

C3. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu metodą kalorymetryczną

Celem ćwiczenia jest poznanie zjawiska topnienia, przemian fazowych, ciepła przemiany, oraz – korzystając z zasady bilansu cieplnego – doświadczalne wyznaczenie ciepła topnienia lodu.

Topnienie jest przemianą fazową ciała stałego w ciecz. Proces ten związany jest z pochłanianiem ciepła Q oraz ze zwiększaniem się entropii*.

***entropia** – funkcja stanu, charakteryzująca kierunek przebiegu spontanicznych procesów w układach termodynamicznych, jest statystyczną miarą stopnia nieuporządkowania układu. Jej jednostką jest dżul/kelwin [J/K].

Ze zmianą entropii związane jest **ciepło przemiany fazowej**, które w przypadku przejścia ze stanu stałego w ciekły, nazywa się **ciepłem topnienia**.

Ciepło topnienia jest to ilość ciepła, potrzebna do stopienia 1 kg substancji w temperaturze

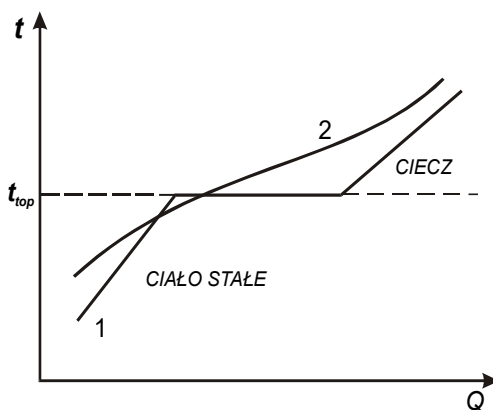
topnienia: $L = \frac{Q}{m}$. Jednostką jest $\frac{J}{kg}$.

Dla ciał krystalicznych - przy stałym ciśnieniu zewnętrznym - proces topnienia zachodzi w określonej temperaturze, charakterystycznej dla danego ciała, zwanej **temperaturą topnienia**.

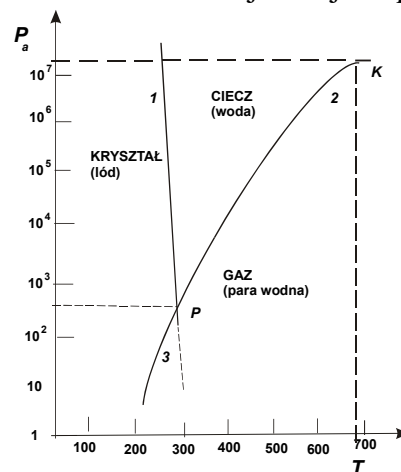
Dostarczane z zewnątrz ciepło jest zużywane na osłabienie wiązań krystalicznych, a nie na zwiększenie energii cieplnych drgań atomów (stąd nazwa: **ciepło utajone**), na skutek czego, w procesie topnienia ciał krystalicznych, temperatura ciała nie ulega zmianie (rys.1 - linia 1). W temperaturze tej ciało może współistnieć w postaci stałej i ciekłej.

Dla ciał bezpostaciowych (np. szkła, żywicy, polimeru) proces topnienia nie odbywa się w stałej temperaturze, a podczas ich ogrzewania ciała stopniowo mięknią (rys.1 - linia 2).

Krzepnięcie - jest procesem odwrotnym do topnienia i zachodzi w tej samej temperaturze.



Rys.1



Rys.2

Temperatury, zarówno topnienia jak i wrzenia zależą od ciśnienia (rys. 2). Punkt P, nazywany **punktem potrójnym**, określa warunki, w których ciało może istnieć równocześnie w trzech fazach.

W niniejszym ćwiczeniu ciepło topnienia lodu wyznacza się metodą kalorymetryczną. Do kalorymetru o masie m_k i ciepłe właściwym c_k , zawierającego wodę o masie m_w i ciepłe

właściwym c_w , wrzucamy kawałki lodu o masie m_l i temperaturze 0°C . Następuje proces wymiany ciepła, po którym ustala się temperatura końcowa układu t_k , odpowiadająca stanowi równowagi termodynamicznej.

