Část I
Fyzika

1 Popis časového vývoje fyzikální soustavy

popis stavu částice a soustavy částic v klasické mechanice, základní pohybové zákony klasické mechaniky

1.1 Stav

Stav je určen stavovými veličinami, ty musíme znát k tomu, abychom mohli určit veličiny ostatní. V klasické mechanice je stav popsán polohou $\vec{r}$ a hybností $\vec{p}$. Pohybovou rovnicí je druhý Newtonův zákon **??**. Dále klasická mechanika předpokádá, že všechny veličiny lze přesně změřit. Také je ze znalosti okamžitého stavu možné určit stav budoucí i minulý. Základem jsou Newtonovy pohybové zákony:

1. Zákon setrvačnosti: každé těleso setrvává v klidu, nebo v pobybu rovnoměrném přímočarém, není-li nuceno vnějšími silami tento stav změnit.
2. Zákon síly: časová změna hybnosti hmotného bodu je přímo úměrná síle, která na něj působí
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \tag{1}$$
3. Zákon akce a reakce: působí-li jedno těleso na druhé silou, působí druhé na první silou stejně velkou, ale opačně orientovanou. Tyto síly současně vznikají i zanikají. (Tyto síly nelze sčítat, prtože působí na různá tělesa!)

Působí-li na jedno těleso více sil, uděluje mu každá zrychlení, jako by ostatní síly nepůsobily. Výslednici sil působících na těleso získáme jejich vektorovým součtem.

1.2 Gravitační pole

Gravitační pole je popsáno Newtonovým gravitačním zákonem
$$\vec{F_g} = -\kappa\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r}, \tag{2}$$
kde $\vec{r_0}$ je vektor od prvního tělesa k druhému a κ=6,67.10^11Nm^{2}kg^{-2} je gravitační konstanta. Gravitační síly, kterými na sebe tělesa působí jsou přitažlivé, mají stejnou velikost a opačný směr. Platí zde princip superpozice, tedy $\vec{F} = \sum \vec{F_i}$.

1.2.1 Slupkový teorém

Homogenní hmotná slupka přitahuje tělesa ležící vně stejně, jako kdyby veškerá hmota slupky byla soustředěna v jejím středu, naopak nepůsobí žádnou silou na částice ležící uvnitř.

1.3 Elektromagnetické pole

Analogií Newtonova gravitačního zákona je Coulombův zákon pro elektrickou sílu:

$$\vec{F}_e = -k\frac{|Q_1||Q_2|}{r^3}\vec{r}, \tag{3}$$

kde $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, ε_0=8,85.$10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2}$ je permitivita vakua. Podobně jako v případě gravitační síly opět platí princip superpozice, platí i slupkový teorém. Elektrické pole popisuje elektrická intenzita:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}, \tag{4}$$

tedy síla vztažená na testovací (kladný) náboj. Má směr jako působící síla. Dále zavádíme veličinu napětí, která odpovídá změně potenciální energie částice při pohybu el. polem, tedy práci vykonané elektrickou silou:

$$U = \Delta E_p = W = \int \vec{F}d\vec{s}. \tag{5}$$

Maxwellovy rovnice:

- elektrické pole je zřídlové a zdrojem elektrického pole je elektrický náboj (Gaussův zákon pro el. pole):

$$div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \oint \vec{E}d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{6}$$

- magnetické pole je nezřídlové (Gaussův zákon pro mag. pole):

$$div\vec{B} = 0 \qquad \oint \vec{B}d\vec{s} = 0 \tag{7}$$

- Faradayův zákon elektromagnetické indukce:

$$rot\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \qquad \oint \vec{E}d\vec{S} = -\frac{d\varphi_B}{dt} \tag{8}$$

- Ampérův-Maxwellův zákon:

$$rot\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \qquad \oint \vec{B}d\vec{r} = \mu_0 J\frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t}\oint \vec{E}d\vec{S} \tag{9}$$

2 Popis fyzikálního systému v různých vztažných soustavách

2.1 Vliv volby vztažné soustavy na popis pohybu částice

Mechanickou soustavu vždy studujeme v nějaké vztažné soustavě, vůči níž měříme například polohu v závislosti na čase. Při zkoumání pohybu částice velmi záleží na tom, jakou soustavu použijeme. V případě volné částice lze vždycky najít takovou soustavu, že čas se jeví jako homogenní, prostor jako homogenní a izotropní. Takovou soustavu nazýváme inerciální. Pokud je vůči ní částice v klidu v nějakém okamžiku, bude v klidu stále. Jakákoli jiná soustava, která je v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, vůči ní, je také inerciální - existuje nekonečně mnoho inerciálních soustav. Zákony klasické mechaniky jsou v nich stejně - Galileho princip relativity

Pokud budeme uvažovat soustavu S', která se vůči inerciální soustavě S pohybuje rovnoměrně zrychleně, bude tato soustava neinerciální:

$$x' = x - \frac{1}{2}at^2; \quad v'_x = v_x - at; \quad a'_x = a_x - a; \quad F'_x = F_x - am$$

Pro setrvačné síly neplatí Newtonovy pohybové zákony, protože mají svůj původ ve zrychleném pohybu soustavy.

