

Do  $m_w = 2$  kg wody o temperaturze  $t_w = 22^\circ\text{C}$  wrzucono  $m_s = 1,5$  kg srebra o temperaturze  $t_s = 55^\circ\text{C}$ . Po pewnym czasie temperatury wody i srebra wyrównały się. Czy proces wyrównywania się temperatur był odwracalny? Przyjąć, że ciepło właściwe wody jest równe  $c_w = 4,19$  kJ/(kg·K), a ciepło właściwe srebra  $c_s = 0,234$  kJ/(kg·K). Założyć, że nie wystąpiły straty ciepła na rzecz otoczenia.

## ROZWIĄZANIE

Najpierw obliczymy wyrównaną temperaturę wody i srebra.

Ogólne równanie bilansu energetycznego układu (I zasada termodynamiki) ma postać

$$E_d = \Delta E_u + E_w \quad (1)$$

gdzie przyrost energii układu jest równy różnicy energii układu w stanie końcowym i początkowym

$$\Delta E_u = E_2 - E_1 \quad (2)$$

Energia doprowadzona do układu jest równa energii wewnętrznej srebra

$$E_d = U_{s1} = m_s c_s t_s \quad (3)$$

Energia układu w stanie początkowym jest równa energii wewnętrznej wody przed wrzuceniem srebra

$$E_1 = U_{w1} = m_w c_w t_w \quad (4)$$

Energia układu w stanie końcowym jest równa sumie energii wewnętrznych wody i srebra po wyrównaniu się temperatury w układzie

$$E_2 = U_{w2} + U_{s2} = m_w c_w t_k + m_s c_s t_k = (m_w c_w + m_s c_s) t_k \quad (5)$$

Energia wyprowadzona z układu jest równa zeru

$$E_w = 0 \quad (6)$$

Podstawiamy zależności (2) - (6) do równania (1)

$$m_s c_s t_s = (m_w c_w + m_s c_s) t_k - m_w c_w t_w + 0 \quad (7)$$

Po przekształceniu równania (7) otrzymujemy

$$t_k = \frac{m_s c_s t_s + m_w c_w t_w}{m_s c_s + m_w c_w} \quad (8)$$

Po podstawieniu do (8) wartości liczbowych dostajemy

$$t_k = \frac{1,5 \cdot 0,234 \cdot 55 + 2 \cdot 4,19 \cdot 22}{1,5 \cdot 0,234 + 2 \cdot 4,19} = 23,23^\circ\text{C}$$

Przekształcenie jednostek

$$\left[ \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot ^\circ\text{C} - \text{kJ}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = ^\circ\text{C} - \frac{\text{kJ}}{\frac{\text{kJ}}{\text{K}}} = ^\circ\text{C} - \text{K} = ^\circ\text{C} \right] \quad t[^\circ\text{C}] \pm \Delta T[\text{K}] \rightarrow t[^\circ\text{C}]$$

Do obliczenia przyrostów entropii należy użyć temperatury wyrażonej w kelwinach.

$$T_k = t_k + 273,15 = 23,23 + 273,15 = 296,48 [\text{K}]$$

$$T_w = t_w + 273,15 = 22 + 273,15 = 295,15 [\text{K}]$$

$$T_s = t_s + 273,15 = 55 + 273,15 = 328,15 [\text{K}]$$

Przyrost entropii wody

$$\Delta S_{w1-2} = m_w c_w \ln \left( \frac{T_k}{T_w} \right) = 4 \cdot 4,19 \cdot \ln \left( \frac{296,48}{295,15} \right) = 0,07535 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

Przyrost entropii srebra

$$\Delta S_{s1-2} = m_s c_s \ln \left( \frac{T_k}{T_s} \right) = 1,5 \cdot 0,234 \cdot \ln \left( \frac{296,48}{328,15} \right) = -0,03562 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

Przyrost entropii otoczenia

$$\Delta S_{ot1-2} = 0$$

Suma przyrostów entropii zjawiska

$$\Pi_{1-2} = \Delta S_{w1-2} + \Delta S_{s1-2} + \Delta S_{ot1-2} = 0,07535 - 0,03562 + 0 = 0,03973 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \right]$$

$\Pi_{1-2} > 0$  - proces był nieodwracalny