W procesie tym **ciepło pobierane** jest:

- przez lód podczas topnienia ($Q_1 = m_l L$)
- przez wodę powstałą z lodu na ogrzanie się do t_k ($Q_2 = m_l c_w (t_k - t_{top})$)
-

natomiast **ciepło oddawane** jest:

- przez kalorymetr ($Q_3 = m_k c_k (t_p - t_k)$)
- przez wodę zawartą w kalorymetrze ($Q_4 = m_w c_w (t_p - t_k)$)

Zgodnie z zasadą bilansu cieplnego: **ciepło pobrane równa się ciepłu oddanemu**,

a więc: $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$,
czyli: $m_l L + m_l c_w (t_k - t_{top}) = m_k c_k (t_p - t_k) + m_w c_w (t_p - t_k)$

Po przekształceniu otrzymujemy wyrażenie na ciepło topnienia lodu:

$$L = \frac{(m_k c_k + m_w c_w) (t_p - t_k)}{m_l} - c_w (t_k - t_{top}) \quad (1)$$

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz.19
2. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz. 16

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(<https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/>) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*).

C3. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział
		grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy i materiały: kalorymetr (składający się z naczynia wewnętrznego, osłony termicznej, przykrywkę i mieszadełko), waga laboratoryjna, termometr, woda, lód.

1. Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru (z mieszadełkiem): (m_k).
2. Napełniamy wewnętrzne naczynie kalorymetru wodą do ok. połowy jego objętości i ponownie ważymy (m_{kw}).
3. Obliczamy masę wody: ($m_w = m_{kw} - m_k$)
4. Umieszczamy wewnątrz naczynie kalorymetru w osłonie termicznej i mierzymy temperaturę początkową wody w kalorymetrze (t_p).
5. Wrzucamy do kalorymetru kawałek topniejącego lodu, osuszony uprzednio za pomocą ręcznika papierowego. Zamykamy kalorymetr przykrywką.
6. Mieszając wodę obserwujemy spadek temperatury układu. Odczytujemy najniższą temperaturę, jaką osiągnie układ po całkowitym stopieniu się lodu (t_k).
7. Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru z pierwotnie wlaną wodą i wodą uzyskaną ze stopionego lodu (m_{kwl}).
8. Obliczamy masę lodu: ($m_l = m_{kwl} - m_{kw}$).

Tabela

masa kalorymetru m_k [kg]	masa kalorymetru z wodą m_{kw} [kg]	masa wody m_w [kg]	masa kalorymetru z wodą i lodem m_{kwl} [kg]	masa lodu m_l [kg]	temperatura początkowa t_p [°C]	temperatura końcowa t_k [°C]

$$\Delta m_k = \Delta m_{kw} = \Delta m_{kwl} = \dots \text{ [kg]}$$

$$\Delta m_w = \Delta m_k + \Delta m_{kw} = \dots \text{ [kg]}$$

$$\Delta m_l = \Delta m_{kwl} + \Delta m_{kw} = \dots \text{ [kg]}$$

$$\Delta t_p = \Delta t_k = \dots \text{ [°C]}$$

Ciepło topnienia L	$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	=	
Błąd ciepła topnienia ΔL	$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	=	
Zestawienie ($L \pm \Delta L$)	$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	=	

Opracowanie wyników

1. Wyniki pomiarów (w jednostkach SI) podstawiamy do wzoru:

$$L = \frac{(m_k c_k + m_w c_w)(t_p - t_k)}{m_l} - c_w(t_k - t_{top})$$

i obliczamy wartość ciepła topnienia lodu L .

Przyjmujemy, że ciepło właściwe kalorymetru (aluminium) $c_k = 0,896 \frac{kJ}{kg \cdot K}$, a ciepło właściwe wody $c_w = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$, temperatura $t_{top} = 0^\circ C$.

2. Błąd pomiarowy (ΔL), obliczamy metodą różniczki zupełnej, korzystając ze wzoru:

$$\begin{aligned} \Delta L = & \left| \frac{c_k(t_p - t_k)}{m_l} \right| \Delta m_k + \left| \frac{c_w(t_p - t_k)}{m_l} \right| \Delta m_w + \\ & + \left| -\frac{(c_k m_k + c_w m_w)(t_p - t_k)}{m_l^2} \right| \Delta m_l + \left| \frac{(c_k m_k + c_w m_w)}{m_l} \right| \Delta t_p + \\ & + \left| -\frac{(c_k m_k + c_w m_w)}{m_l} - c_w \right| \Delta t_k \end{aligned}$$

3. Zestawiamy obliczoną wartość L z – odpowiednio zaokrąglonym – błędem bezwzględnym ΔL w postaci: $(L \pm \Delta L)$ jedn.SI.