2.2 invariantní veličiny

Mají stejnou velikost ve všech inerciálních vztažných soustavách. Invariantní je:

- délka
- zrychlení $\vec{a}$
- hmotnost m
- síla $\vec{F}$

naopak invariantní není:

- rychlost $\vec{v}$
- kinetická energie E_k

2.3 Relativistická mechanika, princip stálé rychlosti světla, Lorentzova transformace, základní zákony relativistické mechaniky

2.3.1 Rychlost světla

Rychlost světla se pokusil změřit Galilio Galilei z doby návratu světla z luceren umístěných daleko od sebe. První přibližné změření Römer pomocí pozorování jednoho z Jupiterových měsíců. Pozemní měření v roce 1849 Fizeau - experiment s ozubeným kolem. Michalson později prokázal, že rychlost světla nesplňuje obvyklé skládání rychlostí. Toto zobecnil Einstein a dospěl tak k principu stálé rychlosti světla:

Rychlost světla ve vakuu je ve všech inerciálních vztažných soustavách stejná.

2.3.2 Lorentzova transformace

Princip stálé rychlosti světla neodpovídá klasickému převodu souřadnic. Galileiho transformaci je třeba zobecnit. Zobecněná transformace se nazývá Lorentzova:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

, kde $\beta = \frac{v}{c}$.

2.3.3 Kontrakce délek a dilatace času

Z Lorentzovy transformace plyne konstrakce délek:

$$x_1 - x_2 = (x_1' - x_2')\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

a dilatace času:

$$dt = \frac{dt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Jak dilatace času, tak kontrakce délek se projevují jen v případě, že měříme délku/čas v soustavě, jež se vzhledem k měřenému objektu pohybuje.

2.3.4 Einsteinův vzorec pro skládání rychlostí

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}},$$

kde u je rychlost v S, u' rychlost v S', v je vzájemná rychlost S a S'.

2.3.5 Nárůst hmotnosti

Rovnice $\Delta E = c^2 \Delta m$ nám říká, že zvýšení E_k je provázeno zvětšením m, přičemž

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

.

2.3.6 Základní zákonitosti

Základem relativistické mechaniky jsou tedy dva Einsteinovy postuláty:

- Mechanické, optické a elektromagnetické jevy probíhají ve všech inerciálních vztažných soustavách podle stejných zákonů
- Rychlost světla ve vakuu je nezávislá na rychlosti zdroje i na pohybu pozorovatele a je ve všech inerciálních vztažných soustavách stejná

2.4 Klasická elektrodynamika

2.4.1 Invariance rovnic elektromagnetického pole při transformaci vztažných soustav

Maxwellovy rovnice jsou invariantní vzhledem k Lorentzově transformaci. Pro statické náboje jsou elektřina a magnetismus oddělené... BLABLABLA

3 Základy termodynamiky a statistické fyziky

Tohle se naučte, dva ze 4 si to vytáhli.

4 Formulace a řešení pohybových rovnic jednoduchých klasických a kvantových soustav

4.1 pohyb klasických částic v silových polích

Vektorová x skalární pole

4.2 klasický a kvantový lineární oscilátor

4.2.1 Klasický oscilátor

Síla způsobuje harmonický pohyb hmotného bodu kolem rovnovážné polohy. Poloha v čase je $y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$.

4.2.2 Kvantový oscilátor

Jede Einstein se Schrödingerem autem a přejedou kočku. Einstein zastaví, že se jde podívat, co s ní je. Schrödinger ho zastaví se slovy: "Neblázni, chceš jí zabít?!?"

4.3 Klasická soustava s gravitační interakcí

Uvažujme izolovanou soustavu dvou těles o hmotnostech m_1 a m_2, která na sebe mohou působit. Z izotropie prostoru plyne, že potenciální energie V může záviset jen na jejich vzdálenosti, takže:

$$L = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2 - V(|\vec{r_2} - \vec{r_1}|).$$

Řešení takto zvoleného systému je nesnadné, ale víme, že pohyb těžiště je jednodušší, zvolíme proto nové souřadnice:

$$\vec{R} = \frac{m_1\vec{r_1} + m_2\vec{r_2}}{m_1 + m_2} \qquad \vec{r} = \vec{r_2} - \vec{r_1}.$$

Dosazením získáme:

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{\vec{R}} + \frac{\mu}{2}\dot{\vec{r}} - V(\vec{r}),$$

kde $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ je redukovaná hmotnost.

5 Stacionární, kvazistacionární a nestacionární děje

5.1 Časově neproměnná a časově proměnná vektorová pole, příklady z mechaniky kontinua, elektrodynamiky, termodynamiky a kvantové mechaniky

Makroskopické veličiny při stacionárních dějích nezávisejí na čase, při kvazistacionárních se mění natolik pomalu, že tuto změnu lze zanedbat, při nestacionárních dějích se naopak s časem mění.

