem se ravnal po prevladujoči rabi v fizikalni literaturi. Ta, recimo ji "opora spominu", postane koristen pripomoček le, če skrbno proučimo vse ozadje zapisanih enačb. Enačbe so zapisane tako, da se vrstni red enačb ujema s prenovljenim programom pouka fizike v slovenskih srednjih šolah.

Maribor, avgust 1992

S. Kodba

Kazalo

1. Merske napake	4
2. Sila in navor	4
3. Zgradba snovi	4
4. Mehanske lastnosti snovi	5
5. Premo gibanje	6
6. Krivo gibanje	7
7. Sila in gibanje	7
8. Izrek o gibalni količini	7
9. Kroženje	8
10. Gravitacija	9
11.*Izrek o vrtilni količini	9
12. Delo in energija	10
13.*Gibanje tekočin	11
14. Toplota	12
15. Električni naboj in električno polje	14
16. Električni tok	15
17. Magnetno polje	16
18. Indukcija	17
19. Nihanje	18
20. Valovanje	19
21.*Električno nihanje in elektromagnetno valovanje	21
22. Svetloba - optika	21

23.*Relativistična mehanika	24
24.*Kvantna mehanika in valovne lastnosti delcev	25
25.*Atom in atomsko jedro	25

1. Merske napake

Povprečna vrednost:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Efektivni odmik:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (\langle x \rangle - x_i)^2} \quad (2)$$

Relativna merska napaka:

$$\delta = \frac{\sigma}{\langle x \rangle} \quad (3)$$

2. Sila in navor

Vzajemno delovanje sil:

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1} \quad (4)$$

Sila trenja:

$$F_{tr} = k_{tr} \cdot F_N \quad (5)$$

kjer je k_{tr} koeficient trenja in F_N pravokotna sila, s katero telo deluje na podlago.

Navor:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (6)$$

Splošni pogoj za ravnoesje togega telesa:

$$\sum_i \vec{F}_i = 0 \quad \text{ter} \quad \sum_i \vec{M}_i = 0 \quad (7)$$

Težišče:

$$x_T = \frac{1}{\sum_i m_i} \sum_i m_i x_i \quad (8)$$

3. Zgradba snovi

Kilomol:

$$n = \frac{m}{M} \quad (9)$$

kjer je m masa snovi in M molekulska masa snovi.

Masso molekule izračunamo:

$$m_0 = M u \quad (10)$$

u je atomska masna enota.

Število molekul v n - kilomolih snovi:

$$N = n N_A \quad (11)$$

4. Mehanske lastnosti snovi

Deformacijo za žico ali palico opišemo s Hookovim zakonom:

$$\frac{F}{S} = E \frac{x}{l} \quad (12)$$

pri čemer je $\sigma = \frac{F}{S}$ natezna napetost, $\varepsilon = \frac{x}{l}$ relativni raztezek ter E Youngov elastični modul.

Stisljivost:

$$\frac{\Delta V}{V} = -\chi \Delta p \quad (13)$$

χ je koeficient stisljivosti.

Povečanje tlaka v mirajočih tekočinah:

$$\Delta p = \rho g h \quad (14)$$

kjer je ρ gostota tekočine, g gravitacijski pospešek in h višina tekočinskega stolpca.

Vzgon:

$$F_{vzg} = \rho_0 g V \quad (15)$$

ρ_0 je gostota okolne tekočine in V prostornina potopljenega telesa.

Površinska napetost:

$$F = \gamma \cdot l \quad (16)$$

γ je koeficient površinske napetosti in l dolžina roba tekočine.

Dvig kapljevin v kapilarji:

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g R} \quad (17)$$

R je ukrivljenost meniskusa in ρ gostota tekočine.

5. Premo gibanje

Povprečna hitrost:

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \quad (18)$$

Povprečni pospešek:

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (19)$$

Trenutna hitrost:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (20)$$

Trenutni pospešek:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (21)$$

Hitrost pri enakomerno pospešenem gibanju ($\vec{a} = \text{konst.}$):

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a} dt = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \quad (22)$$

v_0 je začetna hitrost.

