

## 1. Vysvětlete skupenství látek a jejich změny!

Řešení:

Látky mohou být ve třech skupenstvích ( fázích ) - pevném , kapalném a plynném.

Tání - změna tuhé látky na kapalnou

Tuhnutí - změna kapalné látky na tuhou

Vypařování - změna kapalné látky na plynnou

Var - vypařování , při kterém se tlak nasycených par roven vnějšímu tlaku

Kondenzace - změna plynné látky na kapalnou

Sublimace - přímá změna tuhé látky na plynnou

$$l = \frac{L}{m}, \quad [l] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

L = skupenské teplo ( tání , tuhnutí , vypařování , varu ... )

l = měrné skupenské teplo ( tání , tuhnutí , vypařování , varu ... )

m = hmotnost látky

Pro led – voda – vodní pára platí:

$$t_{\text{tán}} = t_{\text{tuh}} = 0^{\circ}\text{C}, \quad t_{\text{var}} = t_{\text{kond}} = 100^{\circ}\text{C},$$

$$l_{\text{tán}} = l_{\text{tuh}} = 334 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad l_{\text{var}} = l_{\text{kond}} = 2260 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$l_{\text{vyp}}(20^{\circ}\text{C}) = 2430 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad l_{\text{sub}} = 2830 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4180 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad c(\text{led}) = 2100 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Přeměna ledu na páru:  $Q = Q_1 + L_1 + Q_2 + L_2 + Q_3$

$Q_1$  = teplo potřebné na ohřátí ledu na teplotu tání

$L_1$  = teplo potřebné k přeměně ledu na vodu

$Q_2$  = teplo potřebné na ohřátí vody na teplotu varu

$L_2$  = teplo potřebné k přeměně vody na páru

$Q_3$  = teplo potřebné na ohřátí páry

---

## 2. Vypočítejte teplo potřebné k roztavení hliníkového předmětu o hmotnosti 10 kg a počáteční teplotě 20°C. Použijte tabulky.

Řešení:

Rozbor:

$m = 10 \text{ kg}$ ,  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_f(\text{Al}) = 660^\circ\text{C}$ ,  $c(\text{Al}) = 896 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$   
 $l_f(\text{Al}) = 400.10^3 \text{ J.kg}^{-1}$

$$Q = Q_1 + L_f$$

$$Q = m.c.(t_f - t_1) + m.l_f$$

$$Q = m[c(t_f - t_1) + l_f]$$

$$Q = 10 \text{ kg} [896 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} (660^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + 400000 \text{ J.kg}^{-1}]$$

$$Q = 10 \text{ kg} [573440 \text{ J.kg}^{-1} + 400000 \text{ J.kg}^{-1}]$$

$$Q = 10 \text{ kg} . 973440 \text{ J.kg}^{-1} = 9734400 \text{ J} = 9,7344 . 10^6 \text{ J} \doteq 9,73 \text{ MJ}$$

$$Q = 9,73 \text{ MJ}$$

Na roztavení hliníkového předmětu třeba asi 9,73 MJ tepla.

---

**3.** Určete měrné skupenské teplo tání mědi, pokud víte, že na roztopení 5 kg mědi ohřáté na teplotu tání, je třeba 1,02 MJ tepla.

Řešení:

Rozbor:

$m = 5 \text{ kg}$ ,  $L = 1,02.10^6 \text{ J}$ ,

$$L_f = m.l_f$$

$$l_f = \frac{L_f}{m}$$

$$l_f = \frac{1,02.10^6 \text{ J}}{5 \text{ kg}} = 0,204 . 10^6 \text{ J.kg}^{-1} = 204.10^3 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$l_f(\text{Cu}) = 204000 \text{ J.kg}^{-1}$$

Měrné skupenské teplo tání mědi je  $l_f(\text{Cu}) = 204\,000 \text{ J.kg}^{-1}$

---

**4.** Do 5 litrů vody o teplotě  $50^\circ\text{C}$  vložíme led. Jaká musí být hmotnost tohoto ledu aby se celý roztál a výsledná teplota vody po roztátí ledu byla  $0^\circ\text{C}$ . Použijte tabulky!