- stacionární

  - gravitační pole hmotného bodu v klidu
  - elektrické pole nepohybujícího se bodového náboje
  - magnetické pole nepohybujícího se permanentního magnetu
- kvazistacionární
  - oscilátory - narozdíl od nestacionárních dějů se vykováná práce, např RLC obvod
- nestacionární
  - vyzařování elektromagnetických vln
  - magnetické pole cívky v obvodu se střídavým proudem

5.1.1 Gravitační pole

Platí Newtonův gravitační zákon

5.1.2 Elektrické pole

Coulombův zákon:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} \tag{10}$$

Gaussův zákon elektrostatiky:

$$\oint \vec{E}d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{11}$$

5.1.3 Magnetické pole

Gaussův zákon pro magnetické pole:

$$\oint \vec{B}d\vec{S} = 0 \tag{12}$$

5.1.4 Kmity RLC obvodu

Kvazistacionární

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + \frac{1}{C}q = 0, \tag{13}$$

kde pro náboj platí:

$$q = Qe^{-\frac{Rt}{2L}}\cos{(\omega' t + \varphi)} \tag{14}$$

5.2 Stacionární a nestacionární proudění kapalin

Pro popis prodění kapalin se zavadí pole rychlostí $\vec{v}(\vec{r})$. Pohyb tekutiny se znázorňuje pomocí proudnic (trajektorií objemového elementu tekutiny), přičemž $\vec{v}$ leží vždy tečně k proudnici. Pro zjednodušení se zavádí dokonale nestlačitelná, neviskozní ideální kapalina. Je-li $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = 0$, mluvíme o stacionárním proudění, v opačném o nestacionárním. Dále rozlišujeme proudění laminární a turbulentní.

5.2.1 Rovnice kontinuity

Vychází ze zachování hmotnosti.

$$div \rho \vec{v} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{15}$$

5.2.2 Bernoulliova rovnice

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = konst. \tag{16}$$

6 Periodické děje ve fyzice

6.1 matematický popis kmitů

Vznik kmitů je podmíněn existencí vratné síly.

6.1.1 harmonické kmity

Dají se popsat funkcemi sinus a kosinus. Obecně jsou popsány diferenciální rovnicí:

$$\frac{d^2u(t)}{dt^2} + \omega^2 u(t) = 0,$$

jejímž řešením je:

$$u(t) = A.e^{i(\omega t + \alpha)}.$$

Energie harmonického oscilátoru je:

$$E = -\int_0^x F ds + \frac{m}{v^2} = \frac{1}{2}kx_m^2 \tag{17}$$

6.1.2 Skládání stejnosměrných harmonických kmitů

6.2 mechanické kmity, kmity v elektrických obvodech

6.2.1 těleso na pružině

$$m\frac{dx^2}{dt^2} = -kx \tag{18}$$

$$\frac{dx^2}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \tag{19}$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \tag{20}$$

$$x = x_m \sin\left(\omega t + \varphi_0\right) \tag{21}$$

6.2.2 matematické kyvadlo

$$m\frac{ds^2}{dt^2} = -mg\sin\varphi \tag{22}$$

$$s = \varphi l \tag{23}$$

$$m\frac{d\varphi^2}{dt^2} + \frac{g}{l}\varphi = 0 \tag{24}$$

6.2.3 fyzické kyvadlo

$$\vec{M} = -J\vec{\varepsilon} \tag{25}$$

$$\vec{M} = -J\frac{d\varphi^2}{dt^2} \tag{26}$$

$$\vec{r}x\vec{F} = -J\frac{d\varphi^2}{dt^2} \tag{27}$$

$$rF\sin\varphi = -J\frac{d\varphi^2}{dt^2} \tag{28}$$

$$rmg\varphi = -J\frac{d\varphi^2}{dt^2} \tag{29}$$

$$\frac{d\varphi^2}{dt^2} + \frac{rmg}{J}\varphi = 0 \tag{30}$$

6.2.4 torzní kmity

$$\vec{M} = -\kappa\varphi = -J\frac{d\varphi^2}{dt^2} \tag{31}$$

$$\frac{d\varphi^2}{dt^2} + \frac{\kappa}{J}\varphi = 0 \tag{32}$$

6.2.5 RLC obvod

6.2.6 tlumené kmity

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - \alpha\frac{dx}{dt} \tag{33}$$

$$x(t) = x_m e^{-\delta t}\sin(\omega t + \varphi) \tag{34}$$

6.2.7 buzené kmity

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - \alpha\frac{dx}{dt} + F_0\sin(\omega t) \tag{35}$$

6.3 aplikace periodických dějů - přesná měření fyzikálních veličin

- reverzní kyvadlo
- atomové hodiny
- Faucoultovo kyvadlo

7 Vlnové jevy, popis a základní charakteristiky vlnových jevů, příklady, základní aplikace

7.1 veličiny charakterizující vlnění, druhy vlnění, vznik vlnění

Hmotné prvky látek všech skupenství mohou být v silovém působení ostatních částic v klidu jen v určitých rovnovážných polohách. Vychýlením se naruší rovnváha sil a síly vracející částici zpět do rovnováhy nabydou převahu - říkáme jim síly pružnosti a jsou úměrné velikosti výchylky. Na částice tělesa ted lze pohlížet jako na harmonické oscilátory.

Nejsou ale volné, ale vázané s ostatními - kmitání se šíří. Šíření kmitů prostředím nazýváme postupným vlněním.

