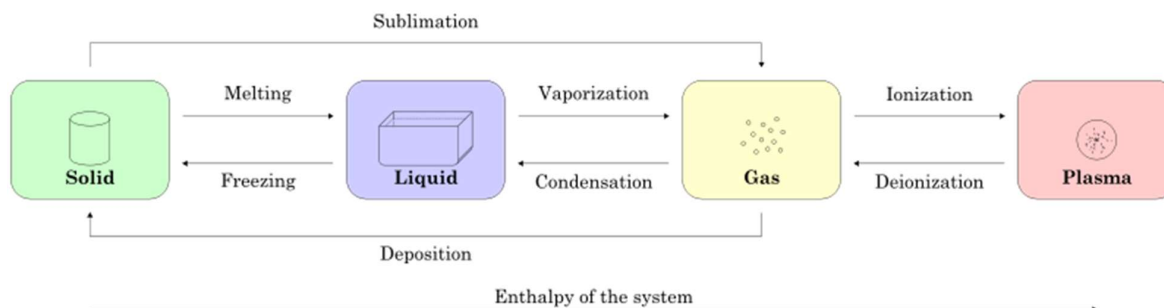


Změny skupenství

Částice jedné látky mohou tvořit více struktur (skupenství se charakterizuje uspořádáním částic)

Základní změny skupenství:

- Tání / tuhnutí
- Vypařování (+ var) / kapalnění
- Sublimace / desublimace
- Ionizace / deionizace



Ostatní skupenství vznikají za neobvyklých podmínek- např.:

- Vysoká teplota (kvarkgluonové plazma)
- Vysoký tlak (degenerovaný plyn)
- Nízká teplota (Bose-Einsteinův kondenzát, Fermiho kondenzát, supratekutost, supravodivost)
- Specifické struktury a podmínky (sklo- nekystalické amorfnní látky, tekuté krystaly, magnetické struktury, časové krystaly)
- ...

Pevné-kapalné skupenství

Změna objemu při tuhnutí a tání:

- Většina látek při tání svůj objem zvětší (resp. při tuhnutí zmenší)
- Výjimky (při tání zmenší objem): led, bismut, germanium, některé slitiny

Teplota tání/tuhnutí závisí na tlaku:

- Látky zvyšující objem při tání → při vyšším tlaku zvýšení T_t (většina látek)
- Látky snižující objem při tání → při vyšším tlaku snížení T_t (např. led)

Tání

Pevná látka → kapalina

- Krystalické látky- při *rovnoměrném zahřívání* v určitém bodě nemění teplotu, dokud se zcela nezmění na kapalinu (+ stále přijímá teplo)
 - Při překročení určité kinetické energie se začnou narušovat vazby a částice se uvolní z rovnovážných pozic → mřížka se rozpadne

- V homogenní látce dochází k rozpadu vazeb při stejné teplotě
- Teplota tání se do roztání nemění, jelikož teplo rozkládá vazby a nezvyšuje tedy kinetickou energii částic
- Amorfní látky- kontinuálně měknou nemají tedy určitou teplotu tání (např. vosk, sklo, plasty)
- Některé látky nelze zahřát na teplotu tání, jelikož se již při nižších teplotách rozloží (např. mramor, dřevo)
- Slitiny kovů- tají dříve, než je průměrná teplota tání jednotlivých kovů

Normální teplota tání (T_t)- specifická pro danou krystalickou látku (za atmosférického tlaku)

Měrné skupenské teplo tání (l_t)- poměr tepla (L_t), které přijme již zahřátá krystalická látka, aby se za ideálních podmínek zcela změnilo na kapalinu, a hmotnosti tělesa (v tabulkách)- jednotka J/kg:

