# 1 KINEMATIKA HMOTNÉHO BODU

**Mechanický pohyb** je nejjednodušší forma pohybu, která nastává při přemísťování tělesa nebo jeho částí vzhledem k okolním tělesům. Kinematika dává odpověď na otázku: Jak se tělesa pohybují? Neodpovídá na otázku: Proč se tělesa pohybují?

**Hmotný bod** je myšlenkový model tělesa o stejné hmotnosti, jakou má těleso. Představujeme si ho umístěný v těžišti tělesa. Hmotným bodem nahrazujeme těleso, jehož rozměry a tvar jsou pro sledovaný pohyb nepodstatné.
Soustava těles, ke kterým vztahujeme pohyb nebo klid sledovaného tělesa, se nazývá **vztažná soustava**. Pohyb a klid těles je pouze relativní.
Polohu hmotného bodu určujeme pomocí soustavy souřadnic.
**Polohový vektor** $\vec{r}$ je vektor s počátkem v počátku soustavy souřadnic a s koncovým bodem umístěným v uvažovaném hmotném bodě.
**Trajektorie** hmotného bodu je souhrn všech poloh, kterými hmotný bod při pohybu prochází. Podle tvaru trajektorie rozlišujeme **pohyby přímočaré** a **pohyby křivočaré**.
**Dráha** $s$ hmotného bodu je délka trajektorie, kterou hmotný bod opíše za určitou dobu, $s = s(t)$.
**Průměrná rychlost** $v_p$ je skalár, který je definován podílem dráhy $s$ a doby $t$, za kterou hmotný bod tuto dráhu urazí.
**Okamžitá rychlost** $\vec{v}$ je vektor, který určujeme pomocí změny polohového vektoru hmotného bodu.

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}, \tag{1}$$

kde $\Delta t$ je velmi malé.
Pro velikost okamžité rychlosti platí

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \tag{2}$$

kde $\Delta t$ je velmi malé.
**Zrychlení** $\vec{a}$ je vektor, který se týká časové změny vektoru rychlosti, tj. změny velikosti i směru vektoru rychlosti.

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}, \tag{3}$$

kde $\Delta t$ je velmi malé.
Pro velikost zrychlení $a$ platí

$$a = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}, \tag{4}$$

kde $\Delta t$ je velmi malé.
U křivočarého pohybu je vhodné rozložit vektor okamžitého zrychlení $\vec{a}$ do dvou navzájem kolmých směrů. Vektor $\vec{a_t}$, který má směr tečny k trajektorii v daném bodě, se nazývá **tečné zrychlení**. Vektor $\vec{a_n}$, který má směr normály k trajektorii v daném bodě, se nazývá **normálové zrychlení**. Velikost tečného zrychlení $a_t$ vyjadřuje změnu velikosti rychlosti. Velikost normálového zrychlení $a_n$ vyjadřuje změnu směru rychlosti. Platí

$$\vec{a} = \vec{a_t} + \vec{a_n} \tag{5}$$

Pro velikost $a$ platí

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \tag{6}$$

**Podle tvaru trajektorie** rozlišujeme pohyby přímočaré a křivočaré, **podle časové změny velikosti rychlosti** pohyby rovnoměrné a nerovnoměrné.

**Ronoměrný přímočarý pohyb**
$\vec{v} =$ konst a platí

$$s = vt + s_0, \tag{7}$$

kde $s_0$ je počáteční dráha, kterou hmotný bod má již uraženu v čase $t_0$.

**Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb**
$\vec{a} = \vec{a_t} =$ konst, $\vec{a_n} = 0$ a platí

$$v = at + v_0, \tag{8}$$

kde $v_0$ je velikost počáteční rychlosti, kterou hmotný bod má v čase $t_0$. Pro dráhu platí

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0, \tag{9}$$

kde $s_0$ je počáteční dráha, kterou hmotný bod má již uraženu v čase $t_0$, a $v_0$ je velikost počáteční rychlosti, kterou hmotný bod má v čase $t_0$.

**Rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb**
$\vec{a}$ má opačný směr než počáteční rychlost $\vec{v_0}$. (Jedná se vlastně o rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb se záporným zrychlením.) Pro velikost rychlosti a dráhu platí

$$v = v_0 - at, \tag{10}$$

$$s = -\frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0, \tag{11}$$

**Rovnoměrný pohyb po kružnici**
je nejjednodušší křivočarý pohyb, trajektorie hmotného bodu je kružnice. $v =$ konst, $\vec{v} \neq$ konst (mění se směr rychlosti). Urazí-li hmotný bod za dobu $\Delta t$ po kružnici dráhu $\Delta s$, opíše jeho polohový vektor $\vec{r}$ středový úhel $\Delta\varphi$. Platí

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r}. \tag{12}$$

Pro velikost rychlosti platí

$$v = r\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \tag{13}$$

Úhlová rychlost je definována vztahem

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \tag{14}$$

a platí

$$v = r\omega. \tag{15}$$

Úhlová rychlost je při tomto pohybu konstantní.
**Perioda** $T$ je doba, za kterou hmotný bod oběhne celou kružnici. Počet oběhů hmotného bodu za sekundu se nazývá **frekvence** $f$. Platí vztahy

$$f = \frac{1}{T}, \tag{16}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}. \tag{17}$$

Pro středový úhel platí

$$\varphi = \omega t + \varphi_0, \tag{18}$$

kde $\varphi_0$ je úhel, který polohový vektor už opsal v čase $t_0$. Tečné zrychlení je nulové, ale normálové zrychlení není nulové, je konstantní a při tomto pohybu se nazývá **zrychlení dostředivé** $\vec{a_d}$. Pro velikost dostředivého zrychlení platí vztahy

$$a_d = \frac{v^2}{r}, \tag{19}$$

$$a_d = \omega^2 r. \tag{20}$$

# 2 DYNAMIKA HMOTNÉHO BODU

Dynamika odpovídá na otázku: Proč a za jakých podmínek se tělesa pohybují? **Interakce** je vzájemné působení těles, které nastává při vzájemném dotyku těles nebo prostřednictvím silových polí.

**Newtonovy zákony**

- 1. Zákon setrvačnosti
  Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno silovým působením jiných těles svůj pohybový stav změnit.
- 2. Zákon síly
  Velikost zrychlení $a$ tělesa je přímo úměrná velikosti výslednice sil $F$ působících na těleso a nepřímo úměrná hmotnosti $m$ tělesa.
  Platí tedy
  $$\vec{F} = m\vec{a} \tag{21}$$
- 3. Zákon akce a reakce
  Síly, kterými na sebe působí dvě tělesa jsou stejně velké, navzájem opačného směru a současně vznikají a zanikají.

