

KATEDRA FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



PRACOWNIA
FIZYKI CZĄSTECZKOWEJ I CIEPŁA



ĆWICZENIE NR C-5

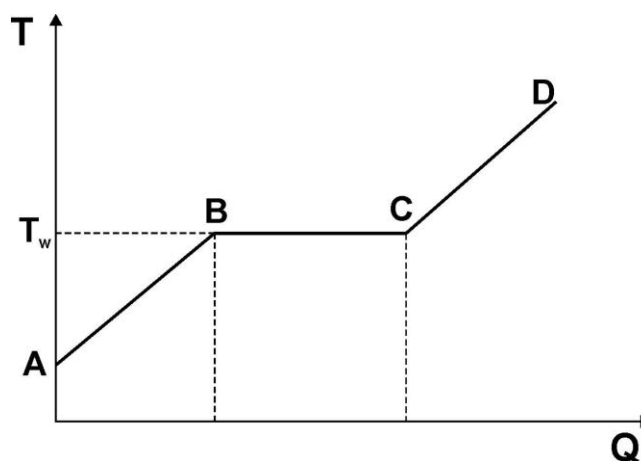
WYZNACZANIE CIEPŁA PAROWANIA WODY
METODĄ KALORYMETRYCZNĄ

I. Zagadnienia do opracowania

1. Pojęcie ciepła i temperatury z punktu widzenia kinetyczno-molekularnej teorii budowy materii.
2. Definicje ciepła właściwego i ciepła parowania oraz jednostki tych wielkości.
3. Zasada bilansu cieplnego
4. Pomiar ciepła parowania za pomocą kalorymetru, wyprowadzenie wzoru.
5. Rachunek błędu metodą różniczki zupełnej.

II. Wprowadzenie teoretyczne

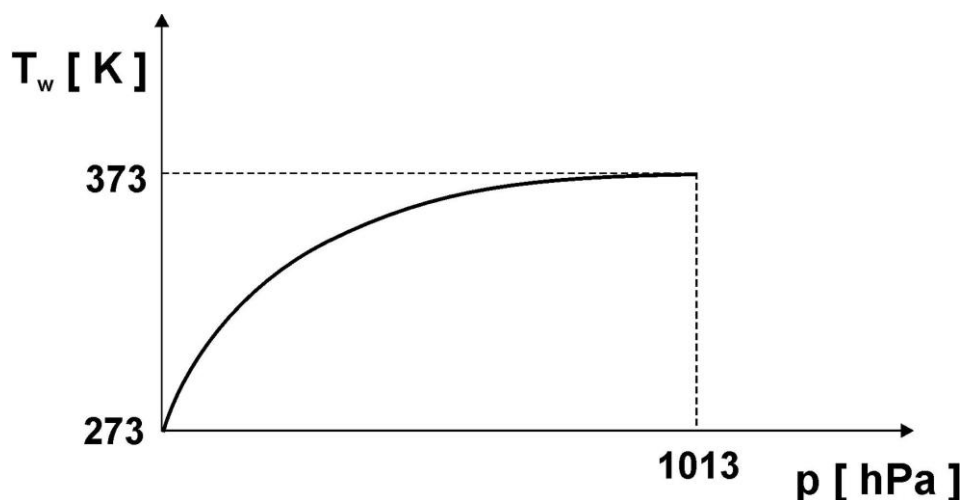
Parowanie jest jedną z przemian fazowych, polegającą na przejściu ciała ze stanu ciekłego w stan lotny pod wpływem dostarczonego ciepła. Zjawisko parowania tłumaczy się tym, że zarówno w cieczech jak i w gazach cząsteczki mają różne energie w danej temperaturze. Istnieją zatem w danej temperaturze cząsteczki o tak dużej energii, że są w stanie pokonać siły spójności i wydobyć się na zewnątrz cieczy. Powoduje to obniżanie się energii cząstek, które nie uległy wyparowaniu i temperatura cieczy obniża się. Aby proces parowania miał przebieg izotermiczny, należy dostarczyć tej cieczy określoną ilość ciepła. Ciecz paruje w każdej temperaturze w której istnieje jako ciecz. Szybkość parowania zależy od rodzaju cieczy, temperatury, wielkości powierzchni parującej oraz od przewiewu. Z rysunku 1 wynika, że dostarczanie ciepła na odcinku AB powoduje liniowy wzrost temperatury cieczy aż do osiągnięcia temperatury wrzenia T_w . Dalsze ogrzewanie odcinek BC nie powoduje wzrostu temperatury cieczy, ale dostarczone ciepło jest w całości zużyte na realizację przemiany fazowej. Na odcinku CD ogrzewanie powoduje wzrost energii cząstek pary.



