

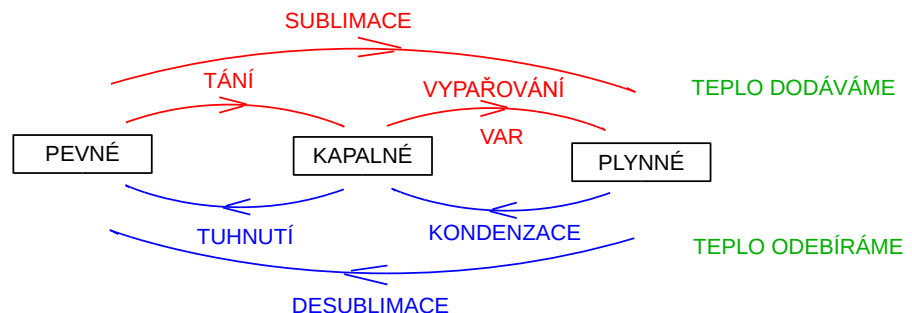
VII. Změny skupenství

7.0 Změny skupenství

a) **změna skupenství** – fyzikální děj, při kterém se mění skupenství látky

- **skupenství**: stav látky (stejná látka může existovat jako plynná, kapalná, pevná)
- např. soustava H₂O: led, voda, vodní pára

b) **přehled změn skupenství**

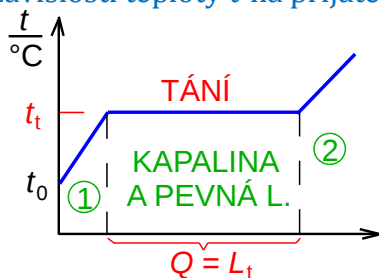


7.1 Tání

a) **tání** – změna skupenství pevného na kapalně, teplo nutné dodat

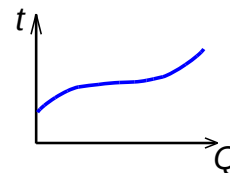
b) **látky**

- **krystalické**: zahříváním roste jejich teplota → po dosažení tzv. teploty tání t_t se přeměňují v kapalinu téže teploty (→ dalším zahříváním se zvyšuje teplota kapaliny)
- **teplota tání t_t** : závisí na druhu látky a vnějším tlaku
 - **normální teplota t_t** : při normálním tlaku, hodnoty v MFChT
[led: 0 °C; olovo: 327,3 °C; kyslík: -218,8 °C; zlato: 1 064,4 °C]
 - lze snížit např. u ledu solením (v zimě) → led taje při nižší teplotě než 0 °C
- **graf závislosti teploty t na přijaté teple Q**



$Q = L_t$... skupenské teplo tání

- ① ... pevnou látku zahříváme z t_0 na t_t
- ② ... kapalina se zahřívá z t_t na vyšší t



- **amorfni**: postupně měknou, až se přemění v kapalinu
 - nemají určitou teplotu tání, tají v určitém rozmezí teplot
- **slitiny kovů**: teplota tání t_t < průměrná t_t jednotlivých kovů
[klempířská pájka: 67 % cínu ($t_{t\text{Sn}} = 232$ °C), 33 % olova ($t_{t\text{Pb}} = 327$ °C) – teplota tání $t_t = 240$ °C]
- **některé látky** (dřevo, mramor) se již při $t < t_t$ rozpadají (nelze je zahřát k t_t)

c) **skupenské teplo tání L_t** – teplo, které musíme dodat tělesu, které je zahřáté na teplotu tání, aby se změnilo z pevného na kapalinu téže teploty $[L_t] = \text{J}$

d) **měrné skupenské teplo tání l_t** – fyz. tepelná konstanta látek

- číselně rovno teplu potřebnému k roztání 1 kg látky při t_t

$$l_t = \frac{L_t}{m} \Rightarrow L_t = m l_t$$

$$[l_t] = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \text{často } \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