Dělení vlnění: podle typu

- mechanické - ty vyžadují přítomnost látkového prostředí
  - podélné - při podélném vlnění je směr výchylky ve směru šíření, čímž dochází k zřeďování a zhušťování prostředí, typickým podélným vlněním jsou zvukové vlny v tekutinách.
  - příčné - při příčném vlnění je výchylka kolmá na směr šíření
- elektromagnetické - nevyžadují přítomnost látkového prostředí
- de Brogliho - "vlny hmoty"

dále je dělíme na:

- postupné
- stojaté

7.1.1 Veličiny charakterizující vlnění

Rovinná vlna šířící se ve směru osy x (jak podélná, tak příčná) je popsána rovnicí:

$$u(x,t) = A\cos(\omega(t - \frac{x}{v_f}) + \varphi). \tag{36}$$

Množiná bodů konstantní fáze určuje vlnoplochu, v_f je fázová rychlost - rychlost šíření fáze. Prostorová perioda této funkce je vlnová délka $\lambda = v_f T = \frac{2\pi v_f}{\omega}$. Můžeme označit vlnové číslo $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v_f}$, poté dostáváme:

$$u(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi) \tag{37}$$

Sférickou vlnu můžeme popsat rovnicí:

$$u(\vec{r},t) = \frac{A_0}{r}\cos(\omega t \mp kr + \varphi) = A(r)\cos(\omega t \mp kr + \varphi) \tag{38}$$

7.2 superpozice vlnění

U překrývajících se vln se výchylky algebraicky sčítají a vytvářejí jednu výslednou vlnu. Překrývající se vlny se při svém postupu neovlivňují.

$$u_1 = A_1 \sin(\omega t + -kr_1)$$

$$u_2 = A_2 \sin(\omega t + -kr_2)$$

$$u = u_1 + u_2 = A \sin(\omega t + \varphi) \tag{39}$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(k(r_2 - r_1)) \tag{40}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} cos(k(r_2 - r_1)) \tag{41}$$

7.3 vlnová rovnice a její řešení

$$\Delta u = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \tag{42}$$

kde $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x} + \frac{\partial^2}{\partial y} + \frac{\partial^2}{\partial z}$ a v je rychlost vlny.
Rychlost vlny:

- na struně - $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (μ je hmotnost na jednotku délky)
- v tenké tyči - $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ (E je modul pružnosti v tahu)
- v pružném prostředí - $v = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$ (σ je modul pružnosti ve smyku)
- vlna v plynu - $v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ (K je objemový modul pružnosti)

7.3.1 Energie vlny

Měřítkem přenosu energie je měrný výkon:

$$p = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2 \{1 - \cos[2(\omega t - kx + \alpha)]\} \tag{43}$$

7.3.2 Intenzita vlnění

Časově středovaná hodnota měrného výkonu:

$$I = \bar{p} = \frac{1}{T}\int_0^T N dt = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2 \tag{44}$$

7.4 šíření vln prostředím, podmínky na rozhraní

Viz **??**. Izotropní vlnění ese šíří do všech směrů stejně. Množina bodů stejné fáze se nazývá vlnoplocha, paprsek kolmý k vlnoploše určuje směr šíření. Rychlost šíření v libovolném prostředí je určena jednak setvračnými vlastnostmi prostředí, jednak jeho elastičnosti.

7.4.1 Huygensův princip

Každý bod vlnoplochy je zdrojem elementárních vln, které se z něho šíří všemi směry a interferují. Čelo vlny v okamžiku $t + \Delta t$ je obálkou čel elementárních vln vyšlých z bodů čela vlny v okamžiku t.

7.4.2 Fermatův princip

Světlo se pohybuje po časově nejkratší trajektorii. (Fotony se ve skutečnosti pohybují po všech trajektoriích.)

$$\int_A^B dt = \int_A^B \frac{1}{c} dl = min. \tag{45}$$

7.5 Vlnové jevy v mechanice spojitých prostředí - akustika

7.5.1 Zákon odrazu a lomu

Při lomu nedochází k fázovému posunu, při odrazu na řidčím prostředí také ne, v případě odrazu na hustším prostředí dochází k posunu fáze o π. Dva speciální případy jsou pro:

- mezní úhel - vlnění se na rozhraní láme tak, že se šíří rovnoběžně s rovinou dopadu
- Brewsterův úhel - odražený paprsek má pouze složku polarizovanou kolmo na směr roviny dopadu

7.5.2 Dopplerův efekt

Dochází k němu v případě, že se zdroj a/nebo detektor pohybují. Frekvence zachycená detektorem se liší od té vysílané zdrojem:

$$f = f_0 \frac{v \pm v_D}{v \mp v_Z} \tag{46}$$

7.5.3 Rázová vlna při překročení rychlosti zvuku

Zdroj se pohybuje rychlostí zvuku ke klidnému detektoru, v případě, že rychlost zvuku překročí, budou se vlnoplochy hromadit na obálce kužele (Machův kužel). Povrch tohoto kužele vytváří rázovou vlnu - místo, kde strmě naroste a poté poklesne tlak.

7.5.4 Rázy (zázněje)

Rázy vznikají při skládání vln blízkých frekvencí. Frekvence rázů je $f_R = |f_1 - f_2|$.

7.5.5 Vnímání zvuku

Hladina intenzity:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}, \tag{47}$$

kde $I_0 = 10^{-12}\mathrm{Wm}^{-2}$.

7.6 vlnové jevy v elektrodynamice a optice, interference, difrakce

7.6.1 Vlnová rovnice elektromagnetické vlny

Elektromagnetická vlna je příčná, vektory $\vec{E}$ a $\vec{B}$ jsou navzájem kolmé a poměr jejich velikostí je roven rychlosi světla.

$$\Delta\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \tag{48}$$

kde $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$.

