

2.6.4 Kapalnění, sublimace, desublimace

Kapalnění (kondenzace)

Při kondenzaci se uvolňuje **skupenské teplo kondenzační**.

Př. 1: Rozhodni, které látkové konstanty 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.

Př. 3: Centrální zásobování teplem bývá často dvojstupňové. Z teplárny je vystavěn parovod, kterým je vedena pára o teplotě až 240°C a tlaku 1,8 MPa. Ve výměníku se touto párou zahřívá voda s maximální povolenou teplotou 95°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°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°C a normálním tlaku. Ve výměníku pára zkondenzuje na vodu o teplotě 90°C. Urči kolik kg vody o teplotě 25°C tím 1 kg páry zahřeje na 80°C.

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

Celkem: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 37000 + 2260000 + 42000 \text{ J} = 2339000 \text{ J}$

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

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

Sublimace: přímá změna skupenství z pevné látky na plyn.

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**.

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

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

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

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?

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

Př. 9: Kolik tepla musíme dodat 0,1 kg ledu o teplotě -15°C, aby se změnil na vodu o teplotě 22°C?

- ohřát na teplotu tání: $Q_1 = mc_l\Delta t = 0,1 \cdot 2000 \cdot (0 - [-15]) \text{ J} = 0,1 \cdot 2000 \cdot 15 \text{ J} = 3000 \text{ J}$,

- roztát na vodu: $Q_2 = ml_t = 0,1 \cdot 334000 \text{ J} = 33400 \text{ J}$,
- jako voda ohřát na teplotu 22°C : $Q_3 = mc_v \Delta t = 0,1 \cdot 4200 \cdot (22 - 0) \text{ J} = 9240 \text{ J}$.

Celkové dodané teplo: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 3000 + 33400 + 9240 \text{ J} = 45640 \text{ J}$

Př. 10: Z Papinova hrnce uniklo během vaření 60 g vodní páry o teplotě 120°C . Kolik tepla předala pára svému okolí, pokud předpokládáme, že:

- a) se ochladila na teplotu místnosti 23°C ,
- b) zkondenzovala na okenní tabulce na vodu o teplotě 6°C .

a) pára se ochladila na teplotu místnosti 23°C

$$Q = mc_p \Delta t = 0,06 \cdot 1840 \cdot (120 - 23) \text{ J} \doteq 10700 \text{ J}$$

b) zkondenzovala na okenní tabulce na vodu o teplotě 6°C

- ochladit na 100°C : $Q_1 = mc_p \Delta t = 0,06 \cdot 1840 \cdot (120 - 100) \text{ J} \doteq 2200 \text{ J}$,
- změnit na vodu: $Q_2 = ml_v = 0,06 \cdot 2\,260\,000 \text{ J} = 135600 \text{ J}$,
- jako voda ochladit na teplotu 6°C : $Q_3 = mc_v \Delta t = 0,06 \cdot 4200 \cdot (100 - 6) \text{ J} = 23700 \text{ J}$.

Celkové odevzdané teplo: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2200 + 135600 + 23700 \text{ J} = 161500 \text{ J}$

Př. 11: Do limonády o teplotě 10°C jsme hodili kostku ledu o hmotnosti 50 g a teplotě -15°C . Led roztál, promíchal se s limonádou a vznikl tak nápoj o teplotě 4°C . Kolik tepla přijal led o limonády?

- ohřát na teplotu tání: $Q_1 = mc_l \Delta t = 0,05 \cdot 2000 \cdot (0 - [-15]) \text{ J} = 0,05 \cdot 2000 \cdot 15 \text{ J} = 1500 \text{ J}$,
- roztát na vodu: $Q_2 = ml_t = 0,05 \cdot 334000 \text{ J} = 16700 \text{ J}$,
- jako voda ohřát na teplotu 4°C : $Q_3 = mc_v \Delta t = 0,05 \cdot 4200 \cdot (4 - 0) \text{ J} = 840 \text{ J}$.

Celkové dodané teplo: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1500 + 16700 + 840 \text{ J} \doteq 19\,000 \text{ J}$

Př. 12: Urči teplo potřebné k vyvaření 1,5 litru vody o teplotě 9°C . Jak dlouho by tento děj trval v rychlovarné konvici o výkonu 2300 W?

- ohřát na teplotu varu: $Q_1 = mc_v \Delta t = 1,5 \cdot 4200 \cdot (100 - 9) \text{ J} = 573\,000 \text{ J}$,
- vyvařit: $Q_2 = ml_v = 1,5 \cdot 2\,260\,000 \text{ J} = 3\,390\,000 \text{ J}$.

Celkové dodané teplo: $Q = Q_1 + Q_2 = 573\,000 + 3\,390\,000 \text{ J} = 3\,963\,000 \text{ J} \doteq 4 \text{ MJ}$

$$Q = W = Pt \quad t = \frac{Q}{P} = \frac{4\,000\,000}{2300} \doteq 1\,740 \text{ s} \doteq 29 \text{ min}$$

Př. 13: Které reálné efekty nejsou ve výpočtu předchozího příkladu zahrnuty? Jak by ovlivnily dobu vyvařování vody?

Část vody se vypaří ještě před tím, než voda začne vařit (vznikne tak zřejmě pára o nižší teplotě) $\Rightarrow$ potřebné teplo bude menší než teplo určené výpočtem (a doba vyvařování kratší).

Část tepla vyrobeného konvicí uteče do okolí a nespotřebuje se na vyvařování vody, čímž se doba vyvařování prodlouží.

Př. 14: Z rychlovarné konvice ukápne na zem pár kapek vařící vody. Ohřeje se jimi místnost o teplotě 22°C nebo se místnost ochladí?

Vodní kapky se odpaří při teplotě 100°C (teplo odebrané místnosti):

$$Q_1 = ml_v = m \cdot 2\,260\,000 \text{ J} = 2\,260\,000m \text{ J}$$

Vodní pára se ochladí ze 100°C na teplotu místnosti (teplo předané místnosti):

$$Q_2 = mc_p \Delta t = m \cdot 1840 \cdot (100 - 22) \text{ J} \doteq 143\,500m \text{ J}$$