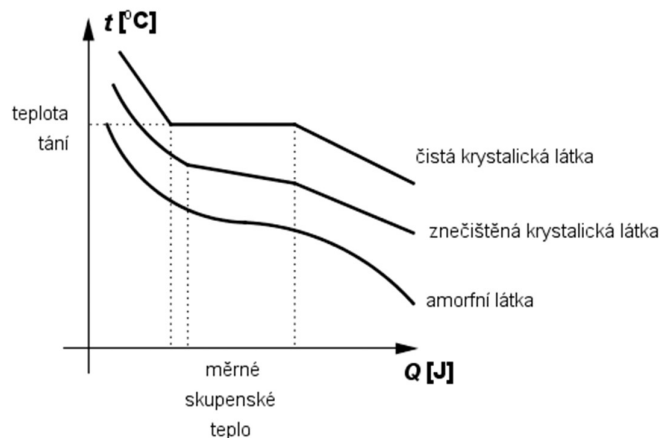
(např. měrné teplo nutné k přeměně pevného olova s 327°C na kapalné olovo s 327°C je 23 000kJ/kg)

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

Pro výpočet tepla potřebného od určité teploty k roztání se užívá kalorimetrické rovnice:

$$Q_{tot} = m \cdot (c \cdot \Delta T + l_t)$$

Např.: sůl sníží teplotu tání ledu pod 0°C; led má velké měrné teplo tání (→ tání během jara a zamezení záplav)



Tuhnutí

Kapalina (vzniklá táním krystalické látky) → pevná látka

Reverzní proces k tání- teplota tuhnutí=teplota tání a vydané **měrné skupenské teplo tuhnutí** je též shodné

Při dosažení teploty tuhnutí se v látce shlukují krystalizační jádra a tvoří se krystalická zrna → polykrystal

Monokrystaly vznikají z jednoho krystalizačního jádra, ale toto jádro musí být taženo z kapaliny za rovnoměrného chlazení

Výjimky:

- Přechlazená kapalina- některé látky nutně netvoří krystalizační jádra při teplotě tuhnutí (např. thiosíran sodný), ale zůstávají kapalné ještě při nižších teplotách, pokud je však vloženo krystalizační jádro rychle vykrystalizují a ohřejí se na teplotu tuhnutí
- Krystalizačním jádrem může být i prach

Led-voda

- Objem se při tání zmenšuje (o 9%)- výjimka ← hexagonální struktura ledu je prostornější, než neuspořádaná kapalná voda
 - o Mrazová eroze- při zmrznutí vody uvnitř horniny dojde k roztrhnutí zevnitř
 - o Umrznutí rostlin (roztržení buněk či pletiv)
 - o → led má nižší hustotu než voda → plave na vodě a v kombinaci s nízkou teplotní vodivostí zabraňuje dalšímu zamrznutí
- Led v tlaku snižuje teplotu tání (o 7,3mK na každých 10^5 Pa)- výjimka
 - o → snazší tání ledu v tlaku částečně přispívá jeho kluzkosti (v kombinaci s třením např. bot)

Pevné-plynné skupenství

Sublimace

Pevná látka → plyn

Za normálního tlaku sublimuje kafr, suchý led (CO_2), led a sníh, vonící/páchnoucí látky

Měrné skupenské teplo sublimace (l_s)- teplo přijaté pevnou látkou při změně v plyn stejné teploty- energie nutná k rozrušení vazeb:

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

Měrné skupenské teplo sublimace závisí na teplotě, za které látka sublimuje

Pokud je sublimující látka dostatečného množství izolována v nádobě, po čase se dostane do ekvilibria **syté páry** a pevného skupenství; objemy jednotlivých skupenství, tlak i teplota se dále nemění

Např.: prádlo může uschnout i pod bodem mrazu díky sublimaci ledu ($l_s > 2,8 \text{ MJ/kg}$)

Desublimace je zcela reverzní proces (plyn → pevná látka)

Kapalné-plynné skupenství

Vypařování

Kapalina → plyn (pára=plynné skupenství látky)

Probíhá za každé teploty (na rozdíl od tání):

- Různé kapaliny se vypařují za stejné teploty různou rychlostí (např. ether>líh>voda>rtuť)

- Vypařování se zrychluje:
 - o Zvýšením teploty
 - o Zvětšením povrchu
 - o Snížením koncentrace par nad kapalinou (např. odsávání, odfouknutí)

