Variace

1

Změny skupenství pro nižší gymnázium

Autor: Mgr. Jaromír JUŘEK
Kopírování a jakékoliv další využití výukového materiálu je povoleno pouze s uvedením odkazu na www.jarjurek.cz

1. Změny skupenství látek

Táž látka se může vyskytovat jako kapalina, pevná látka nebo plyn - např. voda, led, pára. Látka se tedy může vyskytovat v **různých skupenstvích**.

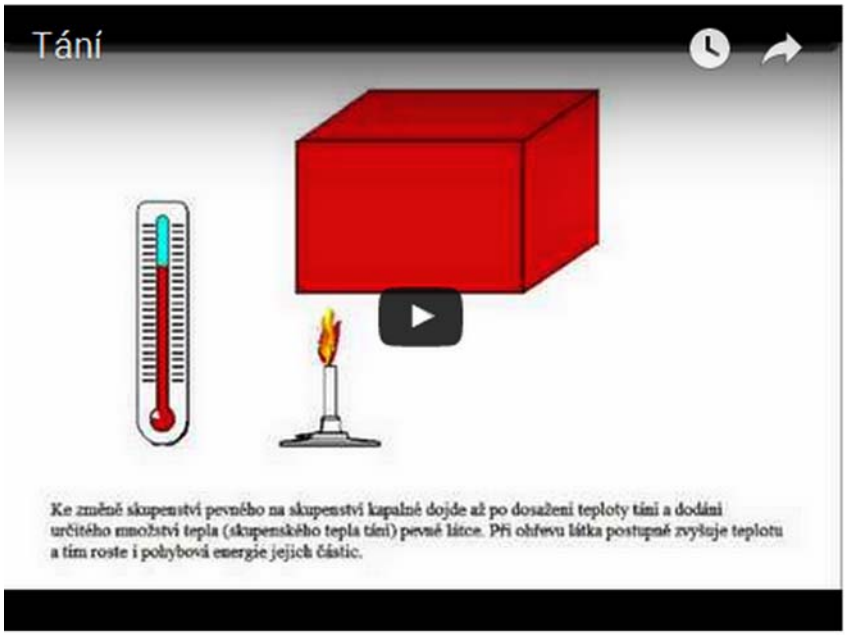
Fyzikální děj, při kterém se mění skupenství látky, nazýváme změna skupenství látek.

Rozlišuje následující přeměny: **Tání** a **tuhnutí**, **vypařování** (zvláštním případem je **var**) a **kapalnění**, **sublimaci** a **desublimaci**.

2. Tání

Zahříváním pevné krystalické látky se zvyšuje její teplota. Pohyb částic se zrychluje, dostávají se postupně dále od rovnovážných poloh v jejich krystalické mřížce. Dosáhne-li látka teploty t_t, kterou nazýváme **teplotou tání**, přestává se teplota zvyšovat, začíná se **měnit skupenství pevné na kapalné**. Říkáme, že **pevná látka taje**. Částice se v tu chvíli dostávají tak daleko od svých rovnovážných poloh, že už se nejsou schopny vrátit zpět.

Po dobu přeměny skupenství se teplota nemění, zůstává na hodnotě t_t.



Teploty tání za normálního atmosferického tlaku jsou uvedeny v MFCHT tabulkách. Nazýváme je **normální teploty tání**.

Příklady teplot tání:

- kyslík ... -218,4 °C
- led ... 0 °C
- olovo ... 327,4 °C
- zlato ... 1 064,4 °C

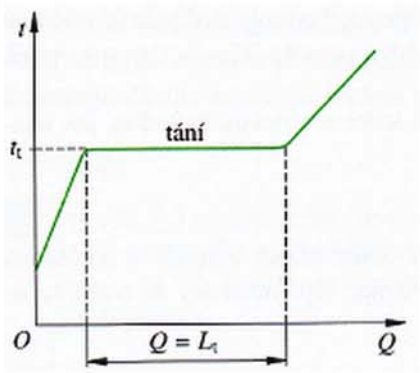
Pozn.: Pevné **amorfní látky**, např. vosk, sádlo, sklo. plasty, při zahřívání postupně měknou, až se přemění v kapalinu. **Nemají** proto **určitou teplotu tání**.

Pozn.: Některá látky, např. dřevo, mramor, se nemohou zahřát až k teplotě tání, poněvadž již při teplotě nižší se rozkládají.

