

## 2.2 Wyznaczanie ciepła topnienia lodu (C4)

Celem ćwiczenia jest pomiar ciepła topnienia lodu.

*Zagadnienia do przygotowania:*

- temperatura i energia wewnętrzna;
- przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki;
- zasada działania i metoda pomiaru ciepła za pomocą kalorymetru;
- przemiany stanu skupienia materii i związane z tym ciepło przemiany.

Literatura podstawowa: [1], [2], [13].

### 2.2.1 Podstawowe pojęcia i definicje

#### Temperatura i energia wewnętrzna

Każdy makroskopowy ośrodek zbudowany jest z olbrzymiej ilości cząsteczek rzędu liczby Avogadro. Nie istnieją oddziaływania będące w stanie utrzymać te cząstki w spoczynku, naturalnym jest więc, że wszystkie są w nieustannym ruchu. Energię zmagazynowaną w wewnętrznych stopniach swobody ośrodka (czyli związaną z ruchem i położeniem jego cząsteczek) nazywamy energią wewnętrzną. Do energii wewnętrznej nie wchodzi makroskopowa energia potencjalna i kinetyczna.

Energia kinetyczna cząsteczek związana z ich przypadkowymi ruchami wewnątrz ośrodka jest częścią energii wewnętrznej. Miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek w ośrodku jest temperatura. Ponieważ minimalna energia kinetyczna wynosi zero, również minimum temperatury wynosi  $0\text{ K}$ , co odpowiada zatrzymaniu się wszystkich cząstek w ośrodku. W skład energii wewnętrznej wchodzi również energia potencjalna wzajemnych oddziaływań cząsteczek. Dowodem na to, że energia kinetyczna cząsteczek nie stanowi całej energii wewnętrznej jest na przykład proces wrzenia wody. Wiemy, że temperatura wody w czasie wrzenia nie zmienia się, a jednocześnie musimy stale dostarczać energii żeby woda zmieniała się w parę wodną.

#### Ciepło, ciepło właściwe

Jeżeli zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, ich cząsteczki będą mogły zderzać się ze sobą na powierzchni zetknięcia, przekazując między sobą energię kinetyczną. W ten sposób jeden ośrodek będzie przekazywał drugiemu część swojej energii wewnętrznej. Zawsze ośrodek o wyższej temperaturze będzie przekazywał energię ciału o niższej temperaturze, nigdy odwrotnie. Energię przekazywaną w ten sposób – przez kontakt termiczny – nazywamy ciepłem. Otrzymanie przez ciało ciepła najczęściej wiąże się ze zmianą jego temperatury. Ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostkowej masy danej substancji o jeden  $K$  (lub o jeden  $^{\circ}C$ ) nazywamy ciepłem właściwym tej substancji.

Wynika z tego, że ilość ciepła  $Q$  potrzebna do ogrzania ciała o masie  $m$  o  $\Delta T$  wyraża się wzorem:

$$Q = cm\Delta T, \quad (2.2.1)$$

gdzie  $c$  jest ciepłem właściwym. Wymiarem ciepła właściwego jest  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ .

Choć przepływ ciepła najczęściej wiąże się ze zmianą temperatury, należy jednak pamiętać, że nie zawsze. Jeżeli bryłce lodu w temperaturze topnienia prześlemy ciepło, na przykład przez kontakt z ciałem o wyższej temperaturze, to cała otrzymana energia kinetyczna zostanie zużyta w lodzie na rozrywanie wiązań pomiędzy cząsteczkami lodu, a więc na zwiększenie energii potencjalnej, a nie kinetycznej cząsteczek. Temperatura lodu pozostanie stała aż do całkowitej przemiany w ciecz.

### Przepływ ciepła, pierwsza zasada termodynamiki

Z zasady zachowania energii wynikają prawa rządzące przekazywaniem ciepła. Ilość ciepła oddanego przez ciało jest równa ilości ciepła pobranego przez ciała otaczające. Ilość ciepła pobranego przez ciało przy ogrzewaniu o  $\Delta T$  jest równa ilości ciepła oddanego przy chłodzeniu o  $-\Delta T$ . Prawo zachowania energii w termodynamice, zwane pierwszą zasadą termodynamiki, możemy zapisać w formie równania:

$$\Delta U = W + Q, \quad (2.2.2)$$

gdzie  $\Delta U$  jest zmianą energii wewnętrznej,  $W$  jest makroskopową pracą wykonaną nad układem, a  $Q$  ciepłem przekazany do układu. Inaczej mówiąc, cała energia wewnętrzna układu pochodzić musi z pracy wykonanej nad nim lub z ciepła przekazanego bezpośrednio do układu.

### Metoda pomiaru ilości ciepła za pomocą kalorymetru

W układzie odizolowanym termicznie od otoczenia, na 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, wewnętrzne ścianki naczynia najczęściej są posrebrzane w celu wyeliminowania strat na skutek promieniowania cieplnego.

