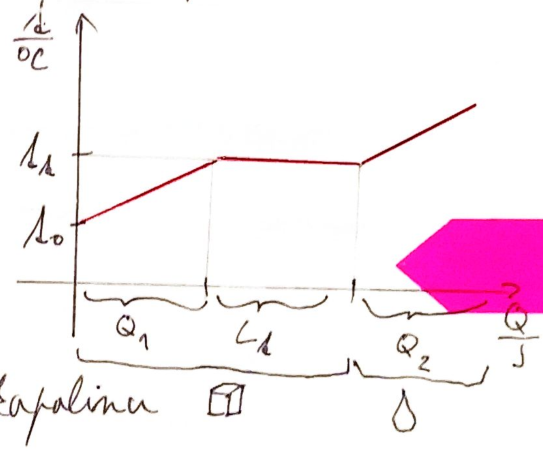
ZMĚNY SKUPENSTVÍ LÁTEK

- Skupenství – pevné, kapalné, plynné, plasma
  - → konkrétní forma látky
  - → projevuje se charakteristickými vlastnostmi
    - tekutost kapalin
    - krystalická mřížka pevných těles
    - vysoká stlačitelnost plynů
- Fáze ≠ skupenství
  - → v rozmezí určitých vnějších veličin – teplota, tlak – má látka pouze 1 skupenství (100 kPa ∧ 0°C – 100°C ⇒ voda), ale může mít více fází
  - → např. led má cca 20 fází – většina uměle vytvořených
    - liší se např. stabilitou a tvarem krystalické mřížky
  - → roztok $CuSO_4$ v H_2O je soustava 2 složek o 1 fázi
- Tání → ⇒



  - → těleso má teplotu $t_0 < t_1$
  - Q_1 → dodáním tepla ohřeju těleso na t_1
  - L_1 → dodám skupenské teplo tání
    - ↳ využije se na změnu skupenství
  - Q_2 → dalším dodáváním tepla ohřívám kapalinu
  - Skupenské teplo tání – L_1
    - teplo, které přijme o t_1, aby se přeměnilo na o t_1
  - Měrné skupenské teplo tání – l_1
    - teplo, které musí přijmout 1 kg o teplotě t_1, aby...

$L_1 = l_1 \cdot m$ $[l_1] = J \cdot kg^{-1}$

→ Teplo potřebné na ohřátí tělesa – viz Molekulární kinetická teorie l.

c = měrná tepelná kapacita

$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$

- Tuhnutí → ⇒
  - → stejný princip jako u tání ale naopak
  - → teplota tání = teplota tuhnutí = t_t
  - → skupenské teplo tuhnutí = skup. teplo tání = $L_t = l_t \cdot m$
  - → jev, kde při tuhnutí vzniká krystalická látka = krystalizace
- Závislost t_t na vnějším tlaku
  - → s rostoucím tlakem roste pro většinu látek i t_t
  - → a většina látek při tání zvětšuje svůj objem
  - → některé látky to mají naopak – anomálie vody
  - – regelace = jev, kdy těleso pod tlakem taje a potom opětovně tuhne
- Sublimace → ⇒
  - → dochází k ní, když tělesu dodáme teplo – za všech teplot
  - → všechny vonící/páchnoucí látky sublimují ⇒ není žádné t_s

$L_s = l_s \cdot m$

- Desublimace → ⇒
  - → opačný proces k sublimaci ⇒ $L_{Ds} = L_s = l_s \cdot m$
- Vypařování → ⇒
  - Vypařování z volného povrchu kapaliny
    - → probíhá za jakékoli teploty, ale různou rychlostí
    - → lze urychlit – zvýšením teploty, zvětšením plochy volné kapaliny
      - – odváděním par z prostoru nad kapalinou

$L_v = l_v \cdot m$ – l_v závisí na teplotě – $\uparrow t \Rightarrow \downarrow l_v$

voda → $t = 0\,°C \Rightarrow l_v = 2{,}51\ MJ \cdot kg^{-1}$ | $t = 100\,°C \Rightarrow l_v = 2{,}26\ MJ \cdot kg^{-1}$

