

KATEDRA FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA
FIZYKI CZĄSTECZKOWEJ I CIEPŁA***



ĆWICZENIE NR C-4

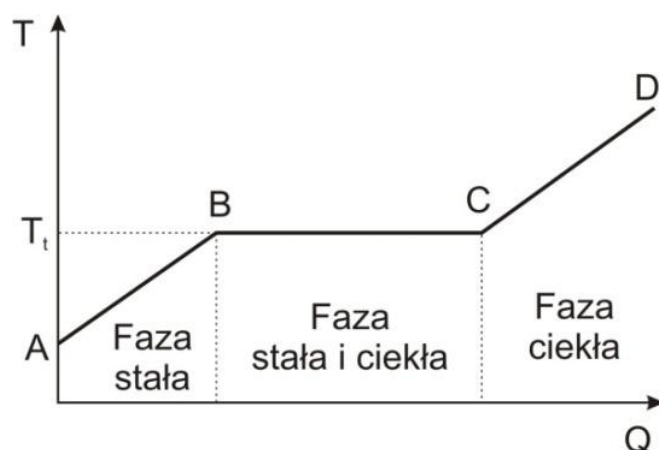
WYZNACZANIE CIEPŁA TOPNIENIA LODU

I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Pojęcie ciepła i temperatury z punktu widzenia kinetyczno-molekularnej teorii budowy materii.
2. Definicje ciepła właściwego i ciepła topnienia oraz jednostki tych wielkości.
3. Zasada bilansu cieplnego.
4. Pomiar ciepła topnienia za pomocą kalorymetru, wyprowadzenie wzoru.
5. Zależność temperatury topnienia od ciśnienia.
6. Rachunek błędów metodą różniczeki zupełnej.

II. Wprowadzenie teoretyczne

Topnienie jest przemianą fazową, polegającą na przejściu ciała ze stanu stałego w stan ciekły pod wpływem dostarczonego ciepła. Jeżeli będziemy ogrzewać ciało o budowie krystalicznej, to początkowo zauważamy liniowy wzrost temperatury ciała; na rysunku 1 jest to odcinek AB.



Rys. 1. Zmiany temperatury w procesie topnienia ciała krystalicznego

Po osiągnięciu temperatury przemiany fazowej T_t dalsze dostarczanie ciepła nie powoduje wzrostu temperatury ciała - odcinek BC. Na tym odcinku dostarczone ciepło zostaje zużywane na rozrywanie i rozluźnianie wiązań w sieci krystalicznej ciała stałego. Dla ciał krystalicznych na odcinku BC współistnieją jednocześnie dwie fazy - stała i ciekła. W punkcie C ciało stałe uległo w całości przemianie fazowej - stopnieniu. Dalsze dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury fazy ciekłej - odcinek CD. Jeżeli topnienie odbywa się pod stałym ciśnieniem, to powyżej temperatury T_t istnieje tylko faza ciekła, zaś poniżej tej temperatury faza stała. Temperaturę, w której faza stała znajduje się w równowadze z fazą ciekłą, nazywamy temperaturą topnienia lub punktem topnienia. Zjawiskiem odwrotnym do topnienia jest krzepnięcie. Temperatury topnienia i krzepnięcia są sobie równe. Temperatura topnienia ciał krystalicznych zależy od ciśnienia zewnętrznego. Dla ciał, które krzepnąc, zwiększają swoją objętość, ze wzrostem ciśnienia zewnętrznego obniża się temperatura topnienia. Natomiast dla ciał, które krzepnąc,

zmniejszają swoją objętość, wzrost ciśnienia powoduje wzrost temperatury topnienia. Wprowadzając zanieczyszczenia, powodujemy zmianę temperatury topnienia. Ciała amorficzne, nieposiadające budowy krystalicznej, nie mają wyraźnie określonej temperatury topnienia.

Ciepło potrzebne do stopienia pewnej masy ciała krystalicznego wynosi

$$Q = mL \quad (1)$$

gdzie: m - masa ciała, L - ciepło topnienia.

Stąd

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

Ciepło topnienia to ilość ciepła, jaką należy dostarczyć masie 1 kg danego ciała znajdującego się w temperaturze topnienia, aby przeszło ono ze stanu stałego w stan ciekły o tej samej temperaturze.

III. Zasada pomiaru

Do kalorymetru (wewnętrzne naczynie) o masie $m_1 = M_k$ wlewamy pewną ilość wody. Jeżeli masa kalorymetru z wodą wynosi m_2 , to masa wody $M_w = m_2 - m_1$. Temperatura początkowa kalorymetru i wody wynosi T_1 . Do tej wody wrzucamy pewną ilość lodu o temperaturze 273 K, który topi się i powstała z niego woda ma tę samą temperaturę co lód. Rośnie masa układu do wartości m_3 . Różnica $m_3 - m_2 = M_L$ jest masą stopionego lodu i wody powstałej z tego lodu. Topiący się lód i powstała z niego woda pobierają ciepło od kalorymetru i wody. Po pewnym czasie układ osiąga temperaturę końcową T_2 .

Ciepło oddane przez wewnętrzne naczynie kalorymetryczne wynosi

$$Q_1 = M_k c_k (T_1 - T_2) \quad (3)$$

gdzie c_k - ciepło właściwe kalorymetru aluminiowego.

Ciepło oddane przez wodę w kalorymetrze wynosi:

$$Q_2 = M_w c_w (T_1 - T_2) \quad (4)$$

gdzie c_w - ciepło właściwe wody.

