

## Část I

# Struktura pevných látek

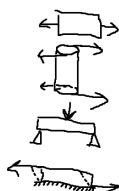
## 1 Krysatlografické soustavy

AAAAAAA

## 2 Deformace

- typy:

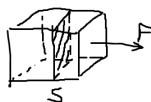
- tahem/tlakem
- kroucením
- ohybem
- smykem



## 3 Deformace tahem/tlakem

- Normálové napětí:

$$\sigma = F/S; [N/m^2] = [Pa]$$



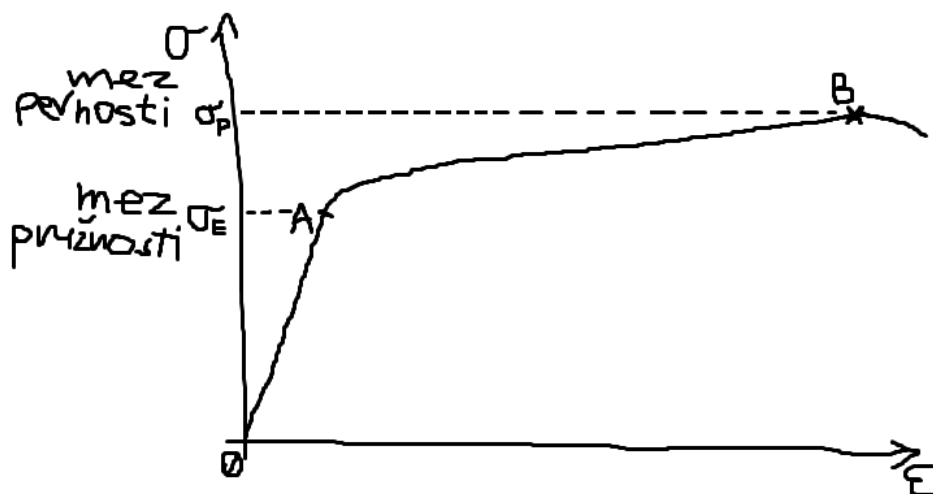
- Změna délky:

$$\Delta l = l - l_0; [m]$$

užitečnější většinou relativní prodloužení:

$$\varepsilon = \Delta l/l_0; [\text{bezrozm.}]$$

### 3.1 Deformační křivka



- lineární úsek (0 - A)

- pružná deformace
- vratná
- platí Hookův zákon:

$$\varepsilon \propto \sigma$$

tedy slovy: relativní prodloužení je přímo úměrné napětí (ano, to je symbol pro přímou úměrnost, zapamatujte si ho)

$$\sigma = E * \varepsilon$$

E - Youngův modul pružnosti (např. ocel = 220 GPa, cín = 55 GPa, tj. tlak potřebný, abychom objekt roztáhli na dvojnásobnou délku)

- nelineární deformace (A - B)
  - plastická deformace
  - protažení bylo dost velké, aby přesunulo atomy v krystalické mřížce na jiné místo
  - materiál tedy ztrácí schopnost se po deformaci vrátit do původního tvaru
  - při překročení meze pevnosti se materiál prostě trhá na dva kusy

### 3.1.1 Příklady

1. O kolik se protáhne ocelový drát když na něj zavěsíme závaží:

$$d = 1mm; l = 5m; m = 30kg; E = 220GPa$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{300}{\pi * 0,0005^2}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{F}{S * E} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\Delta l = \frac{F * l * 0}{S * E} = 8,7 * 10^{-3}m = 8,7mm$$

2. Na ocelové lanko zavěsíme závaží. Jak těžké může být, aby se lanko nepřetrhlo:

$$d = 1mm; \sigma_p = 1,3GPa; K = 5$$

- (a) závaží je v klidu
- (b) závaží se hýbe nahoru

$$a = 1m/s^2$$

- (c) jako kyvadlo OBRAZEKOBRAZEK

## Část II

## Změny skupenství

Př.: OBRAZEKOBRAZEK  $m = 0,2kg$  a) teplota varu: 50 stupnu b) c(kap.)  $c = Q/(m * \Delta t) = 200/(0,2 * 40) = 25 Jkg^{-1}K^{-1}$  c) c(plyn)  $c = Q/(m * \Delta t) = 200/(0,2 * 20) = 50 Jkg^{-1}K^{-1}$  d)  $L_v$  – skupenské teplo varu [J]  $L_v = 300J$   $l_v$  = měrné skupenské teplo varu  $l_v = L_v/m [Jkg^{-1}]$   $l_v = 300/0,2 = 1500Jkg^{-1}$