  - Vypařování z celého objemu kapaliny = var
    - → při teplotě varu se začne kapalina vypařovat z celého objemu
    - → bubliny páry se vytvářejí v kapalině a pohybují se nahoru
      - → tlak uvnitř bublin = vnější tlak
    - → kapalina i pára mají t_v
    - → t_v roste s vnějším tlakem

voda → 100 kPa : 100 °C } princip Papinova hrnce
200 kPa : 120 °C → vaření za ↑ teplot

• Vypařování v uzavřené nádobě
→ zmenšuje se V kapaliny, zvětšuje se V páry ⇒ tlak páry stoupá
→ rovnovážný stav
- vypařilo se tolik kapaliny, že se už nemění objem kap. ani páry
- vypařování probíhá, ale kondenzace je stejně rychlá

⇒ sytá pára – teplota a tlak syté páry jsou stejné jako kapaliny

→ přehřátá pára
- vzniká ze syté páry bez přítomnosti kapaliny
  ↳ zvětšením V nebo t se všechna kapalina odpaří
- má ↓ p, ρ ⇒ blíží se ideálnímu plynu

→ podchlazená pára
- vzniká ze syté páry bez přítomnosti kapaliny
  ↳ stlačováním nebo ochlazováním za nepřítomnosti kondenzačních jader – drobné částice, umožňují kondenzaci
- má ↑ p, ρ a je nestabilní – rychle kondenzuje za přítomnosti k. j.

• Kondenzace → 
- nastane stlačením nebo ochlazením plynu → $L_k = L_v = l_v \cdot m$

• Absolutní vlhkost vzduchu – Φ – velké fí

$\Phi = \frac{m}{V}$ = hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu o objemu V
→ v podstatě hustota vodní páry ve vzduchu ⇒ $[\Phi] = kg \cdot m^{-3}$

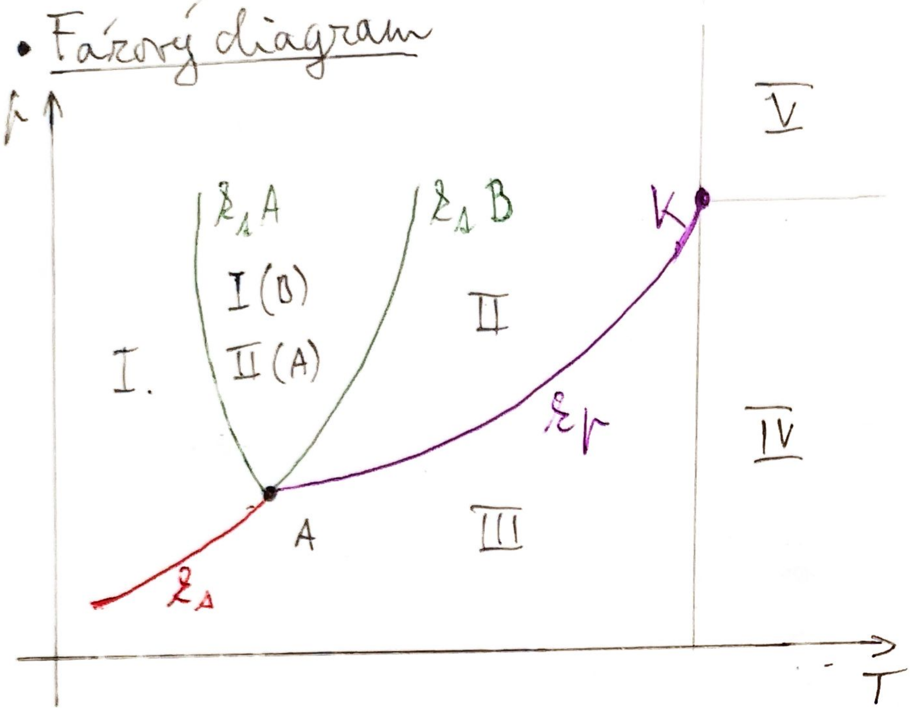
• Relativní vlhkost vzduchu – φ – malé φ ↗ tabulky

$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_M}$ → Φ_M = absolutní vlhkost vzduchu nasyceného sytou párou při dané teplotě ⇒ různá t ⇒ různá Φ_M