– hodnoty v MFChT

	wolfram	olovo	cín	stříbro	měď	železo	led	hliník	NaCl
$\frac{l_t}{\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$	19	23	59	105	205	279	334	397	500

– led: poměrně velké $l_t \Rightarrow$ led, sníh tají na jaře pomalu $\rightarrow$ omezení záplav při jarním tání

e) tání z hlediska molekulové fyziky

- látka přijímá teplo $Q \rightarrow$ roste E_k kmitavého pohybu $\rightarrow$ větší rozkmity částic $\rightarrow$ větší vzdálenosti mezi částicemi $\rightarrow$ roste i E_p
- po dosažení teploty tání t_t – rozkmity tak velké, že se narušuje vazba mezi částicemi mřížky $\rightarrow$ mřížka se rozpadá $\rightarrow$ látka taje (někdy „tavení“)
- v různých krystalických látkách vazební síly mezi částicemi různé $\rightarrow$ každá látka taje při určité teplotě (za daného p)
- přijaté L_t se projeví zvýšením E_p (E_k se nemění $\rightarrow$ neroste t)
- přijímáním dalšího tepla po roztání látky se opět začne zvětšovat $E_k \Rightarrow$ začne se zvyšovat teplota

f) příklady

- ① Jak se změní vnitřní energie tělesa ze železa o hmotnosti 2,3 kg, které se přemění z pevného skupenství na kapalně téže teploty. Těleso má teplotu tání. ($l_t = 279 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$) [641,7 kJ]

$$m = 2,3 \text{ kg}$$

$$l_t = 279 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta U = ? \text{ J}$$

$$\Delta U = Q = L_t = ml_t$$

$$\Delta U = 2,3 \cdot 279 \cdot 10^3 \text{ J} = 641\,700 \text{ J} = 641 \text{ kJ}$$

- ② Vypočítejte teplo potřebné k roztavení tělesa z mědi teploty 20°C a hmotnosti 500 g ($t_t = 1\,083^\circ\text{C}$, $c_{\text{Cu}} = 383 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $l_t = 205 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$). [306 kJ]

$$m = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_t = 1\,083^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{Cu}} = 383 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$l_t = 205 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q = ? \text{ J}$$

potřebné teplo = teplo na dosažení t_t + teplo na roztavení

$$Q = Q_1 + L_t$$

$$Q = cm(t_t - t_0) + ml_t$$

$$Q = [383 \cdot 0,5(1\,083 - 20) + 0,5 \cdot 205 \cdot 10^3] \text{ J}$$

$$Q \doteq 306 \text{ kJ}$$

- ③ Jaké teplo musíme dodat ledu o hmotnosti 2 kg, aby celý roztál a voda měla konečnou teplotu 30°C . Počáteční teplota ledu je -5°C . Dále sestrojte graf závislosti teploty ledu a z něho vzniklé vody na dodávaném teple. ($c = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, $l_t = 334 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$) [960 800 J]

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$t = 30^\circ\text{C}$$

$$t_0 = -5^\circ\text{C}$$

$$t_t = 0^\circ\text{C}$$

$$c = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$l_t = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q = ? \text{ J}$$

potřebné teplo = teplo na zahřátí z t_0 na t_t + teplo na roztání + teplo na zahřátí vody z t_t na t

$$Q = Q_1 + L_t + Q_2$$

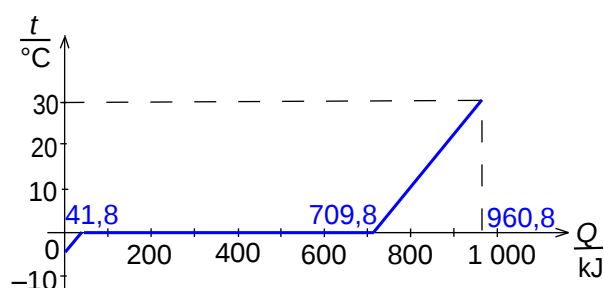
$$Q = cm(t_t - t_0) + ml_t + cm(t - t_t)$$

