



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Człowiek – najlepsza inwestycja

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



# FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

## Pracownia Fizyczna

### ćwiczenie PF-1 A:

## Wyznaczanie ciepła topnienia lodu

**dr Halina BIŃCZYCKA**

**dr Teresa JAWORSKA-GOŁĄB**

*Institut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego  
Uniwersytet Jagielloński*

Wersja UJ/2.0, marzec 2010

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>  
[feniks@th.if.uj.edu.pl](mailto:feniks@th.if.uj.edu.pl)



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ciepła topnienia lodu metodą kalorymetryczną.

## Zagadnienia do przygotowania

- mikroskopowa budowa materii
- temperatura i energia wewnętrzna, zerowa zasada termodynamiki;
- przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki;
- zmiany stanu skupienia materii, ciepło przemiany; (topnienie, ciepło topnienia);
- budowa kalorymetru; pomiar przekazanego ciepła metodą kalorymetryczną.

## Podstawowe pojęcia i definicje

### Temperatura jako miara średniej energii kinetycznej cząsteczek ośrodka

#### Równowaga termodynamiczna. Zerowa zasada termodynamiki

Dla każdego przedmiotu z naszego otoczenia możemy określić wielkość nazywaną jego temperaturą. Kiedy wyjmujesz z lodówki butelkę soku i stawiasz ją na stole w kuchni, temperatura butelki i soku wzrasta, aż w końcu staje się równa temperaturze pomieszczenia. Osiągnięty zostaje stan równowagi termodynamicznej.

Każdy makroskopowy ośrodek zbudowany jest z olbrzymiej ilości cząsteczek znajdujących się w nieustannym chaotycznym ruchu. Im większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek budujących ośrodek tym wyższa jest *temperatura* ośrodka. Mówimy, że temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek tworzących ośrodek. Ponieważ najmniejszą możliwą wartością energii kinetycznej jest zero (gdy prędkość rozważanego obiektu wynosi zero), naturalnym jest wprowadzenie takiej skali temperatur, w której najniższa możliwa temperatura jest równa zero, co odpowiada bezruchowi („zamrożeniu”) wszystkich cząstek tworzących ośrodek. Tę skalę temperatur nazywamy skalą Kelwina. W skali Kelwina najniższą możliwą temperaturą jest 0 K, a stosowana w Europie skala temperatur jest z nią związana prostą zależnością:  $t = T + 273$ , gdzie  $t$  jest temperaturą w stopniach Celsjusza ( $^{\circ}\text{C}$ ), a  $T$  tą samą temperaturą w kelwinach (K).

Fundamentalną zasadą w termodynamice jest *zerowa zasada termodynamiki*. Mówi ona że jeżeli ciała A i B mają taką samą temperaturę jak ciało C, to wszystkie trzy ciała A, B i C mają taką samą temperaturę. Równość temperatur oznacza, że są one w równowadze termodynamicznej ze sobą. Zerowa zasada termodynamiki pozwala na wyznaczenie temperatury badanego ciała poprzez porównanie jej z wzorcem.

### Ciepło, ciepło właściwe, przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki

Jeżeli zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to na powierzchni zetknięcia cząsteczki tych ciał będą mogły zderzać się ze sobą, przekazując sobie energię kinetyczną. W ten sposób jeden ośrodek będzie przekazywał drugiemu część swojej energii wewnętrznej. Zawsze ciało o wyższej temperaturze będzie przekazywać energię ciału o niższej temperaturze, nigdy odwrotnie. Energię przekazywaną w ten sposób – przez kontakt

termiczny – nazywamy *cieplem* i oznaczamy zwykle symbolem  $Q$ . Ciepło jest zatem formą przekazywania energii. Jednostki ciepła są takie same jak jednostki energii (w układzie SI jest dżul [J]). Jeżeli ciało otrzymuje (zwykle mówimy pobiera) ciepło to najczęściej jego temperatura rośnie. Obserwowana zmiana temperatury butelki z sokiem była wynikiem przepływu energii pomiędzy rozważanym układem (butelką z sokiem) a jego otoczeniem (powietrzem w kuchni).

Ilość ciepła potrzebną do ogrzania jednostkowej masy danej substancji o jeden stopień (1 K lub 1 °C) nazywamy *cieplem właściwym* tej substancji. Wynika z tego, że ilość ciepła  $Q$  potrzebna do ogrzania ciała o masie  $m$  od temperatury  $T_1$  do temperatury  $T_2$  wyraża się wzorem:

$$Q = cm (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$c$  jest tu ciepłem właściwym. Jednostką  $c$  jest  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ( $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{deg})$ ; deg oznacza K lub °C).