**Hybnost** $\vec{p}$ tělesa je dána výrazem

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{22}$$

2. Newtonův pohybový zákon lze psát také ve tvaru

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}, \tag{23}$$

kde $\Delta t$ je velmi malé.

**Impulz síly** je dán $\vec{F}\Delta t$.

**Izolovaná soustava** je taková soustava, ve které je síla působící na těleso nulová (výslednice působících sil je nula). V izolované soustavě platí **zákon zachování hybnosti**.

$$\sum \vec{p}_i = \text{konst} \tag{24}$$

**Inerciální vztažná soustava** je soustava, ve které izolované těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.
Každá vztažná soustava, která je vzhledem k inerciální vztažné soustavě v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, je také inerciální.
**Neinerciální vztažná soustava** se vzhledem k inerciální vztažné soustavě pohybuje zrychleně, zpomaleně nebo se otáčí.

Při rovnoměrném pohybu po kružnici působí na těleso **dostředivá síla**

$$\vec{F}_d = m\vec{a}_d = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \tag{25}$$

**Setrvačná síla** působí v neinerciání vztažné soustavě a má opačný směr, než je zrychlení soustavy.

**Mechanická práce** je dána výrazem

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} \tag{26}$$

**Kinetická energie** hmotného bodu o hmotnosti $m$, který se pohybuje rychlostí o velikosti $v$ je dána vztahem

$$W_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{27}$$

Kinetickou energii mají tělesa, která se vzhledem k dané vztažné soustavě pohybují. Potenciální energie je skalární fyzikální veličina, která charakterizuje vzájemné silové působení těles.
**Tíhová potenciální energie** hmotného bodu o hmotnosti $m$ ve výšce $h$ nad povrchem Země je dána vztahem

$$W_p = mgh \tag{28}$$

V izolované soustavě platí **zákon zachování mechanické energie**, pokud síly, kterými tělesa na sebe vzájemně působí jsou konzervativní.

$$W = W_k + W_p \tag{29}$$

**Průměrný výkon** je dán výrazem

$$P_p = \frac{A}{t}, \tag{30}$$

kde $t$ je doba, za kterou se práce vykonala.
**Okamžitý výkon** je dán vztahem

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} \tag{31}$$

a platí

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} \tag{32}$$

**Účinnost** $\eta$ definujeme jako podíl výkonu $P$ a příkonu $P_0$

$$\eta = \frac{P}{P_0} \tag{33}$$

# 3 GRAVITAČNÍ POLE

**Newtonův gravitační zákon** říká, že dva hmotné body se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami $\vec{F}_g$, $-\vec{F}_g$ navzájem opačného směru. Velikost gravitační síly $F_g$ je přímo úměrná součinu hmotností $m_1$, $m_2$ hmotných bodů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdáleností $r$. Platí tedy

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}, \tag{34}$$

kde $\kappa$ se nazývá gravitační konstanta. Její hodnota je přibližně $6,67.10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$.

**Intenzita gravitačního** pole $\vec{K}$ je dána výrazem

$$\vec{K} = \frac{\vec{F}_g}{m} \tag{35}$$

. Pro velikost intenzity gravitačního pole vně (ve vzdálenost $r$) stejnorodé koule o hmotnosti $M$ a poloměru $R$ platí

$$K = \frac{\kappa M}{r^2}. \tag{36}$$

Pro intenzitu gravitačního pole Země ve výšce $h$ nad povrchem Země platí

$$K_h = \frac{\kappa M_Z}{(R_Z + h)^2}. \tag{37}$$

Intenzita gravitačního pole v daném místě pole se rovná gravitačnímu zrychlení $\vec{g}$, které v tomto bodě pole uděluje tělesu gravitační síla $\vec{K} = \vec{g}$.

**Tíhová síla** $\vec{F}_G$ je vektorovým součtem gravitační síly $\vec{F}_g$ a setrvačné odstředivé síly $\vec{F}_o$.

$$\vec{F}_G = \vec{F}_g + \vec{F}_o \tag{38}$$

Podle 2. Newtonova zákona platí

$$\vec{F}_G = m\vec{g}, \tag{39}$$

kde $\vec{g}$ je tíhové zrychlení.

**Pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země**

**Volný pád** je rovnoměrně zrychlený pohyb s nulovou počáteční rychlostí a s tíhovým zrychlením $\vec{g}$. Těleso padá z výšky $h$ a dopadne rychlostí $v_d$.

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \tag{40}$$

$$v_d = \sqrt{2gh} \tag{41}$$

**Vrh svislý vzhůru** je nejprve pohyb rovnoměrně zpomalený, po dosažení maximální výšky (výšky výstupu) se jedná o volný pád. Velikost okamžité rychlosti $v$ a okamžitá výška tělesa $y$ je dána vztahy

$$v = v_0 - gt, \tag{42}$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2. \tag{43}$$

Pro výšku výstupu platí

$$h = v_0 t_h - \frac{1}{2} g t_h^2 = \frac{v_0^2}{2g}, \tag{44}$$

kde $t_h$ je doba výstupu, pro kterou platí

$$t_h = \frac{v_0}{g} \tag{45}$$

**Vodorovný vrh** je složený pohyb. Ve směru vodorovném se Zemí (souřadnice $x$) jde o pohyb rovnoměrný přímočarý a ve směru kolmém k Zemi (souřadnice $y$) se jedná o volný pád. Zvolíme-li počátek souřadného místa v kolmém průmětu místa vrhu na Zem, dostáváme pro okamžité hodnoty souřadnic tělesa

$$x = v_0 t, \tag{46}$$

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2. \tag{47}$$

Délka vrhu $d$ je největší vzdálenost od místa vrhu je rovna

$$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}, \tag{48}$$

doba pohybu $t_d$ je rovna

$$t_d = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \tag{49}$$

kde $h$ je výška místa vrhu nad Zemí.

