

OkB  
Fyzické otázky

Lukáš Lejdar

# CONTENTS

CHAPTER		PAGE
1.1	Kinematika hmotného bodu	2
1.2	Dynamika hmotného bodu	3
1.3	Energie, práce, výkon	4
1.4	Gravitační pole	5
1.5	Mechanika tuhého tělesa	7
1.6	Mechanika kapalin a plynů	9
1.7	Základní pojmy molekulové fyziky a termodynamiky	11
1.8	Vnitřní energie, teplo, teplota	13
1.9	Struktura a vlastnosti plynů	14
1.10	Struktura a vlastnosti pevných látek	17
1.11	Struktura a vlastnosti kapalin	19
1.12	Skupenské přeměny látek	21
1.13	Mechanické kmity	23
1.14	Mechanické vlnění	25
1.15	Elektrostatické pole	26
1.16	Elektrický proud v kovech	27
1.17	Elektrický proud v polovodičích	28
1.18	Elektrický proud v kapalinách a plynech	29
1.19	Stacionární magnetické pole	30
1.20	Nestacionární magnetické pole	31
1.21	Střídavé elektrické proudy	32
1.22	Elektromagnetické pole, kmity, vlnění	33
1.23	Geometrická optika	34
1.24	Vlnová optika	35
1.25	Fotometrie	36
1.26	Základy speciální teorie relativity	37
1.27	Základy kvantové fyziky	38
1.28	Fyzika elektronového obalu	39
1.29	Fyzika atomového jádra	40

# Chapter 1

## 1.1 Kinematika hmotného bodu

### Pojmy 1.1.1

Hmotný bod, vztažná soustava, polohový vektor, trajektorie, dráha, rychlost okamžitá a průměrná, závislost rychlosti a dráhy na čase, zrychlení tečné a normálové, pohyb přímočarý, křivočarý (úhlová rychlost), rovnoměrný, rovnoměrně zrychlený nebo zpomalený, volný pád, rovnoměrný pohyb po kružnici.

**kinematika** : zkouma jak se tělesa pohybují

**hmotný bod** : těleso, které pozbyva rozmeru

Poloha a pohyb zkoumaných těles jsou určovány vzhledem ke zvolené **vztažné soustavě**, tedy vzhledem ke zvolené skupině těles, které jsou vzájemně v klidu, nebo ve známém pohybu.

polohu vyjadřujeme pomocí **polohového vektoru**

**průměrná rychlost** je vektorová hodnota, definována jako

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

**okamžitá** je limitní hodnota průměrné

**dráha** je délka **trajektorie**  $\vec{s}$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**zrychlení** je také vektorová veličina, tzn. můžeme definovat **normalovou** a **tečnou** složku. Normalová je rovnoběžná s vektorem rychlosti, tečná je na něj kolmá. Tečná složka nekona práci. V případě rovnoměrného pohybu po kružnici spočítáme je tečné zrychlení

$$a = w^2 r$$

$$v = wr$$

## 1.2 Dynamika hmotného bodu

### Pojmy 1.2.1

Volný hmotný bod, síla a její účinky, skládání sil, Newtonovy pohybové zákony, inerciální vztažná soustava, hybnost, impuls síly, zákon zachování hybnosti, setrvačné síly, neinerciální vztažná soustava.

**dynamika** je součást mechaniky, která popisuje jak se těleso pohybuje

#### 1.2.1 Newtonovy zákony zní

- ① Jestliže výslednice sil působících na těleso je 0, potom těleso setrvává v klidu, nebo rovnoměrném přímočarém pohybu.
- ② Jestliže na těleso působí síla, pak se těleso pohybuje zrychlením, které je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa. Matematicky lze vyjádřit jako,  $\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$
- ③ vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.

$$\begin{aligned}s &= \frac{1}{2}at^2 \\ \dot{s} &= v = at \\ \ddot{s} &= a\end{aligned}$$

Existují 2 typy **vztazných soustav**. Inerciální je taková soustava, ve které platí všechny Newtonovy pohybové zákony. Naopak neinerciální sst se vzhledem k inerciální pohybuje se zrychlením, tzn. neplatí 1. ani 3. Newtonův zákon.

**volný bod** je potom takový bod, na který nepůsobí žádná výsledná síla, vůči takovému bodu můžeme definovat inerciální vztaznou soustavu.

Kinetická energie zachována jen u absolutně pružných objektů. V každém případě platí **zákon zachování hybnosti**.

$$\begin{aligned}E &= \frac{1}{2}mv^2 \\ \dot{E} &= \dot{p} = mv \\ \ddot{E} &= F\end{aligned}$$

**impuls síly** je změna hybnosti za čas

$$I = \int F dt = \Delta p$$

**třetí síla**  $N$  tlaková síla,  $\mu$  koeficient tření

$$f = \mu N$$

## 1.3 Energie, práce, výkon

### Pojmy 1.3.1

Mechanická práce, výpočet práce konstantní nebo proměnné síly, mechanická energie kinetická a potenciální (tíhová, tlaková, pružnosti), výkon, účinnost, zákon zachování energie, [vnitřní energie, práce plynu].

**Mechanická práce** : fyz velicina, která vyjadruje drahový účinek síly

$$W = \int \vec{F} d\vec{s} = m \int \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{s} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ [J] } \left[ \frac{kgm^2}{s^2} \right]$$

Pomocí **Energie** tělesu prisuzujeme schopnost konat práci.

**Výkon** je práce za čas

$$P = \frac{dE}{dt} \text{ [W] } \left[ \frac{kgm^2}{s^3} \right]$$

Jakmile působí síla, můžeme ji vyjádřit jako silové pole. Pokud toto vektorové pole je konzervativní, můžeme definovat vůči nějakému bodu **potenciální energii**, tzn drahový integrál k tomuto bodu. Díky vlastnostem takového silového pole je mechanická energie konstantní. **potenciální energie tíhová**

$$E_p = \int \vec{F} d\vec{s} = mgh$$

**potenciální energie tlaková** : v trubce o obsahu  $S$  je voda, která na pohyblivou přepážku, působí silou  $\vec{F}$ . Tento jev označujeme tlak v kapalině.

$$p = \frac{F}{S}$$

$$E = \int p \vec{S} d\vec{l} = pV + \int \dot{p} V dl$$

**Potenciální energie** pro Hookovskou pružinu

$$E = \int -ky dy = -\frac{1}{2}ky^2$$

**účinnost**

$$\eta = \frac{E_v}{E_p} = \frac{vykon}{prikon}$$

## 1.4 Gravitační pole

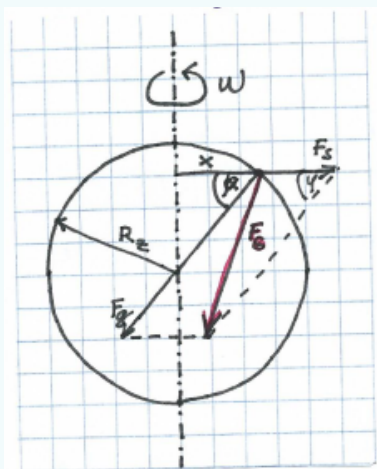
### Pojmy 1.4.1

Gravitační pole, Newtonův gravitační zákon, intenzita a potenciál gravitačního pole, srovnání s polem elektrickým, radiální a homogenní pole, gravitační a tíhové zrychlení, práce v homogenním gravitačním poli, pohyby v homogenním a radiálním gravitačním poli, Keplerovy zákony.