Pozn.: pro vodu:  $l_t$  (tání) =  $332 J kg^{-1}$   $l_v = 2257 J kg^{-1}$

Př.: 1 kg vody z teploty -20 stupnu -i pára 100 stupnu,  $P = 1 kW$  led -20 stupnu -i led 0 stupnu: ( $c_{ledu} = 2100 J kg^{-1}$ )  $Q = m * c * \Delta t = 42 kJ$  -i 42 s led 0 stupnu -i voda 0 stupnu:  $L_t = m * l_t = 332 kJ$  -i 5 min 32 s voda 0 stupnu -i voda 100 stupnu ( $c_{vody} = 4180 J kg^{-1}$ )  $Q = m * c * \Delta t = 418 kJ$  -i 6 min 58 s voda 100 stupnu -i pára 100 stupnu:  $L_v = m * l_v = 2257 kJ$  -i 37 min 37 s (to je šílený)

Pozn.: Hranaty graf platí u krystalických latic, u amorfních latic (kvůli nedokonalostem v uskupení) je graf obly OBRAZEKOBRAZEK AAAAAAAAAA REALNE TOHLE NEMAM SANCÍ DODELAT

## Část III

# Kmitání

Oscilátor: cokoliv co kmitá, např. kyvadlo, pravítko (lol)

## 4 Kinematika oscilátoru

Zjednodušení: uvažujeme tzv. harmonický oscilátor – nemá ztráty, kmitá stále stejně (grafem je sinusoida)  
Značení:  $y$  – okamžitá výchylka  $y_m$  – maximální výchylka (max. amplituda),  $y$  je z  $[-y_m; y_m]$  AAAAAAA T – perioda [s]  $f$  – frekvence [ $s^{-1}$ =Hz],  $f * T = 1$   $\omega$  – úhlová frekvence (ekviv. úhlová rychlost),  $\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  [ $s^{-1}$ ]  $v$  – obvodová rychlost,  $v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$  [ $ms^{-1}$ ] Pozn.: Průmět přímoč. pohybu po kružnici na jedné ose je sinusoida – kmitání je točení v jedné ose Poloha: OBRAZEKOBRAZEK  $y = y_m * \sin(\alpha)$ , přejmenujeme  $\rightarrow y_m$ ,  $\alpha = \omega t \Rightarrow y = y_m * \sin(\omega t)$ , popř.  $y = y_m * \sin(\omega t + \phi_0)$ ,  $\phi_0$  – počáteční fáze (případný offset na začátku od nul. úhlu) Př.: pružinový oscilátor:  $y_m = 10 cm$ ,  $T = 1,2 s$  a) rovnice:  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{5\pi}{3} s^{-1}$   $y = 0,1 * \sin(\frac{5\pi t}{3})$  b) poloha v čase  $t=0,5 s$ :  $y = 0,1 * \sin(\frac{5\pi t}{6})$  POZOR RAD!!!  $y = 5 cm$  Př.: Rychlost oscilátoru  $\cos(\alpha) = v/v_0$   $v = v_0 * \cos(\alpha)$  1)  $\alpha = \omega * t$  2)  $v_0 = \omega * r$  3)  $r = y_m \Rightarrow v = \omega * y_m * \cos(\omega t + \phi_0)$   $v = \frac{2\pi}{1,1} * \cos(t)$

Zrychlení: OBRAZEKOBRAZEK  $v_1 = \omega * r$   $a_d = \frac{v_1^2}{r} = \omega^2 * r = \omega^2 * y_m$

$a = a_d * \sin(\omega t + \phi_0)$   $a = \omega^2 * y_m * \sin(\omega t + \phi_0) = \omega^2 * y$   $\Rightarrow$  velikost zrychlení je přímo úměrná okamžité odchylce  $a_{max} = \omega^2 * y_m$

AAAAAAA hrozně moc pomooc

Př.: Závisí tuhost pružiny na počtu závitů ANO, k vlnovka  $\frac{1}{n}$  AAAAAA progresivní pružina (damn liberals)

### 4.1 Fyzikální kyvadlo

- cokoliv zavěšeného mimo těžiště, tj. v rovnovážné poloze nad těžištěm
- mám těleso, jeho těžiště T, osu otáčení o a délku d mezi nimil

## 5 Tlumené kmitání

- kromě síly, která je  $F \propto -y$  působí i odporová síla,  $F_{ODP} \propto -v$ ,  $F_{ODP} \propto -b * v$ ;  $b$  – součinitel lineárního odporu [ $kg/s$ ] OBRAZEKOBRAZEK
- $y = y_m * e^{-\frac{bt}{2m}} * \sin(\omega' t + \phi_0)$
- důsledky
  1. je-li  $b$  malé ( $b^2 \ll 4mk$ ); AAAA Př.: tlumí se to velmi pomalu
  2. Je-li  $b$  velké ( $b^2 > 4mk$ ), kmitání je ztlumeno tak moc, že ani nekmitá, nemá to dost velkou sílu –  $\omega = \text{sqrt}$  záporné číslo OBRAZEKOBRAZEK