7.6.2 Přenos energie a Poyntingův vektor

Elektromagnetická vlna může přenášet energii a předávat jí tělesu, na které dopadá. Rychlost přenosu energie na jednotku plochy je popsána Poyntingovým vektorem:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}x\vec{B}. \tag{49}$$

Směr vektoru $\vec{S}$ v každěm okamžiku udává směr šíření vlny a přenosu energie. Jelikož $\vec{E}\perp\vec{B}$ a $\frac{E}{B} = c$, můžeme psát:

$$S = \frac{1}{c\mu_0}E^2 = \frac{1}{c\mu_0}E_m^2 \sin^2(kx - \omega t). \tag{50}$$

Dále také platí:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\varepsilon_0}{\mu_0}. \tag{51}$$

Časkově střední hodnota Poyntingova vektrou je rovna intenzitě záření:

$$I = \frac{1}{2c\mu_0}E_m^2. \tag{52}$$

Energie spojená s elektrickým polem je stejná jako energie spojená s magnetickým:

$$E_{el} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0 (cB)^2 = \frac{B^2}{2\mu_0} = M_{mag}. \tag{53}$$

Intenzita bodového zdroje:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{54}$$

klesá s druhou mocninou vzdálenosti.

Intenzita se dá také vyjádřit jako $I = nA^2$, kde A je amplituda a platí $A^2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_m^2$.

Fázová rychlost se spočítá jako:

$$v_f = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \varepsilon_0 \varepsilon_r}} \tag{55}$$

Úholvá rychlost ω je stejná ve všech prostředích, vlnová délka $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$.

Grupová rychlost:

$$v_g r = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}}. \tag{56}$$

7.6.3 Polarizace

Vektor $\vec{E}$ je kolmý na směr šíření, pokud je zcela nahodilý, je světlo nepolarizované (například bílé světlo). Monochromatické světlo je vždy polarizované, obecně elipticky. Zvláštním případem je lineární polarizace, při které $\vec{E}$ kmitá po přímce. Při průchodu polarizátorem platí:

- při dopadu nepolarizovaného světla: $I = I_0 \frac{1}{2}$
- při dopadu polarizovaného světla: $I = I_0 \cos^2 \varphi$

Způsoby polarizece:

- lomem - dochází pouze k částečné polarizaci
- dvojlomem - při dopadu na anizotropní krystaly (např. islandský vápenec) se světlo rozdělí na paprsky, první, řádný, se řídí Snellovým zákonem lomu (index lomu je konstantní), duhý, mimořádný se jím neřídí a jeho index lomu závisí na směru šíření; oba paprsky jsou navzájem kolmo lineárně polarizované
- odrazem - při Brewsterově úhlu dopadu je odražený paprsek polarizovaný kolmo na rovinu dopadu, prošlý paprsek rovnoběžně

7.6.4 Chromatická disperze

Pro světlo různé vlnové délky má prostředí různý index lomu.

7.6.5 Difrakce

Dopadá-li vlna na překážku s otvorem, jehož rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou, dochází k difrakci, ohybu. Vyplývá z Huygensova principu. Rozlišujeme:

- Fresnelovu difrakci (při dopadu kulové vlnoplochy)
- Fraunhoferova difrakce (při dopadu rovinné vlny)
- Fraunhoferova difrakce na dvojštěrbině
- Difrakce na kruhovém otvoru - pro první minimum platí $\sin\varphi = \frac{1{,}22\lambda}{d}$, kde d je šířka otvoru. Odtud plyne Rayleighovo rozlišovací kritérium
- Difrakce na mřížce - difrakční mřížka je soustava štěrbin, charakteristická je pro ní disperze D a rozlišovací schopnost R, přičemž $D = \frac{m}{d\cos\varphi}$ a $R = N.m.$ kde d je mřížková konstanta a m řád maxima.
- Röntgenová difrakce

7.6.6 Interference

Skládání vln:

- Youngův pokus

7.6.7 Paprsková optika

Zrcadla, čočky.

8 Měření fyzikálních veličin, soustavy jednotek

8.1 Měření mechanických, elektrických , magnetických, optických, termodynamických veličin, základní měřicí metody a přístroje

8.1.1 Mechanické veličiny

- délka - posuvná měřidla, mikrometr, laser

- hmotnost - rovnoramenné váhy, digitální, ze známé hustoty a objemu, z 3. Kepplerova zákona, z 2. Newtonova zákona
- čas - stopky, atomové hodiny (kmitání atomu cesia mezi blízkými energetickými hladinami), sluneční hodiny
- viskozita - Mariottova láhev, viskozimetr
- hustota - nepřímo pyknometrem
- objem - odměrný válec, byreta
- tíhové zrychlení - reverzním kyvadlem
- modul pružnosti - z prohnutí nosníku po zavěšení zvaží známé hmotnosti

8.1.2 Elektrické veličiny

- napětí - voltmetrem (má ideálně nekonečný odpor, zapojuje se paralelně), osciloskop (pro střídavý proud)
- proud - ampérmetr (má ideálně nulový odpor, zapojuje se sériově)
- odpor - ohmeter, z Ohmova zákona
- magnetická indukce

8.1.3 Optické

- index lomu - refraktometr
- ohnisková vzdálenost čoček za kulových zrcadel
- disperze - ze spektrálních čar
- polarizace - stočení roviny polarizace při průchodu roztokem sacharózy

8.1.4 Termodynamické veličiny

- teplota - teploměr (dotykový, bezdotykový)
- tepelnou kapacitu - kalorimetr
- Poissonova konstanta - z rychlosti zvuku
- tepelná vodivost
- účinnost
- tlak - barometr

8.2 Význam experimentu ve fyzice, příklady

Jeden z kroků vědecké metody. Slouží k potvrzení předpovědi dané hypotézou.