**Vrh šikmý vzhůru** koná těleso, jemuž udělíme počáteční rychlost $\vec{v}_0$ ve směru, který svírá s vodorovnou rovinou elevační úhel $\alpha$. Zvolíme-li počátek souřadného systému v místě vrhu, pak okamžité hodnoty souřadnic tělesa (zvolené stejně jako v případě vrhu vodorovného) jsou dány

$$x = v_0 t \cos\alpha, \tag{50}$$

$$y = v_0 t \sin\alpha - \frac{1}{2} g t^2. \tag{51}$$

Pro délku vrhu a dobu pohybu tělesa platí

$$d = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}, \tag{52}$$

$$t_d = \frac{2 v_0 \sin\alpha}{g}. \tag{53}$$

**Pohyby těles v centrálním gravitačním poli Země**

Rychlost tělesa, které se pohybuje kolem Země po kruhové dráze ve výšce $h$ nad Zemí je dána

$$v_k = \sqrt{\frac{\kappa M_Z}{R_Z + h}}. \tag{54}$$

Parabolická (úniková) rychlost tělesa v gravitačním poli Země je

$$v_p = \sqrt{\frac{2\kappa M_Z}{R_Z + h}} = v_k\sqrt{2}. \tag{55}$$

**Keplerovy zákony**

- 1. Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.
- 2. Obsahy ploch opsaných průvodičem planety jsou za jednotku času konstantní.
- 3. Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \tag{56}$$

Keplerovy zákony neplatí pouze pro planety obíhající kolem Slunce, ale také pro oběžnice planet a jiných vesmírných těles.

# 4 SOUSTAVA HMOTNÝCH BODŮ, TUHÉ TĚLESO

**Tuhé těleso** je ideální těleso, jehož tvar ani objem se účinkem libovolně velkých sil nemění. (Libovolné dva body tělesa mají konstantní vzdálenost.)
Při **translaci** (posuvném pohybu) je každá přímka pevně spojená s tělesem stále rovnoběžná se svou původní polohou. Všechny body tělesa opisují stejné trajektorie a mají v daném okamžiku stejnou rychlost $\vec{v}$.
Při **rotaci** (otáčivém pohybu) tělesa kolem nehybné osy mají všechny body tělesa v daném okamžiku stejnou úhlovou rychlost $\omega$.

**Moment síly vzhledem k ose otáčení**

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}, \tag{57}$$

kde $\vec{F}$ je působící síla a $\vec{r}$ polohový vektor od osy otáčení do působiště síly. Pro velikost momentu síly platí

$$M = Fr \sin \alpha = Md, \tag{58}$$

kde $\alpha$ je úhel mezi $\vec{r}$ a $\vec{F}$ a $d = r \sin \alpha$.
Výsledný moment sil současně působících na tuhé těleso se rovná vektorovému součtu momentů jednotlivých sil vzhledem k dané ose otáčení

$$\vec{M} = \sum \vec{M}_i \tag{59}$$

**Těžiště** tuhého tělesa je působiště tíhové síly působící na těleso v homogenním tíhovém poli.

**Podmínky rovnovážné polohy tuhého tělesa**
Podmínka rovnováhy sil

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i = 0 \tag{60}$$

Podmínka rovnováhy momentů sil

$$\vec{M} = \sum \vec{M}_i = 0 \tag{61}$$

Rovnovážné polohy tuhého tělesa jsou: stabilní, labilní, indiferentní.

**Smykové tření a valivý odpor**
Třecí síla $\vec{F}_t$ a síla valivého odporu $\vec{F}_v$ působí proti pohybu.

$$\vec{F}_t = f\vec{F}_N, \tag{62}$$

$$\vec{F}_v = \xi \frac{\vec{F}_N}{R}, \tag{63}$$

kde $f$ je součinitel smykového tření, $\xi$ je rameno valivého odporu, $F_N$ je velikost tlakové síly, kterou působí těleso na podložku, $R$ je poloměr oblého tělesa, které se valí po

podložce.

**Moment setrvačnosti** tělesa vzhledem k ose otáčení je skalární fyzikální veličina, která vyjadřuje rozložení látky v tělese vzhledem k ose otáčení. Pro soustavu hmotných bodů je definován vztahem

$$J = \sum m_i r_i^2, \tag{64}$$

kde $m_i$ jsou hmotnosti jednotlivých hmotných bodů a $r_i$ jsou jejich vzdálenosti od osy otáčení. Platí **Steinerova věta**

$$J = J_0 + md^2, \tag{65}$$

kde $J_0$ je moment setrvačnosti k ose procházející těžištěm a rovnoběžné s osou otáčení a $d$ je vzdálenost těchto dvou os.

**Kinetická energie tuhého tělesa** se sklásá z kinetické energie translačního pohybu $W_{kt}$ a z kinetické energie rotačního pohybu $W_{kr}$

$$W_k = W_{kt} + W_{kr} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2, \tag{66}$$

kde $v$ je velikost rychlosti pohybu těžiště tělesa.

# 5 MECHANIKA TEKUTIN

Tekutiny jsou kapaliny a plyny.
**Ideální kapalina** je dokonale tekutá, bez vnitřního tření, nestlačitelná.
**Ideální plyn** je dokonale tekutý, bez vnitřního tření, dokonale stlačitelný.
Tlak v kapalinách a plynech

$$p = \frac{F}{S}, \tag{67}$$

kde $F$ je velikost tlakové síly, která působí kolmo na rovinnou plochu kapaliny a $S$ je obsah této plochy.

**Pascalův zákon**
Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalné těleso v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný.
(Platí i pro plyny.)

**Hydrostatický tlak** v hloubce $h$ kapaliny

$$p_h = \rho h g, \tag{68}$$

kde $\rho$ je hustota kapaliny a $g$ tíhové zrychlení.

**Archimedův zákon**
Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořeného tělesa, nebo objem ponořené části tělesa.

**Proudění kapalin a plynů**
Převažuje-li pohyb kapalin nebo plynů v jednom směru, mluvíme o **proudění**. V proudící kapalině má každá částice určitou rychlost $\vec{v}$, jejíž velikost a směr se může měnit v závislosti na místě a čase. Je-li rychlost $\vec{v}$ částic procházejících libovolně zvoleným místem proudící tekutiny stálá, tj. nemění se s časem, jde o **ustálené** neboli **stacionární proudění**.
Proudnice je myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě má směr vektoru rychlosti $\vec{v}$. V případě stacionárního proudění je tvar proudnic po celou dobu pohybu tekutiny stejný a proudnice jsou shodné s trajektoriemi částic. Každým bodem proudící tekutiny prochází při ustáleném proudění jen jedna proudnice. (Proudnice se v tomto případě nemohou navzájem protínat.) Nejjednoduším případem je stacionární proudění ideální kapaliny.