vsechna telesa, která mají hmotnost na sebe působí přitažlivou silou, popsanou **Newtonovým gravitačním zákonem** jako ... **intenzita Gravitačního pole** aka **gravitační zrychlení**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

do **tíhového zrychlení** započítáváme ještě odstředivou sílu



$\theta$ ...úhel, který sírají vektory

$$\vec{F}_G = \vec{F}_g + \vec{F}_s$$

$$F_G^2 = F_g^2 + F_s^2 + 2\cos(\theta)F_g F_s$$

$$g^2 = G^2 \frac{M^2}{R^4} + w^4 R^2 \cos^2(\theta) + 2\cos(\theta)^2 w^2 G \frac{M^2}{R}$$

$$g = < 9.78; 9.83 > \frac{m}{s^2}$$

Na povrchu země můžeme gravitační pole aproximovat jako **homogenní**. V každém případě je vždy Konzervativní. Díky tomu můžeme definovat tzv **gravitační potenciál**. Je to energie, potřebná k přenesení tělesa o hmotnosti  $m$  do bodu A. Pro jediné těleso o hmotnosti  $m$  v uzavřené soustavě platí

$$\phi = \int_{\infty}^R G \frac{m}{r^2} dr = -G \frac{m}{R} - (-G \frac{m}{\infty}) = -G \frac{m}{R}$$

$$2C = 0$$

Pro homogenní gravitační pole máme  $W = E = mgh$

**Gravitační siločary** udávají směr gravitační síly, **ekvipotencialní plocha** je plocha, kde s konstantním gravitačním potenciálem. **Pohyby těles v tíhovém poli země**

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

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x = v_0 \cos(\theta) \\ v_y = v_0 \sin(\theta) \end{pmatrix}$$

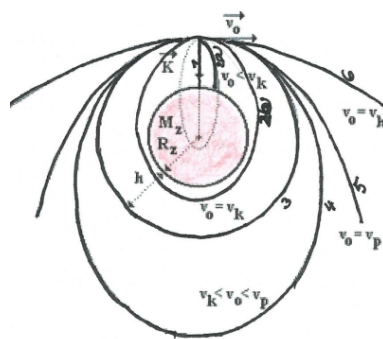
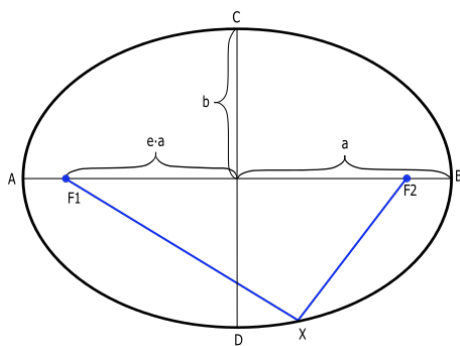
dobu výstupu do výšky  $h$

$$t_{max} = -\left(-\frac{2v}{2g}\right) = \frac{v}{g}$$

### 1.4.1 Keplerovy Zakony

- ① Planety obíhají kolem Slunce po eliptických trajektoriích, v jejichž jednom společném ohnisku je Slunce.
- ② Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za stejný čas jsou stejně velké.
- ③ Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet je stejný jako poměr třetích mocnin délek jejich hlavních poloos.  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \parallel \parallel$

**Excentricita drahy** je jedna z 6 veličin zvaných elementy drahy, popisujících přesný pohyb planet. Udává typ oběžné drahy, druh kuzelosečky.  $2a > |F_1F_2| = 2ea$   $e = 0 \dots$  kružnice,  $0 < e < 1 \dots$  elipsa  $e=1 \dots$  parabola,  $e > 1 \dots$  hyperbola.



### Pohyb těles v centrálním gravitačním poli planety

$v_0 \dots$  kolmý pád dolů,  $v_k \dots$  pohyb po kružnici,  $v < v_p \dots$  pohyb po elipse,  $v_p \dots$  parabolická uniková rychlost,  $v_h \dots$  druhá kosmická rychlost (hyperbola)

## 1.5 Mechanika tuhého tělesa

### Pojmy 1.5.1

Tuhé těleso, skládání sil v tuhém tělese, moment síly, podmínka rovnováhy tuhého tělesa, rozklad sil, dvojice sil, těžiště, rovnovážné polohy, otáčivý pohyb tuhého tělesa, moment setrvačnosti, kinetická energie rotujícího tělesa, [moment hybnosti, pohybová rovnice pro rotující těleso].

**tuhé těleso** = těleso jehož tvar se nemění účinkem libovolné velkých sil. Pohyb takového tělesa je složený ze 2 pohybů: translace, rotace.

Newtonovy zákony jednoznačně popisují, jak se takové těleso pohybuje, není to ale praktický způsob, jak s nimi zacházet. Proto je potřeba zavést nové veličiny, které lépe vystihnou tento nový otáčivý pohyb.

### 1.5.1 Moment hybnosti

$$L = r \times p \text{ [kgm}^2/\text{s]}$$

$$\frac{dL}{dt} = \dot{r} \times p + r \times \dot{p}$$

$$\frac{dL}{dt} = \frac{p \times p}{m} + r \times f$$

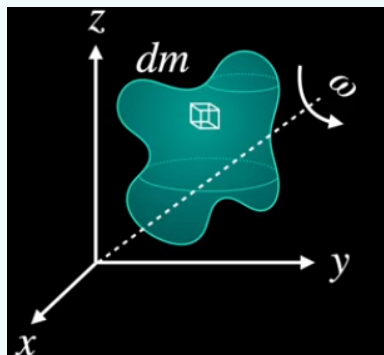
$$\frac{dL}{dt} = r \times f$$

### 1.5.2 Moment síly

$$\frac{dL}{dt} = M \text{ [N/m]} [\text{kgm}^2/\text{s}^2]$$

$$\dots \text{ekvivalentní s } \frac{dp}{dt} = F$$

**Pro tuhé těleso**



$$dL = r \times dp, dp = v dm = (w \times r) dm$$

$$L = \int r \times (w \times r) dm$$

$$r \times (w \times r) = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ x & y & z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} w_x(y^2 + z^2) - (w_y xy + w_z xz) \\ w_y(x^2 + z^2) - (w_x xy + w_z yz) \\ w_z(x^2 + y^2) - (w_x xz + w_y yz) \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} \int (y^2 + z^2) dm & -\int xy dm & -\int xz dm \\ -\int xy dm & \int (x^2 + z^2) dm & -\int yz dm \\ -\int xz dm & -\int yz dm & \int (x^2 + y^2) dm \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix}$$

### 1.5.3 Moment setrvačnosti

$$L_i = I_{ij} w_j$$

$$\dots \text{ekvivalentní s } p = mv$$

**Kinetická energie**

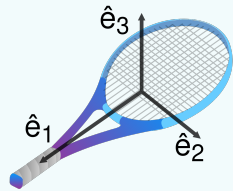
$$dE_k = \frac{1}{2} dm v^2 = \frac{1}{2} dm |w \times r|^2$$

$$E_k = \int \frac{1}{2} dm ((w_y z - w_z y)^2 + (w_x z - w_z x)^2 + (w_x y - w_y x)^2)$$



$$E_k = \frac{1}{2} (w_x w_y w_z) \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} w^T I w = \frac{1}{2} w L$$

**Hlavní osy tuhého tělesa :** V následujících rovnicích předpokládáme, že osa otáčení prochází těžistem a zároveň počátkem.



$$[EB] \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix}_B [EB]^T = \begin{pmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 \end{pmatrix}_E$$



... epická magie, které nerozumím. Každému tuhému tělesu lze najít 3 na sebe kolmé osy otáčení (tzn. Hlavní osy) (osové vektory báze E), takové, že při rotaci je s nimi vektor Momentu Hybnosti rovnoběžný, viz eigenvalues, eigenvectors.