Příklady:

- 2. Newtonův zákon - potvrzení pozorováním planet
- zakřivení prostoru - pozorování slunečního při úplném zatmění, gravitační čočky
- jádro atomu - Ruthefordův experiment
- kvantování energie v atomu - Frank-Hertzův experiment

8.3 Soustavy jednotek, způsoby a motivy jejich zavedení, převody mezi různými soustavami

8.3.1 Soustava cgs

Zavedeno C.F. Gaussem 1832, základ centimetr, gram, sekunda. Rozšířeno 1974 J.C. Maxwellem a W. Thompsonem.

veličina	jednotka	značka jednotky
délka	centimetr	cm
hmotnost	gram	g
čas	sukunda	s
rychlost	centimetr za s	cms^{-1}
zrychlení	gal	Gal (cms^{-2})
síla	dyn	dyn ($gcms^{-2}$)
energie	erg	erg (gcm^2s^{-2})
výkon	erg za s	$ergs^{-1}$
tlak	bar	Ba ($gcm^{-1}s^{-2}$)
dynamická viskozita	poise	p ($gcm^{-1}s^{-2}$)
vlnové číslo	kayser	cm^{-1}

8.3.2 Soustava mks

Od roku 1880 nahrazovala cgs, základ metr, kilogram, sekunda.

8.3.3 Soustava fps

Základ stopa, libra, sekunda. Používá se například ve Velké Británii (imperiální verze), či USA (americká verze)

8.3.4 Mezinárodní soustava SI

Mezinárodní soustava ustanovená 1960 na základě mks

veličina	jednotka	značka jednotky
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sukunda	s
elektrický proud	ampér	A
teplota	kelvin	K
svítivost	kandela	cd
látkové množství	mol	mol

Definice základních jednotek:

- metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za $\frac{1}{299792458}$ sekundy
- kilogram je definován hmotností mezinárodního prototypu kilogramu, který je uložen v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sèvres u Paříže
- sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, odpovídajícího přechodu mezi dvěma hladinami základního stavu atomu ^{133}Cs
- kelvin 1/273,16 díl absolutní teploty trojného bodu vody
- ampér je takový elektrický proud, který ve dvou přímých rovnoběžných vodičích o nekonečné délce a zanedbatelném průřezu vzájemně vzdálených ve vakuu jeden metr, vyvolá mezi těmito vodiči sílu rovnou 2.10^{-7} N na jeden metr délky
- kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s frekvencí 540.10^{12}Hz, a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 W/sr
- mol je takové množství, které obsahuje tolik elementárních jednotek (atomů, molekul, iontů, elektronů. . .), kolik je uhlíkových atomů v 12 g uhlíku ^{12}C. Podle současných znalostí je v tomto množství uhlíku $(6{,}02214379 \pm 0{,}00000030).10^{23}$ atomů

9 Problematika zpracování měření

Měření má za úkol zjistit hodnotu měřené veličiny. Měření se realizuje za přesně daných podmínek - reprodukovatelnost. Každé měřené je zatížené chybou.

9.1 Správnost a přesnost měření fyzikální veličiny, správnost a přesnost veličiny vypočtené z měřených veličin

Přímo měřené veličiny mají menší chybu než nepřímo měřené, protože ty jsou zatížené chybou jednotlivých přímo měřených veličin (chyba podle zákona šíření chyb).

9.1.1 Chyby měření

- absolutní - rozdíl skutečné a změřené hodnoty
- relativní - poměr absolutní chyby ku změřené hodnotě

Dělení podle původu:

- náhodné
  - nelze je ovlivnit
  - mají náhodný charakter, takže se dají vyloučit pouze větším počtem měření
  - zdroje:
    * objekt - například měřeníválečku, který neni přesně válcový
    * pozorovatel - nestejný reakční čas, úhel pohledu,...
    * zařízení - šum,...
- systematické
  - jsou pravidelné (trvale snížené, zvýšené hodnoty), nedají se určit opakováním
  - zdroje:
    * chybná metoda
    * chybný přístroj
    * opakující se chyba při pozorování
- hrubé
  - zdroje:
    * selhání lidského faktoru
    * selhání techniky

9.2 Grafické a numerické zpracování měření: náhodné veličiny s diskrétním a spojitým rozdělením, střední hodnota a disperze, základy teorie chyb, aproximace funkčních závislostí polynomy, numerické derivování a integrování, metoda nejmenších čtverců pro model lineární závislosti

9.2.1 Náhodné veličiny s diskrétním a spojitým rozdělením

- diskrítní rozdělení nabýývá pouze spočetného množství hodnot - například počet částic
- spojité rozdělení nabývá nekonečně velkého množství hodnot - například teplota

9.2.2 Možnosti zobrazení naměřených hodnot

- graf hodnot
- histogram - udává počet hodnot spadajících do určitého, pevně zvoleného interval; při zmenšování intervalů až na infinitezimálně malé dostaneme spojité rozdělení - například Gaussovo, Poissonovo,...

