Repetitorium středoškolské fyziky

Renata Holubová, Pavlína Keprtová

Olomouc 2012

Publikace je určena zejména studentům učitelství fyziky k základnímu opakování středoškolské fyziky. Součástí textu jsou pojmové mapy, které mohou sloužit jako východisko pro systematizaci učiva, mohou být ale využity i v rámci výuky, k prověřování učiva a to nejen v rámci pregraduální přípravy učitelů fyziky ale i učiteli z praxe.

Publikace byla vytvořena s podporou projektu Profesní příprava učitelů přírodovědných oborů pro uplatnění v konkurenčním prostředí, reg.č. CZ.1.07/2.2.00/15.0310

Obsah

Str.

1 Úvodní pojmy

Fyzika jako věda o přírodě zkoumá zákonitosti vzájemného působení hmotných objektů a formy jejich pohybu. Její název je odvozen z řeckého slova „fysis“ – příroda, neboť původně byla vědou o přírodě. Teprve později se od ní oddělily další přírodní vědy – chemie, biologie, astronomie, geologie, meteorologie atd. Základní metody zkoumání ve fyzice jsou pozorování a experiment.

Z hlediska metody zkoumání rozlišujeme fyziku

teoretickou (snaží se fyzikální poznatky logicky uspořádat, matematicky odvozuje známé i nové poznatky),

experimentální (prakticky ověřuje představy teoretické fyziky, na základě pokusů dochází k obecným empirickým zákonům a vztahům),

praktickou (výsledky experimentální fyziky ověřuje v praktickém životě).

Z hlediska historického a podle druhu jevů, které fyzika zkoumá, ji dělíme na mechaniku, molekulovou fyziku a termodynamiku, akustiku, elektřinu, magnetismus, optiku, atomovou a jadernou fyziku, astrofyziku.

Rozdělení fyzikálních veličin

Skalár - je dán jednoznačně číselným údajem (teplota, hustota, náboj). V matematice, kde abstrahujeme od měřících jednotek a od názvů veličin, představuje skalár reálné číslo. Jedná se o nejjednodušší fyzikální veličinu, která je i v n-rozměrném prostoru dána jediným údajem - velikostí (odvozeno od scala - stupnice).

Vektor – je zadán směrem a velikostí.

Vektor - vázaný (pevný) - vázaný na bod prostoru (definován jako orientovaná úsečka nebo uspořádaná dvojice bodů

klouzavý - vázaný na přímku

volný - vázaný na množinu rovnoběžných přímek

Vektor vázaný - např. intenzita $\vec{E}$ stacionárního elektrického pole, rychlost $\vec{v}$ bodu rotujícího tělesa, vektor klouzavý např. síla $\vec{F}$ působící na absolutně tuhé těleso, vektor volný - moment $\vec{D}$ silové dvojice, která působí na dokonale tuhé těleso.

Aritmetický vektor - uspořádaná množina čísel; uspořádaná množina dvojic bodů, která se z hlediska dimenze zobrazuje do libovolného geometrického prostoru (přímka, rovina, 3-rozměrný prostor), jt. řádková matice.

Po připojení pojmu velikosti lze vytvořit tzv. geometrický vektor pomocí pojmu orientované úsečky. U vektoru rozlišujeme tedy velikost, směr a orientaci (rychlost, zrychlení, intenzita...).

Tenzor - složitá veličina, k jejímuž určení je třeba více určovacích prvků než je dimenze prostoru. Tenzory rozlišujeme podle tzv. řádu. Nejjednodušší je tenzor druhého řádu, který má ve fyzice praktický význam a který má v n-rozměrném prostoru n^2 složek.

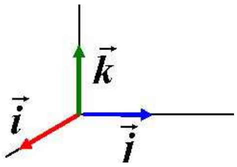
V trojrozměrném euklidovském prostoru má $n^2 = 9$ složek a zapisuje se formou matice.

V trojrozměrném prostoru dále platí, že tenzor nultého řádu $3^0 = 1$ má jednu složku

(= skalár), tenzor prvního řádu $3^1 = 3$ má tři složky (= vektor). Obecně tedy platí, že tenzor *k*-tého řádu má n^k složek, kde *n* je dimenze prostoru a k je řád tenzoru.

Vektory

$\vec{a} = (\vec{a}_x, \vec{a}_y, \vec{a}_z)$



Velikost vektoru $\vec{a}$:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Určení vektoru ve složkovém tvaru:

$\vec{a}_x = a_x \vec{i}$, $\vec{a}_y = a_y \vec{j}$, $\vec{a}_z = a_z \vec{k}$

$\vec{a} = \vec{i} a_x + \vec{j} a_y + \vec{k} a_z$

Vektor můžeme určit také pomocí směrových úhlů a velikosti:

$\cos\alpha = a_x/a \Rightarrow a_x = a \cos\alpha$

$a_y = a \cos\beta$

$a_z = a \cos\gamma$

Po umocnění a sečtení máme $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$.

Vlastnosti skalárního součinu:

$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\alpha$

Vektor zapsaný pomocí jednotkových vektorů (vektorů baze)

$\vec{a} = \vec{i} a_x + \vec{j} a_y + \vec{k} a_z$

$\vec{b} = \vec{i} b_x + \vec{j} b_y + \vec{k} b_z$

$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$

neboť

$\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = \vec{k} \cdot \vec{k} = 1,\ \vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \vec{k} = ... = 0$

Podmínka kolmosti dvou vektorů: $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$

Geometrický význam skalárního součinu:

Plocha obdélníku vytvořeného ze strany o velikosti vektoru $\vec{a}$ a strany o velikosti průmětu vektoru $\vec{b}$ do směru vektoru $\vec{a}$.

Jinak: Skalární součin je roven plošnému obsahu obdélníka, jehož jednou stranou je velikost jednoho vektoru a druhou stranou je průmět druhého vektoru do směru vektoru prvního.

Aplikace ve fyzice : mechanická práce $A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

Vyjádření směrových kosinů pomocí složek vektoru: $\cos\varphi = \dfrac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|} = \dfrac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}$

Vektorový součin:

$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$

$c = a \cdot b \cdot \sin \varphi$

$\vec{i} \times \vec{i} = \vec{j} \times \vec{j} = \vec{k} \times \vec{k} = 0,\ \vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}, \vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}, \vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k}.....$

$\vec{c} = \vec{i}\left(a_y b_z - b_y a_z\right) + \vec{j}\left(a_z b_x - a_x b_z\right) + \vec{k}\left(a_x b_y - a_y b_x\right)$

$\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{a} \times \vec{b})$

Geometrický význam vektorového součinu:

Velikost vektorového součinu je číselně rovna obsahu rovnoběžníka sestrojeného z obou vektorů. Směr je kolmý k rovině, ve které vektory $\vec{a}, \vec{b}$ leží. Orientace je určena pravidlem pravé ruky.

2 Mechanika hmotného bodu

Mechanika je část fyziky, která studuje zákony mechanického pohybu těles a jejich vzájemného působení. Rozdělujeme ji na kinematiku a dynamiku. Kinematika se zabývá studiem pohybu vzhledem k času. Dynamika studuje souvislost pohybu vzhledem k silám, které ho vyvolaly.

Kinematika hmotného bodu

Přímočarý pohyb

Hmotný bod je těleso o hmotnosti m, jehož tvar, rozměry a vnitřní struktura nejsou při uvažovaném ději podstatné a které můžeme považovat za bodové.

Trajektorie hmotného bodu v určité vztažné soustavě je souhrn bodů, jimiž hmotný bod prochází. Tvar trajektorie při určitém pohybu závisí na volbě vztažné soustavy.

Dráha je délka trajektorie, kterou urazí těleso (hmotný bod) během určitého času. Označujeme ji písmenem s , jednotkou je metr (m) . Podle tvaru dráhy hmotného bodu rozlišujeme pohyby přímočaré a křivočaré.

Polohu hmotného bodu určujeme vzhledem ke vztažné soustavě souřadnic. Změna polohy hmotného bodu z bodu o souřadnici x_1 do bodu o souřadnici x_2 je posunutí

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

Velikost posunutí $|\Delta x|$ je vždy nezáporná (kladná nebo nula). Posunutí je vektorová veličina.

Rozdělení pohybů podle rychlosti: rovnoměrné a nerovnoměrné

Pohyb přímočarý dělíme na rovnoměrný, nerovnoměrný - rovnoměrně zrychlený a nerovnoměrný - nerovnoměrně zrychlený

Rovnoměrný přímočarý pohyb

Průměrná neboli střední rychlost

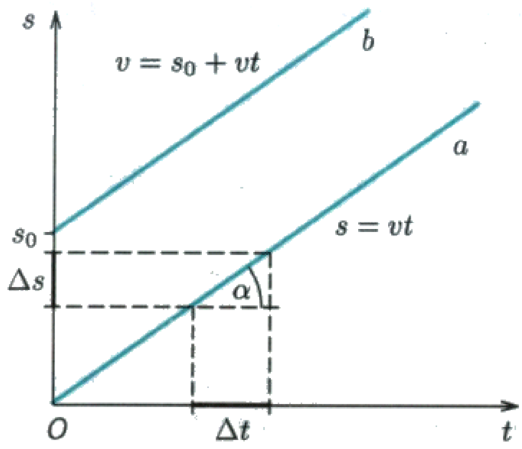
$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = tg\alpha$$

směrnice přímky v případě, že na obou osách volíme stejně dlouhé jednotky.

Měříme-li čas od okamžiku, kdy hmotný bod již urazil dráhu x_o, $t_o = 0$ a píšeme $x = \bar{v}_x \cdot t + x_o$.

Obecně v diagramu *s*, *t*:



Obr. 1 Pohyb rovnoměrný přímočarý

Průměrná velikost rychlosti je určena celkovou dráhou, kterou hmotný bod urazí. Nezávisí na směru pohybu. Průměrná rychlost je skalár.

$$\bar{v} = \frac{\text{celková dráha}}{\text{celková doba pohybu}}$$

Okamžitá rychlost (rychlost) je vektorová veličina, která udává, jak rychle se v daném okamžiku mění poloha částice s časem.

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

Zrychlení

Zrychlení $\vec{a}$ charakterizuje časovou změnu vektoru rychlosti $\vec{v}$. U rychlosti se může měnit její velikost, směr nebo obojí.

Průměrné zrychlení

$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1}$$

Jednotkou zrychlení je m · s^{-2}.

Rovnoměrně zrychlený pohyb

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

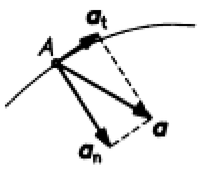
Rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici

Velikost rychlosti hmotného bodu se nemění, mění se směr rychlosti, proto má hmotný bod nenulové zrychlení. V těch bodech trajektorie, v nichž je zakřivena, míří zrychlení $\vec{a}$ na tu její stranu, na niž je zakřivena. Zrychlení v tomto případě rozložíme na tečnou složku $\vec{a}_t$ a složku normálovou $\vec{a}_n$.

Tečné zrychlení

$$a_t = \frac{|\Delta v|}{\Delta t}$$

pro $\Delta t \to 0$.



Obr. 2 Složky zrychlení

Normálové zrychlení

$a_n = \frac{v^2}{r}$ …tzv. dostředivé zrychlení.

Pohyb po kružnici – přehled rovnic

Úhlová dráha $\varphi = \frac{s}{r}$

Úhlová rychlost $\omega\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, jednotkou je s^{-1}

Obvodová rychlost $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, jednotka $m \cdot s^{-1}$. Platí $\Delta s = r \cdot \Delta\varphi, v = \frac{r \cdot \Delta\varphi}{\Delta t} = r \cdot \omega$. Jednotka $rad \cdot s^{-1}$.

Perioda kruhového pohybu T: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v}$. Jednotka: s, min

Frekvence $f = \frac{1}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi f$. Jednotka: s^{-1}. Je to počet otáček, které těleso vykoná za jednotku času.

Počet otáček vykonaných hmotným bodem $N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$

.

Rovnoměrný kruhový pohyb $\omega = \dfrac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}$ = konst.

$\varphi = \omega t + \varphi_o$

Zrychlení

$a_x = -r\omega^2 \cos \omega t$

$a_y = -r\omega^2 \sin \omega t$

Odtud analogicky $a = r\omega^2 = \dfrac{v^2}{r}$

Vzhledem k tomu, že platí $\vec{v} \cdot \vec{a} = 0$, $\vec{v} \perp \vec{a}$, je zrychlení dostředivé.

Nerovnoměrný kruhový pohyb $\overline{\omega} = \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, $\Delta t \to 0$ je $\omega = \dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}$.

Pro rovnoměrně zrychlený pohyb platí $\varepsilon = \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$ = konst. a úhlovou dráhu lze vypočítat jako

$\varphi = \dfrac{1}{2}\varepsilon t^2 + \omega_o t + \varphi_o$

$a_n = \dfrac{v^2}{r} = r\omega^2$

$a_t = r\varepsilon$

Dynamika hmotného bodu – síla a pohyb

Hlavní zákonitosti jsou vyjádřeny ve třech pohybových zákonech, které formuloval Isaac Newton – Newtonovy pohybové zákony.

Inerciální vztažné soustavy: Inerciální vztažná soustava je soustava, v níž každý volný hmotný bod se buď pohybuje rovnoměrně přímočaře nebo je v klidu.

I.Newtonův zákon: Je-li volná částice v klidu vzhledem ke vhodně zvolené vztažné soustavě, pak v něm setrvá. Pohybuje-li se stálou rychlostí, bude v tomto pohybu neustále pokračovat.

Jiná formulace: Těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není vnějšími silami (působením jiných těles) nuceno tento stav změnit.

I.Newtonův zákon je tzv. zákon setrvačnosti, vztažné soustavy, které definuje, jsou inerciální vztažné soustavy.

II. Newtonův pohybový zákon: Působí-li na hmotný bod o hmotnosti m tělesa a fyzikální pole silami o výslednici $\vec{F}$, má hmotný bod zrychlení $\vec{a}$ takové, že platí $\vec{F} = m\vec{a}$.

1 newton, značka N, je velikost síly, která udělí tělesu o hmotnosti 1 kg zrychlení o velikosti 1 m · s^{-2}.

Veličina definovaná vztahem $\vec{p} = m\vec{v}$ je hybnost částice (hmotného bodu) o hmotnosti *m*.

Jednotka hybnosti je kg · m · s^{-1}.

Nepůsobí-li na hmotný bod vnější síly, potom $\vec{F} = 0, \vec{p} =$ konst.

Druhy sil:

gravitační síla $\vec{F}_g$ - je způsobena gravitačním polem, které kolem sebe i ve svém vnitřku budí všechna tělesa v celém jejich objemu

tíhová síla $\vec{F}_G$ - je síla, kterou působí tíhové pole Země v blízkosti povrchu Země. Skládá se z gravitační síly $\vec{F}_g$ způsobené gravitačním polem Země a odstředivé síly setrvačné, která vzniká v důsledku otáčení Země. Jestliže na těleso, které je v blízkosti Země, nepůsobí jiná síla než tíhová, má zrychlení, které označujeme $\vec{g}$. Jeho velikost se v závislosti na místě mění,v našich zeměpisných šířkách je jeho velikost asi 9,81 m · s^{-2}. Tíhovou sílu zakreslujeme do těžiště tělesa. Platí $\vec{F}_G = m\vec{g}$. Vektor $\vec{g}$ udává svislý směr v daném místě.

třecí síla – vzniká na styčných plochách dvou těles, která jsou k sobě přitlačována. Síly, kterými tělesa na sebe působí, mají nenulové tečné složky – tzv. tření.

Statické (klidové) třecí síly – $F_t = f_o F_n$, kde f_0 je součinitel klidového tření.

Smykové (kinetické) třecí síly jsou tečné složky sil, jimiž na sebe navzájem působí tělesa na styčných plochách, které jsou ve vzájemném pohybu, $F_t = fF_n$.

Součinitel *f* závisí na jakosti třecích ploch (nezávisí na jejich velikosti) a na rychlosti pohybu (s rostoucí rychlostí mírně klesá). Pro danou dvojici styčných ploch je vždy $f < f_0$.

Tření valivé – je síla, která působí proti směru pohybu při pohybu valivém, $F = \xi \frac{F_n}{r}$. Součinitel valivého tření má rozměr délky a udává se v týchž jednotkách, jako poloměr *r*.

III. Newtonův pohybový zákon: Působí-li jedno těleso na druhé při jejich styku silou $\vec{F}$, působí druhé těleso na první silou $\vec{F}' = -\vec{F}$.

Síly akce a reakce působí vždy na různá tělesa. Nesčítají se proto ve výslednou sílu a nemohou se vyrušit.

Síly při křivočarém pohybu

$\vec{F}_v = m\vec{a}$

Výslednou sílu rozdělujeme do dvou složek

normálová složka $\vec{F}_{vn}$ je vždy nenulová, míří do středu kružnice a má velikost

$$F_{vn} = \frac{mv^2}{r}$$

pro $v = \omega r$ lze psát $F_{vn} = m\omega^2 r$.

Normálová složka síly mění směr rychlosti hmotného bodu, v případě kruhového pohybu je to síla dostředivá.

tečná složka $\vec{F}_{vt}$ (tangenciální) $F_{vt} = m\frac{|\Delta v|}{\Delta t}$.

Tečná složka mění velikost rychlosti hmotného bodu.

Impuls síly a hybnost

$$\vec{I} = \vec{F}(t_2 - t_1) = \vec{F}\Delta t$$

tzv. impuls síly. Impuls síly v daném časovém intervalu je vektorová veličina.

Jednotka je kg · m · s^{-1}.

Impuls síly má stejný směr jako síla $\vec{F}$, velikost vypočítáme podle vztahu

$$I = F\Delta t$$

Platí

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

Změna hybnosti se rovná impulsu síly.

$$\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{F}(t_2 - t_1)$$

…. impulsová věta pro hmotný bod

Hybnost soustavy hmotných bodů

Hybnost soustavy hmotných bodů (v určité vztažné soustavě) je definována jako vektorový součet hybností všech jejích částí

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + ... + \vec{p}_n$$

…..hybnost soustavy hmotných bodů

Síly působící na soustavu hmotných bodů:

síly vnitřní – jsou to síly, kterými na sebe navzájem působí jednotlivé části soustavy

síly vnější – síly, kterými na soustavu působí okolí

Zákon zachování hybnosti

Je-li výslednice vnějších sil působících na soustavu nulová ($\vec{F}_{vn} = \vec{0}$), potom $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{0}$, tzn. $\vec{p}_2 = \vec{p}_1$. Protože $\vec{p}_1$ a $\vec{p}_2$ jsou hybnosti soustavy ve dvou různých okamžicích, je hybnost soustavy stálá, tj. platí $\vec{p} = \text{konst}$.

Zákon zachování hybnosti

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + ... + \vec{p}_n = \overrightarrow{konst}$$

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + ... + m_n\vec{v}_n = \overrightarrow{konst}$$

Práce a výkon

$A = Fs\cos\alpha$

práce stálé síly, kde α je úhel sevřený vektorem rychlosti působiště síly a silou $\vec{F}$.

Jednotkou práce je joule 1 J = kg · m^2 · s^{-2} = 1 N · m.

Pro úhel α ostrý je práce kladná, pro úhel α tupý, je práce záporná. Je-li $\vec{F} \perp \vec{s}$, je A = 0.

Jiné zápisy vztahu :

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

Práce A výslednice několika sil působících v jednom bodě je rovna součtu prací jednotlivých sil

$A = A_1 + A_2 + \ldots + A_n$

Znázornění síly jako funkce dráhy = tzv. diagram práce

F = konst.

$F = k \cdot s$, $A = 1/2\ k \cdot s^2$

Práce sil pružnosti

Pružná síla je síla, kterou na částici působí natažená nebo stlačená pružina.

$\vec{F} = -k\vec{d}$, tzv. Hookův zákon. Znaménko minus znamená, že síla pružiny má vždy opačný směr než posunutí jejího volného konce. Konstanta k je tzv. tuhost pružiny. Jednotkou tuhosti v soustavě SI je newton na metr (N · m^{-1}).

Při vhodné volbě soustavy souřadnic (osa y je zvolena rovnoběžně s pružinou), potom

$F = -ky$.

Práci pružné síly lze vyjádřit vztahem $A = -\frac{1}{2}ky^2$.

Výkon

Vykoná-li síla $\vec{F}$ práci ΔA za dobu Δt, je její průměrný výkon v daném časovém intervalu definován jako

$$\overline{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Jednotka výkonu: $J \cdot s^{-1}$ = watt , značka W.

V praxi využíváme vztahu pro výpočet práce pomocí výkonu a času, odkud plyne jednotka 1 kilowatthodina:

1 kW · h = 103 W · 3600 s = 3,6 · 10^6 J = 3,6 MJ

Jiné vyjádření výkonu: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$ …..okamžitý výkon

Pro $\alpha = 0$ máme $P = Fv$

Účinnost stroje je veličina η = výkon/příkon = P/P_o.

3 Energie

Kinetickou energii částice o hmotnosti m , která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ velmi malou ve srovnání s rychlostí světla, definujeme vztahem

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

Kinetická energie nemůže být nikdy záporná.

Jednotka: joule J, 1 J = 1 kg · m^2 · s^{-2}

V oblasti atomové fyziky používáme jednotku elektronvolt (eV): 1 eV = 1,6 · 10^{-19} J.

Zvedneme-li v tíhovém poli těleso, vykonáme kladnou práci, ale těleso nezíská kinetickou energii. Při zvednutí získá těleso energii, která závisí na jeho poloze vzhledem k Zemi, je to tzv. polohová energie.

Práce tíhové síly

Mějme částici o hmotnosti m, která se pohybuje z bodu A_1 do bodu A_2 po křivce k v tíhovém poli Země. Na částici trvale působí tíhová síla $\vec{F}_G = m\vec{g}$.

(Působí zde další síly, např. odpor vzduchu, vliv ostatních částic). Práce, kterou vykoná síla $\vec{F}_G$, je dána vztahem

$$A_G = mg(h_1 - h_2)$$

kde h_1, h_2 jsou výšky bodů A_1 a A_2 nad libovolně zvolenou vodorovnou rovinou H. Polohová energie v tíhovém poli Země je tedy

$$E_p = mgh\,,$$

tzn. že pro $h = 0$ je $E_p = 0$. Rovina H je hladina nulové tíhové energie.

Zákon zachování mechanické energie

Mechanická energie E částice je definována jako součet její potenciální energie E_p a kinetické energie E_k

$$E = E_p + E_k$$

Zákon zachování mechanické energie lze zapsat ve tvaru

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p = 0$$

Celková energie izolované soustavy je stálá.

Odrazy a srážky

Platí zákon zachování hybnosti

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

Platí zákon zachování energie

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

Hmotný střed soustavy hmotných bodů

A. Působení vnějších sil na soustavu:

výsledná vnější síla $\vec{F} = \sum \vec{F}_k$.

B. Chování soustavy při působení této síly lze popsat pomocí jediného bodu, tzv.

hmotný střed (= těžiště)

Definice

Hmotný střed je fiktivní bod, přiřazený dané soustavě v němž je soustředěna hmotnost celé soustavy, $m_T = \sum_{k=1}^{n} m_k$.

Hmotný střed se pohybuje tak, jako kdyby na něj působila výslednice vnějších sil, jeho hybnost $\vec{p}_T$ je proto rovna celkové hybnosti soustavy,

$$m\vec{v}_T = \sum_{k=1}^{n} m_k\vec{v}_k$$

.

Výpočet souřadnic hmotného středu

Označení $\vec{r}_T$ = polohový vektor hmotného středu.

$$\vec{r}_T = \frac{\vec{r}_1 m_1 + \vec{r}_2 m_2 + ... + \vec{r}_n m_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}$$

stručněji:

$$\vec{r}_T = \frac{\sum_{k=1}^{n} \vec{r}_k m_k}{\sum_{k=1}^{n} m_k}$$

Tato vektorová rovnice vyjadřuje tři skalární rovnice

$$x_T = \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k x_k}{\sum_{k=1}^{n} m_k}$$

$$y_T = \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k y_k}{\sum_{k=1}^{n} m_k}$$

$$z_T = \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k z_k}{\sum_{k=1}^{n} m_k}$$

V zemském tíhovém poli je hmotný střed soustavy totožný s působištěm tíhové síly a nazývá se těžiště.

Moment setrvačnosti je skalární kvantitativní míra setrvačných vlastností tělesa při otáčivém pohybu. Jeho velikost je ovlivněna rozložením látky v tělese.

$$J = \sum_{k=1}^{n} m_k r_k^2$$

Jednotkou momentu setrvačnosti je [J] = kg · m^2.

Steinerova věta

Známe-li moment setrvačnosti J_T vzhledem k ose jdoucí těžištěm tělesa O, určíme moment setrvačnosti J_a vzhledem k jiné ose O', která je rovnoběžná s O a je od ní ve vzdálenosti a.

Steinerovu větu zapíšeme ve tvaru

$J_a = J_T + ma^2$.

Platí Zákon zachování momentu hybnosti tuhého tělesa: Jestliže na tuhé těleso nepůsobí vnější moment síly ($\vec{M} = 0$), pak jeho moment hybnosti je konstantní. Pohybová rovnice má tvar $\vec{M} = J\vec{\omega}$.

4 Gravitační pole

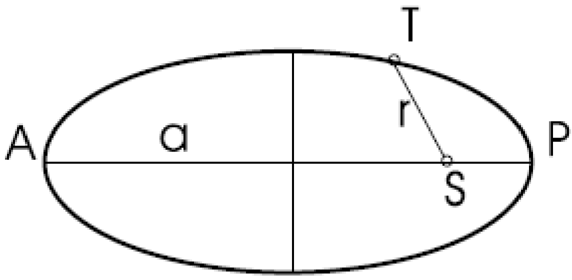
Keplerovy zákony popisují pohyb planet (jen kinematicky):

První Keplerův zákon

Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, jejichž společném ohnisku je Slunce.

Vzdálenost bodu, kde je planeta nejblíže Slunci, se nazývá perihélium neboli přísluní.

Vzdálenost bodu, kde je planeta nejdále od Slunce, se nazývá afélium neboli odsluní.



Obr. 3 Trajektorie planety

Druhý Keplerův zákon

Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.

Průvodičem je úsečka spojující střed planety se středem Slunce. Délka průvodiče se mění, v perihéliu je nejkratší, v aféliu nejdelší, obsah, který opíše je však stejný. Důsledkem je to, že rychlost planety v perihéliu je větší než v aféliu, pohyb planety je nerovnoměrný.

Třetí Keplerův zákon vyjadřuje vztah mezi oběhovými dobami a hlavními poloosami jejich trajektorií:

Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.

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

Zákon platí pouze pokud hmotnost obou planet je zanedbatelná vůči Slunci.

Newtonův gravitační zákon

Každá dvě tělesa se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami F_g a $-F_g$ opačného směru. Velikost gravitační síly F_g pro stejnorodá tělesa tvaru koule je přímo úměrná součinu jejich hmotností m_1, m_2 a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r jejich středu.

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

Konstanta úměrnosti κ se nazývá gravitační konstanta,

$\kappa = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$

Intenzita gravitačního pole

Intenzitu gravitačního pole K v daném místě pole definujeme jako podíl gravitační síly F_g, která v tomto místě na hmotný bod působí, a hmotnosti m tohoto bodu. Tedy

$$K = \frac{F_g}{m}$$

Intenzita gravitačního pole K je vektorová veličina stejného směru jako gravitační síla F_g, která působí v daném místě na hmotný bod, jednotka $[K] = \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$.

Intenzita gravitačního pole v daném místě pole se rovná gravitačnímu zrychlení, které v tomto místě uděluje tělesu gravitační síla.

$$K = a_g$$

Na všechna tělesa, která leží při povrchu Země a neleží na ose otáčení Země, působí kromě gravitační síly také síla setrvačná směřující do středu Země. Výslednice sil je tíhová síla.

$$F_G = F_g - F_s$$

Prostor při povrchu Země, kde se projevují účinky tíhové síly, se nazývá tíhové pole. Tíhová síla nemá ve všech místech zemského povrchu stejnou velikost. To je dáno nestejnou velikostí setrvačné síly. $F_s = m\omega^2 r = m\omega^2 R_Z \cos\varphi$. V oblasti rovníku je setrvačná síla největší a tíhová síla nejmenší. Na pólech je to naopak (setrvačná je nulová). Změnou tíhové síly se mění i tíhové zrychlení. Dohodou bylo stanoveno normální tíhové zrychlení $g_n = 9{,}80655\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. V blízkosti povrchu Země mluvíme o homogenním tíhovém poli.

Vektor intenzity gravitačního pole vždy směřuje do středu tělesa o hmotnosti M. Takové pole je centrální gravitační pole a střed tělesa gravitační střed centrálního pole.

Velikost intenzity gravitačního pole ve výšce h nad zemským povrchem je

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

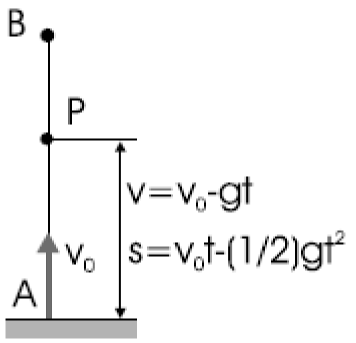
$$h = 0\ ,\ K_o = \frac{\kappa M_Z}{R_Z^2}$$

kde M_Z je hmotnost Země ($5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg), R_Z poloměr Země ($6{,}37 \cdot 10^6$ m).

Gravitační pole, které má ve všech místech intenzitu K konstantní, se nazývá homogenní gravitační pole. Závislost intenzity na vzdálenosti je hyperbola.

Pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země

Svislý vrh vzhůru - složený pohyb – pohyb svisle vzhůru a volný pád



Obr. 4 Svislý vrh vzhůru

Pohyb tělesa vzhůru je pohyb rovnoměrně zpomalený. Rychlost klesá až na vrcholu trajektorie je nulová, poté se těleso vrací volným pádem k Zemi.

Rychlost v čase *t* stoupání: $v = v_0 - gt$

Výška v čase *t* stoupání: $s = v_o t - \frac{1}{2} g t^2$

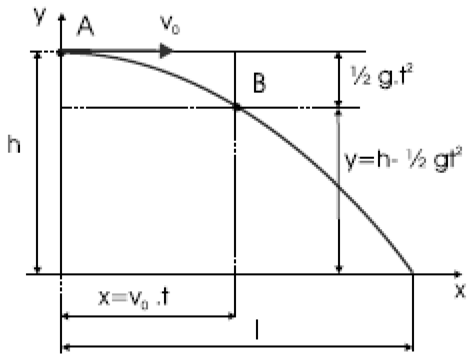
Největší výška, kterou těleso dosáhne, se nazývá výška vrhu *h*. Rychlost je nulová a doba výstupu:

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

a výška vrhu:

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Vodorovný vrh - skládá se z pohybu vodorovným směrem a volného pádu.



Obr. 5 Vrh vodorovný

Trajektorie je část paraboly s vrcholem v místě hodu.

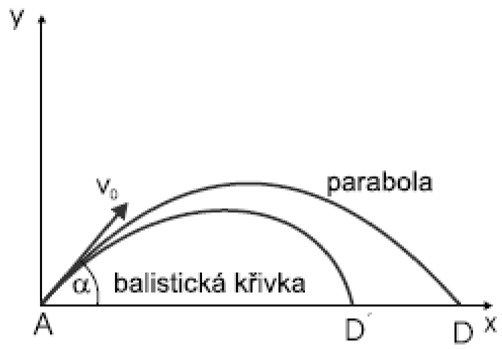
$x = v_0 t$

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

Největší vzdálenost od místa vrhu se nazývá délka vrhu *d*

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

Šikmý vrh vzhůru - pohyb složený z pohybu šikmo vzhůru a volného pádu.



Obr. 6 Vrh šikmý

Počáteční rychlost v_0 má směr, který s vodorovným směrem svírá elevační úhel α. Trajektorie je parabola (pouze ve vakuu), jejíž vrchol je nejvyšší bod trajektorie. Ve vzduchu těleso opisuje tzv. balistickou křivku (způsobeno odporem vzduchu)

$x = v_0 t \cos \alpha$

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

Délka vrhu

$x = d$ a $y = 0$

Nejvyšší výšky dosáhne při elevačním úhlu 45°, délka vrchu ve vojenské terminologii je tzv. dostřel.

Pohyby těles v centrálním gravitačním poli Země

Kruhová rychlost

- gravitační síla F_g se rovná dostředivé síle F_d a jejich porovnáním dostáváme vztah pro kruhovou rychlost

$$F_g = \kappa \frac{mM_Z}{(R_Z + h)^2}$$

$$F_d = \frac{mv_k^2}{R_Z + h}$$

$$F_g = F_d \Rightarrow v_k = \sqrt{\frac{\kappa M_Z}{R_Z + h}}$$

Použijeme-li vztah pro zrychlení

$$a_g = \kappa \frac{M_Z}{R_Z^2}$$

Dosadíme-li do vztahu pro rychlost známé hodnoty, dostáváme pro kruhovou rychlost číslo $v_k = 7{,}90\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$ - tato hodnota kruhové rychlosti se nazývá první kosmická rychlost, pro tuto rychlost je doba oběhu $T = \dfrac{2\pi R_Z}{v_k}$ = 5064 s = 84,8 min

Při počáteční rychlosti

$$v_0 = v_k \sqrt{2}$$

se trajektorie mění v část paraboly a těleso se trvale vzdaluje od Země. Tato rychlost se nazývá parabolická, nebo-li úniková rychlost. Pro $v_k = 7{,}90\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$ je $v_0 = 11{,}2\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$, což je druhá kosmická rychlost.

Když těleso unikne z oblasti, kde převládá gravitace Země stává se družicí Slunce.

5 Hydromechanika

Hydrostatika

Základní charakteristika kapalin - kapaliny jsou jen velmi málo stlačitelné, za rovnovážného stavu v nich nemohou vznikat tečná napětí, jsou dokonale pružné.

Tlak v kapalině, tlaková síla

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

Pascalův zákon : Tlak p je na všech místech uvnitř nádoby stejný a na myšlenou vloženou plochu vždy kolmý (p = konst.).

Hydrostatický tlak – vzniká účinkem zemské tíhy, je definován vztahem

$$p = h\rho g$$

Odvození: $F = m \cdot g$, $m = \rho \cdot V$, $V = S \cdot h$, $F = S\, h\, \rho\, g$, $p = F/S$.

Jednotkou tlaku je $[p] = \mathrm{N \cdot m^{-2}}$.

Spojené nádoby :

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Výšky sloupců kapalin jsou v obráceném poměru k jejich hustotám.

Archimedův zákon:

Velikost hydrostatické vztlakové síly působící na těleso ponořené do kapaliny je rovna velikosti tíhové síly působící na kapalinu o objemu rovném objemu tělesa.

$\rho > \rho_k$ ….. těleso klesá v kapalině o hustotě ρ_k ke dnu

$\rho = \rho_k$ ….. těleso se v kapalině volně vznáší

$\rho < \rho_k$ …… těleso v kapalině plave, ponořená část objemu $V' = V \dfrac{\rho}{\rho_k}$

Barometrický tlak

Východiskem pro určení barometrického tlaku je Toricelliho pokus.

Hlavní jednotka tlaku je Pa (pascal), $1\ \mathrm{Pa} = 1\ \mathrm{N \cdot m^{-2}} = \mathrm{kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}$

Další jednotky tlaku: $1\ \mathrm{atm} = 9{,}80665 \cdot 10^4\ \mathrm{Pa}$

$1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{Pa}$

1 torr = 133,322 Pa

Normální atmosférický (barometrický) tlak je roven 1,01325 · 10^5 Pa.

Barometrická rovnice udává závislost tlaku na nadmořské výšce $p = p_o e^{-\frac{\rho_o g}{p_o}h}$.

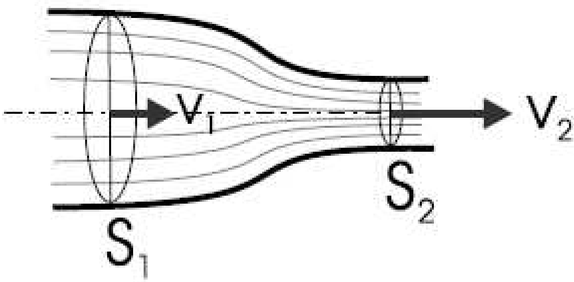
Hydrodynamika

Proudění ideální kapaliny

Rovnice spojitosti toku (kontinuity toku)

$Sv = konst$

$v_1 S_1 = v_2 S_2$



Obr. 7 Rovnice spojitosti toku

Výtok kapaliny otvorem v nádobě:

$$E_k = \frac{1}{V}\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho v^2 = p$$

tj. potenciální energie tlaková

$$v = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2[(b + h\rho g) - b]}{\rho}} = \sqrt{2gh}$$

tj. výtoková rychlost.

Rychlost nezávisí na hustotě kapaliny, je stejná, jakoby kapalina padala z výšky *h* volným pádem.

Bernoulliova rovnice:

tj. zákon zachování energie pro ideální kapalinu

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

Viskozita

Velikost vnitřního tření můžeme měřit silou *F*, které je zapotřebí, aby se deska plochy *S* pohybovala rovnoměrnou rychlostí *v* ve vzdálenosti *z* od klidné desky (stěny), je-li mezi nimi vyšetřovaná kapalina.

$$F = \eta S \frac{v}{z}$$

Konstanta úměrnosti η se nazývá dynamický součinitel vnitřního tření (dynamická viskozita), jt. Newtonův vzorec.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dz}$$

….tangenciální napětí je přímo úměrné rychlostnímu spádu v daném místě. Konstantou úměrnosti je dynamická viskozita, která závisí jen na druhu tekutiny a na teplotě. Jednotkou je kg · m^{-1} · s^{-1} = N · s · m^{-2} = Pa · s. Hodnota dynamické viskozity u kapalin s rostoucí teplotou klesá, u plynů stoupá. Vzduch má asi 100x menší viskozitu než voda.

Podíl součinitele vnitřního tření a hustoty ρ se nazývá kinematický součinitel vnitřního tření.

$$F.v = \frac{1}{2}\rho v^2 S v \Rightarrow F = S\frac{1}{2}\rho v^2$$

je Newtonův vzorec pro odpor prostředí. Vzorec vyhovuje jen přibližně – při větších rychlostech závisí na geometrických vlastnostech pohybujícího se tělesa vztahem $F = CS\frac{1}{2}\rho v^2$.

6 Termika

Základní pojmy

Počet částic, které obsahuje chemicky stejnorodá látka, určuje látkové množství.

Jako standard byl v r. 1960 zvolen nuklid uhlíku ${}^{12}_{6}C$ o hmotnosti m_s = 0,012 kg.

$$A = \frac{m_s}{m_C} = \frac{m_s}{A_{rC}.m_u} :$$

$$A = \frac{0{,}012\mathrm{kg}}{12 \cdot 1{,}66053 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}} \approx 6{,}02217 \cdot 10^{23}$$

mol [mol]: tj. látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik jedinců (entit), kolik je atomů v nuklidu uhlíku ${}^{12}_{6}C$ o hmotnosti 0,012 kg (tj. asi 6,022 · 10^{23}). Mol je základní jednotka soustavy SI.

Stejný počet částic (blíže nespecifikovaných) je v látkovém množství 1 molu libovolné chemicky stejnorodé látky kteréhokoliv skupenství. Tento počet je dán Avogadrovou konstantou A

A =(6,02217 ± 0,00009) · 10^{23} mol^{-1}.

Molekulární síly – přitažlivé a odpudivé, sféra molekulárního působení 5 · 10^{-10} m.

Koheze – síly působící mezi molekulami téže látky

Adheze (přilnavost) – síly působící mezi molekulami různých látek

Látkové množství $n = \dfrac{N}{A}$,

kde N počet částic v daném tělese

Molární hmotnost $M_m = \dfrac{M}{n}$, [kg · mol^{-1}]

Molární objem $V_m = \dfrac{V}{n}$

Počet molekul v objemové jednotce $n_o = \dfrac{N}{V} = \dfrac{A}{V_m}$

Hustota objemové jednotky $\rho = m \cdot n_o$

Boltzmannova konstanta $k = \dfrac{R_m}{A}$

Termodynamika

Kinetická teorie látek – základem jsou tři experimentálně ověřené poznatky:

- Látky kteréhokoli skupenství se skládají z částic.
- Částice se v látkách neustále a neuspořádaně (chaoticky) pohybují).
- Částice na sebe navzájem působí silami. Tyto síly jsou při malých vzdálenostech odpudivé, při větších vzdálenostech přitažlivé.

Neustálý a neuspořádaný pohyb částic v látkách – tepelný pohyb.

Difuze – samovolné pronikání částic jedné látky mezi částice látky druhé, jsou-li tělesa z těchto látek uvedena do vzájemného styku.

Izolovaná soustava – soustava, u níž nemůže docházet k výměně energie ani k výměně částic s okolím, mohou probíhat jen děje mezi částicemi, které tuto soustavu tvoří. Rovnovážný stav plynu je při stálých vnějších podmínkách stavem s největší pravděpodobností.

Teplota

Teplota je fyzikální veličina charakterizující stav tepelné rovnováhy soustavy.

Teplotní stupnice – Celsiova

termodynamická teplota – stupnice nezávislá na náplni teploměru, základní teplota – trojný bod vody T_r = 273,16 K.

$t = (\{T\} - 273{,}15)$ °C, $T = (\{t\} + 273{,}15)$ K

Vnitřní energie tělesa

Vnitřní energie U soustavy je součet kinetické energie neuspořádaně se pohybujících částic tělesa (molekul, atomů, iontů) a celkové potenciální energie vzájemné polohy těchto částic.

Děje, při kterých se mění vnitřní energie soustavy:

- konání práce (tření dvou těles, stlačování plynu)
- tepelná výměna (ohřívání vody)

Teplo Q je určeno energií, kterou při tepelné výměně odevzdá teplejší těleso studenějšímu. Jednotka 1 J.

Jestliže těleso přijme teplo Q tepelnou výměnou, vzroste jeho vnitřní energie o hodnotu ΔU, nenastane-li současně změna skupenství látky, zvýší se teplota tělesa o Δt.

Tepelná kapacita tělesa $C = \frac{Q}{\Delta t}$ [J · K^{-1}]

Měrná tepelná kapacita $c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta t}$ [J · kg^{-1} · K^{-1}]

Odtud $Q = mc\Delta t$.

Kalorimetrická rovnice - zákon zachování energie

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$$

Směšovací kalorimetr

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2) + C_k (t - t_2)$$

kde C_k je tepelná kapacita kalorimetru.

Základní věty termodynamiky

První věta (zákon) termodynamiky:

Přírůstek vnitřní energie soustavy ΔU se rovná součtu práce A vykonané okolními tělesy působícími na soustavu silami a tepla Q odevzdaného okolními tělesy soustavě.

$\Delta U = A + Q$

Pro 1 kmol plynu dále platí

$$U = \frac{i}{2} kNT = \frac{i}{2} RT, \frac{i}{2} R = C_V$$

Děje vratné (reverzibilní) – soustava prochází pouze rovnovážnými stavy. Je možná cesta tam i zpět. Opakem jsou děje nevratné (ireverzibilní).

Přenos vnitřní energie

vedením – energie přechází z míst s vyšší teplotou na místa o nižší teplotě, různá tepelná vodivost

zářením – vyzařování a pohlcování elektromagnetického záření, tepelného záření

prouděním – přenášení energie proudící látkou

Ideální plyn

Základní předpoklady: rozměry molekul ideálního plynu jsou ve srovnání se střední vzdáleností molekul od sebe zanedbatelně malé, molekuly ideálního plynu mimo vzájemné srážky na sebe navzájem silově nepůsobí, vzájemné srážky molekul ideálního plynu a srážky těchto molekul se stěnou nádoby jsou dokonale pružné.

Rozdělení molekul podle rychlostí se řídí Maxwellovým zákonem.

Střední kvadratická rychlost

$$v_k^2 = \frac{\Delta N_1 v_1^2 + \Delta N_2 v_2^2 + \ldots \Delta N_i v_i^2}{N}$$

Kinetická energie

$$E_0 = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{3}{2} kT$$

kde $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J · K^{-1} je Boltzmannova konstanta.

Platí $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_o}}$.

Stavová rovnice pro ideální plyn

$$pV = \frac{m}{M_m} RT$$

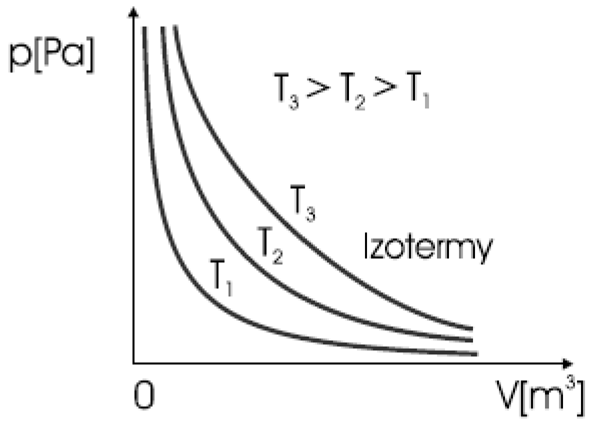
R je molární plynová konstanta. Její číselná hodnota je 8,314 J · K^{-1} · mol^{-1}.

Napíšeme-li stavovou rovnici pro dva různé stavy téhož plynu, dostaneme

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, resp. \frac{pV}{T} = konst.$$

Děje v ideálním plynu

Děj izotermický T = konst.



Obr. 8 Izotermy

zákon Boylův – Mariottův, závislost $p(V)$ - izoterma

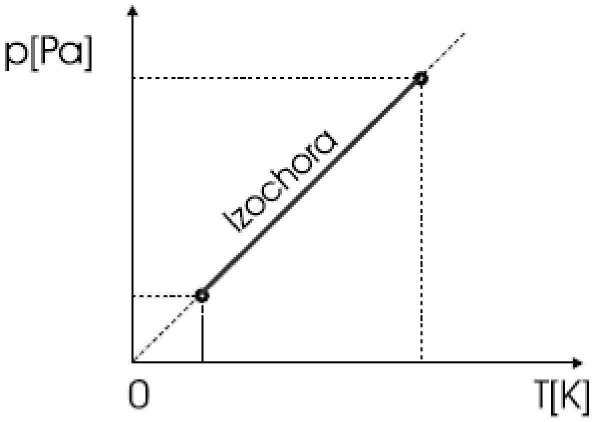
$$p_1 V_1 = p_2 V_2, pV = konst.$$

$$\Delta U = 0, Q_T = A'$$

$A = RT \ln \frac{p_1}{p_2}$

Děj izochorický V = konst.

zákon Charlesův, závislost $p(V)$ - izochora

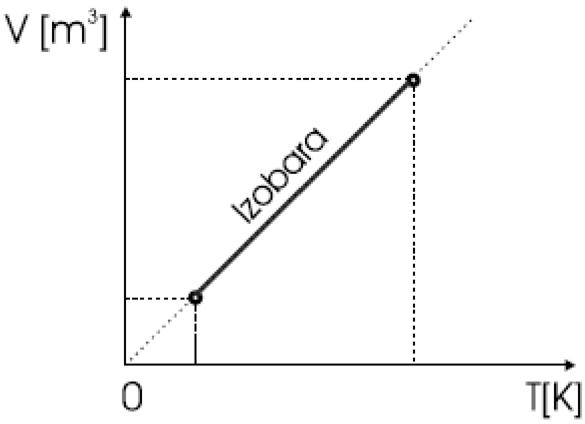


Obr. 9 Izochora

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \frac{p}{T} = konst.$

ΔQ = 0, plyn práci nekoná

Děj izobarický p = konst.



Obr. 10 Izobara

zákon Gay-Lussacův, závislost - izobara

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \frac{V}{T} = konst.$$

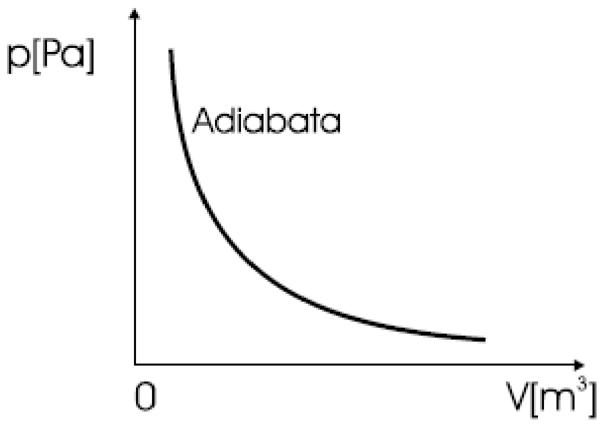
Mayerův vztah

$C_p = C_V + R$,

$A = R(T_2 - T_1)$

Děj adiabatický $Q = 0$

Neprobíhá tepelná výměna mezi plynem a okolím, $\Delta U = A$.



Obr. 11 Adiabata

zákon Poissonův

$pV^{\kappa} = konst.$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

je Poissonova konstanta, plyn s jednoatomovými molekulami $\kappa = 5/3$, plyn s dvouatomovými molekulami $\kappa = 7/5$.

Carnotův ideální kruhový děj

Carnotův děj (cyklus) je soubor změn, po jejichž proběhnutí se soustava vrátí do původního stavu.

1. Izotermická expanze. T = konst., $V_2 > V_1$, práce vykonaná plynem je kladná a rovná se teplu, které plyn přijal od ohřívače.

$$A_1 = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = Q$$

2. Adiabatická expanze. Plyn je dokonale tepelně izolován, práce plynu se děje na úkor jeho vnitřní energie

$$A_2 = -C_V (T_0 - T) = C_V (T - T_0)$$

3. Izotermická komprese. Objem plynu se zmenší, práce vykonaná plynem je záporná

$$A_3 = RT_0 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

plyn práci nekoná, ale spotřebuje.

