

# T É M A: ŘEŠENÍ ÚLOH NA ZMĚNY SKUPENSTVÍ LÁTEK

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

Datum:

## ANOTACE:

V této laboratorní práci se žáci seznámí s rozdělením látek a změnami jejich skupenství. Na jednotlivých vzorových příkladech si zopakují podmínky, za kterých dochází ke změně skupenství včetně vzorců a jejich využitím u jednotlivých příkladů. V druhé části laboratorní práce žáci samostatně řeší složitější příklady. Žáci by měli být schopni zpracovat zadané údaje a vypočítat příklady.

## TEORIE:



### Tání a tuhnutí

Když zahříváme těleso z pevné látky, při dosažení **teploty tání**  $t_t$  se přestane zvyšovat teplota a pevná látka se začne přeměňovat na kapalinu stejné teploty. Když pevná látka taje, přijímá teplo a zvětšuje se kinetická energie molekul. Zvýší se amplituda výchylek částic natolik, že se naruší vazba mezi nimi, mřížka se rozpadá, látka taje. Odevzdá-li kapalina ochlazená na teplotu tuhnutí chladnějšímu okolí teplo, klesá amplituda výchylek částic natolik, že se začnou vlivem vazebných sil utvářet krystalizační jádra, k nim se postupně přidávají další částice, látka tuhne. Během tání látka přijímá teplo, které se nazývá **skupenské teplo tání**  $L_t$  a při tuhnutí teplo okolí odevzdává a nazývá se **skupenské teplo tuhnutí**  $L_t$ . **skupenské teplo tání  $L_t$  = skupenské teplo tuhnutí  $L_t$**

**Skupenské teplo tání  $L_t$**  je teplo, které přijme pevné těleso již zahřáté na teplotu tání, aby se změnilo na kapalinu téže teploty. Přitom předpokládáme, že nenastávají jiné přeměny energie a vnější tlak nad tající látkou je stálý. Skupenské teplo tání závisí nejen na látce, ale také na jejím množství.

Proto se zavádí měrné skupenské teplo tání  $l_t$ ,

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

měrné skupenské teplo tání -;  $l_t$  [J.kg<sup>-1</sup>].

$L_t$  skupenské teplo[J]

$m$  -je hmotnost tělesa z dané látky v [kg]

### Vypařování a kondenzace

Ze života víme, že objem kapaliny v otevřené nádobě se s časem zmenšuje, neboť část kapaliny se mění v páru. Tento děj se nazývá vypařování. Vypařování se děje z volného povrchu kapaliny za každé teploty, při níž kapalně skupenství existuje. Různé kapaliny se vypařují různě rychle (např. éter, pak líh, voda, rtuť, ...). Rychlost vypařování se zvýší, zvýší-li se teplota kapaliny, zvětší-li se obsah volného povrchu a odstraňují-li se vzniklé páry nad kapalinou odsáváním, foukáním nebo větrem.

Mají-li některé molekuly kapaliny při svém neuspořádaném pohybu v blízkosti volného povrchu kapaliny dostatečnou energii na překonání sil, které na ně ze strany molekul působí, uniknou do prostoru nad kapalinou a stanou se molekulami páry. Některé molekuly páry se vracejí zpět do kapaliny, pára kondenzuje

Tohle vše známe z praxe: např. horký čaj, mícháme a foukáme, tím se rychleji ochladí. Tím odstraňujeme z prostoru nad volným povrchem čaje páry. Tak může vypařování a chladnutí čaje probíhat rychleji a unikající pára například na slech brýlí kondenzuje, kapalní.

. Chceme-li kapalinu hmotnosti  $m$  přeměnit v páru téže teploty, musí kapalina přijmout **skupenské teplo vypařování**  $L_v$ . **Měrné skupenské teplo vypařování**  $l_v$  se definuje vztahem

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

kapaliny. Tento zvláštní s rostoucí teplotou kapaliny klesá měrné skupenské teplo vypařování.

Zahříváme-li kapalinu, pozorujeme, že při dosažení určité teploty za daného tlaku se uvnitř kapaliny vytvářejí bubliny páry. Bubliny postupně zvětšují svůj objem a vystupují k volnému povrchu, případ vypařování se nazývá **var**. Při varu se kapalina nevypařuje jen na povrchu, ale také uvnitř. Teplota, při níž za daného (resp. normálního) tlaku nastává var kapaliny, se nazývá **(normální) teplota varu**. Teplota varu je závislá na vnějším tlaku - s rostoucím tlakem se zvětšuje. Tohoto jevu se využívá v praxi: varu za zvýšeného tlaku se používá při sterilizaci chirurgických nástrojů, výrobě papíru, vaření v tlakovém hrnci, ...; var za sníženého tlaku se využívá při výrobě sirupů, práškového mléka, ...

## PŘÍPRAVA:

1. Zopakujte nebo prostudujte si učivo Změny skupenství látek.
2. Za použití odborné literatury nebo internetových zdrojů vypracuj následující úkoly.
3. Budete dále potřebovat MFCH tabulky a kalkulačku

1. Co nám vyjadřuje měrné skupenské teplo tání a tuhnutí?

2. Jaký je rozdíl mezi měrnou kapacitou měrným skupenským teplem?

## ÚKOL Č. 1

Vypočítejte hmotnost ledu o teplotě  $-20^\circ\text{C}$ , který roztál ve vodě o hmotnosti 1 kg a teplotě  $30^\circ\text{C}$ , když výsledná teplota vody je po dosažení rovnovážného stavu  $20^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita ledu je  $2,1 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání ledu  $334 \text{ kJ kg}^{-1}$  a měrná tepelná kapacita vody je  $4,18 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

### ZADÁNÍ

$$t_1 = -20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 30^\circ\text{C}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$c_1 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$l_1 = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c_2 = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$m_2 = 1 \text{ kg}$$

$$m_1 = ? \text{ kg}$$

### ŘEŠENÍ

Pro tepelnou výměnu v uvažované soustavě platí

$$Q = Q_1 + L_t + Q_2$$

Kde  $Q$  je teplo, které předá voda ledu při svém ochlazení z počáteční teploty  $t_2$  na výslednou teplotu  $t$ ,  $Q_1$  je teplo potřebné k zahřátí ledu z počáteční teploty  $t_1$  na teplotu tání  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $L_t$  je skupenské teplo tání ledu o hmotnosti  $m_1$  a  $Q_2$  je teplo, které přijme voda vzniklá roztáním ledu při jejím zahřátí z teploty  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  na výslednou teplotu  $t$ .

$$m_2 c_2 \cdot (t_2 - t) = m_1 c_1 \cdot (t_0 - t_1) + m_1 l_t + m_1 c_2 \cdot (t - t_0)$$

Ze které vyplývá

$$m_1 = \frac{m_2 c_2 \cdot (t_2 - t)}{c_1 \cdot (t_0 - t_1) + l_t + c_2 \cdot (t - t_0)}$$

## VÝPOČET

$$m_1 = \frac{1,418 \cdot 10^3 (30 - 20)}{2,1 \cdot 10^3 \cdot 20 + 334 \cdot 10^3 + 4,18 \cdot 10^3 \cdot 20} = 9,1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

Hmotnost ledu, který se rozpustil ve vodě je  $9,1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

## ÚKOL Č. 2

Vypočtete teplo potřebné k roztavení mosazného předmětu o hmotnosti 0,5kg a počáteční teplotě 20°C. Teplota tání mosazi je 970°C, měrná tepelná kapacita mosazi je 394 J kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a měrné skupenské teplo tání mosazi je 159 kJ kg<sup>-1</sup>.

### ZADÁNÍ

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$t_1 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_t = 970 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 394 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$l_t = 159 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}$$

### ŘEŠENÍ

Hledané teplo vypočteme pomocí vztahu  $Q = Q_1 + L_t$

Kde  $Q_1$  je teplo potřebné k zahřátí mosazného předmětu z počáteční teploty  $t_1$  na teplotu  $t_t$  a  $L_t$  je skupenské teplo mosazi.

Po dosažení dostaneme

$$Q = m \cdot c (t_t - t_1) + m l_t$$

## VÝPOČET

$$Q = 0,5 \cdot 394 \cdot (970 - 20) + 0,5 \cdot 159 \cdot 10^3$$
$$Q = 2,67 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Na roztavení mosazného předmětu za daných podmínek je třeba teplo  $2,67 \cdot 10^5 \text{ J}$ .

## ÚKOL Č. 3

Led o hmotnosti 1000 g a teplotě 0°C nasypeme do kalorimetru, v němž je voda o hmotnosti 500 g a teplotě 50°C. Popište stav soustavy po dosažení rovnovážného stavu. Další potřebné údaje vyhledejte v MFCHT. Řešte nejdříve pro případ, kdy neuvažujeme tepelnou kapacitu kalorimetru C. Potom proveďte úvahu jak se změní výsledek úlohy je-li  $C = 100 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### ZADÁNÍ

$$m_1 = 1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$$

$$m_2 = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$$

$$t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = 120 \text{ J K}^{-1}$$

Z tabulek vyhledáme

$$c_1 = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$l_1 = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$m_l = ?$  hmotnost vody vzniklé roztáním ledu

$t = ?$  teplota rovnovážného stavu po tepelné výměně

### ŘEŠENÍ

Je-li teplota ledu rovna teplotě tání, mohou vzniknout obecně tři případy:

Všechn led roztaje a voda v kalorimetru, bude mít výslednou teplotu 0°C.

Všechn led roztaje a voda bude mít vyšší teplotu než 0°C.

Roztaje jen část ledu o hmotnosti  $m$  a teplota soustavy  $t$  led + voda bude 0°C.

Určíme podmínky pro jednotlivé případy:

Led o hmotnosti  $m_1$  a teplotě tání  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  roztaje, přijme – li skupenské teplo tání  $L_t = m_1 \cdot l_t$ ; voda o hmotnosti  $m_2$  při ochlazení z teploty  $t_2$  na teplotu tuhnutí  $t_1$  odevzdá svému okolí teplo  $Q = c \cdot m (t_2 - t_1)$ . Platí rovnost  $L_t = Q$ , pak nastane první případ.

Platí-li nerovnost  $Q > L_t$  nastane druhá možnost.

Třetí případ je charakterizován nerovností  $Q < L_t$ .

Pro zadané hodnoty je

## VÝPOČET

$$L_t = l_t \cdot m = 334 \cdot 10^3 \cdot 1 = 334 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$Q = c \cdot m_2 (t_2 - t_1) = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,5 (50 - 0) = 105\,000 = 105 \text{ kJ}$$

Z výpočtu vyplývá, že roztaje jen část ledu, jehož hmotnost  $m$  vypočítáme ze vztahu  $L_t = Q$  odkud

$$m \cdot l_t = Q \text{ a } m = \frac{Q}{l_t}$$

$$\text{Po dosazení vypočtených } Q \text{ a } L_t \text{ hodnot } m = \frac{105 \cdot 10^3}{334 \cdot 10^3} = 0,314 \text{ kg}$$

Za daných podmínek v kalorimetru roztaje 0,314 kg.

Všechn led neroztaje jen 0,314 kg a v kalorimetru vznikne směs vody a ledu o teplotě 0°C.

Jestliže řešíme úkol znovu a počítáme s tepelnou kapacitou kalorimetru

$$C = 120 \text{ J K}^{-1}$$

Tak nejprve vypočítáme teplo, které odevzdá voda s kalorimetrem ledu.

$$Q = c \cdot m_2 (t_2 - t_1) + C (t_2 - t_1) = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,5 (50 - 0) + 120 \cdot (50 - 0) = 111\,000 = 111 \text{ kJ}$$

Opětne dosadíme do vzorce  $m = \frac{Q}{l_t}$  a vypočítáme hmotnost ledu.

Po dosazení vypočtených  $Q$  a  $L_t$  hodnot

$$m = \frac{111 \cdot 10^3}{334 \cdot 10^3} = 0,332 \text{ kg}$$

Z daného výpočtu vyplývá, že všechny led neroztaje jen 0,332 kg a

## ÚKOL Č. 4

V kalorimetru s vodou o hmotnosti 1000 g a teplotě 20°C zkapalněla sytá vodní pára o hmotnosti 20 g a teplotě 50°C. Voda v kalorimetru se ohřála na teplotu 35°C. Z daných hodnot vypočítejte měrné skupenské teplo kondenzační vodní páry teploty 50°C. Tepelnou kapacitu kalorimetru zanedbejte. Další potřebné údaje vyhledejte v MFCHT.

## ZADÁNÍ

$$m_1 = 1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$$

$$m_2 = 20 \text{ g} = 0,02 \text{ kg}$$

$$c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 33^\circ \text{C}$$

## ŘEŠENÍ

Při kapalnění páry pára odevzdá skupenské teplo kondenzační  $L_v = m_2 \cdot l_v$ .  $l_v$  vyjadřuje měrné skupenské teplo kondenzační při teplotě  $t_2$ . Vzniklá voda o hmotnosti  $m_2$  a teplotě  $t_2$  předá vodě v kalorimetru teplo

$$Q_2 = c \cdot m_2 (t_2 - t_1) \text{ kde } c \text{ je měrná tepelná kapacita vody a } t_1 \text{ teplota vody před zahřátím.}$$

Podle zákona zachování energie izolované soustavy vyplývá, že

$$Q_1 = Q_2 + L_v$$

$$m_1 c \cdot (t_2 - t_1) = m_2 l_v + c \cdot m_2 (t_2 - t_1)$$

Z rovnice vyvodíme  $l_v$

$$m_1 c \cdot (t_2 - t_1) - c \cdot m_2 (t_2 - t_1) = m_2 l_v$$
$$l_v = \frac{m_1 c \cdot (t_2 - t_1) - c \cdot m_2 (t_2 - t_1)}{m_2}$$

## VÝPOČET

$$l_v = \frac{1 \cdot 4,18 \cdot 10^3 \cdot (32 - 20) - c \cdot m_2 (32 - 20)}{m_2} = 2445300 \text{ J kg}^{-1}$$

$$l_v = 2445300 \text{ J kg}^{-1} = 2,4553 \text{ kJ kg}^{-1}$$

Měrné skupenské teplo kondenzační vodní páry o teplotě 50°C je 2,4553 kJ kg<sup>-1</sup>

## ÚKOL Č. 5

Jaké množství plynu s výhřevností  $50 \text{ MJ kg}^{-1}$  spotřeboval instalatér při rozmrazování potrubí s ledem o teplotě  $-5^\circ\text{C}$  na teplotu  $5^\circ\text{C}$ . Potrubí tvoří ocelová trubka délky 2 m a vnitřním průměru 4 cm. Ocel má měrnou tepelnou kapacitu  $450 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Při ohřevu potrubí vznikaly ztráty tepla 40% z potřebného tepla na rozehrání potrubí.  $c_v = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$   $l_t = 334 \text{ kJ kg}^{-1}$ . U příkladu počítáme s tím, že led zvětšil svůj objem, ale nepoškodil potrubí.

### ZADÁNÍ

$$c_v = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$l_t = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c_l = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$m_t = 5 \text{ kg}$$

$$c_t = 450 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$H = 50 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$l = 2 \text{ m}$$

$$d = 4 \text{ cm}$$

$$r = \frac{d}{2} = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\rho = 970 \text{ kg m}^{-3}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_1 = -5^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 5^\circ\text{C}$$

### ŘEŠENÍ

#### VÝPOČET

Nejprve vypočítáme objem ledu v potrubí,

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l$$
$$V = 3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 2 = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

potom vypočítáme jeho hmotnost

$$m_l = \rho \cdot V$$
$$m_l = 970 \cdot 2,51 \cdot 10^{-3} = 2,43 \text{ kg}$$
$$Q = Q_1 + L_t + Q_2 + Q_3$$

$Q_1$  – je teplo k zahřátí ledu na teplotu  $0^\circ\text{C}$

$L_t$  – je teplo na roztání ledu při teplotě  $0^\circ\text{C}$

$Q_2$  – je teplo potřebné k zahřátí vody z ledu na teplotu  $5^\circ\text{C}$

$Q_3$  – je teplo potřebné na zahřátí trubky z teploty  $-5^\circ\text{C}$  na  $5^\circ\text{C}$

$$Q = m_l c_l (t_0 - t_1) + m_l l_t + m_l c_v (t_2 - t_0) + m_t c_t (t_2 - t_1)$$
$$Q = 2,34 \cdot 2,1 \cdot 10^3 (0 - (-5)) + 2,34 \cdot 334 \cdot 10^3 + 2,34 \cdot 4,18 \cdot 10^3 (5 - 0) + 5 \cdot 450 (5 - (-5)) = 877536 \text{ J}$$

Spotřeba tepla se ztrátami 40%  $Q_c = 1,4 \cdot Q = 1,4 \cdot 877536 = 1\,228\,550 \text{ J}$

$$\text{Výhřevnost } H = \frac{Q}{m}$$

$$m = \frac{Q_c}{H} = \frac{1228550}{50 \cdot 10^6} = 0,024 \text{ kg}$$

Instalatér spotřeboval na rozmrazení potrubí 0,024 kg plynu.

## ÚKOLY NA PROCVIČENÍ:

### ÚKOL Č. 1

Do zinkové nádoby o hmotnosti  $m_n = 300 \text{ g}$ , obsahující 400 g vody o teplotě  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ , bylo vsypáno 30 g ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$ . Jaká bude výsledná teplota vody v nádobě?

### ÚKOL Č. 2

Do ocelového kotle parní lokomotivy o hmotnosti 2 t obsahujícího 1 m<sup>3</sup> vody o teplotě  $10^\circ\text{C}$  se vhání z pomocného kotle vodní pára o teplotě  $100^\circ\text{C}$  za účelem rychlého vyhřátí. Jaké množství páry je třeba, aby se kotel s vodou vyhřál na teplotu  $90^\circ\text{C}$ ? Skupenské teplo vypařování vody při  $100^\circ\text{C}$  má hodnotu  $l_v = 2,26 \text{ MJ / kg}$ .

### **ÚKOL Č. 3**

Jaké množství tepla dodáme 100g ledu o teplotě  $-10^{\circ}\text{C}$  , aby se přeměnil na vodu o teplotě  $10^{\circ}\text{C}$  ?

### **ÚKOL Č. 4**

Jaké množství tepla musíme dodat 1kg ledu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  , aby se při teplotě varu  $100^{\circ}\text{C}$  přeměnil v páru téže teploty?

### **VYPRACOVÁNÍ:**

### **VYPRACOVÁNÍ ÚKOLU Č. 1:**

#### ZADÁNÍ

#### ŘEŠENÍ

## **VYPRACOVÁNÍ ÚKOLU Č. 2:**

### **ZADÁNÍ**

### **ŘEŠENÍ**

## **VYPRACOVÁNÍ ÚKOLU Č. 3:**

### **ZADÁNÍ**

### **ŘEŠENÍ**

## **VYPRACOVÁNÍ ÚKOLU Č. 4:**

### **ZADÁNÍ**

### **ŘEŠENÍ**

## **SEZNAM ZDROJŮ:**

- [01] Fyzika pro gymnázia Molekulová fyzika a termika Karel Bartuška, Emanuel Svoboda, Prometheus Praha 2000
- [02] Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol Miroslav Kružík SPN 1969

## METODICKÝ LIST

Název školy	Gymnázium a Jazyková škola Zlín
Autor	Mgr. Albert Vacek
Vzdělávací oblast	Člověk a příroda
Vzdělávací obor	Fyzika
Tematický okruh	Změny skupenství látek
Druh učebního materiálu	Laboratorní cvičení – žák
Cílová skupina	Žák, 18 – 19 let
Anotace	Pracovní list určen do výuky žákům – podklad pro laboratorní cvičení z fyziky. Informace žák čerpá z vlastních poznámek, odborné literatury a internetu. Náplň: Změny skupenství látek