Całkowite ciepło oddane przez wodę i kalorymetr wynosi

$$Q_0 = (M_k c_k + M_w c_w)(T_1 - T_2) \quad (5)$$

Ciepło pobrane przez lód do jego stopienia wynosi

$$Q_3 = M_L L \quad (6)$$

Ciepło pobrane przez wodę powstałą z lodu wynosi

$$Q_4 = M_L c_w (T_2 - 273) \quad (7)$$

Całkowite ciepło pobrane przez lód i wodę powstałą z lodu wynosi

$$Q_p = M_L L + M_L c_w (T_2 - 273) \quad (8)$$

Zakładając, że kalorymetr stanowi układ odosobniony, to w oparciu o zasadę bilansu cieplnego można napisać

$$Q_0 = Q_p$$

Na podstawie równań (5) i (8) mamy

$$(M_k c_k + M_w c_w)(T_1 - T_2) = M_L L + M_L c_w (T_2 - 273) \quad (9)$$

Stąd ciepło topnienia wyraża się wzorem

$$L = \frac{(M_k c_k + M_w c_w)(T_1 - T_2)}{M_L} - c_w (T_2 - 273) \quad (10)$$

IV. Zestaw pomiarowy

Waga laboratoryjna, zestaw odważników, kalorymetr, termometr.

V. Przebieg ćwiczenia

1. Na wadze szalkowej wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru z mieszadłem $m_1 = M_k$.
2. Wlewamy wodę do tego naczynia (1/3 objętości) i wyznaczamy masę tego układu m_2 .
3. Masa wody $M_w = m_2 - m_1$.
4. Mierzmy temperaturę początkową wody w kalorymetrze T_1 .
5. Wrzucamy kawałki lodu do wody.
6. Wyznaczamy masę układu m_3 . Różnica $m_3 - m_2 = M_L$ jest masą stopionego lodu i masą wody powstałej z tego lodu.
7. Po stopieniu lodu mierzymy końcową temperaturę wody w kalorymetrze T_2 .
8. Wyniki pomiarów wpisujemy do tabeli.
9. Pomiary powtórzyć trzy razy.

VI. Tabela pomiarowa

$m_1 = M_k$ [10 ⁻³ kg]	m_2 [10 ⁻³ kg]	$M_w = m_2 - m_1$ [10 ⁻³ kg]	m_3 [10 ⁻³ kg]	$M_L = m_3 - m_2$ [10 ⁻³ kg]	T_1 [K]	T_2 [K]	L [10 ⁴ J/kg]	$L_{\text{śr}}$ [10 ⁴ J/kg]

Uwaga! $c_w = \dots\dots\dots \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}},$

$c_k = \dots\dots\dots \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{odczytać z tablic.}$

VII. Opracowanie wyników

1. Obliczyć wartość ciepła topnienia lodu ze wzoru

$$L = \frac{(M_k c_k + M_w c_w)(T_1 - T_2)}{M_L} - c_w(T_2 - 273)$$

2. Obliczyć wartość średnią $L_{\text{śr}}$.

VIII. Rachunek błędów

1. Obliczyć błąd bezwzględny $|\Delta L|$ metodą różniczki zupełnej

$$|\Delta L| = \left| \frac{\partial L}{\partial M_k} \right| |\Delta M_k| + \left| \frac{\partial L}{\partial M_w} \right| |\Delta M_w| + \left| \frac{\partial L}{\partial M_L} \right| |\Delta M_L| + \left| \frac{\partial L}{\partial T_1} \right| |\Delta T_1| + \left| \frac{\partial L}{\partial T_2} \right| |\Delta T_2|$$

gdzie: $|\Delta M_k| = |\Delta m_1| = |\Delta m|$ - dokładność wagi

$$|\Delta M_w| = |\Delta(m_2 - m_1)| = |\Delta m_2| + |\Delta m_1| = 2|\Delta m|$$

$$|\Delta M_L| = |\Delta(m_3 - m_2)| = |\Delta m_3| + |\Delta m_2| = 2|\Delta m|$$

$$|\Delta T_1| = |\Delta T_2| = |\Delta T|$$

Po wykonaniu operacji różniczkowania i zastosowaniu operacji modułu otrzymujemy

$$|\Delta L| = \frac{T_1 - T_2}{M_L} c_k |\Delta M_k| + \frac{T_1 - T_2}{M_L} c_w |\Delta M_w| + \frac{T_1 - T_2}{M_L^2} (M_k c_k + M_w c_w) |\Delta M_L| + \frac{M_k c_k + M_w c_w}{M_L} |\Delta T_1| + \left(\frac{M_k c_k + M_w c_w}{M_L} + c_w \right) |\Delta T_2|$$

Grupując wyrazy z $|\Delta m|$ i $|\Delta T|$, otrzymujemy ostateczny wzór na $|\Delta L|$

$$|\Delta L| = \frac{T_1 - T_2}{M_L} \left[(c_k + 2c_w) + 2 \frac{M_k c_k + M_w c_w}{M_L} \right] |\Delta m| + \left(2 \frac{M_k c_k + M_w c_w}{M_L} + c_w \right) |\Delta T|$$

2. Obliczyć błąd względny.
3. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników i porównać uzyskaną wartość średnią L_{sr} z wartościami tablicowymi i wskazać na źródła ewentualnych różnic.

Literatura

1. Ćwiczenia laboratoryjne w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa 1985.
2. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
3. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
4. Massalski J., Massalska M., Fizyka dla inżynierów - Fizyka klasyczna, Tom I, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
5. Szydłowski R., Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.