9.2.3 Gaussovo normální rozdělení

Je dáno předpisem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \mathrm{e}^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \tag{57}$$

kde μ představuje aritmetický průměr a σ je směrodatná odchylka.

9.2.4 Poissonovo rozdělení

Používá se pro diskrétně rozělené veličiny, je dáno předpisem:

$$f(k;\lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \tag{58}$$

kde k je naměřený počet výskytů, λ je očekávaný počet výskytů na daném intervalu.

9.2.5 Zákon šíření chyb

Udává chybu nepřímo měřené veličiny:

$$\delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 (\delta x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 (\delta y)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 (\delta z)^2 ...} \tag{59}$$

9.2.6 Metoda nejmenších čtverců

Hledání takové funkce, která splňuje, že suma kvadrátů vzdáleností naměřených hodnot od ní je minimální. Funkcí může přímka, parabola, polynom...

10 Zákony zachování

10.1 Zachovávající se veličiny jakožto charakteristiky fyzikální soustavy (princip zachování energie, hmotnosti, náboje), matematická formulace v integrálním a diferenciálním tvaru

10.1.1 Energie

Zákon zachování energie je nejzákladnější - energie je invariantní vůči jakékoliv změně v přírodě. Formy energie:

- kinetická
- potenciální
- elektrická
- magnetická
- jaderná
- vazebná

10.1.2 Hmotnost

Zákon zachování hmotnosti - celková klidová hmotnost zůstává ve všech dějích rovnaká. V relativistické fyzice se hmotnost mění s rychlostí.

10.1.3 Elektrický náboj

Elementární náboj je nedělilný, nevytvořitelný a nezničitelný (jako Chuck Norris)

10.1.4 Hybnotst

Zachování hybnosti plyne z homogenity prostoru.

10.1.5 Moment hybnosti

Zachování momentu hybnosti plyne z izotropie prostoru.

10.1.6 Rovnice kontinuity

10.2 Izolované soustavy a zákony zachování (zákon zachování hybnosti, momentu hybnosti, mechanické energie izolované mechanické soustavy), souvislost se symetrií

10.2.1 Zachování zobecněné energie

$$\varepsilon = \left(\sum_i p_i \dot{q}_i\right) - L, \tag{60}$$

přičemž platí, že:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \sum_i \left(\dot{p}_i \dot{q}_i + p_i \ddot{q}_i - \frac{\partial L}{\partial q_i}\dot{q}_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\ddot{q}_i\right) = 0 \tag{61}$$

Zobecněná energie je často rovna celkové.

10.2.2 Zákon zachování hybnosti

Změna hybnosti soustavy v čase je rovna výslednici všech vnějších sil působících na soustavu (1. impulzová věta):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_i \vec{F}_{e_i} = 0. \tag{62}$$

Výslednice všech vnějších sil působících na *izolovanou* soustavu je nulová, tedy se hybnost nemění, zachovává.

10.2.3 Zákon zachování momentu hybmosti

Časová derivace momentu hybnosti je rovna celkovému momentu všech vnějších sil:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \sum_i \vec{M}_{e_i} = 0 \tag{63}$$

Výslednice všech vnějších sil působících na *izolovanou* soustavu je nulová, tedy i jejich celkový moment je nulový. Moment hybnosti soustavy se tedy nemění, zachovává.

10.2.4 Zákon zachování hmotnosti v teorii relativity

V teorii relativity zákonu tzachování odpovídá rovnice kontinuity:

$$\int_{\partial V} (\rho\vec{v})\vec{n}ds = -\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho dV, \tag{64}$$

případně v diferenciálním tvaru:

$$div(\rho\vec{v}) + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0 \tag{65}$$

10.2.5 Zákon zachování náboje v teorii relativity

Opět rovnice kontinuity:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho dV = -\oint_{\partial V} \vec{j}\vec{n}ds, \tag{66}$$

případně v diferenciálním tvaru:

$$div\vec{j} + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0. \tag{67}$$

Symetrie je v těsném vztahu k zákonům zachování. Každá symetrie lagrangiánu souvisí s nějakou zachovávající se veličinou - *teorém Noetherové*.