**Objemový průtok** $Q_V$ je dán vztahem

$$Q_V = Sv, \tag{69}$$

kde $S$ je obsah průřezu trubice, kterou proudí kapalina, $v$ je velikost rychlosti kapaliny v daném místě trubice.

**Rovnice kontinuity** ideální kapaliny má tvar

$$Sv = \text{konst} \tag{70}$$

**Bernoulliho rovnice**

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h + p = \text{konst} \tag{71}$$

**Velikost rychlosti kapaliny vytékající otvorem** v nádobě ($h$ je hloubka, ve které otvor umístěn) je dána přibližně vztahem

$$v = \sqrt{2gh} \tag{72}$$

**Newtonův vztah** pro velikost odporové síly tělesa v tekutině o hustotě $\rho$ je dán výrazem

$$F = \frac{1}{2}C\rho S v^2, \tag{73}$$

kde $v$ je velikost relativní rychlosti tělesa, $S$ obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a $C$ součinitel odporu.
**Stockesův vztah** pro velikost odporové síly koule o poloměru $r$ v neomezeném prostředí (tekutině) pohybující se malou rychlostí o velikosti $v$ je dán výrazem

$$F = 6\pi\eta r v, \tag{74}$$

kde $\eta$ je dynamická viskozita tekutiny.

# 6 KMITÁNÍ A VLNĚNÍ

Charakteristickým rysem kmitání a vlnění je, že se veličiny, kterými kmitání a vlnění popisujeme, s časem mění a tyto změny jsou převážně periodické.
**Harmonický pohyb** je kmitavý pohyb, jehož časový diagram má podobu harmonické funkce.

Mezi **frekvencí** $f$, **periodou** $T$ a **úhlovou frekvencí** $\omega$ platí relace

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \tag{75}$$

**Kinematika kmitavého pohybu**
Pro **okamžitou výchylku** $y$ hmotného bodu platí

$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi_0), \tag{76}$$

kde $\varphi_0$ je **počáteční fáze** kmitání, $y_m$ je maximální výchylka (amplituda), $\omega$ je úhlová frekvence kmitání.
Pro **velikost okamžité rychlosti** $v$ platí

$$v = \omega y_m \cos(\omega t + \varphi_0), \tag{77}$$

Pro **velikost okamžitého zrychlení** $a$ platí

$$a = -\omega^2 y_m \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 y, \tag{78}$$

**Dynamika kmitavého pohybu**
Velikost síly, která způsobuje harmonické kmitání je dána výrazem

$$F = -ky, \tag{79}$$

kde znaménko - značí, že síla působí proti okamžité výchylce. (Síla vždy směřuje do rovnovážné polohy.) Veličina $k$ se nazývá **tuhost** pružiny. Vlastní kmitání mechanického oscilátoru probíhá s úhlovou frekvencí $\omega_0$, která závisí jen na parametrech oscilátoru

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{80}$$

a pro periodu a frekvenci pak platí

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{81}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{82}$$

**Matematické kyvadlo** je hmotný bod zavěšený na pevném vlákně zanedbatelné hmotnosti, jehož délka je $l$. Platí pro něj

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \tag{83}$$

**Mechanické vlnění** je děj, při nemž se kmitání šíří látkovým prostředím. Kmitání se šíří rychlostí $\vec{v}$.
Vlnová délka $\lambda$ je dána vztahem

$$\lambda = vT \tag{84}$$

**Příčné vlnění** je vlnění, při kterém je výchylka kolmá na směr šíření vlnění.
**Podélné vlnění** je vlnění, při kterém je výchylka rovnoběžná se směrem šíření vlnění.

Rovinnou vlnu šířící se ve směru osy $x$ lze popsat funkcí

$$u(x,t) = u_m \sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}), \tag{85}$$

kde $u(x,t)$ je výchylka v bodě $x$ v čase $t$, $u_m$ je maximální výchylka.
Existují i jiné zápisy rovnice vlnění, např.

$$u(x,t) = u_m \sin(\omega t - kx), \tag{86}$$

kde $k$ je vlnové číslo dané $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

# 7 ZÁKLADY MOLEKULOVÉ FYZIKY

**Relativní atomová hmotnost**

$$A_r = \frac{m_a}{m_u}, \tag{87}$$

kde $m_a$ je klidová hmotnost atomu a $m_u$ je atomová hmotnostní konstanta, která je rovna jedné dvanáctině klidové hmotnosti atomu nuklidu uhlíku ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$.

**Relativní molekulová hmotnost**

$$M_r = \frac{m_m}{m_u}, \tag{88}$$

kde $m_m$ je klidová hmotnost molekuly. Platí

$$M_r = \sum A_r(i) \tag{89}$$

**Avogadrova konstanta** $N_A$ je základní fyzikální konstanta, jejíž číselná hodnota udává:

- počet atomů v nuklidu uhlíku ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ o hmotnosti 0,012 kg
- počet částic v chemicky stejnorodém tělese o látkovém množství 1 mol

**Látkové množství**

$$n = \frac{N}{N_A}, \tag{90}$$

kde $N$ je počet částic tělesa.

**Molární hmotnost**

$$M_m = \frac{m}{n}, \tag{91}$$

kde $m$ je hmotnost tělesa.

**Molární objem**

$$V_m = \frac{V}{n}, \tag{92}$$

kde $V$ je objem tělesa.

**Normální molární objem** $V_{mn}$ je molární objem za normálních podmínek ($t = 0\,°\mathrm{C}$ a $p = 101,325\,\mathrm{kPa}$). Pro všechny plyny je $V_{mn} = 22,414 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}^3 \cdot \mathrm{mol}^{-1}$.

**Hustota částic** je dána vztahem

$$N_V = \frac{N}{V}. \tag{93}$$

**Střední kvadratická rychlost** molekul plynu je dána výrazem

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_m}} = \sqrt{\frac{3R_mT}{M_m}}, \tag{94}$$

kde $k$ je Boltzmannova konstanta a $R_m = kN_A$ je univerzální plynová konstanta.

**Hookův zákon**

Pro prodloužení při pružné deformaci tahem lze psát vztah

$$\Delta l = \frac{1}{E}\sigma l_0, \tag{95}$$

kde $l_0$ je původní délka tělesa, $E$ je modul pružnosti v tahu a $\sigma = \frac{F}{S}$ je napětí, $F$ je síla působící kolmo na plochu obsahu $S$ příčného řezu.

