

2.6.4 Kapalnění, sublimace, desublimace

Předpoklady: 2603

Kapalnění (kondenzace)

Snižování teploty páry \Rightarrow pára se mění v kapalinu.

Kde dochází ke kondenzaci?

- na povrchu kapaliny,
- na povrchu pevné látky (orosení skel),
- ve volném prostoru: kondenzaci usnadňují kondenzační jádra (prach, saze, nabitě částice), kolem kterých postupně narůstají kapičky.

„Pára“ nad hrncem, „pára“ u pusy: nejedná se o vodní páru, ale o zkondenzované vodní kapičky (vodní pára je neviditelná), které se rychle vypaří.

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

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 mracích. Urychlí se tak vznik kapiček, které potom spadnou jako déšť?

Př. 3: Centrální zásobování teplem bývá často dvojestupňové. Z teplárny je vystavěn parovod, kterým je vedena pára o teplotě až 240°C a tlaku $1,8\text{ MPa}$. 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.

Pedagogická poznámka: Na řešení následujícího příkladu je třeba dávat dobrý pozor. Pokud má žák problémy s výpočtem tepla, které odevzdává pára, je třeba asi spočítat příklady přidané na konec hodiny. Naprosto bezproblémové vyjadřování podobných situací je nezbytné k řešení příkladů v příští hodině.

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 .

Teplo, které uvolní vodní pára:

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

Množství tepla přijatého vodou při ohřátí z 25°C na 80°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: Kapalné 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,

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

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°C je 2844000 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

Pedagogická poznámka: Následující příklady nejsou běžnou součástí hodiny. Slouží k nácviku výpočtu předávaných (přijímaných) tepel u žáků, kteří s tím mají problémy. Schopnost bez problémů určit teplo, které látka přijme nebo odevzdá během libovolné skupenské změny je v příští hodině zásadní a nezbytná.

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

Led se musí:

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

0,1 kg ledu o teplotě -15°C musíme dodat teplo 45640 J, aby změnil na vodu o teplotě 22°C .

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

Pára neprojde žádnou skupenskou změnou, pouze se ochladí.

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

Pokud se pára ochladila na teplotu místnosti předala svému okolí teplo přibližně 10 700 J.

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

Pára se musí:

- 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: $Q_2 = ml_v = 0,06 \cdot 2260000 \text{ J} = 135600 \text{ J}$,
- 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: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2200 + 135600 + 23700 \text{ J} = 161500 \text{ J}$

Pokud pára zkondenzovala na okenní tabulce odevzdala svému okolí teplo 161 500 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?

Led se musí:

- 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: $Q_2 = ml_l = 0,05 \cdot 334000 \text{ J} = 16700 \text{ J}$,
- 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: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1500 + 16700 + 840 \text{ J} \doteq 19\,000 \text{ J}$

Kostka ledu přijala od limonády teplo 19 000 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?

Vodu musíme:

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

Energii potřebnou k vyvaření dodáváme rychlovarnou konvicí: $Q = W = Pt$

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

Na vyvaření vody bychom potřebovali teplo 4 MJ a v rychlovarné konvici by trvalo téměř půl hodiny.

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 nespotebuje 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?

Kapky vody se nejdříve ochladí na teplotu místnosti (při tom teplo odevzdávají a místnost zahřívají), pak se vypaří na páru o teplotě 22°C (tím teplo přijímají a místnost ochlazují). Neznáme skupenské teplo vypařování pro teplotu 22°C (museli bychom si ho vypočítat). Celková tepelná bilance nezávisí na tom, jakým způsobem se voda z vařící kapky změní na páru o teplotě místnosti \Rightarrow zjistíme ji jiným způsobem.

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):

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

Teplo, které voda odebere místnosti při odpařování je větší než teplo, které odevzdá při ochlazování \Rightarrow místnost se ochladí (samozřejmě jen nepatrně).

Shrnutí: