

Ćwiczenie C₁-C₄
WYZNACZANIE CIEPŁA TOPNIENIA LODU
LUB CIEPŁA WŁAŚCIWEGO WYBRANEGO CIAŁA
Instrukcja dla studenta

I. WSTĘP

Ciepło jest wielkością charakteryzującą przepływ energii (analogiczną do pracy) wywołany różnicą temperatur.

Wzrost temperatury od jej wartości początkowej (T_p) do wartości końcowej (T_k) wymaga dostarczenia układowi energii w postaci ciepła (Q) proporcjonalnego do masy (m) i różnicy tych temperatur (T_p i T_k):

$$Q = cm(T_k - T_p)$$

Współczynnik proporcjonalności c , zależy od rodzaju substancji i od warunków wymiany ciepła (stałego ciśnienia p , czy stałej objętości V) i nazywamy go **ciepłem właściwym (c)**, czyli ilością ciepła konieczną do ogrzania jednostki masy substancji (1kg) o jednostkę temperatury (1K). Przy dokładnych pomiarach okazuje się, że c jest funkcją temperatury i dla niezbyt dużych różnic T_p i T_k można założyć zależność liniową $c(T)$. Ciepło, podobnie jak pracę i energię mechaniczną, mierzymy w dżulach $[J]$, zaś jednostką ciepła właściwego jest:

$$\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right].$$

Pojemność cieplną (C) ciała wyrażamy wzorem:

$$C = cm = \frac{Q}{T_k - T_p}$$

Jest to ilość energii jaką należy dostarczyć do ciała w postaci ciepła, aby podwyższyć jego temperaturę o 1K. Jednostką tej wielkości jest: $\left[\frac{J}{K} \right]$.

Ilość ciepła pobrana przez ciało/układ przy zmianie temperatur od T_p do T_k równa jest ilości ciepła oddanego przez inne ciało/układ czy otoczenie dla zmiany temperatur od T_k do T_p przy przejściu przez te same stany pośrednie. Ciała te czy też układy muszą być ze sobą w kontakcie umożliwiającym przepływ energii termicznej.

Ciepło przemiany (c_{przem}) jest to ilość energii, którą należy przekazać jednostkowej masie substancji, aby uległa ona przemianie fazowej (np.: krzepnięciu, stopieniu, skropleniu...)

$$Q = c_{przem}m$$

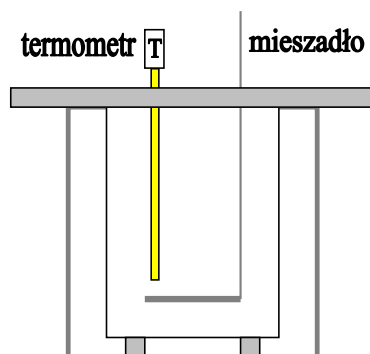
Szczególnym rodzajem ciepła przemiany jest **ciepło topnienia (L)**, czyli ilość energii w postaci ciepła niezbędna do stopienia 1kg substancji w stałej temperaturze:

$$L = \frac{Q}{m}$$

Jednostką ciepła przemiany jest: $\left[\frac{J}{kg} \right]$.

Przyrządem służącym do pomiarów wielkości tj. ciepło właściwe ciała, ciepło przemiany, jest **kalorymetr**, który składa się z dwóch koncentrycznie osadzonych naczyń

metalowych, między którymi znajduje się warstwa powietrza źle przewodząca ciepło. Naczynie wewnętrzne oddzielone jest podpórkami wykonanymi z materiałów izolujących i całość zakryta pokrywą z materiału nieprzewodzącego (**Rys. 1.**). Straty ciepła następują zatem na skutek promieniowania podczerwonego emitowanego przez naczynia kalorymetru.



Rys. 1. Przekrój kalorymetru laboratoryjnego.

Podstawą pomiarów kalorymetrycznych jest ustalenie **bilansu ciepła**, czyli porównanie ciepła utraconego przez ciała cieplejsze i ciepła zyskanego przez ciała chłodniejsze.