**Moment setrvačnosti pro kouli :** ze symetrie koule vyplývá, že při totéžné uhlové rychlosti, musí být ve všech směrech stejné  $L \Rightarrow I_1 = I_2 = I_3 = I_{koule}$ ,  $L = I_{koule} \omega$

$$\begin{aligned} I &= \int y^2 + z^2 dm \\ &= \rho \int y^2 + z^2 dV \\ &= 2\rho \int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-y^2}} 2\pi r * r^2 dr dy \\ &= 2\rho \int_0^R \frac{1}{2} \pi (R^2 - y^2)^2 dy \\ &= \pi \rho \left( R^4 y - \frac{2}{3} R^2 y^3 + \frac{1}{5} y^5 \right) \Big|_0^R \\ &= \rho \frac{4}{3} \pi R^3 * \frac{2}{5} R^2 \\ &= \frac{2}{5} m R^2 \end{aligned}$$

**rovnovážné polohy :** poloha stála, vratka, volná

## 1.6 Mechanika kapalin a plynů

### Pojmy 1.6.1

Struktura tekutin, silové působení mezi částicemi, ideální kapalina a plyn, tlak v tekutinách, Pascalův zákon, hydrostatický tlak, vztahová síla, Archimédův zákon, atmosférický tlak, proudění kapaliny, rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice, vnitřní tření, proudění reálné kapaliny, obtékání těles, odpor prostředí.

**tekutiny = kapaliny + plyny**

**kapaliny** : nestlavitelné, nerozpínavé, liší se mezi sebou vnitřním třením

**plyny** : stlavitelné, rozpínavé, částice dale od sebe, rychlejší

**ideální kapalina** dokonale tekutá, bez vnitřního tření, naprosto nestlavitelná

**ideální plyn** dokonale tekutý, bez vnitřního tření, dokonale stlavitelný

### 1.6.1 Tlak

$$p = \frac{F}{S} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

může být vyvolána vnější silou :

### 1.6.2 Pascalův zákon

Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalně těleso v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný

**hydraulická zařízení** : na základě Pascalova zákona mění poměr působících sil

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

**hydrostatický tlak**

$$p = h\rho g \quad \dots \text{ překvapivě platí bez ohledu na tvar nádoby}$$

ve stejné výšce je v kapalině všude stejný tlak. Místa o stejném hydrostatickém tlaku - hladiny

**Atmosférický tlak**  $p \neq h\rho g$ , protože vzduch není nestlavitelný. Za běžných podmínek  $p = 1013,25 \text{ hPa}$ . Mění se s teplotou vzduchu. Vitr je například způsoben rozdílem v tlaku.

**barometr** : nástroj na měření atmosférického tlaku **Archimédův zákon** - tlak na horní plochu tělesa je menší, než na tu spodní  $\Rightarrow$  síla působící vzhůru

$$F_{vz} = F_{h1} - F_{h2} = V\rho g$$

... těleso ponořené do kapaliny je nadnášeno silou rovnající se tíze tekutiny stejného objemu. Na každé v kapalině tedy působí gravitační a tlaková síla. Jestli se těleso ponorí, nebo ne, tudíž záleží na tom, jestli je hustota tělesa větší než hustota vody. **Proudění kapalin**

**stacionární** : rychlost kapaliny v daném místě zůstává konstantní s časem

**nestacionární** : rychlost se mění

**laminární** : proudnice rovnoběžné

**turbulentní** : chaotické

### 1.6.3 Objemový průtok

$$Q_v = \frac{V}{t} = \frac{Sl}{t} = Sv \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Kvůli nestlavitelnosti kapaliny musí být objemový průtok trubice ve všech místech stejný, bez ohledu na rozšiřování, nebo zužení.

#### 1.6.4 Bernoulliho rovnice

hydrostatický tlak je ve stejných hloubkách stejný jen za předpokladu že je kapalina v klidu. pro proudící kapalinu platí jiné zákonitosti. Lze popsat pomocí Zakonu zachování energie. My se, ale budeme zabývat jen stacionárním prouděním kapalin

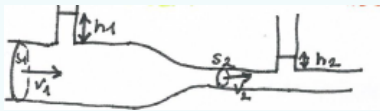
$$E = E_k + E_p$$

při změně rychlosti proudící kapaliny ve zužení/rozšíření trubice se musí zachovat její celková energie. Je tudíž potřeba definovat novou tlakovou potenciální energii.

$$E_p = \int p \vec{S} d\vec{l} = pV + \int \dot{p} V dl = pV$$

... proudění je stacionární, takže  $p$  se nemění s časem. My ho navíc považujeme za konstantní v jednotlivých úsecích nádoby (trubky)

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Vv^2$$



$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

## 1.7 Základní pojmy molekulové fyziky a termodynamiky

### Pojmy 1.7.1

Kinetická teorie látek, Brownův pohyb, difúze, interakce mezi částicemi, modely struktur skupenství, látkové množství, Avogadrova konstanta, molární veličiny, stavové veličiny, rovnovážný stav, nultý termodynamický zákon, rovnovážný děj, vratný děj, vnitřní energie.

#### 1.7.1 Kinetická teorie látek

teorie, která objasňuje strukturu a vlastnosti látek pohybem a vzájemným působením atomů molekul a iontů, z nichž se látky skládají.

- ① Všechny látky (kterékoliv skupenství) jsou složeny z částic (atomy, molekuly, ionty). Mezi částicemi jsou mezery, proto mluvíme o nespojitě (diskrétní struktura látek)
- ② Tyto částice se neustále a neuspořádaně pohybují (=tepelný pohyb) => mají kinetickou energii

o tepelném pohybu částic v látkách svědčí mnohé jevy

**Difuze** : samovolný pohyb molekul rozpustené látky z místa o vyšší koncentraci do místa s nižší koncentrací. Za určitou dobu se daná látka rozptýlí do celého objemu roztoku a její koncentrace bude všude stejná

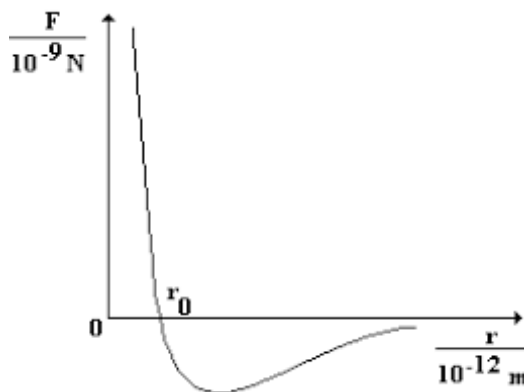
**Brownův pohyb** : nepřetržitý a chaotický pohyb mikroskopických částic v plynné, nebo kapalném mediu. Rychlost Brownova pohybu je úměrná teplotě systému.