4. Adiabatická komprese. Plyn je dokonale izolován a stlačován, vrátí se do svého počátečního stavu. Objem plynu se zmenšuje, práce je záporná, plynu dodáváme práci zvnějšku. Práce se rovná přírůstku vnitřní energie.

$-A_4 = C_V(T - T_0)$.

$A_2 + A_4 = 0$

$$A_1 + A_3 = Q - Q_o = RT \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_o \frac{V_4}{V_3}, \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

tj. podmínka kruhového děje, odtud

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_0 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Účinnost η tepelného stroje je poměr mechanické práce vykonané strojem k množství tepla stroji dodanému

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q - Q_0}{Q} = \frac{R \ln \frac{V_2}{V_1} (T - T_0)}{RT \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T - T_0}{T}$$

Druhá věta temodynamiky:

Není možné sestrojit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohřívače) a vykonával stejně velkou práci.

Nelze vyrobit perpetuum mobile druhého druhu.

Kapaliny

Kohesní tlak – tlak povrchové vrstvy kapaliny, dosahuje překvapivě vysoké hodnoty (voda asi 10^9 N · m^{-2}). Kohesní tlak nelze přímo měřit, jeho důsledkem je nestlačitelnost kapalin.

Povrchové napětí – síla, která působí kolmo na délku myšleného řezu povrchem dělenou touto délkou

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Leží v rovině povrchu, u zakřivených povrchů v rovině tečné k povrchu v uvažovaném místě. Jednotka je $N \cdot m^{-1}$.

Kapilární tlak – tlak vznikající zakřivením povrchu, přičítá se ke kohesnímu tlaku při povrchu vypuklém, jinak se odečítá. Výsledný tlak je roven

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

což je Laplaceův vztah, v případě kulové plochy nabývá tvaru

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

Uvnitř mýdlových bublin, které mají dva povrchy, je přetlak dvojnásobný, tj. $\Delta p = \frac{4\sigma}{R}$.

Jevy na rozhraní kapaliny a tuhého tělesa

kapalina smáčí stěnu nádoby – elevace

kapalina stěnu nesmáčí - deprese.

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

kde $R = \frac{r}{\cos\vartheta}$ a r je poloměr kapiláry.

Stavová rovnice reálných plynů

Van der Waalsova rovnice

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

Oprava na kohezní tlak a na vlastní objem molekul.

Fázové přechody

Fázové přeměny: tání – tuhnutí

sublimace-desublimace

vypařování- kondenzace

Teplo, které dodáváme látce po dobu tání, se nazývá skupenské teplo tání. Při tuhnutí se stejné množství tepla uvolňuje – skupenské teplo tuhnutí.

Pro jednotkové množství látky zavádíme měrné skupenské teplo tání (tuhnutí) l_t. Je to množství tepla, které musíme dodat (odebrat) 1 kg pevné látky (kapaliny), zahřáté na bod tání (bod tuhnutí), aby se změnila v kapalinu (pevnou látku) téže teploty.

Jednotka l_t je J · kg^{-1}.

$$Q = ml_t$$

Látky amorfní – přechod z pevné fáze na fázi kapalnou se děje spojitě ve velkém rozsahu teplot.

Při tání a tuhnutí se obyčejně mění objem tělesa (anomálie vody – led má větší objem než voda, plave).

Vypařování - doprovázeno ochlazováním kapaliny, skupenské teplo vypařování $Q = ml_v$, kde l_v je měrné skupenské teplo vypařování.

Páry, které jsou v rovnováze s kapalinou – páry nasycené.

Kondenzace – přeměna fáze plynné v kapalnou, teplo se uvolňuje (skupenské teplo kondenzační) – kondenzační jádra. Teplota může klesnout pod teplotu nasycených par aniž dojde ke kondenzaci – páry přesycené (jsou zbaveny kondenzačních jader).

Vlhkost vzduchu

Absolutní vlhkost vzduchu $\Phi = \dfrac{m}{V}$

Relativní vlhkost vzduchu $\varphi = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\Phi}{\Phi_S}$,

kde m je poměr vodních par ve vzduchu skutečně obsažených, M je množství par, kterým by byl vzduch při dané teplotě nasycen, Φ_S je maximální absolutní vlhkost vzduchu. Udává se v procentech.

Rosný bod – teplota, při níž nastává ve vzduchu kondenzace vodních par.

Zkapalňováním plynů se zabývá kryogenní technika. Metody získávání nízkých teplot:

Chladící směsi - směsi soli a sněhu nebo ledu (kuchyňská sůl – až –23 °C, chlorid vápenatý – až –55 °C.

Vypařování – prudkým vypařováním kapalného čpavku nebo CO_2 – až –110 °C. Je třeba odnímat teplo vypařující se kapalině.

Kaskádní metoda ochlazování

Ochlazení expanzí plynu – Joule-Thomsonův jev

Látky pevné

Krystalické látky – pravidelné uspořádání částic (atomů, molekul, iontů) – monokrystaly jsou anizotropní – některé fyzikální vlastnosti závislé na směru vzhledem ke stavbě krystalu.

Polykrystaly – složené ze zrn, uvnitř zrn částice uspořádány pravidelně, poloha zrn je nahodilá, různá orientace zrn – polykrystaly jsou izotropní (vlastnosti ve všech směrech stejné)

Polymery – amorfní látky organického původu (kaučuk, celulóza, bílkoviny).

Krystalová mřížka

Základní strukturní jednotka je tzv. elementární buňka, jejíž délka hrany je mřížkový parametr a (mřížková konstanta).

Vazby v krystalech:

- iontová vazba (NaCl, KBr) – tvrdé, vysoká teplota tání, křehké, elektrické izolanty, při vyšších teplotách jsou vodivé
- vodíková (H_2O)
- kovová (u mědi, Fe, Al), mřížka složena z kladných iontů mezi nimiž se pohybují valenční elektrony (elektronový plyn) – dobrá tepelná a elektrická vodivost, kujné, tažné
- kovalentní (diamant, germanium, Si) – tvrdé, vysoká teplota tání, elektrické izolanty nebo polovodiče.
- van der Waalsova – slabá vazba, krystaly inertních prvků, stabilní za nízkých teplot (jod, chlor) – tzv. molekulové krystaly.

7 Kmitání

Pohyb kmitavý – pohybující se bod nepřekročí určitou vzdálenost od tzv. rovnovážné polohy. Těleso konající kmitavý pohyb – oscilátor (rovinný, lineární).

- kmity mechanické
- kmity elektrické

Klasifikace kmitavých pohybů

1. obecné (neperiodické)
2. periodické
3. harmonické

Harmonické kmity jsou zvláštní případ kmitavého pohybu. Jsou popsány některou z těchto funkcí: sin, cos, tg, cotg. Jsou vždy periodické (perioda T=2π).

Harmonické kmitavé pohyby rozdělujeme na volné, tlumené a vynucené.

Volné harmonické kmity

Doba kmitu – tzv. perioda T (s).

Počet kmitů za sekundu – tzv. kmitočet (frekvence) $f = \frac{1}{T}$ (s^{-1} = Hz, hertz).

Prodloužení pružiny je přímo úměrné působící síle, ta směřuje vždy do rovnovážné polohy. Podle Hookova zákona

$$\vec{F} = -k\vec{y} \quad ,$$

$$k = \left|\frac{F}{y}\right|$$

Síla, která způsobí jednotkovou výchylku, je tzv. tuhost pružiny (= direkční síla). Jednotka je $N \cdot m^{-1}$.

Harmonické kmitání

$$y = A\sin(\omega t + \varphi)$$

$$y = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$v = A\omega\cos(\omega t + \varphi)$$

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = -\frac{k}{m} A\sin(\omega t + \varphi)$$

Porovnáním

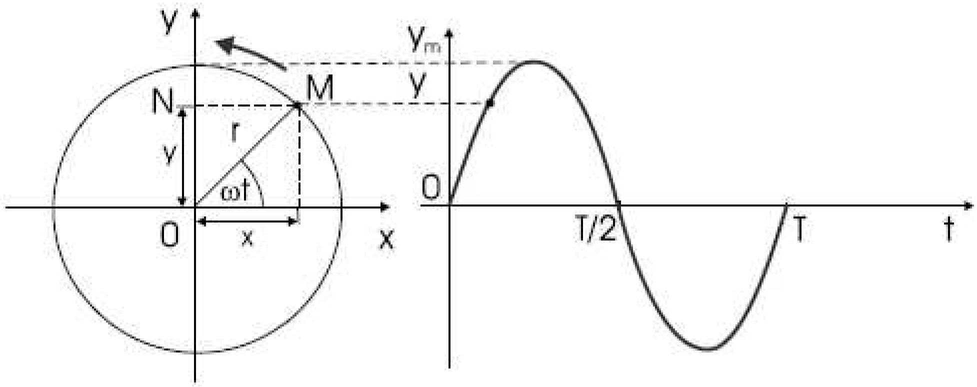
$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

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

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

ω je úhlový kmitočet (úhlová frekvence)



Obr. 12 Vznik kmitavého pohybu

Energie harmonického pohybu

$W = W_k + W_p$

Kinetická energie

$$W_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

Potenciální energie

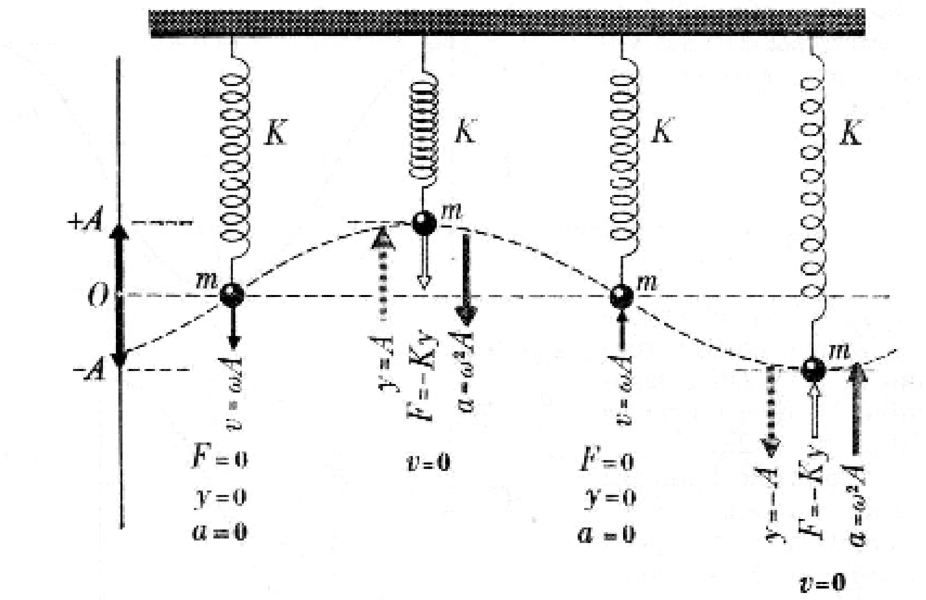
$$W_p = A = \frac{1}{2}ky^2 = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

Celková energie

$$W = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2}kA^2 = konst$$

$W = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$

Celková energie je nezávislá na čase a je konstantní.



Obr. 13 Charakteristiky kmitavého pohybu

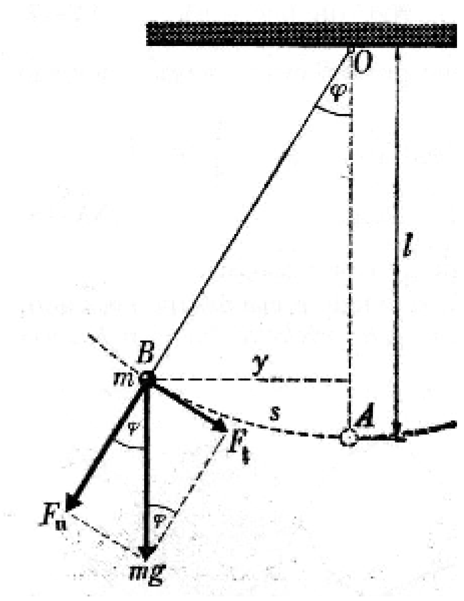
Matematické kyvadlo

Hmotný bod *m* upevníme v pevném bodě O na nehmotném závěsu. Na hmotný bod působí tíhová síla F_G.

$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Kyv je polovina kmitu $\tau = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$



Obr. 14 Matematické kyvadlo

Fyzické kyvadlo

je tuhé těleso, které se otáčí kolem pevné osy, která neprochází jeho těžištěm.

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{mgd}{J}}, T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}$$

$$\tau = \pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}$$

Dobu kyvu fyzického kyvadla srovnáme s dobou kyvu matematického kyvadla ⇒

$$l \approx L = \frac{J}{md}$$

L je tzv. redukovaná délka fyzického kyvadla – je rovna délce matematického kyvadla, které má stejnou dobu kyvu jako dané fyzické kyvadlo.

Reverzní kyvadlo – kovová tyč se dvěma osami otáčení, platí oo´= *L* , potom $\tau = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Používá se k určení gravitačního zrychlení, je součástí gravimetrických přístrojů, metronomu, vahadla pákových vah, seizmografů.

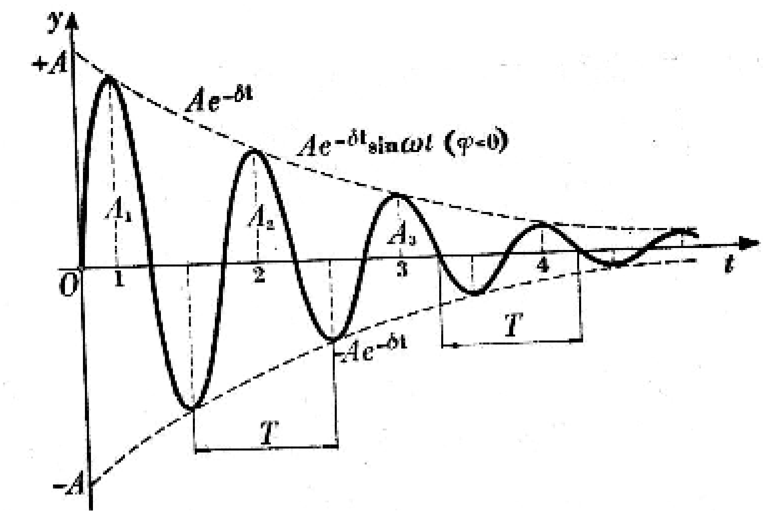
Kmity tlumené

Síla pružnosti $\vec{F}_1 = -k\vec{y}$

Tlumící síla $\vec{F}_2 = -R\vec{v}$

$\frac{k}{m} = \omega^2, \frac{R}{m} = 2\delta$

δ je součinitel tlumení.



Obr. 15 Tlumené kmitání

$y = Ae^{-\delta t}\sin(\omega_1 t + \varphi)$, kde

$$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \delta^2}}$$

$$\omega_t = \sqrt{\omega_o^2 - b^2}$$

Útlum λ … poměr amplitud po sobě následujících kmitů

$$\lambda = \frac{A_1}{A_2} = \frac{Ae^{-\delta t}}{Ae^{-\delta(t+T_1)}} = e^{\delta T_1}$$

Logaritmický dekrement útlumu

$$\Lambda = \ln\lambda = \ln\frac{y_1}{y_2} = \delta T_1 = \frac{2\pi\delta}{\sqrt{\omega^2 - \delta^2}} = 2\pi\frac{\delta}{\omega_1}$$

Skládání kmitů

- analyticky

- graficky
- pokusně

Skládání dvou kmitů téhož směru a různých frekvencí

$y = y_1 + y_2 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$

Podmínka periodicity kmitání:

$\sin(x + 2n\pi) = \sin x$

$x = \omega t + \varphi \Rightarrow \omega_1 T = 2n_1\pi$

$\omega_2 T = 2n_2\pi$

$\Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{n_2}{n_1}$

$\Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2}$

tzn. doby kmitů jsou souměřitelné (v poměru celých čísel)

Výsledné kmitání je obecně periodické a neharmonické.

Skládání kmitů téhož směru a téže frekvence

$y = y_1 + y_2 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$

$y = A\sin(\omega t + \varphi)$

$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2}$

$tg\varphi = \frac{A_1 \sin\varphi_1 + A_2 \sin\varphi_2}{A_1 \cos\varphi_1 + A_2 \cos\varphi_2}$

Superpozicí vzniká harmonický kmit téže frekvence jako mají oba skládané kmity.

Zvláštní případy:

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$ nebo celistvému násobku 2π ….kmity jsou ve fázi, $A = A_1 + A_2$

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = (2k+1)\pi$

Kmity mají opačnou fázi, $A = A_1 - A_2$

Skládání dvou stejnosměrných harmonických kmitů blízkých kmitočtů

$y = A' \sin 2\pi ft$, amplituda je ± $2A$,

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} \doteq f_1 \doteq f_2$$

Dochází k periodickému zesilování a zeslabování kmitání – tzv. rázy (zázněje). Frekvence rázů je rovna $f_r = |f_1 - f_2|$

Skládáním kolmých harmonických kmitů, jejichž frekvence jsou v poměru malých celých čísel, vznikají **Lissajousovy obrazce**.

$$x = A_1 \sin \omega t$$

$$y = A_2 \sin(\omega t + \varphi)$$

Vyloučíme parametr *t* a obdržíme rovnici křivky, kterou kmitající bod opisuje

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2\frac{xy}{A_1 A_2}\cos\varphi = \sin^2\varphi$$

Zvláštní případy:

$\varphi = 0$ rovnice přímky

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2\frac{xy}{A_1 A_2} = 0 \Rightarrow \left(\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2}\right)^2 = 0 \Rightarrow y = \frac{A_2}{A_1}x$$

$\varphi = \pi$

$$y = -\frac{A_2}{A_1}x$$

$\varphi = \pi/2$, $\varphi = 3\pi/2$ elipsa

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$$

Je-li $A_1 = A_2 = A \Rightarrow x^2 + y^2 = A^2$ …. kružnice

Vynucené kmity

K udržení kmitů je zapotřebí vnější síla. Na hmotný bod působí tři síly.

elastická síla

$$F_e = -m\omega_0^2 y$$

síla odporu prostředí

$$F_t = -2bmv$$

vnější harmonická síla

$$F_h = Q \sin \Omega t$$

Amplituda vynucených kmitů:

$$A_v^2 = \frac{\left(\frac{Q}{m}\right)^2}{4b^2\,\Omega^2 + \left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2}$$

V případě

$$\Omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2b^2}$$

je amplituda vynucených kmitů A_v maximální.

Kmity tlumené jsou kvaziperiodické, jejich amplituda klesá podle vztahu $A = A_o e^{-bt}$. U vynucených kmitů je důležitý jev rezonance – při kmitočtu $\Omega = \sqrt{\omega_o^2 - 2b^2}$ je amplituda vynucených kmitů maximální.

8 Vlnění

Druhy vln:

- mechanické
- elektromagnetické
- vlny hmoty (de Broglieho)

Lineární vlny příčné – směry kmitů jsou kolmé k bodové řadě

Vzdálenost, kam se rozruch rozšířil stálou rychlostí za dobu kmitu T, se nazývá délka vlny λ.

Je-li v rychlost šíření vlnění, potom platí

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}, v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

kde f je frekvence vlnění a v je fázová rychlost vlny.

Vlnová délka je vzdálenost dvou nejbližších částic, které kmitají se stejnou fází. Bodová řada má tvar vlnovky složené ze shodných půlvln - vrch a důl.

Počet vlnových délek na jednotku délky označujeme jako vlnočet $\sigma = \frac{1}{\lambda}$.

Lineární vlny podélné – částice bodové řady kmitají ve směru řady.Jednu vlnu tvoří jedno zhuštění a jedno zředění.

Výchylka v určitém bodě je dána rovnicí $u(t) = A\sin\omega t$, do libovolného bodu M se dostane za čas $\tau = \frac{x}{v}$. Výchylka v bodě M je dána rovnicí

$$u(t,x) = A\sin\omega(t-\tau) = A\sin\omega(t-\frac{x}{v})$$

Použitím vztahů $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ dostáváme další tvary rovnice

$$u(x,t) = A\sin\frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

$$u(x,t) = A\sin 2\pi f\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

$$u(x,t) = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{vT}\right)$$

$$u(x,t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$u(x,t) = A \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$u(x,t) = A \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} = k$$

je tzv. vlnové číslo (úhlový vlnočet), jednotkou je rad · m^{-1}.

Fázový a dráhový rozdíl u vlnění

Vlnu vyjádříme rovnicí $u(x,t) = A \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) = A \sin(\omega t - \varphi)$

Fázové posunutí

$$\varphi = \frac{\omega x}{v} = \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v} = 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \Rightarrow \Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}.$$

Z této rovnice plyne, že v bodech s dráhovým rozdílem $x_2 - x_1 = k\lambda = 2k\frac{\lambda}{2}$, kde k = 1,2,3,… jsou kmity s fázovým rozdílem $\varphi_2 - \varphi_1 = 2k\pi$, říkáme, že jsou ve fázi.

Při dráhovém rozdílu dvou bodů $x_2 - x_1 = (2k-1)\frac{\lambda}{2}$ je fázový rozdíl $\varphi_2 - \varphi_1 = (2k-1)\pi$, body mají opačnou výchylku v každém okamžiku. Body kmitají s opačnou fází.

Šíření vlny v prostoru

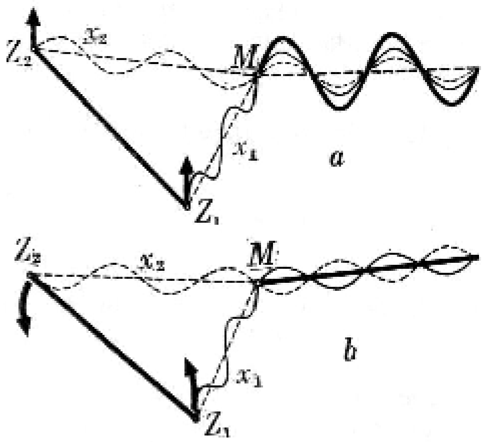
Prostředí, které má všude stejné vlastnosti, je stejnorodé (homogenní) (opak je heterogenní). Prostředí, v němž se vlnění šíří v různých směrech různou rychlostí, je anizotropní (opak izotropní). V izotropním prostředí se vlnění ze zdroje všemi směry za dobu *t* rozšíří do vzdálenosti *r* = *vt*, tj. body stejné fáze vyplňují kulovou plochu, tzv. vlnoplocha. Směr, v němž se vlnění šíří, je tzv. paprsek. Ve velké vzdálenosti od zdroje mají kulové vlnoplochy tak velký poloměr, že je lze nahradit rovinnými vlnoplochami.

Interference vlnění

Jestliže se prostředím šíří vlnění ze dvou nebo více zdrojů, jednotlivá vlnění postupují prostředím nezávisle. V místech, kde se setkávají, dochází k jejich skládání – interferenci.

Princip superpozice:

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



Obr. 16 Interference vlnění

Koherentní vlnění mají stejnou frekvenci, stejný směr kmitání a stejnou fázi. Skládání dvou koherentních vlnění:

$$u_1 = A_1 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1), \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} x_1$$

$$u_2 = A_2 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right) = A_2 \sin(\omega t - \varphi_2), \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} x_2$$

$$u = u_1 + u_2 = A \sin(\omega t - \varphi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$$

$$x_2 - x_1 = k\lambda = 2k\frac{\lambda}{2}, \varphi_2 - \varphi_1 = 2k\pi$$

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$$

obě vlnění se potkala se stejnou fází… $A = A_1 + A_2$

Amplituda je maximální, jde o interferenční maximum.

$x_2 - x_1 = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1)\pi$

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$

obě vlnění se potkala s opačnou fází … $A = A_1 - A_2$

Amplituda je minimální, jedná se o interferenční minimum.

Stojaté vlnění

Vzniká skládáním dvou postupných vlnění stejné amplitudy a vlnové délky, která se šíří proti sobě.

$$u_1 = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$u_2 = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$u(x,t) = 2A\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\sin\frac{2\pi}{T}t$$

je rovnice stojatého vlnění (je harmonické, má všude stejnou frekvenci a stejnou fázi)

V bodech o souřadnici $x = (2k+1)\dfrac{\lambda}{4}$ je amplituda trvale nulová – uzly.

V bodech o souřadnici $x = 2k\dfrac{\lambda}{4}$ je amplituda trvale maximální – kmitny.

Vzdálenost sousedních kmiten, popř. uzlů je rovna polovině vlnové délky stojatého vlnění $\dfrac{\lambda}{2}$.

Odraz vln

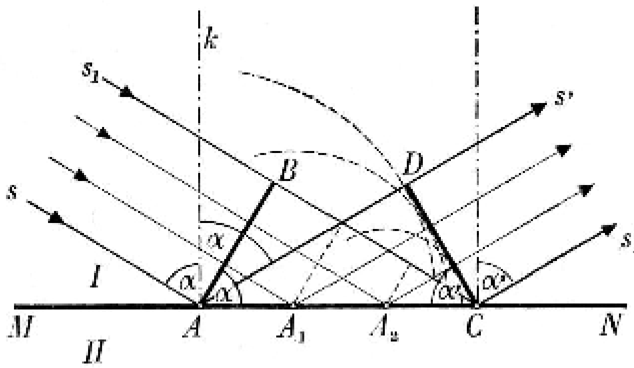
odraz na pevném konci …fázový rozdíl $\varphi = \pi$, fáze se mění v opačnou

odraz na volném konci …. $\varphi = 0$, fáze se nemění, v místě odrazu je trvale kmitna.

Huygensův princip

Huygensův princip: všechny body vlnoplochy lze považovat za elementární zdroje, z nichž se šíří na všechny strany nové, tzv. elementární vlny. Vnější obalová plocha těchto elementárních vlnoploch je pak výslednou vlnoplochou.

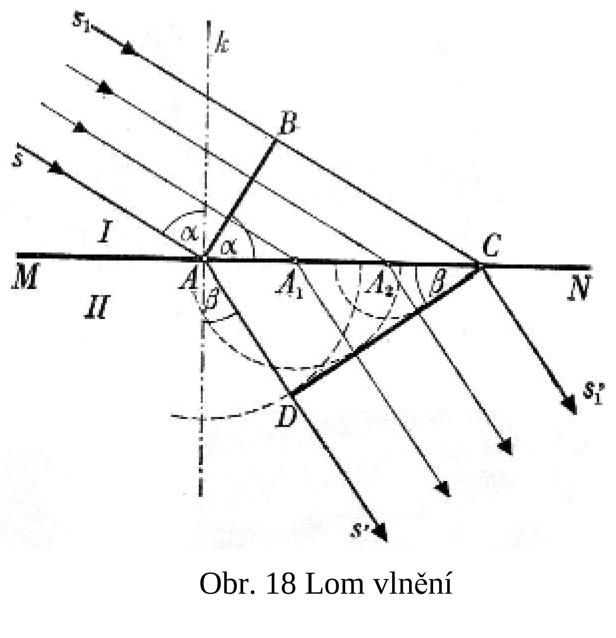
Odraz vlnění



Obr. 17 Odraz vlnění

Zákon odrazu: Úhel odrazu vlnění se rovná úhlu dopadu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu.

Lom vlnění



Obr. 18 Lom vlnění

Platí Snellův zákon

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$$

kde α je úhel dopadu a β je úhel lomu.

Zákon lomu vlnění: Poměr sinu úhlu dopadu k sinu úhlu lomu je pro daná dvě prostředí stálý a rovná se poměru rychlostí vlnění v obou prostředí. Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.

Veličina n je index lomu vlnění pro daná prostředí.

Ohyb vlnění (difrakce)

Vzniká na překážce o rozměru stejného řádu jako vlnění, vlnění se dostane i do prostoru za překážkou. Ohybové jevy jsou typické pro optiku.

Maxima vlnění vznikají ve všech směrech pro něž platí $d \sin\alpha = k\lambda$, kde d je vzdálenost štěrbin (mřížková konstanta), k je řád interference.

Dopplerův jev

Pohybuje-li se zdroj nebo pozorovatel vzhledem k prostředí, jímž se šíří vlnění, vnímá pozorovatel obecně jiný kmitočet, než který zdroj přijímá.

Zdroj Z je v klidu a pozorovatel se pohybuje

ke zdroji … vnímá frekvenci

$$f_1 = f_o + \frac{u}{v} = f_o\left(1 + \frac{u}{v}\right)$$

kde u je rychlost pozorovatele. Pozorovatel vnímá vyšší kmitočet než je kmitočet zdroje.

Od zdroje

$$f_1' = f_o\left(1 - \frac{u}{v}\right)$$

… pozorovatel vnímá frekvenci nižší.

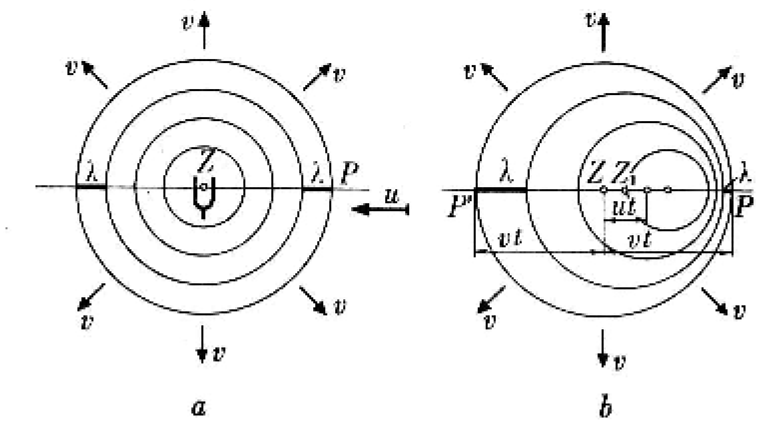
Pozorovatel je v klidu a zdroj se pohybuje

k pozorovateli rychlostí u ….

$$f_2 = \frac{f_o}{1 - \frac{u}{v}}$$

od pozorovatele ….

$$f_2' = \frac{f_o}{1+\frac{u}{v}}$$



Obr. 19 Dopplerův jev

Akustika

Zvuk je mechanické vlnění šířící se pružným látkovým prostředím libovolného skupenství. Rychlost zvuku ve vzduchu o teplotě t v Celsiových stupních v = 331,8 + 0,61 t .

Intenzita zvuku je definována jako energie, která projde plošnou jednotkou postavenou kolmo ke směru šíření zvuku za 1 sekundu

$$I = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 u_o^2 = \frac{1}{2}\frac{p_o^2}{\rho v}$$

kde p_o je amplituda akustického tlaku. Vyjádříme-li efektivní hodnoty akustického tlaku a akustické rychlosti $p_{ef} = \frac{p_o}{\sqrt{2}}, v_{ef} = \frac{v_o}{\sqrt{2}}$,

máme pro intenzitu zvuku $I = \frac{p_{ef}^2}{\rho v}$.

Hladina intenzity B v decibelech je

$$B = 10\log\frac{I}{I_o} = 20\log\frac{p_{ef}}{p_{oef}},$$

kde $I_o = 10^{-12}$ W · m^{-2} je prahová intenzita referenčního tónu o frekvenci f_o = 1000 Hz, p_{oef} = 2 · 10^{-5} N · m^{-2} je prahová hodnota akustického tlaku při f_o = 1000 Hz.

Hladina hlasitosti referenčního tónu je určena vzorcem

$$k = 10\log\frac{I}{I_0^*}.$$

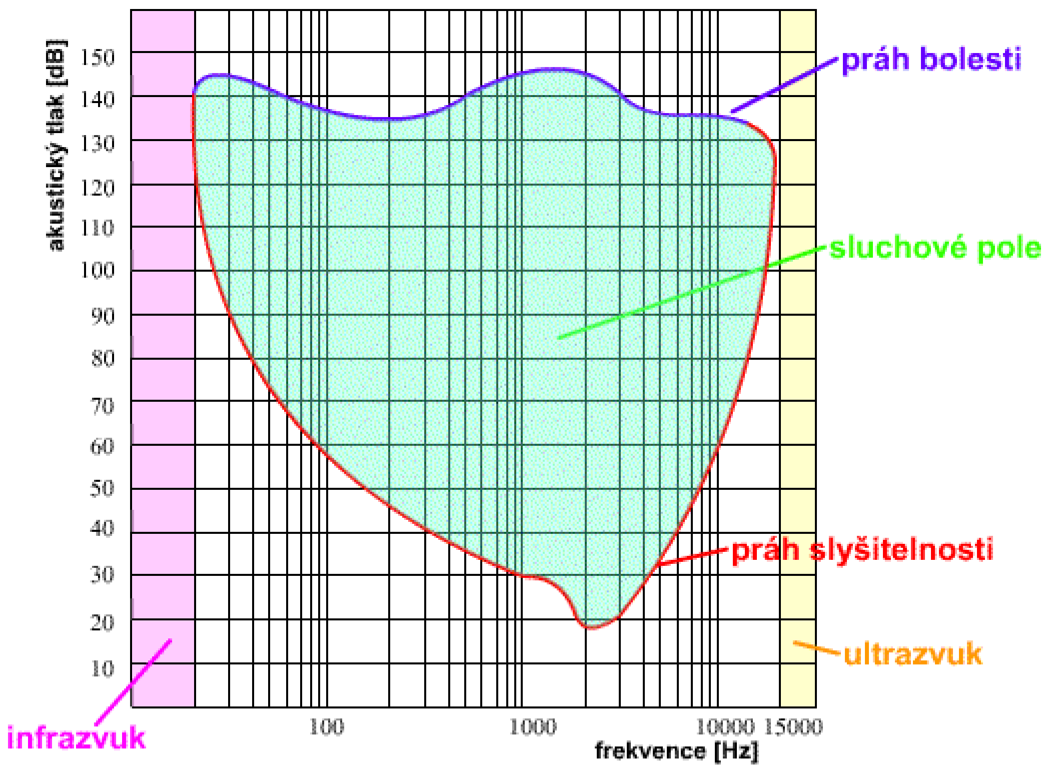
Hladina hlasitosti jiných zvuků byla definována takto: Hladina hlasitosti zvuku se rovná hlasitosti pro lidské ucho stejně silného jednoduchého tónu s frekvencí 1 000 Hz.

Veličina definovaná pro jakýkoliv zvuk vzorcem $s = \log\frac{I}{I_o^*}$,

ve kterém I_o^* je zvukový práh referenčního tónu, se nazývá hladina intenzity tohoto zvuku. jednotky - decibel (značka dB). Pokud je například hladina intenzity referenčního tónu 5 bel = 50 decibel, jeho hladina hlasitosti $k = 10s = 50$ fónů.

Závislost citlivosti ucha na výšce tónu vyjadřují Kingsburyho křivky

Křivky označené hodnotami hladin hlasitosti ve fónech od 0 do 120 fónů udávají pro každou frekvenci hladinu intenzity *s* potřebnou na dosáhnutí dané hladiny hlasitosti. Z diagramu vyplývá, že lidské ucho je při všech intenzitách nejcitlivější pro tóny s frekvencí 3000 až 4000 Hz.



Obr. 20 Kingsburyho křivky

Frekvence vlnění, které lidské ucho může vnímat jako zvuk, je v intervalu 16 až asi 20 000 Hz. Příklady zvuků různé hladiny hlasitosti udává přehled:

140 dB – proudová letadla, některé sirény, např. sirény námořních lodí

130 dB – kotlárny apod., ale i vypouštění páry a plynů pod tlakem

120 dB – válcovací stolice, buchary, velmi hlučné dílny, nízko přeletující letadla, rachot hromu

110 dB – přádelny, hlučné dílny, uvnitř velkého orchestru

100 dB – v blízkosti vlaků, těžkých nákladních aut, lanovek atd.

90 dB – hlučné křižovatky, pneumatická vrtačka

80 dB – auta, motocykly, hlučné ulice, posluchačem vnímaný zvuk orchestru, křik

70 dB – statické (nehybné) stroje

60 dB – středně hlučné ulice

50 dB – normální hovor, tiše jedoucí automobil, tiché ulice

40 dB – tiché kanceláře

30 dB – zahrady, tichá obydlí

20 dB – šeptaný hlas

0 dB – práh vnímání zvuků a bezzvukovost

Vznik, vlastnosti a použití ultrazvuku

Vlnění jakéhokoliv hmotného prostření s frekvencí menší než 16 Hz se nazývá infrazvuk a vlnění s frekvencí větší než přibližně 20 000 Hz ultrazvuk.

Protože jsou ultrazvukové vlny velmi krátké, ultrazvuk se šíří prostředím prakticky přímočaře a při odrazu od překážek platí zákon odrazu. Jeho jinou význačnou vlastností je, že na rozdíl od obyčejného zvukového vlnění, je ultrazvuk ve vzduchu a jiných plynech značně absorbován, a to tím více, čím je jeho vlnová délka menší. Naproti tomu v kapalinách, například ve vodě, se ultrazvukové vlnění může rozšířit i do velmi velkých vzdáleností.

Ultrazvuk se v praktickém životě využívá pro svoje významné vlastnosti různými způsoby. Jeho malá absorpce ve vodě umožňuje velmi rychle a pohodlně měřit například hloubky moří tzv. metodou ozvěny ultrazvuku. Zdroj ultrazvuku upevněný na lodi pod vodní hladinou vysílá velmi krátké ultrazvukové impulsy, které se po odrazu ode dna moře vracejí a účinkují na přijímač ultrazvuku. Jestliže mezi vysíláním a zachycením ozvěny ultrazvukového signálu uplynul čas Δt a rychlost zvuku ve vodě je v, potom hloubku moře určuje vzorec $h = \frac{1}{2} v \Delta t$.

9 Elektrické pole

Elektrické náboje na sebe působí prostřednictvím svých elektrických polí. Intenzita elektrického pole E v určitém bodě se číselně rovná síle F, kterou pole v tomto bodě působí na bodový náboj Q

$$E = \frac{F}{Q} \quad [\mathrm{N \cdot C^{-1}}]$$

Kladný náboj vytváří ve svém okolí radiální elektrické pole, které je charakterizováno intenzitou elektrického pole. Elektrické siločáry (čáry totožné se směrem intenzity elektrického pole) v tomto případě směřují od náboje. Záporný náboj vytváří rovněž radiální pole, ale jeho siločáry směřují k náboji.

Coulombův zákon

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} . \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad ,$$

kde Q_1 a Q_2 je velikost nábojů a r je jejich vzdálenost, ε_0 je permitivita vakua, jejíž číselná hodnota je rovna $8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}}$ a ε_r je relativní permitivita prostředí.

Elektrostatická indukce - **z**áporně nabitá tyč přiblížená k neutrálnímu (nezelektrovanému) tělesu vyvolá na přivrácené straně opačný kladný náboj.

Elektrický potenciál φ v daném bodě statického elektrického pole definujeme jako podíl elektrické potenciální energie E_p bodového náboje Q v tomto bodě a tohoto náboje Q

$$\varphi = \frac{E_p}{Q} \quad .$$

Elektrické napětí U je rozdíl potenciálů mezi dvěma body v elektrickém poli.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \; .$$

Vztah mezi intenzitou elektrického pole E a napětím U připadajícím na délku d v homogenním elektrickém poli mezi dvěmi rovnoběžnými vodivými deskami

$$E = \frac{U}{d} \quad ,$$

Jednotka je $\mathrm{V \cdot m^{-1}}$.

Práci W při přemístění náboje Q v elektrickém poli mezi dvěma místy, mezi nimiž je napětí U je možné určit ze vztahu

$$W = QU \, .$$

Kapacita vodiče vyjadřuje schopnost vodiče přijmout při daném potenciálu φ určitý volný náboj Q. Je definována vztahem

$C = \dfrac{Q}{\varphi}$, resp. $C = \dfrac{Q}{U}$,

Jednotkou kapacity je F.

Kapacita osamocených vodičů je velmi malá. Zvyšuje se uspořádáním navzájem izolovaných vodičů. Takovéto soustavy nazýváme kondenzátory. Pro kapacitu deskového kondenzátoru, který tvoří dvě rovnoběžné, vzájemně izolované desky ve vzdálenosti d s obsahem plochy S, na níž je náboj Q platí

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} .$$

S ohledem na rozmístění elektrického náboje na povrchu vodiče zavádíme fyzikální veličinu plošná hustota elektrického náboje

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

s jednotkou $C \cdot m^{-2}$.

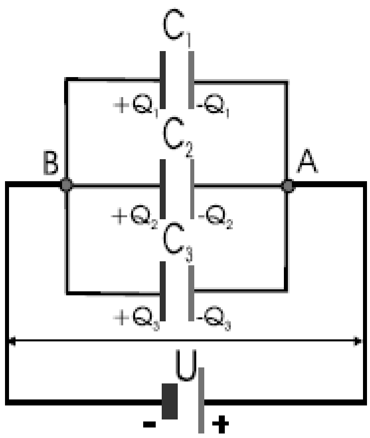
Vložíme-li dielektrikum (izolant) do elektrického pole, dochází k jeho polarizaci. Kladná jádra atomu dielektrika se posunou ve směru intenzity vnějšího elektrického pole E , a záporný elektronový obal proti směru intenzity. Tato polarizace na atomární úrovni vede k vytvoření elektrického dipólu z původně neutrálního atomu. Polarizací dielektrika vzniká mezi polarizovanými náboji elektrické pole o intenzitě E_i opačného směru než je intenzita E_0 elektrického pole, které polarizaci vyvolalo. Intenzita E_v výsledného pole má směr intenzity E a velikost

$$E_v = E_o - E_i .$$

Veličina, která udává, kolikrát je intenzita výsledného pole menší než intenzita vnějšího pole, se nazývá relativní permitivita prostředí ε_r.

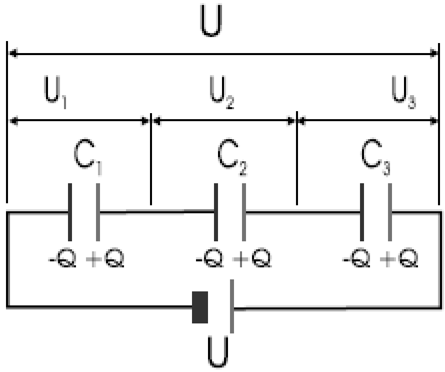
Spojíme-li n kondenzátorů paralelně, je jejich výsledná kapacita C rovna součtu jednotlivých kapacit

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_n .$$



Obr. 21 Paralelní spojení kondenzátorů

Při sériovém spojení kondenzátorů



Obr. 22 Sériové spojení kondenzátorů

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n} \quad .$$

Nabijeme-li kondenzátor o kapacitě C elektrickým nábojem Q na napětí U, vykoná se práce

$$W = \frac{1}{2}\, QU = \frac{1}{2}\, CU^2 \ ,$$

která je současně rovna energii nabitého kondenzátoru.

Elektrický proud

je uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem pod vlivem elektrického pole. Elektrický proud je fyzikální veličina definovaná vztahem

$$I = \frac{Q}{t} \quad ,$$

kde Q je celkový náboj částic, které projdou průřezem vodiče za dobu t. Jednotka proudu je 1 ampér.

Ohmův zákon

$$R = \frac{U}{I} \quad ,$$

kde konstanta úměrnosti, charakteristická pro každý vodič se nazývá elektrický odpor (udává se v ohmech). Převrácená hodnota R se nazývá elektrická vodivost G a její jednotkou je siemens [S].

Odpor homogenního vodiče délky l s plošným obsahem průřezu S je dán vztahem

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

kde ρ s jednotkou Ωm je měrný odpor. Závislost odporu na teplotě v omezeném rozsahu teplot vyjadřuje vztah

$R_t = R_o(1 + \alpha\Delta t)$,

kde R_t je elektrický odpor vodiče při teplotě t,

R_o je elektrický odpor vodiče při teplotě t_o,

Δt je rozdíl těchto teplot a

α je teplotní součinitel elektrického odporu v K^{-1}.

Podle Ohmova zákona pro uzavřený obvod je proud v tomto obvodu roven podílu elektromotorického napětí zdroje U_e a součtu odporů ve vnější (R) a vnitřní části obvodu (R_i)

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \text{ [A]}.$$

Elektromotorické napětí vyjádříme jako

$U_e = RI + R_i I$,

kde veličina $U = RI$ je svorkové napětí zdroje a veličina $U_i = R_i I$ je úbytek napětí na zdroji.

Celkový odpor R soustavy rezistorů zapojených sériově

$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$.

Výsledný odpor paralelně spojených rezistorů (jeho převrácená hodnota)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

Chceme-li zvětšit měřící rozsah ampérmetru, připojíme paralelně k měřícímu přístroji rezistor (bočník). Pro odpor bočníku platí

$$R_b = \frac{R_A}{n-1},$$

kde R_A je odpor ampérmetru a n představuje n-násobné zvětšení rozsahu přístroje.

Měřící rozsah voltmetru zvětšujeme předřadným rezistorem (předřadníkem). Odpor předřadného rezistoru vypočteme ze vztahu

$R_p = (n - 1) R_V$,

kde R_V je vnitřní odpor voltmetru.

Práce stálého elektrického proudu ve vnější části elektrického obvodu je dána součinem napětí, proudu a doby, po kterou proud obvodem prochází

$W = UIt$.

Má-li vnější část obvodu celkový odpor R, můžeme tuto práci vyjádřit jako

$W = RI^2t = (U^2/R)t$.

Výkon stálého proudu I ve vodiči (spotřebiči), na jehož koncích je napětí U je vyjádřen vztahy

$$P = \frac{W}{t} = UI = \frac{U^2}{R} = R\,I^2 \ .$$

Účinnost spotřebiče je dána podílem výkonu P a příkonu spotřebiče P_o

$\eta = P/P_o$, resp. $\eta = (P/P_o) \cdot 100$ %.

Elektrický proud v elektrolytech

V elektrolytech zajišťují vedení proudu kladné ionty (kationty) a záporné ionty (anionty) nacházející se v roztoku elektrolytu. Elektrony zajišťují přenos náboje jen v elektrodách (kladná elektroda - anoda a záporná elektroda - katoda) a ve vnější části elektrického obvodu.

Elektrochemické děje probíhající na elektrodách využívají zejména akumulátory. Nejvíce používaný olověný akumulátor navrhl v roce 1860 francouzský fyzik Planté. V nabitém stavu tvoří elektroaktivní látku kladných desek oxid olovičitý (PbO_2). Při vybíjení akumulátoru vzniká na obou elektrodách síran olovnatý ($PbSO_4$). Na kladné desce se oxid olovičitý mění na síran olovnatý a hustota kyseliny sírové v elektrolytu klesá. Při nabíjení akumulátoru, elektrický proud protéká z kladné elektrody přes kyselinu sírovou na zápornou elektrodu. Síran olovnatý se na kladné desce mění na oxid olovičitý. Na druhé desce se síran olovnatý mění na čisté olovo. Roztok kyseliny sírové se stává hustší. Dostatečná hustota elektrolytu je jednou z podmínek, aby baterie dávala správné napětí. Baterie se zředěným elektrolytem v zimních měsících nemá dostatečnou kapacitu a nevyvolá potřebnou jiskru k nastartování motoru.

Při pokusech s elektrolyty se dá dokázat, že hmotnost látky m v kilogramech vyloučené na elektrodách při elektrolýze je přímo úměrná součinu stálého proudu I a doby, po kterou proud elektrolytem procházel. Matematicky zapíšeme 1. Faradayův zákon ve tvaru

$m = AIt$,

kde konstanta úměrnosti A se nazývá elektrochemický ekvivalent látky.

Podle 2. Faradayova zákona jsou hmotnosti různých prvků (radikálů) vyloučených při elektrolýze stejným celkovým nábojem chemicky ekvivalentní

$$A = \frac{1}{F}\frac{M_m}{z} \ \ [\mathrm{kg \cdot C^{-1}}]$$

M_m je molární hmotnost látky,

z je valence atomu (iontu) a

F je Faradayova konstanta $9{,}6487 \cdot 10^4\,C^{-1}$.

Elektrický proud v plynech

Za běžných teplot a tlaků jsou plyny velmi dobrými izolanty a jejich elektrická vodivost je zanedbatelná. Elektricky vodivými se plyny stanou ionizací. Vnějším účinkem se z původně neutrální molekuly plynu uvolní elektrony a zbytek molekuly tvoří kladný iont. Zachycením elektronu na neutrálních molekulách se vytvoří záporné ionty.

Vedení elektrického proudu v plynu zajišťují kladné a záporné ionty a elektrony**.** Zajišťuje-li elektrický výboj v plynu trvale působící vnější ionizátor, hovoříme o nesamostatném elektrickém výboji v plynu. Výboj v plynu, který pokračuje i po odstranění vnějšího ionizátoru, nazýváme samostatný výboj.

Rozlišujeme tři základní typy samostatných výbojů: doutnavý výboj, obloukový výboj a jiskrový výboj (extrémním příkladem jiskrového výboje je blesk).

Elektrický proud v polovodičích

Na rozdíl od kovů mají polovodiče větší měrný elektrický odpor (polovodiče 10^{-5} až 10^{6} $\Omega \cdot m$, kovy 10^{-8} až 10^{-6} $\Omega \cdot m$). Mezi polovodiče patří některé chemické prvky (Si, Ge, C, Se, Te atd.) a některé chemické sloučeniny (PbS, CdS, GaAs). Patří sem i organické látky jako hemoglobin nebo chlorofyl.

Vodivost polovodiče, kterou způsobuje generace elektronů a děr nazýváme vlastní vodivost polovodiče (polovodiče vlastní). Díra nepředstavuje reálnou částici s kladným nábojem (proton), ale je to prázdné místo, na které může přejít jiný volný elektron. Tvorba elektronů a děr je podmíněna účinkem vnějšího působení (teplota, elektrické pole, světlo atd.)