Pot pri enakomerno pospešenem gibanju izračunamo:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \int_0^t \vec{a} dt = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \quad (23)$$

Zveza med potjo in hitrostjo je podana z enačbo:

$$v^2 = v_0^2 \pm 2as \quad (24)$$

Prosti pad in navpični met:

prosti pad ($v_0 = 0$)	navpični met
$v = gt$	$v = v_0 - gt$
$h = \frac{1}{2}gt^2$	$h = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$
$v^2 = 2gh$	$v^2 = v_0^2 - 2gh$

6. Krivo gibanje

Vodoravni met:

$$a_x = 0; a_y = -g \quad (25)$$

$$v_x = \text{konst.}; v_y = gt \quad (26)$$

$$x = v_0 t; y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (27)$$

Poševni met:

$$v_x = v_0 \cos \varphi; v_y = v_0 \sin \varphi - gt \quad (28)$$

$$x = v_0 t \cos \varphi; y = v_0 t \sin \varphi - \frac{1}{2}gt^2 \quad (29)$$

pri enačbah za poševni met je φ kot, pod katerim telo vržemo.

7. Sila in gibanje

Sila je definirana z Newtonovim zakonom gibanja:

$$\sum_i \vec{F}_i = m \cdot \vec{a} \quad (30)$$

Teža:

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g} \quad (31)$$

8. Izrek o gibalni količini

Gibalna količina je definirana z enačbo:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (32)$$

\vec{p} je gibalna količina telesa.

Če na telo deluje sila, se v času Δt gibalna količina spremeni:

$$\Delta p = \vec{F} \Delta t = m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1 \quad (33)$$

Za izoliran sistem, na katerega ne delujejo zunanje sile, je gibalna količina konstantna

$$\sum_i \vec{p}_i = \text{konst.} \quad (34)$$

Sila curka:

$$F = -\Phi_m \cdot \Delta v \quad (35)$$

kjer je Φ_m masni pretok.

9. Kroženje

Povprečna kotna hitrost:

$$\langle \omega \rangle = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad (36)$$

φ je kot s katerim je določena lega točke na obodu kroga.

Povprečni kotni pospešek:

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (37)$$

Trenutna kotna hitrost:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (38)$$

Trenutni kotni pospešek:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (39)$$

Zveza med krožilno in kotno hitrostjo:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (40)$$

r je radij kroga, po katerem točka kroži.

Radialni pospešek:

$$\vec{a}_r = \vec{\omega} \times \vec{v} \quad (41)$$

Tangentni pospešek:

$$\vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{r} \quad (42)$$

Kot zasuka točke na obodu kroga pri enakomernem kroženju:

$$\varphi = \int_0^t \omega dt = \omega t \quad (43)$$

Kotna hitrost enakomerno pospešenega kroženja ($\alpha = \text{konst.}$):

$$\omega = \omega_0 + \int_0^t \alpha dt = \omega_0 + \alpha t \quad (44)$$

Kot zasuka za enakomerno pospešeno kroženje:

$$\varphi = \omega_0 t + \int_0^t \alpha t dt = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (45)$$

Zveza med kotno hitrostjo in kotom zasuka je podana z enačbo:

$$\omega^2 = \omega_0^2 \pm 2\alpha\varphi \quad (46)$$

Na krožče telo deluje centripetalna sila:

$$F_{cp} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r \quad (47)$$

10. Gravitacija

Newtonov gravitacijski zakon:

$$\vec{F}_{1,2} = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{1,2}^3} \vec{r}_{1,2} \quad (48)$$

Gravitacijski potencial:

$$V = -G \frac{m}{r} \quad (49)$$

Keplerjev zakon:

$$\frac{R^3}{T^2} = \text{konst.} \quad (50)$$

R je središčna razdalja planetov in T obhodni čas.

Gravitacijski pospešek Zemlje:

$$g_0 = \frac{M_Z}{R_Z^2} \quad (51)$$

R_Z je radij Zemlje na mestu, kjer merimo gravitacijski pospešek.

Prva kozmična hitrost:

$$v_{||} = \sqrt{g_0 \cdot R_Z} \quad (52)$$

Druga kozmična hitrost:

$$v_{\perp} = \sqrt{2 \cdot g_0 \cdot R_Z} \quad (53)$$

11. *Izrek o vrtilni količini

Vrtilna količina je definirana z enačbo:

$$\vec{\Gamma} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (54)$$

$\vec{\Gamma}$ je vrtilna količina telesa.

Velikost vrtilne količine je:

$$\Gamma = J \cdot \omega \quad (55)$$

J je vztrajnostni moment telesa.