$$Q = [4\,180 \cdot 2(0 - (-5)) + 2 \cdot 334 \cdot 10^3 + 4\,180 \cdot 2 \cdot (30 - 0)] \text{ J}$$

$$Q = 41\,800 \text{ J} + 668\,000 \text{ J} + 250\,800 \text{ J}$$

$$Q = 960\,800 \text{ J}$$

graf závislosti teploty na dodaném teple



7.2 Tuhnutí

a) tuhnutí – změna skupenství kapalného na pevné

- kapalina odevzdává svému okolí **skupenské teplo tuhnutí** L_t , které je stejné jako skupenské teplo tání pevného tělesa z téže látky a hmotnosti $L_t = ml_t$
- **měrné skupenské teplo tuhnutí** l_t je stejné jako měrné skupenské teplo tání za stejných podmínek u téže látky

b) tuhnutí kapaliny vzniklé táním krystalické látky

- ochlazením na tzv. **teplotu tuhnutí** t_t se mění kapalina v pevné těleso téže teploty
 - pro chemicky čisté látky: teplota tuhnutí = teplota tání (při stejném p)
- **nejprve** se vytvoří **krystalizační jádra** – tzv. **zárodky** → **přidávají se** a pravidelně uspořádávají další částice → vzniká **soustava volně se pohybujících krystalků** nepravidelného tvaru → **po ztuhnutí se** krystalky vzájemně **dotýkají** a vytvářejí tzv. **zrna** → vznik **polykrystalické látky**
- **pokud** se vytvoří **1 zárodek (1 jádro)** → **monokrystalická látka** → **monokrystal** (např. při výrobě velkých monokrystalů např. Si pro polovodičové součástky se jako zárodek vkládá malý monokrystal)
- krystalizačními **jádry** mohou být i **částice prachu** (např. dešťové kapky po dopadu na zem mrznou v náledí)

[teplota tuhnutí elektrolytu nabitého akumulátoru je $-70\text{ }^\circ\text{C}$, nenabitého $-7\text{ }^\circ\text{C}$ (pozor)]

c) příklady

- ① Povrch kaluže o obsahu $1,5\text{ m}^2$ se při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$ pokryl vrstvou ledu tloušťky $2,0\text{ mm}$. Vypočítejte energii, kterou mrznoucí voda předala při tomto ději do okolí. [$0,92\text{ MJ}$]

$$(\rho_{led} = 918\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}, l_t = 334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$$

$$S = 1,5\text{ m}^2$$

$$h = 2\text{ mm}$$

$$t = 0\text{ }^\circ\text{C} = t_t$$

$$\rho = 918\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$l_t = 334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} = 334 \cdot 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\Delta U = ?\text{ J}$$

$$\Delta U = L_t = ml_t \quad \rho = \frac{m}{V} \quad V = Sh$$

$$\Delta U = \rho Sh l_t \quad m = \rho V = \rho Sh$$

$$\Delta U = 918 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 334 \cdot 10^3\text{ J}$$

$$\Delta U = 919\,836\text{ J} \doteq 0,92\text{ MJ}$$

7.3 Změna objemu těles při tání a tuhnutí, závislost teploty tání na tlaku

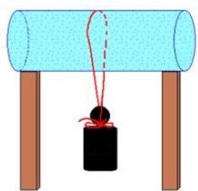
a) změna objemu těles při tání a tuhnutí $\uparrow\downarrow$