Příměsové (nevlastní) polovodiče jsou vytvářeny záměrným zvýšením hustoty elektronů nebo děr prostřednictvím příměsí. Podle druhu atomu příměsi rozlišujeme polovodiče s vodivostí elektronovou (polovodiče typu N) a s vodivostí děrovou (polovodiče typu P). Příměsové atomy, které z polovodičové látky tvoří polovodič typu N, jsou donory. Naopak akceptory jsou příměsové atomy způsobující vznik polovodiče typu P.

Spojením polovodičů s vodivostí typu P a N vznikne PN přechod. Závislost elektrického odporu polovodiče, s přechodem PN, na polaritě vnějšího zdroje napětí připojeného k polovodiči se nazývá diodový jev. Polovodičová součástka s jedním přechodem PN se nazývá polovodičová dioda.

Elektrotechnický prvek obsahující dva přechody PN v uspořádání PNP nebo NPN se nazývá tranzistor. Střední část krystalu polovodiče mezi dvěma přechody PN se nazývá báze. Další dvě části se nazývají kolektor a emitor. U tranzistoru velmi malé napětí vyvolá v obvodu báze proud, který je příčinou vzniku značného proudu v kolektorovém obvodu. To je podstatou tranzistorového jevu.

Dioda se v technické praxi používá k usměrnění střídavého proudu. Tranzistor se používá jako zesilovač k zesílení napětí a proudu. Při snaze miniaturizovat elektrotechnické součástky se vytváří součástky s vysokým stupněm integrace – integrované obvody.

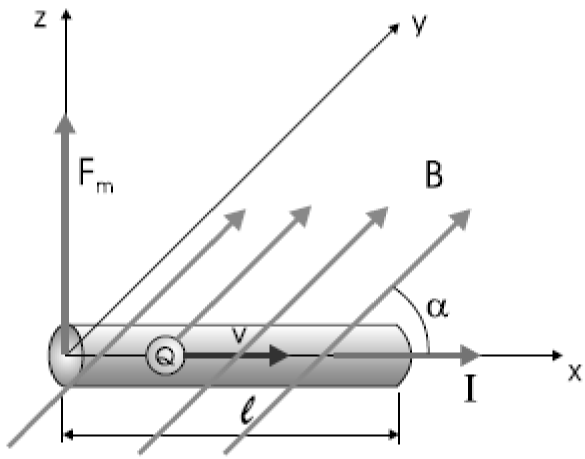
Některé látky ztrácí při nízké teplotě svůj elektrický odpor a jsou schopné vést elektrický proud po velmi dlouhou dobu, aniž by bylo nutné obvod napájet ze zdroje napětí. Takové látky se nazývají supravodiče. Pro některé kovy (Hg) a slitiny kovů se supravodivý jev objeví při teplotách 4 až 25 K (-269 až -247 °C). V dnešní době se provádějí pokusy s polykrystalickými, keramickými materiály na bázi Bi-Sr-Ca-Cu-O, Y-Ba-Cu-O apod. které je možné přivést do supravodivého stavu již při teplotách 99 až 130 K (-174 až -143 °C). Tyto materiály řadíme mezi vysokoteplotní supravodiče. Průkaz uvedení supravodiče do supravodivého stavu dokazuje Meissnerův a Ochsenfeldův pokus s levitací supravodiče (vznášení) nad magnetem umístěným v nádobce s kapalným dusíkem (77 K), kdy supravodivý keramický materiál obsahující diamagnetickou měď (Bi-Sr-Ca-Cu-O) při dosažení kritické teploty „vytlačí“ ze svého objemu magnetické pole.

10 Magnetické pole

V okolí pohybujících se elektrických nábojů nebo magnetu existuje magnetické pole. Silové účinky magnetického pole charakterizujeme magnetickou indukcí B [T]. Velikost síly působící na vodič délky l protékaný proudem I je

$$F_m = BIl\sin\alpha \quad ,$$

kde α je úhel, který svírá vodič s indukční čarou.



Obr. 23 Vodič v magnetickém poli

Pro velikost magnetické indukce B tedy platí

$$B = \frac{F_m}{Il\sin\alpha} \quad .$$

Orientaci magnetických indukčních čar určíme Ampérovým pravidlem pravé ruky („uchopíme vodič pravou rukou tak, aby palec směřoval ve směru proudu, zakřivené prsty potom určují zakřivení magnetických indukčních čar“). Směr magnetické síly F_m, která působí v homogenním magnetickém poli na přímý vodič s proudem, určujeme pomocí Flemingova pravidla levé ruky („orientujeme dlaň levé ruky tak, aby magnetické indukční čáry vstupovaly do dlaně a prsty směřovaly ve směru proudu, odchýlený palec ukazuje směr působící síly“). S magnetickou indukcí souvisí veličina magnetický indukční tok Φ, s jednotkou weber, definovaný v homogenním magnetickém poli vztahem

$$\Phi = BS\cos\alpha \quad ,$$

kde $S\cos\alpha$ je obsah rovinné plochy kolmé k magnetickým indukčním čarám.

Rovnoběžné, velmi dlouhé vodiče s proudy I_1 a I_2 v malé vzájemné vzdálenosti d na sebe působí tak, že celý jeden vodič působí na délku l druhého vodiče magnetickou silou o velikosti

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} ,$$

kde μ je konstanta, charakterizující magnetické vlastnosti prostředí, v němž existuje magnetické pole

$$\mu = \mu_0 \mu_r ,$$

kde μ_0 je permeabilita vakua $4\pi \cdot 10^{-7}$ N · A^{-2} a μ_r je relativní permeabilita (pro vakuum $\mu_r = 1$).

Na elektrický náboj Q pohybující se rychlostí v v magnetickém poli s indukcí B působí síla

$$F_m = BQv \sin\alpha ,$$

kde α je úhel, který svírá směr rychlosti elektrického náboje se směrem magnetické indukce.

Tato síla zakřivuje trajektorii nabité částice a působí jako dostředivá síla. Vlétne-li do homogenního magnetického pole elektron kolmo k indukčním čarám, bude se pohybovat po kružnici o poloměru

$$r = \frac{m_e v}{eB} .$$

Vliv magnetického pole na urychlený elektron je využíván při konstrukci elektromagnetických čoček elektronových mikroskopů. Změna magnetického pole o indukci B se projeví změnou poloměru zakřivení r trajektorie elektronu, čímž se mění fokusační (zaostřovací) schopnosti elektromagnetických čoček a tím parametry zobrazení (viz. elektronové mikroskopy).

Podle vzájemného působení magnetických momentů atomů existují tři základní skupiny magnetických látek:

- diamagnetické látky, které mírně zeslabují magnetické pole a mají μ_r nepatrně menší než 1
- paramagnetické látky, které mírně zesilují magnetické pole a mají μ_r nepatrně větší než 1
- feromagnetické látky, jejichž μ_r má velkou hodnotu ($\mu_r = 10^2$ až 10^5) a tyto značně zesilují magnetické pole. Z těchto materiálů se zhotovují permanentní (trvalé) magnety.

Magnetické materiály obsahují tzv. magnetické domény, malé oblasti o objemu 0,001 mm^3 až 1 mm^3. Každá doména má dva póly. U nezmagnetizovaných materiálů jsou domény seřazeny (orientovány) nahodile. U zmagnetizovaných materiálů jsou potom uspořádány ve směru působení magnetického pole. Každý atom této domény má magnetický moment m_0, který vzniká v důsledku pohybu elektronu kolem jádra.

Pro velikost magnetické indukce B v jádře dlouhé válcové cívky (solenoidu) s hustotou závitů N/l a feromagnetickým jádrem o relativní permeabilitě μ_r, platí vztah

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{N.I}{l} ,$$

kde součin *NI/l* představuje velikost intenzity magnetického pole *H* dlouhé cívky, která s magnetickou indukcí souvisí vztahem

$B = \mu H$.

Magnetické pole vytvořené kolem cívky s proudem je naprosto stejné jako magnetické pole kolem tyčového magnetu - má také severní a jižní pól. Magnetické indukční čáry můžeme zviditelnit kovovými pilinami v okolí magnetu.

Schopnost magnetu orientovat se ve směru zemského magnetického pole se využívá při konstrukci kompasu, u něhož se tenká zmagnetovaná jehla otáčí kolem osy a sleduje směr severního magnetického pólu Země.

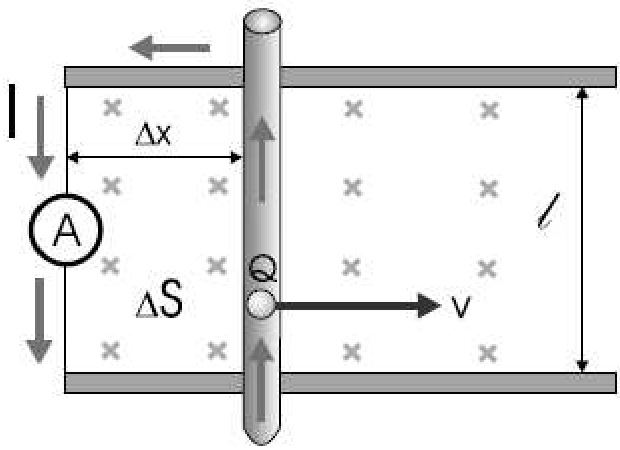
11 Elektromagnetická indukce, střídavý proud

Podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce časová změna magnetického indukčního toku v obvodu způsobuje vznik indukovaného elektromotorického napětí v tomto obvodu

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

Indukované napětí na koncích vodiče délky l, pohybujícího se rychlostí v kolmo na směr magnetické indukce B určíme ze vztahu

$$U_e = Blv \quad .$$



Obr. 24 Indukované napětí ve vodiči

Směr indukovaného proudu ve vodiči se určí Flemingovým pravidlem pravé ruky.

Induktivní působení vlastního magnetického pole cívky se nazývá vlastní indukce. Takto vytvořený magnetický tok je přímo úměrný proudu v cívce

$$\Phi = LI \quad ,$$

kde veličina L s jednotkou henry [H] je závislá na geometrických parametrech cívky, a nazývá se indukčnost cívky. Stejně jako odpor nebo kapacita je indukčnost důležitým parametrem elektrického obvodu.

Jestliže se za dobu Δt změní proud o ΔI, změní se i indukční tok o $\Delta\Phi = L\Delta I$ a v cívce se indukuje napětí

$$U_i = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad .$$

Časová změna magnetického pole vytvořená zasunutím nebo vysunutím tyčového magnetu do dutiny dlouhé cívky, vyvolá v obvodu indukované napětí. Tato změna projevující se výchylkou na měřidle (vždy opačnou než změna, která ji vyvolala) je tím větší, čím rychlejší je pohyb jádra.

Indukčnost cívky závisí na její konstrukci a na permeabilitě jádra. Dlouhá válcová cívka (solenoid) délky l, s obsahem plochy závitů S a s počtem závitů N má indukčnost

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

Energie magnetického pole cívky, kterou prochází proud I je dána vztahem

$$E_\mathrm{m} = \frac{1}{2} L I^2 \quad .$$

Otáčí-li se v magnetickém poli o indukci B závit s obsahem plochy S, indukuje se v něm střídavé napětí

$$u_i = BS\omega \sin \omega t \, ,$$

kde $U_m = BS\omega$ je amplituda indukovaného střídavého napětí.

Střídavý proud je tedy nucené harmonické kmitání, které vzniká v elektrickém obvodu připojeném ke zdroji střídavého napětí. Pro okamžitou hodnotu střídavého napětí platí vztah

$$u = U_\mathrm{m} \sin \omega t,$$

v němž U_m je amplituda střídavého napětí a ω je úhlová frekvence.

Prvky obvodu (rezistor, cívka, kondenzátor) svými vlastnostmi ovlivňují nejen proud v obvodu, ale i jeho fázi. Mezi napětím a proudem v obvodu vzniká fázový rozdíl (posun) φ. Okamžitá hodnota proudu i v obvodu je popsána vztahem

$$i = I_\mathrm{m} \sin (\omega t + \varphi),$$

v němž I_m je amplituda střídavého proudu.

Pro obvod střídavého proudu platí Ohmův zákon ve tvaru

$$Z = \frac{U_m}{I_m} \, .$$

Veličina Z charakterizuje obvod střídavého proudu jako celek a nazývá se impedance.

Obvodem střídavého proudu s rezistorem o odporu R prochází proud

$$i = u/R = (U_\mathrm{m}/R) \sin \omega t.$$

Amplituda střídavého proudu $I_\mathrm{m} = U_\mathrm{m}/R$ nezávisí na frekvenci. Napětí a proud jsou ve fázi a elektrická energie se v obvodu mění jen ve vnitřní energii rezistoru, který se tak zahřívá.

Proud v obvodu s indukčností L se za napětím zpožďuje o fázový rozdíl $\varphi = -\pi/2$, takže okamžitá hodnota střídavého proudu v obvodu s L bude

$$i = I_\mathrm{m} \sin (\omega t - \pi/2).$$

Obvod charakterizuje veličina X_L, která se nazývá induktivní odpor (induktance), která závisí na úhlové frekvenci střídavého proudu podle vztahu

$X_L = \omega L$.

Proud v obvodu s kapacitou C předbíhá napětí a vzniká kladný fázový rozdíl $\varphi = \pi/2$. Okamžitá hodnota střídavého proudu v obvodu s C je

$i = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$.

Obvod charakterizuje veličina X_c, kterou nazýváme kapacitní odpor (kapacitance)

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad .$$

Jestliže jsou rezistor s odporem R, kondenzátor s kapacitou C a cívka s indukčností L spojené sériově, pro velikost impedance obvodu RLC v sérii platí vztah

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

Pro fázový rozdíl φ napětí a proudu v sériovém RLC obvodu platí

$$tg\ \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad .$$

Je-li ve střídavém obvodu s cívkou o indukčnosti L a kondenzátorem o kapacitě C splněna podmínka

$$X_L = X_C \ ,$$

říkáme, že obvod se nachází ve stavu rezonance. Pro **rezonanční frekvenci** tohoto kmitajícího obvodu platí Thompsonův vztah

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad .$$

Činný výkon střídavého proudu v obvodu s libovolnou impedancí je určen vztahem

$$P = UI \cos\varphi \ ,$$

kde $\cos\varphi$ je tzv. účiník, který udává účinnost přenosu energie ze zdroje střídavého proudu do spotřebiče a U a I jsou efektivní hodnoty proudu a napětí pro něž platí

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ U_m \quad a \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ I_m .$$

V elektrárnách je zdrojem střídavého proudu třífázový generátor. Stator alternátoru tvoří tři cívky, jejichž osy svírají navzájem úhly 120°. Uprostřed mezi cívkami se otáčí magnet a v cívkách se indukují napětí, která jsou navzájem fázově posunuta o 1/3 periody.

Předností střídavého napětí je možnost jeho transformace. Pro transformační poměr k transformátoru složeného z primární cívky o počtu závitů N_1 a sekundární cívky o počtu závitů N_2 platí

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

12 Optika

Rychlost světla ve vakuu je největší mezní rychlost, kterou se mohou pohybovat hmotné objekty a její velikost nezávisí na žádné jiné fyzikální veličině. Tato univerzální fyzikální konstanta má přibližně velikost $c = 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Poměr rychlosti světla ve vakuu c a v jiném prostředí v se nazývá index lomu prostředí, který je závislý na vlnové délce světelného vlnění λ

$$n_\lambda = \frac{c}{v_\lambda} \quad .$$

Ze světelného zdroje se světlo šíří jako vlnění, které má ve vakuu vlnovou délku

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad ,$$

kde f je frekvence světelného vlnění.

Světlo, které má určitou konstantní frekvenci (vlnovou délku) se nazývá monofrekvenční (monochromatické).

Světlo ze světelného zdroje se šíří ve vlnoplochách podobně jako kruhy na vodní hladině. Podle Huyghense je každý bod této vlnoplochy zdrojem elementárního vlnění. Přímka kolmá na vlnoplochu udává směr, kterým se světlo šíří a nazývá se světelný paprsek.

Při dopadu světla na rozhraní dvou optických prostředí, v nichž má světlo fázové rychlosti v_1 a v_2 ($v_1 > v_2$), nastává odraz (reflexe) a lom (refrakce) světla.

Podle zákona odrazu je úhel odrazu roven úhlu dopadu a odražený paprsek zůstává v rovině dopadu.

Podle Snellova zákona lomu světla je poměr sinu úhlu dopadu (α) k sinu úhlu lomu (β) pro dvě daná optická prostředí veličina stálá a rovná se převrácenému poměru indexů lomu obou prostředí (n_1 a n_2).

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \,.$$

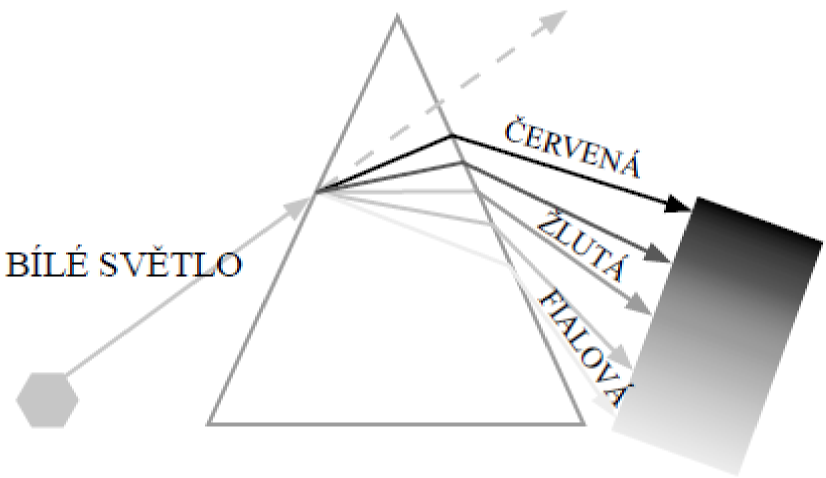
Podle zákona lomu nastává při šíření světla z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího lom ke kolmici ($\beta < \alpha$) . Při šíření světla z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího nastává lom od kolmice ($\beta > \alpha$).

Zvláštní případ nastává pro $\beta = 90^\circ$. Úhel dopadu α_m, kterému odpovídá tento úhel lomu, se nazývá mezní úhel. Pro mezní úhel platí vztah

$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n} \quad .$$

Je-li $\alpha > \alpha_m$ vzniká úplný odraz.

Fázová rychlost světla v prostředí, kde $n > 1$, není konstantní, ale je závislá na frekvenci světla. Tento jev se nazývá disperze světla. Disperze světla umožňuje rozložit bílé světlo, v němž jsou zastoupena světelná záření všech frekvencí na monofrekvenční (monochromatická světla). K rozkladu světla se používají např. optické hranoly. Hranolové spektrum je uspořádáno tak, že nejméně je odchýlená červená spektrální složka (nejdelší λ) a nejvíce fialová (nejkratší λ).

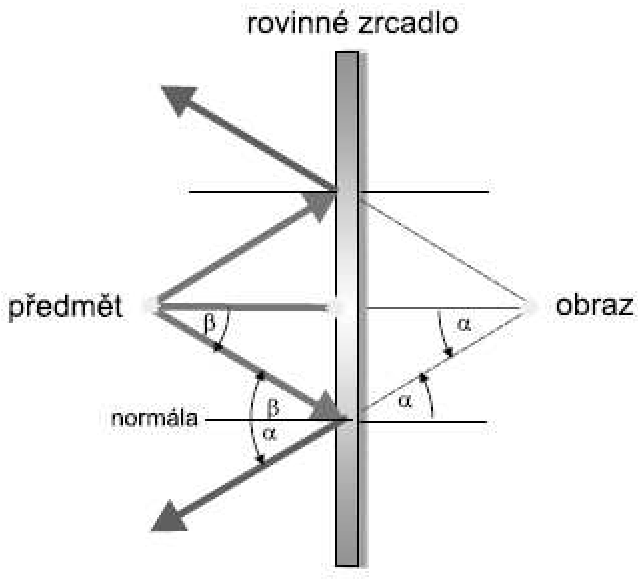


Obr. 25 Rozklad světla hranolem

Paprsková optika

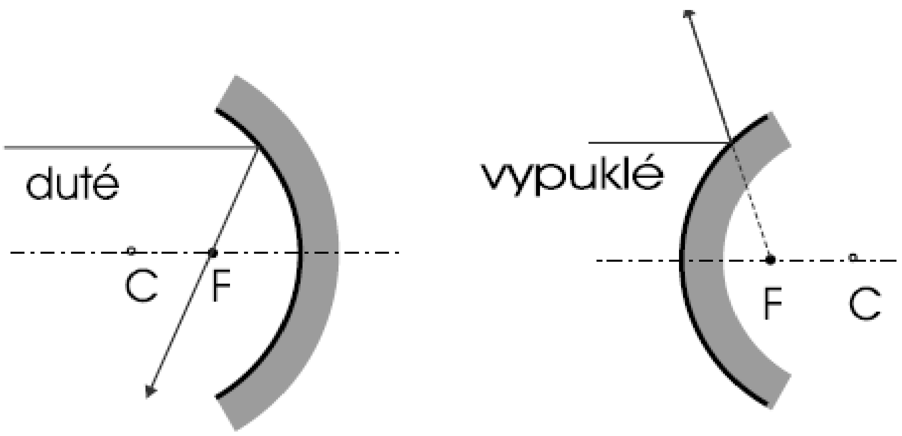
Paprsková optika při popisu šíření světla a optického zobrazení používá modelu světelného paprsku.

Rovinné zrcadlo vytváří neskutečný obraz. Protože paprsky před zrcadlem jsou rozbíhavé, najdeme jejich průsečíky za zrcadlem. Obraz libovolného předmětu sestrojíme tak, že podle zákona odrazu najdeme obraz každého bodu předmětu. Obraz je neskutečný, přímý, stejně velký jako předmět a symetricky sdružený podle roviny zrcadla.



Obr. 25 Rovinné zrcadlo

Kulové (sférické) zrcadlo může být duté (zobrazovací plochu tvoří vnitřní část povrchu koule) nebo vypuklé (zobrazovací plochu tvoří vnější část povrchu koule).



Obr. 26 Kulové zrcadlo

Významnými parametry kulového zrcadla jsou:

- poloměr křivosti *r*
- střed optické plochy
- ohnisková vzdálenost *f* (pro vzdálenost ohniska F od vrcholu zrcadla V , platí $f = r/2$)
- předmětová vzdálenost *a* (vzdálenost zobrazovaného osového bodu od vrcholu V)
- obrazová vzdálenost a' (vzdálenost obrazu osového bodu od vrcholu zrcadla V)

Pro danou předmětovou vzdálenost a a při znalosti ohniskové vzdálenosti f můžeme obrazovou vzdálenost určit ze zobrazovací rovnice pro kulové zrcadlo

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f}$$

Poměr výšky obrazu y' a výšky předmětu y nazýváme příčné zvětšení Z

$$Z = \frac{y'}{y}=-\frac{a'}{a}$$

Pro duté zrcadlo platí tyto závěry:

$a > 2f \Rightarrow 2f > a' > f$ obraz skutečný, převrácený, zmenšený,

$a = 2f \Rightarrow a' = 2f$ obraz skutečný,převrácený a stejně velký,

$2f > a > f \Rightarrow a' > 2f$ obraz skutečný, převrácený, zvětšený,

$a < f \Rightarrow 0 < |a'| < \infty$ obraz neskutečný, přímý a zvětšený

Pro vypuklé zrcadlo:

$\infty > a > 0 \Rightarrow |a'| < |f|$ obraz neskutečný, přímý, zmenšený

Zobrazení čočkami

Tenká spojka - je taková u níž je její tloušťka zanedbatelná ve srovnání s její ohniskovou vzdáleností f. V opačném případě hovoříme o tlusté čočce.

Je-li před čočkou a za čočkou stejné prostředí, potom $f = f'$. Ohniskovou vzdálenost tlusté čočky můžeme vypočítat ze vztahu

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

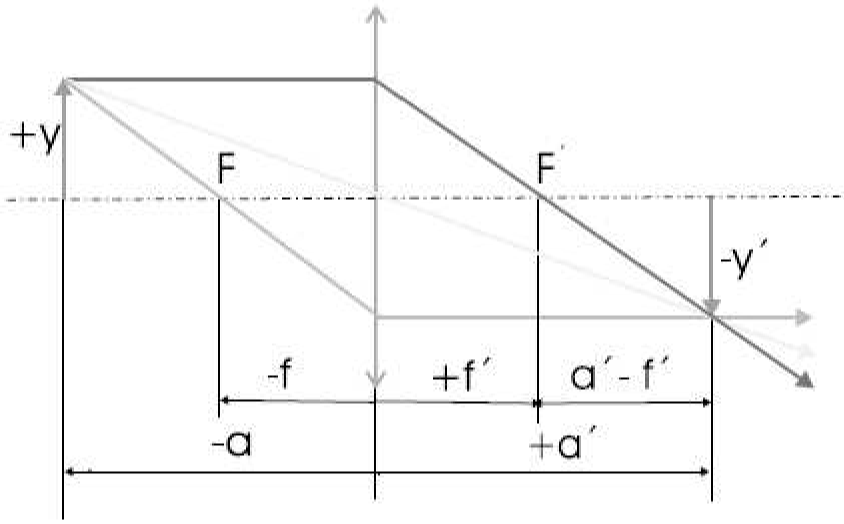
kde n_1 je index lomu prostředí, ve kterém je čočka a n_2 index lomu skla, z něhož je čočka vyrobena, r_1 a r_2 jsou poloměry křivosti.

Bereme-li v úvahu znaménkovou konvenci, jsou poloměry křivosti čočky kladné pro vypuklé plochy a záporné pro duté plochy. Je-li $n_2 > n_1$ (např. pro čočku ve vzduchu) platí pro spojky $f > 0$, pro rozptylky $f < 0$.

Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti f se nazývá optická mohutnost φ

$$\varphi=\frac{1}{f}.$$

Dioptrie 1D je optická mohutnost čočky s ohniskovou vzdáleností 1 m.



Obr. 27 Parametry zobrazovací rovnice

Zobrazovací rovnice pro tenkou čočku při dodržení znaménkové konvence je

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f}$$

Příčné zvětšení čočky je popsáno analogickými vztahy jako u kulového zrcadla

$$Z = \frac{y'}{y}=-\frac{a'}{a}$$

Z následujícího přehledu jsou patrné vlastnosti obrazu podle polohy předmětu

Pro spojku:

$a > 2f \Rightarrow f < a' < 2f$ obraz skutečný, převrácený, zmenšený,

$a = 2f \Rightarrow a' = 2\mathrm{f}$ obraz skutečný,převrácený a stejně velký,

$2f > a > f \Rightarrow a' > 2f$ obraz skutečný, převrácený, zvětšený,

$a < f \Rightarrow 0 < |a'| < \infty$ obraz neskutečný, přímý a zvětšený

Pro rozptylku:

$\infty > a > 0 \Rightarrow |a'| < |f|$ obraz neskutečný, přímý a zmenšený.

Oko jako optická soustava

Spojnou optickou soustavu oka tvoří čočka, oční mok, rohovka, sklivec a zornice, která má funkci clony. Na sítnici vytvoří tato spojná optická soustava skutečný, zmenšený a převrácený obraz. Oko má schopnost měnit optickou mohutnost čočky. Tento jev se nazývá akomodace.

Nejbližší bod, který je ještě ostře zobrazen při největší akomodaci oční čočky, je tzv. blízký bod (punktum proximum). Nejvzdálenější bod, který oko vidí ostře uvolněným okem je daleký bod. U zdravého oka je daleký bod (punktum remotum) v nekonečnu. Optimální vzdálenost, ze které můžeme pozorovat předměty bez větší únavy je konvenční zraková vzdálenost. Ta je stanovena dohodou d = 0,25 m.

Krátkozraké oko vytváří obrazy vzdálených předmětů před sítnicí a pro korekci této vady oka se používají rozptylná brýlová skla ($f < 0$). Vytváří-li se obraz velmi vzdáleného bodu za sítnicí, hovoříme o dalekozrakém oku a pro korekci použijeme spojná brýlová skla ($f > 0$). V případě vady, která se nazývá astigmatismus, oko nezobrazuje ostře v určitém směru. Je to způsobeno tím, že lámavé plochy oka (rohovka, čočka) nemají přesně kulový (sférický) povrch.

Oko má jistou setrvačnost. Je tím myšleno to, že obraz dopadající na sítnici oka si mozek po jistou dobu „zapamatuje“. Využívají toho projekční zařízení, která promítají série obrázků v rychlém sledu za sebou (přibližně 24 obrázků za sekundu) a nám se jeví děj filmu naprosto plynulý. Ve filmech promítaných v kinech nebo i v televizi je možné si všimnout zajímavého jevu, kdy např. kola historických kočárů se jeví být v klidu nebo se dokonce zdánlivě otáčejí dozadu. Pokud je frekvence otáčení kola kočáru stejná s frekvencí střídání obrazových políček (24 obrázků/sekundu), bude kolo v klidu. Tento efekt je označován jako **stroboskopický jev**.

Lupa

Jako lupa může sloužit každá spojná čočka nebo soustava čoček s ohniskovou vzdáleností menší než je konvenční zraková vzdálenost. Pro zvětšení lupy můžeme odvodit vztah

$$\varkappa_L = \frac{0{,}25}{f},$$

kde f je ohnisková vzdálenost lupy a 0,25 je konvenční zraková vzdálenost v metrech.

Světelný mikroskop

Mikroskop je dvoustupňová optická soustava tvořená objektivem a okulárem. Objektiv je spojná čočka s velkou optickou mohutností, která předmět zobrazí jako skutečný, převrácený a zvětšený do předmětové ohniskové roviny okuláru, kterým můžeme předmět pozorovat jako lupou. Pro úhlové zvětšení mikroskopu platí vztah

$$\gamma_M = \frac{\Delta}{f_1}.\frac{d}{f_2} \quad ,$$

kde Δ je optický interval mikroskopu, Δ / f_1 je příčné zvětšení objektivu a d/f_2 úhlové zvětšení okuláru (d = 0,25 m).

Součástí každého světelného mikroskopu je osvětlovací soustava. Pokud je osvětlovací soustava na stejné straně jako objektiv, pozorujeme preparáty v odraženém světle (episkopické zobrazení). V případě, že je osvětlovací soustava na opačné straně objektivu vzhledem k preparátu, pozorujeme detaily ve světle procházejícím (diaskopické zobrazení).

V případě, že použijeme k zobrazení ultrafialové nebo infračervené světlo (viz. spektrum elektromagnetického záření) hovoříme o mikroskopii ultrafialové nebo infračervené. Podle typu preparátu (vykazujících polarizaci nebo fluorescenci) můžeme volit mikroskopy polarizační nebo fluorescenční. Značení buněk specielními fluorescenčními značkami umožňuje odlišit různé buněčné organely.

Dalekohled

Dalekohled je určen pro pozorování vzdálených předmětů tím, že zvětšuje jejich zorný úhel. Dalekohled je tvořen objektivem a okulárem, jejichž optické osy splývají. Některé dalekohledy jsou tvořeny čočkami (Keplerův hvězdářský dalekohled a Galileiho pozemský dalekohled), některé používají ke zobrazení zrcadla.

Pro úhlové zvětšení dalekohledu zaostřeného na nekonečno platí

$$\gamma_D = f_1 / f_2 \ ,$$

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

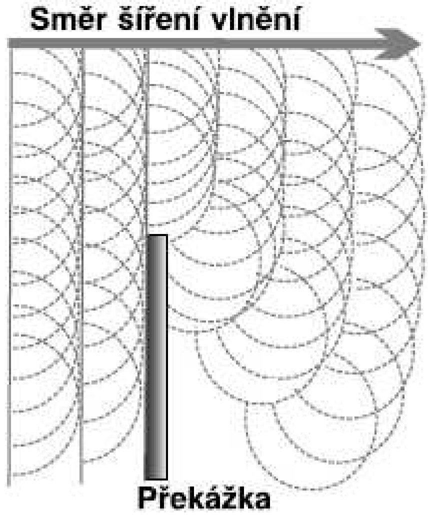
Z dalších optických přístrojů uveďme fotoaparát. Objektiv fotoaparátu představuje spojnou optickou soustavu, takže obraz fotografovaných předmětů v rovině filmu bude převrácený, zmenšený a skutečný. Fotoaparáty jsou nejrůznější konstrukce: s mechanickou závěrkou, s elektronicky řízenou závěrkou, s manuálním (ručním) zaostřováním, automatickým (infračerveným) zaostřováním, apod.

Pro pozorování vesmírných objektů se využívá dalekohledů – teleskopů s velkými ohniskovými vzdálenostmi. Výhodnější je však použití místo čoček k jejich konstrukci dutých zrcadel. Jedním z nejznámějších teleskopů je Hubbleův vesmírný teleskop, který má 2,4 m velký reflektor. Byl vyslán v roce 1990 (24. dubna raketoplán Discovery) na oběžnou dráhu kolem Země (v 512 km), aby se odstranil rušivý vliv zemské atmosféry. Obrázky, které tento teleskop posílá na Zem si můžete prohlédnou na stránkách NASA.

Vlnová optika

Ohyb světla

Dopadá-li světlo na překážku, dochází k jeho ohybu. Osvětlíme- li štěrbinu o šířce a svazkem paprsků monofrekvenčního světla, můžeme na stínítku pozorovat ohyb světla na jedné štěrbině



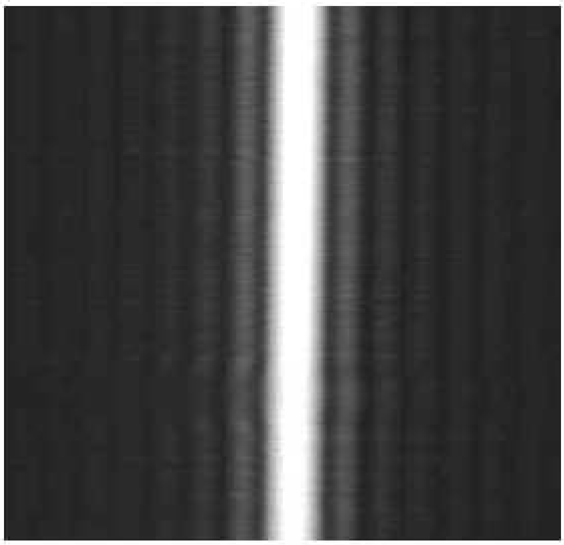
Obr. 28 Ohyb světla

Interferenční minimum vzniká na stínítku v bodech, pro které platí

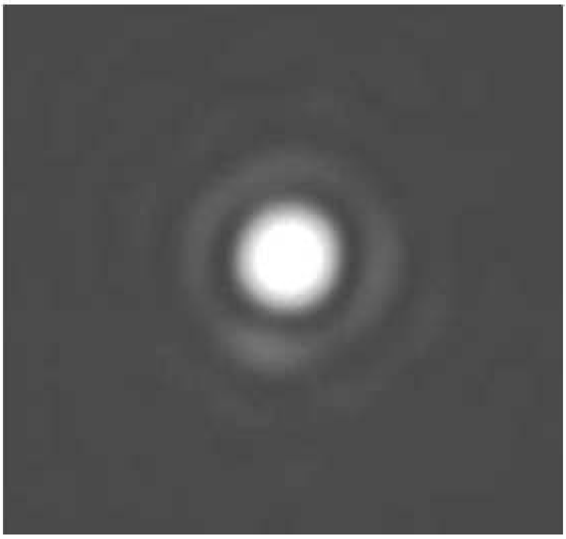
$a \sin \alpha = k\lambda$.

Při ohybu na mřížce, která má vzdálenost dvou sousedních štěrbin *b*, nastává interferenční maximum, je-li splněna podmínka

$b \sin \alpha = k\lambda$.



Obr. 29 Ohyb na štěrbině



Obr. 30 Ohyb na kruhovém otvoru

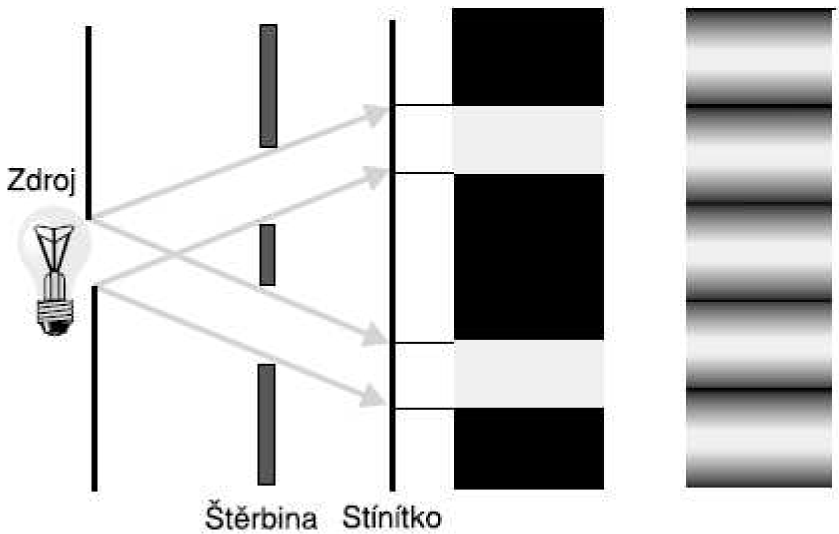
Interference světla

je skládání vlnění. Je-li splněn základní předpoklad interference světla - koherence světelného vlnění (stálost v prostoru a čase), můžeme pozorovat v určitých místech zesílení a zeslabení světla. Interferenční maximum při interferenci koherentního světelného vlnění o vlnové délce λ vzniká, když je dráhový rozdíl Δl

$$\Delta l = 2k\frac{\lambda}{2},$$

a interferenční minimum při splnění podmínky

$$\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \text{ kde } k = 0, 1, 2, ...$$



Obr. 31 Interference – Youngův pokus

Pro vznik interferenčního maxima a minima světelného vlnění platí stejné podmínky jako pro mechanické vlnění.

Polarizace světla

Světlo, v němž složka elektrické intenzity E kmitá stále v jedné rovině, se nazývá lineárně polarizované. Přirozené nepolarizované světlo lze polarizovat různými způsoby: odrazem a lomem, dvojlomem případně polarizačními filtry. Pro úhel dopadu (Brewsterův polarizační úhel) daný podmínkou $tg\ \alpha_B = n$ je odražené světlo na hranici vzduchu a skla úplně polarizováno.

Fotometrie

Fotometrie je část optiky, která popisuje světelné zdroje a osvětlení ploch z hlediska vnímání lidským okem. V dalším popisu se omezíme jen na bodové zdroje světla.

Z celkové zářivé energie vysílané bodovým zdrojem se pro vnímání okem uplatňuje pouze světelná energie E_S.

Světelný tok je určen světelnou energií ΔE_S, která projde danou plochou v okolí zdroje za dobu Δt

$$\Phi = \frac{\Delta E_S}{\Delta t}$$

Svítivost zdroje I s jednotkou 1 lumen v daném směru je daná podílem části světelného toku Φ, který vychází ze zdroje do prostorového úhlu o velikosti $\Delta\Omega$

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} \quad .$$

Svítivost zdroje 1 cd odpovídá přibližně svítivosti plamene svíčky, od které byl název jednotky kandela (candle - svíčka) odvozen.

Osvětlení E je podíl části světelného toku dopadajícího kolmo na plochu S

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \ \text{[lx]}.$$

Osvětlení E uvažované plochy závisí na svítivosti zdroje I, na její vzdálenosti r od světelného zdroje a na úhlu α, pod kterým dopadá světlo na tuto plochu

$$E = \frac{I \cos\alpha}{r^2} \quad .$$

Zdravé lidské oko je schopno registrovat předměty, jejichž svítivost je alespoň 2 nlx. Na toto osvětlení však reagují pouze tyčinky oční sítnice. Čípky, které umožňují barevné vidění, reagují až na větší osvětlení.

13 Atomová a jaderná fyzika

Fyzika atomového jádra (jaderná, nukleární fyzika), se zabývá složením a strukturou jader atomů a zákonitostmi jaderných dějů. Jádro atomu chemického prvku X charakterizuje počet nukleonů, z nichž je jádro složeno.

Protonové číslo *Z* vyjadřuje počet protonů v jádře atomu, tedy jeho kladný náboj a současně udává *Z* stejný počet záporných elektronů, které jádro obíhají. Atom se tak jeví navenek jako neutrální. Neutronové číslo *N* udává počet neutronů v jádře atomu.

Nukleonové (hmotnostní) číslo $A = Z + N$ vyjadřuje počet nukleonů v jádře atomu.

S využitím těchto čísel charakterizujeme jádro atomu určitého chemického prvku zápisem

$$ {}_{Z}^{A}X $$

Tímto symbolem charakterizujeme nejen jádro, ale i atom nebo látku složenou ze stejných atomů a používáme pro ni název nuklid. Atomy téhož chemického prvku se mohou lišit hodnotou nukleonového čísla. Dva různé nuklidy ${}_{Z}^{A}X$, ${}_{Z}^{A'}X$,

kde $A \neq A'$, nazýváme izotopy.

Existují izotopy stabilní a nestabilní. Atomy nestabilních prvků jsou radioaktivní a nazýváme je radionuklidy.

Radioaktivita je spontánní emise záření z atomových jader, kdy je vyzařován některý typ jaderného záření nestabilními jádry atomů.

Přirozená radioaktivita je vlastnost radionuklidů existujících v přírodě. Umělá radioaktivita existuje u radionuklidů připravených uměle pomocí jaderných reakcí. Štěpení jader uranu ${}_{92}^{235}U$ je nejdůležitější jaderná reakce vyvolaná pomalými neutrony. Při této jaderné reakci se jádro uranu rozpadá na jádro ${}_{56}^{144}Ba$ a ${}_{36}^{89}Kr$. Tato jádra jsou nestabilní a dále se rozpadají. Při každé štěpné reakci vzniká určitý počet neutronů a uvolní se energie asi 200 MeV. Neutrony vzniklé štěpnou reakcí mají značnou energii a za určitých podmínek vyvolají štěpení dalších jader uranu. Počet rozštěpených jader lavinovitě narůstá a vzniká řetězová reakce. Řízených štěpných reakcí se využívá v jaderné energetice, jaderné reaktory pohání ledoborce apod. Bohužel je jaderná energie využita také v neprospěch člověka v podobě jaderných zbraní.

Přirozená radioaktivita je spojena se změnami ve struktuře jader atomů. Jaderné přeměny, při nichž jádro vyzařuje záření α nebo záření β nazýváme rozpad α a rozpad β.

Rozpad α $\quad {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He$

Rozpad β_- $\quad {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$

Rozpad β_+ $\quad {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e$

Pro praktické využití radionuklidů je důležitá aktivita *A* radioaktivního zářiče. Je definovaná vztahem

$$A = - \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad ,$$

kde ΔN je počet jader zářiče , které se přemění za dobu Δt. Jednotkou aktivity je 1 Bq (Becquerel).

Počet N nepřeměněných jader radionuklidu v čase t vyjadřuje zákon radioaktivní přeměny

$$N = N_o e^{-\lambda t} ,$$

kde e je základ přirozených logaritmů, λ je přeměňová konstanta pro daný druh jader.

Radionuklid z hlediska radioaktivity charakterizuje veličina poločas přeměny T. Je to doba, za kterou se rozpadne polovina původního počtu jader

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad .$$

Ionizující, radioaktivní záření můžeme zachytit (detekovat) např. Geiger-Müllerovými detektory (vhodné pro α a β záření) nebo scintilačními detektory (vhodné pro γ záření).

14 Astrofyzika

Využití fyzikálních metod v astronomickém výzkumu vedlo ke vzniku astrofyziky. Jelikož poznatky o vesmíru je možné získat především studiem elektromagnetického záření vysílaného kosmickými tělesy, byla astrofyzika rozdělena podle oblastí spektra studovaného záření.

Astrofyzika – *radiová, mikrovlnná, infračervená, optická, ultrafialová, rentgenová, gama.*

Významné informace také přináší studium částic kosmického záření (zejména proud vysokoenergetických protonů a jader prvků s malou atomovou hmotností).

Sluneční soustava

Sluneční soustava zahrnuje Slunce a všechna tělesa, která se pohybují v jeho gravitačním poli. Pohyby velkých těles sluneční soustavy se řídí gravitačním zákonem.

Abychom mohli názorně vyjádřit vlastnosti těles sluneční soustavy, srovnáváme je s vlastnostmi Země:

rovníkový poloměr Země R_Z = 6 378 km

hmotnost Země $M_Z = 5{,}98 \cdot 10^{24}$ kg

střední hustota ρ = 5 520 kg · m^{-3}

Jako jednotka vzdálenosti se ve sluneční soustavě používá astronomická jednotka (1AU), což je střední vzdálenost Země od Slunce

astronomická jednotka 1 AU = $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m $\cong$ $150 \cdot 10^{6}$ km

Planety sluneční soustavy můžeme rozdělit podle fyzikálních znaků do dvou skupin:

- planety zemského typu (Merkur, Venuše, Země, Mars), které mají relativně malou hmotnost, ale velkou průměrnou hustotu,

- velké planety (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun), které mají naopak větší rozměry i hmotnost, ale malé průměrné hustoty.

Planetky jsou tělesa vyskytující se zejména v oblasti mezi trajektoriemi Marsu a Jupitera. Jejich celkový počet je asi 2000, ale celková hmotnost je rovna přibližně jedné tisícině hmotnosti Země.

Měsíce jsou přirozené družice většiny planet. Největší počet byl objeven u Jupitera a Saturna.

Mezi významné členy sluneční soustavy patří komety. Jsou to tělesa, která se pohybují po velmi protáhlých eliptických drahách kolem Slunce a jsou pozorovatelná teprve tehdy, když se přiblíží na malou vzdálenost ke Slunci.

Komety se rozpadají na meteoroidy, které při průchodu zemskou atmosférou pozorujeme jako meteory. Zbytky, které dopadnou na zemský povrch označujeme jako meteority. Také ty nám slouží ke studiu látky mimozemského původu.

V astrofyzice se používají v souvislosti se studiem informací o hvězdách následující pojmy:

Vzdálenosti hvězd. Pro vyjádření vzdáleností hvězd se v astrofyzice používá jednotka parsec (pc). Tato jednotka je definovaná jako vzdálenost, z níž bychom velkou poloosu trajektorie Země viděli pod úhlem 1″. Mezi vzdáleností r vyjádřenou v parsecích a paralaxou π vyjádřenou v obloukových vteřinách platí vztah

$$\{ r \} = \frac{1}{\{\pi\}} \quad .$$

Pro převod jednotky parsec na metry platí 1 pc = $3{,}086 \cdot 10^{16}$ m.

Vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za jeden tropický rok je délková jednotka světelný rok 1 světelný rok $\cong 9{,}46 \cdot 10^{15}$ m.

Hmotnosti hvězd. Hmotnosti kosmických těles se stanovují srovnáním pohybu tělesa s pohybem jiného tělesa v jeho gavitačním poli. Na základě pohybu planet v gravitačním poli Slunce byla určena hmotnost Slunce $M_S = 1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg .

Zářivý výkon a povrchová teplota je jednou ze základních charakteristik hvězdy. Je definován jako celkový výkon záření, vysílaný celým povrchem hvězdy do prostoru. Pro zářivý tok Φ, dopadající kolmo na plochu s obsahem S ve vzdálenosti r od hvězdy platí bez úvahy absorpce

$$\Phi = \frac{L}{4\pi . r^2} S \quad ,$$

kde L je zářivý výkon ve wattech.

Zářivý výkon je dán povrchovou teplotou hvězdy T_{ef} a jejím poloměrem R. Předpokládáme-li, že povrch hvězdy září jako povrch černého tělesa o teplotě T_{ef}, je intenzita vyzařování hvězdy $\sigma T_{ef}^{\ 4}$, kde σ je Stefanova-Bolzmannova konstanta. Zářivý výkon můžeme potom vyjádřit vztahem

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^{\ 4} \quad .$$

K charakteristice hvězdy patří také její **střední hustota**, která se vypočítá jako podíl hmotnosti hvězdy a jejího objemu. U Slunce a ostatních hvězd roste hustota i teplota směrem ke středu hvězdy. Hustota v nitru Slunce je asi $130 \cdot 10^3$ kg · m^{-3}, teplota $19 \cdot 10^6$ K, tlak dosahuje hodnoty $4 \cdot 10^{10}$ Pa.

V roce 1929 zjistil E. Hubble zajímavou skutečnost, že čím dále je od nás určitá galaxie, tím více jsou spektrální čáry v jejím spektru posunuty k červenému okraji spektra. Tento jev nazýváme rudý posuv a je možno ho vysvětlit pomocí Dopplerova jevu. Vzdaluje-li se galaxie od nás rychlostí v, budeme místo vlnové délky λ pozorovat vlnovou délku větší o $\Delta\lambda = \lambda \, v/c$.

Hubble zjistil, že rychlost v vzdalování galaxie je přímo úměrná její vzdálenosti r. Tuto závislost vyjadřuje Hubbleův vztah $v = H\,r$, kde H je Hubbleova konstanta. Za její průměrnou hodnotu považujeme $H = (75 \pm 25)\ \mathrm{km \cdot s^{-1} \cdot Mpc^{-1}}$.

Převodem na jednotky SI: $H_{SI} = 25 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{s^{-1}}$

15 Pojmové mapy

Pojmové mapy jsou grafické nástroje pro znázorňování a organizování znalostí. Jejich charakteristickým prvkem jsou spojovací slova, která vystihují vztahy mezi dvěma pojmy. Tímto prvkem se pojmové mapy liší od již používaných diagramů a myšlenkových map. Pokud se setkáme s novým pojmem, chceme ho začlenit mezi pojmy, které již dobře známe. Snažíme se najít vazbu mezi známými pojmy a novým pojmem a tuto vazbu správně charakterizovat. Tento způsob zapamatování preferuje náš mozek. Nepamatuje si znalosti v celých větách, ale pouze ve formě tvrzení, která jsou složena z pojmů a jejich vztahů. Tento způsob organizování znalostí je použit v pojmových mapa, kde je naše pojmová struktura graficky znázorněna. Dalo by se říci, že přeneseme svou pojmovou strukturu na papír, tak abychom viděli, jak je sestrojena. To dává pojmovým mapám velký potenciál, protože jak žák, tak učitel z nich mohou poznat, které pojmy jsou správně zařazeny a které ne. Mapy slouží jako zpětná vazba pro žáka i učitele a při výuce fyziky mohou přispět k hlubšímu porozumění fyzikálním pojmům a vztahům mezi nimi. Použití pojmových map při výuce zahrnuje tvorbu map a možnosti jejich zadávání a hodnocení.

