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***.

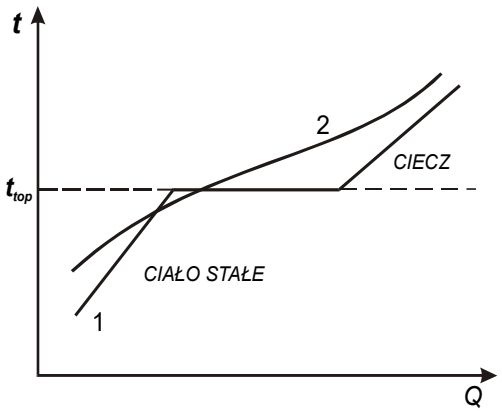
Ciepło topnienia jest to ilość ciepła, potrzebna do stopienia 1 kg substancji w temperaturze topnienia: $L = \frac{Q}{m}$. Jednostką jest $\frac{J}{kg}$.

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

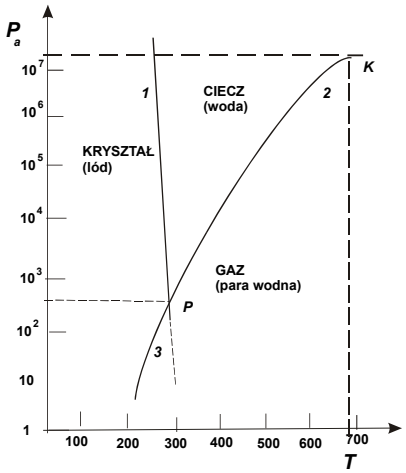
Dostarczane z zewnątrz ciepło jest zużywane na osłabienie wiązań krystalicznych, a nie na zwiększenie energii cieplnych drgań atomów (stąd nazwa: *ciepło utajone*), na skutek czego, w procesie topnienia ciał krystalicznych, temperatura ciała nie ulega zmianie (rys.1 - linia 1). W temperaturze tej ciało 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 miękną (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 cieple właściwym c_k, zawierającego wodę o masie m_w i cieple

właściwym c_w ,wrzucamy kawałki lodu o masie m_l i temperaturze 0^0C. 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:

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

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, waga laboratoryjna, termometr, woda, lód

1. Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru (z mieszadełkiem): (m_k).
2. Napełniamy kalorymetr wodą do ok. połowy jego objętości i ponownie ważymy (m_{kw}).
3. Obliczamy masę wody: ($m_w = m_{kw} - m_k$)
4. Mierzymy temperaturę początkową wody i kalorymetru (t_p).
5. Wrzucamy do kalorymetru kawałki topniejącego lodu, osuszone uprzednio za pomocą ręcznika papierowego.
6. Mierzymy najniższą temperaturę, jaką osiągnie układ po stopieniu się lodu (t_k).
7. Ważymy kalorymetr z wodą i lodem (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]

$\Delta m_k = \Delta m_{kw} = \Delta m_{kwl} =$……. [kg]

$\Delta m_w = \Delta m_k + \Delta m_{kw} =$……... [kg]

$\Delta m_l = \Delta m_{kwl} + \Delta m_{kw} =$……... [kg]

$\Delta t_p = \Delta t_k =$……. [°C]

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

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 $\boldsymbol{L}$.

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°C.

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

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

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