

Wyznaczanie ciepła topnienia lodu i zmiany entropii układu

Opis ćwiczenia

Zagadnienia do przygotowania przed ćwiczeniem:

- Podstawy termodynamiki.
 - Układ termodynamiczny. Opis stanu układu termodynamicznego.
 - Zasady termodynamiki.
 - Pojęcia: ciepło, praca, temperatura, energia wewnętrzna, entropia, entalpia.
- Energia wewnętrzna, entalpia i entropia jako termodynamiczne funkcje stanu.
- Bilans cieplny.
- Proces topnienia. Ciepło topnienia.
- Proces rozpuszczania. Ciepło rozpuszczania.
- Skala temperaturowa: Celsjusza i Kelwina; przeliczanie.

**Dział termodynamiki omawiany jest szczegółowo na drugim wykładzie.*

1. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu

Ciepło topnienia jest to ilość ciepła potrzebna do zamiany 1 kg danego ciała w ciecz o tej samej temperaturze:

$$\lambda = \frac{Q}{m} \left[\frac{J}{kg} \right]$$

gdzie: λ - ciepło topnienia,

m - masa ciała,

Q – ilość ciepła potrzebna do stopienia ciała o masie m .

Należy pamiętać, że cały proces przemiany fazowej przebiega z stałą temperaturze. np. topniejący lód ma cały czas temperaturę 0 °C, dopiero po stopieniu temperatura powstałej wody zaczyna wzrastać.

Ciepło właściwe jest to ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1 kg danego ciała o jeden Kelwin lub 1 °C:

$$c_w = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

gdzie: c_w - ciepło właściwe ciała,

m - masa ciała,

Δt – różnica temperatur w °C lub K .

W przeprowadzonym eksperymencie posłużymy się metodą kalorymetryczną do wyznaczenia ciepła topnienia lodu. Kalorymetr jest przyrządem do przeprowadzania przemian adiabatycznych w badanym układzie, czyli takich przemian, w których układ nie wymienia ciepła z otoczeniem. Generalnie przyrząd ten powinien zapewnić jak najlepszą izolację cieplną układu (szczegółowy opis kalorymetru znajduje się w skrypcie – R. Drabent, Z. Machholc, J. Siódmiak, Z. Wieczorek; Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki - na stronie 37). Metoda kalorymetryczna, opiera się na pomiarach masy i zmian temperatury układu, co pozwala wyznaczyć ilość ciepła oddanego bądź pobranego przez badane ciało. Związek między ciepłem oddanym przez ciało o temperaturze wyższej i ciepłem pobranym przez ciało o temperaturze niższej nazywamy **bilansem cieplnym**. Proszę zwrócić uwagę, że jeżeli układ jest izolowany i nie wymienia ciepła z otoczeniem to zgodnie z zasadą zachowania energii, ilość ciepła pobranego musi się równać ilości ciepła oddanego.

$$Q_{pobrane} = Q_{oddane}$$

Nasz układ składa się z:

- wewnętrznego naczynia kalorymetru wraz z pokrywką i mieszadłem. Całość wykonana z aluminium, którego ciepło właściwe jest znane i oznaczymy je na potrzeby ćwiczenia jako c_k ,
- Wody destylowanej, również o znanym ciepłe właściwym, które oznaczymy jako c_w ,
- kostki lodu, która zamieni się wodę .

Żeby zastosować zasadę bilansu cieplnego musimy sobie odpowiedzieć na pytanie , które elementy pobierają ciepło, a które oddają. Z całą pewnością możemy przyjąć, że kostka lodu będzie pobierała ciepło, które zostanie zużyte na przemianę fazową. Nazwijmy je Q_1 . Lód zamieni się w wodę, która będzie miała temperaturę 0 °C i ona również będzie pobierała ciepło. Oznaczymy je jako Q_2 . Teraz elementy oddające ciepło: kalorymetr - Q_3 i woda wlana przez nas do kalorymetru Q_4 . Zapiszmy teraz nasze równanie bilansu cieplnego:

$$Q_{pobrane} = Q_{oddane}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

W trakcie pomiarów wyznaczone zostaną masy poszczególnych elementów układu: kalorymetru - m_k , wody - m_w i lodu - m_l oraz temperatury początkowa - T_p i końcowa - T_k

układu. Znając te dane możemy korzystając z definicji ciepła właściwego i ciepła topnienia wyznaczyć poszczególne elementy bilansu cieplnego:

