



Podstawy Fizyki Ciepło

Praca zbiorowa

Ćwiczenie F 28

## **WYZNACZANIE CIEPŁA TOPNIENIA LODU**

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny  
Siedlce 2019

## 1. Wstęp

W ćwiczeniu wyznaczamy ciepło topnienia lodu metodą kalorymetryczną.

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny.

Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

1. temperatura, energia wewnętrzna,
  1. ciepło, ciepło właściwe i ciepło topnienia – jednostki,
  2. zmiany stanu skupienia materii i związane z tym ciepło przemiany
  3. przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki, bilans cieplny
  4. pomiar ciepła topnienia metodą kalorymetryczną.

## 2. Wprowadzenie

**Temperatura i energia wewnętrzna** - Każda substancja zbudowana jest z olbrzymiej (ok.  $6 \times 10^{23}$ ) ilości cząsteczek. Wszystkie są w nieustannym chaotycznym ruchu – ich energia kinetyczna (związana ich z ruchem wewnątrz ośrodka(substancji)) jest częścią **energii wewnętrznej**. Miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek tworzących ośrodek jest jego **temperatura**. Minimalna energia kinetyczna wynosi zero, więc minimalna temperatura jest równa  $0^\circ\text{K}(-273^\circ\text{C})$ , (cząsteczki są nieruchome). Energia potencjalna cząsteczek również wchodzi w skład energii wewnętrznej i jej wielkość jest zależna od stanu skupienia (ze względu na odległości między nimi oraz ich wzajemnych oddziaływań)

Energia związana z ich ruchem i zmianami położenia nazywana jest **energiją wewnętrzną**. Wiemy, że energia kinetyczna cząsteczek jest częścią składową energii wewnętrznej. Najlepiej pokazuje to gotowanie (wrzenie) wody - temperatura wody w czasie wrzenia nie zmienia się, ale musimy stale dostarczać energię żeby woda zmieniła się w parę wodną. Dostarczamy energii na pokonanie oddziaływań między cząsteczkami wody - oddalenie ich od siebie – zmianę stanu skupienia. Identycznie przebiega proces topnienia lodu.

**Ciepło, ciepło właściwe, ciepło topnienia** – na styku dwóch ciał (ośrodków) o różnych temperaturach, cząsteczki ciała (ośrodka) o wyższej temperaturze zderzają się (na powierzchni zetknięcia) z cząsteczkami chłodniejszego ciała (ośrodka) i przekazują energię kinetyczną. Zawsze w kierunku - ośrodek (ciało) o wyższej temperaturze przekazuje energię ciału (ośrodkowi) o niższej temperaturze, nigdy odwrotnie.

Tak przekazywaną energię – nazywamy **cieplem**. Otrzymanie przez ciało ciepła najczęściej wiąże się ze wzrostem jego temperatury (wyjątkiem - procesy zmiany stanu skupienia). Ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy substancji o  $1^\circ\text{K}$  (o  $1^\circ\text{C}$ ) nazywamy **cieplem właściwym** ( $c$ ), więc ilość ciepła ( $Q$ ) potrzebną do ogrzania o ( $\Delta T$ ) ciała o masie  $m$  możemy zapisać wzorem:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Jednostką ciepła właściwego ( $c$ ) jest  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right]$ .

Przy zmianie stanu skupienia, otrzymywane przez ciało (substancję) ciepło **nie powoduje** zmiany temperatury, a zmienia (część lub całość) ciała z jednego stanu skupienia na drugi. Ilość ciepła potrzebna do przemiany jednostki masy danej substancji z ciała stałego w ciecz nazywana jest **cieplem topnienia** ( $C_x$ ), więc ilość ciepła ( $Q$ ) potrzebną do ogrzania o ( $\Delta T$ ) ciała o masie  $m$  możemy zapisać wzorem:

$$Q = C_x \cdot m$$

Jednostką ciepła topnienia ( $C_x$ ) jest  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$ .