11 Struktura hmoty

11.1 interakce, vazby

11.1.1 Interakce

- silná jaderná
  - stabilitu nukleonů
  - stabilita jader
  - jediná působí na neutrina
  - dosah 10^{-15}m
- slabá jaderná
  - nevytváří vázaný systé
  - působí rozpad, rozptyl vznik elementárních částic
  - dosam na 10^{-35}

- elektromagnetická
  - stabilita atomů a molekul
  - projevuje se v chemických reakcích a při emisi a absorbci záření
  - dosdah inf
- gravitační
  - jen přitažlivá
  - stabilita velkých těles a soustav
  - nejslabší
  - dosah inf

11.1.2 Vazby

- iontová
  - slučování prvků různých elektronegativit
  - iontově vázané látky mají vysoké hodnoty tání, slabou elektrickou a tepelnou vodivost
  - atomy sdílejí valenční elektrony, aby dosáhly stabilní konfigurace
  - síla vazby závisí na vzdálenosti středu iontů a jejich náboji
- kovalentní
  - vazba mezi atomy jednoho prvku
  - atomy se přiblíží, až se překryjí jejich valenční orbitaly a vznikne oblast, kde lze najít elektrony obou atomů
  - každý z atomů poskytuje jeden elektron na vytvoření vazby
  - nejsilnější (sdílení elektronů)
  - látky vázané kovalentní vazbou jsou nevodivé, špatně rozpustné
  - podle počtu elektronů jedno-, dvoj- a trojné
  - podle prostorového uspořádání σ a π
- kovová
  - mezi atomy kovových prvků s nižší elektronegativitou
  - kationty vytvářejí, elektrony elektronový mrak
  - kovy mají velmi dobrou tepelnou i elektrickou vodivost

- vodíkový můstek
  - nejedná se o chemickou vazbu
- Van der Waalsova síla
  - interakce mezi dvěma konci indukovaného dipólu molekuly
  - nedochází k přestavbě orbitalů

11.2 struktura jader

- elektron - objeven J.J. Thompsonem 1897
- proton - objeven E. Rutherfordem 1918
- neutron - objeven J. Chadwickem 1932

11.2.1 Proton-elektronový model

Předpokládal, že protony i elektrony jsou v jádře, ale nesouhlasily magnetické vlastnosti jader.

11.2.2 Proton-neutronový

Byl formulovaný po objevení neutronu Chadwickem. Odpovídá pozorovaným magnetickým vlastnostem.

11.2.3 Bohrův kapkový model

Předpokládal, že nukleony jsou v jádře jako kapky nestlačitelné kapaliny a vazebná energie je úměrná jejich počtu. Velká hustota.

11.2.4 Slupkový model

Nukleony v jádře můžou být pouze v určitých energiových stavech - kvantovaný model.

11.3 Struktura atomů a molekul

11.3.1 Thompsonův pudingový model

Thompson objevil záporně nabitý elektron. Jelikož atomy byly navenek neutrální, bylo zjevné, že musí obsahovat i kladný náboj. Formuloval model, ve kterém je atom kladně nabitá koule a elektrony jsou v něm rovnoměrně rozmístěny. Celek je navenek neutrální.

11.3.2 Ruthefordův experiment

Pokusil se dokázat pudingový model ostřelováním atomů zlata α-částicemi. Předpokládal, že kladné α-částice se budou při průchodu atomem vychylovat. Zjistil, že pudingový model neodpovídá, protože většina částic prošla bez změny směru, některé částice se vychýlily, případně se úplně vrátily. Usoudil tedy, že kladný náboj je soustředěn v malém těžkém jádře.

11.3.3 Perinnův planetárná model

Po objevení protonu v jádře. Předpokládá, že elektrony obíhají jádro podobně, jako planety slunce. Problém s tím, že by elektron při zakřiveném pohybu kolem jádra musel vyzařovat energii, tím by se do něj časem zhroutil.

11.3.4 Bohrův model

Elektron se může bez změny energie pohybovat po určitých drahách - orbitalech. Elektron při přechodu mezi orbitaly příjmá/vyzařuje energii.

11.3.5 Sommerfeldův planetární model

Předpokládá kvantované eliptické dráhy. Popisuje stav elektronu 4-mi kvantovými čísly.

11.4 struktura látek

Látky se skládá z atomů. Mohou mít různá skupenství:

- pevné
- kapalné
- plynné

11.4.1 Krystalické pevné látky

Mají dalekodosahové pravidelné uspořádání

- mají pevnou krystalovou strukturu
- rozlišujeme mono- (částice jsou v jedné, nepřerušené krystalové struktuře) a polykrystaly (složené z většího množství nahodile uspořádaných krystalových zrn)

Typy krystalových mřížek:

- kubicka - například NaCl
- trojklonná
- jednoklonná
- šestiúhelníková

11.4.2 Amorfní pevné látky

Krátkodosahové uspořádání - 10^{-8}m, poté je pravidelnost porušena. Například:

- vosk
- sklo
- pryskyřice
- guma

11.4.3 Kapalné látky

- nezachovávají tvar, zachovávají objem
- nestlačitelné
- na povrchu působí povrchové napětí - závislost povrchové energie na povrchu
- molekuly v povrchové vrstvě (vzdálenost od povrchu je menší než jejich poloměr) mají větší energii než ostatní
- jsou viskózní
- výslednice sil působicích při povrchu (tlaková síla molekul kapaliny, gravitační, tlaková síla plynu nad kapalinou) určuje tvar povrchu
  - elevace - výslednice směřuje nahoru, kapalina smáči štěny
  - deprese - výslednice směřuje dolu, kapalina stěny nesmáčí

11.4.4 Plynné látky

- vyplňují celý prostor - nezachovává tvar ani objem
- molekuly mají velkou kinetickou energii
- vlastnosti se často aproximují pomocí ideálního plynu
  - částice na sebe kromě vzájemných pružných srážek nepůsobí
  - kinetická energie molekul ideálního plynu je $E_k = \frac{3}{2}kT$, kde k je Boltzmanova konstanta