#### 1.7.2 ...

- ③ Částice na sebe působí silami elektromagnetické povahy - přitahovací, odpuzivé

vzájemné silové působení mezi dvěma částicemi v závislosti na vzdálenosti mezi nimi

- **sfera vzájemného působení** : každá částice je přitahována jen nejbližšími částicemi ve svém okolí
- **vázebné síly** síly, jimiž na sebe působí atomy v molekule
- kvůli silovým působením mezi částicemi má těleso i vnitřní potenciální energii
- $r_0$  : rovnovážná poloha, nepůsobí síla



**Stavové veličiny** : veličiny, které popisují stav termodynamického systému. Dělí se na:

**extenzivní** : závisí na velikosti systému

Objem , Hmotnost , Látkové množství , Vnitřní energie, entalpie, další termodynamické potenciály , Entropie

**intenzivní**: jsou na velikosti systému nezávislé

Tlak , Teplota , Hustota

#### 1.7.3 Molární Veličiny

**atomová hmotnostní jednotka** :  $\frac{1}{12}$  hmotnosti atomu uhlíku nuklidu  $^{12}\text{C}$   $m_u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ [kg]}$

**Relativní atomová hmotnost**  $A_r$  - udává kolikrát je atom těžší,  $m = A_r m_u$

**Avogadrova konstanta** - počet částic v jednom molu  $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ [mol}^{-1}\text{]}$

**Latkové Množství**  $n$  - vyjadřuje počet částic v tělese v molech  $N = N_A \cdot n$

**Molární hmotnost**  $M_m$  : hmotnost 1 molu látky  $m = M_m n \text{ [kg/mol]}$

**Molární objem**  $V_m$  : objem 1 molu látky  $V = V_m n \text{ [m}^3\text{/mol]}$

**molární objem plynu** za normálních podmínek, tzn  $V_m = 22,414 \text{ [l]}$   $1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 10^{-3}$   
... náhoda? ne, picus chemik prohlásil gram za hlavní jednotku

**Chemická vazba** : spojení mezi atomy s nestabilní elektronovou konfigurací  $\Rightarrow$  tvoří molekuly **krystalová mřížka** : množina určitých abstraktních bodů, podle nichž se popisuje struktura krystalu

#### 1.7.4 Vnitřní energie

součet všech kinetických a potenciálních energie

#### 1.7.5 Teplo

energie, kterou při tepelné výměně předá těleso s vyšší teplotou

$$Q = mc\Delta t \text{ [J]}$$

**merná tepelná kapacita**  $c \text{ [J/kgK]}$

**Rovnovazný stav soustavy** : každá soustava, která je od určitého okamžiku v neměnných vnějších podmínkách, přejde samovolně po určité době do rovnovážného stavu a samovolně z něho nevyjde.

**Rovnovážný děj** je děj, při kterém soustava prochází řadou na sebe navazujících rovnovážných stavů. Reálné děje lze považovat za rovnovážné, probíhají-li dostatečně pomalu.

#### Příklad 1.7.1

Když píst s plynem rychle stlačíme, potřebuje plyn na dosažení rovnováhy určitý čas (molekuly na druhé straně neví, že píst je stlačován, dokud k nim nedorazí vytlačené molekuly  $\Rightarrow$  chvíli trvá než se vytlačené molekuly rozmístí po pístu a vyrovná se tlak a teplota v celém objemu). Stlačujeme pomaleji: vytlačených molekul je méně, rozdíly v tlaku jsou menší  $\Rightarrow$  pokud budeme píst stlačovat dostatečně pomalu, bude mít teplota i tlak dost času na vyrovnání v celém objemu  $\Rightarrow$  v každém okamžiku se plyn bude chovat, jako kdyby byl v rovnovážné poloze  $\Rightarrow$  rovnovážný děj.

#### Modely jednotlivých skupenství

- ① **pevné látky** částice blízko u sebe, pravidelně uspořádané
- ② **kapaliny** částice daleko od sebe
- ③ **plyny** částice nejdaleko od sebe

## 1.8 Vnitřní energie, teplo, teplota

### Pojmy 1.8.1

Vnitřní energie, změny vnitřní energie (práce, tepelná výměna), první termodynamický zákon, tepelná rovnováha, teplota, teplotní stupnice, třetí termodynamický zákon, měrná tepelná kapacita, kalorimetrická rovnice, přenos vnitřní energie (vedením, prouděním, zářením).

#### 1.8.1 1. termodynamický zákon

Energii  $U$  soustavy lze změnit jen výměnou tepla  $Q$ , nebo práce  $W$   $dU = \delta Q + \delta W$

#### 1.8.2 2. termodynamický zákon

Entropie systému pouze narůstá, teplo se přenáší vždy z místa s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou

$$Q = mc\Delta T$$

**Kalorimetrická rovnice** : tepelné ztráty do okolí zanedbáváme (kalorimetr = tepelně izolovaná nádoba)

$$|Q_1| = |Q_2|$$

**tepelná výměna může probíhat** a) Vedením b) Zářením c) Prouděním

#### 1.8.3 3. termodynamický zákon

Při absolutní nulové teplotě je entropie čisté látky pevného nebo kapalného skupenství rovna nule.

## 1.9 Struktura a vlastnosti plynů

### Pojmy 1.9.1

Model ideálního plynu, rozdělení molekul podle rychlosti, střední kvadratická rychlost, střední kinetická energie molekuly, teplota a tlak plynu, stavová rovnice pro ideální plyn, Avogadrův zákon, normální molární objem, tepelné děje s ideálním plynem a jejich grafické vyjádření, kruhový děj, Carnotův cyklus, tepelné a chladicí stroje, druhý termodynamický zákon.

#### 1.9.1 Model ideálního plynu

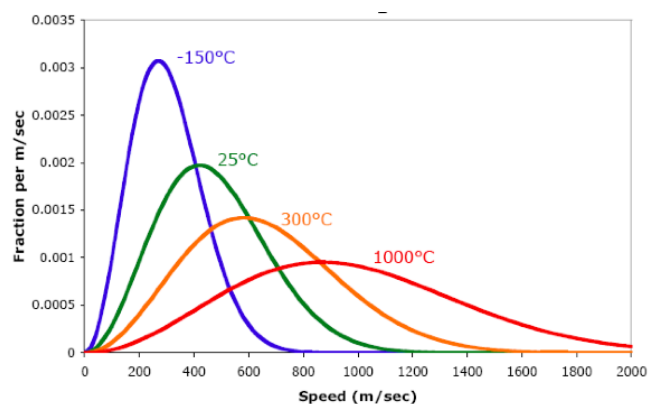
- ① rozměry molekul; jsou zanedbatelně malé ve srovnání se střední vzdáleností molekul od sebe
- ② molekuly na sebe navzájem silově nepůsobí kromě vzájemných srážek
- ③ srážky molekul jsou dokonale pružné
- ④ pohyb molekul je jen posuvný

#### Note

při dostatečně velkých teplotách a nízkém tlaku se nízkým tlaku se skutečné plyny přibližují modelu ideálního plynu.