Základní vlastnosti pojmových map

Pojmová mapa má 3 základní prvky: **pojmy, spojovací čára a spojovací slovo**. Pojmy jsou základními stavebními kameny našich vědomostí. Jsou to slova nebo slovní spojení, která přiřazujeme objektům a jevům. V pojmových mapách je zobrazujeme v políčkách tvaru oválu nebo obdélníka. Vztah mezi dvěma pojmy znázorníme spojovací čarou, nad níž specifikujeme tento vztah vhodným spojovacím slovem, nejčastěji slovesem. Takto vytvořené vazby, tedy dva pojmy spojené spojovacím slovem, nám dávají **tvrzení.** Pojmovou mapu vytváříme k vybranému úseku učiva, který má pojmová mapa popsat. Určíme si **klíčový pojem**, který nám pomáhá při konstrukci a ke kterému se váže tento úsek učiva.

Důležitou vlastností pojmových map je dodržení **hierarchického uspořádání**. Klíčový pojem, k němuž se vztahuje tvorba celé mapy, je umístěn v horní části. A poté jsou směrem dolů zařazovány pojmy, od nejobecnějších k detailnějším. Souřadné pojmy je dobré zarovnávat na jednu úroveň. Z mapy by mělo být též zřejmé, které pojmy jsou nadřazené a podřazené. Dobrá pojmová mapa se vyznačuje i zařazením **příčných vazeb**, což jsou vazby spojující pojmy z různých částí mapy. Správné příčné vazby ukazují provázanost žákových znalostí a porozumění dané problematice. K vysvětlení pojmů lze v mapách použít **obrázky, grafy, vzorce** i **příklady z praxe**.

Každý z nás má jinou pojmovou strukturu, a proto vytvořené mapy na dané téma se budou lišit. Mapa vytvořená učitelem se nemůže brát jako ta jediná správná. Nejdůležitější je, zda žákova mapa obsahuje základní pojmy a hlavně správně vyjádřené vztahy mezi těmito pojmy. To ukazuje, že žák pojmům rozumí a ví, jaké jsou jejich vztahy.

Konstrukce pojmových map

Nejdříve si vybereme oblast znalostí, která je nám velmi dobře známá. Z ní vybereme klíčový pojem a na okraj papíru si vypíšeme seznam přibližně 15 – 20 pojmů, které souvisí s klíčovým pojmem a vztahují se k dané oblasti. Postupně pojmy ze seznamu uspořádáváme kolem klíčového pojmu a spojujeme navzájem spojovacími čarami. Lze použít i šipky, pro lepší orientaci. Nad každé spojení doplníme spojovací slovo, které nejvíce charakterizuje vztah mezi dvěma pojmy. Vybíráme takový tvar spojovacího slova, aby spojení pojem – spojovací slovo – pojem tvořilo dohromady tvrzení (větu). Dáváme pozor na hierarchické uspořádání, na souřadnost, podřazenost a nadřazenost pojmů. V poslední řadě hledáme příčné vazby mezi jednotlivými částmi mapy.

Pojmová mapa je odrazem struktury našich znalostí, tedy není nikdy konečná. Jak se mění naše znalosti každodenním poznáváním nových pojmů, tak do našich pojmových map přibývají další pojmy. Zkonstruovaná pojmová mapa nám ukazuje současnou podobu našich znalostí, od které se můžeme posunout dál, například probráním dalšího učiva.

Neměli bychom používat celé věty jako pojmy v políčkách. Ukazuje to, neschopnost vyjádřit tvrzení jako spojení dvou pojmů jednoduchou vazbou. Vyjádření fyzikálních zákonů, je však nutné znát v celém znění, a proto je možné používat v mapách vyjádření celého zákona v jednom poli. Český jazyk má velkou slovní zásobu a toho se dá využít při výběru spojovacích slov, tj. vhodném vyjádření vztahů mezi pojmy. Měli bychom se též vyvarovat provazové mapě, což je mapa, která spojuje pojmy jen jednou vazbou do řetězce. Tato mapa ukazuje neprovázanost pojmů.

Pro vytváření pojmových map je výhodné si zdarma stáhnout počítačový program **CmapTools**, který vytvořila společnost Institute for Human and Machine Cognition (zkráceně IHMC) a je k dispozici i v **české verzi** na jejich internetových stránkách [2]. Program je vhodný pro použití ve škole, kde si žáci i učitelé mohou ulehčit vytváření pojmových map. Mapy uvedené v této práci byly vytvořeny právě v prostředí programu CmapTools, jehož ovládání je velmi jednoduché a intuitivní. V programu je možné upravovat pole a písmo. To vede k lepší orientaci v mapách. Jak je vidět, lze související pojmy znázornit stejnou barvou, dále rozlišovat značení veličin (šikmo) a jednotek (rovně), skalárních veličin (obyčejně) a vektorových veličin (tučně), jednoduše vpisovat vzorce a zvýrazňovat fyzikální zákony.

Zařazení pojmových map do výuky

Pojmové mapy mohou být začleněny do výuky v jejich různých fázích. Na začátek vyučovaného celku jako motivace nebo ke zjištění předchozích znalostí, na něž se má navazovat. V průběhu tematického celku, kdy lze zjistit možné změny v pojmové struktuře žáka v návaznosti na nové poznatky. Nejčastější je však použití pojmových map na závěr celku, kdy lze z žákovských pojmových map vyčíst začlenění nových pojmů do stávající struktury a též i její reorganizaci.

Pokud chceme naučit žáky používat pojmové mapování k vizualizaci jejich vědomostí, je nutné začleňovat je do výuky postupně a hlavně vysvětlit pořádně žákům postup jejich konstrukce a možná úskalí. Postupným procvičováním pojmového mapování se žák naučí nový způsob, jak se učit a též jak tvořivě myslet a přehodnocovat své vědomosti.

V literatuře je možné nalézt několik rad a zkušeností k zavedení a nácviku pojmového mapování. Mareš [9] uvádí následující postup, kdy učitel nejdříve vybere nejdůležitější pojmy pro pochopení daného tématu žákem a sestaví z nich seznam. Sám si vytvoří vzorovou pojmovou mapu z vybraných pojmů. V hodině začne učitel motivačně, ukázkou principu pojmového mapování na jednoduchém příkladu, který zahrnuje pojmy, které jsou žákům dobře známé. Poté rozdělí žáky do skupin po 2 až 3 žácích a každý z nich dostane seznam pojmů s částečně vyplněnou mapou. Žáci by měli diskutovat o vhodném zařazení pojmů do mapy a učitel pouze individuálně radí. Je vhodné žákům ukázat na mapě, že obecné pojmy se píší nahoru a směrem dolů se vyskytují pojmy méně důležité a konkrétnější. Učitel nezasahuje do aktivní práce žáků vysvětlováním kroků konstrukce. Po skončení práce je žákům poskytnuta zpětná vazba, která může mít dvě podoby. Celá třída navrhuje řešení a jeden žák zaznamenává tyto nápady na tabuli. Vše probíhá pod dohledem učitele, který může diskutovat s žáky jejich nápady. Nebo učitel předloží svou vzorovou mapu a žáci si své mapy porovnávají s jeho za případné diskuse.

Vanides a spol. [11] uvádějí tyto doporučení při zavádění pojmových map do výuky. Nejdříve je potřeba, aby si učitel navrhl, jakým způsobem bude probíhat žákovská aktivita pojmového mapování. Krok č. 1 – Učitel vybere 8 – 12 pojmů, které se týkají klíčového pojmu. Užitím těchto pojmů při konstrukci vzorové mapy učitel zjistí, zda lze zkonstruovat tvrzení, která mají žáci znát a umět vytvořit na konci vyučovacího celku. Krok č. 2 – Učitel naplánuje, kde bude tato aktivita s tvorbou mapy začleněna v rámci vyučovacího celku, ve kterém okamžiku je důležité vědět žákovu míru porozumění (zpětná vazba) než se bude dále pokračovat ve výkladu. Krok č. 3 - Učitel vytvoří zadání činnosti pro žáky. Pro maximální vhled do struktury žákovských znalostí je možné zadat jen klíčové pojmy a neomezovat žákovu tvořivost časovým limitem. Žák má poté za úkol vytvořit hrubý náčrt pojmové mapy, poté ji překreslit na nový papír a doplnit o nové pojmy a vazby.

Pojmové mapování je potřeba s žáky trénovat, v úvodu je možné použít nějaký jednoduchý příklad s klíčovým pojmem, který žáci velmi dobře znají (např. jídlo, Sluneční soustava). Učitel vyzve žáky, aby napsali dalších 10 pojmů, které je napadnou v souvislosti s klíčovým pojmem a aby je poté seřadili od nejobecnějšího (nejdůležitějšího) k detailnějšímu (méně důležitému), což zabere několik minut. Žákům lze poradit, aby psali pojmy tužkou (ne perem nebo propiskou) na papír nebo na malé lepicí papírky, se kterými mohou pohybovat po papíru při konstrukci mapy. Dále aby nadřazené pojmy psali do obdélníků nebo oválů a hlavně důležitější pojmy blíže klíčovému pojmu v horní části mapy. Učitel poté chce po žácích, aby spojili jeden pár souvisejících pojmů šipkou a popsali jejich vztah nad tuto šipku. Zdůrazní, že popis jejich vztahu je tou nejdůležitější vlastností pojmových map. Žáci pak takto pokračují se všemi pojmy. Je jim ponechán dostatek času (20 – 30 minut) na vytváření všech spojení, větvení, úrovní hierarchií, příčných vazeb a uvádění příkladů. Zásadním krokem je vytvoření první individuální mapy každým žákem, což vyvolá osobní porozumění technice pojmového mapování. Učitel může podpořit žákovu tvořivost skutečností, že žák může měnit mapu i v průběhu vytváření a též že neexistuje jedna správná varianta u každého spojení. Vytvoření mapy jako činnost celé třídy je časově náročné a neangažuje všechny žáky. Žáci mají v malých skupinkách diskutovat o rozdílech a podobnostech ve svých individuálních mapách. Nakonec každá skupina prezentuje nejdůležitější tvrzení pro celou třídu a vysvětluje svoji volbu. Učitel žákům shrne, že právě vytvořili pojmovou mapu a že je to dobrý způsob, jak se učit. Další vyučovací hodinu již následuje konstrukce žákovských map na téma z učiva, kdy učitel zadá klíčový pojem, popř. několik dalších pojmů. Na konci hodiny učitel mapy žákům posbírá, prohlédne si je, avšak nehodnotí a neznámkuje, jen navrhne možné zlepšení. Další hodinu vrátí učitel mapy žákům a může je s nimi prodiskutovat. Dále jim navrhne možnost přehodnocení, přidání, vypuštění některých vazeb či reorganizaci mapy nebo možnost začít tvořit mapu úplně znova kdykoli budou chtít, protože každá pojmová mapa se vyvíjí v průběhu času a změnou pojmové struktury v závislosti na nových okolnostech a poznatcích [11, 12].

Ze zkušeností s pojmovými mapami ve výuce uvádí Zeilik ve svém článku [12] tyto praktické rady. Čas učitelovy přípravy je minimální, pokud žáci sami konstruují mapy, ale daleko časově náročnější je navrhovat doplňovací mapy. Učitel by měl jednu hodinu věnovat vysvětlení techniky pojmového mapování žákům a poté s nimi dlouhodobě procvičovat. V hodině by aktivita pojmového mapování měla dostat prostor nejméně 30 minut. Je možné konstruovat mapy jednotlivě nebo v menších skupinkách, což je výhodnější ve větších třídách. Učitel by si měl uvědomit, že pojmové mapování je velmi náročný myšlenkový úkol pro žáka a vytvořené pojmové mapy jsou těžko srovnatelné jak mezi jednotlivými žáky, tak mezi skupinami.

Pojmovou mapu lze použít ve výuce třemi různými způsoby:

a) **souhrnná pojmová mapa** – učitelem vytvořená mapa objasňuje základní pojmy a vztahy mezi nimi a efektivní výuka je navržena v korespondenci se strukturou pojmové mapy (časově náročné pro učitele)

b) **pomůcka při výuce** – učitel představí vzorovou pojmovou mapu (vyplývající ze souhrnné mapy, ale detailnější) celé třídě se zdůrazněním základních pojmů a vazeb, může se na ni v průběhu výuky odkazovat a ukazovat rozšiřování vazeb (pozor, někteří žáci si ji budou chtít zapamatovat, místo přemýšlení o vztazích v ní)

c) **pomůcka při učení –** žáci vytvářejí vlastní mapy pokrývající část učiva z učebnice a sami hledají vyjádření vztahů mezi pojmy.

Hotové pojmové mapy předložené žákům mají jen malý vzdělávací potenciál, avšak důležité pojmy v této grafické podobě jsou efektivnější pomůckou pro zapamatování než souvislý text učebnic. Při pročítání mapy musí žáci o spojeních přemýšlet a ne se je jen bezmyšlenkovitě naučit. Nejvíce nám řekne mapa, kterou žák vytváří jen s malým množstvím pojmů. Mapa vytvořená učitelem je vždy komplikovanější než ta žákova na stejné téma. Je nutné žákům zdůraznit, že pojmová mapa není správná nebo nesprávná, protože každý žák má jiné předchozí znalosti a pojmovou strukturu, a tedy i jím vytvořená mapa bude jiná než u ostatních.

Pro přehlednost uvádíme i některé možné variace zadání pojmových map:

a) **skupinové mapy** – zadání pro 3 – 4 žáky ve skupině, kteří pracují společně na jedné mapě, což je obohacující na zkušenosti ze spolupráce, diskuse, argumentace, mezilidské sdílení nápadů

b) **doplňovací mapy** – z hotové mapy učitel vymaže pojmy a nechá spojovací čáry a slova vyjadřující vztahy mezi pojmy, žák má za úkol doplnit pojmy do mapy tak, aby tvrzení dávala smysl (vhodné pro malé třídy i na představení nového tématu)

c) **doplňovací mapy s výběrem** – učitel vybere z hotové mapy ⅓ pojmů a sepíše je do vedlejšího seznamu, žáci poté vybírají a vracejí pojmy do mapy na správná místa (předpokladem je, že myšlení žáka se blíží myšlení učitele, a klíčem k úspěchu je vybrat pojmy z různých úrovní hierarchie, aby měli sousední a předchozí vazby)

d) **zadání seznamu pojmů** – učitel zadá seznam 10 až 20 pojmů a požádá žáky o konstrukci mapy pouze z těchto pojmů (důraz je kladen na vazby)

e) **zadání s naznačenými pojmy** – učitel zadá seznam 5 až 10 pojmů a vyzve žáky, aby konstruovali mapu s těmito pojmy a dodali stejný počet vlastních pojmů k tomu tématu

f) **mapa s řízenou volbou pojmů** – učitel zadá 20 pojmů, z nichž si žáci mají vybrat 10 ke konstrukci mapy (učitel se zaměří na pojmy, které použili a které ne).

Hodnocení pojmových map

Pojmové mapy lze využít i jako diagnostický prostředek procesu učení. Možnost zjišťování a hodnocení znalostí pomocí pojmových map může učiteli otevřít další pohled do žákových vědomostí, který je daleko hlubší a širší než u ústního zkoušení nebo testů. Mapy vytvořené žákem jsou nejprospěšnější pro žákovo učení. Dokážou odhalit žákovy chybné představy, které tradiční nástroje pro hodnocení neodhalí.

Žák by měl brát hodnocení jako zpětnou vazbu, jak dokáže použít poznatky, co se naučil, jak pochopil vztahy mezi pojmy v rámci daného učiva, v čem udělal pokrok a s čím má stále problémy. Tyto aspekty jsou důležité i jako zpětná vazba pro učitele, jak pečlivě vysvětlil danou problematiku a s jakou mírou porozumění žáci přijali nové informace. Pokud nemá žák žádné zkušenosti s vytvářením pojmových map, není vhodné používat pojmové mapy k hodnocení žáka známkou.

Podle zkušeností učitelů, kteří pojmové mapy používají, lze na hodnocení nahlížet takto. Ze začátku, kdy se žáci učí používat pojmové mapy, je dobré hodnotit jejich mapy se zaměřením na kvalitativní stránku s důrazem na přesnost a platnost uvedených tvrzení, avšak bez použití bodování a známkování. Při kvalitativním posuzování žákovy mapy si můžeme pomoci odpověďmi na následující otázky: Jsou zobrazeny nejdůležitější pojmy?

Jsou vazby mezi pojmy vědecky přijatelné? Je zastoupeno podstatné množství větvení, úrovní hierarchie a příčných vazeb? Ukazují některá tvrzení na to, že má žák významné mylné představy? Jaké změny se staly v žákově mapě během dnů a týdnů? Postupem času, kdy učitel i žáci získají dostatečnou zkušenost s mapováním, je možné vyzkoušet nějaký způsob kvantitativního hodnocení, například podle Novaka: 1 bod za každé správné tvrzení, 5 bodů za každou platnou úroveň hierarchie, 10 bodů za platnou příčnou vazbu a 1 bod za každý příklad.

Několik rad z praxe používání pojmových map v přírodovědných třídách uvádí i Vanides a spol. Pro učitele je velmi informativní i rychlé prohlédnutí žákovských map bez formálního třídění a hodnocení. Ukáže mu, co si žáci myslí a s kterými pojmy má žák problémy. Je vhodné se zaměřit na následující faktory:

a) **složitost mapy –** informativní a lze snadno určit (odborníci tvoří složité mapy, žáci s malou praxí mapy jednodušší)

b) **existence nejdůležitějších tvrzení** – jsou to taková tvrzení, která učitel očekává, že je žáci budou znát po ukončení výuky daného tématu a že je bude obsahovat jejich mapa (pokud chybí, nemusí žák chápat vztahy mezi základními pojmy daného tématu)

c) **kvalita tvrzení** – žák může vyznačit vztahy mezi pojmy, ale je potřeba, aby učitel zjistil, zda žák tyto vztahy dobře chápe a jsou vyjádřeny smysluplně (bodování: 0 – špatné, 1 – částečně správné, ale vědecky slabé, 2 – vědecky správné)

Součet bodů u jednotlivých tvrzení dává celkové skóre. Je možná i varianta s barevným kódováním, kdy pro jednotlivé bodové ohodnocení tvrzení použijeme určitou barvu, anebo jen zelenou barvou zvýrazníme nejdůležitější tvrzení v mapě, což poskytne žákovi i učiteli přehled o propracovanosti mapy. Učitel z map určí časté mylné představy žáků a diskutuje o nich s třídou nebo jednotlivci. V případě nepochopení u většiny žáků je vhodné zařadit další vysvětlení daných pojmů.

Hodnocení může kombinovat porovnání žákovských map se vzorovou mapou a obodování jednotlivých prvků. Správné tvrzení obsahující dva spojené pojmy se spojovacím slovem, které vědecky správně vyjadřuje jejich vztah, hodnotíme 3 body. Spojí-li žák dva pojmy a popíše jejich vztah spojovacím slovem, které není vědecky správné, ale jen částečně správné, potom toto tvrzení hodnotíme 2 body. Pokud žák pouze spojí dva související pojmy, ale neuvede popis jejich vztahu, toto tvrzení hodnotíme jen 1 bodem. Žák ví, že tyto dva pojmy spolu souvisí, ale neví, jak by tento vztah vyjádřil. Za zcela vědecky nesprávnou formulaci tvrzení, které ukazuje na mylné pochopení vztahu mezi pojmy, přidělíme 0 bodů. Další 2 body dáme za úroveň hierarchie, 5 bodů za správnou příčnou vazbu, 2 body za příklad (obrázek, graf) a bonusový +1 bod navíc za každé další tvrzení, které nebylo ve vzorové mapě.

Každý žák má jinou pojmovou strukturu a k tomu je též nutné přihlížet při hodnocení jeho mapy. Učitel by se měl při hodnocení soustředit na provázanost základních pojmů a jejich vztahy, a zda je z žákovy mapy poznat porozumění danému tématu. Vzorová mapa vytvořená učitelem není brána jako „ta jediná správná“, ale jako pomůcka pro porovnávání při hodnocení. Jsou v ní vyznačeny ty nejzákladnější vztahy, které by měl žák znát a uvést je ve své mapě. Ale každý další pojem správně navázaný žákem v jeho mapě je ukazatelem propojenosti pojmů v žákově pojmové struktuře, a proto by měl být kladně ohodnocen. To zařizují bonusové body při hodnocení. Pokud je tedy další pojem, který není ve vzorové mapě, správně navázán na základní pojmy mapy a jeho vztah k pojmům je vědecky správně vyjádřen, žák za takové tvrzení dostane 3 + 1 bod. Je třeba uvést, že výběr způsobu hodnocení map žáků je zcela na rozhodnutí učitele.

Seznam pojmových map v příloze

Fyzikální veličiny

Mechanika

1. Fyzika
2. Soustava veličin a jednotek SI
3. Fyzikální veličiny
4. Pohyb tělesa
5. Nerovnoměrný pohyb
6. Volný pád
7. Rovnoměrný pohyb po kružnici
8. Dynamika
9. Energie
10. Mechanická práce
11. Gravitační pole
12. Vrhy
13. Keplerovy zákony
14. Mechanika tuhého tělesa
15. Tekutiny

Molekulová fyzika a termika

1. Teplota
2. Struktura látek
3. Vnitřní energie
4. Plyny
5. Pevné látky
6. Kapaliny
7. Změna skupenství látek

Mechanické kmitání a vlnění

1. Kmitání
2. Vlnění
3. Zvuk

Elektřina a magnetismus

1. Elektrický náboj
2. Elektrické pole
3. Kapacita vodiče
4. Elektrický proud
5. Jednoduchý elektrický obvod
6. Složitý elektrický obvod
7. Magnetické pole
8. Nestacionární magnetické pole
9. Střídavý proud
10. Obvod střídavého proudu
11. Elektromagnetické vlnění

Optika

1. Světlo
2. Optické zobrazování
3. Zobrazování odrazem světla
4. Zobrazování lomem světla
5. Vlnové vlastnosti světla
6. Elektromagnetické záření

Mikrosvět

1. Atomy
2. Kvantová fyzika
3. Radioaktivita
4. Speciální teorie relativity

Literatura

1. Bednařík, M., široká, M.: *Fyzika pro gymnázia: Mechanika*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2005. 288 s. ISBN 80-7196-176-0.

2. Halliday,D.,Resnick,R.,Walker,J. : Fyzika I. a II. VUTIUM, PROMETHEUS 2001.

3. Holubová, R.: Fyzika - přednášky pro bakaláře.http://www.upol.cz

4. Holubová, R. : Molekulová fyzika a termodynamika. http://www.upol.cz

5. *IHMC CmapTools 5.04* [online]. Florida: Institute for Human and Machine Cognition, 2009 [cit. 2012-04-12].

Dostupné z WWW: http://cmap.ihmc.us/download/

6. Keprtová, P.: *Tvorba a analýza pojmových map ve fyzice*, Olomouc, 2011, 67 s., diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky.

7. Kubínek, R. – Kolářová, H.: Rychlokurs fyziky. Rubico 1999.

8. Lepil, O.: *Zopakujte si fyziku*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2006. 67 s. ISBN 80-7196-327-5.

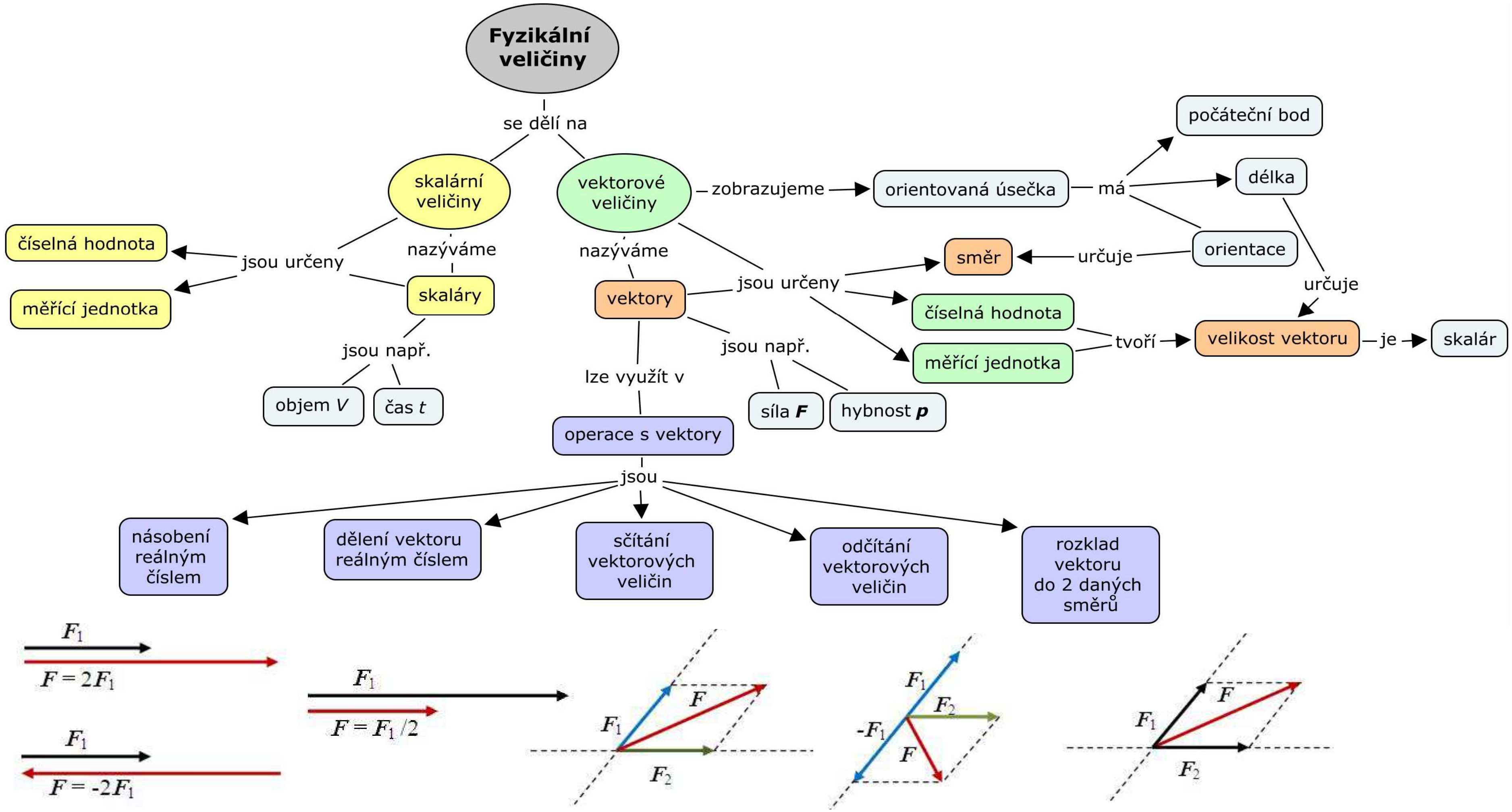
9. Mareš, J.: Strukturování učiva, vyučovací a učební strategie. In Čáp. J., Mareš, J.: *Psychologie pro učitele*. Vyd. 2. Praha : Portál, 2007. s. 441-472. ISBN 978-80-7367-273-7.

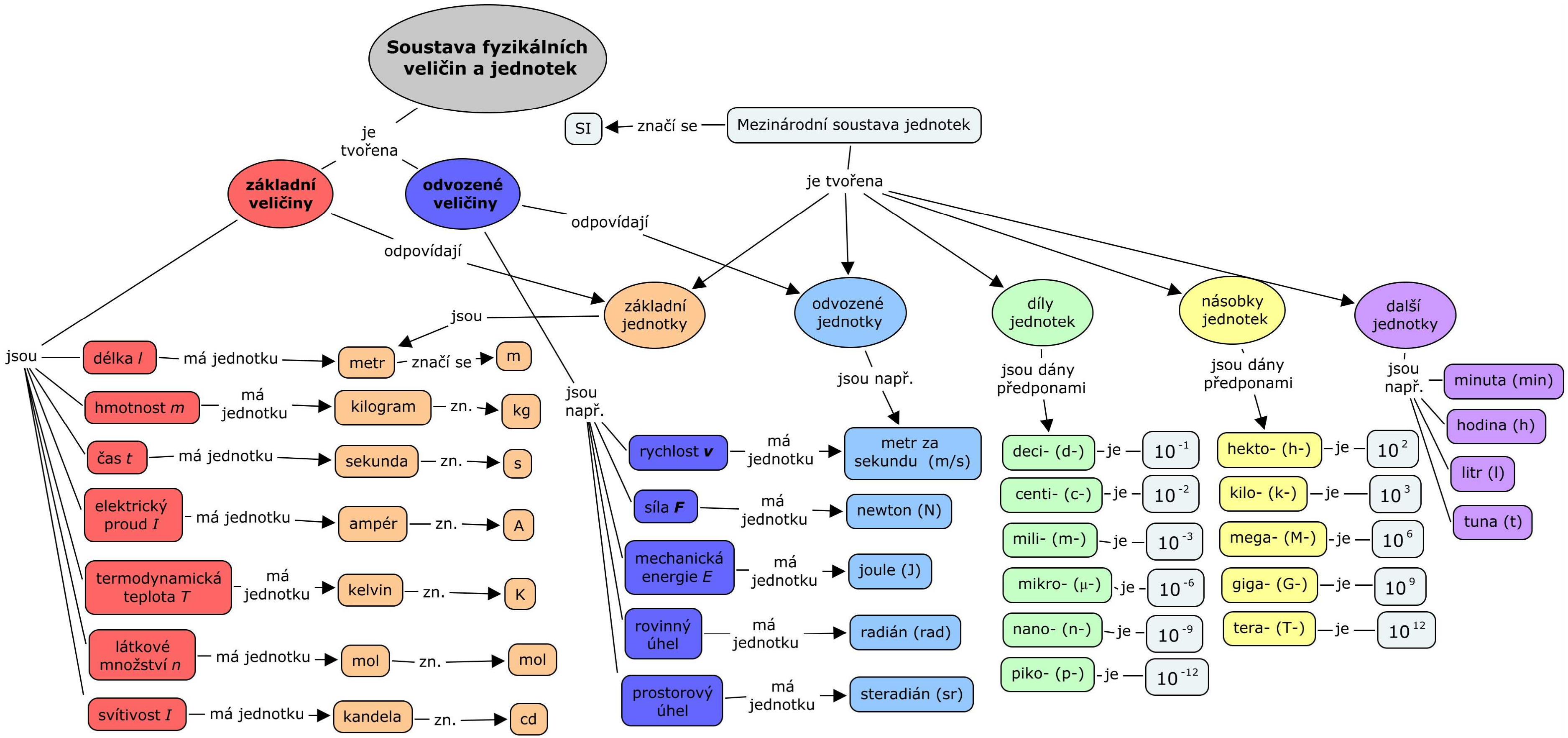
10. Svoboda, E.: Přehled středoškolské fyziky. SPN 1991.

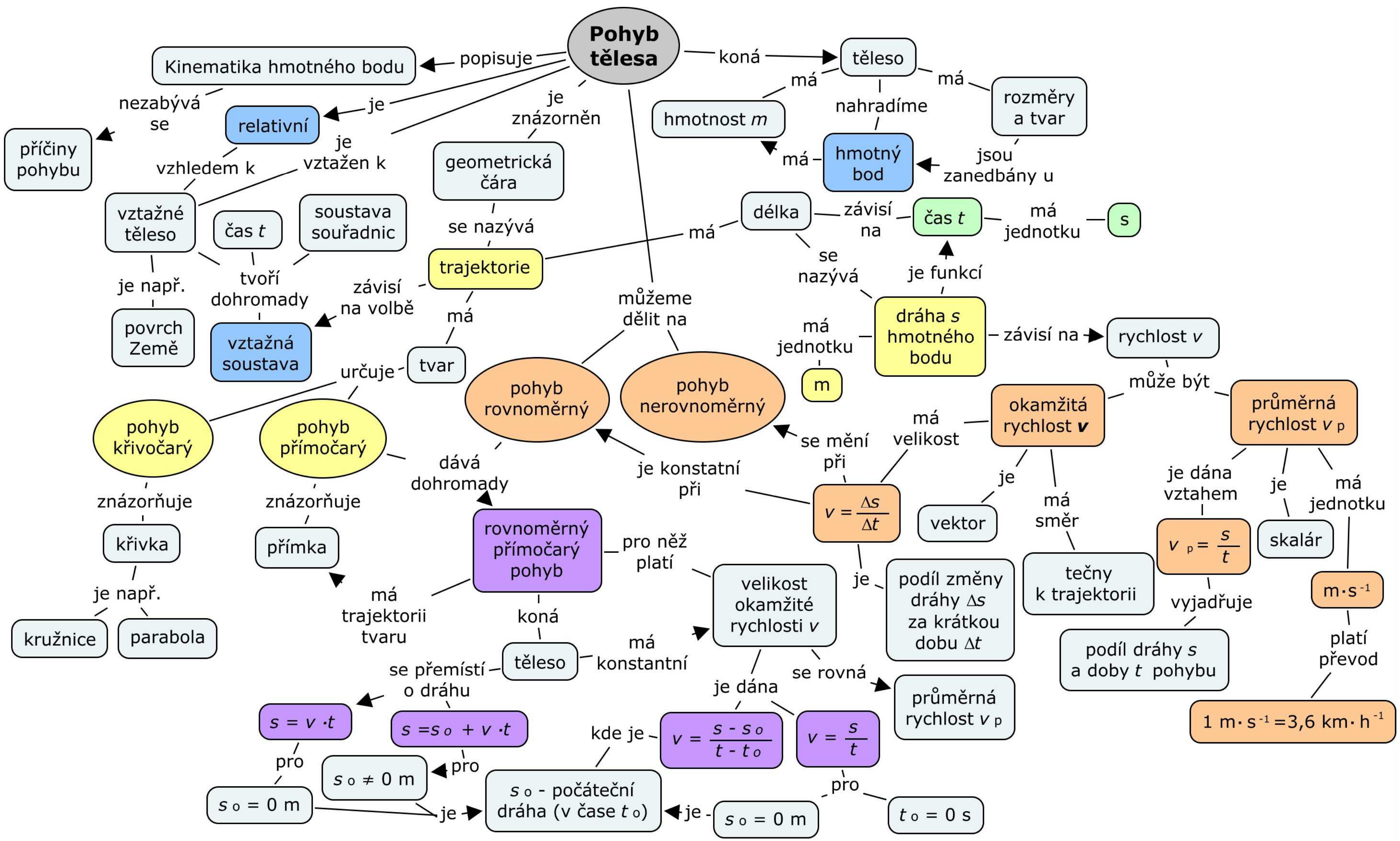
11. Vanides, J. et al.: Using Concept Maps in the Science Classroom. *Science Scope* [online]. 2005, Vol. 28, No. 8, p. 27-31, [cit. 2012-04-19]. Dostupný z WWW: <http://www.stanford.edu/dept/SUSE/SEAL/Reports_Papers/Vanides_CM.pdf>. ISSN 0887-2376.

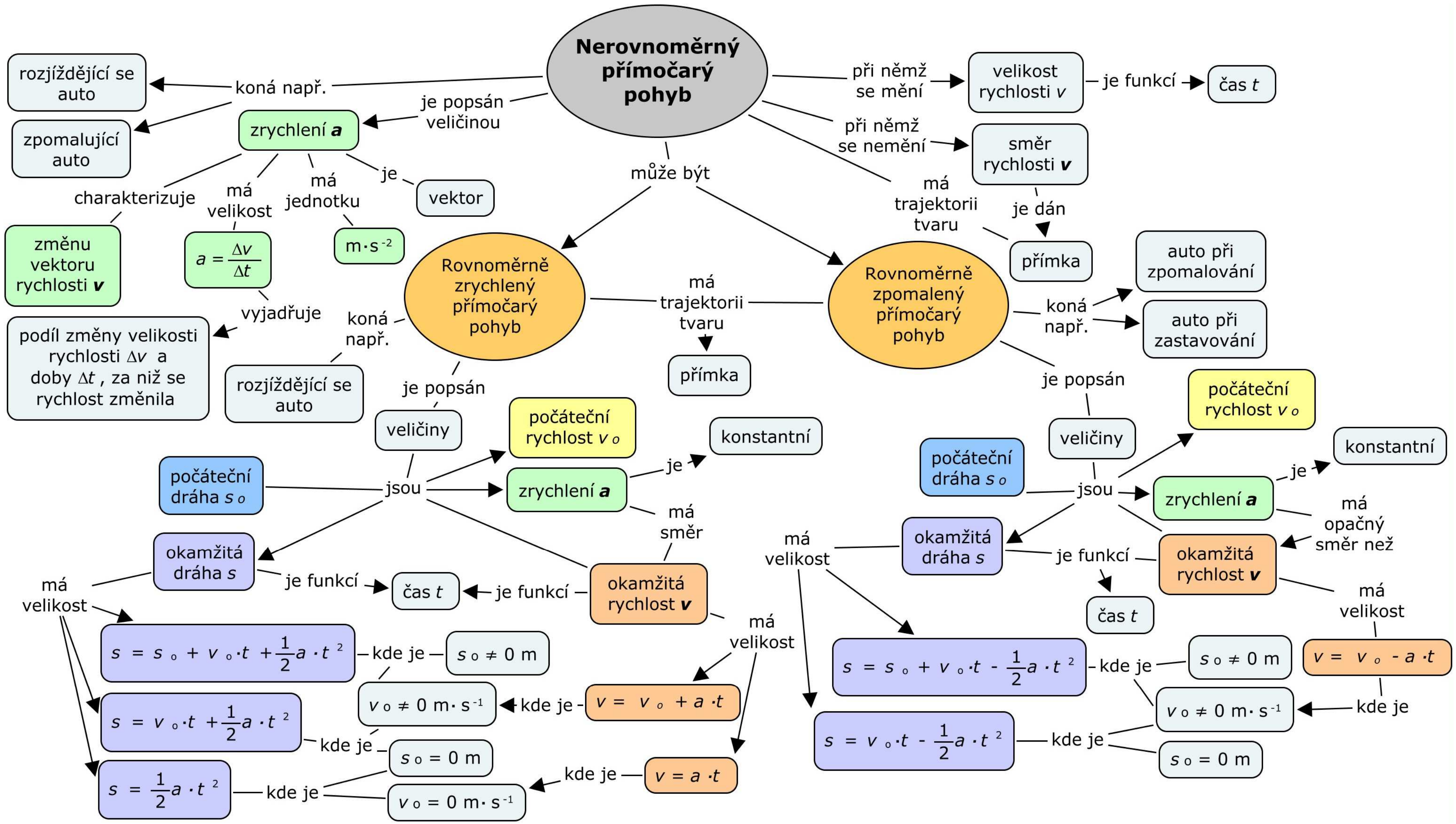
12. Zeilik, M.: *Concept Mapping* [online]. Department of Physics and Astronomy, University of New Mexico, 2007, [cit. 2012-04-19]. Dostupné z WWW: <http://www.flaguide.org/extra/download/cat/conmap/conmap.pdf>.

Přílohy – pojmové mapy

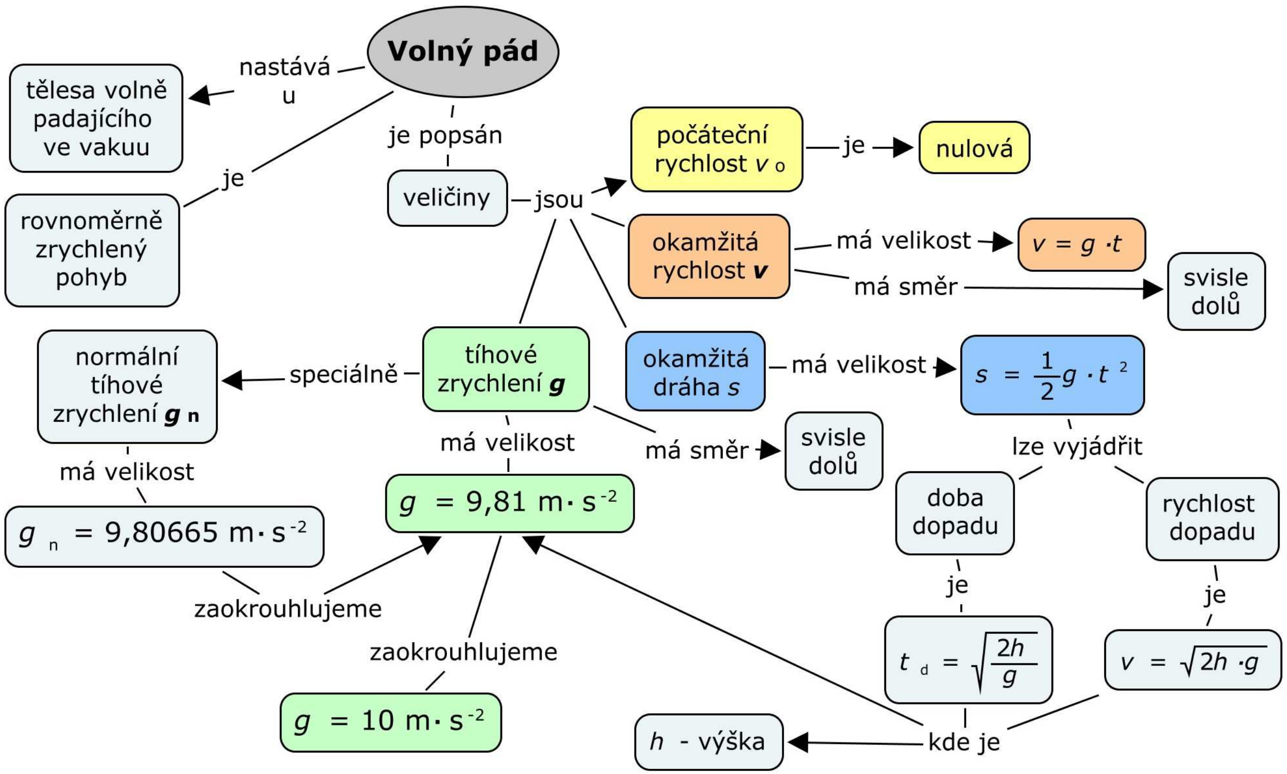

Fyzikální veličiny
se dělí na
skalární veličiny
vektorové veličiny
nazýváme
skaláry
jsou určeny
číselná hodnota
měřící jednotka
jsou např.
objem V
čas t
nazýváme
vektory
zobrazujeme
orientovaná úsečka
má
počáteční bod
délka
orientace
určuje
směr
jsou určeny
číselná hodnota
měřící jednotka
tvoří
velikost vektoru
určuje
je
skalár
jsou např.
síla F
hybnost p
lze využít v
operace s vektory
jsou
násobení reálným číslem
dělení vektoru reálným číslem
sčítání vektorových veličin
odčítání vektorových veličin
rozklad vektoru do 2 daných směrů
F1
F = 2F1
F1
F = -2F1
F1
F = F1 /2
F1
F
F2
F1
F2
-F1
F
F1
F
F2


Soustava fyzikálních veličin a jednotek
je tvořena
základní veličiny
odvozené veličiny
SI
značí se
Mezinárodní soustava jednotek
je tvořena
odpovídají
odpovídají
základní jednotky
odvozené jednotky
díly jednotek
násobky jednotek
další jednotky
jsou
jsou
délka l
má jednotku
metr
značí se
m
hmotnost m
má jednotku
kilogram
zn.
kg
čas t
má jednotku
sekunda
zn.
s
elektrický proud I
má jednotku
ampér
zn.
A
termodynamická teplota T
má jednotku
kelvin
zn.
K
látkové množství n
má jednotku
mol
zn.
mol
svítivost I
má jednotku
kandela
zn.
cd
jsou např.
rychlost v
má jednotku
metr za sekundu (m/s)
síla F
má jednotku
newton (N)
mechanická energie E
má jednotku
joule (J)
rovinný úhel
má jednotku
radián (rad)
prostorový úhel
má jednotku
steradián (sr)
jsou např.
jsou dány předponami
deci- (d-) je 10 -1
centi- (c-) je 10 -2
mili- (m-) je 10 -3
mikro- (μ-) je 10 -6
nano- (n-) je 10 -9
piko- (p-) je 10 -12
jsou dány předponami
hekto- (h-) je 10 2
kilo- (k-) je 10 3
mega- (M-) je 10 6
giga- (G-) je 10 9
tera- (T-) je 10 12
jsou např.
minuta (min)
hodina (h)
litr (l)
tuna (t)

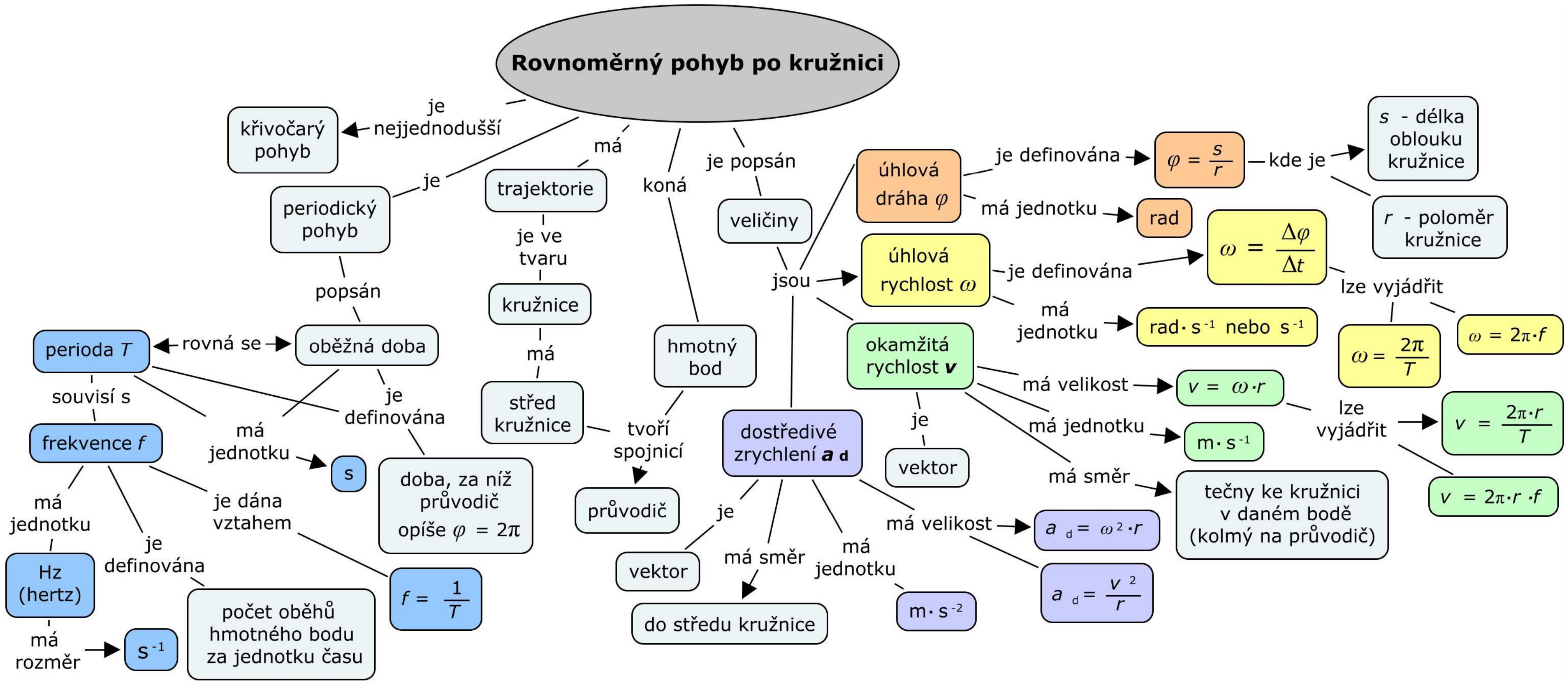

Pohyb tělesa
popisuje
Kinematika hmotného bodu
nezabývá se
příčiny pohybu
je
relativní
vzhledem k
je vztažen k
vztažné těleso
je např.
povrch Země
čas t
soustava souřadnic
tvoří dohromady
vztažná soustava
je znázorněn
geometrická čára
se nazývá
trajektorie
závisí na volbě
má
tvar
určuje
pohyb křivočarý
pohyb přímočarý
znázorňuje
křivka
je např.
kružnice
parabola
přímka
koná
těleso
má
hmotnost m
nahradíme
hmotný bod
má
rozměry a tvar
jsou zanedbány u
délka
závisí na
čas t
má jednotku
s
se nazývá
je funkcí
dráha s hmotného bodu
má jednotku
m
závisí na
rychlost v
může být
okamžitá rychlost v
průměrná rychlost v_p
můžeme dělit na
pohyb rovnoměrný
pohyb nerovnoměrný
je konstatní při
se mění při
$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
má velikost
je
vektor
má směr
tečny k trajektorii
je
podíl změny dráhy Δs za krátkou dobu Δt
je dána vztahem
$v_p = \frac{s}{t}$
vyjadřuje
podíl dráhy s a doby t pohybu
je
skalár
má jednotku
$m \cdot s^{-1}$
platí převod
$1\ m \cdot s^{-1} = 3{,}6\ km \cdot h^{-1}$
dává dohromady
rovnoměrný přímočarý pohyb
má trajektorii tvaru
pro něž platí
velikost okamžité rychlosti v
koná
těleso
má konstantní
se rovná
průměrná rychlost v_p
je dána
$v = \frac{s - s_0}{t - t_0}$
$v = \frac{s}{t}$
kde je
pro
$t_0 = 0$ s
s_0 - počáteční dráha (v čase t_0)
je
$s_0 = 0$ m
se přemístí o dráhu
$s = v \cdot t$
$s = s_0 + v \cdot t$
pro
$s_0 = 0$ m
pro
$s_0 \neq 0$ m
je