Če je os poljubna, vendar vzporedna težiščni, velja Steinerjev izrek:

$$J = J_0 + ml^2 \quad (56)$$

J₀ je vztrajnostni moment glede na težiščno os, m masa telesa in l pravokotna razdalja med osema.

Če na telo deluje navor, je:

$$M = J \cdot \alpha \quad (57)$$

Če navor deluje čas Δt, se vrtilna količina spremeni:

$$\Delta\Gamma = M\Delta t = J\omega_2 - J\omega_1 \quad (58)$$

Za izoliran sistem, na katerega ne delujejo zunanji navori, je vrtilna količina konstantna:

$$\sum_i \Gamma_i = \text{konst.} \quad (59)$$

12. Delo in energija

Delo:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad (60)$$

Delo tlaka:

$$A = - \int p \cdot dV \quad (61)$$

Delo sile površinske napetosti:

$$dA = \gamma \cdot dS \quad (62)$$

Delo gravitacijske sile:

$$A = Gm_1m_2 \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] \quad (63)$$

kjer r₁ in r₂ pomenita začetno in končno lego točkastega telesa v gravitacijskem polju, drugega točkastega telesa. G je gravitacijska konstanta.

Kinetična translatorna energija:

$$E_{k-tr} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (64)$$

Kinetična rotacijska energija:

$$E_{k-rot} = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad (65)$$

Potencialna energija:

$$E_p = mgh \quad (66)$$

Prožnostna energija za vijačno vzmet:

$$E_{pr} = \frac{1}{2}kx^2 \quad (67)$$

k je konstanta vijačne vzmeti.

Prožnostna enegija za polžasto vzmet:

$$E_{pr} = \frac{1}{2}D\varphi^2 \quad (68)$$

D je sučna konstanta polžaste vzmeti.

Gravitacijska potencialna energija:

$$E_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r} \quad (69)$$

Za izoliran sistem se mehanska energija ohranja:

$$\sum(E_k + E_p + E_{pr}) = \text{konst.} \quad (70)$$

Moč pri translaciji:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (71)$$

Moč pri rotaciji:

$$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega} \quad (72)$$

Izkoristek:

$$\eta = \frac{A_{odd}}{A_{vl}} \quad (73)$$

A_{odd} je oddano in A_{vl} vloženo delo.

13. *Gibanje tekočin

Bernoullijeva enačba:

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konst.} \quad (74)$$

Linearni zakon upora:

$$F_u = 6\pi\eta rv \quad (75)$$

pri čemer je η viskoznost tekočine, v kateri se telo giblje.

Kvadratni zakon upora:

$$F_u = \frac{1}{2}c\rho S v^2 \quad (76)$$

c je koeficient upora in je odvisen od oblike telesa.

14. Toplota

Raztezanje teles:

$$l = l_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (77)$$

l_0 je dolžina pri temperaturi T_0 in α temperaturni koeficient linearnega raztezka.

Plinska enačba:

$$\frac{pV}{T} = nR \quad (78)$$

pri čemer je n število kilomolov in R splošna plinska konstanta.

Tlak plina:

$$p = n_0 k_B T \quad (79)$$

n_0 je prostorninska gostota molekul in k_B je Boltzmanova konstanta.

Povprečna hitrost molekul v plinu:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} \quad (80)$$

Povprečna prosta pot molekul v plinu:

$$\langle l \rangle = \frac{k_B T}{\sqrt{2\pi d^2 p}} \quad (81)$$

d - je efektivni premer molekule.

Povprečna translacijska kinetična energija molekul v plinu:

$$E_{k-tr} = \frac{3}{2}k_B T \quad (82)$$

Toplota:

$$Q = cm\Delta T \quad (83)$$

Talilna toplota je $Q_t = c_t m$, izparilna pa $Q_i = c_i m$. Sorazmernostni koeficienti. c , c_t in c_i so specifične toplice.

