

Změny skupenství látek

Pevná látka }
 Kapalina } soustava velkého počtu částic
 Plyn }

Má-li soustava v rovnovážném stavu ve všech částech stejné fyzikální a chemické vlastnosti (stejnou hustotu, stejnou strukturu a stejné chem. složení)

⇒ nazýváme ji FÁZE

různé fáze – např. různá skupenství, různé krystalové struktury pevné látky

Soustava může obsahovat více fází.

FÁZOVÁ ZMĚNA – přechod látky z jedné fáze do druhé
 Jeden z druhů fázové změny je ZMĚNA SKUPENSTVÍ.

Tání a tuhnutí

teplota tání t_t

skupenské teplo tání L_t (teplo, které těleso o hmotnosti m z krystalické látky přijme při teplotě tání, aby se přeměnilo v kapalinu téže teploty)

měrné skupenské teplo tání l_t ... $l_t = \frac{L_t}{m}$ $[l_t] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Opačný děj ... tuhnutí

skupenské teplo tuhnutí L_t

(amorfní látky postupně měknou až se přemění v kapalinu, nemají pevnou t_t)

Látka přijímá teplo → roste E_k částic → zvětšuje se střední vzdálenost částic → roste E_p vzájemné polohy částic

→ při t_t se rozkmity částic narušuje vazba mezi částicemi krystalové mřížky → mřížka se rozpadá → tání

Látka při t_t přijímá teplo → nemění se ale E_k a tím ani t → zvětšuje se jen E_p

⇒ Při t_t je U roztátého tělesa $> U$ téhož tělesa v krystalickém stavu při téže t .

Kapalina odevzdává teplejším tělesům teplo → E_k částic kapaliny klesá, t kapaliny klesá

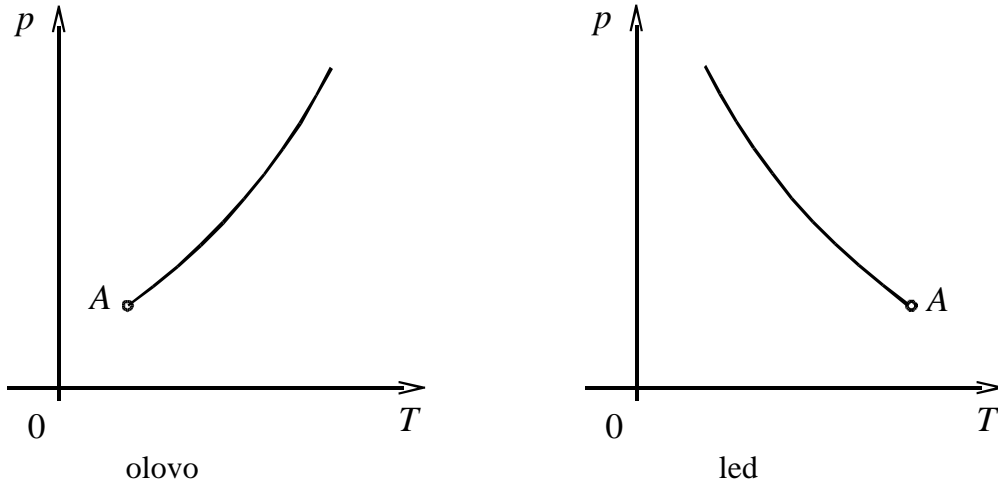
Při teplotě tuhnutí vznikají krystalizační jádra → krystalizace → vznikne soustava volně se pohybujících krystalků nepravidelného tvaru.

Při ztuhnutí celé látky se krystalky dotýkají a vznikají zrna → vzniká polykrystalická látka

monokrystalická látka – vznik z jednoho krystalizačního jádra, ke kterému se připojují další částice látky

Křivka tání

- A) u většiny látek - s rostoucím vnějším p roste teplota tání
 B) led, antimon, některé slitiny - s rostoucím vnějším p teplota tání klesá (př. regelace ledu)



Za normálního tlaku se udávají normální teploty tání
 látky typu A ... při tání zvětšují objem
 látky typu B ... při tání snižují objem (zaplňování prostorových kanálků při tání)
 důsledek – plavání ledu na hladině

Sublimace

přeměna z pevného skupenství v plynné (opak je desublimace)

Měrné skupenské teplo sublimace:

$$l_s = \frac{L_s}{m}$$

L_s ... skupenské teplo sublimace přijaté tělesem o hmotnosti m při jeho sublimaci za dané t

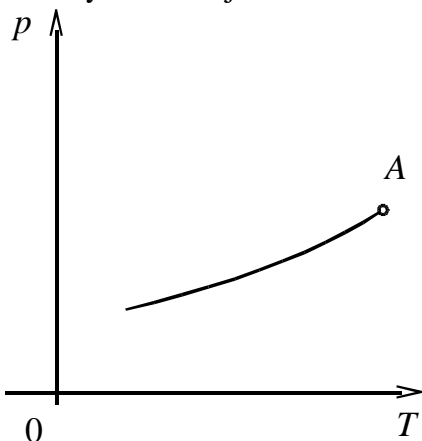
l_s ... závisí na teplotě, při které látka sublimuje

$$[l_s] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Sublimuje-li látka o dostatečné hmotnosti → po čase se ustaví rovnovážný stav mezi pevnou fází a její párou, ta se nazývá sytá pára.

Sublimační křivka – závislost tlaku syté páry na teplotě

- body znázorňují rovnovážné stavy mezi pevnou látkou a její sytou párou



Sublimační křivka

Struktura a vlastnosti pevných látek

Vypařování a var kapaliny

Vypařování probíhá z volného povrchu kapaliny za každé teploty.

$$l_v = \frac{L_v}{m}$$

měrné skup. teplo vypařování

S rostoucí teplotou vypařování l_v klesá.

Var: kapalina se vypařuje i uvnitř (bublínky)

teplota varu (normální t_v ... při normálním vnějším p)

(vyšší vnější p ... vyšší t_v ... Papinův hrnec; nižší vnější p ... nižší t_v)

Měrné skupenské teplo varu = l_v při t_v

Vypařování kapaliny z hlediska molekulové fyziky: molekuly s dostatečnou energií unikají z volného povrchu kapaliny

- povrch kapaliny opouštějí molekuly s nejvyšší E_k

- střední E_k molekul kapaliny se zmenší \Rightarrow pokles teploty vypařující se kapaliny

Obrácený děj - kapalnění (kondenzace)

Měrné skupenské teplo kondenzace = měrné skupenské teplo vypařování při téže t

kapalnění – spojování molekul do kapiček (snazší na drobných zrnkách prachu nebo el. nabitých částicích)

Úlohy:

1/ Led o hmotnosti 1,0 kg a počáteční teplotě -10°C se přeměnil na vodu o teplotě 20°C za normálního tlaku. Sestrojte graf závislosti teploty tělesa na přijatém teple. Měrná tepelná kapacita ledu je $2,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita vody je $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, měrné skupenské teplo tání ledu je $334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vypočítejte celkové přijaté teplo.

$$m_l = 1 \text{ kg}$$

$$t_l = -10^\circ\text{C}$$

$$c_l = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

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

$$m_v = 1 \text{ kg}$$

$$c_v = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

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

$$Q = ?$$

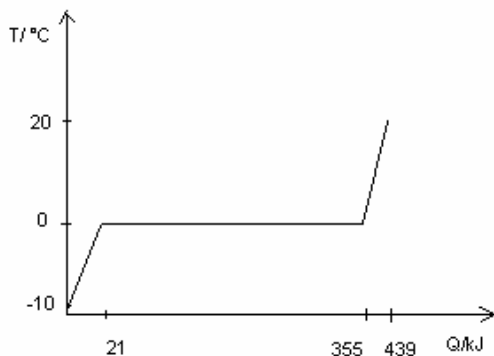
Řešení:

$$Q = mc_l(0 - t_l) + ml_t + mc_v(20 - 0)$$

$$Q = (1 \cdot 2,1 \cdot 10 + 1 \cdot 334 + 1 \cdot 4,2 \cdot 20) \text{ kJ}$$

$$Q = (21 + 334 + 84) \text{ kJ}$$

$$Q = 439 \text{ kJ}$$



Celkové přijaté teplo je 439 kJ.

2/ Jak se změní vnitřní energie tělesa z cínu o hmotnosti 3,0 kg při teplotě tání, jestliže se přemění z pevného skupenství v kapalné téže teploty? Měrné skupenské teplo tání cínu je $61 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

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

$$l_t = 61 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta U = ?$$

Řešení:

$$\Delta U = Q = m \cdot l_t = 3 \cdot 61 \cdot 10^3 = 183 \text{ kJ}$$

Vnitřní energie tělesa se zvýší o 183 kJ.