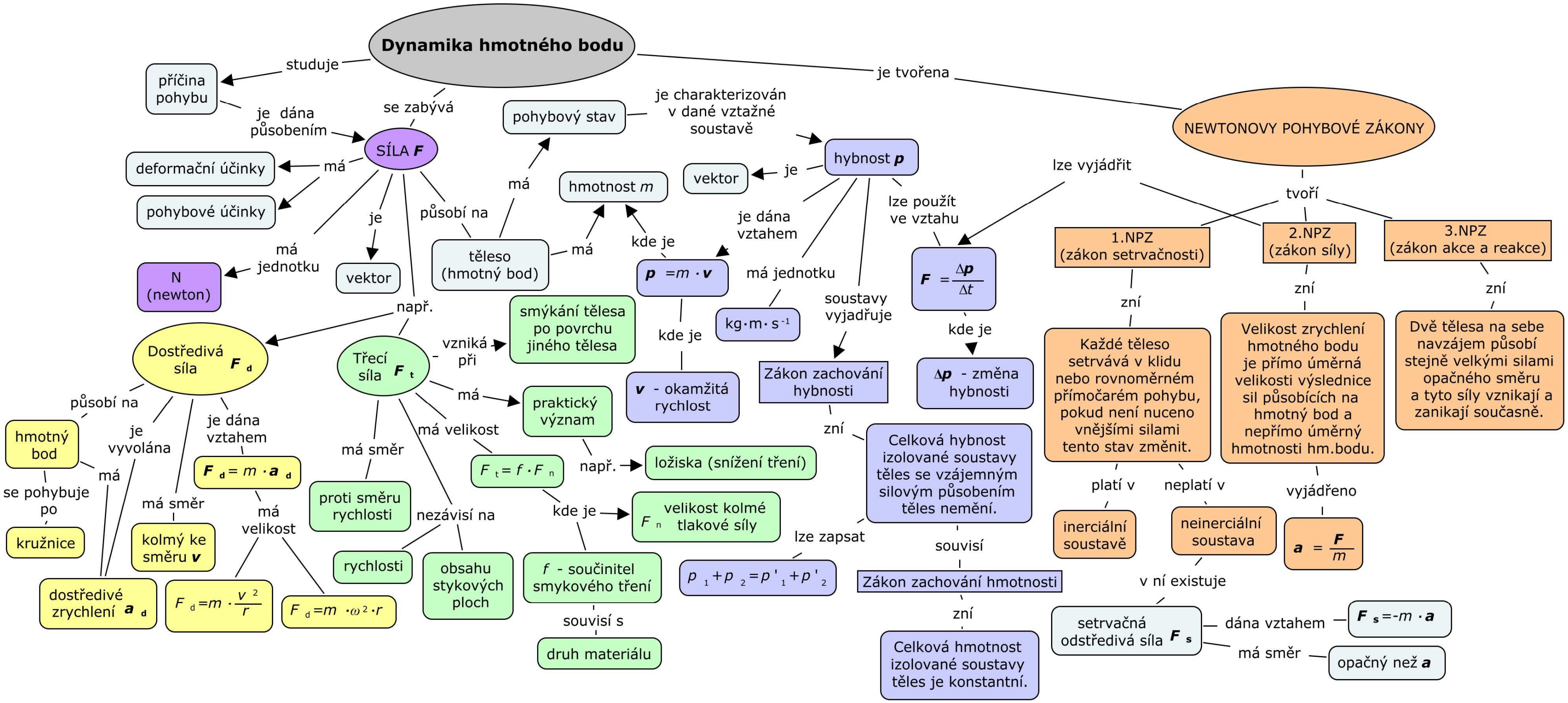
Nerovnoměrný přímočarý pohyb
koná např.
rozjíždějící se auto
zpomalující auto
je popsán veličinou
zrychlení a
charakterizuje
změnu vektoru rychlosti v
má velikost
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
vyjadřuje
podíl změny velikosti rychlosti Δv a doby Δt, za niž se rychlost změnila
má jednotku
$m \cdot s^{-2}$
je
vektor
při němž se mění
velikost rychlosti v
je funkcí
čas t
při němž se nemění
směr rychlosti v
je dán
přímka
má trajektorii tvaru
přímka
může být
Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb
koná např.
rozjíždějící se auto
má trajektorii tvaru
přímka
Rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb
koná např.
auto při zpomalování
auto při zastavování
je popsán
veličiny
jsou
počáteční rychlost v_0
zrychlení a
je
konstantní
má směr
okamžitá rychlost v
je funkcí
čas t
počáteční dráha s_0
okamžitá dráha s
je funkcí
má velikost
$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
kde je
$s_0 \neq 0$ m
$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
kde je
$s_0 = 0$ m
$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$
kde je
$v_0 = 0 \text{ m} \cdot s^{-1}$
má velikost
$v = v_0 + a \cdot t$
kde je
$v_0 \neq 0 \text{ m} \cdot s^{-1}$
$v = a \cdot t$
kde je
je popsán
veličiny
jsou
počáteční rychlost v_0
zrychlení a
je
konstantní
má opačný směr než
okamžitá rychlost v
je funkcí
čas t
počáteční dráha s_0
okamžitá dráha s
má velikost
$s = s_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$
kde je
$s_0 \neq 0$ m
$v_0 \neq 0 \text{ m} \cdot s^{-1}$
$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$
kde je
$s_0 = 0$ m
má velikost
$v = v_0 - a \cdot t$
kde je

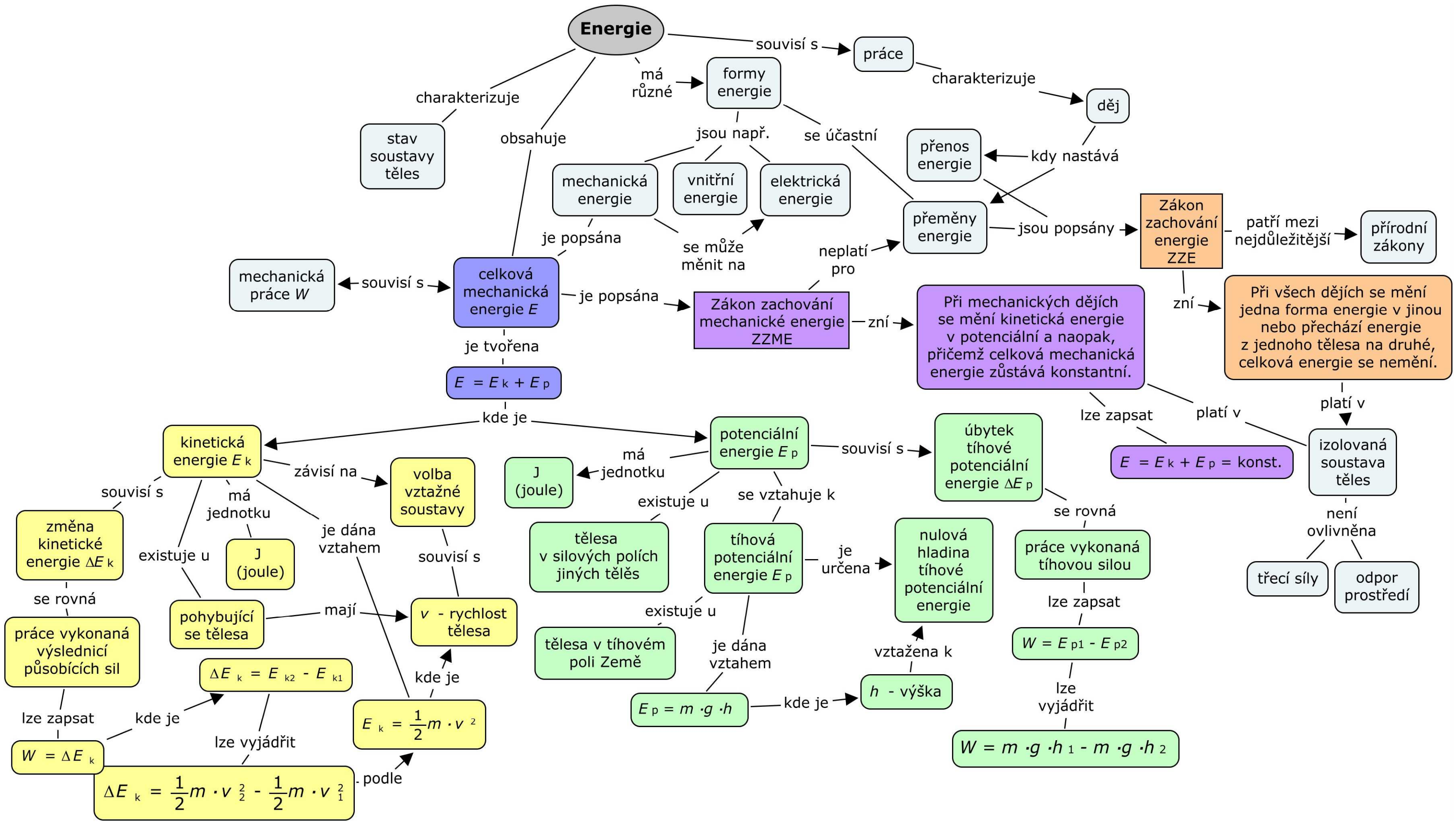


Volný pád
nastává u
tělesa volně padajícího ve vakuu
je
rovnoměrně zrychlený pohyb
je popsán
veličiny
jsou
počáteční rychlost v_0
je
nulová
okamžitá rychlost $\boldsymbol{v}$
má velikost
$v = g \cdot t$
má směr
svisle dolů
okamžitá dráha s
má velikost
$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$
lze vyjádřit
doba dopadu
je
$t_d = \sqrt{\frac{2h}{g}}$
rychlost dopadu
je
$v = \sqrt{2h \cdot g}$
kde je
h - výška
tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$
speciálně
normální tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}_n$
má velikost
$g_n = 9{,}80665\ m \cdot s^{-2}$
zaokrouhlujeme
má velikost
$g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$
zaokrouhlujeme
$g = 10\ m \cdot s^{-2}$
má směr
svisle dolů

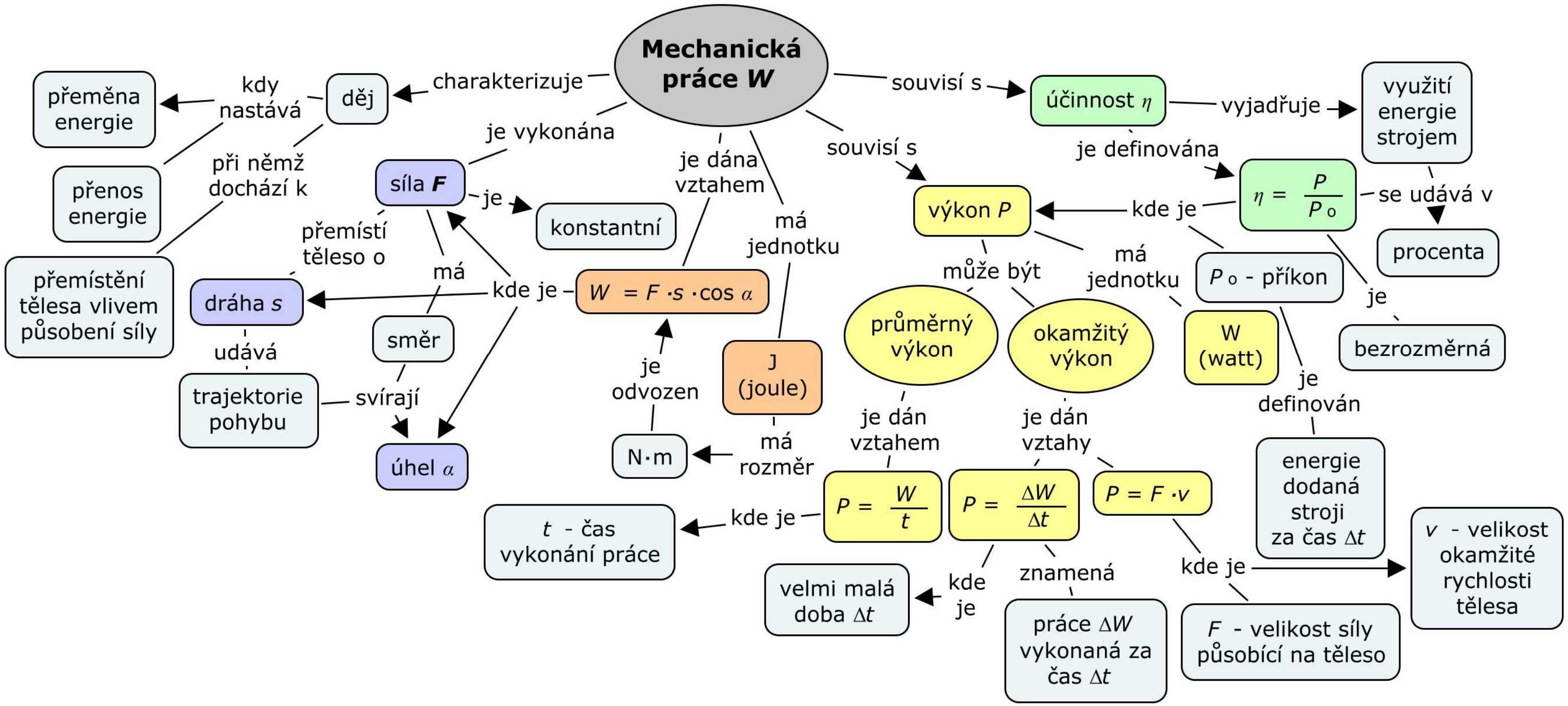


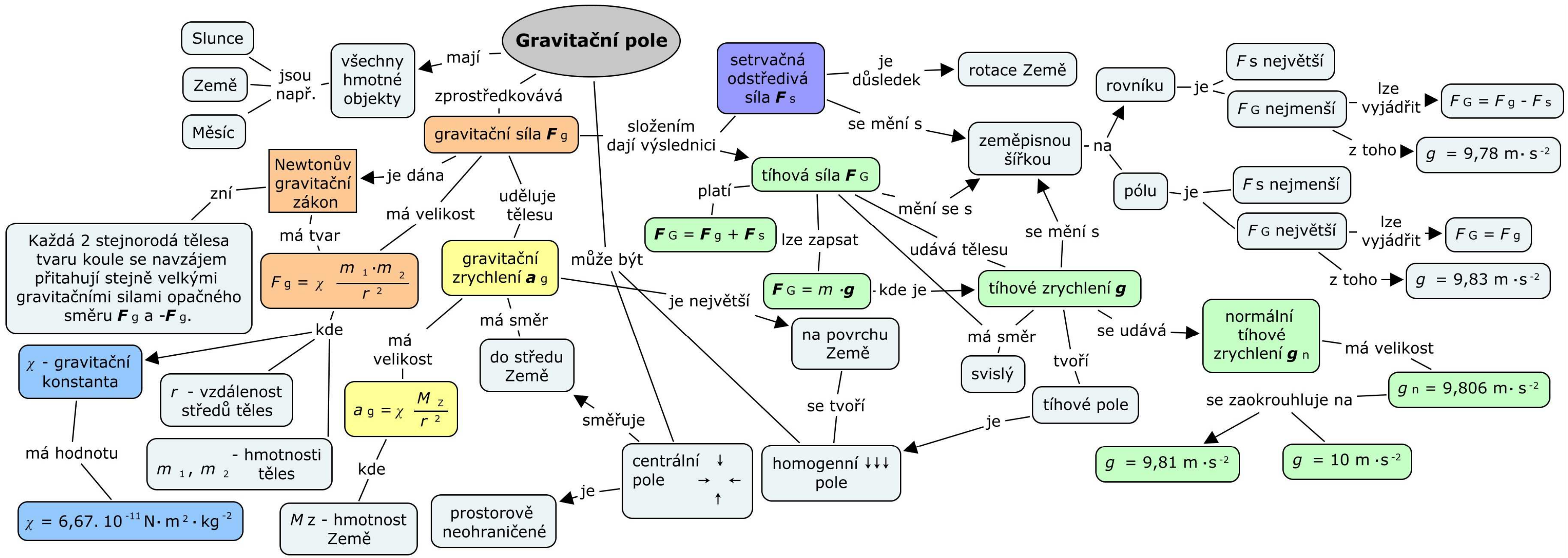
Rovnoměrný pohyb po kružnici
je nejjednodušší
křivočarý pohyb
je
periodický pohyb
popsán
oběžná doba
rovná se
perioda T
souvisí s
frekvence f
má jednotku
Hz (hertz)
má rozměr
s^{-1}
je definována
počet oběhů hmotného bodu za jednotku času
je dána vztahem
$f = \frac{1}{T}$
má jednotku
s
je definována
doba, za níž průvodič opíše $\varphi = 2\pi$
má
trajektorie
je ve tvaru
kružnice
má
střed kružnice
tvoří spojnicí
průvodič
koná
hmotný bod
je popsán
veličiny
jsou
úhlová dráha φ
je definována
$\varphi = \frac{s}{r}$
kde je
s - délka oblouku kružnice
r - poloměr kružnice
má jednotku
rad
úhlová rychlost ω
je definována
$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$
lze vyjádřit
$\omega = \frac{2\pi}{T}$
$\omega = 2\pi \cdot f$
má jednotku
$rad \cdot s^{-1}$ nebo s^{-1}
okamžitá rychlost $\boldsymbol{v}$
je
vektor
má velikost
$v = \omega \cdot r$
lze vyjádřit
$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$
$v = 2\pi \cdot r \cdot f$
má jednotku
$m \cdot s^{-1}$
má směr
tečny ke kružnici v daném bodě (kolmý na průvodič)
dostředivé zrychlení $\boldsymbol{a}_d$
je
vektor
má směr
do středu kružnice
má jednotku
$m \cdot s^{-2}$
má velikost
$a_d = \omega^2 \cdot r$
$a_d = \frac{v^2}{r}$

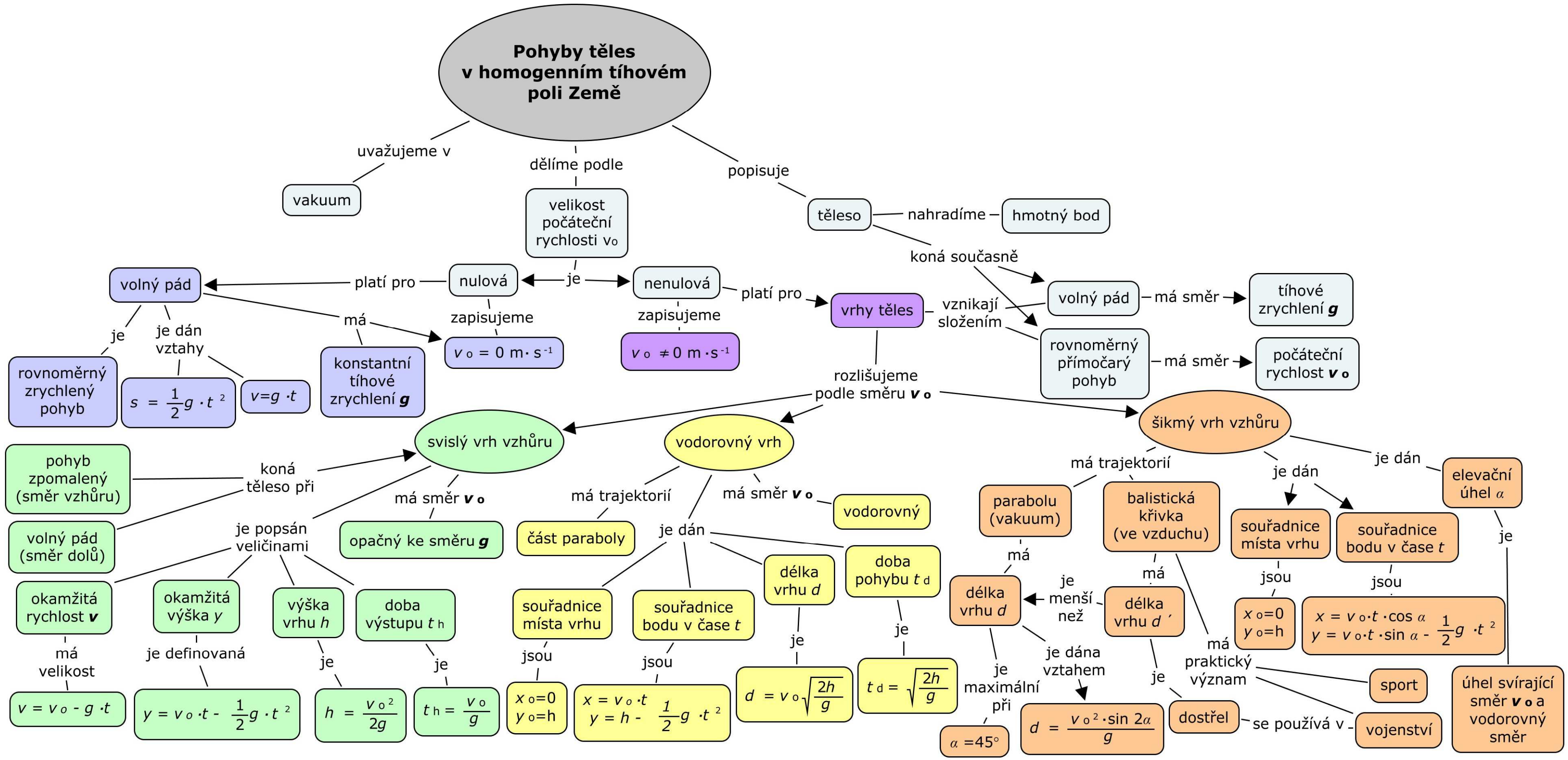

Dynamika hmotného bodu
studuje
příčina pohybu
je dána působením
se zabývá
SÍLA $\boldsymbol{F}$
má
deformační účinky
pohybové účinky
je
vektor
má jednotku
N (newton)
působí na
těleso (hmotný bod)
má
pohybový stav
hmotnost m
je charakterizován v dané vztažné soustavě
hybnost $\boldsymbol{p}$
je
vektor
je dána vztahem
$\boldsymbol{p} = m \cdot \boldsymbol{v}$
kde je
$\boldsymbol{v}$ - okamžitá rychlost
má jednotku
kg·m·s^{-1}
soustavy vyjadřuje
Zákon zachování hybnosti
zní
Celková hybnost izolované soustavy těles se vzájemným silovým působením těles nemění.
lze zapsat
$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2$
souvisí
Zákon zachování hmotnosti
zní
Celková hmotnost izolované soustavy těles je konstantní.
lze použít ve vztahu
$\boldsymbol{F} = \frac{\Delta \boldsymbol{p}}{\Delta t}$
kde je
$\Delta \boldsymbol{p}$ - změna hybnosti
např.
Dostředivá síla $\boldsymbol{F}_d$
působí na
hmotný bod
se pohybuje po
kružnice
je vyvolána
má
dostředivé zrychlení $\boldsymbol{a}_d$
má směr
kolmý ke směru $\boldsymbol{v}$
je dána vztahem
$\boldsymbol{F}_d = m \cdot \boldsymbol{a}_d$
má velikost
$F_d = m \cdot \frac{v^2}{r}$
$F_d = m \cdot \omega^2 \cdot r$
Třecí síla $\boldsymbol{F}_t$
vzniká při
smýkání tělesa po povrchu jiného tělesa
má
praktický význam
např.
ložiska (snížení tření)
má směr
proti směru rychlosti
nezávisí na
rychlosti
obsahu stykových ploch
má velikost
$F_t = f \cdot F_n$
kde je
F_n velikost kolmé tlakové síly
f - součinitel smykového tření
souvisí s
druh materiálu
je tvořena
NEWTONOVY POHYBOVÉ ZÁKONY
lze vyjádřit
tvoří
1.NPZ (zákon setrvačnosti)
zní
Každé těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit.
platí v
inerciální soustavě
neplatí v
neinerciální soustava
v ní existuje
setrvačná odstředivá síla $\boldsymbol{F}_s$
dána vztahem
$\boldsymbol{F}_s = -m \cdot \boldsymbol{a}$
má směr
opačný než $\boldsymbol{a}$
2.NPZ (zákon síly)
zní
Velikost zrychlení hmotného bodu je přímo úměrná velikosti výslednice sil působících na hmotný bod a nepřímo úměrná hmotnosti hm.bodu.
vyjádřeno
$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{F}}{m}$
3.NPZ (zákon akce a reakce)
zní
Dvě tělesa na sebe navzájem působí stejně velkými silami opačného směru a tyto síly vznikají a zanikají současně.

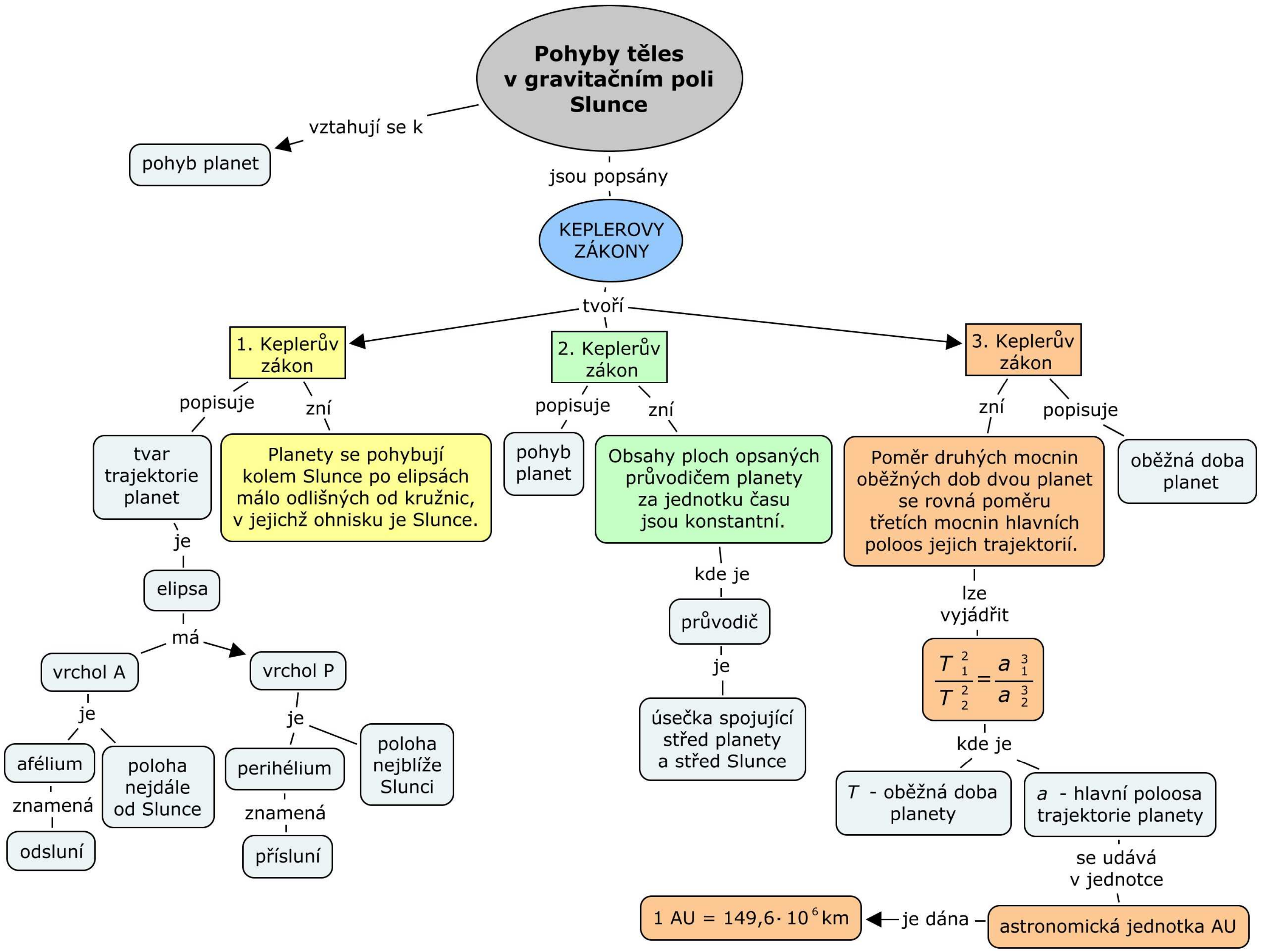


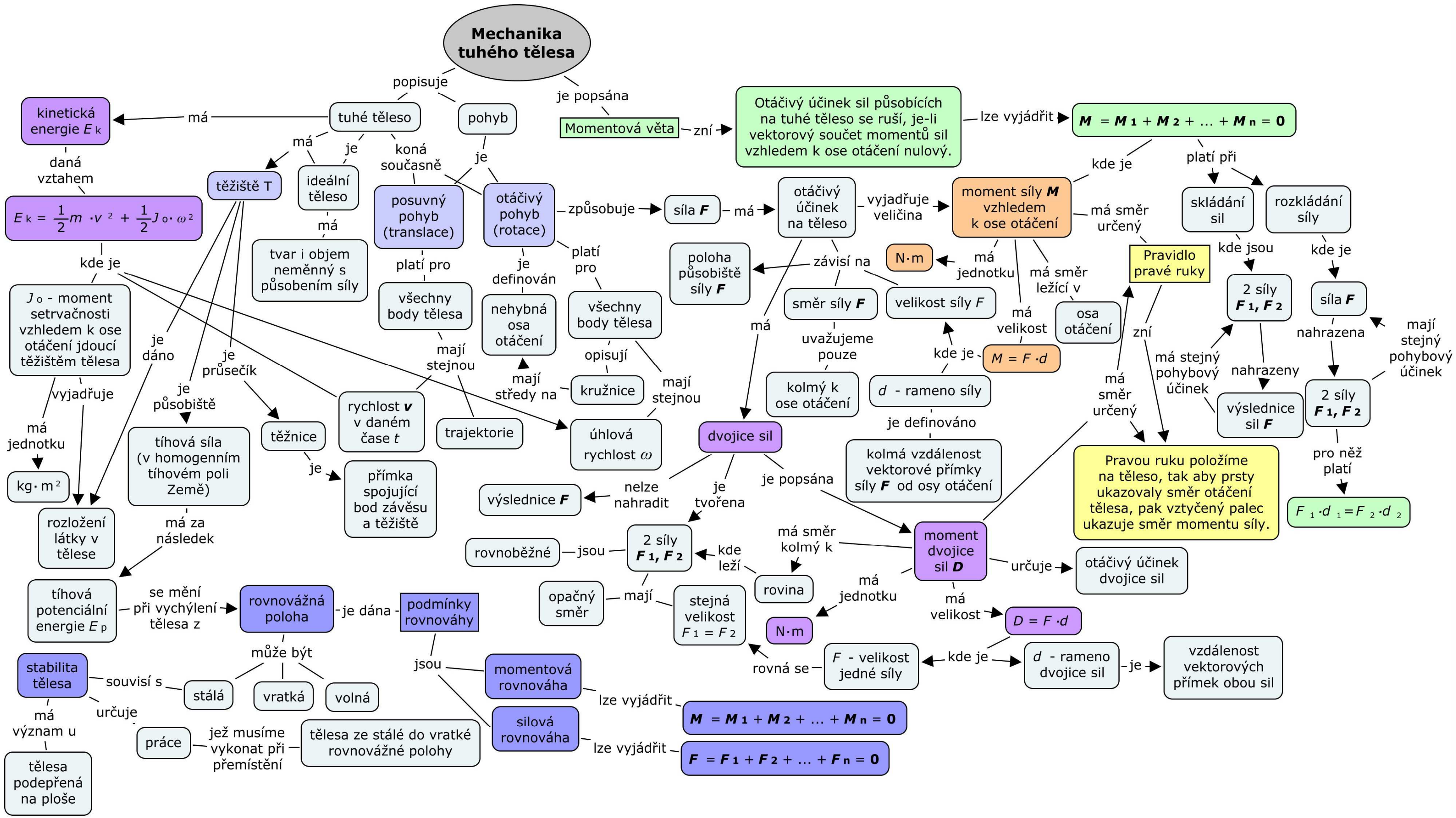
Energie
souvisí s
práce
charakterizuje
děj
kdy nastává
přenos energie
přeměny energie
má různé
formy energie
jsou např.
mechanická energie
vnitřní energie
elektrická energie
se může měnit na
se účastní
charakterizuje
stav soustavy těles
obsahuje
je popsána
mechanická práce W
souvisí s
celková mechanická energie E
je popsána
Zákon zachování mechanické energie ZZME
neplatí pro
zní
Při mechanických dějích se mění kinetická energie v potenciální a naopak, přičemž celková mechanická energie zůstává konstantní.
jsou popsány
Zákon zachování energie ZZE
patří mezi nejdůležitější
přírodní zákony
zní
Při všech dějích se mění jedna forma energie v jinou nebo přechází energie z jednoho tělesa na druhé, celková energie se nemění.
platí v
lze zapsat
platí v
E = E k + E p = konst.
izolovaná soustava těles
není ovlivněna
třecí síly
odpor prostředí
je tvořena
E = E k + E p
kde je
kinetická energie E k
závisí na
volba vztažné soustavy
souvisí s
má jednotku
J (joule)
je dána vztahem
existuje u
pohybující se tělesa
mají
v - rychlost tělesa
kde je
E k = 1/2 m · v 2
podle
změna kinetické energie ΔE k
se rovná
práce vykonaná výslednicí působících sil
lze zapsat
W = ΔE k
kde je
ΔE k = E k2 - E k1
lze vyjádřit
ΔE k = 1/2 m · v 2 2 - 1/2 m · v 1 2
potenciální energie E p
má jednotku
J (joule)
existuje u
tělesa v silových polích jiných těles
se vztahuje k
tíhová potenciální energie E p
je určena
nulová hladina tíhové potenciální energie
existuje u
tělesa v tíhovém poli Země
je dána vztahem
E p = m ·g ·h
kde je
h - výška
vztažena k
souvisí s
úbytek tíhové potenciální energie ΔE p
se rovná
práce vykonaná tíhovou silou
lze zapsat
W = E p1 - E p2
lze vyjádřit
W = m ·g ·h 1 - m ·g ·h 2


Mechanická práce W
charakterizuje
děj
kdy nastává
přeměna energie
přenos energie
při němž dochází k
přemístění tělesa vlivem působení síly
je vykonána
síla F
je
konstantní
přemístí těleso o
dráha s
má
směr
kde je
W = F · s · cos α
udává
trajektorie pohybu
svírají
úhel α
je dána vztahem
má jednotku
J (joule)
je odvozen
má rozměr
N·m
souvisí s
účinnost η
vyjadřuje
využití energie strojem
je definována
η = P / P0
se udává v
procenta
je
bezrozměrná
kde je
P0 - příkon
je definován
energie dodaná stroji za čas Δt
výkon P
má jednotku
W (watt)
může být
průměrný výkon
okamžitý výkon
je dán vztahem
P = W / t
kde je
t - čas vykonání práce
je dán vztahy
P = ΔW / Δt
kde je
velmi malá doba Δt
znamená
práce ΔW vykonaná za čas Δt
P = F · v
kde je
F - velikost síly působící na těleso
v - velikost okamžité rychlosti tělesa

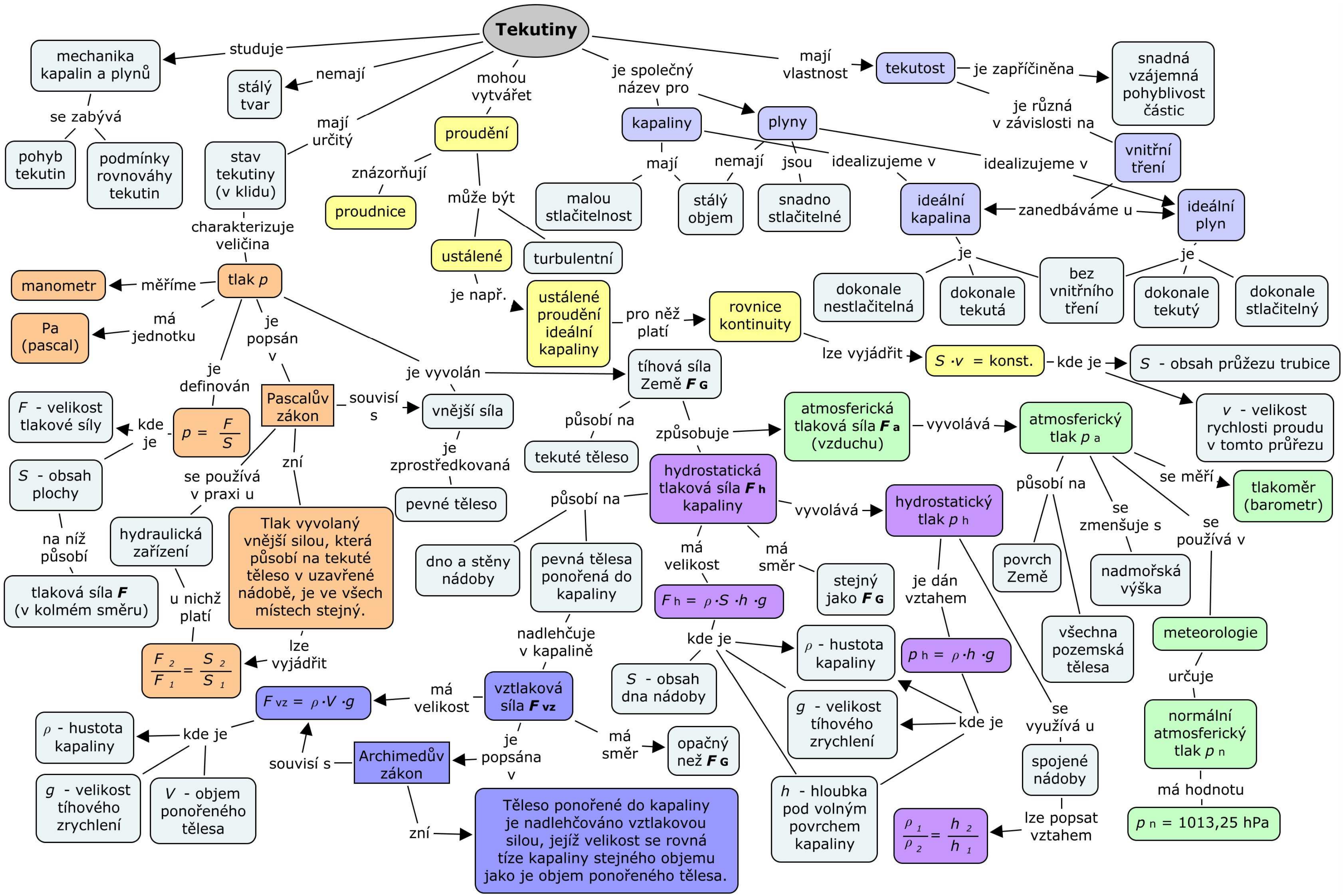

Gravitační pole
mají
všechny hmotné objekty
jsou např.
Slunce
Země
Měsíc
zprostředkovává
gravitační síla F_g
je dána
Newtonův gravitační zákon
zní
Každá 2 stejnorodá tělesa tvaru koule se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami opačného směru F_g a $-F_g$.
má tvar
má velikost
$F_g = \chi \dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$
kde
χ - gravitační konstanta
má hodnotu
$\chi = 6{,}67 . 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$
r - vzdálenost středů těles
m_1, m_2 - hmotnosti těles
uděluje tělesu
gravitační zrychlení a_g
má velikost
$a_g = \chi \dfrac{M_Z}{r^2}$
kde
M_Z - hmotnost Země
má směr
do středu Země
je největší
na povrchu Země
se tvoří
může být
centrální pole
směřuje
je
prostorově neohraničené
homogenní ↓↓↓ pole
složením dají výslednici
setrvačná odstředivá síla F_s
je důsledek
rotace Země
se mění s
zeměpisnou šířkou
na
rovníku
je
F_s největší
F_G nejmenší
lze vyjádřit
$F_G = F_g - F_s$
z toho
$g = 9{,}78\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
pólu
je
F_s nejmenší
F_G největší
lze vyjádřit
$F_G = F_g$
z toho
$g = 9{,}83\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
tíhová síla F_G
platí
$F_G = F_g + F_s$
lze zapsat
$F_G = m \cdot g$
kde je
mění se s
udává tělesu
tíhové zrychlení g
se mění s
má směr
svislý
tvoří
tíhové pole
je
se udává
normální tíhové zrychlení g_n
má velikost
$g_n = 9{,}806\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
se zaokrouhluje na
$g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
$g = 10\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

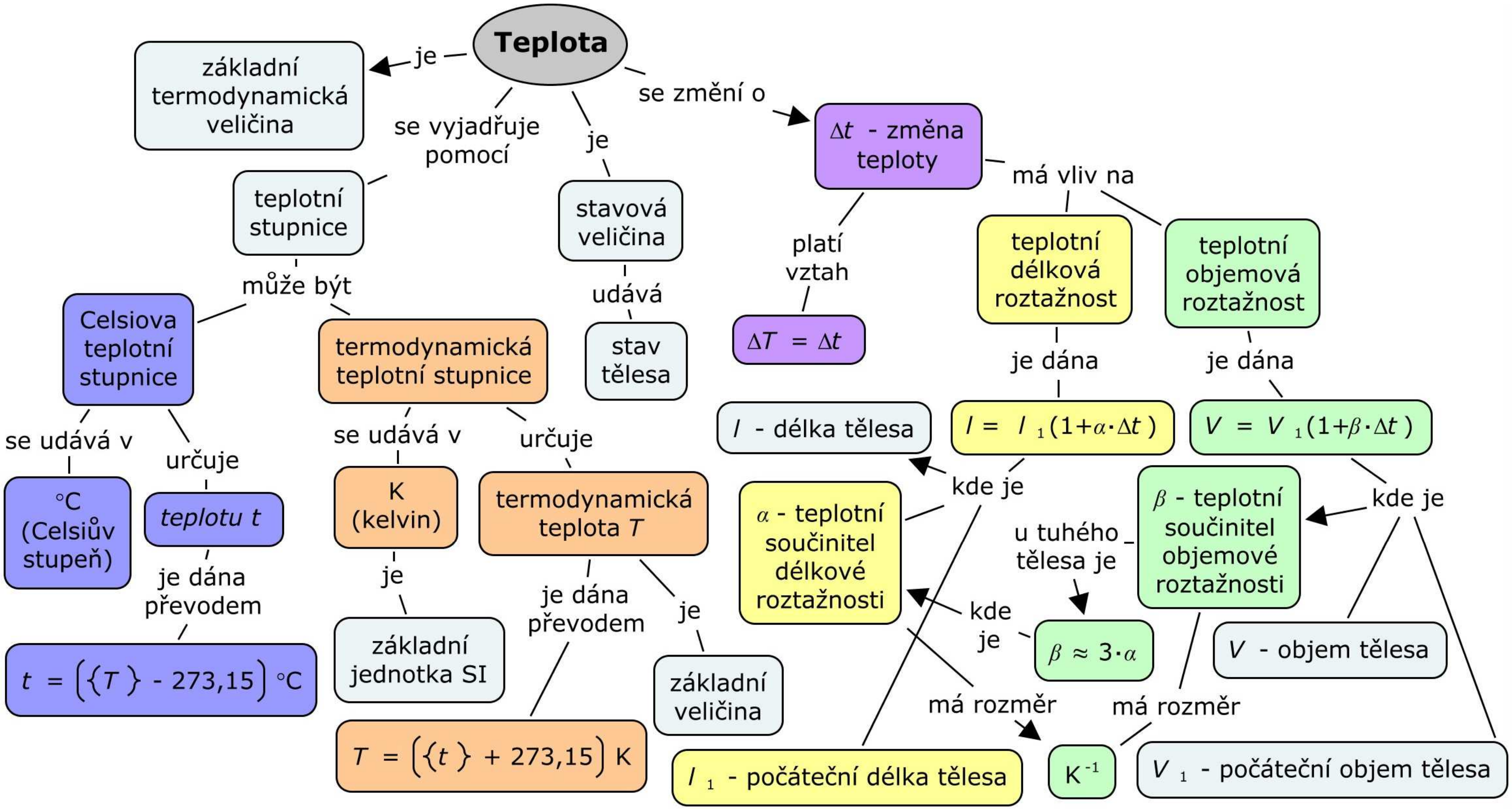

Pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země
uvažujeme v
vakuum
dělíme podle
velikost počáteční rychlosti v_0
popisuje
těleso
nahradíme
hmotný bod
koná současně
volný pád
má směr
tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$
rovnoměrný přímočarý pohyb
má směr
počáteční rychlost $\boldsymbol{v_0}$
je
nulová
nenulová
platí pro
volný pád
zapisujeme
$v_0 = 0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
zapisujeme
$v_0 \neq 0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
platí pro
vrhy těles
vznikají složením
je
rovnoměrný zrychlený pohyb
je dán vztahy
$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$
$v = g \cdot t$
má
konstantní tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$
rozlišujeme podle směru $\boldsymbol{v_0}$
svislý vrh vzhůru
vodorovný vrh
šikmý vrh vzhůru
pohyb zpomalený (směr vzhůru)
koná těleso při
volný pád (směr dolů)
má směr $\boldsymbol{v_0}$
opačný ke směru $\boldsymbol{g}$
je popsán veličinami
okamžitá rychlost $\boldsymbol{v}$
má velikost
$v = v_0 - g \cdot t$
okamžitá výška y
je definovaná
$y = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$
výška vrhu h
je
$h = \frac{v_0^2}{2g}$
doba výstupu t_h
je
$t_h = \frac{v_0}{g}$
má trajektorií
část paraboly
má směr $\boldsymbol{v_0}$
vodorovný
je dán
souřadnice místa vrhu
jsou
$x_0 = 0$
$y_0 = h$
souřadnice bodu v čase t
jsou
$x = v_0 \cdot t$
$y = h - \frac{1}{2} g \cdot t^2$
délka vrhu d
je
$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$
doba pohybu t_d
je
$t_d = \sqrt{\frac{2h}{g}}$
má trajektorií
parabolu (vakuum)
balistická křivka (ve vzduchu)
má
délka vrhu d
je menší než
má
délka vrhu d'
je maximální při
$\alpha = 45°$
je dána vztahem
$d = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$
je
dostřel
se používá v
má praktický význam
sport
vojenství
je dán
souřadnice místa vrhu
jsou
$x_0 = 0$
$y_0 = h$
souřadnice bodu v čase t
jsou
$x = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$
$y = v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} g \cdot t^2$
je dán
elevační úhel α
je
úhel svírající směr $\boldsymbol{v_0}$ a vodorovný směr


Pohyby těles v gravitačním poli Slunce
vztahují se k
pohyb planet
jsou popsány
KEPLEROVY ZÁKONY
tvoří
1. Keplerův zákon
2. Keplerův zákon
3. Keplerův zákon
popisuje
zní
tvar trajektorie planet
Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž ohnisku je Slunce.
je
elipsa
má
vrchol A
vrchol P
je
afélium
poloha nejdále od Slunce
znamená
odsluní
je
perihélium
poloha nejblíže Slunci
znamená
přísluní
popisuje
zní
pohyb planet
Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.
kde je
průvodič
je
úsečka spojující střed planety a střed Slunce
zní
popisuje
Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.
oběžná doba planet
lze vyjádřit
$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$
kde je
T - oběžná doba planety
a - hlavní poloosa trajektorie planety
se udává v jednotce
astronomická jednotka AU
je dána
$1\ \mathrm{AU} = 149{,}6 \cdot 10^6\ \mathrm{km}$

