

Led o hmotnosti 100 g a teplotě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ vložíme do nádoby s vodou o hmotnosti 500 g a teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Určete skupenství a teplotu látky v nádobě po dosažení rovnovážného stavu. (Tepelnou kapacitu nádoby a ztráty energie do okolí zanedbejte.)

Řešení:

$$m_l = 100\text{ g} = 0,1\text{ kg}, t_1 = -12\text{ }^{\circ}\text{C}, m_v = 500\text{ g} = 0,5\text{ kg}, t_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}, c_l = 2\,100\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}, \\ l_t = 334\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}, c_v = 4\,200\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Obecně může dojít k tepelné výměně, která se skládá ze tří etap - zahřátí ledu na teplotu tání, tání ledu, zahřátí vzniklé vody na výslednou teplotu $t > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teplejší voda je v průběhu celého procesu schopna odevzdat maximálně teplo

$$Q = m_v c_v (t_2 - 0) = 0,5 \cdot 4\,200 \cdot (20 - 0) = 42\,000\text{ J}$$

V první etapě tepelné výměny se bude zvyšovat teplota ledu, nejvýše však na teplotu tání, tedy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teplo potřebné k tomuto procesu je

$$Q_l = m_l c_l (0 - t_1) = 0,1 \cdot 2\,100 \cdot (0 - (-12)) = 2\,520\text{ J}$$

Protože je $Q_l < Q$, může tepelná výměna pokračovat druhou etapou, během níž dojde k tání ledu.

Teplo potřebné ke změně skupenství je

$$L_t = m_l l_t = 0,1 \cdot 334\,000 = 33\,400\text{ J}$$

Protože je $Q_l + L_t < Q$, může tepelná výměna probíhat i třetí etapou, při níž se bude zvyšovat teplota vody vzniklé z ledu až na výslednou teplotu t rovnovážného stavu. K určení výsledné teploty t sestavíme kalorimetrickou rovnici

$$m_l c_l (0 - t_1) + m_l l_t + m_l c_v (t - 0) = m_v c_v (t_2 - t)$$

Z kalorimetrické rovnice vyjádříme neznámou výslednou teplotu t

$$t = \frac{m_l c_l t_1 - m_l l_t + m_v c_v t_2}{(m_l + m_v) c_v}$$

Číselně

$$t = \frac{0,1 \cdot 2\,100 \cdot (-12) - 0,1 \cdot 334\,000 + 0,5 \cdot 4\,200 \cdot 20}{(0,1 + 0,5) \cdot 4\,200} \doteq 2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Odpověď:

Po dosažení rovnovážného stavu bude v nádobě pouze voda o teplotě přibližně $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.