W przypadku pomiaru ciepła topnienia lodu mierzymy spadek temperatury od T_p do T_k w kalorymetrze związany ze stopieniem w wodzie lodu i następnie jej podgrzaniem od temperatury topnienia, czyli 0°C do T_k .

Istotne jest właściwe wyznaczenie temperatur T_p i T_k . Należy zatem wziąć pod uwagę zarówno wymianę ciepła przez kalorymetr z otoczeniem (płynięcie temperatury), jak i bezwładność termometru (stałą czasową) w czasie pomiarów temperatury. Konieczne jest więc wykonanie pomiarów zmian temperatury w kalorymetrze w czasie, wykreślenie ich i odpowiednia interpolacja wykresu.

Bilans ciepła w kalorymetrze dla procesu topnienia lodu:

Lód topiąc się pobiera ciepło:

$$Q_1 = L \cdot m_{\text{lodu}}$$

nie zmieniając przy tym swej temperatury, natomiast woda powstała po stopieniu ogrzewa się od 0°C do T_k , zatem pobierze ciepło:

$$Q_2 = c_{\text{wody}} \cdot m_{\text{lodu}} (T_k - 0^\circ\text{C}).$$

Natomiast kalorymetr i woda w procesie tym tracą odpowiednią ilość ciepła:

$$Q_3 = c_{\text{kal}} \cdot m_{\text{kal}} (T_p - T_k),$$

$$Q_4 = c_{\text{wody}} \cdot m_{\text{wody}} (T_p - T_k)$$

Ilość ciepła pobranego przez ciała chłodniejsze jest równa ilości ciepła utraconego przez ciała cieplejsze:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

Zatem wartość ciepła topnienia lodu wyraża się wzorem:

$$L = \frac{(c_{kal} \cdot m_{kal} + c_{wody} \cdot m_{wody})(T_p - T_k) - c_{wody} \cdot m_{lodu}(T_k)}{m_{lodu}}.$$

Ciepła właściwe wody (c_{wody}) i materiału (c_{kal}), z którego wykonany jest kalorymetr (zwykle jest to aluminium), przyjmujemy jako wartości znane i odczytujemy je z tablic. Natomiast m_{kal} , m_{wody} , m_{lodu} oraz T_p i T_k wyznaczamy eksperymentalnie.

II. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Masz do dyspozycji:

- kalorymetr;
- wodę destylowaną i lód;
- wagę laboratoryjną szalkową i zestaw odważników;
- termoparę miedź – konstantan;
- woltomierz cyfrowy typ V-544;
- pokojowy termometr;
- zestaw do podgrzewania wody;
- dwa ciała stałe w kształcie przypominającym walec.

Wykonanie pomiarów

Przed rozpoczęciem wykonania pomiarów należy zapoznać się z dostępną aparaturą, przetestować sposób pomiaru i zaplanować kolejność działań przeprowadzenia właściwego eksperymentu. Student powinien wiedzieć jakie zjawiska fizyczne będzie obserwował w doświadczeniu i jakie wielkości należy zmierzyć, aby móc wyznaczyć podczas analizy zebranych pomiarów oczekiwane wartości jakimi są ciepło topnienia lodu czy też ciepło właściwe ciała stałego.

Należy pamiętać, że lód pobrany z zamrażarki ma znacznie niższą temperaturę od temperatury topnienia, dlatego też należy wyjąć go wcześniej i doprowadzić do stanu topnienia (0°C).

Wykonując pomiary masy na wadze szalkowej należy pamiętać, że ciało ważone zawsze należy kłaść na zaaretowaną wagę.