$\varphi = \frac{p}{p_0}$ – p_0 = tlak syté páry $\varphi = \frac{m}{M}$, M syté páry o stejném objemu

• Rosný bod – t_r ↙ například
mám φ (=76%) za teploty t (=20°C), hledám teplotu rosného bodu, za které by aktuální Φ bylo Φ_M → t_r (=15°C)
⇒ t_r = teplota, při které je vzduch plně nasycen vodní párou
→ vzduch za ↓ teploty může obsahovat ↓ vodních par než za ↑ teploty

- **Fázový diagram**



- I - pevná látka
- II - kapalina
- III - přehřátá pára
- IV - ≈ ideální plyn
- V - superkritická oblast

- K - kritický bod - dán max. teplotou, kdy látka může být
- A - trojný bod - látka je v rovnovážném stavu - -
  → za těch podmínek může látka být , i
- k_s - sublimační křivka - rovnovážný stav -
- k_p - křivka syté páry - rovnovážný stav -
- k_t - křivka tání - 2 možné situace

  A) při větším tlaku je t_t nižší, při tání zmenšují objem } anomálie vody

  B) při větším tlaku je t_t vyšší, při tání zvětšují objem } většina látek

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1) 200 gramů vody o teplotě 20 °C máme ochladit ledem o teplotě -5 °C tak, aby výsledná voda měla teplotu 5 °C. Vypočítejte hmotnost ledu, který musíme použít, pokud tepelná výměna proběhne pouze mezi vodou a ledem. Výsledek vyjádřete v gramech a zaokrouhlete na desetiny.
(c_{vody} = 4,18 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, c_{ledu} = 2,09 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, l_t = 332 kJ.kg^{-1}, t_t = 0 °C)
$\left(m_{ledu} = \frac{m_{vody}c_{vody}(t_{vody}-t)}{c_{ledu}(t_t-t_{ledu})+l_t+c_{vody}(t-t_t)} \doteq 34{,}5\ g\right)$

2) Kalorimetr obsahoval 0,2 kg vody. Teplota vody i kalorimetru byla 19 °C. Po přidání 15 g ledu o teplotě -10 °C do kalorimetru proběhla tepelná výměna, jejímž důsledkem roztál led a výsledná teplota vody i kalorimetru byla 12,6 °C. Vypočítejte tepelnou kapacitu kalorimetru, výsledek zaokrouhlete na celé J.K^{-1}.
(c_{vody} = 4,18 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, c_{ledu} = 2,09 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, l_t = 332 kJ.kg^{-1}, t_t = 0 °C)
$\left(C = \frac{m_{ledu}\left(c_{ledu}(t_t-t_{ledu})+l_t+c_{vody}(t-t_t)\right)}{t_{vody}-t} - m_{vody}c_{vody} = 0{,}11\,455\ kJ.K^{-1} \doteq 115\ J.K^{-1}\right)$

3) Žulový kámen o hmotnosti 2,5 kg a teplotě 85 °C byl vložen do nádoby obsahující 2 kg ledové drti o teplotě -15 °C. Kolik gramů ledu roztálo a změnilo se na kapalnou vodu, přepokládáme-li, že došlo k tepelné výměně výhradně mezi žulovým kamenem a ledovou drtí, v jejímž důsledku se kámen ochladil na teplotu tání ledu, všechen led se ohřál na teplotu tání ledu a část ledu roztála?
($c_{žuly}$ = 0,80 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, c_{ledu} = 2,09 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, l_t = 332 kJ.kg^{-1}, t_t = 0 °C)
$\left(m = \frac{m_{žuly}c_{žuly}(t_{žuly}-t_t)-m_{ledu}c_{ledu}(t_t-t_{ledu})}{l_t} \doteq 323\ g\right)$

4) V kalorimetru o tepelné kapacitě 100 J.K^{-1} bylo 500 g ledu. Teplota kalorimetru i ledu byla 0 °C. Po napuštění 100 g vodní páry o teplotě 100 °C do kalorimetru led roztál, pára zkondenzovala a došlo k ustálení teploty vzniklé vody a kalorimetru. Vypočítejte výslednou teplotu vody a kalorimetru.
(c = 4,18 kJ.kg^{-1}.K^{-1}, l_t = 332 kJ.kg^{-1}, l_v = 2 260 kJ.kg^{-1}, t_t = 0 °C)
$\left(t = \frac{m_{páry}(l_v+ct_{páry})-m_{ledu}l_t+t_t(m_{ledu}c+C)}{c(m_{ledu}+m_{páry})+C} \doteq 39\ °C\right)$

5) Jakou nejmenší rychlost musí mít olověná střela, aby se při nárazu na ocelovou desku roztavila? Teplota střely při dopadu je 27 °C, teplota tání olova je 327 °C, měrné skupenské teplo tání olova je 22,6 kJ.kg^{-1}, měrná tepelná kapacita olova je 0,129 kJ.kg^{-1}K^{-1}. Předpokládej, že ocelová deska nepřebírá žádné teplo.

1) $m_1 = 0{,}2\ kg$

$t_1 = 20\,°C$

$t_2 = -5\,°C$

$t = 5\,°C$

$c_1 = 4180\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$c_2 = 2090\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$l_1 = 332 \cdot 10^3\ J \cdot kg^{-1}$

$m_2 = ?$

$Q_1 = Q_2 + L_1 + Q_3$

teplo vydané vodou; přijme to led aby se ohřál na t_1; roztaje; ohřeje se na t

už to je voda

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_1 - t_2) + l_1 \cdot m_2 + c_1 \cdot m_2 (t - t_1)$$

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = m_2 \left[c_2 (t_1 - t_2) + l_1 + c_1 (t - t_1) \right]$$

$$m_2 = \frac{c_1 \cdot m_1 (t_1 - t)}{c_2 (t_1 - t_2) + l_1 + c_1 (t - t_1)}$$

$$m_2 = \frac{4180 \cdot 0{,}2 \cdot 15}{2090 \cdot 5 + 332\,000 + 4180 \cdot 5}\ kg$$

$$m_2 \doteq 0{,}0345\ kg = \underline{\underline{34{,}5\ g}}$$

2) $m_1 = 0{,}2\ kg$
$t_1 = 19\ °C$
$m_2 = 15 \cdot 10^{-3}\ kg$
$t_2 = -10\ °C$
$t = 12{,}6\ °C$
$C_K = ?$

$$\left[\begin{array}{l} c_1 = 4180\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \\ c_2 = 2090\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \end{array}\right.$$

$$Q_K + Q_1 = Q_2 + L_t + Q_3$$

$$C_K(t_1 - t) + c_1 \cdot m_1(t_1 - t) =$$
$$= c_2 \cdot m_2(t_t - t_2) + l_t \cdot m_2 + c_1 \cdot m_2(t - t_t)$$

$$C_K = \frac{c_2 \cdot m_2(t_t - t_2) + c_1 \cdot m_2(t - t_t) + l_t \cdot m_2 - c_1 \cdot m_1(t_1 - t)}{t_1 - t}$$

$$C_K = \frac{m_2\left[c_2(t_t - t_2) + c_1(t - t_t) + l_t\right]}{t_1 - t} - c_1 m_1 = \underline{\underline{115\ J}}$$

3) $m_1 = 2{,}5\ kg$
$t_1 = 85\ °C$
$m_2 = 2\ kg$
$t_2 = -15\ °C$
$m_0 = ?$

$$\left[\begin{array}{l} c_1 = 800\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \\ c_2 = 2090\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \end{array}\right.$$

$$Q = Q_1 + L'_t$$

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_t) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_t - t_2) + l_t \cdot m_0$$

$$m_0 = \frac{c_1 \cdot m_1(t_1 - t_t) - c_2 \cdot m_2(t_t - t_2)}{l_t} \doteq \underline{\underline{323\ g}}$$

