

2.6.3 Vypařování, var

Předpoklady: 2602

Opakování: zahříváme tuhou krystalickou látku \Rightarrow zvyšuje se rychlost neuspořádaného pohybu částic \Rightarrow při určité teplotě (teplota tání) se přetrhají vazby v krystalu a látka se změní na kapalinu.

Změna kapaliny na plyn zřejmě probíhá stejným způsobem: Zahříváme kapalinu \Rightarrow zvyšuje se rychlost neuspořádaného pohybu částic \Rightarrow při určité teplotě (teplota varu) je rychlost částic dostatečná k tomu, aby se částice uvolnily z kapaliny a kapalina se změnila na plyn.

Př. 1: Teplota varu vody za normálního tlaku je 100°C . Vysvětli, jak je možné, že prádlo uschne i při teplotách podstatně nižších.

Je zřejmé, že mechanismus vypařování je složitější.

Částice v kapalině mají různou rychlost \Rightarrow i při teplotě 10°C se může vyskytnout částice, která má dostatečně velkou rychlost (rychlost, která odpovídá i teplotě větší než 100°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?

Zdaleka 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.

Rychlost vypařování se zvýší:

- vyšší teplotou (více rychlých částic),
- odstraňováním vypařených částic od povrchu kapaliny (nemožnost návratu do kapaliny),
- větším povrchem (větší šance, že dostatečně rychlá částice bude moci opustit kapalinu).

Př. 3: Vysvětli:

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

a) Proč schne prádlo rychleji, když fouká vítr.

Vítr odnese vypařené molekuly vody od prádla a ty se tak nemohou vrátit zpátky.

b) Proč schne prádlo pomaleji, když je venku vlhko?

Vzduch obsahuje mnoho molekul vody, které se mohou přidat k molekulám vody v láce.

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

Dva efekty:

- foukáním odstraníme od povrchu polévky vypařené molekuly, které se nemohou vrátit zpět,
- foukáním ochlazujeme vzduch nad polévkou.

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.

a) Proč je člověku zima, když vyleze z vody.

Z kapek vody na těle se vypařuje voda \Rightarrow kapky se ochlazují \Rightarrow studí.

b) Proč je člověku ještě větší zima, když vyleze z vody a zafouká vítr.

Vítr odnese vypařené molekuly vody od těla \Rightarrow zrychlí se vypařování \Rightarrow teplota kapek se více sníží \Rightarrow větší chlad.

c) Proč se po dešti, když vylezeme z vody, zdá, že je venku docela teplo.

Vzduch obsahuje velké množství molekul vody \Rightarrow pomalé vypařování molekul z kapek \Rightarrow pomalejší ochlazování kapek.

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°C .

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

Při teplotě 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 Pa stačí na změnu teploty varu o 1°C změna tlaku o 3000 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.

Vy vysokých horách je nižší atmosférický tlak \Rightarrow voda vaří při nižší teplotě \Rightarrow na vařené brambory působí nižší teplota a změny trvají déle.

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).

Teplota potřebná k vyvaření kapaliny je opět přímo úměrná 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°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 W?

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

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

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

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

Část dodaného tepla potřebná k vyvaření vody:

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

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

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

Na vyvaření se spotřebuje 85,6% dodaného tepla.

Doba nutná k vyvaření

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

Voda se bude vyvařovat přibližně 33 minut.

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 $c_{H_2O} = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Při zahřívání musí platit zákon zachování energie.

Jak můžeme z vody o teplotě 0°C získat vodní páru o teplotě 100°C ?

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

Teplo je v obou případech stejné: $Q_1 = Q_2$.

$$mc_{\text{vody}}\Delta t + ml_{v100} = ml_{v0} + mc_{\text{páry}}\Delta t$$

$$c_{\text{vody}}\Delta t + l_{v100} = l_{v0} + c_{\text{páry}}\Delta t$$

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

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

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

Výpočtem jsme zjistili, že měrná tepelná kapacita vodní páry je přibližně $1700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Hodnota odpovídá hodnotě udávané v tabulkách $1840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, náš výpočet nebyl úplně přesný, protože jsme do něj nezahrnuli například práci nutnou ke změnám objemu vypařené vodní páry.

Shrnutí: Kapalina se mění v páru při všech teplotách. Při varu již teplota kapaliny neroste a kapalina se mění v páru v celém svém objemu.