**Teplotní roztažnost pevných látek**

Závislost délky $l$ na teplotě je dána vztahem

$$l = l_0[1 + \alpha(t - t_0)], \tag{96}$$

kde $\alpha$ je teplotní součinitel délkové roztažnosti.
Pro objemovou teplotní roztažnost platí

$$V = V_0[1 + \beta(t - t_0)], \tag{97}$$

kde $\beta$ je teplotní součinitel objemové roztažnosti. Platí

$$\beta \doteq 3\alpha. \tag{98}$$

# 8 TERMODYNAMIKA

Celková energie soustavy

$$W = W_k + W_p + U, \tag{99}$$

kde $W_k$ je kinetická energie tělesa, $W_p$ potenciální energie a $U$ je **vnitřní energie**, která závisí pouze na stavu tělesa.

Změna vnitřní energie je možná

- pouze konáním práce
- pouze tepelnou výměnou
- konáním práce i tepelnou výměnou zároveň

**1. zákon termodynamiky**

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A, \tag{100}$$

kde $\Delta Q > 0$ je teplo dodané soustavě, $\Delta A > 0$ je práce soustavou vykonaná.

**Tepelná kapacita látky** je definována vztahem

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \tag{101}$$

kde $t$ je teplota ve °C, $T$ termodynamická teplota.
**Měrná tepelná kapacita látky** je definována vztahem

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}, \tag{102}$$

kde $m$ je hmotnost látky.
**Molární tepelná kapacita látky** je definována vztahem

$$C_m = \frac{\Delta Q}{n\Delta t} = \frac{\Delta Q}{n\Delta T}, \tag{103}$$

kde $n$ je látkové množství.
U plynu je třeba rozlišovat tepelnou kapacitu při konstantním objemu $C_V$ a tepelnou kapacitu při konstantním tlaku $C_p$, $C_p > C_V$ (totéž platí pro měrné tepelné kapacity a molární tepelné kapacity).

**Ideální plyn**
**Stavová rovnice ideálního plynu** (některá možná vyjádření)

$$pV = NkT \tag{104}$$

$$pV = nR_mT \tag{105}$$

$$pV_m = R_mT \tag{106}$$

$$\frac{pV}{T} = \text{konst} \tag{107}$$

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \tag{108}$$

**Izotermický děj** (Boylův-Mariottův zákon), $T = \text{konst}$

$$pV = \text{konst} \tag{109}$$

Platí: $\Delta U = 0, \Delta Q = \Delta A$.

**Izochorický děj** (Charlesův zákon), $V = \text{konst}$

$$\frac{p}{T} = \text{konst} \tag{110}$$

Platí: $\Delta A = 0, \Delta Q = \Delta U$.

**Izobarický děj** (Gay-Lussacův zákon), $p = \text{konst}$

$$\frac{V}{T} = \text{konst} \tag{111}$$

Platí: $\Delta A = p\Delta V, \Delta Q = \Delta U + \Delta A$.

**Adiabatický děj**, $\Delta Q = 0$

$$pV^{\kappa} = \text{konst}, \tag{112}$$

kde $\kappa = \frac{c_p}{c_V}$.

**Účinnost** tepelného stroje je dána výrazem

$$\eta = \frac{\Delta A}{\Delta Q_1} = \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2'}{\Delta Q_1} = 1 - \frac{\Delta Q_2'}{\Delta Q_1} < 1, \tag{113}$$

kde $\Delta Q_1$ je teplo přijaté od ohřívače, $\Delta Q_2'$ je teplo odevzdané chladiči.

**Skupenské teplo tání** $L_t$ je teplo, které přijme pevné těleso, aby se změnilo na kapalinu téže teploty.
**Měrné skupenské teplo tání** je dáno vztahem

$$l_t = \frac{L_t}{m}. \tag{114}$$

**Skupenské teplo vypařování** $L_v$ je teplo, které přijme kapalina, aby se změnila na páru téže teploty.
**Měrné skupenské teplo vypařování** je dáno vztahem

$$l_v = \frac{L_v}{m}. \tag{115}$$

# 9 ELEKTRICKÉ POLE

**Coulombův zákon**
Dva bodové elektrické náboje v klidu se navzájem přitahují nebo odpuzují stejně velkými elektrickými silami $\vec{F}_e$, $-\vec{F}_e$ opačného směru. Velikost elektrické síly $F_e$ je přímo úměrná absolutní hodnotě součinu nábojů $Q_1$, $Q_2$ a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti $r$.

$$F_e = k\frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}, \tag{116}$$

kde konstanta úměrnosti $k$ je dána vztahem

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}, \tag{117}$$

ve kterém $\varepsilon_0 = 8,854.10^{-12}\mathrm{C}^2.\mathrm{m}^{-2}.\mathrm{N}^{-1}$ je **elektrická konstanta** (permitivita vakua) a $\varepsilon_r$ je **relativní permitivita prostředí**.
Intenzita elektrického pole $\vec{E}$ v daném místě pole je definována jako podíl síly $\vec{F}_e$, která působí na kladný bodový náboj $Q$, a velikosti tohoto náboje $Q$.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q} \tag{118}$$

Velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti $r$ od bodového náboje $Q$ je dána výrazem

$$E = k\frac{|Q|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\frac{|Q|}{r^2}. \tag{119}$$

**Elektrická siločára** je myšlená čára, jejíž tečna určuje v každém místě pole směr jeho intenzity $\vec{E}$.

**Elektrický potenciál** $\varphi_A$v bodě A elektrického pole v okolí náboje $Q$ se definuje jako podíl práce A, kterou vykonají síly elektrického pole při přemísťování kladného bodového náboje $Q_0$ z bodu A do místa nulové intenzity, a tohoto náboje $Q_0$, tedy

$$\varphi_A = \frac{A}{Q_0}. \tag{120}$$

Elektrický potenciál ve vzdálenosti $r$ od bodového náboje $Q$ nebo od středu kulové plochy, na které je náboj $Q$ rovnoměrně rozmístěn ($r$ je větší než je poloměr plochy), je dán výrazem

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\frac{Q}{r}. \tag{121}$$

**Elektrické napětí** se definuje jako rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma body elektrického pole

$$U = \varphi_A - \varphi_B. \tag{122}$$

Pro homogenní elektrické pole platí

$$U = Ed. \tag{123}$$

**Plošná hustota elektrického náboje** je definována pomocí vztahu

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \tag{124}$$

kde $S$ je plocha, na které je náboj rovnoměrně rozložen. Pro každý vodič ve vakuu platí vztah

$$|\sigma| = \varepsilon_0 E, \tag{125}$$

kde $E$ je velikost intenzity elektrického pole u vnějšího povrchu vodiče.