4) $C_K = 100\ J \cdot K^{-1}$
$m_1 = 0{,}5\ kg$
$t_1 = 0\ °C$
$m_2 = 0{,}1\ kg$
$t_2 = 100\ °C$
$t = ?$

$$\left[\begin{array}{l} c = 4180\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} \\ l_t = 332 \cdot 10^3\ J \cdot kg^{-1} \\ l_v = 226 \cdot 10^4\ J \cdot kg^{-1} \end{array}\right.$$

$$Q_K + L_t + Q_1 = L_v + Q_2$$

$$C_K \cdot (t - t_1) + l_t \cdot m_1 + c \cdot m_1 \cdot (t - t_1) = l_v \cdot m_2 + c \cdot m_2(t_2 - t)$$

$$C_K \cdot t + c \cdot m_1 \cdot t + c \cdot m_2 \cdot t = C_K \cdot t_1 - l_t \cdot m_1 + c \cdot m_1 \cdot t_1 + l_v \cdot m_2 + c \cdot m_2 t_2$$

$$t = \frac{m_2(l_v + c \cdot t_2) + t_1(C_K + c \cdot m_1) - l_t \cdot m_1}{C_K + c(m_1 + m_2)} = \underline{\underline{39\ °C}}$$

5) $t_1 = 27\ °C$
$t_t = 327\ °C$
$l_t = 22{,}6 \cdot 10^3\ J \cdot kg^{-1}$
$c = 129\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$
$v = ?$

$$E_K = Q_1 + L_t$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = c \cdot m \cdot (t_t - t_1) + l_t \cdot m$$

$$v^2 = 2c(t_t - t_1) + 2 l_t$$

$$v = \sqrt{2c(t_t - t_1) + 2 l_t}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 129 \cdot 300 + 2 \cdot 22{,}6 \cdot 10^3} = \underline{\underline{350\ km/h}}$$

6) Vodní pára o teplotě 100°C a hmotnosti 3kg zkondenzovala, vzniklá voda se ochladila na 0°C, zmrzla a vzniklý led se ochladil na -10°C. Jakou energii při uvedených procesech odebralo okolní prostředí? (výsledek uveď v MJ a zaokrouhli na celky)

7) Do kalorimetru o tepelné kapacitě 0,12 kJ.K^{-1} obsahujícího 1,2 kg vody o teplotě 25,0 °C vhodíme 0,20 kg ledu o teplotě 0 °C. Když všechen led roztaje, ustálí se v kalorimetru výsledná teplota 10,4 °C. Vypočítej měrné skupenské teplo tání ledu.

6) $m = 3\ kg$

$t_0 = 100°C$

$t_1 = 0°C$

$t = -10°C$

$l_v = 226 \cdot 10^4\ J \cdot kg^{-1}$

$l_1 = 332 \cdot 10^3\ J \cdot kg^{-1}$

$c_1 = 4180\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$

$c_2 = 2090\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$

$Q = ?$

$$Q = L_v + Q_1 + L_1 + Q_2$$

$$Q = m\left[l_v + c_1 \cdot (t_0 - t_1) + l_1 + c_2(t_1 - t)\right]$$

$$Q = 3\left[226 \cdot 10^4 + 418 \cdot 10^3 + 332 \cdot 10^3 + 209 \cdot 10^2\right]\ J$$

$$\underline{\underline{Q \doteq 9\ MJ}}$$

7) $C_K = 120\ J \cdot K^{-1}$

$m_1 = 1{,}2\ kg$

$t_1 = 25°C$

$m_2 = 0{,}2\ kg$

$t_2 = 0°C$

$t = 10{,}4°C$

$c = 4180\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$

$l_1 = ?$

$$Q_K + Q_1 = L_1 + Q_2$$

$$C_K \cdot (t_1 - t) + c \cdot m_1 (t_1 - t) = l_1 \cdot m_2 + c \cdot m_2 (t - t_2)$$

$$l_1 = \frac{(t_1 - t)(C_K + c \cdot m_1) - c \cdot m_2 (t - t_2)}{m_2}$$

$$l_1 = \frac{14{,}6(120 + 4180 \cdot 1{,}2) - 4180 \cdot 0{,}2 \cdot 10{,}4}{0{,}2}\ J \cdot kg^{-1}$$

$$\underline{\underline{l_1 \doteq 331{,}5\ kJ \cdot kg^{-1}}}$$