Prvi zakon termodinamike:

$$\Delta E_n = Q + A \quad (84)$$

Zveza med specifičnima toplotama c_p in c_v :

$$c_p - c_v = \frac{R}{M} \quad (85)$$

$$\frac{c_p}{c_v} = \kappa \quad (86)$$

Enačbe plinskega stanja pri določenih pogojih:

$pV = konst.$	$pV^\kappa = konst.$
$\frac{V}{T} = konst.$	$TV^{\kappa-1} = konst.$
$\frac{p}{T} = konst.$	$Tp^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = konst.$

Delo pri izotermni spremembi plinskega stanja ($\Delta T = 0$):

$$A = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (87)$$

Delo pri adiabatni spremembi plinskega stanja:

$$A = \frac{p_1 V_1}{(\kappa - 1)} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right] \quad (88)$$

Izkoristek idealnega (Carnotovega) toplotnega stroja:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (89)$$

T_1 je temperatura toplejšega in T_2 temperatura hladnejšega rezervoarja.

Prevajanje toplote:

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (90)$$

P je toplotni tok, λ koeficient toplotne prevodnosti, kvocient $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ pa pove spremembo temperature na enoto dolžine.

Entropija in drugi zakon termodinamike:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (91)$$

15. Električni naboj in električno polje

Električna sila:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e_1 e_2}{r^2} \quad (92)$$

ϵ_0 je influenčna konstanta.

Jakost električnega polja za točkasti naboj:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{e} \quad (93)$$

Jakosti električnih polj, vektorsko seštejemo:

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i \quad (94)$$

Električni potencial:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e}{r} \quad (95)$$

Električna napetost:

$$U = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \quad (96)$$

kjer r_1 in r_2 pomenita razdalji do točk s potencialom V_1 oz. V_2 .

Električni dipolni moment:

$$\vec{p} = e \cdot \vec{l} \quad (97)$$

Delo električne sile pri premiku točkastega naboja v polju drugega točkastega naboja:

$$A_{1,2} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \quad (98)$$

Kapacitivnost kondenzatorja:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (99)$$

pri čemer je ϵ dielektričnost snovi.

Skupna kapacitivnost zaporedno vezanih kondenzatorjev:

$$\frac{1}{C_s} = \sum_i \frac{1}{C_i} \quad (100)$$

Skupna kapacitivnost vzporedno vezanih kondenzatorjev:

$$C_s = \sum_i C_i \quad (101)$$

Energija električnega polja kondenzatorja:

$$E_{ep} = \frac{1}{2} C U^2 \quad (102)$$

Gostota energije električnega polja:

$$w_{ep} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (103)$$

16. Električni tok

Povprečni električni tok:

$$\langle I \rangle = \frac{\Delta e}{\Delta t} \quad (104)$$

Gostota električnega toka:

$$j = ne < v > \quad (105)$$

n je prostorninska gostota nosilcev naboja in v povprečna hitrost njihovega usmerjenega gibanja.

Električni upor:

$$R = \xi \frac{l}{S} \quad (106)$$

ξ je specifični upor, l dolžina in S presek prevodnika.

Vsota vseh tokov v vozlišču je enaka nič:

$$\sum_i I_i = 0 \quad (107)$$

V sklenjenem električnem krogu je vsota gonilnih napetosti enaka vsoti padcev napetosti:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^k (RI)_i \quad (108)$$

Skupni upor zaporedno vezanih upornikov:

$$R_s = \sum_i R_i \quad (109)$$

Skupni upor vzporedno vezanih upornikov:

$$\frac{1}{R_s} = \sum_i \frac{1}{R_i} \quad (110)$$

Temperaturna odvisnost upora:

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (111)$$

α je temperaturni koeficient upora.

Moč električnega toka:

$$P = U \cdot I \quad (112)$$

Masa izločene snovi pri elektrolizi:

$$m = M \frac{It}{\nu e_F} \quad (113)$$

kjer je ν valenca snovi in e_F - Faradajev naboj.

Izmenična napetost:

$$U = U_0 \sin(\omega t) \quad (114)$$

Izmenični tok:

$$I = I_0 \sin(\omega t) \quad (115)$$

Efektivna (sinusna) napetost:

$$\hat{U} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (116)$$

Efektivni (sinusni) tok:

$$\hat{I} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad (117)$$

Moč izmeničnega (sinusnega) toka:

$$P = \hat{U} \cdot \hat{I} \quad (118)$$

17. Magnetno polje

Sila na gibajoči se naboj v magnetnem polju:

$$\vec{F}_m = e(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (119)$$

Gostota magnetnega polja dolgega ravnega vodnika na razdalji r :

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} \quad (120)$$

μ_0 je indukcijska konstanta.