Měrné skupenské teplo vypařování (l_v)- teplo nutné ke kompletnímu vypaření kapaliny na páru stejné teploty:

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

Skupenské teplo nutné k vypaření klesá s rostoucí teplotou

Teplota varu (T_v)- kapalina se začne vypařovat zevnitř (nikoliv pouze na povrchu) a uvnitř kapaliny se tvoří bubliny páry

Teplota varu stoupá s rostoucím tlakem (\rightarrow v tabulkách tzv. normální teplota varu):

- Papinův hrnec, autokláv (tlaková nádoba- voda vře až při 120°C)
- Vývěva (vakuum- voda může vřít i při pokojové teplotě)

Pokud kapalina vře, její teplota se nezvyšuje a veškeré dodané teplo jde na přeměnu na páru

Přehřátá kapalina (metastabilní stav)- vzniká ve velmi čistých kapalinách odstraněním veškerých bublinek plynů (nukleačních center), které umožňují vnitřní var (spolu s hranami mechanických částic) \rightarrow kapalina může mít vyšší teplotu, než je její bod varu

Měrné skupenské teplo varu (l_v)=měrné skupenské teplo vypařování při teplotě varu (v tabulkách)

K určení celkového tepla nutného k vypaření od určité teploty se využívá kalorimetrická rovnice:

$$Q = m \cdot (c \cdot \Delta T + l_v)$$

Při vypařování získávají některé částice již dostatečnou kinetickou energii, mění se v páru a u povrchu opouští kapalinu (difundují se ve vzduchu) \rightarrow průměrná kinetická energie tedy poklesne (T se sníží), a proto je potřeba stále dodávat teplo \rightarrow hmotnost kapaliny tedy klesá a hmotnost páry narůstá

Vypařená pára má stejnou teplotu jako kapalina (dodávané teplo je využito na překonání vazebných sil v kapalině), ale vyšší vnitřní energii (\rightarrow např. roste její objem)

Např.: pot ochlazuje díky teple nutnému k jeho přeměně na páru

Kapalnění (kondenzace)

Reverzní proces k vypařování

Opět k němu dochází kontinuálně (i při teplotě varu se část částic navrátí zpět do kapaliny)

Měrné skupenské teplo kondenzace se rovná měrnému teple vypařování pro danou teplotu

Kondenzační jádra- částice se snadněji shlukují do kapaliny kolem zrnka prachu či saze (což umožňuje kondenzaci páry v atmosféře a deště) + snadněji pára kondenzuje na studených / dobře tepelně vodivých předmětech

Sytá pára

Pokud se kapalina vypařuje v uzavřené nádobě:

- 1) Nejprve mnoho částic opouští kapalinu a pouze zlomek se vrací
- 2) Kapalina se vypařuje → roste hustota a tlak páry
- 3) Počet opouštějících a vracejících se částic se vyrovnává → dynamické ekvilibrium (=syťá pára)
- 4) Pokud se nezmění podmínky, objemy a hmotnosti jednotlivých skupenství se dále nemění

Za přítomnosti dostatečného množství kapaliny se v uzavřené nádobě vždy vytvoří syťá pára

Tlak syťé páry nezávisí při stálé teplotě na objemu páry- pokud rozšíříme nádobu izotermicky, další část kapaliny se vypaří a tlak syťé páry bude opět stejný

Tlak syťé páry nezávisí na objemu ← nejedná se o ideální plyn (neplatí stavová rovnice)

Tlak syťé páry roste s teplotou (← zvýší se střední kinetická energie páry i kapaliny + další část kapaliny se vypaří)

Křivka syťé páry- určena teplotou kapaliny / syťé páry a jediným odpovídajícím tlakem syťé páry:



Počátkem křivky je minimální bod ekvilibria- tj. teplota tuhnutí kapaliny¹ (tzv. T_A a p_A)