3/ Jak se liší vnitřní energie vody o hmotnosti 300 g a teploty $20 \text{ }^\circ\text{C}$ od vnitřní energie vodní páry téže hmotnosti a teploty, je-li $l_{20} = 2,43 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$? Práci spojenou se zvětšením objemu při vypařování vody zanedbejte.

$$m = 0,3 \text{ kg}$$

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

$$l_{20} = 2,43 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta U = ?$$

Řešení:

$$\Delta U = L_{20} = m \cdot l_{20} = 0,3 \cdot 2,43 = 0,729 \text{ MJ}$$

Vnitřní energie vodní páry je vyšší o 0,729 MJ.

4/ Vodní pára o hmotnosti 2,0 kg a o teplotě $100 \text{ }^\circ\text{C}$ zkapalní a vzniklá voda se ochladí na teplotu $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Jaké celkové teplo odevzdá soustava do okolí?

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

$$t_p = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$l_v = 2,26 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c = 4,18 \cdot \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

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

$$Q = ?$$

Řešení:

$$Q = m \cdot l_v + m \cdot c \cdot (t_p - t_v) = (2 \cdot 2,26 \cdot 10^3 + 2 \cdot 4,18 \cdot 80) \text{ kJ} \\ = 5\,200 \text{ kJ} = 5,2 \text{ MJ}$$

Celkové odevzdané teplo do okolí je 5,2 MJ.

Křivka syté páry

- vypařování kap. v uzavřené nádobě

- nastane dynamická rovnováha mezi kap. a párou \Rightarrow syťá pára

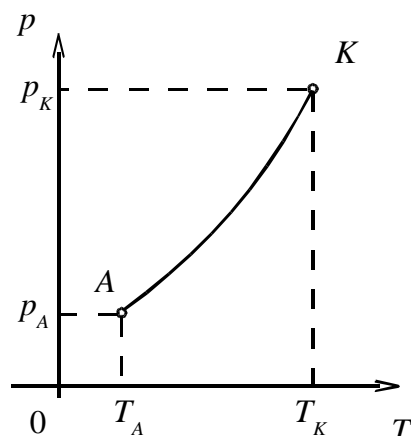
(Při rovnováze počet molekul, které opouštějí povrch kapaliny za dobu t = počet molekul které se do kapaliny vrací za dobu t).

tlak syťé páry nezávisí na objemu při stálé t (zvětšíme-li objem nad kapalinou izotermicky, pokračuje vypařování do původní hodnoty tlaku syťé páry)

\Rightarrow neplatí ani Boyle - Mariottův zákon ani stavová rovnice

- tlak syťé páry roste s rostoucí teplotou (molekuly mají větší E_k , více jich přejde v páru)

- **KŘIVKA SYTÉ PÁRY** – závislost p syťé páry na její T



A – počáteční bod křivky syťé páry

T_A ... teplota tuhnutí kapalné fáze při tlaku p_A ... nejmenší hodnota T a p , kdy je kapalina a syťá pára ještě v rovnováze

K ... kritický bod křivky syťé páry

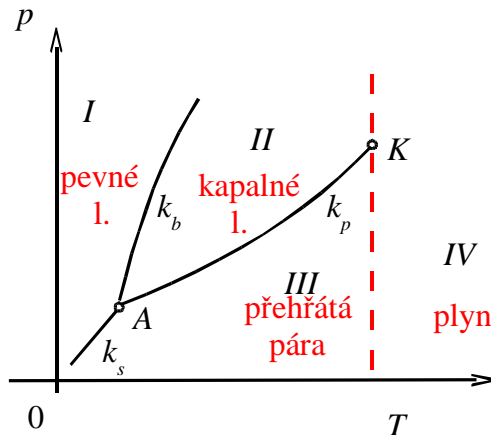
Při T_K a p_k je hustota kapaliny rovna hustotě syťé páry ... zmizí rozhraní mezi kapalinou a její syťou párou, látka se stává stejnorodou.

Při vyšší teplotě než T_k je jen pára.