- ciepło pobrane przez lód:

$$Q_1 = \lambda \cdot m_l$$

- ciepło pobrane przez wodę powstałą z roztopionego lodu:

$$Q_2 = c_w \cdot m_l \cdot (T_k - T_0)$$

- ciepło oddane przez kalorymetr:

$$Q_3 = c_k \cdot m_k \cdot (T_p - T_k)$$

- ciepło oddane przez wodę:

$$Q_4 = c_w \cdot m_w \cdot (T_p - T_k)$$

Podstawiając do bilansu otrzymamy:

$$\lambda \cdot m_l + c_w \cdot m_l \cdot (T_k - T_0) = c_k \cdot m_k \cdot (T_p - T_k) + c_w \cdot m_w \cdot (T_p - T_k)$$

Przekształcając równanie bilansu cieplnego uzyskamy roboczy wzór, który pozwoli wyznaczyć ciepło topnienia lodu.

$$\lambda = \frac{(m_k c_k + m_w c_w)(T_p - T_k) - m_l c_w (T_k - T_0)}{m_l}$$

gdzie: T_0 – temperatura topnienia lodu: 273,15 K,

c_k – ciepło właściwe kalorymetru (aluminium): $891,2 \frac{J}{kg \cdot K}$,

c_w – ciepło właściwe wody: $4185 \frac{J}{kg \cdot K}$

2. Wyznaczanie zmiany entropii układu

Entropia jest funkcja związana ze stopniem uporządkowania układu termodynamicznego. Definiujemy ją jako logarytmiczną miarę prawdopodobieństwa termodynamicznego.

$$S = k \ln W$$

gdzie: S – entropia,

k – stała Boltzmana,

W – prawdopodobieństwo termodynamiczne.

W tej części ćwiczenia rozpatrywać będziemy dalej ten sam układ. W układzie zaszła pewna przemiana termodynamiczna. Możemy opisać stan początkowy i stan końcowy układu. Wcześniej wyznaczyliśmy niektóre parametry stanu początkowego: m_k , m_w , m_l oraz T_p . Stan początkowy posiada także swoją entropia, oznaczymy ją S_I . Dla stanu końcowego wyznaczyliśmy T_k , założyliśmy, że m_k i m_w się nie zmieniły, a masa wody powstałej z roztopionego lodu jest równa m_l . Stanowi końcowemu przypisujemy entropię S_{II} . Podczas przejścia układu ze stanu początkowego do stanu końcowego jego entropia się zmieniła:

$$\Delta S = S_{II} - S_I$$

Zmianę entropii układu można wyznaczyć stosując zależność:

$$\Delta S = S_{II} - S_I = \int_{T_p}^{T_k} \frac{dQ}{T}$$

gdzie: dQ – ilość ciepła przekazana,

T – temperatura, w której ciepło jest przekazywane.

Wróćmy teraz do bilansu cieplnego zachodzącej przemiany (poszczególne elementy równania wyznaczone zostały na str. 3):

$$Q_{pobrane} = Q_{oddane}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

Każdemu procesowi pobrania i oddania ciepła możemy przypisać odpowiednią zmianę entropii:

- ΔS_1 – zmiana entropii związana z procesem topnienia lodu i pobraniem ciepła Q_1 :

$$\Delta S_1 = \frac{dQ_1}{T_0} = \frac{\lambda \cdot m_l}{T_0}$$

- ΔS_2 – zmiana entropii związana z pobieraniem ciepła Q_2 przez wodę powstałą z lodu:

$$\Delta S_2 = \int_{T_p}^{T_k} \frac{dQ_2}{T} = \int_{T_p}^{T_k} \frac{c_w \cdot m_l \cdot \Delta T}{T} = c_w \cdot m_l \ln \frac{T_k}{T_0}$$

– ΔS_3 – obejmie zsumowaną zmianę entropii związaną z oddaniem ciepła przez kalorymetr Q_3 i przez wodę Q_4 .

$$\Delta S_3 = \int_{T_p}^{T_k} \frac{dQ_3 + dQ_4}{T} = \int_{T_p}^{T_k} \frac{(c_k \cdot m_k + c_w \cdot m_w) \Delta T}{T} = (c_k \cdot m_k + c_w \cdot m_w) \ln \frac{T_k}{T_p}$$

Całkowita zmiana entropii układu ΔS jest sumą zmian entropii poszczególnych procesów zachodzących w tym układzie.

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki całkowita zmiana entropii układu nie może być mniejsza od zera. Jeśli $\Delta S = 0$, czyli $S_{II} = S_I$, przemiana jest odwracalna, gdy $\Delta S > 0$, czyli $S_{II} > S_I$.