Gostota magnetnega polja na sredini krožne zanke s polmerom r :

$$B = \mu_0 \frac{I}{2r} \quad (121)$$

Gostota magnetnega polja na sredini dolge tuljave z dolžino l in N-ovoji:

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad (122)$$

Sila na tokovni vodnik:

$$\vec{F}_m = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (123)$$

Magnetni moment:

$$\vec{p}_m = I \cdot \vec{S} \quad (124)$$

Navor na zanko v magnetnem polju:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B} \quad (125)$$

Induktivnost tuljave:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (126)$$

μ je permeabilnost, ki je odvisna od vrste snovi.

Magnetni pretok:

$$\phi_m = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad (127)$$

Energija magnetnega polja v tuljavi:

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2 \quad (128)$$

Gostota energije magnetnega polja:

$$w_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad (129)$$

18. Indukcija

Inducirana napetost:

$$U_i = -\frac{d\phi}{dt} \quad (130)$$

Lastna indukcija:

$$U_i = -L \frac{di}{dt} \quad (131)$$

Če se vodnik giblje po magnetnem polju, se inducira napetost:

$$U_i = lvB \quad (132)$$

Zgoraj enačba je le poseben primer za $l \perp v \perp B$.

Induktivni upor tuljave:

$$R_L = L\omega \quad (133)$$

Kapacitivni upor kondenzatorja:

$$R_C = \frac{1}{\omega C} \quad (134)$$

Izmenični tok skozi tuljavo:

$$I = I_0 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (135)$$

Izmenični tok skozi kondenzator:

$$I = I_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (136)$$

Amplituda toka skozi tuljavo:

$$I_0 = \frac{U_0}{\omega L} \quad (137)$$

Amplituda toka skozi kondenzator:

$$I_0 = U_0 \omega C \quad (138)$$

Inpedanca:

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (139)$$

Fazni premik med napetostjo in tokom:

$$\varphi = \arctg[\frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}] \quad (140)$$

Resonančna krožna frekvenca:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (141)$$

19. Nihanje

Odmik v odvisnosti od časa za harmonično nihanje:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (142)$$

Sila, ki vzdržuje harmonično nihanje:

$$F = -m\omega^2 x \quad (143)$$

Skupna energija harmoničnega nihanja:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 x_0^2 \quad (144)$$

Lastni nihajni čas težnega nihala:

$$t_o = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgd}} \quad (145)$$

d je razdalja od težišča do osi vrtenja, J pa vztrajnostni moment okoli te osi.

Lastni nihajni čas matematičnega nihala:

$$t_o = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (146)$$

l je dolžina vrvice.

Vzmetno nihalo:

$$t_o = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (147)$$

kjer je m nihajoča masa in k konstanta vijačne vzmeti.

20. Valovanje

Odmik opišemo z enačbo:

$$y = y_0 \sin(\omega t - kx) \quad (148)$$

Hitrost valovanja:

$$c = \nu \lambda \quad (149)$$

c je hitrost valovanja, ν frekvenca in λ valovna dolžina.

Hitrost transverzalnih valov na napeti struni ali vrvi:

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (150)$$

μ je masa na enoto dolžine.

Hitrost longitudinalnih valov v kapljevinah:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\chi \rho}} \quad (151)$$

Hitrost longitudinalnih valov v trdninah:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (152)$$

Hitrost longitudinalnih valov v plinih:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{R}{M} T} \quad (153)$$

Lom valovanja - lomni zakon:

$$c_2 \sin \alpha = c_1 \sin \beta \quad (154)$$

Interferenca valovanja (ojačitve):

$$d \sin \alpha_N = N\lambda \dots \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (155)$$

Interferenca valovanja (oslabitev):

$$d \sin \alpha_N = (2N + 1) \frac{\lambda}{2} \dots \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (156)$$

Gostota energijskega toka valovanja:

$$j = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 x_0^2 \quad (157)$$

Glasnost zvoka:

$$J = 10 \log \left(\frac{j}{j_0} \right) \quad (158)$$

Dopplerjev pojav (sprejemnik se giblje, oddajnik miruje):

$$\nu = \nu_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad (159)$$

Dopplerjev pojav (sprejemnik miruje, oddajnik se giblje):

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}} \quad (160)$$

Če se gibljeta spremnik in oddajnik, bo frekvenca, ki jo sliši spremnik:

$$\nu = \nu_0 \left[\frac{1 + \frac{v_1}{c}}{1 + \frac{v_2}{c}} \right] \quad (161)$$

21. *Električno nihanje in elektromagnetno valovanje

Lastna frekvenca nihajnega kroga:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (162)$$

Hitrost elektromagnetnih valov skozi snov:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (163)$$

za prazen prostor je $v = c$ - hitrost svetlobe skozi zrak oziroma vakuum.

