



**ĆWICZENIE
21**

**WYZNACZANIE CIEPŁA TOPNIENIA LODU METODĄ BILANSU
CIEPLNEGO**

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie ciepła topnienia lodu, zapoznanie się z pojęciami ciepła topnienia i ciepła właściwego.

Zagadnienia: Zjawisko topnienia. Zasady termodynamiki. Bilans cieplny.

1. Wprowadzenie

Pojęcie ciepła topnienia jest jednym z podstawowych pojęć termodynamicznych i w dalszej części będzie oznaczane symbolem C_t bądź c_t . Wielkość ta opisuje jaką ilość ciepła należy dostarczyć do ustalonej ilości danego ciała stałego aby je całkowicie roztopić. Należy zwrócić uwagę na to, że poprawnie określić ciepło topnienia można tylko dla materiałów krystalicznych, dla których ten proces zachodzi w ściśle ustalonej temperaturze (np. dla czystych pierwiastków). Materiały takie jak mieszaniny też mogą zmieniać stan skupienia ale temperatura w trakcie takiego procesu nie będzie stała. Materiały takie jak szkło czy parafina w sensie budowy cząsteczkowej nie są materiałami krystalicznymi, tylko cieczami przechłodzonymi i w trakcie podgrzewania stopniowo mięknią aż do postaci płynnej. Nie jest to jednak proces topnienia.

Pora na wyjaśnienie symboli:

Molowe ciepło topnienia:

$$C_t = \frac{Q}{n} \quad (1)$$

gdzie n to ilość moli substancji a Q dostarczoną w postaci ciepła energią potrzebną do stopienia substancji. Wymiar molowego ciepła topnienia to $\left[\frac{J}{mol}\right]$

Ciepło topnienia:

$$c_t = \frac{Q}{m} \quad (2)$$

definicja ulega zmianie bo tym razem ilość substancji określa jej masa m . Wymiar ciepła topnienia to $\left[\frac{J}{kg}\right]$.

W analogiczny sposób wprowadza się w termodynamice pojęcia ciepła molowego i ciepła właściwego. Jeżeli w substancji nie zachodzą przemiany fazowe (topnienie, krzepnięcie, parowanie, kondensacja, sublimacja) to efektem dostarczania lub odprowadzania ciepła jest zmiana temperatury substancji.

Ciepło molowe definiujemy:

$$C = \frac{Q}{n\Delta T} \quad (3)$$

gdzie ΔT to przyrost temperatury. Wymiar ciepła molowego to $\left[\frac{J}{mol \cdot deg}\right]$ (*deg* to oznacza stopnie Kelwina K lub Celsiusa $^{\circ}C$ mamy więc równoważne zapisy jednostki ciepła molowego; $\left[\frac{J}{mol \cdot K}\right]$, $\left[\frac{J}{mol \cdot ^{\circ}C}\right]$.

Ciepło właściwe:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (4)$$

gdzie m jak poprzednio to masa substancji. Wymiar ciepła właściwego to $\left[\frac{J}{kg \cdot deg}\right]$.

Do wyznaczania ciepła topnienia czy ciepła właściwego wykorzystuje się jedną z podstawowych zasad fizycznych a mianowicie zasadę zachowania energii. W termodynamice zasada ta przyjmuje postać 'Pierwszej Zasady Termodynamiki'

$$\Delta U = Q + W \quad (5)$$

gdzie ΔU to zmiana energii wewnętrznej układu, Q to dostarczone ciepło, a W to praca wykonana nad układem. Zmiana energii wewnętrznej układu jest związana właśnie z przemianami termodynamicznymi bądź zmianą temperatury.

Bilans cieplny

Ponieważ w technice rzadko stosuje się wielkości molowe dalszy opis przedstawiony będzie w odniesieniu do masy substancji.