Maxwell-Boltzmannova distribuce rychlosti molekul v látce podle četnosti. Limit (diskretního) histogramu => graf

osa y - kolik procent má takovou rychlost v rozmezí  $\pm 0.5 \text{ m/sec}$



$$E_k = \sum E_{ki}$$

střední kvadratická rychlost je taková že

$$E_k = \sum \frac{1}{2} m v^2 = N * \frac{1}{2} m v_k^2$$

z grafu lze odvodit, že tato rychlost je rovna

$$v_k^2 = \frac{3kT}{m_0} = \frac{3kT}{M_m n} = \frac{3kT N_A}{m_0 N} = \frac{3R_m T}{M_m}$$

#### 1.9.2 Molární plynová konstanta

$$R_m = N_A \kappa = 8.31 \text{ [J/kgmol]}$$

### 1.9.1 Nejpravdepodobnější rychlost molekuly

$$v_p^2 = \frac{2\kappa T}{m} = \frac{2RT}{M}$$

### 1.9.2 Střední kinetická energie

$$E_0 = \frac{1}{2} m_0 \bar{v}_0^2 = \frac{3}{2} kT$$

### 1.9.3 Průměrná rychlost molekuly

$$\bar{v}^2 = \frac{8RT}{\pi M}$$

### 1.9.4 Kinetická energie

$$E_0 = \frac{3}{2} NkT$$

**tlak plynu** : současně narazí velkého počtu molekul plynu na plochu  $S$  se projeví jako tlaková síla.

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}_k^2$$

### 1.9.3 Stavová rovnice

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 \frac{3\kappa T}{m_0} = \frac{N\kappa T}{V}$$

$$pV = N\kappa T = TR_m N$$

pro 2 stavy téhož plynu tudíž platí

$$\frac{pV}{T} = nR_m = \text{konst.}$$

### Deje v ideálním plynu

- ① **Izotermický dej** :  $T = \text{konst}$ ,  $pV = \text{konst}$ .  $E_k = \frac{3}{2} NkT$ , takže  $dU = 0$  a  $dQ = -dW$ . System tedy přeměnil přijaté teplo  $Q$  na vykonanou práci  $W$
- ② **Izochorický dej** :  $V = \text{konst}$ ,  $p/T = \text{konst}$ ,  $p dV = dW = 0$ . System nekonal práci, ale přijal teplo  $dU = dQ$
- ③ **Izobarický dej** :  $p = \text{konst}$ ,  $V/T = \text{konst}$ , system vykonal práci  $dW = p dV$  a přijal teplo  $Q$ .
- ④ **Adiabatický dej** :  $Q = 0$  tzn plyn je absolutně tepelně izolován.  
 $dU = 0 + dW = -p dV$  ... substituce  $\alpha = \frac{3}{2}$

$$\begin{aligned} U &= \alpha nRT = \alpha pV \\ dU &= \alpha(p dV + V dp) \\ -p dV &= \alpha p dV + \alpha V dp \\ \alpha V dp &= -(\alpha + 1) p dV \\ \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} &= -\frac{\alpha + 1}{\alpha} \int_{v_0}^v \frac{dv}{v} \\ \frac{p}{p_0} &= \left(\frac{v}{v_0}\right)^{-\frac{\alpha+1}{\alpha}} \end{aligned}$$

$$p_0 V_0^\gamma = p V^\gamma = \text{konst.}$$



#### 1.9.4 Poissonova konstanta

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f+1}{f}$$

kde  $C_p$  je molární kapacita při stálém tlaku  $C_v$  je molární tepelná kapacita při stálém objemu.

$f$  jsou "stupně volnosti" částice. Pro jednoatomové molekuly  $f = 3$ , pro dvouatomové  $f = 5$ , jinak je  $\gamma$  potřeba najít v tabulkách.

## 1.10 Struktura a vlastnosti pevných látek

### Pojmy 1.10.1

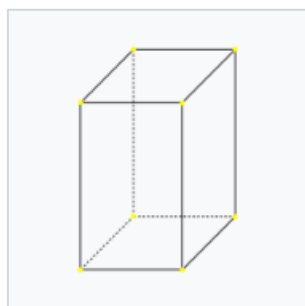
Stavba látek z částic, silové působení mezi částicemi, druhy vazeb, látky amorfni a krystalické, model krystalové mřížky, poruchy v krystalové mřížce, deformace, normálové napětí, relativní prodloužení, Hookův zákon, křivka deformace, teplotní roztažnost.

částice jsou v pevných látkách pravidelně uspořádány, dělíme je na

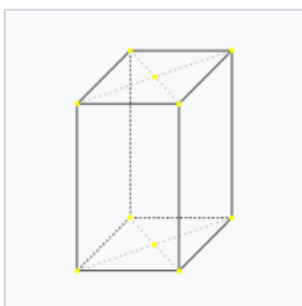
- ① amorfni zvykacky, plasty
- ② krystalické nerosty, kovy

**krystalická mřížka** : šablona pro umístění atomu. Nutně nemusí být všechna místa obsazena

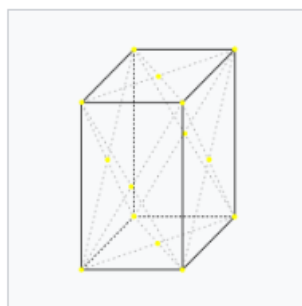
**ideální krystalová mřížka** je taková, že v každém uzlovém bodě se nachází částice, tzn. nemá poruchy. Mřížku získáme posouváním **Elementární buněk** podél prodloužených hran. Elementárních buněk je mnoho