## 6 Energie pružinového oscilátoru

- kinetická:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m * y_m^2 * \omega^2 * \cos^2(\omega t) = \frac{1}{2}k * y_m^2 * \cos^2(\omega t)$
- $\cos(2x) = 2\cos^2(x) - 1$ ;  $\cos^2(x) = \frac{1+\cos(2x)}{2}$  OBRAZEKOBRAZEK y a Ek
- potenciální:  $E_p = W = \frac{1}{2}F * y$

## 7 Vlnění

- $y(x, t) = y_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - 2\pi ft + \phi\right)$

### 7.1 Interference vlnění

- skládání vlnění, když se vlny potkají, tak se jednoduše sečtou  $y = y_1 + y_2$  OBRAZEKOBRAZEK
- pro jednoduchost budeme skládat vlnění se stejnou  $\lambda$ ,  $f$  a s různou fází
- vlny můžeme jednoduše sčítat pomocí fázorů a kosinové věty
- speciální případy
  - fázory jsou identické – konstruktivní interference, dvakrát větší amplituda, stejná frekvence, vln. délka
  - fázory jsou protilehlé – destruktivní interference, nulová amplituda

### 7.2 Stojaté vlnění

- interference postupné a odražené vlny
- $y_1 = y_m \sin(\omega t - kx)$
- $y_2 = y_m \sin(\omega t + kx)$
- $y = y_1 + y_2 = y_m(\sin(\omega t - kx) + \sin(\omega t + kx)) = 2y_m \cos(kx) \sin(\omega t) = Y_m \sin(\omega t)$  OBRAZEKOBRAZEK
- najdeme tady uzly (vždy 0, čili  $\cos(kx)=0$  čili v každém lichém násobku  $\frac{\pi}{2}$ ) a kmitny (kmitají nejvíc, čili  $\cos(kx)=\max$ . čili v každém násobku  $\pi$ )
- odraz vlnění
  - pevný konec: po odrazu se otočí fáze, interferují tedy destruktivně a pevný konec je uzel (logicky)
  - volný konec: neotáčí se fáze, vznikne tedy kmitna
- Př.: stojaté vlnění na struně g

## Část IV

# Elektrostatika

- elektrický náboj –  $Q$  [C – Coulomb] (analogie hmotnosti)

## 8 Elektrické pole

- intenzita elektrického pole –  $E^{\rightarrow} = \frac{F_e^{\rightarrow}}{Q}$  [N/C]
- směr  $E^{\rightarrow}$  = směr síly na kladný náboj OBRAZEKOBRAZEK

### 8.1 Typy elektrického pole

#### 8.1.1 Homogenní pole

- $E^{\rightarrow} = \text{konst.}$  OBRAZEKOBRAZEK

#### 8.1.2 Radiální pole

- $E = \frac{k * \frac{Q_1 Q_2}{r^2}}{Q_2} = k * \frac{Q_1}{r^2}$  OBRAZEKOBRAZEK

#### 8.1.3 Dipólové pole

- dva náboje opačného znaménka –  $Q_1 = Q_2$  OBRAZEKOBRAZEK

### 8.2 Potenciál elektrického pole

- $\phi = \frac{E_p}{Q}$  [J/C];  $E_p$  – potenciální energie
- ekvipotenciální plochy – místa se stejným potenciálem – vždy kolmé na siločary

### 8.3 Práce, energie

- $W = F * s = F * s * \cos\alpha$

#### 8.3.1 V homogenním poli

- $E = \frac{F}{Q} = \text{konst.}$
- $F = EQ$
- $W = E * Q * s = E * Q * s * \cos\alpha = E * Q * d$ ;  $d$  – vzdálenost kolmá na siločary OBRAZEKOBRAZEK  
elektrická práce  $W = \Delta E_p$
- volba 0 u  $E_p$ : na záporné nebo uzemněné desce OBRAZEKOBRAZEK  
voltage deska Potenciál:  $\phi = \frac{E_p}{Q} = \frac{W}{Q} = \frac{EQd}{Q} = E * d$
- Rozdíl potenciálů = napětí  $U = \Delta\phi$  [J/C]=[V]
- Intenzita:  $E = \frac{U}{d}$  [V/m]
- Pozn: elektron urychlený napětím 1 V získá energii:  $E = W = U * e = 1 * 1,6 * 10^{-19} J = 1eV$  – elektronvolt

### 8.3.2 V radiálním poli

- OBRAZEKOBRAZEK z A do B:  $W = F * s$ , ale F v bodě A je jiná než v B  $\Rightarrow$  sílu nahradíme „průměrnou“ (geometrický průměrnou) silou mezi A a B
- $F_A = k * \frac{Q}{r_A^2}; F_B = k * \frac{Q}{r_B^2} \Rightarrow F_{prům} = \sqrt{F_A * F_B} = \frac{kQ}{r_A r_B}$
- $W = F_{prům} * s = k * \frac{Q_1 Q_2}{r_A r_B} * (r_B - r_A) = -kQ_1 Q_2 * \frac{1}{r} = E_p$