Ogrzewanie lub topnienie substancji prowadzi do wzrostu jej energii wewnętrznej, ilość ciepła dostarczonego będziemy więc traktować jako dodatnią. Jeśli więc oznaczymy przez: T_p , T_k , T_t odpowiednio temperatury; początkową, końcową i topnienia otrzymamy następujące wzory na ilość dostarczonego ciepła

$$Q_{ogrzewania} = mc(T_k - T_p) > 0; (T_k > T_p) \quad (6)$$

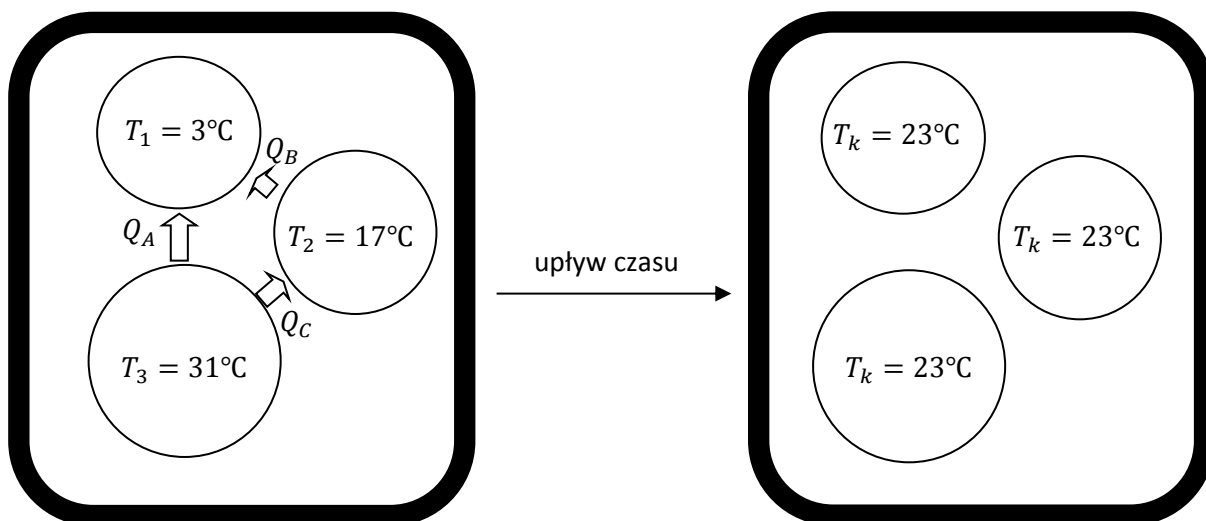
$$Q_{topnienia} = mc_t T_t > 0; (topnienie) \quad (7)$$

oraz odpowiednio

$$Q_{schładzania} = mc(T_k - T_p) < 0; (T_k < T_p) \quad (6')$$

$$Q_{krzepnięcia} = -mc_t T_t < 0; (krzepnięcie) \quad (7')$$

Jeśli umieścimy kilka substancji o różnych temperaturach i stanach skupienia w izolowanym układzie i pozostawimy tam dostatecznie długo to na podstawie drugiej zasady termodynamiki ustali się pewna temperatura końcowa, energia zewnętrzna się nie zmieni a co za tym idzie suma wymienionych ciepł wyniesie zero co możemy zapisać następująco



Rys. 2. Symboliczny obraz układu izolowanego. Ciepła, które dopływają bądź odpływają z elementów układu wynoszą odpowiednio: $Q_1 = Q_A + Q_B$; $Q_2 = Q_C - Q_B$; $Q_3 = -Q_A - Q_C$. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki ciepło przepływa od obiektu cieplejszego do chłodniejszego, aż do ustalenia temperatury końcowej, natomiast zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki energia całkowita całego układu izolowanego pozostaje stała.

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \text{ dla izolowanego układu} \quad (8)$$

Rys. 2. przedstawia przykład przepływu ciepła w izolowanym układzie trójelementowym.