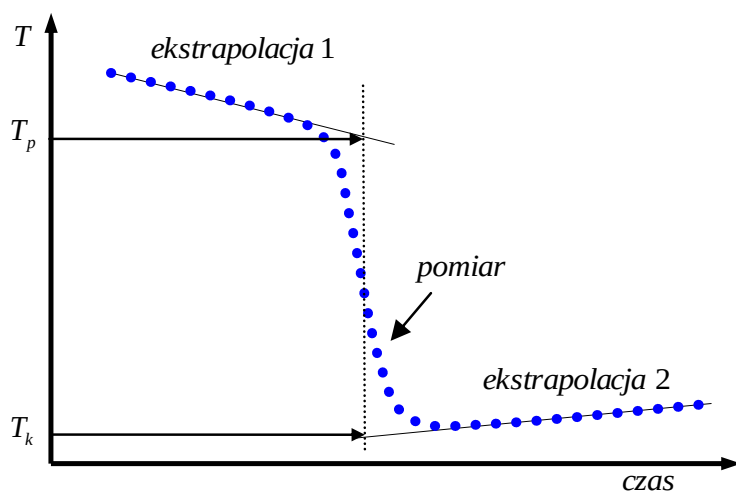
Kalorymetr napełniamy wodą do ok. $\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$ jego objętości o temperaturze nieco wyższej od otaczającej(o ok. 7 – 10 °C ze względu na ogrzewanie naczyń kalorymetru). Zmiany temperatury mierzymy termoparą (zasada pomiaru umieszczona na końcu instrukcji) w odstępach 30 sekundowych, pamiętając o ciągłym mieszaniu wody. Pomiary temperatury rozpoczynamy ok. 5 min przed wrzuceniem do wody lodu, aby temperatura w kalorymetrze się ustaliła. Przygotowane wcześniej kostki lodu należy osuszyć ręcznikiem papierowym i

włożyć natychmiast po osuszeniu do wody unikając rozprysków, ponieważ efekt ten zmienia nam początkową masę wody. Koniec eksperymentu sugerują niewielkie zmiany temperatury obserwowane w kolejnych krokach czasowych.

W przypadku pomiaru ciepła właściwego ciała, badane ciało należy odpowiednio schłodzić lub podgrzać za pomocą np.: łaźni wodnej, tak aby temperatura w całej jego objętości była taka sama.

III. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Zmiany temperatury w czasie należy wykreślić na papierze milimetrowym. Ze względu na proces wymiany ciepła z otoczeniem przez (nieidealny) kalorymetr, wyznaczenie temperatur ma zasadniczy wpływ na błędy pomiaru. W celu wyznaczenia temperatury początkowej (T_p) i końcowej (T_k) należy przeprowadzić interpolację dla zmian temperatury na początku i końcu obserwowanego procesu wymiany ciepła [1,2]. Następnie należy poprowadzić prostą prostopadłą do osi czasu tak by pola zawarte po obydwu stronach krzywej $T(t)$ i ograniczone krzywymi ekstrapolowanymi były równe. Punkty przecięcia tej prostej z krzywymi ekstrapolowanymi wyznaczają T_p i T_k .



Rys. 2. Zmiana temperatury w czasie w procesie zachodzącym w kalorymetrze.

Niepewności temperatur wyznaczamy na podstawie krzywych ograniczających tzw. obszar niepewności krzywej doświadczalnej. Krzywe te rysuje się w odległościach równoodległych od krzywej interpolowanej po obu jej stronach tak, aby obejmowały wszystkie punkty doświadczalne [2].

W przypadku szacowania niepewności wartości mas należy uwzględnić niepewność przyrządu. W sprawozdaniu należy oczywiście krótko wyjaśnić sposób szacowania błędu danej wielkości czy też podać odpowiednie wzory (szczególnie dla niepewności wielkości mierzonych pośrednio). Stałe tablicowe należy przyjąć jako wartości nieobarczone błędem.

