

## 2.6.4 Kapalnění, sublimace, desublimace

**Kapalnění (kondenzace):** Snižování teploty páry  $\Rightarrow$  pára se mění v kapalinu.

**Př. 1:** Rozhodni, které látkové konstantě se rovná měrné skupenské teplo kondenzační.

Skupenské teplo kondenzační se rovná skupenskému teplu vypařování při stejné teplotě.

**Př. 2:** Jedním ze způsobů, kterým se lidé snaží řídit počasí, je uměle rozprašování jodidu stříbrného do mraků, které má vyvolávat déšť. Vysvětli.

Krystalky jodidu mají sloužit zřejmě jako kondenzační jádra pro kapalnění vodní páry v mračích. Urychlí se tak vznik kapiček, které potom spadnou jako déšť.

**Př. 3:** Centrální zásobování teplem bývá často dvojestupňové. Z teplárny je vystaven parovod, kterým je vedena pára o teplotě až  $240^\circ\text{C}$  a tlaku  $1,8\text{ MPa}$ . Ve výměníku se touto párou zahřívá voda s maximální povolenou teplotou  $95^\circ\text{C}$ . Jaké jsou výhody a nevýhody tohoto řešení?

Výhody: horká pára může uvolnit obrovské množství tepla  $\Rightarrow$  množství páry, které musí parovodem proudit, je podstatně menší, než by bylo množství vody o teplotě  $95^\circ\text{C}$ . Vlastní tlak páry ji žene potrubím  $\Rightarrow$  nemusíme používat čerpadla.

Nevýhody: teplota páry je velmi vysoká  $\Rightarrow$  mezi párou a okolím je vyšší teplotní rozdíl  $\Rightarrow$  dochází k větším ztrátám tepla.

**Př. 4:** Do výměníku přichází pára o teplotě  $120^\circ\text{C}$  a normálním tlaku. Ve výměníku pára zkondenzuje na vodu o teplotě  $90^\circ\text{C}$ . Urči kolik kg vody o teplotě  $25^\circ\text{C}$  tím pára zahřeje na  $80^\circ\text{C}$ .

- ochlazení vodní páry ze  $120^\circ\text{C}$  na  $100^\circ\text{C}$ :  $Q_1 = mc_{para}\Delta t = 1 \cdot 1840 \cdot 20\text{ J} = 37000\text{ J}$
- kondenzace vodní páry na vodu při  $100^\circ\text{C}$ :  $Q_2 = ml_v = 1 \cdot 2,26 \cdot 10^6\text{ J} = 2,26 \cdot 10^6\text{ J}$
- ochlazení vody ze  $100^\circ\text{C}$  na  $90^\circ\text{C}$ :  $Q_3 = mc_{vody}\Delta t = 1 \cdot 4200 \cdot 10\text{ J} = 42000\text{ J}$

Celkem:  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 37000 + 2260000 + 42000\text{ J} = 2339000\text{ J}$  - množství tepla, které předá 1 kg páry vodě.

Množství tepla přijatého vodou při ohřátí z  $25^\circ\text{C}$  na  $80^\circ\text{C}$ :  $Q = mc_{vody}\Delta t$

$$m = \frac{Q}{c_{vody}\Delta t} = \frac{2339000}{4200 \cdot 55}\text{ kg} = 10,1\text{ kg}$$

1 kg páry ohřeje ve výměníku 10,1 kg vody.

**Př. 5:** Kapalně technické plyny se nevyrábí ochlazováním vzduchu. Navrhni, jakým postupem bychom mohli zkapalnit plyn bez ochlazení.

Zkapalňovat můžeme také stlačováním plynu (princip chladničky).

Postřehy ze života:

- Prádlo je možné usušit i za hlubokých mrazů.
- Sníh ubývá, i když venku trvale mrzne.

$\Rightarrow$  i led se „vypařuje“.

**Sublimace:** přímá změna skupenství z pevné látky na plyn.

Částice sublimují pouze z povrchu.

V rychlosti sublimace jsou obrovské rozdíly, rychleji sublimující látky: jod, suchý led (pevný oxid uhličitý), led, páchnoucí a vonící pevné látky.

Sublimující látky musíme dodat skupenské teplo sublimace  $Q_s = ml_s$ .

**Př. 6:** Jaký je význam látkové konstanty  $l_s$ ? Na čem tato konstanta závisí? V jakých jednotkách se udává?

Platí  $l_s = \frac{Q_s}{m} \Rightarrow l_s$  udává kolik tepla je třeba k sublimaci jednoho kilogramu látky  $\Rightarrow l_s$  je **měrné skupenské teplo sublimace**. Podobně jako měrné skupenské teplo vypařování bude hodnota  $l_s$  zřejmě záviset na teplotě. Jednotkou měrného skupenského tepla je vždy  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Př. 7:** Urči  $l_{s0}$  pro led. Potřebné konstanty najdi v předchozích hodinách.

Opět musí platit zákon zachování energie  $\Rightarrow$  energie, kterou dodáme sublimujícím částicím ledu, se musí rovnat energii, kterou bychom dodali částicím ledu, při jiném průběhu pokusu.

- Přímá sublimace z ledu  $0^\circ\text{C}$  na páru  $0^\circ\text{C}$ :  $Q_1 = ml_{s0}$ .
- Led  $0^\circ\text{C}$  necháme roztát na vodu  $0^\circ\text{C}$  a tu pak necháme vypařit:  $Q_2 = ml_t + ml_{v0}$ .

Dodané teplo musí být v obou případech stejné:  $Q_1 = Q_2$

$$ml_{s0} = ml_t + ml_{v0}$$

$$l_{s0} = l_t + l_{v0}$$

$$l_{s0} = l_t + l_{v0} = 334000 + 2510000 \text{ J/kg} = 2844000 \text{ J/kg}$$

Měrné skupenské teplo sublimace ledu při  $0^\circ\text{C}$  je  $2844000 \text{ J/kg}$ .

**Př. 8:** Jednou z poměrně rychle sublimujících látek je jod. Proto se jod přechovává v uzavřených nádobách. Proč přestane jodu v uzavřené nádobě po určité době ubývat?

Při sublimaci jodu se postupně zvětšuje počet částic jodu v ovzduší uzavřené nádoby  $\Rightarrow$  zvyšuje se počet částic jodu, které narazí zpátky do krystalů jodu a zachytí se v nich  $\Rightarrow$  postupně nestane rovnováha mezi počtem částic, které se uvolní, a počtem částic, které se zpátky přichytí  $\Rightarrow$  jod přestane ubývat.

**Desublimace:** opak sublimace, skoková změna skupenství z plynného na pevné.  
jinovatka