2. Zasada pomiaru i układ pomiarowy

W naszym doświadczeniu zamiast typowego izolowanego naczynia zwanego kalorymetrem użyjemy stalowego garnka. Jego błyszcząca powierzchnia zminimalizuje niekorzystną wymianę ciepła z otoczeniem.



Do pomiaru temperatury wykorzystamy termometr elektroniczny o małej, pomijalnej pojemności cieplnej.



Natomiast dookreślenia mas wykorzystamy dokładną wagę elektroniczną z możliwością tarowania (ustawiania zera na wskaźniku także wówczas gdy na szali znajduje się jakiś przedmiot).



Potrzebna będzie jeszcze ciepła woda oraz lód z kostkarki.

Pomiar będzie polegał na badaniu zmian temperatury wody po wrzuceniu i rozpuszczeniu w niej ustalonej ilości lodu a następnie zapisaniu bilansu cieplnego dla całego układu. Aby to było możliwe należy określić:

- masę garnka
- masę ciepłej wody
- temperaturę początkową wody i garnka
- masę wrzucanego lodu

- temperaturę końcową wody w garnku

Równanie bilansu cieplnego dla naszego układu przyjmuje przybliżoną postać:

$$Q_{\text{topnienia lodu}} + Q_{\text{ogrzewania wody z lodu}} + Q_{\text{studzenia wody}} + Q_{\text{studzenia garnka}} = 0$$

3. Zadania do wykonania

A. Pomiary:

1. Zważyć masę stalowego garnka i na podstawie danych wagi określić jej niepewność.
2. Wlać do garnka około 1 litra wody najlepiej o temperaturze około 30°C
3. Ponownie zważyć garnek z wodą w celu określenia masy wody.
4. Umieścić w garnku termometr i zapisywać co 30 sekund temperaturę
5. Wytarować wagę wraz z metalowym kubkiem
6. Schłodzić kubek wsypując do niego kostki lodu, odlać wodę i możliwie szybko zważyć masę lodu.
7. Wsypać lód do garnka z wodą i zapisywać co 30 sekund temperaturę aż do około 5 minut po całkowitym rozpuszczeniu lodu.

B. Opracowanie wyników

1. Sporządzić wykres temperatury wody w garnku w funkcji temperatury. Zaznaczyć moment wsypania lodu.
2. Na podstawie wykresu określić temperaturę wody przed wrzuceniem lodu T_p i minimalną temperaturę przy rozpuszczaniu lodu, którą traktować jako temperaturę końcową procesu T_k
3. Umieścić wyniki oraz potrzebne dane w tabeli.
4. Obliczyć ciepło topnienia lodu na podstawie równania wynikającego z bilansu cieplnego

$$c_{\text{topnienia}} = \frac{(m_{\text{wody}}c_{\text{wody}} + m_{\text{garnka}}c_{\text{stali}})(T_p - T_k)}{m_{\text{lodu}}} - c_{\text{wody}}(T_k - T_0)$$

5. Oszacować niepewność wyznaczonego ciepła topnienia.

We wnioskach

6. Przedstawić prawidłowo zapisany wynik.
7. Porównać otrzymany wynik z danymi literaturowymi.
8. Zastanowić się nad źródłem błędów systematycznych.

Dane do obliczenia bilansu cieplnego:

Ciepło właściwe wody $c_{\text{wody}} = 4200 \pm 50 \text{ [J/(kg} \cdot \text{°C)]}$

Ciepło właściwe stali, z której zrobiony jest garnek $c_{\text{stali}} = 900 \pm 35 \text{ [J/(kg} \cdot \text{°C)]}$

Temperatura topnienia lodu $T_0 = 0,0 \text{ [°C]}$

4. Pytania:

1. Zdefiniuj ciepło właściwe i ciepło topnienia.

2. Sformułuj zasadę bilansu cieplnego. Jakie warunki musi spełniać układ pomiarowy aby bilans cieplny był przeprowadzony poprawnie.
3. Czy ciepło krzepnięcia (zamarzania) różni się od ciepła topnienia? Uzasadnij odpowiedź.