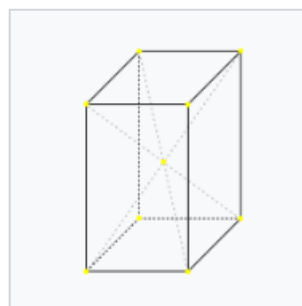
Prostá buňka



Prostá bazálně  
centrovaná



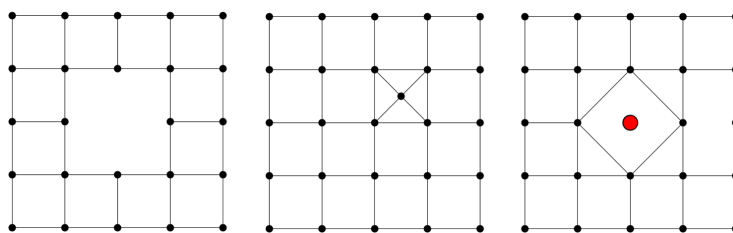
Prostá plošně  
centrovaná



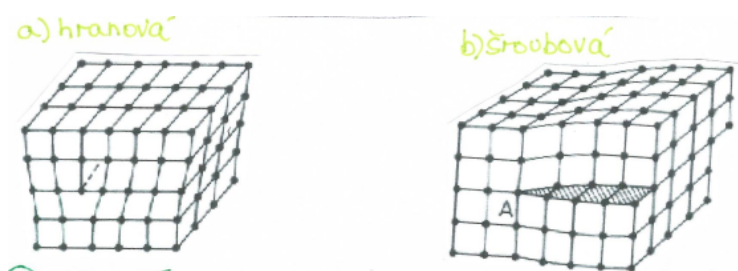
Prostá prostorově  
centrovaná

**Vazby mezi atomy** : kovalentní, iontová, kovová, vodíková ... **Poruchy krystalické mřížky**

- ① Bodové



- ② Dislokace

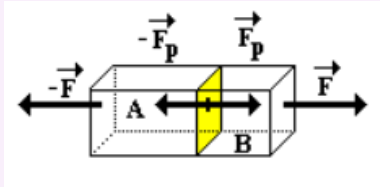


- ③ Objemově v krystalu je kus vytržnickeho materialu

## Mechanika deformace pevných látek $\iff$

- ① **Elastická** : pružná, vratná
- ② **Plastická** : tvárná, nevratná
- ③ **deformace** tahem, tlakem, ohybem, smykem, kroucením

### 1.10.1 normalové napětí



$$\sigma_n = \frac{F_p}{S} \text{ [Pa]}$$

kde  $F_p$  je velikost síly působící kolmo na plochu příčného řezu o obsahu  $S$

### 1.10.2 Relativní prodloužení

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

### 1.10.3 Hookův zákon

Pro pružnou deformaci tahem je normalové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení

$$\sigma_n = E\epsilon$$

### 1.10.4 teplotní roztažnost

$$\epsilon = \alpha \Delta T$$

$\alpha$  teplotní součinitel délkové roztažnosti

- ① **délková**  $l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$
- ② **plošná**  $S = (l_0(1 + \alpha \Delta T))^2$
- ③ **objemová**  $V = (l_0(1 + \alpha \Delta T))^3$

## 1.11 Struktura a vlastnosti kapalin

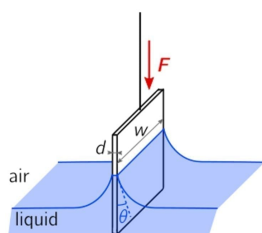
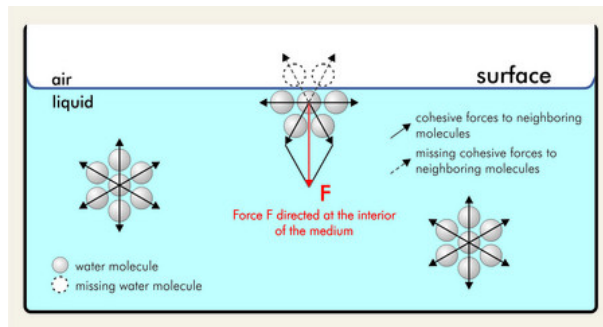
### Pojmy 1.11.1

Povrchová vrstva kapalin, povrchová energie, povrchové napětí, povrchová síla, jevy na rozhraní, kapilární tlak, kapilární jevy, teplotní roztažnost kapalin.

**Vlastnosti kapalin** : podobne strukture amorfnych latek. Usporadani molekul je jen kratkodohove. Molekuly neusporadane kmitaji kolem roznovaznych poloh. Zvysovanim teploty dochazi ke zmenseni teto doby, coz se projevi i na tekutosti kapaliny. Neustale se vyparuje.

#### Povrchova vrstva

ruzne molekuly na sebe vzajemne pusobi ruzne pritazlivymi silami. Napr molekula vody se s molekulou vody pritahuje vice, nez s molekulami vzduchu. Tudiz na molekuly povrchu kapaliny pusobi celkova sila dolu coz zapricinuje povrchove napeti. V pripade molekul nadoby to, ale muze byt naopak. Molekula vody se s molekulou nadoby pritahuje vice  $\Rightarrow$  konkavni tvar.

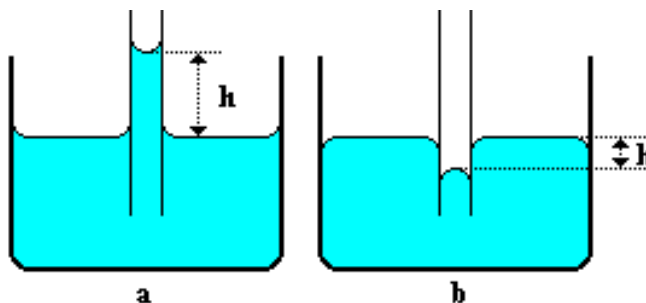


$$\sigma = \frac{F}{L \cdot \cos \theta}$$



#### 1.11.1 povrchove napeti, neboli energie

povrchove napeti je enrgie povrchu kapaliny na  $[\frac{J}{m^2}] = [\frac{N}{m}]$   
 $\sigma = \frac{F}{l}$



#### 1.11.2 Kapilarni jevy

zakrivenim povrchu kapalin pri stenach nadoby v kapilarach u kapek a bublin zpusobuje vznik pridavneho tlaku v kapaline. Tento tlak se nazyva kapilarni tlak.

$$p_k = \frac{F}{S} = \frac{\sigma l}{\pi R^2} = \frac{\sigma 2\pi R}{\pi R^2} = \frac{2\sigma}{R}$$

kapilarni tlak pro bublinu :  $P_1 \dots$  tlak uvnitr bubliny  $p_2 \dots$  okolni tlak

$$F_{p2} = F_{\sigma} + F_{p1}$$

$$P_2 4\pi r^2 = 2\sigma 2\pi r + P_1 4\pi r^2$$

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{R}$$

nebot tlak v kazde vysce v kapaline musi byt stejný

$$h\rho g = \frac{2\sigma}{R}$$

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g}$$

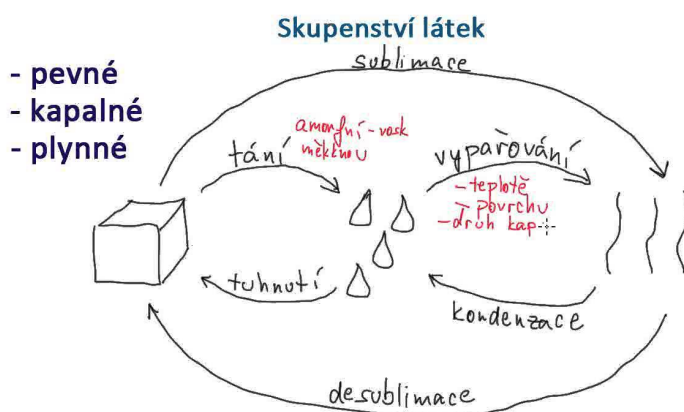
**Objemova roztaznost kapalin**

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T)$$

## 1.12 Skupenské přeměny látek

### Pojmy 1.12.1

Fázový diagram, trojný a kritický bod, modely struktury skupenství, vnitřní energie a její změny při změnách skupenství, vypařování, kondenzace, sytá pára, přehřátá pára, var, sublimace, tání, tuhnutí, měrné skupenské teplo přeměny, vlhkost vzduchu.