- většina látek při tání objem V **zvětšuje** ($\nearrow$), při tuhnutí objem V **zmenšuje** ($\searrow$)
 - např. olovo o 3,4 %, roztavený vosk po ztuhnutí vytvoří prohlubeň
- **některé** látky naopak **při tání V zmenšují** ($\searrow$), **při tuhnutí V zvětšují** ($\nearrow$) [např. led!]
 - význam: v přírodě – plovoucí led ($\rho_{ledu} < \rho_{vody}$) zabraňuje zamrzání vody do větší hloubky (má malou tepelnou vodivost)
 - led při zamrzání rozrušuje skály, způsobuje praskání zdiva, potrubí, zmrznutí rostlin

b) teplota tání závisí na tlaku – při zvýšení p ($\nearrow$)

- pro látky, u nichž **při tání roste V ($\nearrow$)**, roste i teplota tání t_t ($\nearrow$) a naopak [např. Pb při $\Delta p = 10^5\text{ Pa} \Rightarrow \Delta t_t = 8\text{ mK}$]
- pro látky, u nichž **při tání se zmenšuje V ($\searrow$)**, klesá i teplota tání t_t ($\searrow$) a naopak [např. led při $\Delta p = 10^5\text{ Pa} \Rightarrow \Delta t_t = 7,3\text{ mK}$]

c) regelace ledu (znovuzamrznutí)



- pod tenkým drátkem zatíženým závažím je velký tlak $\Rightarrow t_t < 0\text{ °C} \Rightarrow$ led pod ním taje
- drátek vniká do ledu, vznikající voda se dostane nad drátek, kde je nižší tlak než pod drátkem a tedy voda zase zamrzne
- po proniknutí drátku ledem je led opět vcelku

d) hmotnost těles se při tání a tuhnutí nemění

e) zajímavosti

- při bruslení sice větší tlak, ale tenká vrstva vody podmiňující kluzkost ledu vzniká ve skutečnosti třením bruslí o led (konáním práce se zvětšuje vnitřní energie tenké povrchové vrstvy ledu $\Rightarrow$ led na povrchu taje)

– led plovoucí na vodě

- z Archimédova zákona (viz 1. roč.) plyne



$$\frac{V'}{V} = \frac{\rho_t}{\rho_k} \Rightarrow V' = \frac{\rho_t}{\rho_k} V$$

V' ... objem ponořené části

V ... objem tělesa

ρ_k ... hustota kapaliny

ρ_t ... hustota tělesa

- pro led a vodu $V' = \frac{900}{1000} V = \frac{9}{10} V$ pod vodou $\frac{9}{10} V$ nad vodou $\frac{1}{10} V$

7.4 Sublimace a desublimace

a) sublimace – přeměna látky z pevného přímo na skupenství plynné

- např. za normál. tlaku – jód, kafr, pevný oxid uhličitý (tzv. suchý led), sníh, všechny vonící nebo páchnoucí látky
- sušení zmrzlého prádla v zimě

– teplo nutné dodat

- **skupenské teplo sublimace** (teplo přijaté látkou o hmotnosti m při její sublimaci za dané teploty) $L_s = m l_s$ $[L_s] = \text{J}$

- **měrné skupenské teplo sublimace** $l_s = \frac{L_s}{m}$ $[l_s] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

- konstanta pro různé látky, závisí na teplotě, např. led 0 °C : $l_s \doteq 2,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

b) sublimující látka dostatečné hmotnosti v uzavřené nádobě sublimuje tak dlouho, až se vytvoří rovnovážný stav mezi pevnou látkou a vzniklou párou – tzv. sytá pára

- objemy pevné a syté páry se dále nemění, tlak a teplota soustavy konstantní

- např. v termosce s ledem $t = -5\text{ °C}$ se vytvoří pára téže teploty a tlaku asi $0,4 \text{ kPa}$

- u látek, u nichž sublimaci nepozorujeme je tlak páry nad pevnou látkou tak malý, že ho nelze změřit

c) desublimace – přeměna látky ze skupenství plynného přímo ve skupenství pevné

- **teplo odebíráme** (stejně jako sublimační)

- např. vznik jinovatky z vodní páry za teplot kolem 0 °C