Z křivky syté páry lze odečíst teplotu varu kapaliny při daném vnějším tlaku – při varu v kapalině vznikají bubliny syté páry a vystupují k volnému povrchu kapaliny. To je v případě, kdy se tlak syté páry uvnitř bublin rovná vnějšímu tlaku. Zvýší-li se tlak nad volným povrchem kapaliny, nastane var až po takovém zvýšení teploty kapaliny, že se tlak uvnitř bublin vyrovná vnějšímu tlaku. Teplota varu tedy roste s rostoucím vnějším tlakem.

Fázový diagram

- všechny 3 výše uvedené křivky v jednom grafu



Každý bod znázorňuje určitý stav látky při zvolené T a p .

A ... trojný bod (pro H_2O $T = 273,16$ K

$$p_A \approx 610 \text{ Pa}$$

- v uzavřené nádobě led, voda a sytá pára)

Oblast III – přehřátá pára

- má nižší tlak a hustotu než sytá pára téže teploty (buď sytou páru izotermicky rozepneme anebo ji zahříváme bez přítomnosti kapaliny)

Pokud je přehřátá pára daleko od stavu syté páry, potom pro ni přibližně platí stavová rovnice ideálního plynu.

(Pro sytou páru neplatí stavová rovnice pro IP – Její tlak nezávisí na jejím objemu; Při dostatečném zvětšení objemu nebo zahříváním páry bez přítomnosti kapaliny se bude projevovat závislost tlaku na objemu páry)

Oblast IV – plyn

- plyn zkapalníme ochlazením pod teplotu T_k a potom ho stlačíme

ochlazení:

- adiabatickým rozpínáním
- prudkým vypařováním některých zkapalněných plynů lze dosáhnout velmi nízkých teplot

Vodní pára v atmosféře

absolutní vlhkost vzduchu

$$\Phi = \frac{m}{V} \quad \dots \text{ vlastně hustota vodních par}$$

Vodní pára ve vzduchu je zpravidla přehřátá → při určité teplotě přejde v sytou (např. dalším vypařením vody, potom je vlhkost maximální Φ_m ($\Phi_m = \rho_m$ hustotě syté páry za dané teploty)

relativní vlhkost vzduchu

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} \quad \dots \text{ v \%}$$

Klesá-li teplota vzduchu s přehřátou párou → přehřátá pára se stává sytou a kapalní

⇒ teplota rosného bodu t_r
(je-li $t_r < 0$ potom jinovatka nebo sníh)

Příklad: Jaká je absolutní a relativní vlhkost vzduchu, má-li vzduch teplotu 10°C a teplota rosného bodu je 0°C ?

Tabulky: Hustota syté vodní páry při teplotě 0°C má hodnotu $4,8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. Tuto hustotu má i přehřátá pára vody teploty 10°C . Absolutní vlhkost vzduchu teploty 10°C je tedy $\Phi = 4,8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Hustota syté vodní páry při teplotě 10°C je $\rho_m = 9,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. Relativní vlhkost vzduchu při této teplotě je $\varphi = \frac{4,8}{9,4} \cdot 100\% \approx 51\%$.

Relativní vlhkost vzduchu se dá měřit např. vlasovým vlhkoměrem. Ten je založen na jevu, že lidský vlas zbaven tuku mění při značné vlhkosti svou délku. Vlas se vede přes kladku opatřenou ručičkou. Ta ukazuje na stupnici relativní vlhkost vzduchu.

Úlohy:

1/ Při které teplotě vzduchu je teplota rosného bodu -5°C a relativní vlhkost vzduchu 67 % ?

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

$$\varphi = 67\%$$

$$t = ?$$

Řešení:

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m} = 0,67$$

$$t_r = -5^\circ\text{C} \Rightarrow \text{z tabulek: } \Phi_{tr} = 3,24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\Phi_m = \frac{\Phi_{tr}}{0,67} = 4,84 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \Rightarrow \text{z tabulek: } t = 0^\circ\text{C}$$

Výše uvedeným podmínkám odpovídá teplota 0°C .

2/ V místnosti o objemu 120 m^3 je při teplotě 15°C relativní vlhkost vzduchu 60% . Jakou hmotnost mají vodní páry v místnosti?

$$V = 120 \text{ m}^3$$

$$t = 15^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 60\%$$

$$m = ?$$

Řešení:

$$\Phi_m = 12,8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = V \cdot \Phi = V \cdot \Phi_m \cdot \varphi = 120 \cdot 12,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 = \\ = 0,92 \text{ kg}$$

Hmotnost vodních par v místnosti je $0,92 \text{ kg}$.