Kritický bod (maximum křivky syťé páry)- syťá pára dosáhne hustoty kapaliny a vzniká jakási homogenní látka- po překročení této teploty látka může existovat pouze jako plyn- pro látku charakteristické konstanty T_k , p_k a ρ_k^2

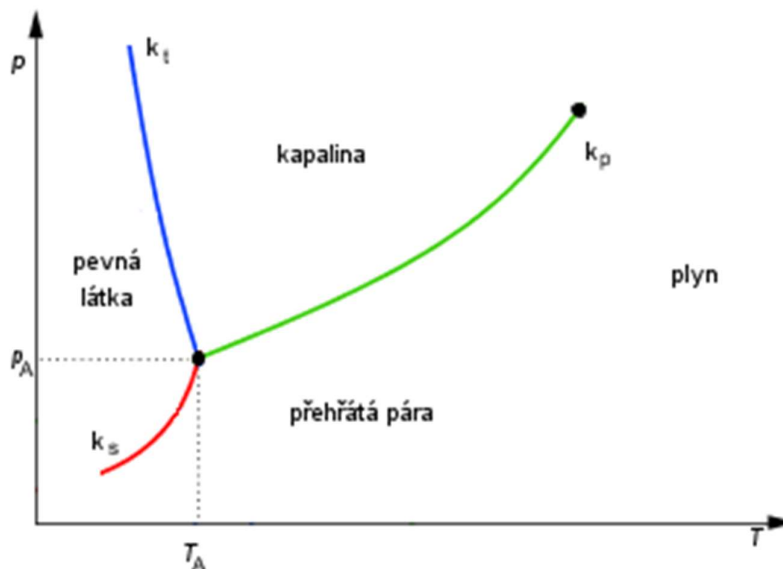
Křivka syťé páry platí i pro teplotu varu při daném tlaku nad kapalinou ← bubliny syťé páry se začínají tvořit, až když je jejich tlak roven vnějšímu např. atmosférickému tlaku ← při zvýšení vnějšího tlaku je tedy nutné zvýšit teplotu a tím odpovídající tlak syťé páry „uvnitř“ kapaliny (viz Fázový diagram)

Fázový diagram

Kombinace poznatků o změnách skupenství a ekvilibriálních stavů mezi dvěma skupenstvími

¹ Pro vodu je $T=0,01^\circ\text{C}$ a tlak syťé páry $6,1\cdot 10^2\text{Pa}$

² Pro vodu je $T_k=374^\circ\text{C}$; $p_k=22\text{MPa}$; $\rho_k=315\text{kg/m}^3$ (kapalná voda má při takto vysoké teplotě velmi nízkou hustotu)



- Křivka syté páry (k_p)
 - Křivka je ekvilibriálními body kapalina-pára
 - Trojný bod (bod A)- počátek- minimální ekvilibrium
 - Kritický bod (T_k)- konec
- Křivka tání (k_t)
 - Ukazuje závislost tání na vnějším tlaku
 - Křivka je ekvilibriálními body pevná-kapalná látka (např. netající led v nemrznoucí vodě)
 - U většiny látek se při zvýšení tlaku zvýší teplota tání (existují výjimky- viz Pevné-kapalně skupenství)
 - Trojný bod- počátek
 - Nemá konec
- Sublimační křivka (k_s)
 - Křivka je body, při níž ekvilibriálně existuje soustava pevná-plynná látka
 - Počátek souřadnicové soustavy- počátek
 - Trojný bod- konec
- Trojný bod (bod A)
 - Stýkají se zde všechny 3 křivky
 - Při jeho podmínkách mohou zároveň rovnovážně existovat všechna skupenství
 - Např.: při $0,01^\circ\text{C}$ a 610Pa může existovat kapalná voda, led i vodní pára v jedné nádobě
 - Trojný bod vody je základní teplota termodynamické teplotní stupnice

Křivky dělí diagram na segmenty, kde může trvale existovat pouze jedno skupenství

Přechod z jednoho segmentu do druhého značí změnu skupenství

Látka může být zkapalněna až po ochlazení pod kritickou teplotu:

- Plyny s vysokou kritickou teplotou³ (např. pára, Cl_2 , CO_2 , NH_3 , C_2H_2)- lehce zkapalnitelné adiabatickou („prudkou“) expanzí

³ Čímž jsou myšleny teploty zhruba nad 0°C

- Plyny s nízkou kritickou teplotou (např. O₂, N₂, H₂, He)- složitější metody zkapalnění

Superkritická tekutina- pokud plyn izobaricky kondenzuje (ochlazuje se) při tlaku vyšším než kritickém přechází látka homogenně z plynu na kapalinu, ale tyto fáze neexistují odděleně, skupenství se tedy nedá rozhodnout (viz výroba hydrogelu)

Přehřátá pára

- Pára, která má tlak nižší, než sytá pára téže teploty
- Pod křivkou sublimace a páry
- Čím je přehřátá pára vzdálenější od syté páry tím více se podobá ideálnímu plynu (k ideálnímu plynu se blíží po překročení kritického bodu)
- Nemůže být v ekvilibriu se pevným/kapalným skupenstvím
- Možnosti vzniku:
 - Izotermické zvětšení objemu syté páry bez přítomnosti další kapaliny (→ snížení tlaku)⁴
 - Izobarické zahřívání syté páry a zvětšování objemu bez přítomnosti kapaliny (→ zvýšení teploty)

Vodní pára v atmosféře

Spodní vrstvy atmosféry obsahují vodní páru díky vypařování vodních ploch, vody z půdy či rostlin

Nasycení vzduchu vodními párami se liší (odpoledne>ráno; léto>zima; pobřeží>vnitrozemí)

Na množství vodních par záleží množství srážek i vnímání teploty (člověk snáší vysoké teploty hůře při vysoké vlhkosti ← pot se snadněji vypařuje při nižší vlhkosti)

Absolutní vlhkost vzduchu (ϕ)- hmotnost vodních par za dané teploty na objem vzduchu- určuje se pohlcením veškerých par hygroskopickou látkou (např. CaCl₂)- jednotka kg/m³:

$$\phi = \frac{m_{H_2O}}{V_{air}}$$

Vzhledem k velikosti atmosféry jsou vodní páry ve vzduchu většinou přehřáté

Maximální vlhkost vzduchu ($\phi_{max.}$)- pokud dojde k masivnímu výparu či poklesu teploty, může se pára stát nasycenou → maximální vlhkost ($\phi_{max.}$) je rovna hustotě nasycené páry (ρ_s) pro danou teplotu

Relativní vlhkost vzduchu (φ ; rh)- většina meteorologických i biologických jevů souvisí s tím, jak blízko je vodní pára nasycené páře:

$$\varphi = \frac{\phi}{\phi_{max.}} \cdot 100 = \frac{p}{p_s} \cdot 100 \text{ [%]}$$

$$\varphi = \frac{\phi}{\rho_s} \cdot 100$$

⁴ Teorie naráží na omezení realitou (tj. zdroj kapaliny není bezendný)

Viz tabulky- pro tlaky a hustoty sytých par a maximální vlhkosti vzduchu za daných teplot

Relativní vlhkost vhodná pro člověka je 50-70%

Relativní vlhkost 0% se vzhledem k zemskému klimatu v přirozeně nevyskytuje

Relativní vlhkost měří vlhkoměry (např. delipizovaný lidský vlas mění v závislosti na vlhkosti svou délku)

Rosný bod

Teplota rosného bodu (T_r)- teplota, na kterou je potřeba izobaricky ochladit vzduch s vodními parami daného tlaku, aby se staly sytou párou (vzduch dosáhl $rh=100\%$)

Při snížení teploty pod rosný bod voda kondenzuje

Mlha/mrak- částečně „nakondenzovaná“ pára (např. po odstavení hrnce z vařiče)

Např.: pokud je rosný bod nižší než 0°C , vzniká sníh či jinovatka; na chladných předmětech vzniká rosa; ochlazením mraků páry vzniká déšť