Vložíme-li do elektrického pole **izolant** (dielektrikum) dojde k polarizaci dielektrika. Tím v dielektriku vzniká elektrické pole o intenzitě $\vec{E}_i$ opačného směru, než je intenzita vnějšího pole $\vec{E}$. Intenzita $\vec{E}_v$ výsledného pole má směr intenzity vnějšího pole $\vec{E}$ a velikost

$$E_v = E - E_i. \tag{126}$$

**Relativní permitivita prostředí** je dána výrazem

$$\varepsilon_r = \frac{E}{E_v}. \tag{127}$$

**Kapacita vodiče** je definována vztahem

$$C = \frac{Q}{\varphi},\ C = \frac{Q}{U}. \tag{128}$$

Pro kapacitu deskového kondenzátoru o relativní permitivitě $\varepsilon_r$ platí vztah

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, \tag{129}$$

kde $S$ je obsah účinné plochy desek, $d$ je vzdálenost desek.
**Paralelní zapojení kondenzátorů**

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_n, \tag{130}$$

**sériové zapojení kondenzátorů**

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n}. \tag{131}$$

Energie elektrického pole v kondenzátoru je dána vztahem

$$W_e = \frac{1}{2} C U^2. \tag{132}$$

**Elektrický proud** je uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem a je definován vztahem

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{133}$$

Pro kovový vodič platí **Ohmův zákon**

$$U = RI, \tag{134}$$

kde $R$ je **elektrický odpor** vodiče. **Elektrická vodivost** je veličina, která souvisí s elektrickým odporem vztahem

$$G = \frac{1}{R}. \tag{135}$$

Odpor vodiče závisí na délce vodiče $l$ a na průřezu vodiče $S$ vztahem

$$R = \rho \frac{l}{S}, \tag{136}$$

kde $\rho$ je **rezistivita** látky, z níž je vodič vyroben. Převrácená hodnota rezistivity se nazývá **konduktivita** (měrná elektrická vodivost). Elektrický odpor závisí na teplotě vztahem

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t),\ R = R_0(1 + \alpha\Delta T), \tag{137}$$

kde $R_0$ je elektrický odpor při teplotě $t_0$ ($T_0$) a $R$ je odpor při teplotě $t$ ($T$), $\Delta t = t - t_0$ ($\Delta T = T - T_0$), $\alpha$ je **teplotní součinitel elektrického odporu**.

**Kirchhoffovy zákony**

- 1. Algebraický součet proudů v uzlu se rovná nule.

$$\sum I_k = 0 \tag{138}$$

- 2. Součet napětí na rezistorech je v uzavřené smyčce roven součtu elektromotorických napětí zdrojů zapojených ve smyčce.

$$\sum R_k I_k = \sum U_{ej} \tag{139}$$

**Sériové zapojení rezistorů**

- 1. Celkový odpor $R$ soustavy rezistorů zapojených sériově se rovná součtu odporů jednotlivých rezistorů:

$$R = \sum R_k \tag{140}$$

- 2. Celkové napětí na soustavě rezistorů se rovná součtu napětí na jednotlivých rezistorech.
- 3. Celkový odpor je vždy větší než odpor libovolného zapojeného rezistoru.
- 4. Celkové napětí se rozdělí na jednotlivé rezistory v přímém poměru k jejich odporům:

$$U : U_1 : U_2 : ... : U_n = R : R_1 : R_2 : ... : R_n \tag{141}$$

**Paralelní zapojení rezistorů**

- 1. Převrácená hodnota výsledného odporu $R$ paralelně zapojených rezistorů se rovná součtu převrácených hodnot odporů jednotlivých rezistorů:

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_k} \tag{142}$$

- 2. Proudy se ve větvích rozdělí v obráceném poměru k jejich odporům:

$$I : I_1 : I_2 : ... : I_n = \frac{1}{R} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : ... : \frac{1}{R_n} \tag{143}$$

- 3. Výsledný odpor je vždy menší než odpor libovolného zapojeného rezistoru.
- 4. Výsledný odpor $R$ paralelně zapojených rezistorů se stejným odporem $R_1$ je n-tým dílem jednoho z nich, tedy

$$R = \sum \frac{R_1}{n} \tag{144}$$

Měřicí rozsah ampérmetru změníme připojením bočníku. Je to rezistor paralelně připojený k měřicímu přístroji. Chceme-li např. $n$-krát zvětšit měřicích rozsah ampérmetru s vnitřním odporem $R_A$, musíme připojit bočník o odporu $R_b$, pro který platí vztah

$$R_b = \frac{R_A}{n-1}. \tag{145}$$

Měřicí rozsah voltmetru měníme připojením předřadného rezistoru (předřadníku). Je to rezistor zapojený do série s měřicím přístrojem. Chceme-li např. $n$-krát zvětšit měřicích rozsah voltmetru s vnitřním odporem $R_V$, musíme připojit předřadný rezistor o odporu $R_p$, pro který platí vztah

$$R_p = (n-1)R_V. \tag{146}$$

Jestliže se ve spotřebiči za dobu $t$ přemístí částice s celkovým nábojem $Q$, vykonají síly elektrického pole práci

$$A = UQ. \tag{147}$$

Pokud obvodem prochází konstantní proud $I$, dostáváme pro práci vztahy

$$A = UIt = RI^2t = \frac{U^2}{R}t. \tag{148}$$

Výkon elektrického proudu ve spotřebiči o odporu $R$ vypočítáme ze vztahů

$$P = \frac{A}{t} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}. \tag{149}$$

**Elektrický proud v kapalinách**

Počet vyloučených molekul je

$$N = \frac{Q}{ze}, \tag{150}$$

celková vyloučená hmotnost látky

$$m = \frac{M_m}{N_A ze}Q = \frac{M_m}{Fz}Q = \frac{M_m}{Fz}It, \tag{151}$$

veličina $F = N_A e = 9,6487.10^4 \mathrm{C.mol}^{-1}$ je **Faradyova konstanta**