Rys. 1. Zmiany temperatury w procesie ogrzewania cieczy pod stałym ciśnieniem.

Wrzenie, jest to parowanie cieczy całą jej objętością. Zachodzi ono wówczas, gdy ciśnienie pary nasyconej jest równe ciśnieniu panującemu nad powierzchnią cieczy. Wzrost ciśnienia zewnętrznego powoduje zmniejszenie szybkości parowania. Na rys.2 przedstawiono zależność temperatury wrzenia wody w zależności od ciśnienia zewnętrznego. Temperatura wrzenia czystej chemicznie wody wynosi

$T_w=373$ K pod ciśnieniem $p=1013$ hPa. Jeżeli wodę zanieczyścimy poprzez rozpuszczenie w niej soli lub cukru wówczas temperatura wrzenia będzie inna niż czystej wody.



Rys. 2. Zależność temperatury wrzenia wody od ciśnienia zewnętrznego.

Ciepło pobrane do wyparowania pewnej masy cieczy wynosi:

$$Q = m \cdot r \quad (1)$$

gdzie: m – masa cieczy;

r – ciepło parowania

stąd:

$$r = \frac{Q}{m} \left[\frac{J}{kg} \right] \quad (2)$$

Ciepłem parowania nazywamy ilość ciepła, jaką należy dostarczyć 1 kg cieczy, aby zamienić ją w parę o tej samej temperaturze. Ciepło parowania zależy od rodzaju cieczy i temperatury. Ze wzrostem temperatury ciepło parowania maleje i w temperaturze krytycznej T_k zdąża do zera, bo zanika różnica pomiędzy cieczą i jej parą nasyconą. Para skraplając się oddaje dokładnie taką samą ilość ciepła, jaką pobrała ciecz w czasie parowania. Na tej odwracalności oparte jest wyznaczanie ciepła parowania metodą skraplania.

III. Zasada pomiaru (zasada bilansu cieplnego)

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 jest równa $M_w = m_2 - m_1$. Temperatura początkowa wody i kalorymetru wynosi T_1 . Do tej wody wprowadzamy pewną ilość pary wodnej o temperaturze T_2 , która skrapla się na wodę o tej samej masie i temperaturze. Rośnie masa układu kalorymetr - woda do wartości m_3 . Ale różnica mas $m_3 - m_2 = M_p$ jest masą skroplonej pary. Para skraplając się oddaje ciepło a następnie woda powstała z tej pary oddaje ciepło i oziębia się do temperatury końcowej T_3 . Kalorymetr

Ćwiczenie C-5: Wyznaczanie ciepła parowania wody metodą kalorymetryczną

z wodą ogrzewa się do temperatury T_3 .

Ciepło pobrane przez wewnętrzne naczynie kalorymetryczne wynosi:

$$Q_1 = M_K c_K (T_3 - T_1) \quad (3)$$

gdzie: c_K – ciepło właściwe kalorymetru aluminiowego.

Ciepło pobrane przez wodę w kalorymetrze

$$Q_2 = M_w c_w (T_3 - T_1) \quad (4)$$

gdzie: c_w – ciepło właściwe wody.

Ciepło pobrane przez kalorymetr i wodę wynosi

$$Q_p = [M_K c_K + M_w c_w] (T_3 - T_1) \quad (5)$$

Ciepło oddane przez parę po skropleniu wynosi

$$Q_3 = M_p \cdot r \quad (6)$$

gdzie: r – ciepło parowania wody.

Ciepło oddane przez wodę powstałą po skropleniu pary wynosi

$$Q_4 = M_p c_w (T_2 - T_3) \quad (7)$$

Ciepło oddane przez parę i wodę powstałą z pary wynosi

$$Q_o = M_p r + M_p c_w (T_2 - T_3) \quad (8)$$

Zakładając, że kalorymetr stanowi układ zamknięty, to w oparciu o zasadę bilansu cieplnego można napisać, że $Q_p = Q_o$ i na podstawie równań (5) i (8) mamy :

$$(M_K c_K + M_w c_w)(T_3 - T_1) = M_p r + M_p c_w (T_2 - T_3) \quad (9)$$

Po przekształceniu równania (9) otrzymujemy wzór na ciepło parowania r

$$r = \frac{(M_K c_K + M_w c_w) \cdot (T_3 - T_1)}{M_p} - c_w (T_2 - T_3) \quad (10)$$

IV. Zestaw pomiarowy

Waga laboratoryjna, komplet odważników, kalorymetr, termometr, maszynka, układ parowania wody.