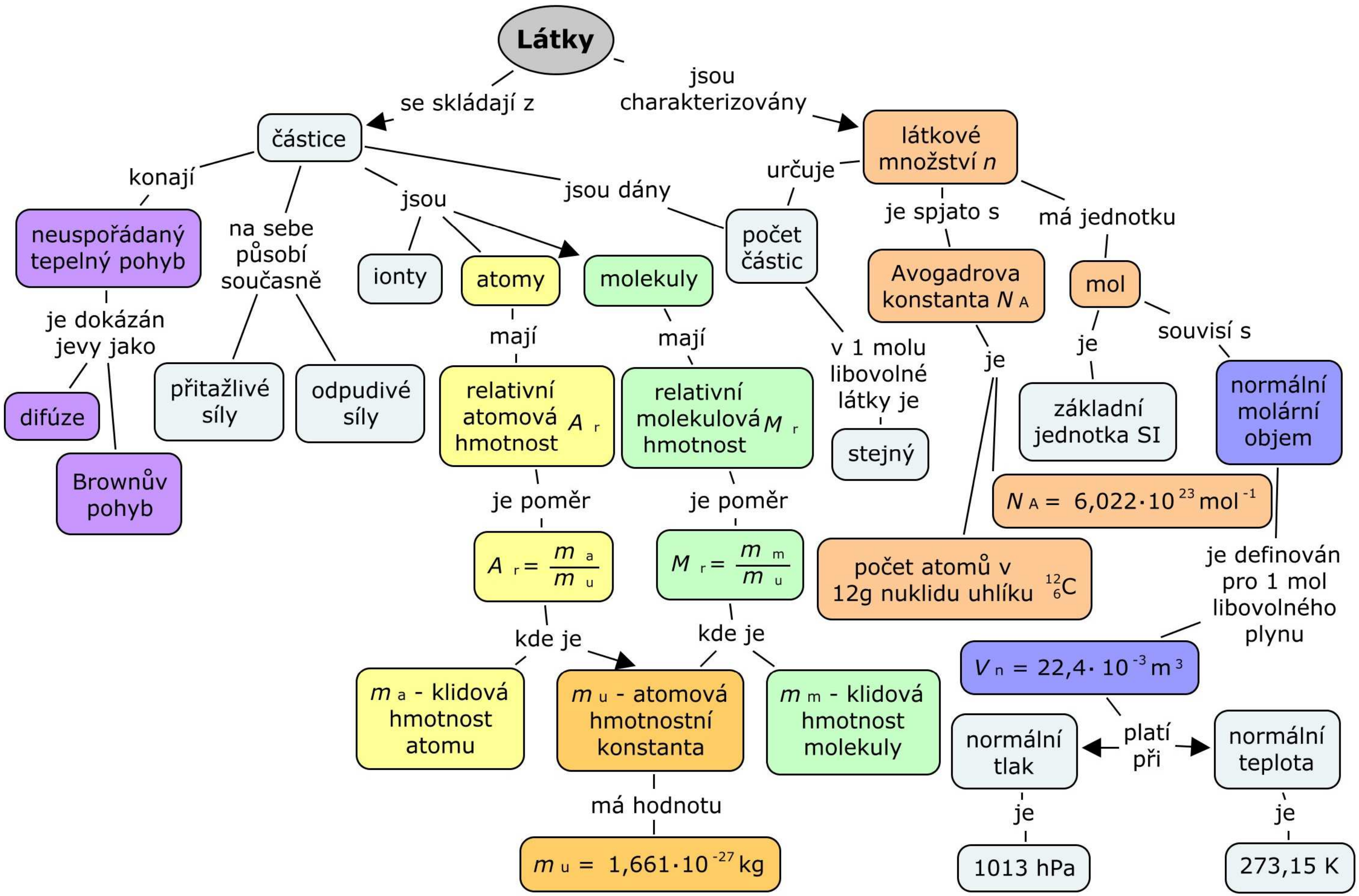


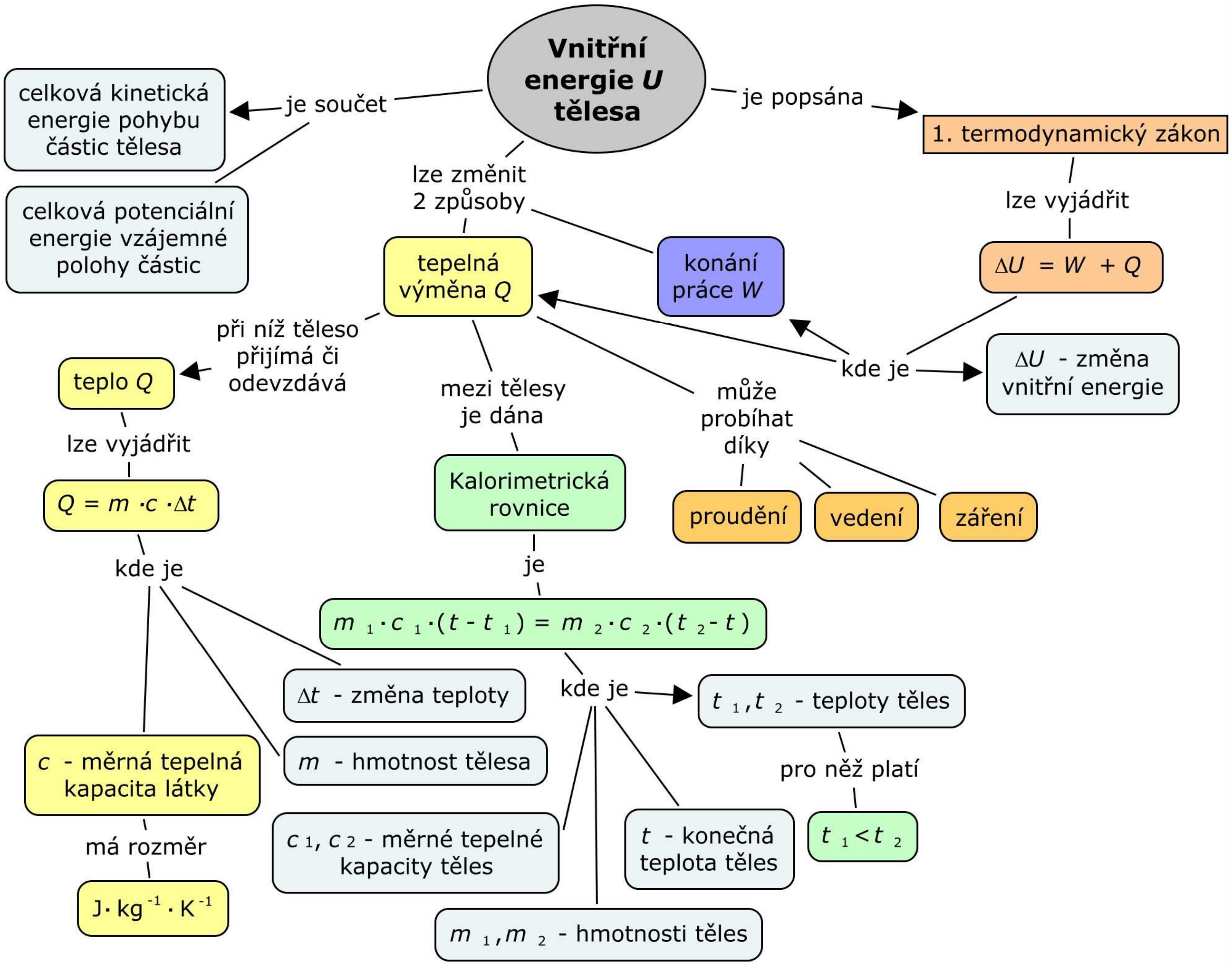
Mechanika tuhého tělesa
popisuje
tuhé těleso
pohyb
je popsána
Momentová věta
zní
Otáčivý účinek sil působících na tuhé těleso se ruší, je-li vektorový součet momentů sil vzhledem k ose otáčení nulový.
lze vyjádřit
$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_1 + \boldsymbol{M}_2 + \ldots + \boldsymbol{M}_n = \mathbf{0}$
kinetická energie E_k
má
daná vztahem
$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} J_0 \cdot \omega^2$
kde je
J_0 - moment setrvačnosti vzhledem k ose otáčení jdoucí těžištěm tělesa
vyjadřuje
má jednotku
$kg \cdot m^2$
rozložení látky v tělese
těžiště T
je dáno
je působiště
je průsečík
tíhová síla (v homogenním tíhovém poli Země)
má za následek
tíhová potenciální energie E_p
se mění při vychýlení tělesa z
rovnovážná poloha
je dána
podmínky rovnováhy
může být
stálá
vratká
volná
stabilita tělesa
souvisí s
určuje
má význam u
tělesa podepřená na ploše
práce
jež musíme vykonat při přemístění
tělesa ze stálé do vratké rovnovážné polohy
jsou
momentová rovnováha
silová rovnováha
lze vyjádřit
$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_1 + \boldsymbol{M}_2 + \ldots + \boldsymbol{M}_n = \mathbf{0}$
lze vyjádřit
$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \ldots + \boldsymbol{F}_n = \mathbf{0}$
těžnice
je
přímka spojující bod závěsu a těžiště
ideální těleso
má
tvar i objem neměnný s působením síly
koná současně
je
posuvný pohyb (translace)
platí pro
všechny body tělesa
mají stejnou
rychlost $\boldsymbol{v}$ v daném čase t
trajektorie
otáčivý pohyb (rotace)
je definován
nehybná osa otáčení
mají středy na
kružnice
platí pro
všechny body tělesa
opisují
mají stejnou
úhlová rychlost ω
způsobuje
síla $\boldsymbol{F}$
má
otáčivý účinek na těleso
závisí na
poloha působiště síly $\boldsymbol{F}$
směr síly $\boldsymbol{F}$
uvažujeme pouze
kolmý k ose otáčení
velikost síly F
kde je
d - rameno síly
je definováno
kolmá vzdálenost vektorové přímky síly $\boldsymbol{F}$ od osy otáčení
vyjadřuje veličina
moment síly $\boldsymbol{M}$ vzhledem k ose otáčení
má jednotku
N·m
má směr ležící v
osa otáčení
má velikost
$M = F \cdot d$
má směr určený
Pravidlo pravé ruky
zní
Pravou ruku položíme na těleso, tak aby prsty ukazovaly směr otáčení tělesa, pak vztyčený palec ukazuje směr momentu síly.
kde je
platí při
skládání sil
kde jsou
2 síly $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2$
má stejný pohybový účinek
nahrazeny
výslednice sil $\boldsymbol{F}$
rozkládání síly
kde je
síla $\boldsymbol{F}$
nahrazena
mají stejný pohybový účinek
2 síly $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2$
pro něž platí
$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$
má
dvojice sil
nelze nahradit
výslednice $\boldsymbol{F}$
je tvořena
2 síly $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2$
jsou
rovnoběžné
mají
opačný směr
stejná velikost $F_1 = F_2$
kde leží
rovina
je popsána
moment dvojice sil $\boldsymbol{D}$
má směr kolmý k
má jednotku
N·m
má směr určený
určuje
otáčivý účinek dvojice sil
má velikost
$D = F \cdot d$
kde je
F - velikost jedné síly
rovná se
d - rameno dvojice sil
je
vzdálenost vektorových přímek obou sil


Tekutiny
studuje
mechanika kapalin a plynů
se zabývá
pohyb tekutin
podmínky rovnováhy tekutin
nemají
stálý tvar
mají určitý
stav tekutiny (v klidu)
charakterizuje veličina
tlak p
měříme
manometr
má jednotku
Pa (pascal)
je definován
p = F/S
kde je
F - velikost tlakové síly
S - obsah plochy
na níž působí
tlaková síla F (v kolmém směru)
je popsán v
Pascalův zákon
se používá v praxi u
hydraulická zařízení
u nichž platí
F2/F1 = S2/S1
zní
Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na tekuté těleso v uzavřené nádobě, je ve všech místech stejný.
lze vyjádřit
souvisí s
vnější síla
je zprostředkovaná
pevné těleso
je vyvolán
tíhová síla Země FG
působí na
tekuté těleso
způsobuje
mohou vytvářet
proudění
znázorňují
proudnice
může být
ustálené
turbulentní
je např.
ustálené proudění ideální kapaliny
pro něž platí
rovnice kontinuity
lze vyjádřit
S·v = konst.
kde je
S - obsah průžezu trubice
v - velikost rychlosti proudu v tomto průřezu
je společný název pro
kapaliny
plyny
mají
malou stlačitelnost
stálý objem
nemají
jsou
snadno stlačitelné
idealizujeme v
ideální kapalina
ideální plyn
zanedbáváme u
je
dokonale nestlačitelná
dokonale tekutá
bez vnitřního tření
dokonale tekutý
dokonale stlačitelný
mají vlastnost
tekutost
je zapříčiněna
snadná vzájemná pohyblivost částic
je různá v závislosti na
vnitřní tření
atmosferická tlaková síla Fa (vzduchu)
vyvolává
atmosferický tlak pa
působí na
povrch Země
všechna pozemská tělesa
se zmenšuje s
nadmořská výška
se měří
tlakoměr (barometr)
se používá v
meteorologie
určuje
normální atmosferický tlak pn
má hodnotu
pn = 1013,25 hPa
hydrostatická tlaková síla Fh kapaliny
působí na
dno a stěny nádoby
pevná tělesa ponořená do kapaliny
nadlehčuje v kapalině
vztlaková síla Fvz
má velikost
Fvz = ρ·V·g
kde je
ρ - hustota kapaliny
g - velikost tíhového zrychlení
V - objem ponořeného tělesa
souvisí s
Archimedův zákon
je popsána v
zní
Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu jako je objem ponořeného tělesa.
má směr
opačný než FG
má velikost
Fh = ρ·S·h·g
kde je
S - obsah dna nádoby
ρ - hustota kapaliny
g - velikost tíhového zrychlení
h - hloubka pod volným povrchem kapaliny
má směr
stejný jako FG
vyvolává
hydrostatický tlak ph
je dán vztahem
ph = ρ·h·g
kde je
se využívá u
spojené nádoby
lze popsat vztahem
ρ1/ρ2 = h2/h1

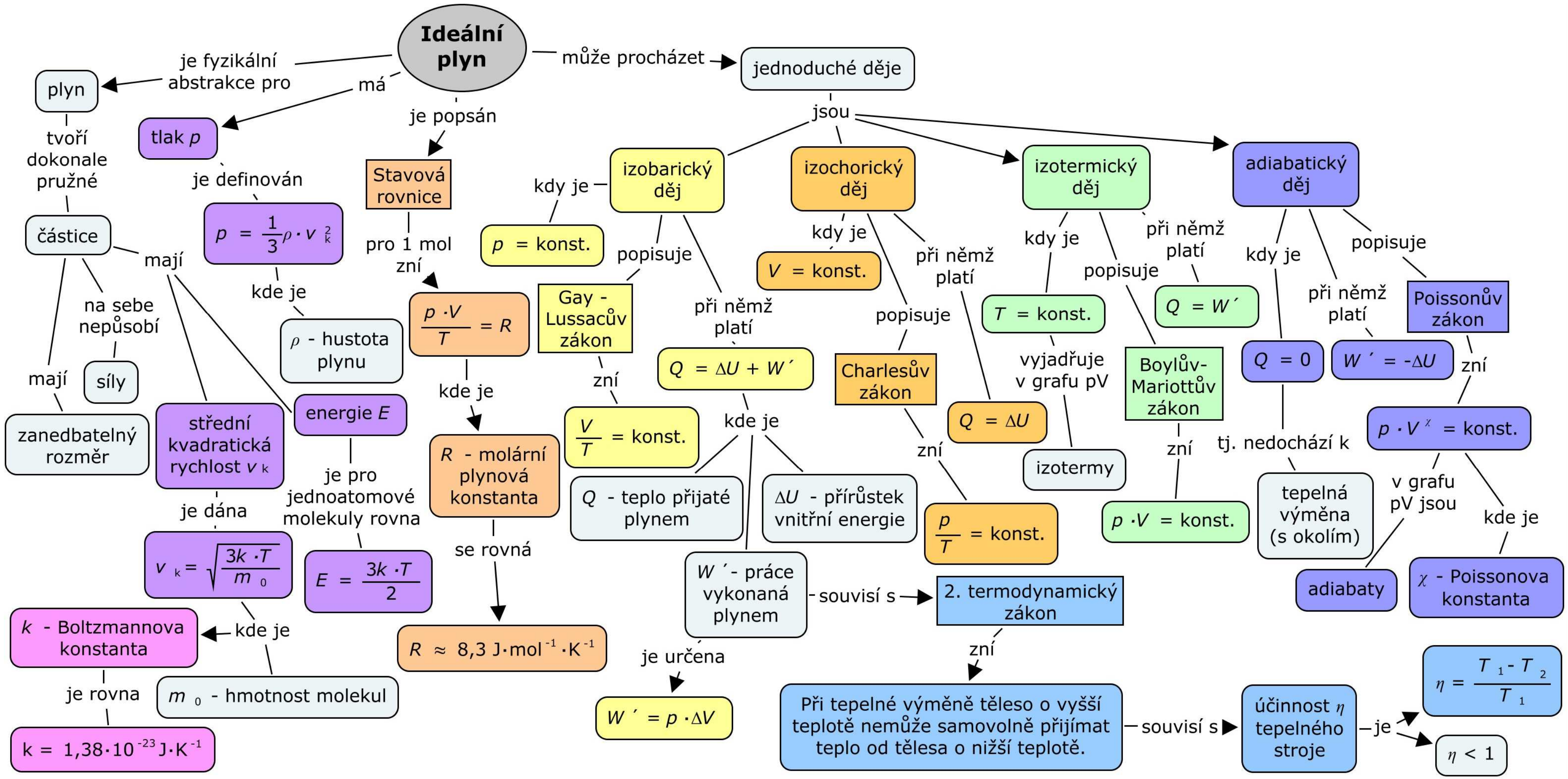


Teplota
je
základní termodynamická veličina
se vyjadřuje pomocí
teplotní stupnice
je
stavová veličina
se změní o
Δt - změna teploty
má vliv na
platí vztah
ΔT = Δt
může být
Celsiova teplotní stupnice
termodynamická teplotní stupnice
udává
stav tělesa
teplotní délková roztažnost
teplotní objemová roztažnost
je dána
je dána
se udává v
určuje
se udává v
určuje
l - délka tělesa
l = l₁(1+α·Δt)
V = V₁(1+β·Δt)
°C (Celsiův stupeň)
teplotu t
K (kelvin)
termodynamická teplota T
kde je
kde je
α - teplotní součinitel délkové roztažnosti
u tuhého tělesa je
β - teplotní součinitel objemové roztažnosti
je dána převodem
je
je dána převodem
je
kde je
β ≈ 3·α
V - objem tělesa
t = ({T} - 273,15) °C
základní jednotka SI
základní veličina
má rozměr
má rozměr
T = ({t} + 273,15) K
l₁ - počáteční délka tělesa
K⁻¹
V₁ - počáteční objem tělesa

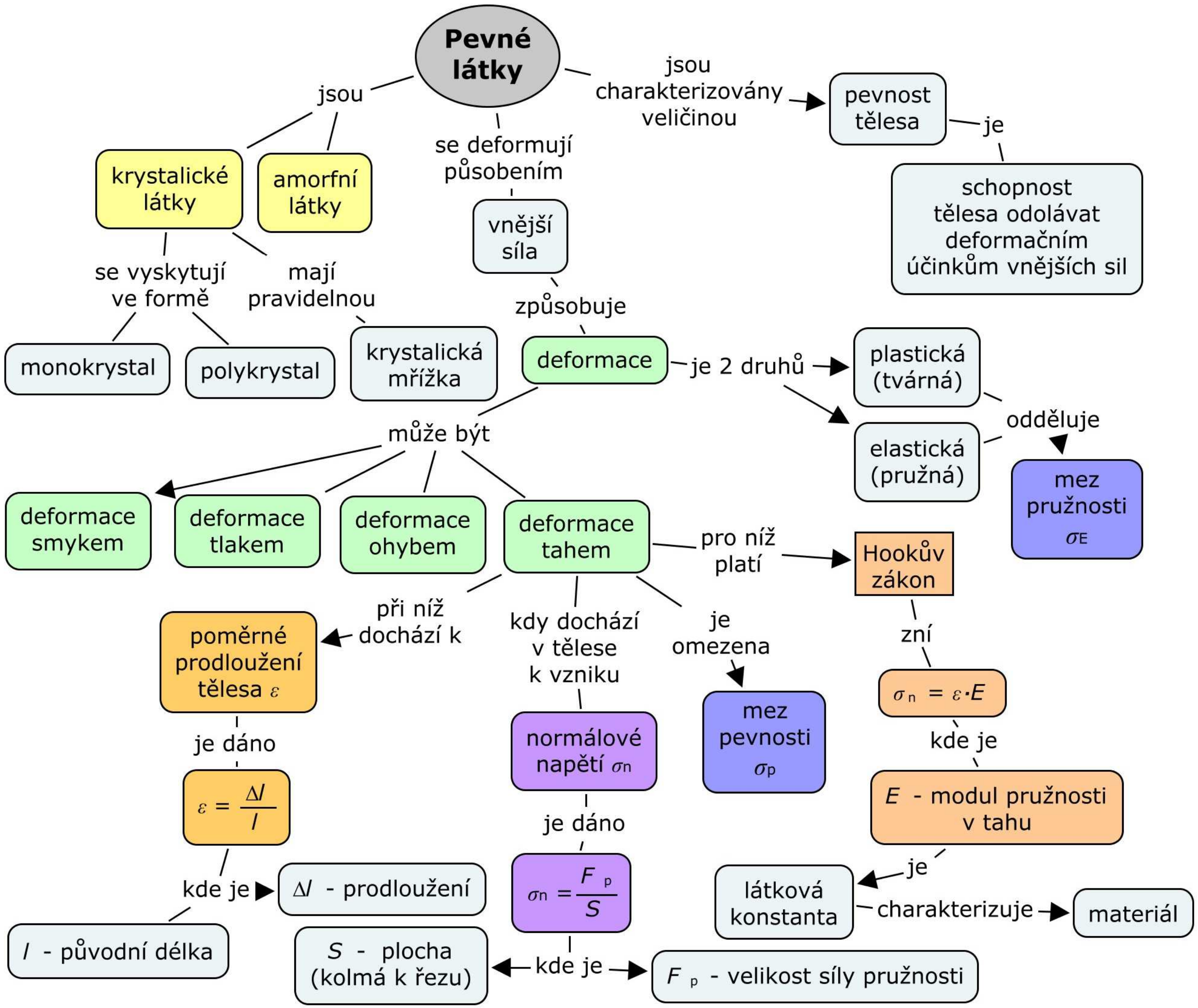

Látky
se skládají z
jsou charakterizovány
částice
látkové množství n
konají
na sebe působí současně
jsou
jsou dány
určuje
je spjato s
má jednotku
neuspořádaný tepelný pohyb
ionty
atomy
molekuly
počet částic
Avogadrova konstanta N_A
mol
je dokázán jevy jako
přitažlivé síly
odpudivé síly
mají
mají
v 1 molu libovolné látky je
je
je
souvisí s
difúze
Brownův pohyb
relativní atomová hmotnost A_r
relativní molekulová hmotnost M_r
stejný
základní jednotka SI
normální molární objem
$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$
je poměr
je poměr
$A_r = \frac{m_a}{m_u}$
$M_r = \frac{m_m}{m_u}$
počet atomů v 12g nuklidu uhlíku $^{12}_{6}C$
je definován pro 1 mol libovolného plynu
kde je
kde je
$V_n = 22{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$
m_a - klidová hmotnost atomu
m_u - atomová hmotnostní konstanta
m_m - klidová hmotnost molekuly
platí při
normální tlak
normální teplota
má hodnotu
je
je
$m_u = 1{,}661 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$
1013 hPa
273,15 K



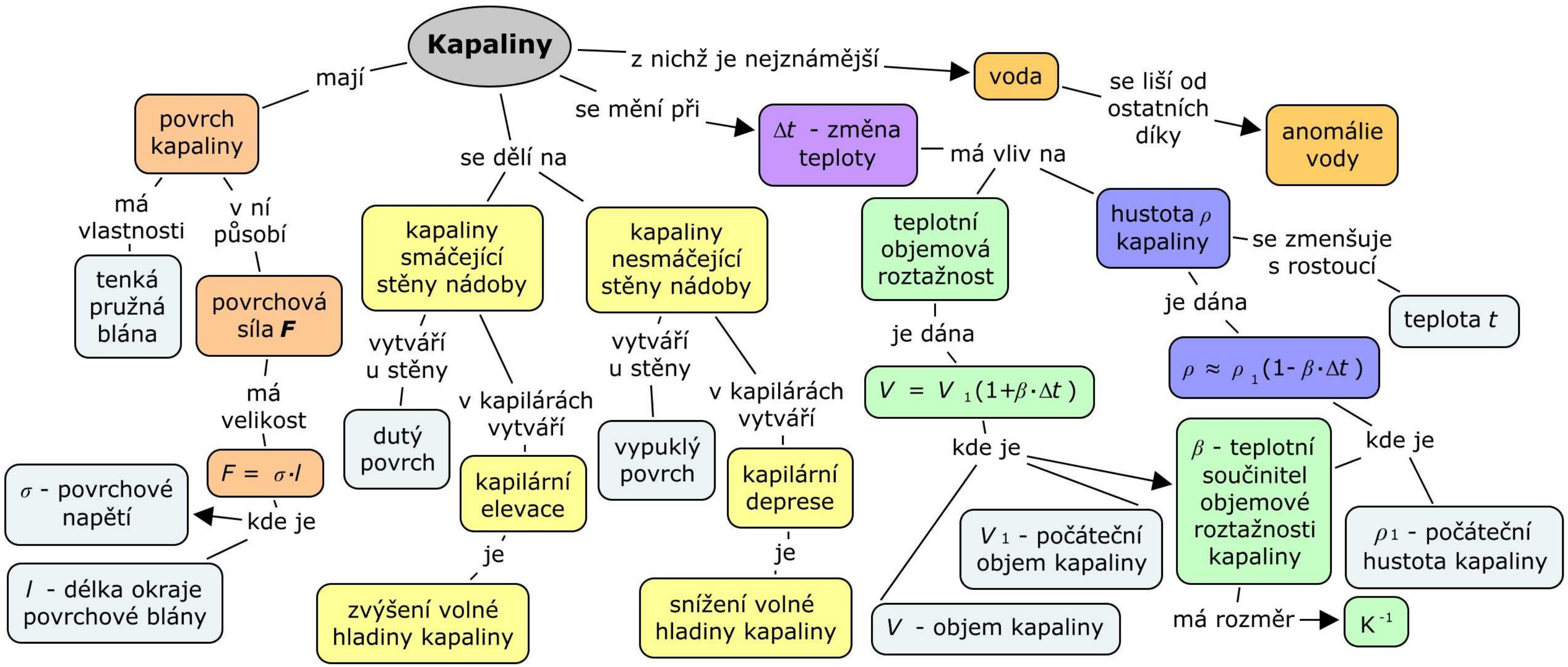
Vnitřní energie U tělesa
je součet
celková kinetická energie pohybu částic tělesa
celková potenciální energie vzájemné polohy částic
je popsána
1. termodynamický zákon
lze vyjádřit
ΔU = W + Q
kde je
ΔU - změna vnitřní energie
lze změnit 2 způsoby
tepelná výměna Q
konání práce W
při níž těleso přijímá či odevzdává
teplo Q
lze vyjádřit
Q = m ·c ·Δt
kde je
Δt - změna teploty
m - hmotnost tělesa
c - měrná tepelná kapacita látky
má rozměr
J· kg -1 · K -1
mezi tělesy je dána
Kalorimetrická rovnice
je
m 1·c 1·(t - t 1) = m 2·c 2·(t 2- t)
kde je
t 1,t 2 - teploty těles
pro něž platí
t 1<t 2
t - konečná teplota těles
c 1, c 2 - měrné tepelné kapacity těles
m 1,m 2 - hmotnosti těles
může probíhat díky
proudění
vedení
záření

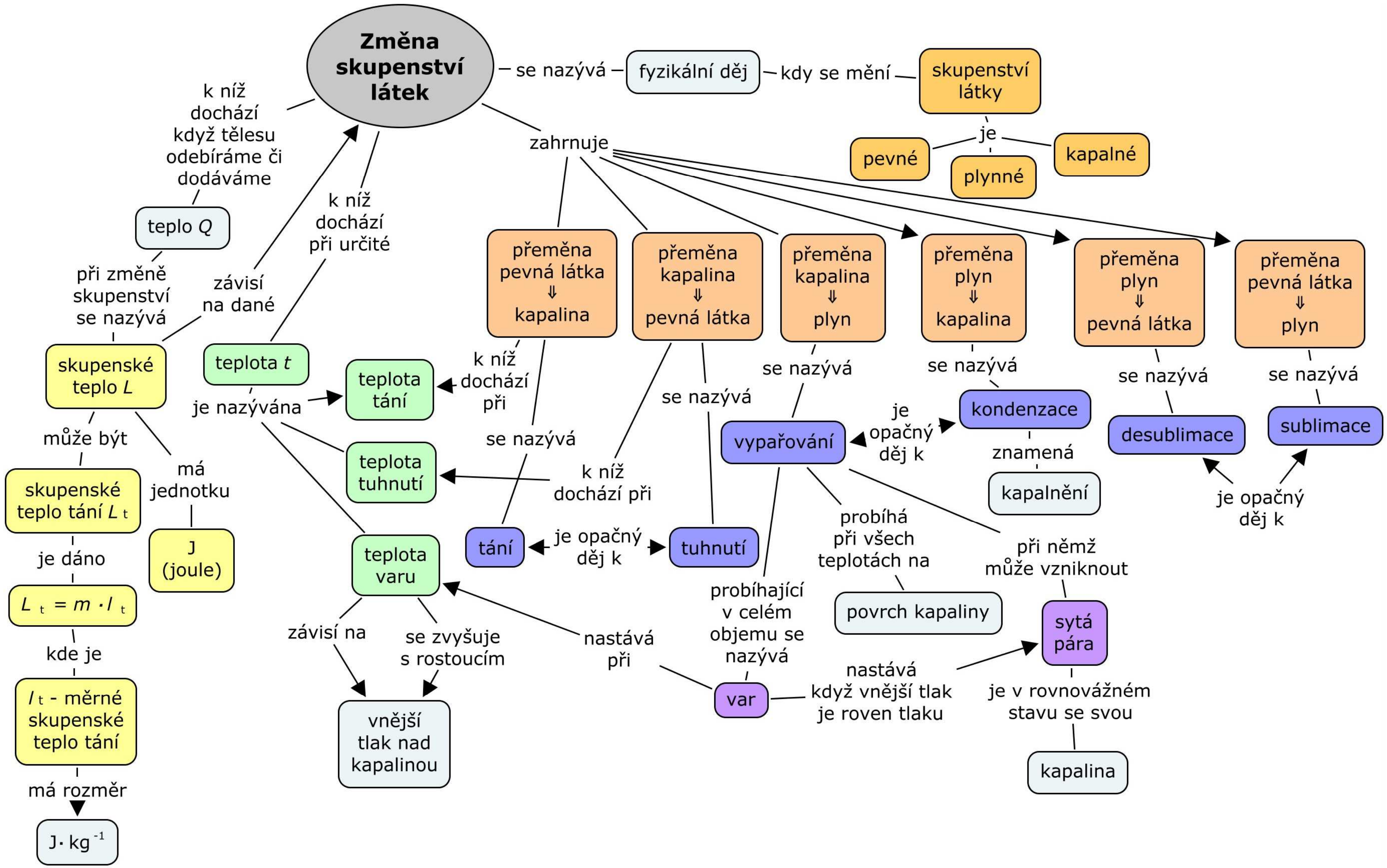


Ideální plyn
je fyzikální abstrakce pro
plyn
tvoří dokonale pružné
částice
mají
na sebe nepůsobí
síly
mají
zanedbatelný rozměr
má
tlak p
je definován
$p = \frac{1}{3}\rho \cdot v_k^2$
kde je
ρ - hustota plynu
střední kvadratická rychlost v_k
je dána
$v_k = \sqrt{\frac{3k \cdot T}{m_0}}$
kde je
k - Boltzmannova konstanta
je rovna
$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$
m_0 - hmotnost molekul
energie E
je pro jednoatomové molekuly rovna
$E = \frac{3k \cdot T}{2}$
je popsán
Stavová rovnice
pro 1 mol zní
$\frac{p \cdot V}{T} = R$
kde je
R - molární plynová konstanta
se rovná
$R \approx 8{,}3\ \mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$
může procházet
jednoduché děje
jsou
izobarický děj
kdy je
p = konst.
popisuje
Gay - Lussacův zákon
zní
$\frac{V}{T}$ = konst.
při němž platí
$Q = \Delta U + W'$
kde je
Q - teplo přijaté plynem
ΔU - přírůstek vnitřní energie
W' - práce vykonaná plynem
je určena
$W' = p \cdot \Delta V$
souvisí s
2. termodynamický zákon
zní
Při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě nemůže samovolně přijímat teplo od tělesa o nižší teplotě.
souvisí s
účinnost η tepelného stroje
je
$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
$\eta < 1$
izochorický děj
kdy je
V = konst.
popisuje
Charlesův zákon
zní
$\frac{p}{T}$ = konst.
při němž platí
$Q = \Delta U$
izotermický děj
kdy je
T = konst.
vyjadřuje v grafu pV
izotermy
popisuje
Boylův-Mariottův zákon
zní
$p \cdot V$ = konst.
při němž platí
$Q = W'$
adiabatický děj
kdy je
$Q = 0$
tj. nedochází k
tepelná výměna (s okolím)
při němž platí
$W' = -\Delta U$
popisuje
Poissonův zákon
zní
$p \cdot V^{\chi}$ = konst.
v grafu pV jsou
adiabaty
kde je
χ - Poissonova konstanta

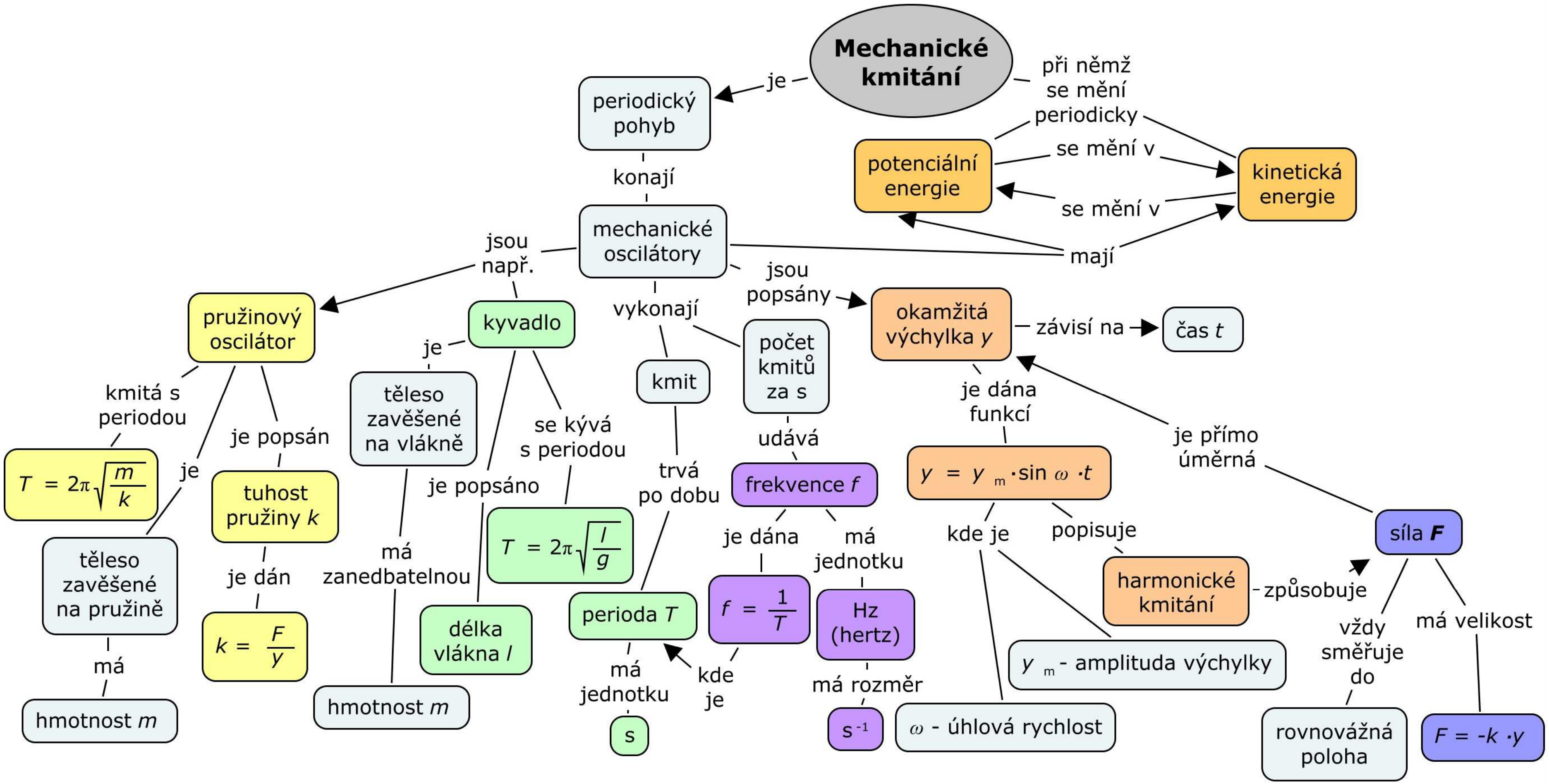


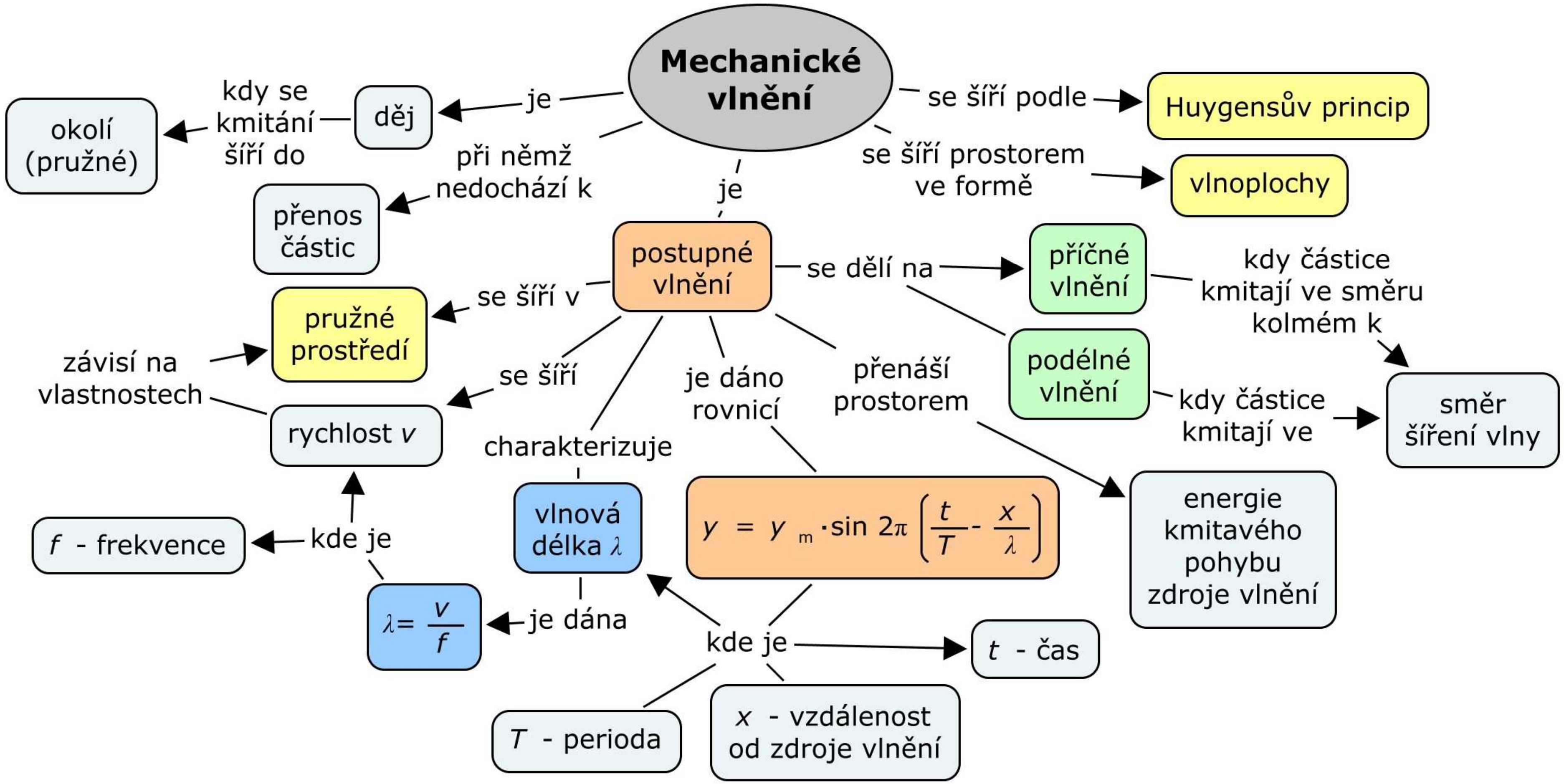
Pevné látky
jsou
krystalické látky
amorfní látky
se vyskytují ve formě
monokrystal
polykrystal
mají pravidelnou
krystalická mřížka
se deformují působením
vnější síla
způsobuje
deformace
je 2 druhů
plastická (tvárná)
elastická (pružná)
odděluje
mez pružnosti σ_E
jsou charakterizovány veličinou
pevnost tělesa
je
schopnost tělesa odolávat deformačním účinkům vnějších sil
může být
deformace smykem
deformace tlakem
deformace ohybem
deformace tahem
pro níž platí
Hookův zákon
zní
$\sigma_n = \varepsilon \cdot E$
kde je
E - modul pružnosti v tahu
je
látková konstanta
charakterizuje
materiál
při níž dochází k
poměrné prodloužení tělesa ε
je dáno
$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$
kde je
Δl - prodloužení
l - původní délka
kdy dochází v tělese k vzniku
normálové napětí σ_n
je dáno
$\sigma_n = \frac{F_p}{S}$
kde je
S - plocha (kolmá k řezu)
F_p - velikost síly pružnosti
je omezena
mez pevnosti σ_p

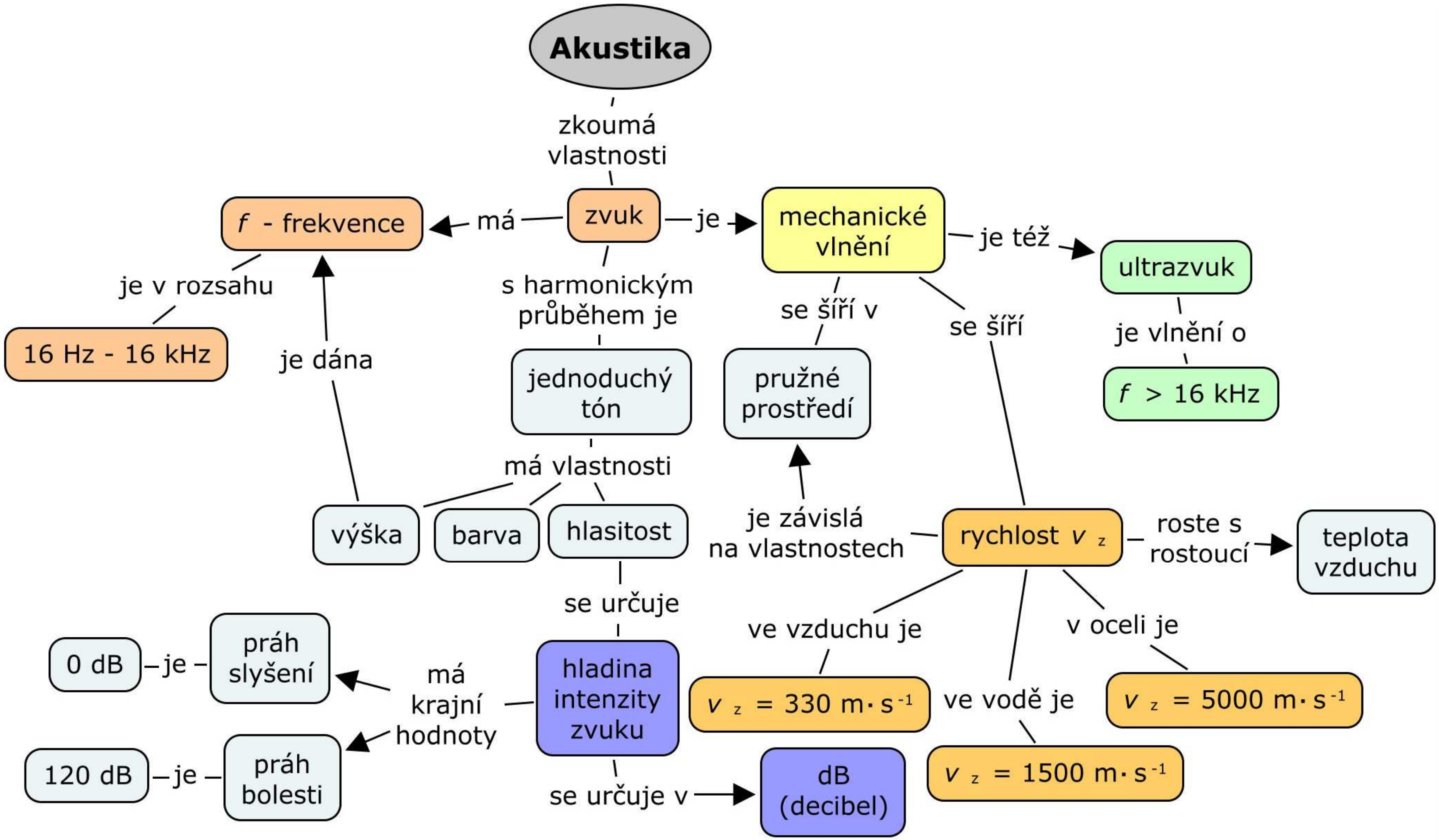

Kapaliny
mají
z nichž je nejznámější
voda
se liší od ostatních díky
anomálie vody
se mění při
Δt - změna teploty
má vliv na
teplotní objemová roztažnost
hustota ρ kapaliny
se zmenšuje s rostoucí
teplota t
je dána
ρ ≈ ρ1(1- β·Δt)
je dána
V = V1(1+β·Δt)
kde je
β - teplotní součinitel objemové roztažnosti kapaliny
má rozměr
K-1
kde je
ρ1 - počáteční hustota kapaliny
V1 - počáteční objem kapaliny
V - objem kapaliny
se dělí na
kapaliny smáčející stěny nádoby
kapaliny nesmáčející stěny nádoby
vytváří u stěny
dutý povrch
v kapilárách vytváří
kapilární elevace
je
zvýšení volné hladiny kapaliny
vytváří u stěny
vypuklý povrch
v kapilárách vytváří
kapilární deprese
je
snížení volné hladiny kapaliny
povrch kapaliny
má vlastnosti
tenká pružná blána
v ní působí
povrchová síla F
má velikost
F = σ·l
kde je
σ - povrchové napětí
l - délka okraje povrchové blány

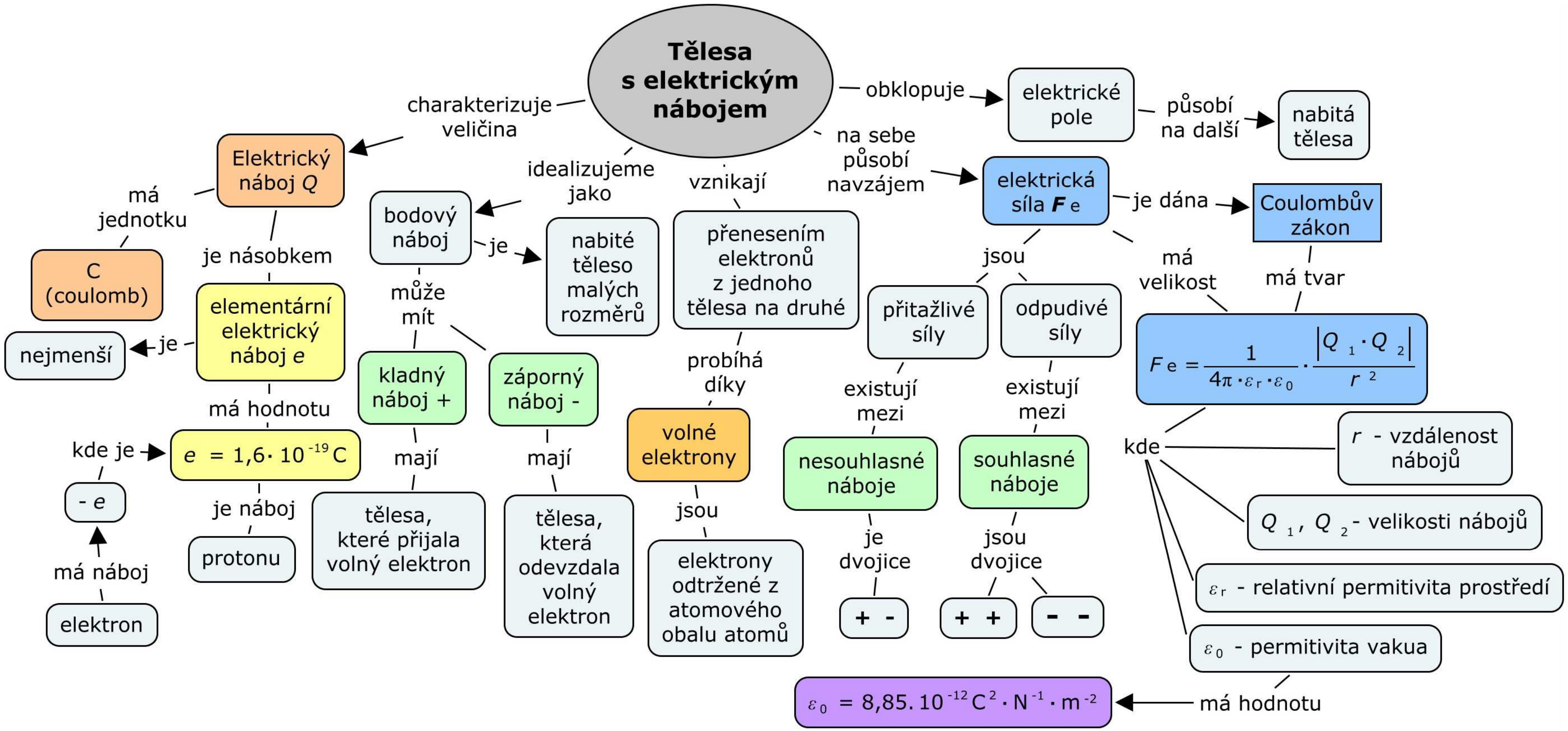


Změna skupenství látek
se nazývá
fyzikální děj
kdy se mění
skupenství látky
je
pevné
plynné
kapalné
zahrnuje
přeměna pevná látka ⇓ kapalina
přeměna kapalina ⇓ pevná látka
přeměna kapalina ⇓ plyn
přeměna plyn ⇓ kapalina
přeměna plyn ⇓ pevná látka
přeměna pevná látka ⇓ plyn
k níž dochází když tělesu odebíráme či dodáváme
teplo Q
při změně skupenství se nazývá
skupenské teplo L
závisí na dané
k níž dochází při určité
teplota t
je nazývána
teplota tání
teplota tuhnutí
teplota varu
k níž dochází při
se nazývá
tání
je opačný děj k
tuhnutí
k níž dochází při
se nazývá
vypařování
je opačný děj k
kondenzace
znamená
kapalnění
se nazývá
desublimace
se nazývá
sublimace
je opačný děj k
může být
skupenské teplo tání L_t
má jednotku
J (joule)
je dáno
$L_t = m \cdot l_t$
kde je
l_t - měrné skupenské teplo tání
má rozměr
$J \cdot kg^{-1}$
závisí na
se zvyšuje s rostoucím
vnější tlak nad kapalinou
nastává při
probíhající v celém objemu se nazývá
var
probíhá při všech teplotách na
povrch kapaliny
při němž může vzniknout
sytá pára
nastává když vnější tlak je roven tlaku
je v rovnovážném stavu se svou
kapalina