Řešení:

Rozbor:

$V=5\text{ l} \Rightarrow m_1 = 5\text{ kg}$ ,  $t_1 = 50^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ ,  $c_1(\text{H}_2\text{O}) = 4180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$   
 $l_t(\text{ľad}) = 334\,000\text{ J.kg}^{-1}$

$$L_t = Q$$

$$m(\text{ľad}) \cdot l_t(\text{ľad}) = m_1 c_1 \Delta t$$

$$m(\text{ľad}) = \frac{m_1 c_1 (\text{H}_2\text{O}) \Delta t}{l_t(\text{ľad})}$$

$$m(\text{ľad}) = \frac{5\text{ kg} \cdot 4180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \cdot 50\text{ K}}{334000\text{ J.kg}^{-1}} = 3,13\text{ kg}$$

$$m(\text{ľad}) = 3,13\text{ kg}$$

Hmotnost ledu musí být  $m = 3,13\text{ kg}$ .

---

**5.** Voda o hmotnosti 10 kg a teplotou  $0^\circ\text{C}$  se zahřeje na  $100^\circ\text{C}$  a pak se celá vypaří na páru se stejnou teplotou. Jaké celkové teplo voda přijala? Kolik % z tohoto tepla připadá na ohřátí vody a kolik % na změnu skupenství? Použijte tabulky!

Řešení:

Rozbor:

$m = 10\text{ kg}$ ,  $\Delta t = 100^\circ\text{C} = 100\text{ K}$ ,  $c_1 = 4180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  
 $l_v = 2,26 \cdot 10^6\text{ J.kg}^{-1}$

$$Q_1 = mc_1 \Delta t$$

$$Q_1 = 10 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 100 \text{ K} = 4180 \text{ kJ}$$

$$L_v = m l_v$$

$$L_v = 10 \text{ kg} \cdot 2260 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 22600 \text{ kJ}$$

$$Q = Q_1 + L_v$$

$$Q = 4180 \text{ kJ} + 22600 \text{ kJ} = 26780 \text{ kJ}$$

$$Q = 26780 \text{ kJ}$$

**Teplo potrebné na zohriatie vody:  $Q_1 = 4180 \text{ kJ}$**

$$p_1 = \frac{4180}{267,8} = 15,6\%$$

**Teplo potrebné na zmenu skupenstva:  $L_v = 22\,600 \text{ kJ}$**

$$p_2 = \frac{22\,600}{267,8} = 84,4\%$$

Voda prijala celkom 26,78 MJ tepla.

**6.** Mosazný predmet má hmotnosť 500 g a teplotu 20°C. Vypočítajte merné skupenské teplo tání mosazi, pokiaľ viete, že na roztavenie daného predmetu treba  $2,67 \cdot 10^5 \text{ J}$  tepla. Teplota tání mosazi je 970°C a merná tepelná kapacita  $c$  (mosaz) =  $394 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Řešení:

Rozbor:

$$m = 0,5 \text{ kg}, \Delta t = 970^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 950 \text{ K}, Q = 2,67 \cdot 10^5 \text{ J}, c(\text{mosadz}) = 394 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q = Q_1 + L_t$$

$$Q = mc \Delta t + l_t \cdot m$$

$$l_t = \frac{Q - mc \Delta t}{m}$$

$$l_t = \frac{2,67 \cdot 10^5 \text{ J} - 0,5 \text{ kg} \cdot 394 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 950 \text{ K}}{0,5 \text{ kg}}$$

$$l_t = \frac{267000 \text{ J} - 187150 \text{ J}}{0,5 \text{ kg}} = \frac{79850 \text{ J}}{0,5 \text{ kg}} = 159700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$l_t = 159,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Měrné skupenské teplo tání mosazi je  $l_t = 159,7 \text{ kJ.kg}^{-1}$

---

**7.** Mosazné těleso o hmotnosti 1 kg přijalo teplo 441 980 J, v důsledku čehož se část mosazi s hmotností 500 g roztála. Jaká byla počáteční teplota tělesa?