V. Przebieg ćwiczenia

1. Na włączony grzejnik wstawiamy szklaną kolbę z wodą w celu doprowadzenia jej do wrzenia.
2. Na wadze szalkowej wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru z mieszadłem $m_1 = M_K$
3. Wlewamy wodę do tego naczynia (1/3 objętości) i wyznaczamy masę układu m_2 . Masa wody jest równa $M_w = m_2 - m_1$.
4. Wkładamy naczynie do obudowy kalorymetru i odczytujemy początkową temperaturę wody

Ćwiczenie C-5: Wyznaczanie ciepła parowania wody metodą kalorymetryczną

w kalorymetrze T_1 .

5. Gumową rurkę z wydobywającą się parą wodną wkładamy do kalorymetru i doprowadzamy parę tak długo, aż temperatura wody w kalorymetrze wzrośnie o około 10°C . W czasie doprowadzania pary wodnej do kalorymetru ciągle mieszamy wodę w kalorymetrze. Następnie wyciągamy z kalorymetru wąż dostarczający parę wodną.
6. Mierzmy końcową temperaturę wody w kalorymetrze T_3 .
7. Wyznamy masę układu m_3 . Różnica mas $m_3 - m_2 = M_p$ stanowi masę skroplonej pary.
8. Wyniki pomiarów wpisujemy do Tabeli 1.
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]	$M_p = m_3 - m_2$ [10^{-3} kg]	T_1 [K]	T_3 [K]	r [10^6 J/kg]	r_{sr} [10^6 J/kg]

Uwaga! $c_w = \dots\dots\dots \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$,
 $c_k = \dots\dots\dots \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$ odczytać z tablic.

Ponieważ temperatura wrzenia wody T_2 zależy od ciśnienia atmosferycznego, należy odczytać w pracowni wartość ciśnienia atmosferycznego i korzystając z tablic fizycznych odczytać temperaturę wrzenia wody.

VII. Opracowanie wyników

1. Obliczyć wartość ciepła topnienia lodu ze wzoru:

$$r = \frac{(M_k c_k + M_w c_w) \cdot (T_3 - T_1)}{M_p} - c_w (T_2 - T_3)$$

2. Obliczyć wartość średnią r_{sr} .

VIII. Rachunek błędów

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

$$|\Delta r| = \left| \frac{\partial r}{\partial M_k} \right| \cdot |\Delta M_k| + \left| \frac{\partial r}{\partial M_w} \right| \cdot |\Delta M_w| + \left| \frac{\partial r}{\partial M_L} \right| \cdot |\Delta M_L| + \left| \frac{\partial r}{\partial T_1} \right| \cdot |\Delta T_1| + \left| \frac{\partial r}{\partial T_3} \right| \cdot |\Delta T_3|$$

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

Ćwiczenie C-5: Wyznaczanie ciepła parowania wody metodą kalorymetryczną

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

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

$$|\Delta T_1| = |\Delta T_3| = |\Delta T|$$

Po wykonaniu operacji różniczkowania i zastosowaniu operacji modułu otrzymujemy:

$$|\Delta r| = \left| \frac{T_3 - T_1}{M_p} c_K \right| \cdot |\Delta M_K| + \left| \frac{T_3 - T_1}{M_p} c_w \right| \cdot |\Delta M_w| + \left| \frac{T_3 - T_1}{M_p^2} (M_K c_K + M_w c_w) \right| \cdot |\Delta M_p| + \\ + \left| \frac{M_K c_K + M_w c_w}{M_p} + c_w \right| \cdot |\Delta T_3| + \left| \frac{M_K c_K + M_w c_w}{M_p} \right| \cdot |\Delta T_1| + |c_w| \cdot |\Delta T_2|$$

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

$$|\Delta r| = \left| \frac{T_3 - T_1}{M_p} \left[(c_K + 2c_w) + 2 \left(\frac{M_K c_K + M_w c_w}{M_p} \right) \right] \right| \cdot |\Delta m| + \left| 2 \left(\frac{M_K c_K + M_w c_w}{M_p} \right) \right| \cdot |\Delta T| + |c_w| (\Delta T_2 + \Delta T_3)$$

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

IX. Literatura

1. J.M. Massalscy - „Fizyka dla inżynierów” tom I, WNT, Warszawa, 1971 r
2. R. Szydłowski - „Pracownia fizyczna” PWN, Warszawa, 1999 r
3. T. Dryński „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki”, PWN, Warszawa, 1976r;
4. T. Rewaj i inni – „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w Politechnice” PWN, Warszawa, 1978 r
5. J. Lech – Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005r.