**Faradayovy zákony**

- 1.
$$m = AIt, \tag{152}$$
kde $A$ je elektrochemický ekvivalent

- 2.
$$A = \frac{M_m}{Fz} \tag{153}$$

# 10 MAGNETICKÉ A ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

**Magnetické pole**
**Magnetické indukční čáry** jsou prostorově orientované křivky, jejichž tečny v daném bodě mají směr podélné osy velmi malé magnetky umístěné v tomto bodě. Směr od jižního k severnímu pólu magnetky určuje orientaci magnetické indukční čáry. Magnetické indukční čáry jsou vždy uzavřené křivky (magnetické pole je vírové).
Síla, která působí na vodič délky $l$ protékaný proudem $I$, který je umístěn v magnetickém poli o magnetické indukci $\vec{B}$, je dána vztahem

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}, \tag{154}$$

pro velikost síly platí

$$F = BIl \sin \alpha, \tag{155}$$

kde $\alpha$ je úhel, který svírá vodič s vektorem magnetické indukce. Z posledního výrazu, lze naopak určit velikost magnetického pole, které působí na vodič

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha}. \tag{156}$$

Velikost magnetické indukce pole vytvořeného nekonečně dlouhým přímým vodičem ve vzdálenosti $d$ od vodiče lze určit podle vztahu

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}, \tag{157}$$

kde $\mu = \mu_0 \mu_r$ je **permeabilita prostředí**, $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\mathrm{N.A}^{-2}$ je **magnetická konstanta** (permeabilita vakua) a $\mu_r$ je **relativní permeabilita**.
Velikost magnetické indukce ve středu kruhového závitu o poloměru $r$ je dána vztahem

$$B = \frac{\mu I}{2r}. \tag{158}$$

Velikost magnetické indukce homogenního magnetického pole vytvořeného uvnitř solenoidu je dána vztahem

$$B = \frac{\mu N I}{l}, \tag{159}$$

kde $N$ je počet závitů solenoidu a $l$ je délka solenoidu.
Mezi intenzitou magnetického pole $\vec{H}$ a vektorem magnetické indukce $\vec{B}$ platí vztah

$$B = \mu \vec{H}. \tag{160}$$

Velikost síly, která působí mezi dvěma vodiči, které jsou ve vzdálenosti $d$ od sebe, je možné vypočítat ze vztahu

$$F = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l. \tag{161}$$

Na nabitou částici v magnetickém poli působí síla

$$\vec{F} = Q\vec{v} \times \vec{B}, \tag{162}$$

kde $\vec{v}$ je rychlost částice a $Q$ je její náboj. Pokud je rychlost částice kolmá na vektor magnetického pole a magnetické pole je homogenní, je trajektorií částice kružnice o poloměru

$$r = \frac{mv}{QB}. \tag{163}$$

**Magnetický indukční tok** plochou o obsahu $S$ je v homogenním magnetickém poli definován vztahem

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha, \tag{164}$$

kde $\alpha$ je úhel mezi normálou plochy a vektorem magnetické indukce.
**Faradayův zákon elektromagnetické indukce**

$$U_e = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \tag{165}$$

Vlastní magnetické pole, např. cívky s proudem, vytváří magnetický indukční tok, který prochází závity cívky. Jestliže cívka je v prostředí s konstantní permeabilitou, je tento indukční tok přímo úměrný proudu v cívce

$$\Phi = LI. \tag{166}$$

Konstanta úměrnosti $L$ se nazývá **vlastní indukčnost cívky**. Z tohoto vztahu plyne

$$U_e = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}. \tag{167}$$

Pro cívku délky $l$ s $N$ závity, průřez jednoho závitu je $S$ platí

$$L = \mu \frac{N^2 S}{l}. \tag{168}$$

Pro energii magnetického pole cívky, která nemá feromagnetické jádro platí vztah

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2. \tag{169}$$

**Elektromagnetické pole**
Na nabitou částici v elektromagnetickém poli působí **Lorentzova síla**

$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}). \tag{170}$$

**Střídavé napětí, střídavý proud**:

$$u = U_m \sin \omega t, \tag{171}$$

$$i = I_m \sin \omega t, \tag{172}$$

$$I_m = \frac{U_m}{R}, \tag{173}$$

kde $U_m$, $I_m$ jsou **maximální hodnoty napětí a proudu**.

Obvod LC sériový:

$$\omega^2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \tag{174}$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \tag{175}$$

**Výkon střídavého proudu** v obvodě, který má jen odpor, je dán výrazem

$$P = U_f I_f = \frac{1}{2} I_m^2 R, \tag{176}$$

kde $U_f$ a $I_f$ jsou **efektivní hodnoty napětí a proudu**. Platí

$$U_f = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \; I_f = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \tag{177}$$

Ve střídavém obvodě, který má mimo rezistoru také kondenzátor a cívku, nás zajímá **činný výkon střídavého proudu**. Je dán vztahem

$$P = U_f I_f \cos\varphi, \tag{178}$$

kde $\varphi$ je fázový rozdíl mezi napětím a proudem v obvodu.

**Transformátor**:

Pro poměr efektivních hodnot indukovaných napětí platí rovnice transformátoru

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k, \tag{179}$$

kde $k$ se nazývá transformační poměr transformátoru. Pro proudy platí

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}. \tag{180}$$

# 11 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ, OPTIKA

**Elektromagnetické vlnění** je vlnění příčné
Rychlost elektromagnetického vlnění ve vakuu je dána vztahem

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}, \tag{181}$$

rychlost elektromagnetického vlnění v nějakém prostředí má tvar

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r}}. \tag{182}$$

**Optika**

**Absolutní index lomu** je definován výrazem

$$n = \frac{c}{v}. \tag{183}$$

**Snellův zákon lomu** má tvar

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \tag{184}$$

kde $n_1$ je index lomu (absolutní) prvního prostředí, $n_2$ je index lomu (absolutní) druhého prostředí, $\alpha$ je úhel dopadu, $\beta$ je úhel lomu.
**Relativní index lomu** je dán výrazem