Povprečna gostota energijskega toka elektromagnetnih valov:

$$\langle j \rangle = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \quad (164)$$

Moč, ki jo seva naboj kot izvor elektromagnetnega vala:

$$P = \mu_0 \frac{e^2 \omega^4}{12\pi c} x_0^2 \quad (165)$$

22. Svetloba - optika

Svetilnost:

$$I = \frac{dP}{d\Omega} \quad (166)$$

Prostorski kot $d\Omega$ je definiran: $\int d\Omega = 4\pi$.

Svetlost:

$$B = \frac{dP_{odd.}}{dS} \quad (167)$$

pri čemer je $dP_{odd.}$ oddani svetlobni tok za izotropno sevanje.

Osvetlenost:

$$E = \frac{dP_{vpad.}}{dS} \quad (168)$$

pri čem je $dP_{vpad.}$ vpadi svetlobni tok.

Lambertov zakon:

$$dI = BdS \cos \varphi \quad (169)$$

φ je kot med smerjo svetlobnih žarkov in ploskovno normalo.

Sevanje segretih teles - Stefanov zakon:

$$P = e\sigma ST^4 \quad (170)$$

σ je Stefanova konstanta in e emisivnost sevajoče površine.

Sevanje segretih teles - Wienov zakon:

$$T \cdot \lambda_{max} = k_w \quad (171)$$

k_w je Wienova konstanta.

Lomni količnik:

$$n = \frac{c}{v} \quad (172)$$

ker je za snov $v < c \Rightarrow n > 1$.

Lomni zakon za svetlobo zapišemo z lomnimi količniki:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (173)$$

Totalni odboj ($\beta = \frac{\pi}{2}$):

$$n_1 \cdot \sin \alpha_t = n_2 \quad (174)$$

Enačba krogelnega zrcala:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (175)$$

a je razdalja predmet-zrcalo, a' razdalja slika-zrcalo in f goriščna razdalja.

Linearna povečava zrcala:

$$N = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (176)$$

y je velikost predmeta in y' velikost slike predmeta.

Goriščna razdalja leče:

$$\frac{1}{f} = [\frac{n_1}{n_2} - 1] [\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}] \quad (177)$$

Enačba leče:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (178)$$

Povečava leče:

$$N = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (179)$$

Goriščna razdalja sestava dveh leč:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{l}{f_1 f_2} \quad (180)$$

l je razdalja med lečama

Povečava lupe:

$$N = \frac{s_n}{f} \quad (181)$$

s_n je normalna zorna razdalja ($\approx 25\text{cm}$).

Povečava teleskopa:

$$N = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad (182)$$

f_{ob} in f_{ok} sta goriščni razdalji objektiva in okularja.

Povečava mikroskopa:

$$N = \frac{l \cdot s_n}{f_{ob} f_{ok}} \quad (183)$$

l je v tem primeru razdalja med objektivom in okularjem.

Interferenčni maksimumi na uklonski mrežici:

$$d \sin \alpha_N = N\lambda \dots \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (184)$$

d je razdalja med režami.

Interferenčni minimumi pri uklonu svetlobe na reži:

$$a \sin \alpha_N = N\lambda \dots \quad N = 1, 2, 3, \dots \quad (185)$$

a je širina reže.

Interferenca na tanki plasti - ojačitve:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_N} = N\lambda \quad (186)$$

Interferenca na tanki plasti - oslabitve:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_N} = (2N + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (187)$$

zgornji enačbi veljata v primeru, če tanka plast leži na optično gostejši snovi in je nad njo optično redkejša snov, opazujemo pa v odbiti svetlobi.

Polarizacijski (Brewsterjev) kot:

$$n_1 \tan \alpha_B = n_2 \quad (188)$$

23. *Relativistična mehanika

Galilejeve transformacije

$$x = x' + v_{ox}t'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

Lorentzove transformacije

$$x = \gamma[x' + v_o t']$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = \gamma[t' + \frac{v_o}{c^2}x']$$

je $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ ter $\beta = \frac{v}{c}$.