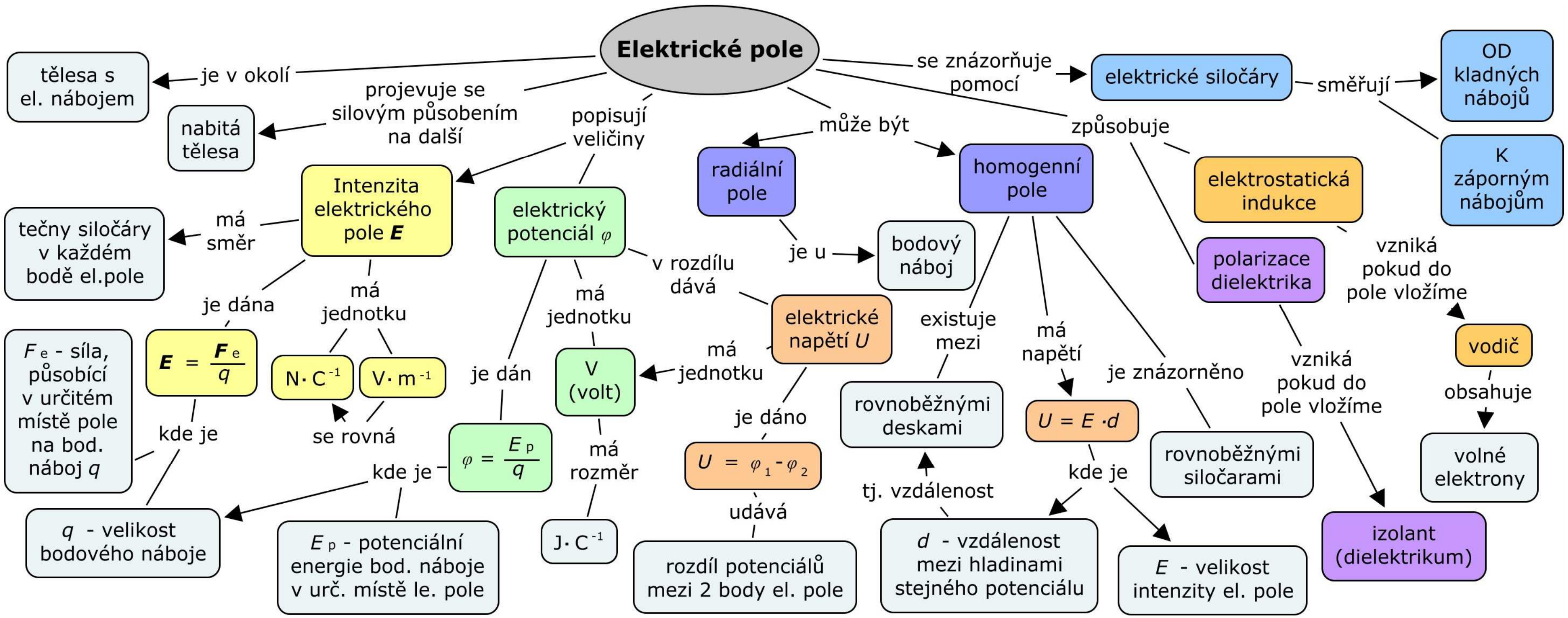

Mechanické kmitání
je
periodický pohyb
konají
mechanické oscilátory
při němž se mění periodicky
potenciální energie
se mění v
kinetická energie
se mění v
mají
jsou např.
pružinový oscilátor
kyvadlo
vykonají
kmit
jsou popsány
okamžitá výchylka y
závisí na
čas t
počet kmitů za s
udává
frekvence f
je dána funkcí
y = y m ·sin ω ·t
je přímo úměrná
síla F
kmitá s periodou
T = 2π√(m/k)
je popsán
tuhost pružiny k
je dán
k = F/y
je
těleso zavěšené na pružině
má
hmotnost m
je
těleso zavěšené na vlákně
má zanedbatelnou
hmotnost m
je popsáno
T = 2π√(l/g)
se kývá s periodou
délka vlákna l
trvá po dobu
perioda T
má jednotku
s
kde je
je dána
f = 1/T
má jednotku
Hz (hertz)
má rozměr
s -1
kde je
ω - úhlová rychlost
y m - amplituda výchylky
popisuje
harmonické kmitání
způsobuje
vždy směřuje do
rovnovážná poloha
má velikost
F = -k ·y


Mechanické vlnění
je
děj
kdy se kmitání šíří do
okolí (pružné)
při němž nedochází k
přenos částic
se šíří podle
Huygensův princip
se šíří prostorem ve formě
vlnoplochy
je
postupné vlnění
se dělí na
příčné vlnění
kdy částice kmitají ve směru kolmém k
podélné vlnění
kdy částice kmitají ve
směr šíření vlny
se šíří v
pružné prostředí
závisí na vlastnostech
se šíří
rychlost v
charakterizuje
je dáno rovnicí
přenáší prostorem
energie kmitavého pohybu zdroje vlnění
vlnová délka λ
$y = y_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$
kde je
f - frekvence
$\lambda = \frac{v}{f}$
je dána
kde je
t - čas
T - perioda
x - vzdálenost od zdroje vlnění

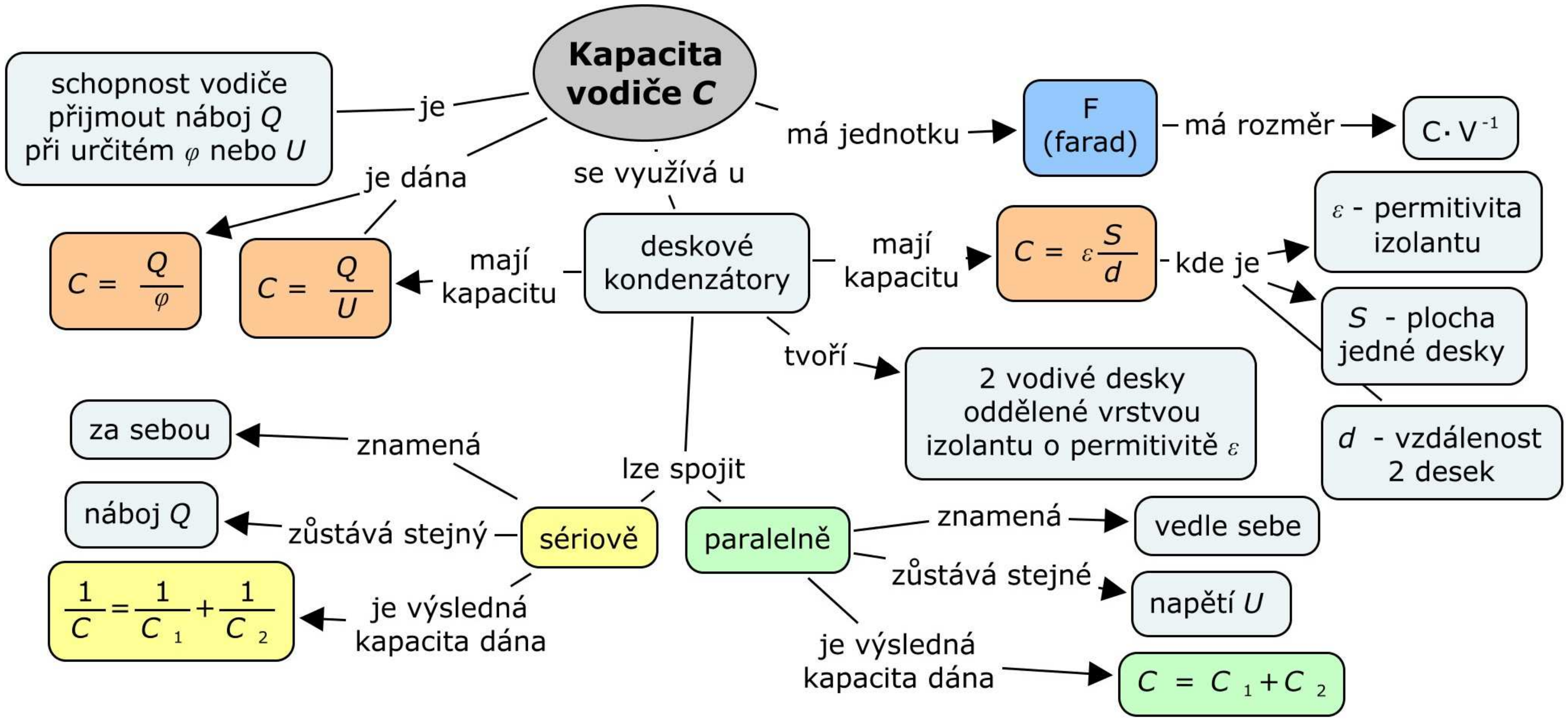

Akustika
zkoumá vlastnosti
zvuk
má
f - frekvence
je v rozsahu
16 Hz - 16 kHz
je
mechanické vlnění
je též
ultrazvuk
je vlnění o
f > 16 kHz
s harmonickým průběhem je
jednoduchý tón
má vlastnosti
výška
barva
hlasitost
je dána
se šíří v
pružné prostředí
se šíří
je závislá na vlastnostech
rychlost v_z
roste s rostoucí
teplota vzduchu
ve vzduchu je
$v_z = 330 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
ve vodě je
$v_z = 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
v oceli je
$v_z = 5000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
se určuje
hladina intenzity zvuku
se určuje v
dB (decibel)
má krajní hodnoty
práh slyšení
je
0 dB
práh bolesti
je
120 dB

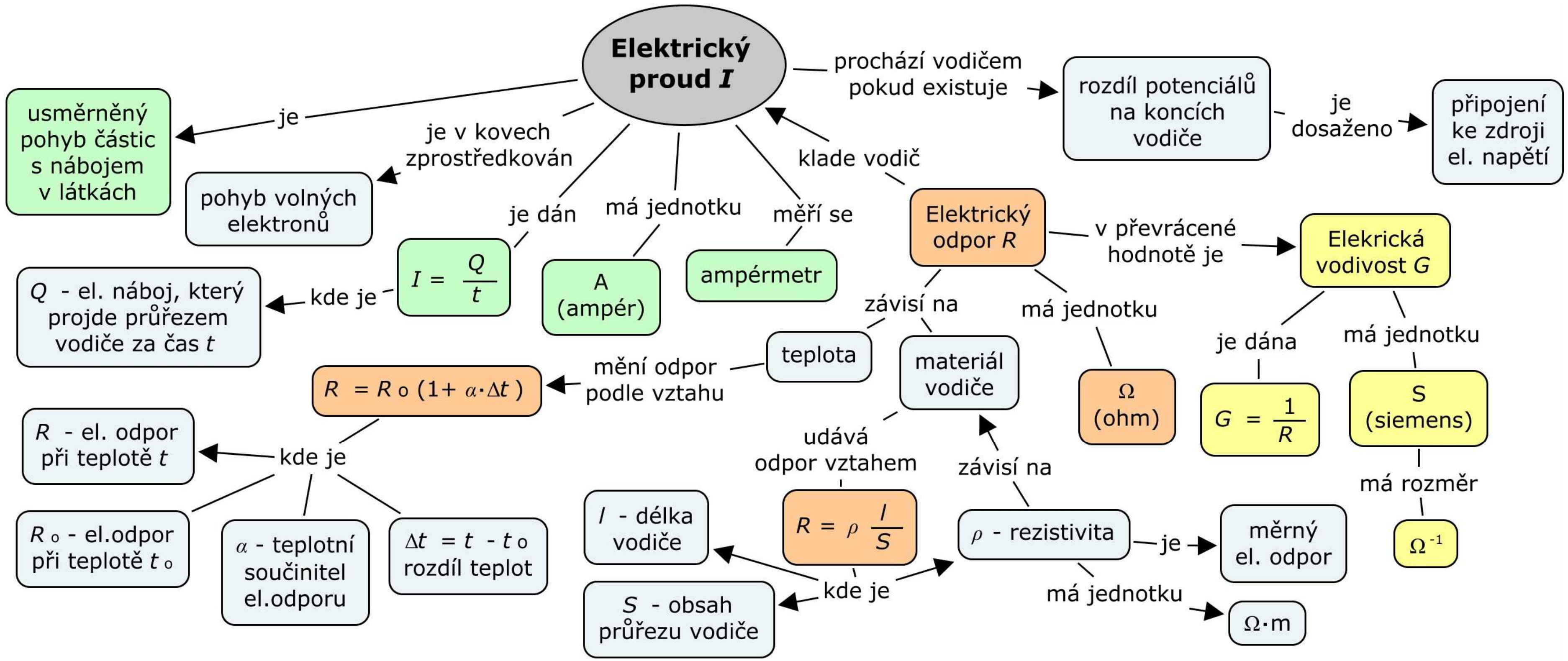


Tělesa s elektrickým nábojem
charakterizuje veličina
Elektrický náboj Q
má jednotku
C (coulomb)
je násobkem
elementární elektrický náboj e
je
nejmenší
má hodnotu
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
kde je
$-e$
má náboj
elektron
je náboj
protonu
idealizujeme jako
bodový náboj
je
nabité těleso malých rozměrů
může mít
kladný náboj +
záporný náboj -
mají
tělesa, které přijala volný elektron
mají
tělesa, která odevzdala volný elektron
vznikají
přenesením elektronů z jednoho tělesa na druhé
probíhá díky
volné elektrony
jsou
elektrony odtržené z atomového obalu atomů
obklopuje
elektrické pole
působí na další
nabitá tělesa
na sebe působí navzájem
elektrická síla F_e
je dána
Coulombův zákon
má tvar
má velikost
$F_e = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$
jsou
přitažlivé síly
odpudivé síly
existují mezi
nesouhlasné náboje
existují mezi
souhlasné náboje
je dvojice
+ -
jsou dvojice
+ +
- -
kde
r - vzdálenost nábojů
Q_1, Q_2 - velikosti nábojů
ε_r - relativní permitivita prostředí
ε_0 - permitivita vakua
má hodnotu
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}}$

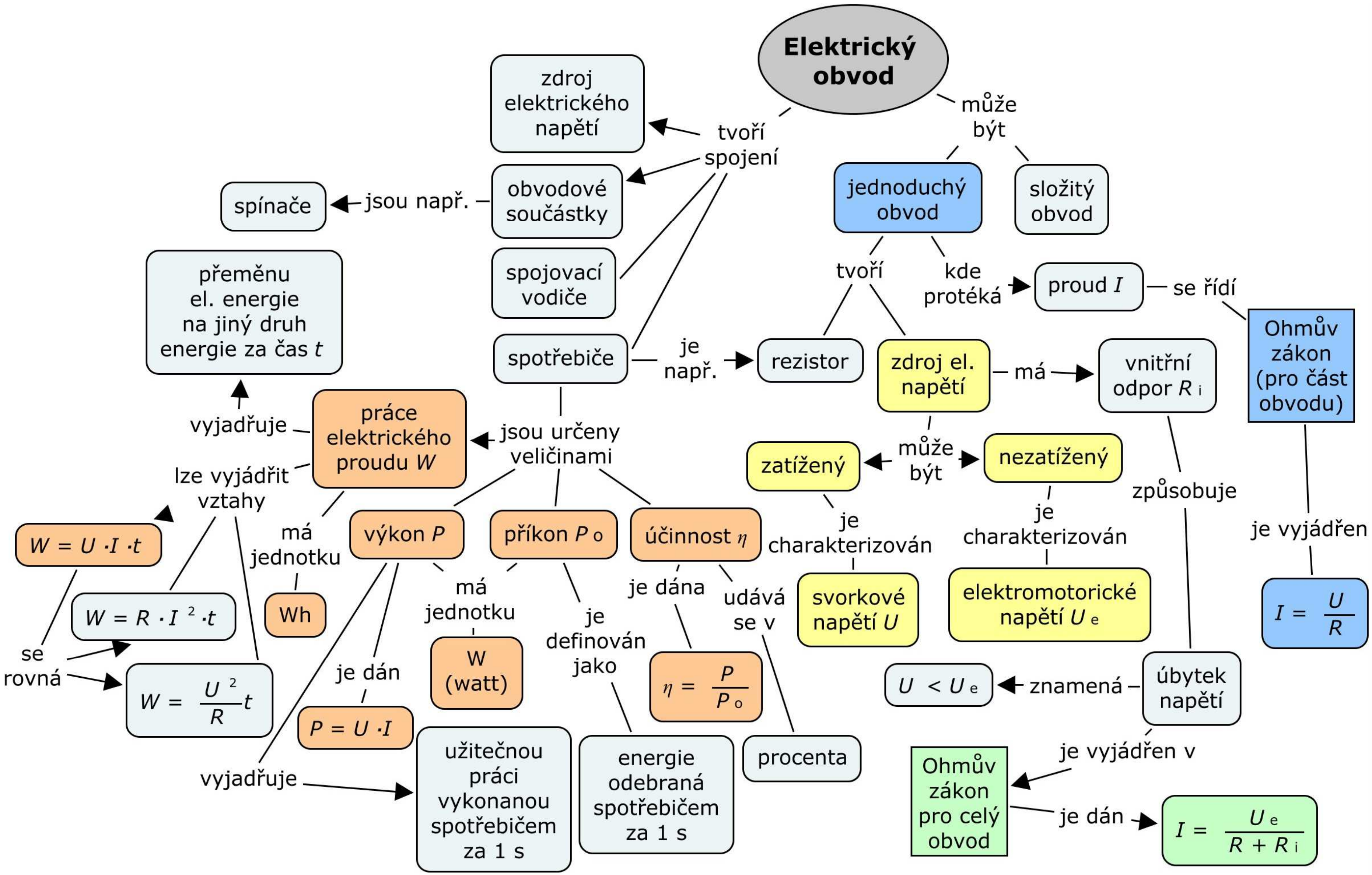


Elektrické pole
je v okolí
tělesa s el. nábojem
projevuje se silovým působením na další
nabitá tělesa
popisují veličiny
Intenzita elektrického pole $\boldsymbol{E}$
má směr
tečny siločáry v každém bodě el.pole
je dána
$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}_e}{q}$
kde je
F_e - síla, působící v určitém místě pole na bod. náboj q
q - velikost bodového náboje
má jednotku
$N \cdot C^{-1}$
$V \cdot m^{-1}$
se rovná
elektrický potenciál φ
je dán
$\varphi = \frac{E_p}{q}$
kde je
E_p - potenciální energie bod. náboje v urč. místě le. pole
má jednotku
V (volt)
má rozměr
$J \cdot C^{-1}$
v rozdílu dává
elektrické napětí U
má jednotku
je dáno
$U = \varphi_1 - \varphi_2$
udává
rozdíl potenciálů mezi 2 body el. pole
může být
radiální pole
je u
bodový náboj
homogenní pole
existuje mezi
rovnoběžnými deskami
tj. vzdálenost
d - vzdálenost mezi hladinami stejného potenciálu
má napětí
$U = E \cdot d$
kde je
E - velikost intenzity el. pole
je znázorněno
rovnoběžnými siločarami
se znázorňuje pomocí
elektrické siločáry
směřují
OD kladných nábojů
K záporným nábojům
způsobuje
elektrostatická indukce
vzniká pokud do pole vložíme
vodič
obsahuje
volné elektrony
polarizace dielektrika
vzniká pokud do pole vložíme
izolant (dielektrikum)

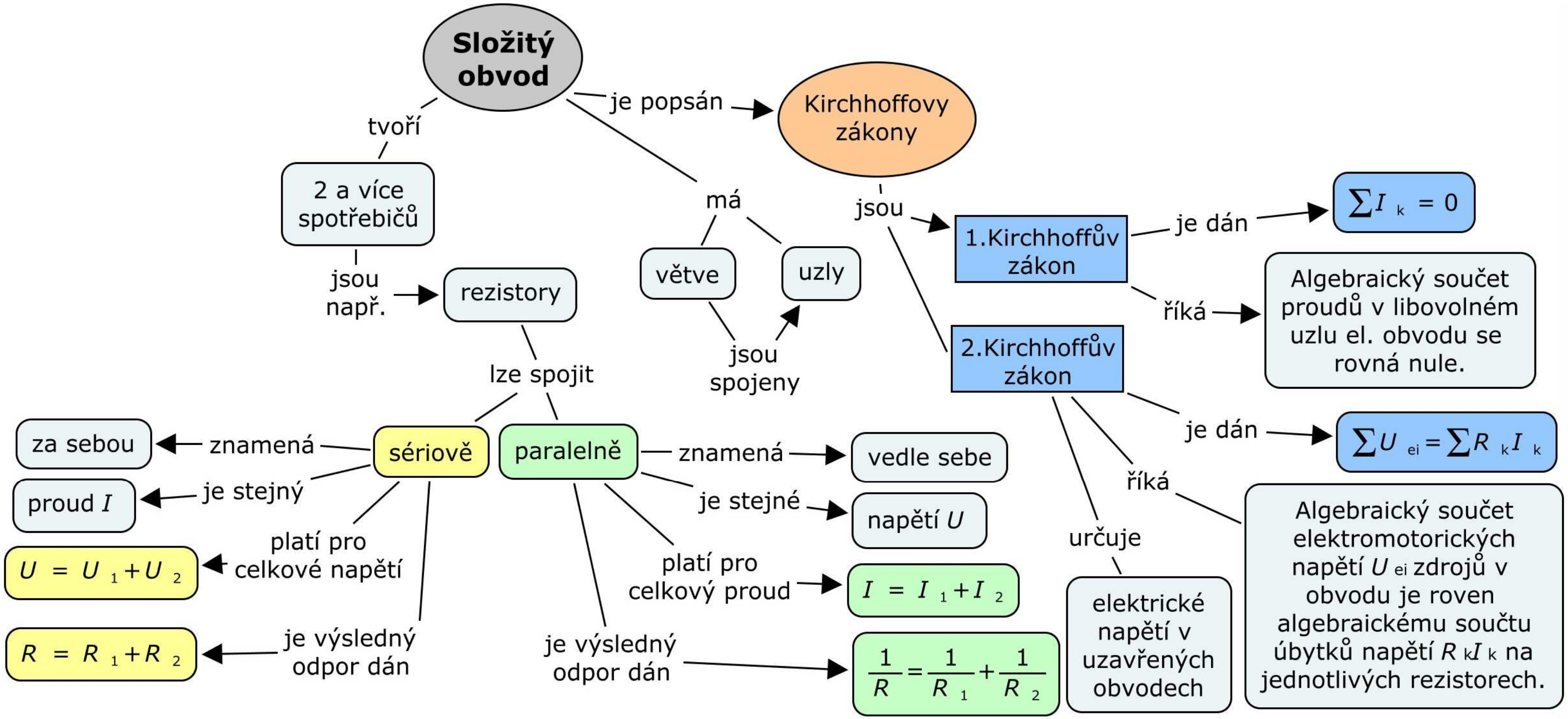

Kapacita vodiče C
je
schopnost vodiče přijmout náboj Q při určitém φ nebo U
je dána
C = Q/φ
C = Q/U
má jednotku
F (farad)
má rozměr
C·V⁻¹
se využívá u
deskové kondenzátory
mají kapacitu
C = ε S/d
kde je
ε - permitivita izolantu
S - plocha jedné desky
d - vzdálenost 2 desek
tvoří
2 vodivé desky oddělené vrstvou izolantu o permitivitě ε
lze spojit
sériově
znamená
za sebou
zůstává stejný
náboj Q
je výsledná kapacita dána
1/C = 1/C1 + 1/C2
paralelně
znamená
vedle sebe
zůstává stejné
napětí U
je výsledná kapacita dána
C = C1 + C2

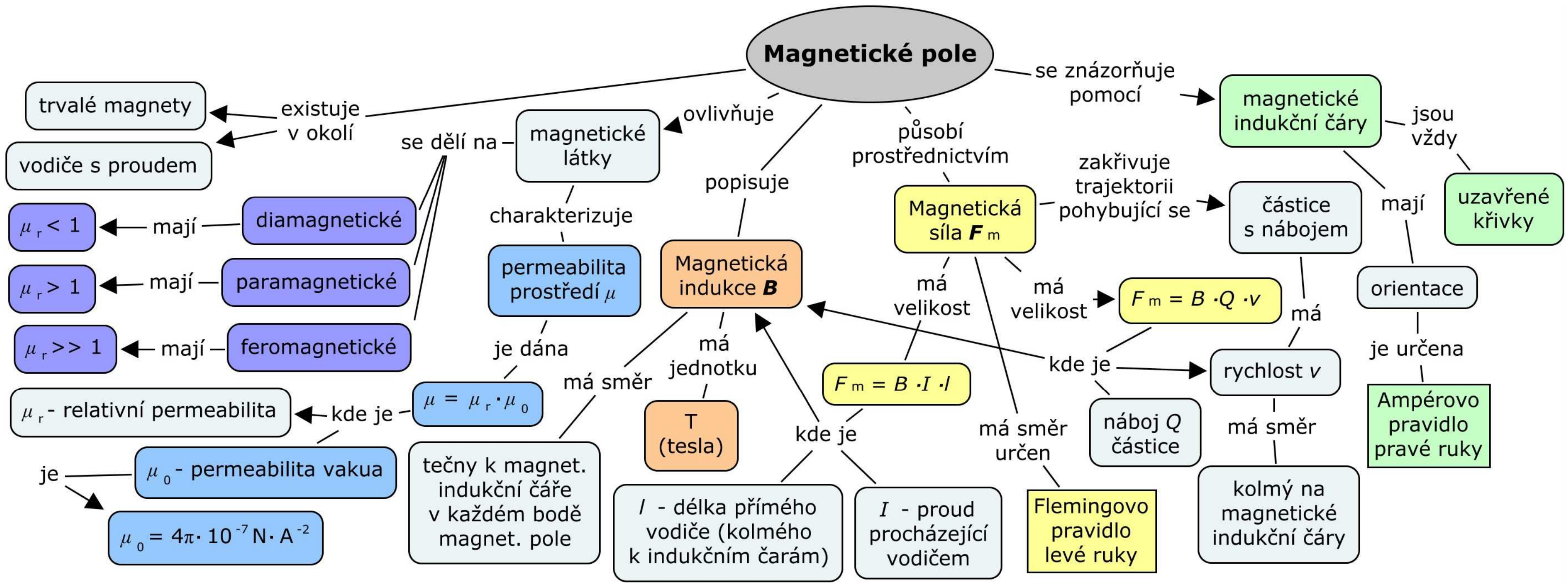


Elektrický proud I
prochází vodičem pokud existuje
rozdíl potenciálů na koncích vodiče
je dosaženo
připojení ke zdroji el. napětí
je
usměrněný pohyb částic s nábojem v látkách
je v kovech zprostředkován
pohyb volných elektronů
je dán
$I = \frac{Q}{t}$
kde je
Q - el. náboj, který projde průřezem vodiče za čas t
má jednotku
A (ampér)
měří se
ampérmetr
klade vodič
Elektrický odpor R
v převrácené hodnotě je
Elekrická vodivost G
je dána
$G = \frac{1}{R}$
má jednotku
S (siemens)
má rozměr
Ω^{-1}
má jednotku
Ω (ohm)
závisí na
teplota
mění odpor podle vztahu
$R = R_0 (1+ \alpha \cdot \Delta t)$
kde je
R - el. odpor při teplotě t
R_0 - el.odpor při teplotě t_0
α - teplotní součinitel el.odporu
$\Delta t = t - t_0$ rozdíl teplot
materiál vodiče
udává odpor vztahem
$R = \rho \frac{l}{S}$
kde je
l - délka vodiče
S - obsah průřezu vodiče
ρ - rezistivita
závisí na
je
měrný el. odpor
má jednotku
$\Omega \cdot$m

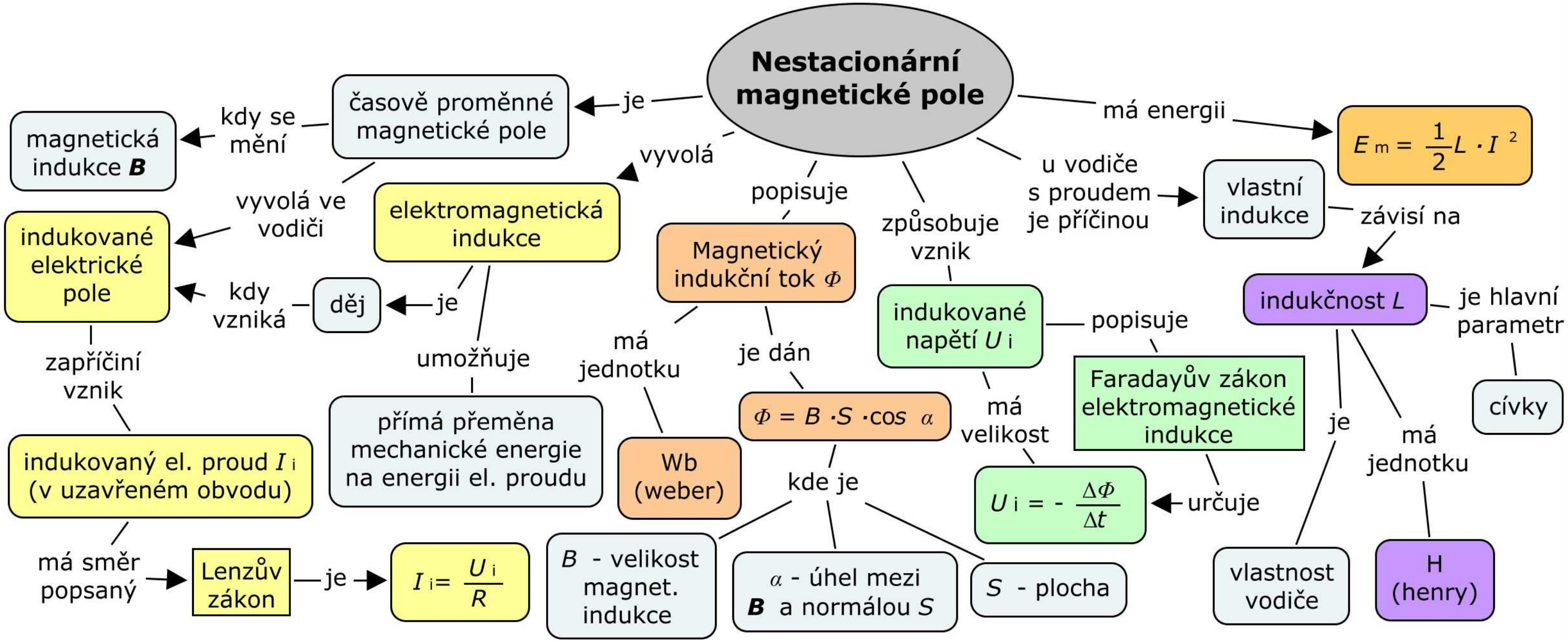


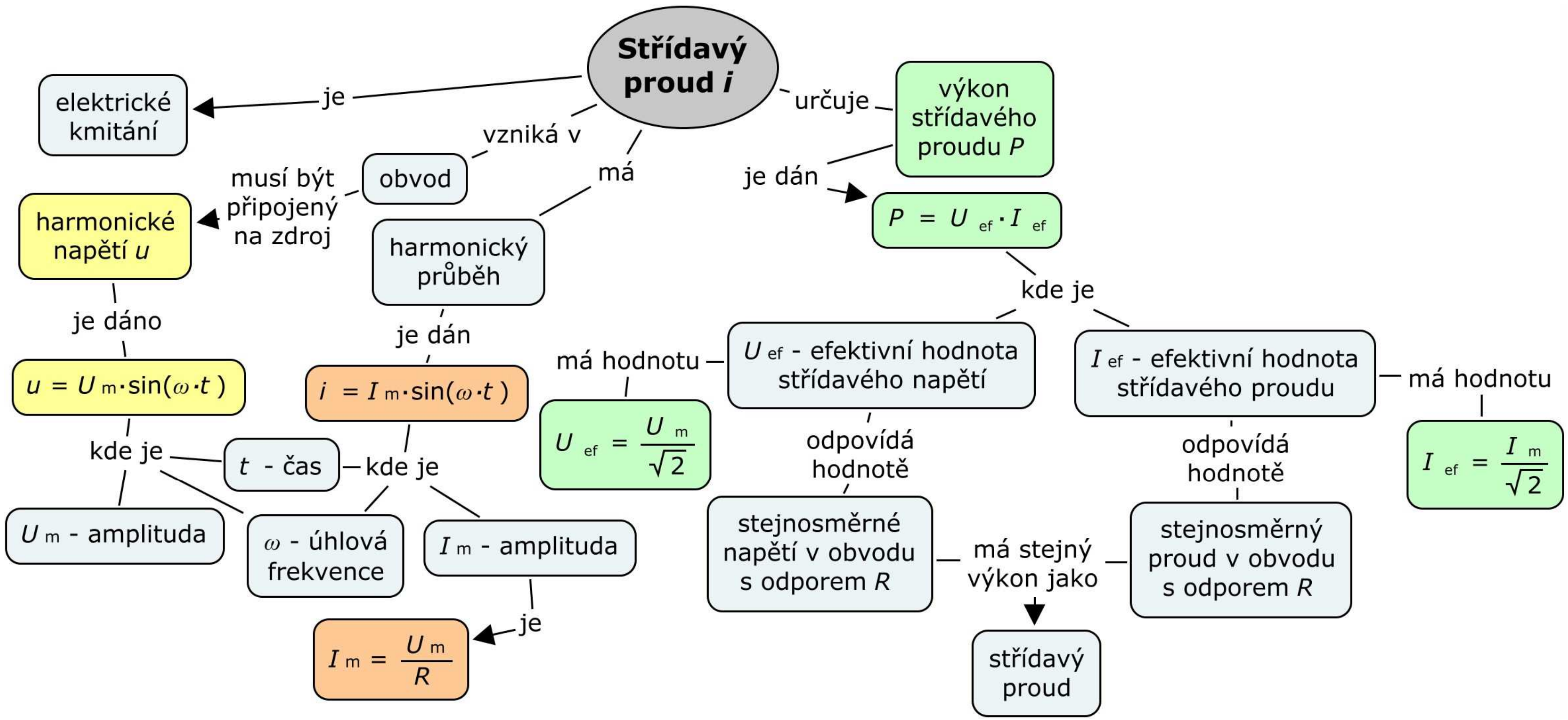
Elektrický obvod
tvoří spojení
zdroj elektrického napětí
obvodové součástky
jsou např.
spínače
spojovací vodiče
spotřebiče
je např.
rezistor
může být
jednoduchý obvod
složitý obvod
tvoří
kde protéká
proud I
se řídí
Ohmův zákon (pro část obvodu)
je vyjádřen
$I = \frac{U}{R}$
zdroj el. napětí
má
vnitřní odpor R_i
může být
zatížený
nezatížený
je charakterizován
svorkové napětí U
je charakterizován
elektromotorické napětí U_e
způsobuje
úbytek napětí
znamená
$U < U_e$
je vyjádřen v
Ohmův zákon pro celý obvod
je dán
$I = \frac{U_e}{R + R_i}$
jsou určeny veličinami
práce elektrického proudu W
vyjadřuje
přeměnu el. energie na jiný druh energie za čas t
lze vyjádřit vztahy
$W = U \cdot I \cdot t$
$W = R \cdot I^2 \cdot t$
$W = \frac{U^2}{R} t$
se rovná
má jednotku
Wh
výkon P
je dán
$P = U \cdot I$
vyjadřuje
užitečnou práci vykonanou spotřebičem za 1 s
má jednotku
W (watt)
příkon P_o
je definován jako
energie odebraná spotřebičem za 1 s
účinnost η
je dána
$\eta = \frac{P}{P_o}$
udává se v
procenta

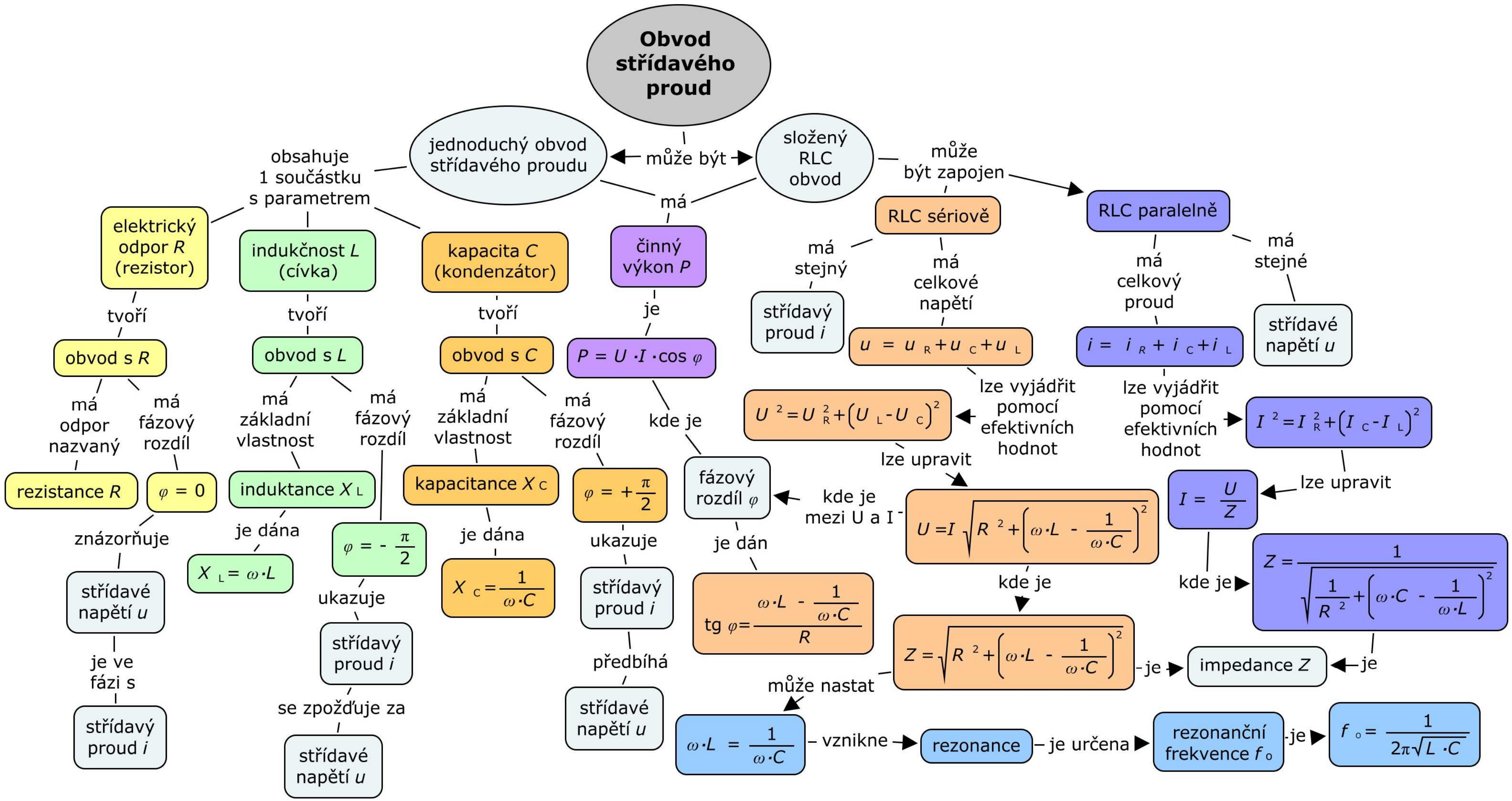

Složitý obvod
tvoří
2 a více spotřebičů
jsou např.
rezistory
lze spojit
sériově
znamená
za sebou
je stejný
proud I
platí pro celkové napětí
$U = U_1 + U_2$
je výsledný odpor dán
$R = R_1 + R_2$
paralelně
znamená
vedle sebe
je stejné
napětí U
platí pro celkový proud
$I = I_1 + I_2$
je výsledný odpor dán
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
má
větve
uzly
jsou spojeny
je popsán
Kirchhoffovy zákony
jsou
1.Kirchhoffův zákon
je dán
$\sum I_k = 0$
říká
Algebraický součet proudů v libovolném uzlu el. obvodu se rovná nule.
2.Kirchhoffův zákon
je dán
$\sum U_{ei} = \sum R_k I_k$
říká
Algebraický součet elektromotorických napětí U_{ei} zdrojů v obvodu je roven algebraickému součtu úbytků napětí $R_k I_k$ na jednotlivých rezistorech.
určuje
elektrické napětí v uzavřených obvodech



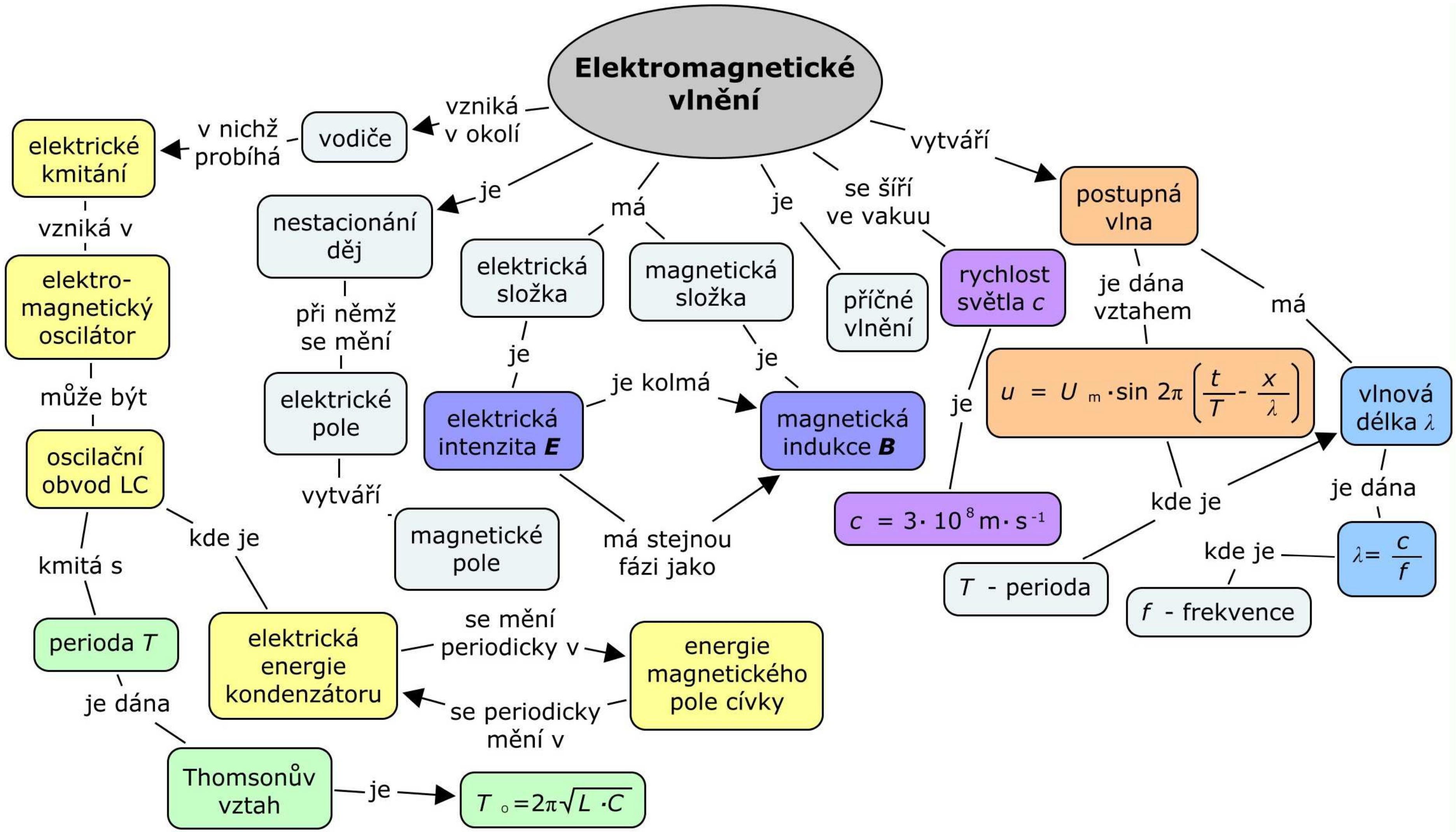
Magnetické pole
existuje v okolí
trvalé magnety
vodiče s proudem
ovlivňuje
magnetické látky
se dělí na
diamagnetické
mají
$\mu_r < 1$
paramagnetické
mají
$\mu_r > 1$
feromagnetické
mají
$\mu_r >> 1$
charakterizuje
permeabilita prostředí μ
je dána
$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$
kde je
μ_r - relativní permeabilita
μ_0 - permeabilita vakua
je
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\, N \cdot A^{-2}$
popisuje
Magnetická indukce $\boldsymbol{B}$
má směr
tečny k magnet. indukční čáře v každém bodě magnet. pole
má jednotku
T (tesla)
působí prostřednictvím
Magnetická síla $\boldsymbol{F}_m$
má velikost
$F_m = B \cdot I \cdot l$
kde je
l - délka přímého vodiče (kolmého k indukčním čarám)
I - proud procházející vodičem
má směr určen
Flemingovo pravidlo levé ruky
zakřivuje trajektorii pohybující se
částice s nábojem
má velikost
$F_m = B \cdot Q \cdot v$
kde je
náboj Q částice
rychlost v
má
má směr
kolmý na magnetické indukční čáry
se znázorňuje pomocí
magnetické indukční čáry
jsou vždy
uzavřené křivky
mají
orientace
je určena
Ampérovo pravidlo pravé ruky

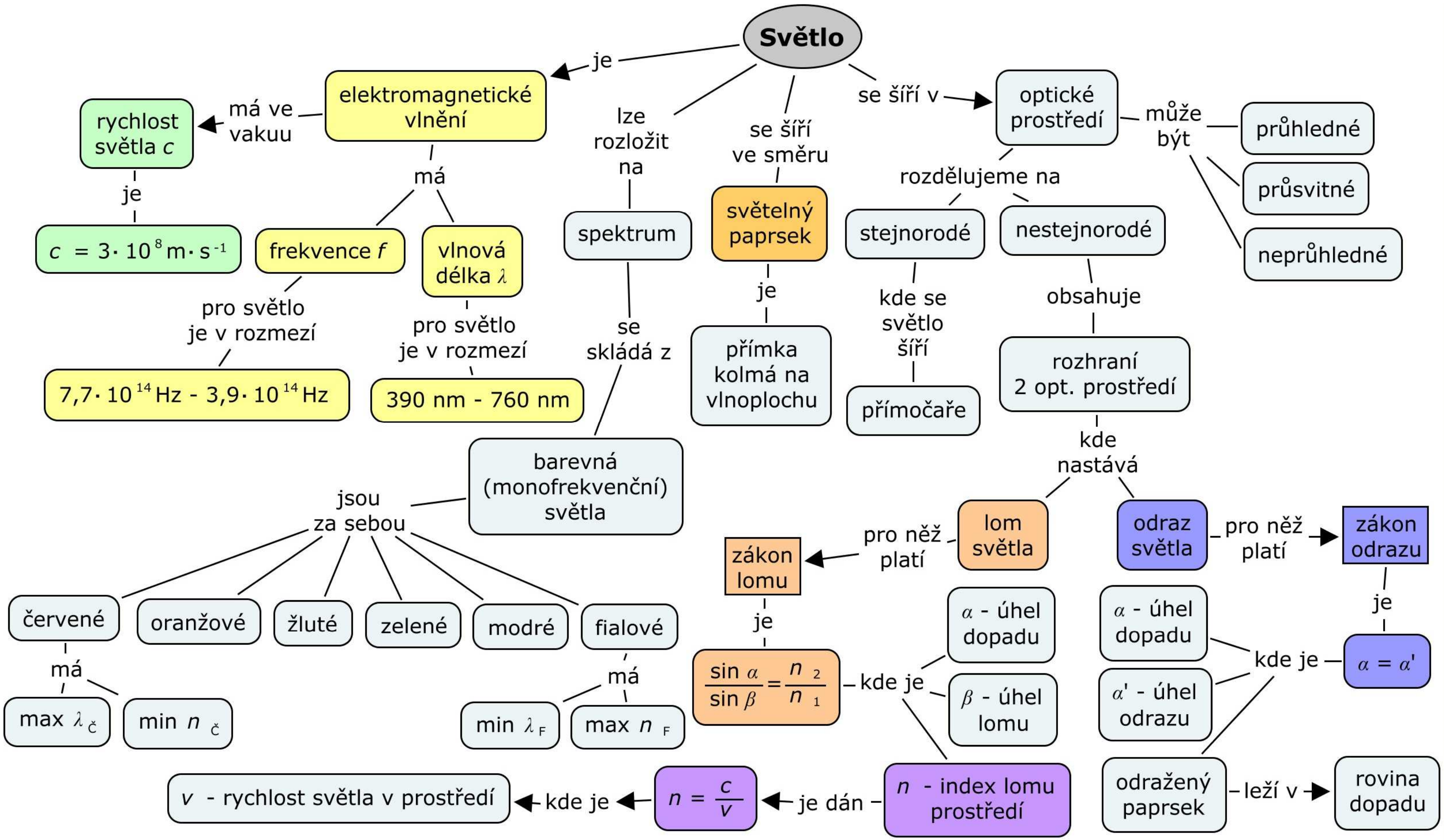

Nestacionární magnetické pole
je
časově proměnné magnetické pole
kdy se mění
magnetická indukce **B**
vyvolá ve vodiči
indukované elektrické pole
vyvolá
elektromagnetická indukce
je
děj
kdy vzniká
zapříčiní vznik
indukovaný el. proud I_i (v uzavřeném obvodu)
má směr popsaný
Lenzův zákon
je
$I_i = \frac{U_i}{R}$
umožňuje
přímá přeměna mechanické energie na energii el. proudu
popisuje
Magnetický indukční tok Φ
má jednotku
Wb (weber)
je dán
$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$
kde je
B - velikost magnet. indukce
α - úhel mezi **B** a normálou S
S - plocha
způsobuje vznik
indukované napětí U_i
popisuje
Faradayův zákon elektromagnetické indukce
má velikost
$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
určuje
má energii
$E_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2$
u vodiče s proudem je příčinou
vlastní indukce
závisí na
indukčnost L
je hlavní parametr
cívky
je
vlastnost vodiče
má jednotku
H (henry)