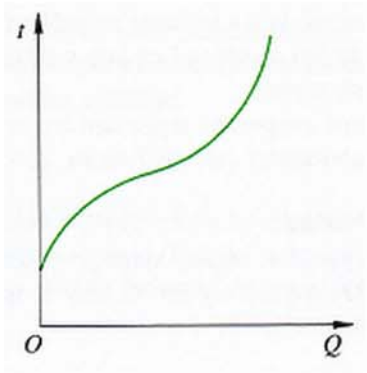
Pozn.: Slitiny kovů tají při teplotě nižší, než je průměrná hodnota teplot, pfi nichž tají jednotlivé součásti slitiny. Např. cín taje při teplotě 232 °C, olovo pří 327,4 °C, ale slitina z nich vytvořená a nazývaná klempířská pájka (33 % Pb, 67 % Sn) taje již při teplotě 240 °C.

Pozn.: Teplota tání ledu se snižuje rozpouštěním solí, např posypeme-li solí v zimě led na chodníku, sníží se teplota tání ledu tak, že led i při okolní teplotě menší než 0 °C roztaje a dá se snadno shrabat. Podobně výhybky u kolejí posypané krystalickým chloridem vápenatým nezamrzají při poklesu teploty vzduchu pod 0 °C.

Graf závislosti teploty na teple pro krystalickou látku:



Graf závislosti teploty na teple pro amorfní látku:



Teplo, které přijme pevné těleso již zahřáté na teplotu tání, aby se změnilo na kapalinu téže teploty, se nazývá skupenské teplo tání L_t. Jednotkou této veličiny je joule [J].

Pokud vztáhneme skupenské teplo tání na množství látky jednoho kilogramu, dostáváme **měrné skupenské teplo tání**. Označujeme ho l_t.

$$l_t = \frac{L_t}{m}$$

$L_t = l_t \cdot m$

Základní jednotkou měrného skupenského tepla tání je joule na kilogram [J/kg]. Často se používá jednotka [kJ/kg].

Hodnoty měrného skupenského tepla tání pro různé látky jsou uvedeny v MFCHT tabulkách.

Pozn.: Poměrně velká hodnota měrného skupenského tepla táni ledu je příčinou toho, že led a sníh tají na jaře v přírodě jen pomalu. Tím se omezuje vznik náhlých záplav.

Příklad:

Vypočtěte teplo, které je potřeba dodat tělesu z mědi o hmotnosti 500 g a teploty 20 °C, aby se roztavilo. Tepelné ztráty do okolí zanedbejte.

Řešení:

m = 500 g = 0,5 kg
t = 20 °C
l_t = 205 . 10^3 J/kg ... určeno z MFCHT
t_t = 1083 °C ... určeno z MFCHT
c = 383 J/(kg . K) ... určeno z MFCHT
Q = ? [J]

$Q = Q_1 + L_t$
$Q = m . c . (t_t - t) + m . l_t$
Po dosazení:
$Q = 0,5 . 383 . (1083 - 20) + 0,5 . 205 . 10^3$

Q = 306 064,5 J = 306 kJ (po zaokrouhlení)

Závěr:

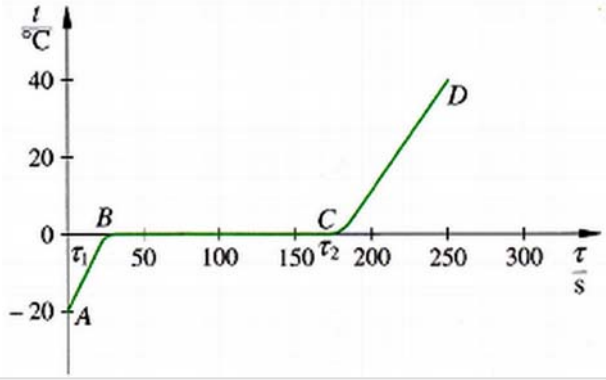
Tělesu je potřeba dodat teplo o velikosti 306 kJ.

3. Tání - procvičovací úlohy

1. **Jak se změní vnitřní energie železného tělesa o hmotnosti 2,3 kg, které má teplotu tání, jestliže se přemění z pevného skupenství v kapalné téže teploty?** 4397

OK Zvětší se přibližně o 642 kJ.