Řešení:

Rozbor:

$t_t = 970^\circ\text{C}$ ,  $c = 394 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $l_t = 159\,700 \text{ J.kg}^{-1}$ ,  $Q = 441\,980 \text{ J}$   
 $m_1 = 1 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 0,5 \text{ kg}$ ,  $t_1 = ?$

$$Q = Q_1 + L_t$$

$$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta t + m_2 \cdot l_t$$

$$\Delta t = \frac{Q - m_2 \cdot l_t}{m_1 \cdot c}$$

$$\Delta t = \frac{441\,980 \text{ J} - 0,5 \text{ kg} \cdot 159\,700 \text{ J.kg}^{-1}}{1 \text{ kg} \cdot 394 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}} = \frac{362\,130 \text{ J}}{394 \text{ J.K}^{-1}} = 920 \text{ K} = 920^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_t - t_1$$

$$t_1 = t_t - \Delta t$$

$$t_1 = 970^\circ\text{C} - 920^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 50^\circ\text{C}$$

Počáteční teplota mosazného tělesa byla  $50^\circ\text{C}$ .

---

**8.** Určete hmotnost uhlí s výhřevností  $30 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ , které je třeba spálit v kotli ( $\eta = 70 \%$ ), aby se voda s hmotností  $m_1 = 6 \cdot 10^3 \text{ kg}$  a teplotou  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  zahřála na  $t_2 = 100^\circ\text{C}$  a při této teplotě se ještě vypařilo  $m_2 = 10^3 \text{ kg}$  vody.

Řešení:

Rozbor:

$H = 30 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ ,  $m_1 = 6 \cdot 10^3 \text{ kg}$ ,  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ ,  $m_2 = 10^3 \text{ kg}$ ,  $t_2 = 100^\circ\text{C}$   
 $c(\text{voda}) = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $l_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ ,  $\eta = 0,7$

$$Q = Q_1 + L_v$$

$$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta t + m_2 \cdot l_v$$

$$Q = 6 \cdot 10^3 \cdot \text{kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 90 \text{ K} + 10^3 \text{ kg} \cdot 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$Q = 2,2572 \cdot 10^9 \text{ J} + 2,26 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$Q = 4,5172 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{Q}{Q_v}$$

$$Q_v = \frac{Q}{\eta} = \frac{4,5172 \cdot 10^9 \text{ J}}{0,7} = 6,453 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$H = \frac{Q_v}{m}$$

$$m = \frac{Q_v}{H} = \frac{6,453 \cdot 10^9 \text{ J}}{30 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0,215 \cdot 10^3 \text{ kg} = 215 \text{ kg}$$

$$m = 215 \text{ kg}$$

Hmotnost uhlí je 215 kg.

**9.** Jaká musí být nejmenší rychlost olověné koule, aby se při nárazu na ocelovou desku celá roztála? Teplota koule před nárazem byla 27°C. ( $t_t = 327^\circ\text{C}$ ,  $l_t = 22\,600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $c = 125 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

Řešení:

Rozbor:

$$t_1 = 27^\circ\text{C}, \quad t_t = 327^\circ\text{C}, \quad l_t = 22\,600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad c = 125 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta t = 327^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$Q = Q_1 + L_t$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = m c \cdot \Delta t + m l_t \quad | : m$$

$$\frac{1}{2} v^2 = c \cdot \Delta t + l_t \quad | \cdot 2$$

$$v^2 = 2 \cdot (c \cdot \Delta t + l_t)$$

$$v = \sqrt{2 \cdot (c \cdot \Delta t + l_t)}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot (125 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 300 \text{ K} + 22600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot (37500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + 22600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})} = \sqrt{120200 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