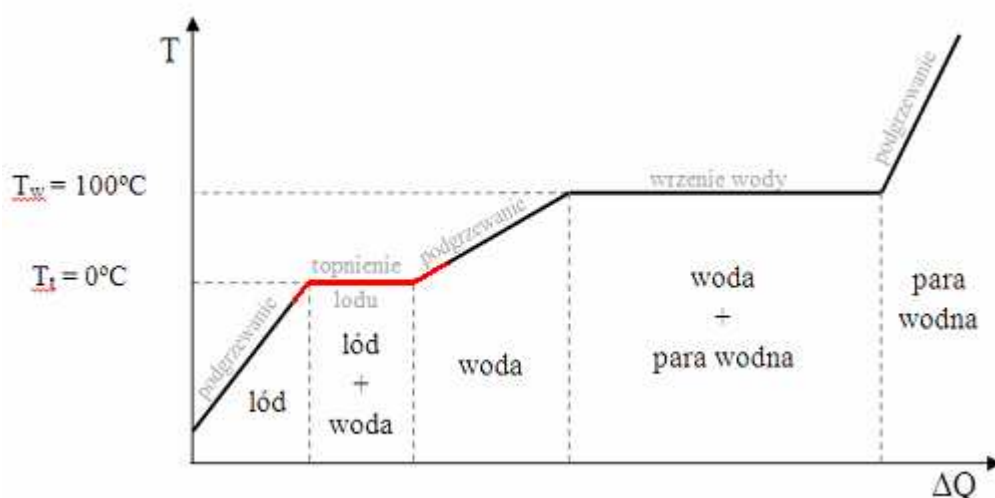
**Zmiany stanu skupienia i związane z tym ciepło przemiany** - materia występuje w przyrodzie w jednym z trzech stanów skupienia - jako ciała stałe, ciecze lub gazy. Różnice własności fizycznych (w tych stanach skupienia) wynikają z odmiennej budowy cząsteczkowej. W stanie gazowym cząsteczki są daleko od siebie i słabo ze sobą oddziałują.

W cieczech wzajemne oddziaływania są dużo silniejsze, a odległości między cząsteczkami są dużo mniejsze.

Ciałach stałych odległości między cząsteczkowe są małe, że wzajemne oddziaływania wiążą cząsteczki/atomy w konkretnych położeniach.

Ciepło, które musi być dostarczone, aby zaszła przemiana fazowa (np. stopnienie lodu; wrzenie), **nie** wiąże się ze zmianą temperatury. Dostarczone ciepło jest często nazywane *cieplem utajonym*.

Woda w przyrodzie znajduje się w jednym z ww. stanów skupienia, ale w szczególnych warunkach może jednocześnie występować we wszystkich z nich jednocześnie, w tzw. punkcie potrójnym. Pomijając ten unikatowy przypadek rysunek poniżej przedstawia zmiany temperatury wody w procesie jej ogrzewania. Interesujący nas przebieg jest zaznaczony na czerwono.



Dostarczając ciepło do lodu (podgrzewanie) osiągniemy temperaturę topnienia. Dalsze dostarczanie energii kinetycznej zostanie zużyte na zmianę struktury lodu, zwiększenie energii potencjalnej, a nie kinetycznej cząsteczek i dlatego temperatura lodu pozostanie stała aż do momentu całkowitego stopienia się lodu. Jeżeli cały lód przejdzie w stan ciekły, to przy dalszym dostarczaniu ciepła (energii kinetycznej) temperatura znowu zaczyna wzrastać, aż do temperatury wrzenia. Dalsze ogrzewanie wody nie zmienia jej temperatury, powodując tylko gwałtowne parowanie cieczy (wrzenie). Po zamianie całej wody w parę, przy dalszym dostarczaniu ciepła temperatura pary zacznie ponownie rosnąć.

**Przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki** - w izolowanym (od otoczenia układzie) ilość ciepła oddanego jest równa ilości ciepła pobranego. Prawo zachowania energii (w termodynamice), zwane jest **pierwszą zasadą termodynamiki**, możemy ją zapisać w postaci równania:

$$\Delta U = W + Q$$

gdzie:  $\Delta U$  - zmiana energii wewnętrznej;  
 $W$  - praca wykonana nad układem;  
 $Q$  - ciepłem dostarczoną do układu.

Cała energia wewnętrzna układu pochodzi z pracy wykonanej nad układem lub z ciepła dostarczonego do układu. W przypadku układu odizolowanego od otoczenia, gdy ( $W = 0$ ) całe ciepło oddane musi zostać pobrane. Tak sformułowana zasada zachowania energii (dla układu izolowanego) nazywana jest **bilansem cieplnym**.

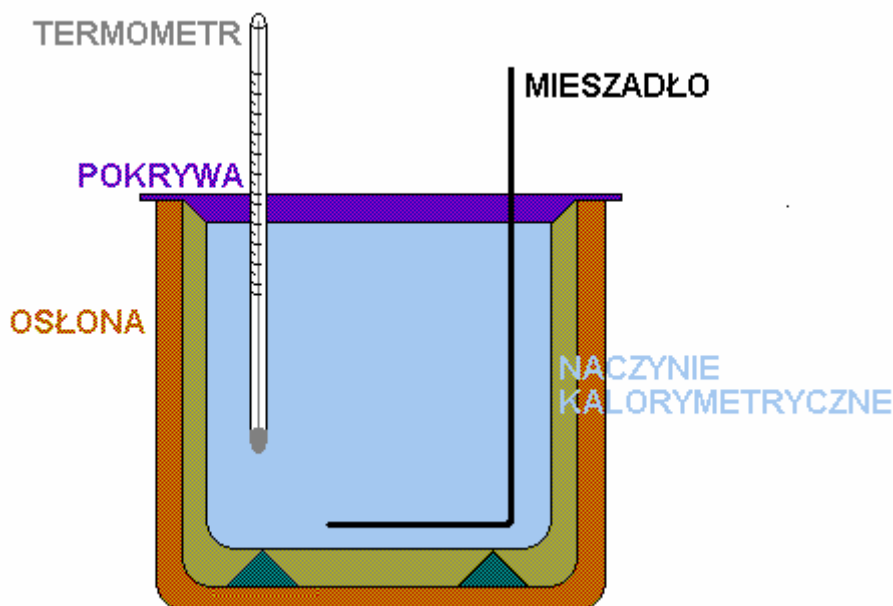
$$Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$$

**Pomiar ciepła topnienia lodu metodą kalometryczną** – w oparciu o bilans cieplny dokonujemy pomiarów ciepła przy użyciu kalorymetru. Kalorymetr minimalizuje wymianę termiczną z otoczeniem. Jego budowę dokładnie opisujemy w 3 punkcie instrukcji, a układanie bilansu w 4 punkcie instrukcji.

### 3. Zestaw pomiarowy

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

1. kalorymetr
2. termometr.
3. waga analityczna



Kalorymetr składa się z naczynia wewnętrznego, nazywanego często kalorymetrem właściwym oraz osłony i pokrywy, spełniającej rolę osłony adiabaticznej, chroniącej kalorymetr właściwy przed wymianą ciepła z otoczeniem. Do pomiaru temperatury we wnętrzu kalorymetru służy termometr, a mieszadło umożliwia przyspieszenie wyrównywania temperatury ciał wprowadzonych do

kalorymetru. Naczynia są izolowane od siebie za pomocą podstawek.

### 4. Opis ćwiczenia.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić, wypoziomowanie i wytarowanie wagi. Następnie ważymy naczynie wewnętrzne razem z mieszadłem i pokrywą ( $m_K$ ). Wlewamy ciepłą wodę (2/3 objętości naczynia) i wyznaczamy masę ( $m_{KW}$ ). Wkładamy naczynie do obudowy i mierzymy temperaturę początkową układu ( $T_W$ ). Wrzucamy kawałki lodu.

**Uwaga:** *Wrzucanie kawałków lodu wykonujemy w możliwie najkrótszym czasie, by temperatura otoczenia miała możliwie najmniejszy wpływ na przebieg pomiarów.*

Poruszając mieszadłem obserwujemy zmiany temperatury w kalorymetrze. Po roztopieniu się wszystkich kawałków lodu zapisujemy temperaturę końcową ( $T_K$ ). Może zdarzyć się sytuacja, że temperatura w kalorymetrze spadnie do jakiejś wartości minimalnej, po czym zacznie wzrastać. Wtedy temperaturą końcową jest najniższa zarejestrowana temperatura. Po zanotowaniu wszystkich w/w parametrów ważymy kalorymetr z wodą i roztopionym lodem wyznaczamy masę lodu ( $m_L$ ). **Wszystkie wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli**

## 5. Przebieg pomiarów (pomiar powtórzyć 2 razy).

### I. pomiar:

1. Zważyć puste naczynie kalorymetryczne wraz z mieszadłem i pokrywką.
2. Napełnić go do 2/3 objętości wodą i ponownie zważyć.
3. Zmierzyć temperaturę początkową.
4. Włożyć drobno potłuczony lód (1/4 objętości wody).
5. Odczytać temperaturę końcową.
6. Zważyć naczynie kalorymetryczne z wodą i roztopionym lodem ( $m_{IL}$ ).

	1	2	3	Średnia
masa naczynia $m_K$				
masa naczynia z wodą $m_{KW}$				
masa wody $m_W = m_{KW} - m_K$				
temperatura początkowa $T_W$				
masa naczynia z wodą i lodem $m_{IL}$				
masa lodu $m_{L1}$				
temperatura końcowa $T_K$				

### II. pomiar

1. Nie wylewamy wody (masa wody jest równa masie wody z roztopionym lodem z pierwszej serii pomiarów).
2. Mierzymy temperaturę początkową (może być równa temperaturze końcowej z I pomiaru)
3. Wrzucamy lód
4. Mierzymy temperaturę końcową.
5. Ważymy naczynie z wodą i roztopionym lodem ( $m_{2L}$ ).

*Wszystkie wyniki pomiarów zapisujemy w tabel*

	1	2	3	Średnia
masa naczynia $m_K$				
masa naczynia z wodą $m_{KW} = m_{11}$				
masa wody $m_W = m_{KW} - m_K$				
temperatura początkowa $T_W$				
masa naczynia z wodą i lodem $m_{2L}$				
masa lodu $m_{L2}$				
temperatura końcowa $T_K$				

#### 4. Obliczenia:

Wartości stałe:

- ciepło właściwe wody  $C_w = 4185 \text{ J/kg K}$ ;
- ciepło właściwe aluminium  $C_K = 897 \text{ J/kg K}$ ;

#### Oznaczenia:

- $C_X$  ciepło topnienia lodu;
- $m_L$  masa lodu (odpowiednia dla serii  $m_{L1}$  lub  $m_{L2}$ );
- $C_w$  ciepło właściwe wody;
- $m_w$  masa wody w kalorymetrze;
- $C_K$  ciepło właściwe kalorymetru;
- $m_K$  masa kalorymetru z mieszadłem;
- $T_w$  temperatura początkowa wody w kalorymetrze;
- $T_K$  temperatura końcową układu;
- $T_T$  temperatura topnienia lodu równa  $273,15^\circ \text{ K}$

#### Wyznaczenie ciepła topnienia lodu z równania bilansu cieplnego:

Po podstawieniach:

$$\Delta Q_1 = C_X m_L;$$

$$\Delta Q_2 = C_w m_L [T_K - T_T];$$

$$\Delta Q_3 = C_w m_w [T_w - T_K];$$

$$\Delta Q_4 = C_K m_K [T_w - T_K];$$

Otrzymamy:

$$C_X m_L + C_w m_L [T_K - T_T] = C_w m_w [T_w - T_K] + C_K m_K [T_w - T_K]$$

Ciepło topnienia lodu  $C_X$  obliczamy ze wzoru:

$$C_X = \frac{[C_w m_w + C_K m_K][T_w - T_K] - C_w m_L [T_K - T_T]}{m_L}$$

Błąd  $\Delta C_X$  obliczamy z różniczki zupełnej:

$$\Delta C_X = \left| \frac{\partial C_X}{\partial m_w} \right| \Delta m_w + \left| \frac{\partial C_X}{\partial m_K} \right| \Delta m_K + \left| \frac{\partial C_X}{\partial T_w} \right| \Delta T_w + \left| \frac{\partial C_X}{\partial T_K} \right| \Delta T_K + \left| \frac{\partial C_X}{\partial m_L} \right| \Delta m_L$$

#### Informacja :

Wartość ciepła topnienia podawana w tablicach fizycznych wynosi  $340000 \text{ J/kg}$ .

## 5. Literatura:

1. A. Daniluk Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki UPH, Siedlce 1999
2. T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
3. J. Massalski, Massalska M., Fizyka klasyczna, Tom I, WNT, Warszawa 2005.
4. R.Szydłowski, Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, WN PWN, Warszawa 2003.
5. D.Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki T. 2.*, WN PWN, Warszawa 2005
6. <http://kf.sggw.pl/wp-content/uploads/2009/12/424.pdf>
7. <http://koza.if.uj.edu.pl/~marcin/pracfiz1415/C4.pdf>
8. <http://stud.ics.p.lodz.pl/~tpablo/prace/st1/sem2/fizyka/212/212.pdf>
9. <http://www.fizyka.wip.pcz.pl/docs/labs/cieplo/C-4.pdf>