2. **Na obrázku je znázorněn časový průběh teploty ledu hmotnosti 0,5 kg, který nepřetržitě a rovnoměrně přijímal teplo. Počáteční teplota ledu byla -20 °C. Popište a vysvětlete průběh jednotlivých částí AB, BC a CD grafu.** 4396



OK

3. **Proč sníh taje nejrychleji vlivem deště?** 4398

OK Od dešťových kapek dostává sníh více energie než od vzduchu.

4. Tuhnutí

Ochlazujeme-li kapalinu vzniklou táním krystalické látky, mění se při teplotě tuhnutí v pevné těleso téže teploty. Tento děj se nazývá **tuhnutí**. Pro chemicky čisté látky je teplota tuhnutí rovna teplotě tání za téhož vnějšího tlaku. Při tuhnutí nevzniká pevné skupenství okamžitě. Dosáhne-li kapalina teploty tuhnutí, začíná **tuhnout**.

Při tuhnutí odevzdává kapalina svému okolí **skupenské teplo tuhnutí**. Co do hodnoty **je stejné jako skupenské teplo tání** pevného tělesa z téže látky a stejné hmotností. Také **měrné skupenské teplo tuhnutí je u téže látky za stejných podmínek stejné jako měrné skupenské teplo tání**.

5. Tuhnutí - procvičovací úlohy

1. **Povrch kaluže o obsahu 1,5 m² se při teplotě 0 °C pokryl souvislou vrstvou ledu tloušťky 2,0 mm. Vypočtěte energii, kterou mrznoucí voda předala při tomto ději do okolí. Hustota ledu pň teplotě 0 °C je 918 kg/m³, měrně skupenské teplo tuhnuti ledu je 334 kJ/kg.** 4400

OK 0,92 MJ

6. Vypařování a var

Vypařování je přeměna kapalného skupenství na skupenství plynné. Vypařování probíhá **za každé teploty**. Změnou teploty se ale může proces vypařování urychlit nebo naopak zpomalit.

Některé kapaliny se vypařují rychleji (např. ether), jiné pomaleji - např. voda, rtuť.

Proces vypařování lze urychlit:

- zvýšením teploty kapaliny
- zvětšení obsahu otevřeného povrchu kapaliny
- odsáváním par vzniklých při vypařování

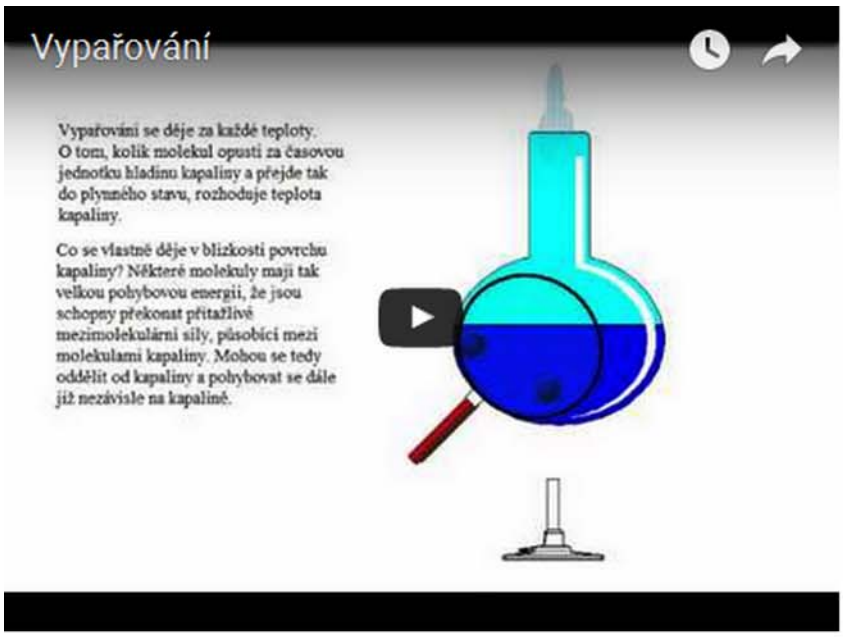
Chceme-li kapalinu přeměnit v páru téže teploty, musí kapalina přijmout skupenské teplo vypařování L_v. Jednotkou této veličiny je joule [J].

Obdobně jako u tání, tak i zde, zavádíme jednotku **měrné skupenské teplo vypařování**, označujeme jej l_v. Jedná se o skupenské teplo vypařování, vztažené ale na jednotku hmotnosti.

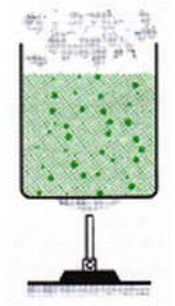
$$l_v = \frac{L_v}{m}$$

$$\mathbf{L_v = m \cdot l_v}$$

Základní jednotkou měrného skupenského tepla vypařování je [J/kg]. Často se používají jednotky násobné.



Pokud se kapalina vypařuje nejen ze svého povrchu, ale z celého svého objemu, hovoříme o **varu kapaliny**.

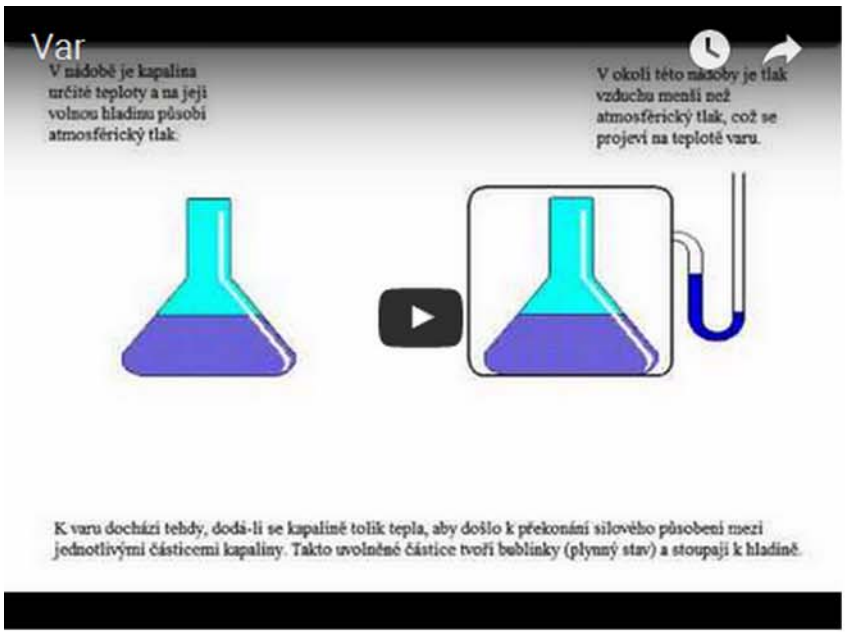


Var kapaliny nastává při teplotě t_v, která je odlišná pro různé kapaliny, a zároveň její hodnota závisí i na tlaku v okolí kapaliny.

S rostoucím tlakem kapaliny se teplota varu zvyšuje.

Voda vaří při normálním atmosférickém tlaku při teplotě 99,98 °C (= přibližně 100 °C), při vyšším tlaku je i teplota varu vyšší. Tohoto poznatku se v praxi využívá např. u tlakových hrnců používaných k přípravě pokrmů.

Pro lepší představu - stoupne-li tlak vody v hrnci na dvojnásobek atmosferického tlaku, vaří voda cca při 120 °C. Poklesne-li naopak atmosferický tlak na pětinu své původní hodnoty, klesne teplota varu vody na 60 °C.



K vypařování dochází proto, že **se vzrůstající teplotou roste kinetická energie molekul, zrychluje se jejich pohyb**. V určitou chvíli je rychlost molekul tak velká, že **opouštějí prostor kapaliny** a dostávají se nad její volný povrch. Vzniká pára. Některé molekuly se přitom vracejí zpět. Je jich ale vždy menší počet než těch, které kapalinu opouštějí.

Praktické využití varu za zvýšeného nebo sníženého tlaku:

- výroba papíru, klihu (vyšší tlak)
- sterilizace nástrojů v lékařství (vyšší tlak)
- cukrovary - výroba cukru, sirupů (nižší tlak)
- výroba sušeného mléka (nižší tlak)

Měrné skupenské teplo vypařování (při teplotě varu kapaliny) se rovná měrnému skupenskému teplu varu.

Hodnoty se uvádějí v MFCHT tabulkách.

Příklad:

Voda o hmotnosti 10,0 kg a teplotě 20 °C se ohřeje na teplotu 100 °C, a pak se všechna přemění na páru téže teploty. Jaké celkové teplo soustava přijme? Jaká část z toho připadá na změnu skupenství?

Řešení:

$m = 10{,}0$ kg
$t_1 = 20$ °C
$t_2 = 100$ °C
$c = 4{,}18 \cdot 10^3$ J/(kg . °C)
$l_v = 2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg
$Q = ?$ [J]
$L_v = ?$ [J]

$Q_1 = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$
$Q_1 = 10{,}0 \cdot 4{,}18 \cdot 10^3 \cdot (100 - 20)$ J
$Q_1 = 3\,344\,000$ J = 3,344 MJ
$L_v = m \cdot l_v$
$L_t = 10{,}0 \cdot 2{,}26 \cdot 10^6$ J
$L_t = 22\,600\,000$ J = 22,6 MJ = 23 MJ (po zaokrouhlení)
Celkové teplo:

$Q = Q_1 + L_v$
$Q = (3{,}344 + 22{,}6)$ J
$Q = 25{,}944$ MJ = 26 MJ (po zaokrouhlení)
100 % ... 26 MJ
x % ... 23 MJ

$x = 100 \cdot 23 / 26$ % = 88,5 % (po zaokrouhlení)
x = 88,5 %

Závěr:

Soustava přijala celkové teplo o velikosti 26 MJ, na přeměnu skupenství z toho připadá asi 88,5 %.

7. Vypařování a var - procvičovací úlohy

1. **Proč se rozhazuje a obrací posekaná tráva, když se suší?** 4409
OK

2. **Jak je možno v létě v přírodě chladit potraviny?** 4411
OK Zabalením do vlhké látky a položením na pokud možno větrné místo.

3. **Vodní pára o hmotnosti 2,2 kg a teplotě 100 °C zkapalní a vzniklá voda zchladne na teplotu 25 °C. Vypočtěte teplo, které při tomto ději předá voda do okolí.** 4412
OK Asi 5,7 MJ

8. Kapalnění

Obrácený děj k vypařování je **kapalnění** (kondenzace). Jedná se o přeměnu skupenství plynného na kapalné. **Měrné skupenské teplo kondenzační je rovno měrnému skupenskému teplu vypařování téže látky při stejné teplotě**.

Kapalnění může nastal na povrchu kapaliny, na povrchu pevné látky nebo ve volném prostoru. Při tomto ději dochází ke spojování molekul páry v drobné kapičky, které pak postupně rostou. Např. chladný předmět, který podržíme nad vařící vodou, se velmi rychle orosí - pokryje se drobnými kapičkami vody. Vytváření kapek usnadňují drobná zrnka prachu, saze, kouře nebo elektricky nabité částice.

Syté páry, kapalnění

Je-li kapalina v uzavřené nádobě a zahříváme ji, páry nemohou unikat, jejich hustota a tlak se stále zvětšují. Při určité teplotě bude z kapaliny unikat právě tolik molekul, kolik se jich bude vracet zpět. Pára nad kapalinou se v tu chvíli nazývá **sytá pára**. Kapalina a její sytá pára jsou v tomto okamžiku v rovnováze. Sytá pára má při určité teplotě nad kapalinou určitý tlak.

Vypaří-li se všechna kapalina v nádobě a my dále budeme zvyšovat teplotu, vzniká tzv. **pára přehřátá**. Všechny plyny jsou silně přehřátými parami.

Plyny lze za velmi nízkých teplot zkapalnět. Např. na zkapalnění kyslíku ho musíme ochladit až na teplotu -119° C.

Vlhkost vzduchu a její měření

Atmosférický vzduch obsahuje za každé teploty vodní páry, které způsobují jeho vlhkost.

Absolutní vlhkost vzduchu je určena počtem kilogramů vodní páry v jednom metru krychlovém vzduchu. Platí tedy vzorec:

$$\Phi = \frac{m}{V}$$

Jednotkou absolutní vlhkosti vzduchu je **kilogram na metr krychlový** [kg/m^3].

Je-li vzduch za dané teploty vodními parami plně nasycen, má největší (maximální) vlhkost, kterou označujeme Φ_m.

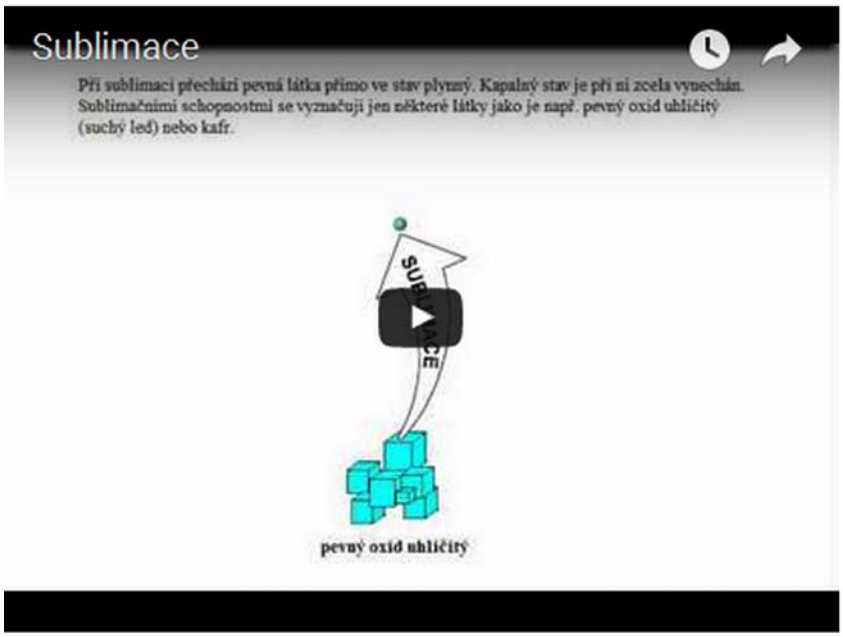
Údaj absolutní vlhkosti není vždy dostatečný. Např. za chladného rána v létě se nám vzduch zdá dosti vlhký, celá příroda je svěží. Avšak při téže absolutní vlhkosti v parném létě se nám vzduch zdá suchý, vše v přírodě usychá. Proto zavádíme pojem relativní vlhkost. **Relativní** (poměrná) **vlhkost vzduchu je určena poměrem absolutní vlhkosti vzduchu Φ a maximální absolutní vlhkosti Φ_m, která by byla možná za dané teploty**. Platí tedy vzorec:

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m}.100\%$$

Dokonale suchý vzduch (bez vodních par) má relativní vlhkost 0 %. Je-li vzduch parami nasycen, je jeho relativní vlhkost 100 %. Nejpříznivější podmínky pro člověka jsou při teplotě 20° C. Relativní vlhkost se měří vlhkoměry (hygrometry). Hlavním měřícím prvkem v těchto přístrojích bývá odmaštěný lidský vlas.

9. Sublimace a desublimace

Přeměna látky z pevného skupenství přímo ve skupenství plynné se nazývá **sublimace**. Za běžného atmosférického tlaku sublimuje např. jod, kafr, pevný oxid uhličitý (tzv. suchý led), led nebo sníh. Rovněž všechny vonící nebo páchnoucí pevné látky sublimují.



Pro měrné skupenské teplo sublimace platí:

$$l_s = \frac{L_s}{m}$$

$L_s = m \cdot l_s$

Je-li sublimující látka dostatečné hmotnosti v uzavřené nádobě, sublimuje tak dlouho, až se vytvoří **rovnovážný stav mezi pevným skupenstvím a vzniklou párou**. Objemy pevné látky a páry se dále nemění, konstantní zůstává tlak páry a teplota soustavy. Např. v termosce s ledem teploty -5 °C se vytvoří po určité době vodní pára téže teploty a tlaku asi 0,4 kPa.

Přeměna látky **ze skupenství plynného přímo ve skupenství pevné** se nazývá **desublimace**. Příkladem této

změny skupenství je vznik drobných krystalků jodu z jodových par nebo vytváření jinovatky z vodní páry za teplot pod 0 °C.

10. Sublimace a desublimace - procvičovací úlohy

1. **Popište děj, který probíhá při schnutí prádla venku při teplotě -5 °C.** 4405

OK

2. **Uveďte příklady sublimujících látek ze svého okolí a jejich případné využití.** 4406

OK

3. **Sněhové hasicí přístroje obsahují za vysokého tlaku stlačený oxid uhličitý ve skupenství kapalném i plynném. Vysvětlete, proč při otevření uzávěru je tento přístroj zdrojem vloček oxidu uhličitého.** 4407

OK

11. Souhrnné změny skupenství - ukázkový příklad

1. **Pára o hmotnosti 5,2 kg a o počáteční teplotě 100 °C zkondenzovala na vodu, a ta se při postupném ochlazování změnila až na led o teplotě -25 °C. Jaké teplo se při tom uvolnilo? Měrná tepelná kapacita ledu je 2,1 kJ/(kg.°C), měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/(kg.°C), měrné skupenské teplo tání ledu je 334 kJ/kg, měrné skupenské teplo varu vody je 2 260 kJ/kg.** 4557

!!!

m = 5,2 kg

t_1 = 100°

t_2 = -25° C

c_L = 2,4 kJ/kg.°C = 2 400 J/kg.°C

c_V = 4,2 kJ/kg.°C = 4 200 J/kg.°C

l_t = 334 kJ/kg = 334 000 J/kg

l_v = 2 260 kJ/kg = 2 260 000 J/kg

Q = ? [J]

Celkové teplo je tvořeno skupenským teplem L_v uvolněným při kondenzaci páry, dále teplem Q_1 uvolněným při ochlazení vody z teploty 100° C na teplotu 0° C, pak teplem L_t uvolněným při změně vody na led a nakonec teplem Q_2 uvolněným při ochlazení ledu z teploty 0° C na teplotu -25° C:

$Q = m \cdot l_v + m \cdot c_v \cdot (t_1 - t_0) + m \cdot l_t + m \cdot c_L \cdot (t_0 - t_2)$

$Q = m \cdot [l_V + c_V \cdot (t_1 - t_0) + l_t + c_L \cdot (t_0 - t_2)]$

Po dosazení:

$Q = 5,2 \cdot [2\,260\,000 + 4\,200 \cdot (100 - 0) + 334\,000 + 2\,400 \cdot (0 - (-25))]$ J

Q = 15 984 800 J = 16 MJ (po zaokrouhlení)

OK Celkově se uvolnilo teplo o velikosti asi 16 MJ.

12. Souhrnné změny skupenství - procvičovací úlohy

1. **Ve vodě o hmotnosti 800 g a o počáteční teplotě 10 °C zkapalní vodní pára o hmotnosti 20 g a o počáteční teplotě 100 °C. Určete výslednou teplotu vody. Měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/(kg.°C), měrné skupenské teplo varu vody je 2 260 kJ/kg.** 4590

OK 23 °C

2. 4592
V tepelně izolované nádobě je led o hmotnosti 2 kg a o teplotě 0 °C. Do nádoby přivádíme sytou vodní páru o teplotě 100 °C tak, že led roztaje a výsledná teplota vody je 0 °C. Určete hmotnost přivedené vodní páry. Měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/(kg.°C), měrné skupenské teplo tání ledu je 334 kJ/kg, měrné skupenské teplo varu vody je 2 260 kJ/kg.

OK 0,25 kg

3. 4562
240 gramů nasycené páry desublimuje tak, že každou minutu se uvolní 12 kJ tepla. Jaký čas trvala desublimace? Měrné skupenské teplo desublimace páry je 2,83 . 10^6 J/kg.

OK 56,6 min

4. 4591
Vodní pára o teplotě 100 °C zkapalní ve vodě o hmotnosti 1,0 kg a o počáteční teplotě 16 °C. Jak velkou hmotnost má vodní pára, jestliže teplota vody stoupne na 80 °C. Měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/(kg.°C), měrné skupenské teplo varu vody je 2 260 kJ/kg.

OK Asi 119 g

5. 4560
Při tepelné výměně probíhající za normálního tlaku roztál led o hmotnosti 2 kg s počáteční teplotou -10 °C. Vzniklou vodu ohřáli na 100 °C a při této teplotě se všechna vypařila. Vypočtěte celkové teplo, které soustava přijala. Měrná tepelná kapacita ledu je 2 100 J/(kg.°C), měrné skupenské teplo tání ledu je 334 000 J/kg, měrná tepelná kapacita vody je 4 180 J/(kg.°C), měrné skupenské teplo varu vody je 2,26 MJ/kg.

OK 6,066 MJ

Obsah

1. Změny skupenství látek 2
2. Tání 3
3. Tání - procvičovací úlohy 5
4. Tuhnutí 5
5. Tuhnutí - procvičovací úlohy 6
6. Vypařování a var 6
7. Vypařování a var - procvičovací úlohy 9
8. Kapalnění 9
9. Sublimace a desublimace 10
10. Sublimace a desublimace - procvičovací úlohy 11
11. Souhrnné změny skupenství - ukázkový příklad 11
12. Souhrnné změny skupenství - procvičovací úlohy 11