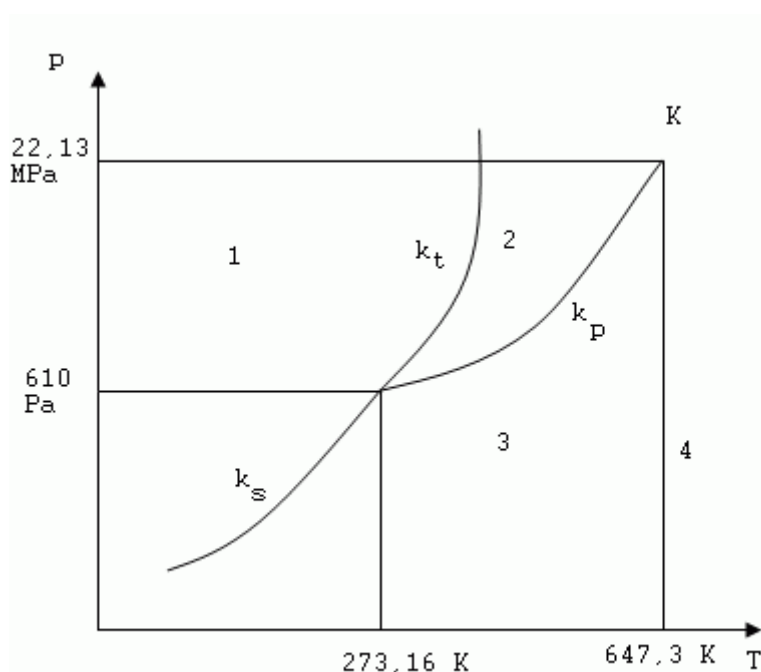
$$v = 346,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost olověné koule musí být  $v = 346,7 \text{ m.s}^{-1}$ .

**10.** Nakreslete fázový diagram pro led - voda - pára. charakterizujte:

- a.) všechny čtyři oblasti diagramu
- b.) trojný a kritický bod
- c.) nasycenou a přehřátou páru

Řešení:



$k_s$  – křivka sublimace

$k_t$  – křivka topení

$k_p$  – křivka nasycené páry

1) tuhá látka, led

2) kvapalina, voda

3) přehřátá pára

4) plyn

Trojný bod: ( $T_A = 273,16 \text{ K}$ ,  $p_A = 610 \text{ Pa}$ ). Při teplotě a tlaku trojného bodu může v uzavřené nádobě současně existovat led, voda a nasycená pára. Kritický bod: ( $T_K = 647,3 \text{ K}$ ,  $p_K = 22,13 \text{ MPa}$ ,

$\rho_K(\text{H}_2\text{O}) = 315 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Při kritickém bodě nastává „kritický stav látky“. Mizí rozdíl mezi kapalinou a její syté páry. Látka se stává uniformní. Nasycená pára je v rovnovážném stavu se svou pevnou látkou. Přehřátá pára vznikne dalším zahříváním syté páry bez přítomnosti kapaliny. Podobá se na ideální plyn. Platí stavová rovnice. Plyn je přehřátá pára ohřátá na vyšší teplotu než je kritická teplota.

**11.** Při tepelné výměně probíhající za normálního tlaku roztál led o hmotnosti 2 kg s počáteční teplotou  $-10^{\circ}\text{C}$ . Vzniklou vodu ohřáli na  $100^{\circ}\text{C}$  a při této teplotě se celá vypařila. Vypočtěte celkové teplo, které soustava přijala.

Řešení:

Rozbor:

$$c_1(\text{ľad}) = 2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, l_t(\text{ľad}) = 334000 \text{ J kg}^{-1}, c_2(\text{voda}) = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \\ l_{\text{var}} = 2,26 \text{ MJ kg}^{-1}, m = 2 \text{ kg}, t_1 = -10^{\circ}\text{C}, t_2 = 100^{\circ}\text{C}, t_0 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$c_1(\text{ľad}) = 2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, l_t(\text{ľad}) = 334000 \text{ J kg}^{-1}, c_2(\text{voda}) = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \\ l_{\text{var}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}, m = 2 \text{ kg}, t_1 = -10^{\circ}\text{C}, t_2 = 100^{\circ}\text{C}, t_0 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = m \cdot c_1(t_0 - t_1) \Rightarrow Q_1 = 2 \text{ kg} \cdot 2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 10 \text{ K} = 42000 \text{ J}$$

$$L_t = m \cdot l_t \Rightarrow L_t = 2 \text{ kg} \cdot 334000 \text{ J kg}^{-1} = 668000 \text{ J}$$

$$Q_2 = m \cdot c_2(t_2 - t_0) \Rightarrow Q_2 = 2 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 100 \text{ K} = 836000 \text{ J}$$

$$L_{\text{var}} = m \cdot l_{\text{var}} \Rightarrow L_{\text{var}} = 2 \text{ kg} \cdot 2260000 \text{ J kg}^{-1} = 4520000 \text{ J}$$

$$Q = Q_1 + L_t + Q_2 + L_{\text{var}}$$

$$Q = 42000 \text{ J} + 668000 \text{ J} + 836000 \text{ J} + 4520000 \text{ J} = 6,066 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\underline{Q = 6,066 \text{ MPa}}$$

Soustava přijala 6,066 MPa tepla.