W życiu codziennym łatwo zauważamy, że przepływ energii na sposób ciepła najczęściej wiąże się ze zmianą temperatury- należy jednak pamiętać, że nie zawsze tak się dzieje. Jeżeli bryłce lodu w temperaturze topnienia przekazemy ciepło, na przykład przez wrzucenie do szklanki z wodą o temperaturze pokojowej (kontakt z ciałem o wyższej temperaturze), to cała otrzymana energia zostanie zużyta na rozrywanie wiązań pomiędzy cząsteczkami lodu, a więc na zwiększenie energii potencjalnej a nie kinetycznej cząsteczek. Temperatura topniejącego lodu pozostaje stała aż do całkowitej przemiany w ciecz.

Prawa rządzące przekazywaniem ciepła wynikają z zasady zachowania energii. Ilość ciepła oddanego przez ciało jest równa ilości ciepła pobranego przez ciała otaczające. Energia może być przekazywana do układu z jego otoczenia w postaci ciepła lub w postaci pracy  $W$  wykonanej przez siły działające na układ. W termodynamice prawo zachowania energii, zwane *pierwszą zasadą termodynamiki*, możemy zapisać równaniem:

$$\Delta U = W + Q \quad (2)$$

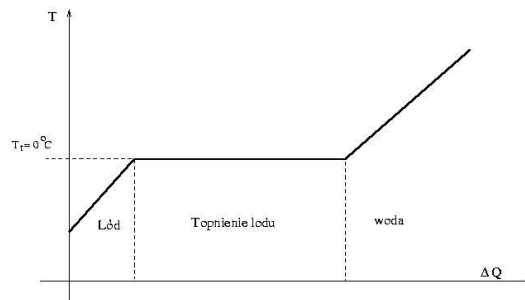
gdzie  $\Delta U$  jest zmianą energii wewnętrznej,  $W$  jest makroskopową pracą wykonaną nad układem, a  $Q$  ciepłem przekazany do układu. Jeżeli to rozważany układ oddaje ciepło lub wykonuje prace to  $W$  lub  $Q$  w równaniu (2) bierzemy ze znakiem minus (w takim przypadku energia wewnętrzna badanego układu maleje).

### Zmiany stanu skupienia materii, ciepło przemiany

Materia w przyrodzie na Ziemi występuje w trzech stanach skupienia: jako gazy, ciecze i ciała stałe. Różnice własności fizycznych tych trzech stanów wynikają z odmiennej budowy mikroskopowej. W stanie gazowym cząsteczki są daleko od siebie i słabo ze sobą oddziałują, w cieczech wzajemne oddziaływania są dużo silniejsze, ale nie wiążą jeszcze cząsteczek w konkretnych położeniach, jak to ma miejsce w ciałach stałych. Z tymi różnymi oddziaływaniami wiąże się energia potencjalna cząstek.

Jeżeli ciało stałe (tj. krystaliczne) ogrzewamy, to jego temperatura początkowo wzrasta, aż do temperatury topnienia  $T_t$ . Dalsze dostarczanie ciepła nie zmienia temperatury ciała, a jedynie powoduje jego stopniowe topnienie- całe ciepło dostarczane do ciała jest zużywane na zmianę oddziaływań międzycząsteczkowych, czyli na zmianę energii potencjalnej. Energia kinetyczna cząsteczek budujących to ciało, a więc również temperatura, nie zmienia się. Jeżeli

całe ciało przejdzie w stan ciekły, to przy dalszym dostarczaniu ciepła temperatura znowu zaczyna wzrastać. Przebieg zmian temperatury podczas ogrzewania lodu przedstawia rys. 1.



Rys. 1 Zależność temperatury od dostarczonego ciepła dla lodu w warunkach normalnych w pobliżu temperatury topnienia.

Ilość energii, którą w postaci ciepła trzeba przekazać jednostkowej masie substancji, aby uległa ona przemianie fazowej, nazywana jest *ciepłem przemiany*. Ciepło przemiany, jako że nie jest związane ze zmianą temperatury, jest często nazywane ciepłem utajonym. Jeżeli więc ciało o masie  $m$  ulega w całości przemianie fazowej, to należy dostarczyć do niego ciepło równe:

$$Q = q_t \cdot m \quad (3)$$

gdzie  $q_t$  jest ciepłem przemiany fazowej (np. topnienia). Jednostką  $q_t$  jest J/kg.

### Bilans cieplny, metoda pomiaru ciepła za pomocą kalorymetru

W układzie odizolowanym termicznie od otoczenia, nad którym nie jest wykonywana żadna praca makroskopowa, całe ciepło oddane przez część układu musi zostać pobrane przez pozostałe części układu. Tak sformułowaną zasadę zachowania energii dla układu izolowanego nazywamy *bilansem cieplnym*. W oparciu o bilans cieplny dokonujemy pomiarów ciepła przy użyciu tzw. *kalorymetru*.

Kalorymetr jest naczyniem zbudowanym w taki sposób, aby zminimalizować kontakt termiczny z otoczeniem. Zazwyczaj jest to termos lub naczynie w obudowie izolującej termicznie.

Jeżeli przygotujemy kalorymetr z wodą o znanej masie  $m_w$  i temperaturze  $T_p$  i wrzucimy do niego masę  $m_l$  topniejącego lodu (czyli lodu o temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ), to po pewnym czasie lód roztopi się i w kalorymetrze ustali się niższa temperatura końcowa  $T_k$ . Woda i kalorymetr oddają ciepło aż do ustalenia się temperatury końcowej  $T_k$ :

$$Q_{\text{oddane}} = (m_w \cdot c_w + m_k \cdot c_k) \cdot (T_p - T_k) \quad (4)$$

gdzie  $m_k$  i  $c_k$  są masą i ciepłem właściwym kalorymetru. Ciepło to zostaje wykorzystane na roztopienie lodu, a następnie podgrzanie powstałej z niego wody do temperatury  $T_k$ :

$$Q_{\text{pobrane}} = m_l \cdot q_t + m_l \cdot c_w \cdot (T_k - 0) \quad (5)$$

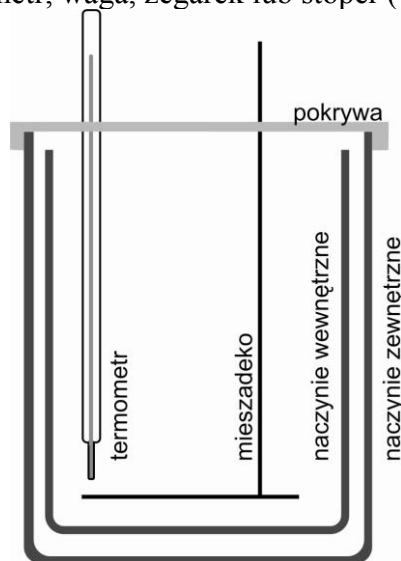
gdzie  $q_t$  jest ciepłem topnienia lodu. Możemy zatem zapisać bilans cieplny w postaci:

$$(m_w c_w + m_k c_k)(T_p - T_k) = m_l q_t + m_l c_w (T_2 - 0) \quad (6)$$

i po prostych przekształceniach tego równania obliczyć ciepło topnienia lodu.

## Układ doświadczalny

Przyrządy: kalorymetr, termometr, waga, zegarek lub stoper (własny).



Rys.2. Kalorymetr.

## Przebieg doświadczenia

Sprawdzić, czy waga jest wytarowana. Zważyć środkowe naczynie kalorymetru. Nalać do kalorymetru wody i zważyć kalorymetr z wodą. Włożyć naczynie wewnętrzne do osłony (naczynie zewnętrzne) i założyć pokrywę. Stabilizować układ woda-kalorymetr przez co najmniej 5 min. Kiedy temperatura wody w kalorymetrze ustabilizuje się, zanotować ją. Przygotować lód (wyjąć lód z lodówki i doprowadzić do sytuacji, w której w naczyniu będzie mieszanina wody z lodem; lód ma wtedy temperaturę równą dokładnie  $0^{\circ}\text{C}$ ). Starannie osuszyć bibułą kilka kawałków lodu i wrzucić je do kalorymetru. Nałożyć pokrywę i ciągle mieszając wodę mieszadełkiem obserwować i notować zmiany temperatury. Ustabilizowanie się temperatury lub jej powolny wzrost oznacza, że lód całkowicie się roztopił. Zapisać najniższą zaobserwowaną temperaturę. Zważyć ponownie naczynie wewnętrzne kalorymetru, w celu wyznaczenia masy lodu.

Opróżnić i osuszyć kalorymetr. Kilkakrotnie powtórzyć wykonane pomiary.

Zanotować niepewności związane ze skończoną dokładnością przyrządów.

*Uwaga:* Ciepło topnienia lodu jest bardzo duże ( $332 \cdot 10^3$  J/kg) więc wprowadzenie do kalorymetru lodu pokrytego warstwą wody na jego powierzchni daje duże błędy w bilansie cieplnym.

### Szkic opracowania wyników

Korzystając z bilansu cieplnego (6) obliczyć ciepło topnienia lodu. Jako ciepło właściwe kalorymetru przyjąć wartość tablicową dla aluminium ( $c_{Al} = 900$  J/(kg·K)). Ciepło właściwe wody wynosi  $c_w = 4190$  J/(kg·K). Oszacować niepewności pomiarowe otrzymanych wyników. Porównać wynik z wartością tablicową. Przedyskutować wpływ niedoskonałości przyrządów oraz skończonej precyzji wykonanych pomiarów na uzyskany wynik.

#### LITERATURA:

- [1] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki, tom II*, PWN, Warszawa 2005, §19.1, 19.2, 19.4, 19.6, 19.7.
- [2] J. B. Brojan, *Fizyka* podręcznik dla klasy I liceum ogólnokształcącego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
- [3] A. Magiera (red), *I Pracownia fizyczna*, IF UJ, Kraków 2006 i wymienione tam pozycje.