Skrčenje dolžine:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (189)$$

Podaljšanje časa:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (190)$$

Relativistično seštevanje hitrosti:

$$v_x = \frac{v'_x + v_o}{1 + \frac{v_o v'_x}{c^2}} \quad (191)$$

Relativistična masa:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (192)$$

Relativistična gibalna količina:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (193)$$

Polna energija:

$$E = mc^2 \quad (194)$$

Relativistična kinetična energija:

$$E_k = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \quad (195)$$

Zveza med energijo in gibalno količino:

$$E = c \sqrt{p^2 + m_0 c^2} \quad (196)$$

24. *Kvantna mehanika in valovne lastnosti delcev

Energija fotona:

$$E = h\nu \quad (197)$$

h je Planckova konstanta.

Gibalna količina fotona:

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (198)$$

Izstopno delo:

$$A_i = h\nu_o \quad (199)$$

Comptonsko sisanje:

$$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\vartheta) \quad (200)$$

λ_c je Comptonska valovna dolžina in ϑ kot odklona fotona od prvotne smeri.

De Broglieva valovna dolžina:

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (201)$$

Načelo nedoločenosti - Heisenbergovo načelo:

$$\Delta p \cdot \Delta x \approx \hbar \quad (202)$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar \quad (203)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

25. *Atom in atomsko jedro

Pri prehodu med stacionarnimi stanji atom emitira ali absorbira foton:

$$E_n - E_k = h\nu \quad (204)$$

Valovna dolžina spektralnih črt H-atoma:

$$\frac{1}{\lambda} = R_y \left[\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad (205)$$

R_y je Rydbergova konstanta, k in n pa številke tirov.

Radius n-te Bohrove orbite:

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m_e e_0^2} n^2 \quad (206)$$

Hitrost elektrona na n-tem tiru:

$$v_n = \left[\frac{e_0^2}{2\varepsilon_0 h} \right] \frac{1}{n} Z^2 \quad (207)$$

Energija elektrona na n-tem tiru:

$$E_n = -\frac{m_0 e_0^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} Z^2 \quad (208)$$

Minimalna valovna dolžina rentgenskega sevanja:

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{e_0 U} \quad (209)$$

Odboj rentgenskih žarkov na kristalnih ravninah - Braggov pogoj:

$$2d \sin \vartheta_N = N\lambda \quad \dots \quad N = 1, 2, 3, \dots \quad (210)$$

ϑ je kot med ravnino kristala in vpadnim žarkom.

Radioaktivni razpad:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (211)$$

λ je razpadna konstanta.

Povprečni življenski čas radioaktivnih jeder:

$$\langle \tau \rangle = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \quad (212)$$

Aktivnost:

$$\mathcal{A} = \lambda N(t) \quad (213)$$

Masni defekt:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_j \quad (214)$$

m_p je masa protiona, m_n masa neutrona in m_j masa jedra atoma.

Reakcijska energija:

$$E = \left(\sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^k m_i \right) c^2 \quad (215)$$

$$W_p = -\frac{Z e^2}{4\pi \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$$

$$W_K = \frac{|W_p|}{2}$$

OSNOVNE FIZIKALNE IN NEKATERE ASTRONOMSKE KONSTANTE¹

$$N_A = 6.02217 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$$

$$u = 1.6605055 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$G = 6.6726 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

$$R = 8314.41 \frac{\text{J}}{\text{kmolK}}$$

$$k_B = 1.380662 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85418782 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

$$e_F = 9.648456 \cdot 10^7 \text{ As}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$h = 6.626176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$\lambda_c = 2.4263089 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$R_y = 1.097373177 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$e_0 = 1.6021892 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$m_0 = 9.109534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\sigma = 5.67032 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

$$k_w = 2.89782 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

$$m_p = 1.008665u$$

$$m_n = 1.007276u$$

$$M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_Z = 6.4 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\frac{R^3}{T^2} = 3.361 \cdot 10^{18} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2}$$

$$r_h = 1,4 \text{ fm}$$

$$680 \text{ } \textcircled{X}$$

¹Konstante je potrebno smiselnou zaokrožiti, kot to narekujejo pravila o zaokroževanju številskih izrazov, če to že ni storjeno.