---

**12.** Ve vodě s hmotností 8 kg a teplotou  $12^{\circ}\text{C}$  zkondenzovala vodní pára, čímž se teplota vody zvýšila na  $60^{\circ}\text{C}$ . Určíte hmotnost zkondenzované páry.

Řešení:

Rozbor:



$$m_1 = 8 \text{ kg}, t_1 = 12^\circ \text{C}, t_2 = 60^\circ \text{C}, c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}, l_{\text{kon}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, \\ \Delta T = 48 \text{ K}, m_2 = ?$$

$$m_1 = 8 \text{ kg}, t_1 = 12^\circ \text{C}, t_2 = 60^\circ \text{C}, c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}, l_{\text{kon}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, \\ \Delta T = 48 \text{ K}, m_2 = ?$$

$$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta T \quad \wedge \quad L_{\text{kon}} = m_2 \cdot l_{\text{kon}}$$

$$L = Q$$

$$m_2 \cdot l_{\text{kon}} = m_1 \cdot c \cdot \Delta T$$

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot c \cdot \Delta T}{l_{\text{kon}}}$$

$$m_2 = \frac{8 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 48 \text{ K}}{2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0,71 \text{ kg}$$

$$\underline{m_2 = 0,71 \text{ kg}}$$

$$[m] = \frac{\text{kg} \cdot \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} \text{K}}{\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}} = \text{kg}$$

Hmotnost zkondenzované páry je 0,71 kg.

**13.** 240 gramů nasycené páry desublimuje tak, že každou minutu se uvolní 12 kJ tepla. Jaký čas trvala desublimace?

Řešení:

Rozbor:

$$m = 0,24 \text{ kg}, Q' = 12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1}, l_{\text{desub}} = 2,83 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, \tau = ?$$

$$m = 0,24 \text{ kg}, Q' = 12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1}, l_{\text{desub}} = 2,83 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, \tau = ?$$

$$Q = m l_{\text{desub}}$$

$$Q = 0,24 \text{ kg} \cdot 2,83 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,6792 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$Q = 0,6792 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\tau = \frac{Q}{Q'}$$

$$\tau = \frac{0,6792 \cdot 10^6 \text{ J}}{12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1}} = 0,0566 \cdot 10^3 \text{ min} = 56,6 \text{ min}$$

$$\tau = \underline{56,6 \text{ min}}$$

Desublimace trvala 56,6 minuty.

**14.** Olověné těleso o hmotnosti 1 kg přijalo teplo 54500 J, v důsledku čehož se část olova o hmotnosti 0,5 kg roztavila. Jaká byla počáteční teplota tělesa?

Řešení:

Rozbor:

$$m_1 = 1 \text{ kg}, m_2 = 0,5 \text{ kg}, Q_1 = 54500 \text{ J}, t_{\text{top}}(\text{Pb}) = 327^\circ \text{C}, c(\text{Pb}) = 129 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$l_{\text{top}}(\text{Pb}) = 22600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$Q_1 = L_{\text{top}} + Q_2$$

$$Q_1 = m_2 l_{\text{top}} + m_1 \cdot c \cdot (t_{\text{top}} - t_1)$$

$$54500 = 0,5 \cdot 22600 + 1 \cdot 129 \cdot (327 - t_1)$$

$$54500 = 11300 + 129 \cdot (327 - t_1)$$

$$54500 = 53483 - 129 t_1$$

$$126 t_1 = -1017$$

$$t_1 = -\frac{1017}{129}$$

$$t_1 = \underline{-7,9^\circ \text{C}}$$

$$[Q_1] = J, [m_2 l_{\text{top}}] = \text{kg} \cdot \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} = J, [m_1 \cdot c \cdot (t_{\text{top}} - t_1)] = \text{kg} \cdot \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot K = J$$

Počáteční teplota tělesa byla  $-7,90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

---

**15.** Vypočítejte hmotnost ledu s teplotou  $-20^{\circ}\text{C}$ , který se roztaví ve vodě s hmotností  $1\text{ kg}$  o teplotě  $30^{\circ}\text{C}$ , pokud je výsledná teplota rovnovážného stavu  $20^{\circ}\text{C}$ .