Raport końcowy powinien zawierać:

- streszczenie (2-3 zdania informujące o tym, co zostało zbadane podczas eksperymentu i jakie otrzymano wyniki),
- część teoretyczną przedstawiającą badane zjawisko,
- krótki opis układu doświadczalnego,

- prezentację wyników wraz ze sposobem eksperymentalnego czy teoretycznego wyznaczenia wielkości (wyniki powinny być zebrane w odpowiednio zaprojektowanych tabelach i jednocześnie część z nich przedstawiona na wykresie),
- dyskusję wyników i niepewności pomiarów,
- literaturę.

Literatura

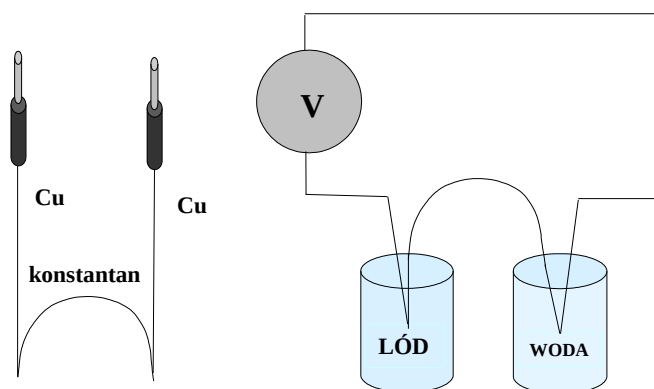
[1] „Wstęp do analizy błęd pomiarowych” John R. Taylor, PWN, Warszawa 1999

[2] „Pracownia fizyczna” Henryk Szydłowski, PWN, Warszawa 1994

CECHOWANIE TERMOPARY

Termopara jest czujnikiem pomiaru temperatury wykorzystującym tzw. zjawisko Seebecka. Zbudowana jest z dwóch drutów odpowiednich stopów metali połączonych razem z jednego końca. Zjawisko Seebecka polega na powstawaniu różnicy potencjałów w obwodzie elektrycznym zestawionym z dwu różnych materiałów połączonych szeregowo, wtedy, gdy ich styki utrzymywane są w różnych temperaturach. Dlatego też, jedno złącze termopary umieszcza się w miejscu pomiaru a drugie utrzymuje w stałej temperaturze odniesienia (np.: temperaturze topnienia lodu). Za pomocą woltomierza, o bardzo wysokim oporze wewnętrznym w porównaniu z oporem drutów termopary, mierzone jest bezpośrednio napięcie na końcach termopary. Temperatura odpowiadająca zadanemu napięciu odczytywana jest z krzywej kalibracyjnej zależności $T(U)$ wykonanej dla danej termopary.

Stopy metali dobiera się w zależności od zakresu mierzonych temperatur. Termopara charakteryzuje się szerokim zakresem pomiarowym, małą bezwładnością czasową, prostą budową oraz możliwością jej zastosowania w różnych warunkach: do pomiaru temperatury cieczy, gazów, materiałów sypkich, w procesach o wysokiej temperaturze, ciśnieniu, w środowiskach agresywnych chemicznie...



Rys. 3. Schemat termopary i układu pomiarowego przy jej zastosowaniu. Konstantan jest stopem miedzi (60%) i niklu (40%).

W celu zastosowania termopary Cu – konstantan w powyższym eksperymencie należy wykonać cechowanie termopary w zakresie 0-100°C używając termometru rtęciowego lub cyfrowego. Krzywą kalibracji należy wyznaczyć dopasowując prostą do punktów pomiarowych metodą najmniejszych kwadratów. W pełnym zakresie stosowności termopary Cu – konstantan (-200°C – 350°C) jej charakterystyka $T(U)$ nie jest liniowa.

Chcąc zmierzyć temperaturę danego układu wtyczki bananowe termopary należy

podłączyć do woltomierza. Jeden koniec termopary umieścić w naczyniu z topniejącym lodem a drugi koniec w naczyniu z substancją, której temperaturę mierzymy. Odczytać wartość napięcia z woltomierza a następnie za pomocą krzywej kalibracyjnej wyznaczyć wartość temperatury odpowiadającej danemu napięciu.