**Tuhnutí/tání** samotná přeměna skupenství vyžaduje energii. během tuhnutí a tání koexistují obě skupenství na stejné teplotě.

#### 1.12.1 Skupenské teplo tání

$$L_t = l_t m$$

měrné skupenské teplo tání  $l_t$  [J/kg]

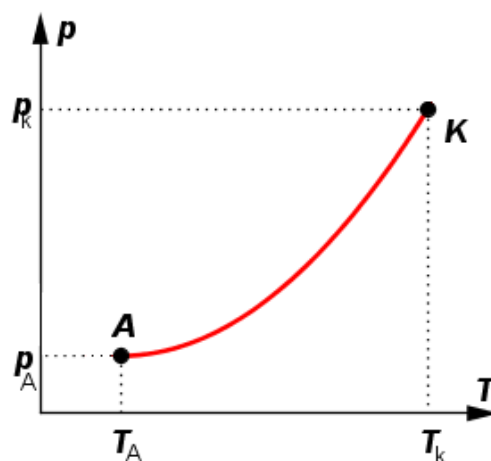
... skupenské teplo sublimace  $L_s$ , skupenské teplo vypařování  $L_v$

kapalina se neustále vypařuje. Pokud kapalinu uzavřeme do nádoby, koncentrace vypařené látky pomalu začne stoupat až do určitého momentu, kdy množství vypařené látky za čas se rovná látce zpět zkapalněné. V tomto stavu je v nádobě **syta pára**, která je udržena tlakem a teplotou.

$T_A$  a  $P_A$  ... nejmenší hodnoty tlaku a teploty při kterých je kapalina se svou sytou parou v rovnovážném stavu

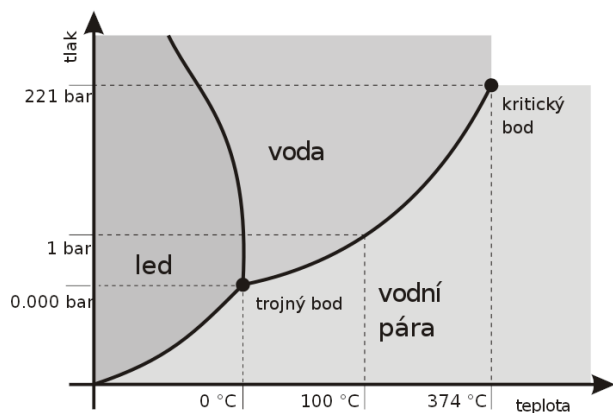
$K$  ... **kritický bod** : bod nad který nelze látku zkapalnit.  $\rho_{pary} = \rho_{kapaliny}$ . Zmizí rozhraní. stejnorodá směs.

Z křivky lze získat **hodnotu teploty varu** při daném tlaku. Var kapaliny nastává právě tehdy, když tlak bublin vroucí kapaliny = okolní tlak.



**Přehřátá pára** má nižší tlak a hustotu, než sytá pára, takže za normálních okolností by měla být zkapalněna. Získáme ji například ohříváním syté pary bez přítomnosti kapaliny.

křivka syté pary je pouze část fázového diagramu



**Fazový diagram** znazornuje vsechna 3 skupenství a jejich rovnovážné stavy

1. krivka tání
2. krivka sublimace
3. krivka syté pary

**Trojny bod** : kapalné, plynné i pevné skupenství koexistuje za daného tlaku a teploty

### 1.12.2 Absolutní vlhkost vzduchu

$$\Phi = \frac{m}{V} [kg/m^3]$$

m ... hmotnost vodní páry V ... objem vzduchu

### 1.12.3 Relativní vlhkost vzduchu

$$\phi = \frac{\Phi}{\Phi_m}$$

$\Phi$  ... Absolutní vlhkost vzduchu při dané teplotě.  $\Phi_m$  ... absolutní vlhkost vzduchu, při které je za této teploty vodní pára ve vzduchu sytá

$$\phi = \frac{P}{P_s}$$

P ... tlak vodní páry,  $P_s$  ... tlak syté vodní páry při dané teplotě.

## 1.13 Mechanické kmity

### Pojmy 1.13.1

Pohyb kmitavý, periodický, harmonický, kinematika harmonického pohybu (výchylka, rychlost, zrychlení, fáze, frekvence, perioda), skládání kmitů v jedné přímce, skládání kmitů navzájem kolmých, Lissajousovy obrazce, dynamika harmonického pohybu, pružina, kyvadlo, přeměny energie v oscilátorech, tlumené kmity, nucené kmity, rezonance.

**Periodický pohyb** : dej, který se s pravidelnými intervaly opakuje

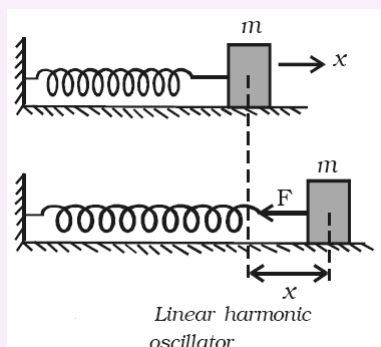
**Perioda** : doba jednoho opakování

### 1.13.1 Frekvence

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]}$$

**Kinematika harmonického kmitání** : zkoumá periodický pohyb

### 1.13.2 Harmonické kmitání



pro lineární harmonický oscilátor platí

$$F = -ky$$

$$\ddot{y} = -\frac{k}{m}y$$

jejím obecným řešením je

$$y = C_1 \cos(\omega t) + C_2 \sin(\omega t)$$

$$y = y_0 \cos(\omega t) + \frac{v_0}{\omega} \sin(\omega t)$$

$$y = \sqrt{y_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2} \sin(\omega t + \theta)$$

$$\text{, kde } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$2\pi = \omega T$$

$$T = \sqrt{\frac{m}{k}} 2\pi$$

$$E_p = \int F dy = \int -ky dy = -\frac{1}{2}ky^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E = E_p + E_k = \frac{1}{2}ky_{\max}^2 = \text{const.}$$

**Rovnovážná poloha** : poloha, kdy působí nulová rovnovážná síla

**Krajní poloha** : poloha, kde je největší potenciální energie

**Složené kmitání** : vznikne skládáním několika kmitavých pohybů



### 1.13.3 Tlumene kmitani

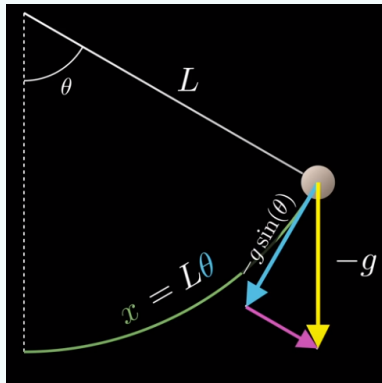
$$\ddot{y} = -\frac{k}{m}y - \frac{c}{m}\dot{y}$$

$$y = Ae^{-\frac{c}{2m}t} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$$

... pro  $v_0 = 0$  a  $y_0 = y_{max}$

**nucene kmity** : na konci kazde periody kompenzujeme ztraty energie vznikle tlumenim kmitaveho pohybu

**Rezonance** amplituda vychylky nucenych kmitu dosahne maximalni hodnoty pri frekvenci, která je shodna s frekvenci vlastniho kmitani oscilatoru



$$\ddot{x} = L\ddot{\theta} = -g \sin \theta$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{L}{g} \sin(\theta)$$

$$\sin \theta \doteq \theta$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{L}{g} \theta$$