Řešení:

Rozbor:

$$t_1 = -20^{\circ}\text{C}, c_1 = 2100\text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, l_t(\text{lad}) = 334000\text{ J.kg}^{-1}, \\ m_2 = 1\text{ kg}, t_2 = 30^{\circ}\text{C}, t_0 = 0^{\circ}\text{C}, c_2 = 4180\text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, t = 20^{\circ}\text{C}, m_1 = ?$$

$$t_1 = -20^{\circ}\text{C}, c_1 = 2100\text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, l_t(\text{lad}) = 334000\text{ J.kg}^{-1}, \\ m_2 = 1\text{ kg}, t_2 = 30^{\circ}\text{C}, t_0 = 0^{\circ}\text{C}, c_2 = 4180\text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, t = 20^{\circ}\text{C}, m_1 = ?$$

$$Q = Q_1 + L_t + Q_2$$

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

$$m_2.c_2(t_2 - t) = m_1.[c_1(t_0 - t_1) + l_t + c_2(t - t_2)]$$

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

$$m_1 = \frac{1 \cdot 4180 \cdot (30 - 20)}{2100 \cdot 20 + 334000 + 4180 \cdot 20} = \frac{41800}{42000 + 334000 + 83600} = \frac{41800}{459600} = 0,091\text{ kg}$$

$$\underline{m_1 = 9,1 \cdot 10^{-2}\text{ kg}}$$

$$[m_1] = \frac{\text{kg} \cdot (\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1})\text{K}}{(\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1})\text{K} + \text{J.kg}^{-1} + (\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1})\text{K}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{J.kg}^{-1}}{\text{J.kg}^{-1}} = \text{kg}$$

Hmotnost ledu je  $91\text{ gramů}$ .

---

**16.** Na elektrickém vařiči s příkonem  $600\text{ W}$  a účinností  $60\%$  se ohřívala voda s hmotností  $2\text{ kg}$  a počáteční teplotou  $10^{\circ}\text{C}$  na teplotu  $100^{\circ}\text{C}$ . Při této teplotě se odpařilo  $5\%$  vody. Jak dlouho trvalo ohřívání vody?

Řešení:

Rozbor:

$$m = 2\text{kg}, \Delta T = 90\text{K}, c = 4180\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, l_v = 2\,260\,000\text{J.kg}^{-1}, P = 600\text{W}, \tau = ?$$

$$m = 2\text{kg}, \Delta T = 90\text{K}, c = 4180\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}, l_v = 2\,260\,000\text{J.kg}^{-1}, P = 600\text{W}, \tau = ?$$

$$P' = 0,6.P, \Rightarrow P' = 0,6.600\text{W} = 360\text{W}$$

$$m' = 0,05.m \Rightarrow m' = 0,05.2\text{kg} = 0,1\text{kg}$$

$$Q = Q_1 + L$$

$$Q = mc\Delta T + m'l_v$$

$$Q = 2\text{kg}.4180\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}.90\text{K} + 0,1\text{kg}.2\,260\,000\text{J.kg}^{-1}$$

$$Q = 752400\text{J} + 226000\text{J}$$

$$Q = 978400\text{J}$$

$$P' = \frac{Q}{\tau}$$

$$\tau = \frac{Q}{P'}$$

$$\tau = \frac{978400\text{J}}{360\text{W}} = 2718 \frac{\text{J}}{\text{J.s}^{-1}} = 2718\text{s} = 45,3\text{ min}$$

$$\tau = 45,3\text{ min}$$

Ohřívání vody trvalo 45,3 minuty.

**17.** Ve vodě o hmotnosti 2 kg a teplotou 18°C kondenzovala pára s hmotností 0,1 kg a teplotou 100°C. Jaká je výsledná teplota vody?