Střídavý proud i
je
elektrické kmitání
vzniká v
obvod
musí být připojený na zdroj
harmonické napětí u
je dáno
u = U m·sin(ω·t)
kde je
U m - amplituda
ω - úhlová frekvence
t - čas
má
harmonický průběh
je dán
i = I m·sin(ω·t)
kde je
I m - amplituda
je
I m = U m / R
určuje
výkon střídavého proudu P
je dán
P = U ef · I ef
kde je
U ef - efektivní hodnota střídavého napětí
má hodnotu
U ef = U m / √2
odpovídá hodnotě
stejnosměrné napětí v obvodu s odporem R
má stejný výkon jako
střídavý proud
I ef - efektivní hodnota střídavého proudu
má hodnotu
I ef = I m / √2
odpovídá hodnotě
stejnosměrný proud v obvodu s odporem R

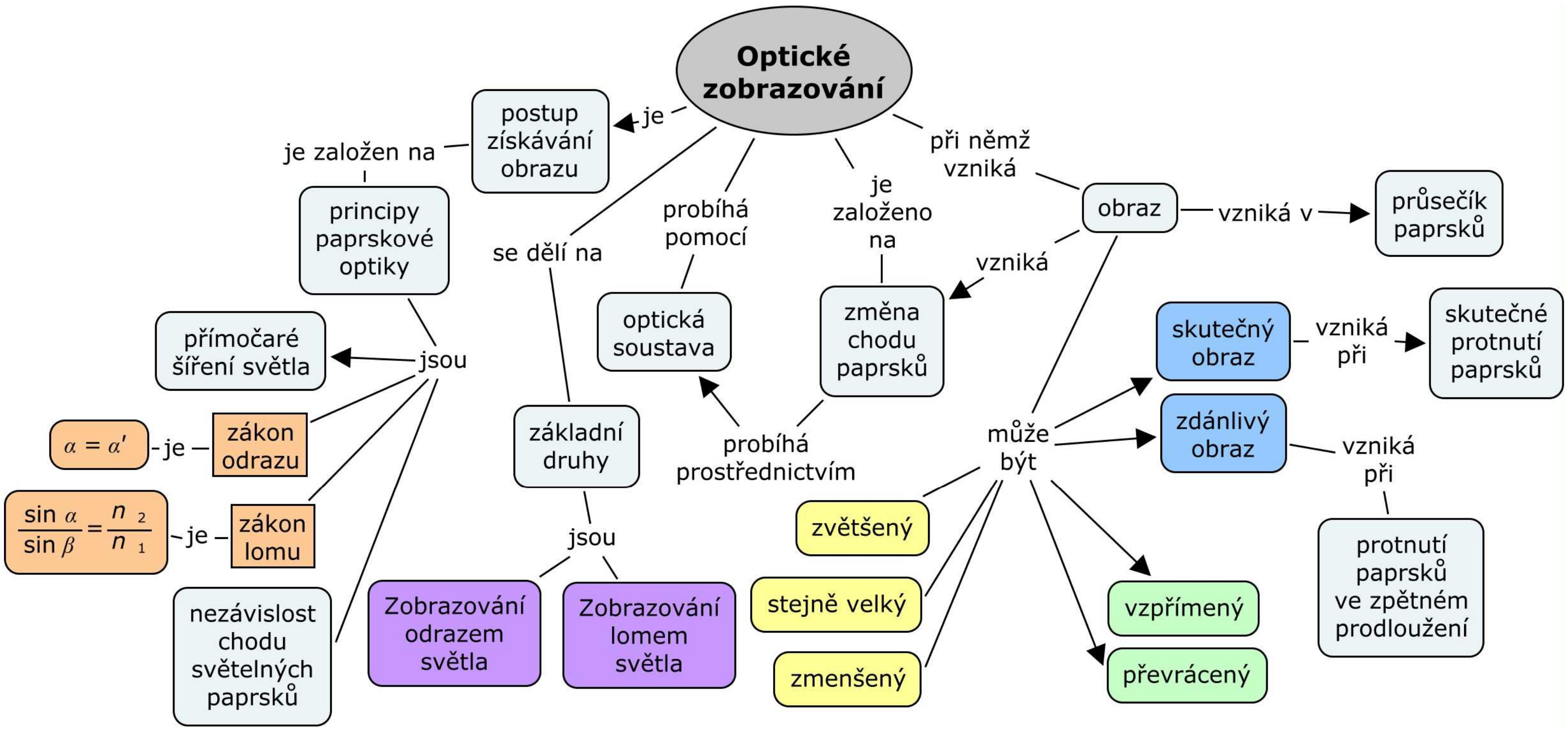


Obvod střídavého proudu
může být
jednoduchý obvod střídavého proudu
složený RLC obvod
obsahuje 1 součástku s parametrem
elektrický odpor R (rezistor)
indukčnost L (cívka)
kapacita C (kondenzátor)
tvoří
obvod s R
obvod s L
obvod s C
má odpor nazvaný
rezistance R
má fázový rozdíl
$\varphi = 0$
znázorňuje
střídavé napětí u
je ve fázi s
střídavý proud i
má základní vlastnost
induktance X_L
je dána
$X_L = \omega \cdot L$
má fázový rozdíl
$\varphi = -\frac{\pi}{2}$
ukazuje
střídavý proud i
se zpožďuje za
střídavé napětí u
kapacitance X_C
je dána
$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$
$\varphi = +\frac{\pi}{2}$
ukazuje
střídavý proud i
předbíhá
střídavé napětí u
má
činný výkon P
je
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$
kde je
fázový rozdíl φ
je dán
$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R}$
kde je mezi U a I
může být zapojen
RLC sériově
má stejný
střídavý proud i
má celkové napětí
$u = u_R + u_C + u_L$
lze vyjádřit pomocí efektivních hodnot
$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$
lze upravit
$U = I\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$
kde je
$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$
je
impedance Z
může nastat
$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$
vznikne
rezonance
je určena
rezonanční frekvence f_0
je
$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$
RLC paralelně
má celkový proud
$i = i_R + i_C + i_L$
má stejné
střídavé napětí u
lze vyjádřit pomocí efektivních hodnot
$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$
lze upravit
$I = \frac{U}{Z}$
kde je
$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}}$
je

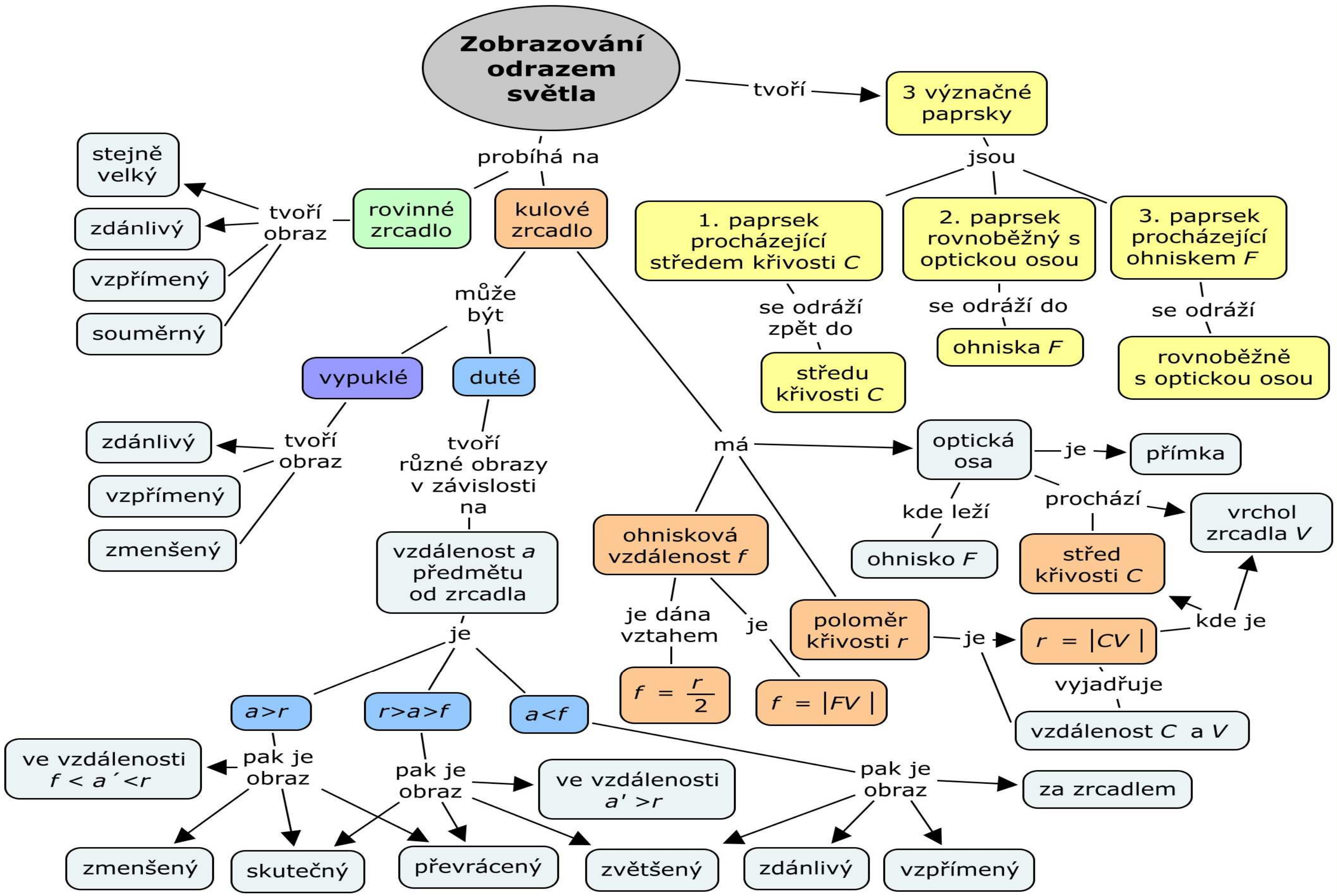

Elektromagnetické vlnění
vzniká v okolí
vodiče
v nichž probíhá
elektrické kmitání
vzniká v
elektro-magnetický oscilátor
může být
oscilační obvod LC
kmitá s
perioda T
je dána
Thomsonův vztah
je
$T_0 = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$
kde je
elektrická energie kondenzátoru
se mění periodicky v
energie magnetického pole cívky
se periodicky mění v
je
nestacionání děj
při němž se mění
elektrické pole
vytváří
magnetické pole
má
elektrická složka
magnetická složka
je
elektrická intenzita $\boldsymbol{E}$
je kolmá
magnetická indukce $\boldsymbol{B}$
má stejnou fázi jako
je
příčné vlnění
se šíří ve vakuu
rychlost světla c
je
$c = 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
vytváří
postupná vlna
je dána vztahem
$u = U_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$
kde je
T - perioda
má
vlnová délka λ
je dána
$\lambda = \frac{c}{f}$
kde je
f - frekvence



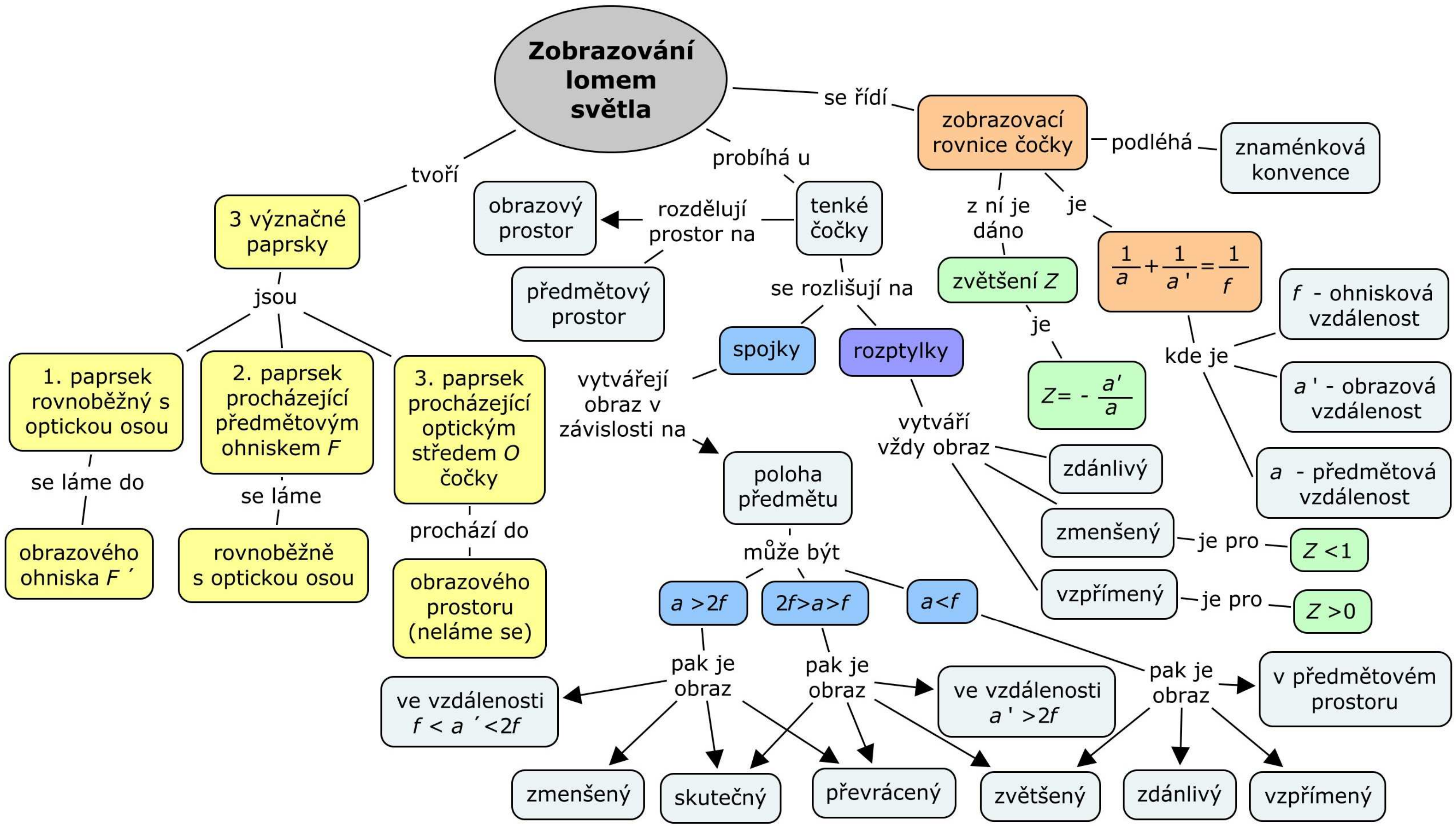
Světlo
je
elektromagnetické vlnění
má ve vakuu
rychlost světla c
je
$c = 3 \cdot 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
má
frekvence f
pro světlo je v rozmezí
$7{,}7 \cdot 10^{14}$ Hz - $3{,}9 \cdot 10^{14}$ Hz
vlnová délka λ
pro světlo je v rozmezí
390 nm - 760 nm
lze rozložit na
spektrum
se skládá z
barevná (monofrekvenční) světla
jsou za sebou
červené
oranžové
žluté
zelené
modré
fialové
má
max $\lambda_{č}$
min $n_{č}$
má
min λ_{F}
max n_{F}
se šíří ve směru
světelný paprsek
je
přímka kolmá na vlnoplochu
se šíří v
optické prostředí
může být
průhledné
průsvitné
neprůhledné
rozdělujeme na
stejnorodé
kde se světlo šíří
přímočaře
nestejnorodé
obsahuje
rozhraní 2 opt. prostředí
kde nastává
lom světla
pro něž platí
zákon lomu
je
$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$
kde je
α - úhel dopadu
β - úhel lomu
n - index lomu prostředí
je dán
$n = \frac{c}{v}$
kde je
v - rychlost světla v prostředí
odraz světla
pro něž platí
zákon odrazu
je
$\alpha = \alpha'$
kde je
α - úhel dopadu
α' - úhel odrazu
odražený paprsek
leží v
rovina dopadu



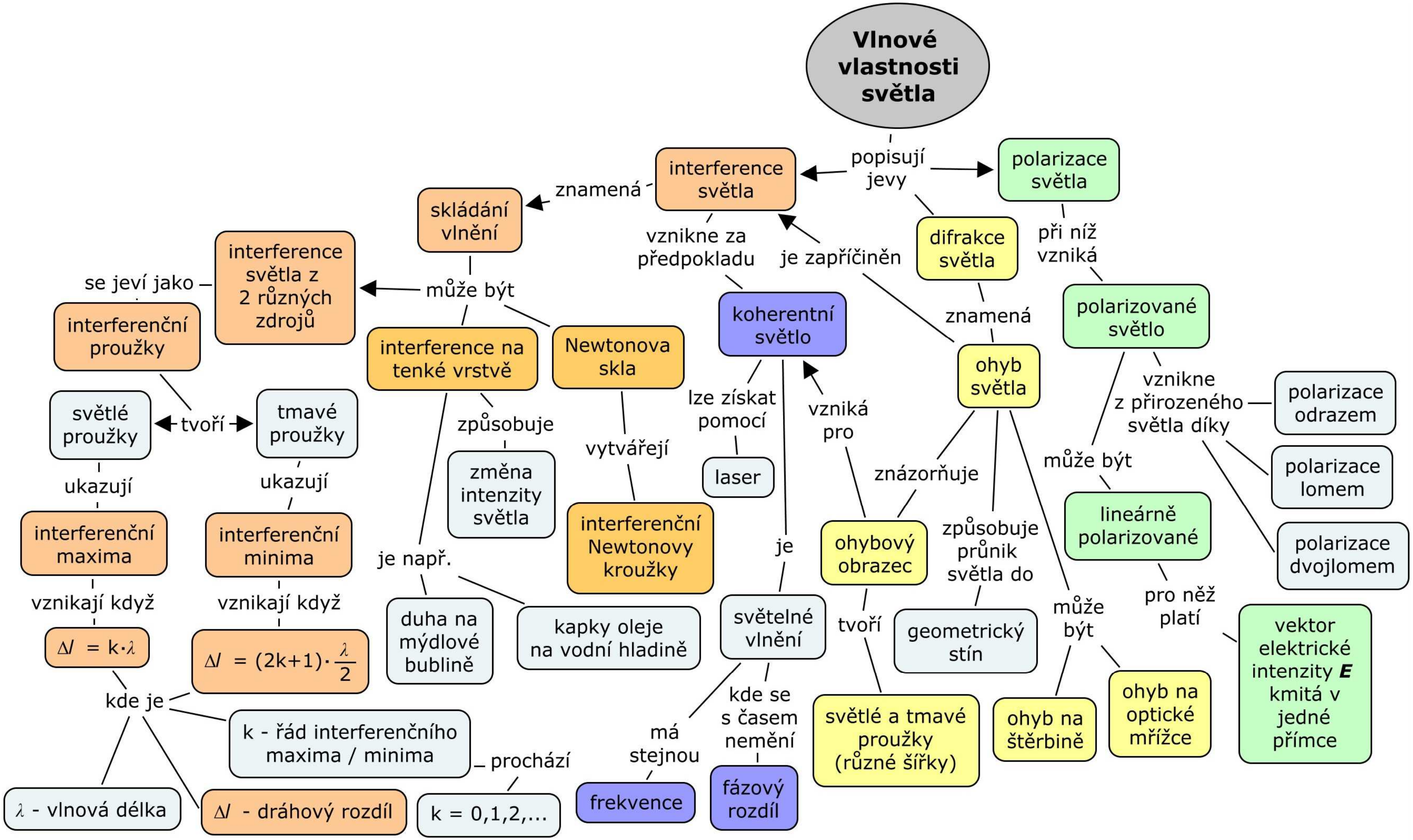
Optické zobrazování
je
postup získávání obrazu
je založen na
principy paprskové optiky
jsou
přímočaré šíření světla
zákon odrazu
je
$\alpha = \alpha'$
zákon lomu
je
$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$
nezávislost chodu světelných paprsků
se dělí na
základní druhy
jsou
Zobrazování odrazem světla
Zobrazování lomem světla
probíhá pomocí
optická soustava
probíhá prostřednictvím
je založeno na
změna chodu paprsků
vzniká
při němž vzniká
obraz
vzniká v
průsečík paprsků
může být
skutečný obraz
vzniká při
skutečné protnutí paprsků
zdánlivý obraz
vzniká při
protnutí paprsků ve zpětném prodloužení
zvětšený
stejně velký
zmenšený
vzpřímený
převrácený



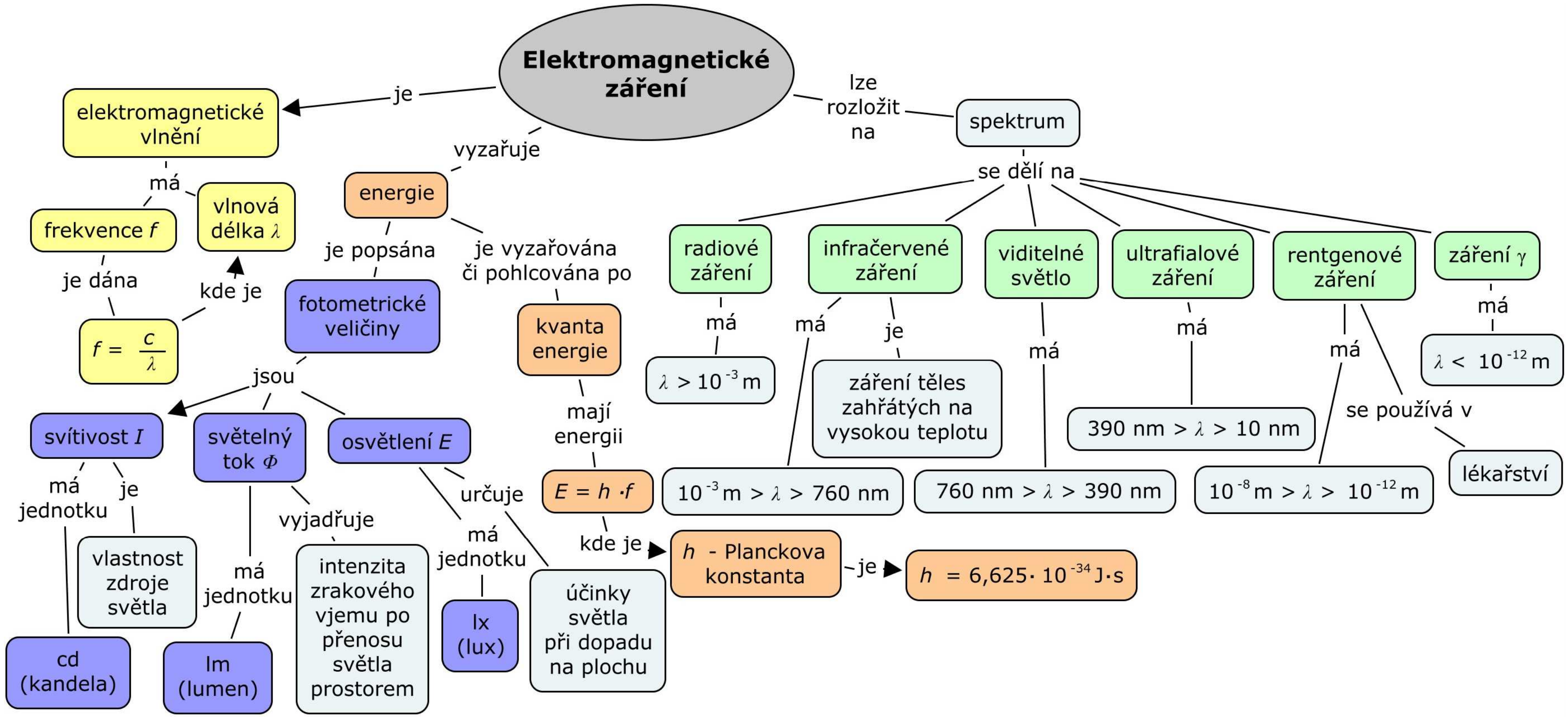
Zobrazování odrazem světla
tvoří
3 význačné paprsky
jsou
1. paprsek procházející středem křivosti C
se odráží zpět do
středu křivosti C
2. paprsek rovnoběžný s optickou osou
se odráží do
ohniska F
3. paprsek procházející ohniskem F
se odráží
rovnoběžně s optickou osou
probíhá na
rovinné zrcadlo
tvoří obraz
stejně velký
zdánlivý
vzpřímený
souměrný
kulové zrcadlo
může být
vypuklé
tvoří obraz
zdánlivý
vzpřímený
zmenšený
duté
tvoří různé obrazy v závislosti na
vzdálenost a předmětu od zrcadla
je
$a>r$
pak je obraz
ve vzdálenosti $f < a' < r$
zmenšený
skutečný
převrácený
$r>a>f$
pak je obraz
ve vzdálenosti $a' > r$
zvětšený
$a<f$
pak je obraz
za zrcadlem
zdánlivý
vzpřímený
má
optická osa
je
přímka
kde leží
ohnisko F
prochází
střed křivosti C
vrchol zrcadla V
ohnisková vzdálenost f
je dána vztahem
$f = \frac{r}{2}$
je
$f = |FV|$
poloměr křivosti r
je
$r = |CV|$
kde je
vyjadřuje
vzdálenost C a V



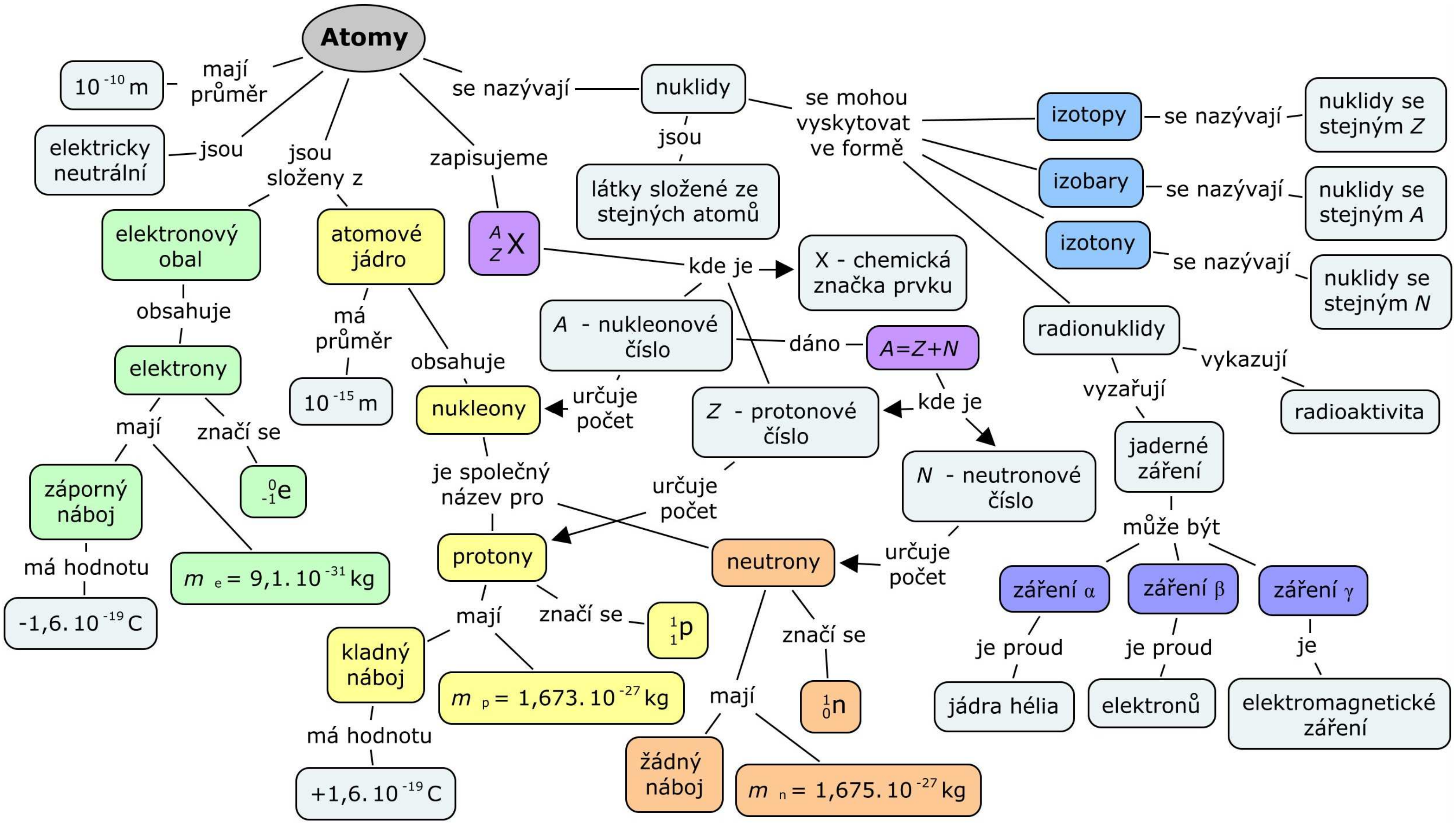
Zobrazování lomem světla
se řídí
zobrazovací rovnice čočky
podléhá
znaménková konvence
z ní je dáno
je
$\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f}$
kde je
f - ohnisková vzdálenost
a' - obrazová vzdálenost
a - předmětová vzdálenost
zvětšení Z
je
$Z=-\frac{a'}{a}$
tvoří
3 význačné paprsky
jsou
1. paprsek rovnoběžný s optickou osou
se láme do
obrazového ohniska F'
2. paprsek procházející předmětovým ohniskem F
se láme
rovnoběžně s optickou osou
3. paprsek procházející optickým středem O čočky
prochází do
obrazového prostoru (neláme se)
probíhá u
tenké čočky
rozdělují prostor na
obrazový prostor
předmětový prostor
se rozlišují na
spojky
rozptylky
vytvářejí obraz v závislosti na
poloha předmětu
může být
$a>2f$
$2f>a>f$
$a<f$
pak je obraz
ve vzdálenosti $f<a'<2f$
ve vzdálenosti $a'>2f$
v předmětovém prostoru
zmenšený
skutečný
převrácený
zvětšený
zdánlivý
vzpřímený
vytváří vždy obraz
zdánlivý
zmenšený
je pro
$Z<1$
vzpřímený
je pro
$Z>0$



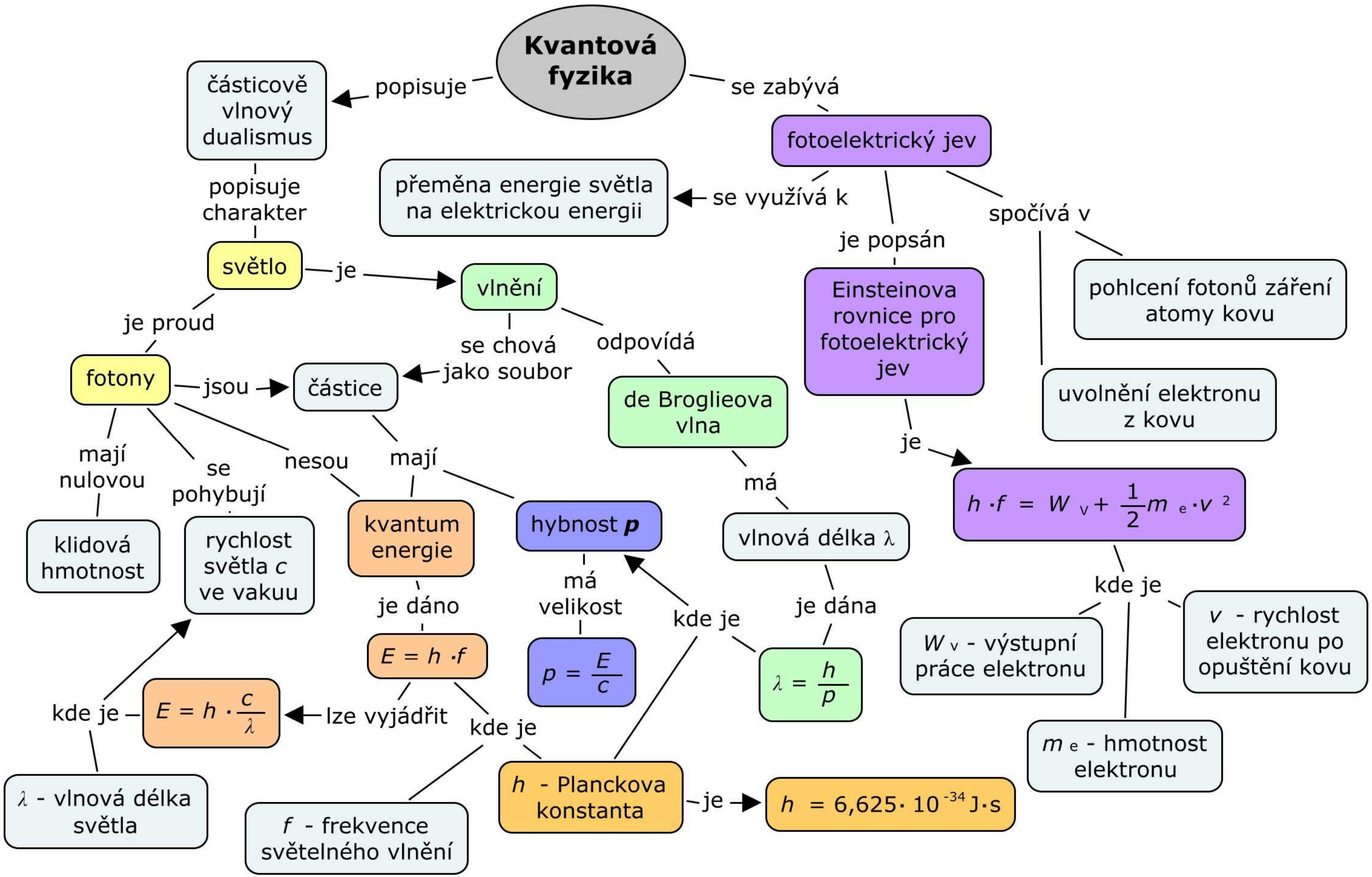
Vlnové vlastnosti světla
popisují jevy
interference světla
polarizace světla
difrakce světla
znamená
skládání vlnění
může být
interference světla z 2 různých zdrojů
se jeví jako
interferenční proužky
tvoří
světlé proužky
tmavé proužky
ukazují
interferenční maxima
interferenční minima
vznikají když
$\Delta l = k \cdot \lambda$
$\Delta l = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$
kde je
k - řád interferenčního maxima / minima
prochází
k = 0,1,2,...
λ - vlnová délka
Δl - dráhový rozdíl
interference na tenké vrstvě
Newtonova skla
způsobuje
změna intenzity světla
vytvářejí
interferenční Newtonovy kroužky
je např.
duha na mýdlové bublině
kapky oleje na vodní hladině
vznikne za předpokladu
koherentní světlo
lze získat pomocí
laser
je
světelné vlnění
má stejnou
frekvence
kde se s časem nemění
fázový rozdíl
je zapříčiněn
vzniká pro
ohyb světla
znázorňuje
ohybový obrazec
tvoří
světlé a tmavé proužky (různé šířky)
způsobuje průnik světla do
geometrický stín
může být
ohyb na štěrbině
ohyb na optické mřížce
při níž vzniká
polarizované světlo
může být
lineárně polarizované
pro něž platí
vektor elektrické intenzity ***E*** kmitá v jedné přímce
vznikne z přirozeného světla díky
polarizace odrazem
polarizace lomem
polarizace dvojlomem



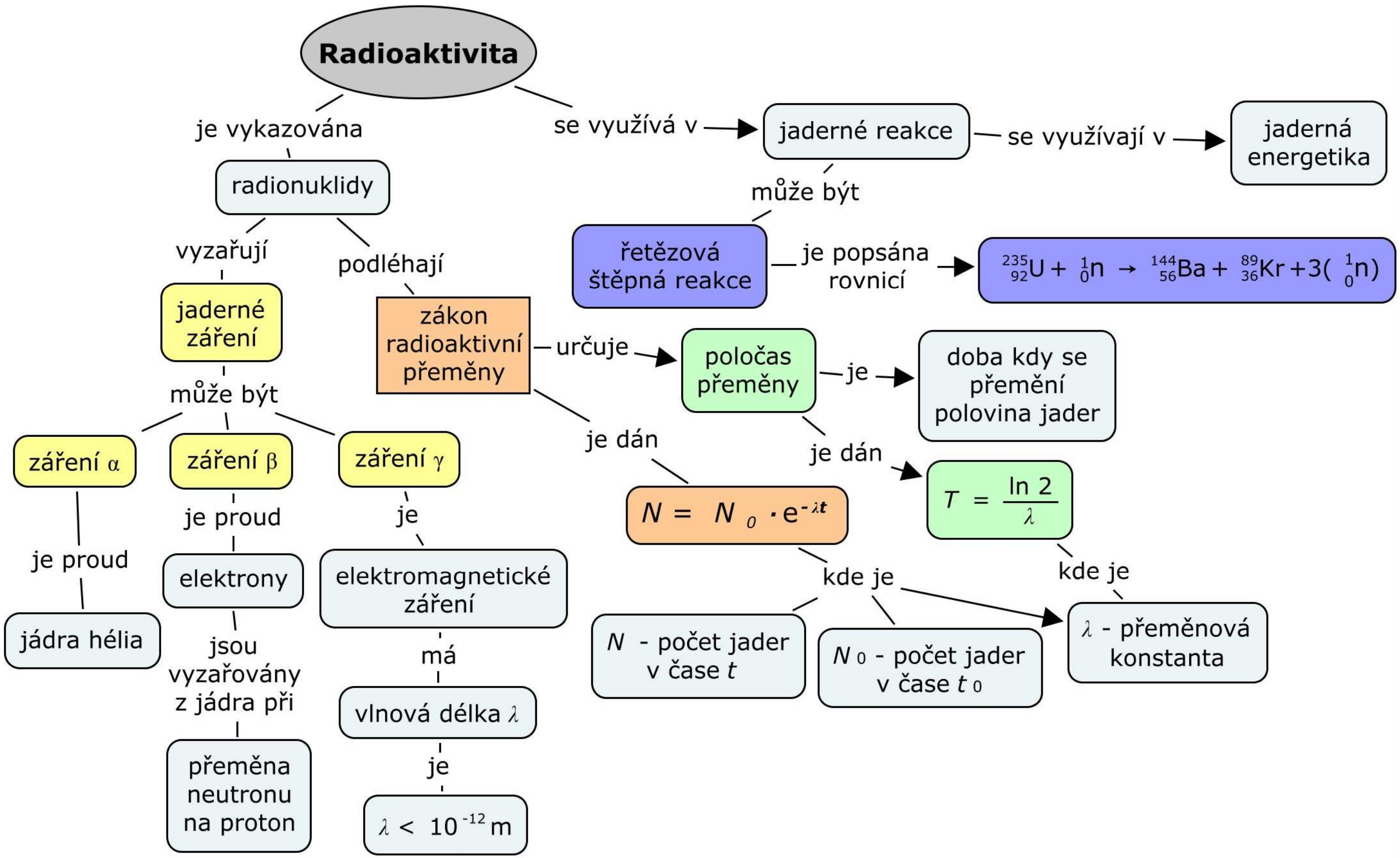
Elektromagnetické záření
je
elektromagnetické vlnění
má
frekvence f
vlnová délka λ
je dána
kde je
f = c/λ
vyzařuje
energie
je popsána
fotometrické veličiny
jsou
svítivost I
má jednotku
cd (kandela)
je
vlastnost zdroje světla
světelný tok Φ
má jednotku
lm (lumen)
vyjadřuje
intenzita zrakového vjemu po přenosu světla prostorem
osvětlení E
má jednotku
lx (lux)
určuje
účinky světla při dopadu na plochu
je vyzařována či pohlcována po
kvanta energie
mají energii
E = h ·f
kde je
h - Planckova konstanta
je
h = 6,625· 10^-34 J·s
lze rozložit na
spektrum
se dělí na
radiové záření
má
λ > 10^-3 m
infračervené záření
má
10^-3 m > λ > 760 nm
je
záření těles zahřátých na vysokou teplotu
viditelné světlo
má
760 nm > λ > 390 nm
ultrafialové záření
má
390 nm > λ > 10 nm
rentgenové záření
má
10^-8 m > λ > 10^-12 m
se používá v
lékařství
záření γ
má
λ < 10^-12 m



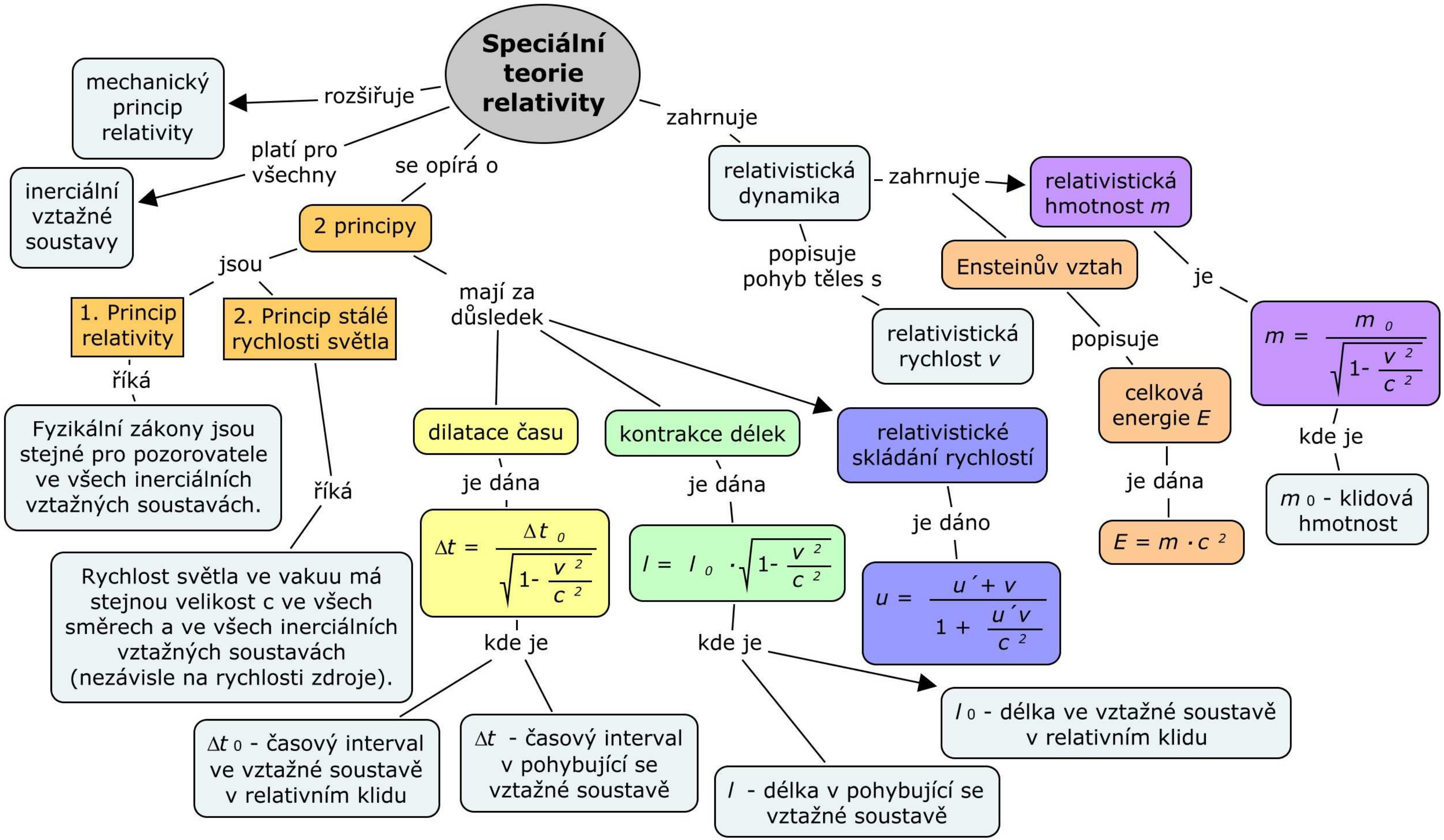
Atomy
mají průměr
10^{-10} m
jsou
elektricky neutrální
jsou složeny z
elektronový obal
obsahuje
elektrony
mají
záporný náboj
má hodnotu
$-1{,}6 . 10^{-19}$ C
$m_e = 9{,}1 . 10^{-31}$ kg
značí se
${}^{0}_{-1}e$
atomové jádro
má průměr
10^{-15} m
obsahuje
nukleony
je společný název pro
protony
mají
kladný náboj
má hodnotu
$+1{,}6 . 10^{-19}$ C
$m_p = 1{,}673 . 10^{-27}$ kg
značí se
${}^{1}_{1}p$
neutrony
mají
žádný náboj
$m_n = 1{,}675 . 10^{-27}$ kg
značí se
${}^{1}_{0}n$
zapisujeme
${}^{A}_{Z}X$
kde je
X - chemická značka prvku
A - nukleonové číslo
určuje počet
dáno
$A=Z+N$
kde je
Z - protonové číslo
určuje počet
N - neutronové číslo
určuje počet
se nazývají
nuklidy
jsou
látky složené ze stejných atomů
se mohou vyskytovat ve formě
izotopy
se nazývají
nuklidy se stejným Z
izobary
se nazývají
nuklidy se stejným A
izotony
se nazývají
nuklidy se stejným N
radionuklidy
vykazují
radioaktivita
vyzařují
jaderné záření
může být
záření α
je proud
jádra hélia
záření β
je proud
elektronů
záření γ
je
elektromagnetické záření



Kvantová fyzika
popisuje
částicově vlnový dualismus
popisuje charakter
světlo
je
vlnění
je proud
fotony
jsou
částice
se chová jako soubor
odpovídá
de Broglieova vlna
mají nulovou
klidová hmotnost
se pohybují
rychlost světla c ve vakuu
nesou
mají
kvantum energie
hybnost $\boldsymbol{p}$
má
vlnová délka λ
je dáno
$E = h \cdot f$
má velikost
$p = \frac{E}{c}$
kde je
je dána
$\lambda = \frac{h}{p}$
lze vyjádřit
$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$
kde je
λ - vlnová délka světla
kde je
f - frekvence světelného vlnění
h - Planckova konstanta
je
$h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$
se zabývá
fotoelektrický jev
se využívá k
přeměna energie světla na elektrickou energii
je popsán
Einsteinova rovnice pro fotoelektrický jev
spočívá v
pohlcení fotonů záření atomy kovu
uvolnění elektronu z kovu
je
$h \cdot f = W_v + \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$
kde je
W_v - výstupní práce elektronu
m_e - hmotnost elektronu
v - rychlost elektronu po opuštění kovu



Radioaktivita
je vykazována
radionuklidy
se využívá v
jaderné reakce
se využívají v
jaderná energetika
může být
řetězová štěpná reakce
je popsána rovnicí
$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3(^{1}_{0}n)$
vyzařují
podléhají
jaderné záření
zákon radioaktivní přeměny
určuje
poločas přeměny
je
doba kdy se přemění polovina jader
je dán
$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$
je dán
$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$
kde je
kde je
N - počet jader v čase t
N_0 - počet jader v čase t_0
λ - přeměnová konstanta
může být
záření α
záření β
záření γ
je proud
jádra hélia
je proud
elektrony
jsou vyzařovány z jádra při
přeměna neutronu na proton
je
elektromagnetické záření
má
vlnová délka λ
je
$\lambda < 10^{-12}$ m


Speciální teorie relativity
rozšiřuje
mechanický princip relativity
platí pro všechny
inerciální vztažné soustavy
se opírá o
2 principy
jsou
1. Princip relativity
říká
Fyzikální zákony jsou stejné pro pozorovatele ve všech inerciálních vztažných soustavách.
2. Princip stálé rychlosti světla
říká
Rychlost světla ve vakuu má stejnou velikost c ve všech směrech a ve všech inerciálních vztažných soustavách (nezávisle na rychlosti zdroje).
mají za důsledek
dilatace času
je dána
$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$
kde je
Δt_0 - časový interval ve vztažné soustavě v relativním klidu
Δt - časový interval v pohybující se vztažné soustavě
kontrakce délek
je dána
$l = l_0 \cdot \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$
kde je
l_0 - délka ve vztažné soustavě v relativním klidu
l - délka v pohybující se vztažné soustavě
relativistické skládání rychlostí
je dáno
$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$
zahrnuje
relativistická dynamika
popisuje pohyb těles s
relativistická rychlost v
zahrnuje
relativistická hmotnost m
je
$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$
kde je
m_0 - klidová hmotnost
Ensteinův vztah
popisuje
celková energie E
je dána
$E = m \cdot c^2$