

### 2.6.3 Vypařování, var

**Př. 1:** Teplota varu vody za normálního tlaku je  $100^{\circ}\text{C}$ . Vysvětli, jak je možné, že prádlo uschne i při teplotách podstatně nižších.

Částice v kapalině mají různou rychlost  $\Rightarrow$  i při teplotě  $10^{\circ}\text{C}$  se může vyskytnout částice, která má dostatečně velkou rychlost (rychlost, která odpovídá i teplotě větší než  $100^{\circ}\text{C}$ ).

Kdy může taková částice opustit kapalinu (a tím se vypařit)?

Částice:

- musí mít dostatečnou rychlost,
- musí se pohybovat správným směrem,
- musí být dostatečně blízko u hladiny (aby se po srážce s jinou částicí kapaliny nezačala pohybovat zpět dovnitř).

Částice, která splní uvedené podmínky, opustí kapalinu (vypaří se).

Má částice, která opustí kapalinu vyhráno?

Zdáleka ne. Vypařená částice se pohybuje náhodně v plynu  $\Rightarrow$  od částice plynu se může odrazit zpět do vody a znovu se stát součástí kapaliny.

Jak se změní kapalina při vypařování?

Z kapaliny ubývají rychlé částice  $\Rightarrow$  průměrná rychlost částic kapaliny klesá  $\Rightarrow$  klesá teplota kapaliny.

Různé kapaliny se vypařují různou rychlostí (éter rychle, voda pomaleji, rtuť velmi pomalu).

**Př. 2:** Rozhodni, za jakých podmínek se zvýší rychlost vypařování kapaliny.

**Př. 3:** Vysvětli:

- a) Proč schne prádlo rychleji, když fouká vítr.
- b) Proč schne prádlo pomaleji, když je venku vlhko?

**Př. 4:** Vysvětli, proč foukáme na polévku, kterou chceme ochladit?

**Př. 5:** Vysvětli:

- a) Proč je člověku zima, když vyleze z vody.
- b) Proč je člověku ještě větší zima, když vyleze z vody a zafouká vítr.
- c) Proč se po dešti, když vylezeme z vody, zdá, že je venku docela teplo.

Během vypařování se teplota kapaliny snižuje  $\Rightarrow$  stejně jako na tání i na vypařování musíme vynaložit teplo: skupenské teplo vypařování  $Q_v$  ( $L_v$ ).

**Skupenské teplo vypařování** je teplo, které musíme dodat kapalině, aby se změnila na páru o stejné teplotě.  $\Rightarrow$  je přímo úměrné množství látky:  $Q_v = m \cdot l_v$

- $l_v$  (nebo  $l_{vT}$ ) - **měrné skupenské teplo vypařování**: závisí na teplotě  $\Rightarrow l_{v0}$  - měrné skupenské teplo vypařování při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ .

Vidíme, že kapalina se vypařováním mění v páru za všech teplot  $\Rightarrow$  čím je zajímavá teplota varu?

- se kapalina přestává ohřívat a veškeré dodávané teplo se spotřebuje na změnu skupenství,
- se kapalina mění na páru nejen na povrchu kapaliny, ale v celém svém objemu.

Var je částečnou analogií tání. Za daného tlaku k němu dochází vždy při stejné teplotě – **teplotě varu**.

Teplota varu závisí na vnějším tlaku: čím vyšší tlak, tím vyšší teplota varu.

Závislost je daleko výraznější než u teploty tání, při běžných tlacích okolo  $100\,000\text{ Pa}$  stačí na změnu teploty varu o  $1^{\circ}\text{C}$  změna tlaku o  $3000\text{ Pa}$ .

Teploty varu vody:

$p$ [Pa]	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
$t_v$ [°C]	8	45	100	180	305

**Př. 6:** Vysvětli, proč je ve vysokých horách nutné vařit brambory delší dobu.

Využití v technické praxi:

- vyšší teplota varu při vyšším tlaku: Papinův hrnec, sterilizace nemocničních nástrojů, primární okruhy elektráren,
- nižší teplota varu při nižším tlaku: výroba cukru, sušeného mléka, sirupů (vařením při nižší teplotě nedochází ke ztrátě cenných látek).

Teplo potřebné k vyvaření kapaliny je opět přímo úměrné její hmotnosti  $\Rightarrow$  **měrné skupenské teplo varu**  $l_v$ .

**Př. 7:** Najdi látkovou konstantu, která se rovná  $l_v$ .

Měrné skupenské teplo varu se musí rovnat měrnému skupenskému teplu vypařování kapaliny zahřáté na teplotu varu  $\Rightarrow$  například pro vodu platí  $l_v = l_{v100} = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Př. 8:** Urči množství tepla, které musíme dodat 1,5 litru vody o teplotě  $10^\circ\text{C}$ , aby se vyvařila. Jaká část tohoto tepla je potřebná ke změně skupenství? Jak dlouho se bude voda vyvařovat ve varné konvici o užitečném výkonu  $2000 \text{ W}$ ?

$$m = 1,5 \text{ kg}, t_0 = 10^\circ\text{C}, t = 100^\circ\text{C}, Q = ?,$$

Vodu musíme nejdříve ohřát na teplotu varu:  $Q_o = mc\Delta t = 1,5 \cdot 4200 \cdot (100 - 10) \text{ J} = 567000 \text{ J}$

Vodu ohřátou na  $100^\circ\text{C}$  můžeme vyvařit:  $Q_v = ml_v = 1,5 \cdot 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,39 \cdot 10^6 \text{ J}$

Potřebné teplo celkem:  $Q = Q_o + Q_v = 567000 + 3390000 \text{ J} = 3,96 \cdot 10^6 \text{ J}$

Část dodaného tepla potřebná k vyvaření vody:

$$100\% \quad \dots \quad 3,96 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$x\% \quad \dots \quad 3,39 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$x = \frac{3,39 \cdot 10^6}{3,96 \cdot 10^6} \cdot 100 = 85,6\%$$

Doba nutná k vyvaření:  $W = Q = Pt \Rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{3,96 \cdot 10^6}{2000} \text{ s} = 1980 \text{ s} = 33 \text{ min}$

**Př. 9:** Pro vodu platí  $l_{v0} = 2,51 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $l_{v100} = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Urči měrnou tepelnou kapacitu vodní páry. Měrná tepelná kapacita vody  $c_{H_2O} = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

- Ohřejeme vodu na  $100^\circ\text{C}$  a pak ji necháme vyvařit  $\Rightarrow Q_1 = mc_{vody} \Delta t + ml_{v100}$ .
- Necháme vodu vypařit při teplotě  $0^\circ\text{C}$  a pak ji ve formě vodní páry zahřejeme  $\Rightarrow Q_2 = ml_{v0} + mc_{páry} \Delta t$ .

$$mc_{vody} \Delta t + ml_{v100} = ml_{v0} + mc_{páry} \Delta t \quad c_{vody} \Delta t + l_{v100} = l_{v0} + c_{páry} \Delta t$$

$$c_{páry} \Delta t = c_{vody} \Delta t + l_{v100} - l_{v0} \quad c_{páry} = \frac{c_{vody} \Delta t + l_{v100} - l_{v0}}{\Delta t}$$

$$c_{páry} = c_{vody} + \frac{l_{v100} - l_{v0}}{\Delta t} = 4200 + \frac{2,26 \cdot 10^6 - 2,51 \cdot 10^6}{100} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 1700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$