Řešení:

Rozbor:

$$m_1 = 2\text{kg}, t_1 = 18^{\circ}\text{C}, m_2 = 0,1\text{kg}, t_2 = 100^{\circ}\text{C}, c(\text{voda}) = 4180\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$l_f = 2,26 \cdot 10^6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}, t = ?$$

$$m_1 = 2\text{kg}, t_1 = 18^{\circ}\text{C}, m_2 = 0,1\text{kg}, t_2 = 100^{\circ}\text{C}, c(\text{voda}) = 4180\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$l_k = 2,26 \cdot 10^6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}, t = ?$$

$$Q_1 = L_k + Q_2$$

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

$$t = \frac{m_1 c t_1 + m_2 c t_2 + m_2 l_k}{c(m_1 + m_2)}$$

$$t = \frac{2 \cdot 4180 \cdot 18 + 0,1 \cdot 4180 \cdot 100 + 0,1 \cdot 2260000}{4180 \cdot 2,1} = \frac{418280}{8778} = 47,65$$

$$\underline{t = 47,65^{\circ}\text{C}}$$

$$[t] = \frac{\text{kg} \cdot \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{C}^{-1} \text{C}}{\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{C}^{-1} \text{kg}} = \frac{1}{\text{C}^{-1}} = \text{C}$$

Výsledná teplota vody je  $47,65^{\circ}\text{C}$ .

**18.** Kostka ledu má hmotnost 10 gramů a teplotu  $0^{\circ}\text{C}$ . V kalorimetru je voda hmotnosti 1 kg a teploty  $50^{\circ}\text{C}$ . Kolik kostek ledu musíme vložit do kalorimetru, aby se všechny led roztál a výsledná teplota vody v kalorimetru byla  $0^{\circ}\text{C}$ . (Ztráty zanedbejte).

Řešení:

Rozbor:

$$m_1 = 0,01 \text{ kg}, t_1 = 0^\circ \text{C}, m_2 = 1 \text{ kg}, t_2 = 50^\circ \text{C}, c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$l_t = 334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$m_1 = 0,01 \text{ kg}, t_1 = 0^\circ \text{C}, m_2 = 1 \text{ kg}, t_2 = 50^\circ \text{C}, c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$l_t = 334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$L_{\text{ad}}: L_t = m_1 l_t, \Rightarrow L_t = 0,01 \text{ kg} \cdot 334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 3340 \text{ J}$$

$$Voda: Q = m_2 c (t_2 - t_1) \Rightarrow Q = 1 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} (50 \text{ K}) = 209000 \text{ J}$$

$$N = \frac{Q}{L_t}$$

$$N = \frac{209000 \text{ J}}{3340 \text{ J}} = 62,5 = 63$$

$$\underline{N = 63}$$

Do kalorimetru musíme vložit 63 kostek ledu.

**19.** Jaká energie se uvolní při zamrznutí rybníka o ploše 1ha, pokud se na něm vytvoří vrstva ledu o tloušťce 10cm? Počáteční teplota vody je 0°C, vzniklý led má také teplotu 0°C.

Řešení:

Rozbor:

$$S = 1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2, h = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}, \rho(\text{lad}) = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, l_t = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$S = 1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2, h = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}, \rho(\text{lad}) = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, l_t = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$L_t = m l_t$$

$$L_t = \rho V l_t$$

$$L_t = \rho S h l_t$$

$$L_t = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 10^4 \text{ m}^2 \cdot 10^{-1} \text{ m} \cdot 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} = 307,3 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$\underline{L_t = 307,3 \text{ GJ}}$$

Při zamrznutí rybníka se uvolní 307,3 GJ energie.

20. Jak se liší vnitřní energie vody s hmotností 300 gramů a teplotou 20°C od vnitřní energie vodní páry se stejnou hmotností a teplotou?

Řešení:

Rozbor:

$$m = 0,3 \text{ kg}, \Delta T = 20 \text{ K}, l_v = 2,43 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}, c(\text{voda}) = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 0,3 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 20 \text{ K} = 25080 \text{ J}$$

$$Q = 25080 \text{ J}$$

$$L_v = ml_v$$

$$L_v = 0,3 \text{ kg} \cdot 2,43 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1} = 729000 \text{ J}$$

$$\Delta U = L_v - Q$$

$$\Delta U = 729000 \text{ J} - 25080 \text{ J} = 703920 \text{ J} = 0,704 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\underline{\Delta U = 0,704 \text{ MJ}}$$

Vnitřní energie vody a páry se liší o 0,704 MJ.