... pro  $\theta < 5^\circ$

$$\Rightarrow \omega^2 = \frac{L}{g}$$

## 1.14 Mechanické vlnění

### Pojmy 1.14.1

Vznik, šíření a druhy vlnění (postupné, stojaté, příčné, podélné), rychlost šíření vlny (fázová rychlost), vlnová délka, rovnice postupné vlny, interference vlnění, koherentní vlnění, odraz vlnění, Huygensův princip, zákon odrazu s lomu, ohyb vlnění, zvuk, Dopplerův jev, souvislosti s optikou.

## 1.15 Elektrostatické pole

### Pojmy 1.15.1

Elektrický náboj, zákon zachování náboje, Coulombův zákon, elektrostatické pole, homogenní a radiální pole, intenzita elektrického pole, elektrický potenciál, elektrické napětí, práce v homogenním elektrickém poli, vodič a nevodič v elektrickém poli, elektrostatická indukce, kapacita vodiče, kapacita soustavy vodičů, kondenzátory, řazení kondenzátorů.

## 1.16 Elektrický proud v kovech

### Pojmy 1.16.1

Elektrický proud, elektromotorické napětí, elektronová vodivost, Ohmův zákon, voltampérová charakteristika, elektrický odpor, závislost odporu na rozměrech vodiče a na teplotě, supravodivost, termočlánek, Ohmův zákon pro uzavřený obvod, vnitřní odpor zdroje, Kirchhoffovy zákony, výkon elektrického proudu.

## 1.17 Elektrický proud v polovodičích

### Pojmy 1.17.1

Polovodiče vlastní, příměsové, typ N, typ P, přechod PN, diodový jev, dioda jako usměrňovač, Graetzovo zapojení, tranzistorový jev, tranzistor jako zesilovač, termistory, diody LED, fotodiody.

## 1.18 Elektrický proud v kapalinách a plynech

### Pojmy 1.18.1

Elektrolytická disociace, elektrolýza, závislost proudu v elektrolytu na napětí, Faradayovy zákony elektrolýzy, galvanické články, elektrolytická polarizace, akumulátory, ionizace, nesamostatný a samostatný výboj, voltampérová charakteristika výboje, doutnavý výboj, jiskra, oblouk, katodové záření, elektronový paprsek, emise elektronů.

## 1.19 Stacionární magnetické pole

### Pojmy 1.19.1

Magnetické pole elektrického proudu, magnetické indukční čáry, Ampérovo pravidlo, magnetická indukce, magnetické pole vodičů s proudem, silové působení na náboje a vodič s proudem, Flemingovo pravidlo, silové působení mezi dvěma vodiči s proudem, definice ampéru, magnetické vlastnosti látek (diamagnetické, paramagnetické, feromagnetické), magnetická hystereze (látky magneticky měkké a tvrdé).

## 1.20 Nestacionární magnetické pole

### Pojmy 1.20.1

Elektromagnetická indukce, Faradayův zákon elektromagnetické indukce, magnetický indukční tok, Lenzův zákon, Foucaultovy proudy, vlastní indukce, indukčnost, přechodové děje.



## 1.21 Střídavé elektrické proudy

### Pojmy 1.21.1

Vznik střídavého proudu, generátory, napětí fázové a sdružené, elektromotory, transformátor, harmonický průběh střídavého proudu, obvody s R, L, C, sériový a paralelní kmitavý obvod (rezonance), výkon střídavého proudu, [řešení obvodů pomocí komplexních čísel].

## 1.22 Elektromagnetické pole, kmity, vlnění

### Pojmy 1.22.1

Kmitavý obvod jako zdroj elektromagnetického pole, vznik elektromagnetického vlnění, elektromagnetický dipól, vysílač, přijímač, sdělovací technika (mikrofon, reproduktor, modulace, rozhlas, televize), spektrum elektromagnetického vlnění.

## 1.23 Geometrická optika

### Pojmy 1.23.1

Šíření světla, optické prostředí, [Fermatův princip], zákon odrazu a lomu světla, rozklad (disperze) světla, optická soustava, zrcadla, čočky, zobrazovací rovnice, příčné zvětšení, oko, optické přístroje.

## 1.24 Vlnová optika

### Pojmy 1.24.1

Spektrum elektromagnetického vlnění, vznik a podstata světla, šíření světla, Huygensův princip, odraz, lom, interference světla, koherence, Youngův pokus, interference na tenké vrstvě (Newtonova skla), holografie, ohyb světla, polarizace.

## 1.25 Fotometrie

### Pojmy 1.25.1

Zářivý tok (světelný tok), zářivost (svítivost), ozáření (osvětlení), tepelné záření, záření černého tělesa, Stefan-Boltzmanův zákon, Wienův posunovací zákon, Planckův zákon, kvantum energie, spektrum elektromagnetického záření (UV, RTG,  $\gamma$ )

## 1.26 Základy speciální teorie relativity

### Pojmy 1.26.1

Inerciální soustavy, Galileiho princip relativity, Michelson - Morley, Einsteinovy postuláty, Lorentzova transformace, relativnost současnosti, dilatace času, kontrakce délek, skládání rovnoběžných rychlostí, relativistická hmotnost, relativistická hybnost, relativistická energie ( $E=mc^2$ ).

## 1.27 Základy kvantové fyziky

### Pojmy 1.27.1

Kvantování energie (Planck), fotoelektrický jev (Einsteinova rovnice, foton), Comptonův jev, vlnové vlastnosti částic (de Broglieovy vlny), korpuskulárně vlnový dualismus, Davisson-Germerův pokus, [Schrödingerova rovnice], Heisenbergovy relace neurčitosti, kvantování fyzikálních veličin, princip korespondence.

## 1.28 Fyzika elektronového obalu

### Pojmy 1.28.1

Modely atomu, spektrum vodíku, Franck-Hertzovy pokusy, kvantově mechanický model atomu vodíku, kvantová čísla, orbitaly, spin, Pauliho princip, elektronová konfigurace, periodická soustava prvků, emise světla, laser.



## 1.29 Fyzika atomového jádra

### Pojmy 1.29.1

Modely atomového jádra, jaderné síly, závislost vazebné energie připadající na jeden nukleon na nukleonovém čísle, hmotnostní úbytek, radioaktivita, zákon radioaktivní přeměny (rozpadu), poločas rozpadu, rozpadové řady, umělá radioaktivita, jaderné reakce, jaderná energetika, detektory částic, urychlovače částic.