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \tag{185}$$

**Optické zobrazení**

**Kulové zrcadlo**: **zobrazovací rovnice**

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}, \tag{186}$$

kde $x$ je předmětová vzdálenost, $x'$ je obrazová vzdálenost, $f$ je ohnisková vzdálenost (platí $f = \frac{r}{2}$, kde $x$ je poloměr zrcadla). Veličiny $x$, $x'$, $f$ jsou kladné, pokud je předmět, obraz, ohnisko F před zrcadlem. V opačném případě jsou záporné.
Zvětšení je dáno vztahy

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{x'}{x} = -\frac{x' - f}{f} = -\frac{f}{x - f}, \tag{187}$$

kde $y$, $y'$ je velikost předmětu, obrazu.
**Čočky**: **zobrazovací rovnice**

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}, \tag{188}$$

$x > 0$ předmět je umístěn před čočkou, $x < 0$ předmět je umístěn za čočkou, $x' > 0$ obraz je umístěn za čočkou, $x' < 0$ obraz je umístěn před čočkou, $f > 0$ jedná se o spojku, $f < 0$ jedná se o rozptylku.
Zvětšení je dáno vztahy

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{x'}{x} = -\frac{x' - f}{f} = -\frac{f}{x - f}. \tag{189}$$

**Optická mohutnost**je definována výrazem

$$D = \frac{1}{f}. \tag{190}$$

**Lupa**: pokud se používá na zvětšování, umísťujeme předmět do ohniska. Pro zvětšení pak platí

$$Z = \frac{d}{x} \doteq \frac{d}{f}, \tag{191}$$

kde $d = 25cm$, což je optimální vzdálenost předmětu od oka.
Zvětšení **mikroskopu** je dáno vztahem

$$Z \doteq \frac{\Delta}{f_1}\frac{d}{f_2}, \tag{192}$$

kde $f_1$ je ohnisková vzdálenost objektivu a $f_2$ je ohnisková vzdálenost okuláru, $\Delta$ je optický interval (vzdálenost obrazového ohniska objektivu od předmětového ohniska okuláru = 16 cm), $d$ má stejný význam jako u lupy.
Zvětšení **dalekohledu** je dáno vztahem

$$Z \doteq \frac{f_1}{f_2}, \tag{193}$$

kde $f_1$ je ohnisková vzdálenost objektivu a $f_2$ je ohnisková vzdálenost okuláru.

**Fotometrie**

**Zářivý tok** je dán vztahem

$$\Phi_e = \frac{\Delta Q_e}{\Delta t}, \tag{194}$$

kde $Q_e$ je zářivá energie.
**Intenzita vyzařování** je dána vztahem

$$M_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta S}, \tag{195}$$

kde $\Delta S$ je je plocha, ze které se vyzařuje.
**Intenzita ozařování** je dána vztahem

$$E_e = \frac{\Delta \Phi_e}{\Delta S}, \tag{196}$$

kde $\Delta S$ je je plocha, která se ozařuje.
**Světelný tok** je dán vztahem

$$\Phi = \frac{\Delta E_s}{\Delta t}, \tag{197}$$

kde $E_s$ je světelná energie, která projde danou plochou v okolí přibližně bodového zdroje za dobu $\Delta t$.
Vyzařuje-li přibližně bodový zdroj světelný tok $\Delta\Phi$ do prostorového úhlu $\Delta\Omega$, je **svítivost** definovaná vztahem

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}. \tag{198}$$

**Osvětlení** je dáno vztahem

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}, \tag{199}$$

kde $\Delta S$ je osvětlená plocha. Platí

$$E = \frac{I\cos\alpha}{r^2}, \tag{200}$$

kde $r$ je vzdálenost plochy od bodového zdroje, $\alpha$ je úhel mezi vektorem plochy $S$ a dopadajícími paprsky.

# 12 ATOMOVÁ A JADERNÁ FYZIKA

Vyzařování $M_e$ (energie vyzářená z jednotkové plochy za jednotku času) absolutně černého tělesa se řídí **Stefanovým-Boltzmannovým zákonem**

$$M_e = \sigma T^4, \tag{201}$$

kde $T$ je teplota tělesa a $\sigma$ je Stefanova-Boltzmannova konstanta.
Energie se vyzařuje v kvantech

$$E = hf = \hbar\omega, \tag{202}$$

kde $h = 6,626.10^{-34}$J.s je Planckova konstanta a $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ a $f$ je frekvence záření.
**Wienův posunovací zákon** zní

$$\lambda_{max} T = b, \tag{203}$$

kde $b$ je Wienova konstanta.

Pro vnější **fotoelektrický jev** platí Einsteinova rovnice

$$hf = \Phi + \frac{1}{2} m_e v^2, \tag{204}$$

kde $\Phi$ je výstupní práce elektronu a $\frac{1}{2} m_e v^2$ je kinetická energie uvolněného elektronu.

**Foton**: jeho energie je dána vztahem

$$E = hf = \hbar\omega = \frac{hc}{\lambda}, \tag{205}$$

jeho hybnost je určena výrazem

$$\vec{p} = \hbar\vec{k}, \tag{206}$$

kde $\vec{k}$ je vlnový vektor elektromagnetické vlny, velikost hybnosti určíme ze vztahu

$$p = \frac{h}{\lambda}, \tag{207}$$

kde $\lambda$ je vlnová délka elektromagnetické vlny.

**Spektrum vodíku**:
Balmerův-Rydbergův vztah pro výpočet vlnočtu $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ elektromagnetického vlnění jednotlivých spektrálních čar má tvar

$$\sigma = R(\frac{1}{s^2} - \frac{1}{n^2}), \tag{208}$$

kde $s \epsilon N$ je hladina, na kterou elektron dopadá, $n \epsilon N$ je hladina, ze které elektron skáče, $n > s$, $R \doteq 1,1.10^7 \mathrm{m}^{-1}$ je Rydbergova konstanta.

**Radioaktivita**
**Přeměnový zákon** má tvar

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \tag{209}$$

kde $N_0$ je počet částic na začátku, $N$ počet nerozpadlých částic po čase $t$, $\lambda$ přeměnová konstanta. Poločas přeměny $T_{1/2}$ je doba, za kterou se rozpadne polovina částic. Mezi přeměnovou konstantou a poločasem přeměny platí vztah

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \tag{210}$$

**Rozpad** $\alpha$:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \tag{211}$$

**Rozpad** $\beta^-$:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + ^{0}_{-1}\mathrm{e} + \tilde{\nu} \tag{212}$$

**Rozpad** $\beta^+$:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + ^{0}_{1}\mathrm{e} + \nu \tag{213}$$