Pozn.:  $F = k * \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ ;  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$   $\epsilon$  – permitivita prostředí – „prostupnost prostředí pro el. pole“  $\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$   $\epsilon > \epsilon_0$   $\epsilon_r$  – *relativní permitivita* vzduch –  $\epsilon_r = 1,0006$  olivový olej –  $\epsilon_r = 3,1$  sklo –  $\epsilon_r = 5 - 16$  voda –  $\epsilon_r = 82$

### 8.4 Látky v elektrickém poli

A) vodiče: náboje se mohou pohybovat OBRAZEKOBRAZEK vodič.png

- elektrostatická indukce – rozdělím vodič, zůstává trvale nabitý OBRAZEKOBRAZEK skin effect.png plošná hustota
- $\sigma = \frac{Q}{S}$ ; z předch. vzorce:  $E = \frac{Q}{S * \epsilon} \Rightarrow \sigma = E * \epsilon$

B) nevodiče: OBRAZEKOBRAZEK nevodič.png

$\Rightarrow$  polarisuje se

- některé molekuly jsou už „z výroby“ polární, např.  $H_2O$

### 8.5 Kapacita vodiče

- při nabíjení vodiče nábojem Q se zvyšuje jeho napětí U přímo úměrně

$$Q \propto U \quad Q = C * U$$

- C - kapacita vodiče  $[C/V] = [F]$  – farad

Př.: Určete kapacitu koule  $r = 10 \text{ cm}$   $C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{k * \frac{Q}{r}} = \frac{r}{k} = 4\pi\epsilon r = 4\pi * 8,85 * 10^{-12} * 0,1 = 11 pF$

- koule s kapacitou 1 F by měla  $9 * 10^9 \text{ m}$ , proto používáme pF, nF, mkF
- samostatný vodič má kapacitu malou  $\Rightarrow$  vhodným tvarem ji můžeme zvětšit

$\Rightarrow$  KONDENSÁTOR

#### 8.5.1 Kondensátor

- deskový
- válcový OBRAZEKOBRAZEK kondensator.png

Př.: Deskový kondensátor:  $S = 20 \text{ cm}^2$ ,  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $C = ?$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{E * d} = \frac{Q * d}{\frac{Q * d}{S * \epsilon}} = \epsilon_{pr. mezideskami} * \frac{S}{d}$$

- Spojování kondensátorů

a) paralelně:

- \* shodné napětí  $U = U_1 = U_2$
- \* náboj se rozdělí  $Q = Q_1 + Q_2; \frac{Q}{U} = \frac{Q_1}{U_1} + \frac{Q_2}{U_2}; C = C_1 + C_2$

b) seriově:

\* shodný náboj  $Q = Q_1 + Q_2$

\* napětí se rozdělí  $U = U_1 + U_2$ ;  $\frac{U}{Q} = \frac{U_1}{Q_1} + \frac{U_2}{Q_2}$ ;  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

•  $E = W \neq Q \cdot U$  – platí jen je-li  $U = \text{konst.}$

• v kondensátoru je napětí přímo úměrné náboji, tedy v grafu „trojúhelník“, tedy  $E = W = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2}$

## Část V

# Elektrodynamika

## 9 Elektrický proud

• usměrněný pohyb nosičů náboje (elektrony, ionty)

•  $I = \frac{Q}{t}$ ;  $[C/s] = [A]$

Př.: Rychlost elektronu ve vodiči způsobená tepelným pohybem je asi milion  $m/s$  (neuspoř. pohyb). Určete unášivou rychlost elektronu (driftová rychlost) při průtoku proudu 1 A měděným vodičem s průřezem 1  $mm^2$ .  $(Cu) = 8300 kg/m^3$ ,  $A_r(Cu) = 63,5$  a 1 elektronu z každého atomu mědi vede el. proud.

Za 1 s projde průřezem 1C (protože vedeme 1 A), což je  $\frac{1}{e} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6 \cdot 10^{18}$  ks elektronů

Hmotnost  $6 \cdot 10^{18}$  atomů mědi:

1 atom:  $A_r \cdot u = 63,5 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 10^{-25}$  kg

$6 \cdot 10^{18}$  atomů:  $6 \cdot 10^{-7}$  kg ... objem:  $V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow h = \frac{m}{\rho \cdot S} = 7 \cdot 10^{-5} m$

$\Rightarrow v = 10^{-4}$  m/s

Pozn.: I je skalár, ale má def. směr (a ten je proti směru toku elektronů, tedy z kladného na záporný)

Pozn.: Proud měříme ampérmetrem, který se zapojuje sériově