Kalorymetr wypełniamy cieczą o znanym cieple właściwym – na przykład wodą. Mierzając zmianę temperatury tej cieczy możemy ustalić ile otrzymała bądź oddała ciepła. Należy tu uwzględnić, iż wewnętrzne naczynie kalorymetru również oddaje lub pobiera ciepło. Ciepło właściwe kalorymetru możemy wyznaczyć przygotowując kalorymetr z wodą o temperaturze  $T_1$  i masie  $m_1$ , a następnie dolewając do niego wodę o innej znanej temperaturze  $T_2$  i masie  $m_2$ . Mierzmy temperaturę  $T$ , która ustali się w kalorymetrze. Z bilansu cieplnego otrzymujemy:

$$(c_w m_1 + c_k m_k) (T - T_1) = c_w m_2 (T_2 - T), \quad (2.2.3)$$

gdzie  $c_w$  jest ciepłem właściwym wody ( $4187 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $c_k$  jest ciepłem właściwym kalorymetru, a  $m_k$  jego masą. Ostatecznie, ciepło właściwe kalorymetru można obliczyć ze wzoru:

$$c_k = \frac{c_w}{m_k} \left( m_2 \frac{T_2 - T}{T - T_1} - m_1 \right). \quad (2.2.4)$$

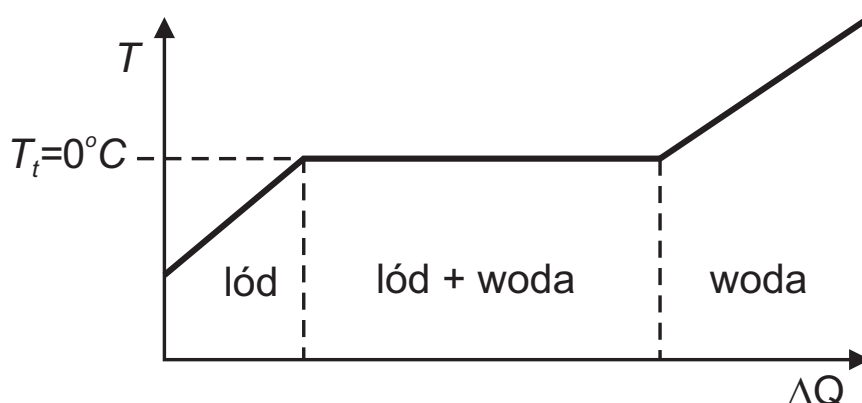
### Przemiany stanu skupienia materii i związane z tym ciepło przemiany

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 cząsteczkowej. W stanie gazowym cząsteczki są daleko od siebie i słabo ze sobą oddziałują, w cieczach 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, którą trzeba dostarczyć substancji, żeby na przykład stopić lód, albo zamienić wodę w parę. Ze zmianą stanu skupienia wiąże się więc ciepło, które musi być dostarczone, aby dokonać przemiany, lub będzie otrzymane w wyniku przemiany. Ciepło potrzebne do odparowania pewnej ilości cieczy jest równe ciepłu otrzymanemu ze skroplenia tej samej ilości pary. Zupełnie analogicznie jest w przypadku topnienia i zamarzania. Ciepło przemiany, jako że nie związane ze zmianą temperatury, jest często nazywane ciepłem utajonym.

Jeżeli ciało stałe, krystaliczne ogrzewamy, to jego temperatura początkowo wzrasta, aż do temperatury topnienia  $T_t$ . Dalsze ogrzewanie ciała nie zmienia jego temperatury, a jedynie powoduje stopniowe topnienie. Całe ciepło dostarczane do ciała jest zużywane na zmianę rodzaju oddziaływań międzycząsteczkowych, czyli na zmianę energii potencjalnej. Energia kinetyczna cząsteczek, 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 przy procesie ogrzewania np. lodu przedstawiony jest na rysunku 2.2.1. Podobne zachowanie obserwujemy przy dostarczaniu ciepła do cieczy. Początkowo jej temperatura rośnie, aż do osiągnięcia temperatury wrzenia. Dalsze ogrzewanie cieczy nie zmienia temperatury układu, powodując tylko gwałtowne parowanie cieczy. Po zamianie całej cieczy w parę, przy dalszym dostarczaniu ciepła temperatura układu (składającego się tylko z pary) zaczyna ponownie rosnąć.

### Wyznaczanie ciepła topnienia przy użyciu kalorymetru

Jeżeli przygotujemy kalorymetr z wodą o znanej masie  $m_w$  w temperaturze  $T_p$  i wrzucimy do niego masę  $m_l$  topniejącego lodu (czyli w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ), lód roztopi się i ustali się temperatura końcowa  $T_k$ . Z jednej strony woda i kalorymetr oddają ciepło aż do ustalenia się temperatury końcowej  $T_k$ , z drugiej strony ciepło to zostaje



Rys. 2.2.1: Krzywa ogrzewania substancji krystalicznej.

wydatkowane najpierw na roztopienie się lodu, a następnie podgrzanie wody powstałej z roztopionego już lodu do temperatury  $T_k$ . Możemy więc napisać bilans cieplny:

$$(m_w c_w + m_k c_k) (T_p - T_k) = m_l [q_t + c_w (T_k - 0^\circ C)], \quad (2.2.5)$$

gdzie  $m_k$  i  $c_k$  są masą i ciepłem właściwym kalorymetru, a  $q_t$  jest ciepłem topnienia lodu. Ciepło topnienia lodu jest więc równe:

$$q_t = \frac{(c_w m_w + c_k m_k) (T_p - T_k)}{m_l} - c_w T_k. \quad (2.2.6)$$

## 2.2.2 Przebieg pomiarów

### Układ doświadczalny

Przyrządy: kalorymetr, termometr, waga z zestawem odważników.

### Przebieg doświadczenia

Sprawdzić czy waga jest wypoziomowana. Zważyć środkowe naczynie kalorymetru razem z mieszadłem. Nalać letniej wody (około  $30^\circ C$ ) do kalorymetru i zważyć kalorymetr z wodą. Kiedy temperatura wody w kalorymetrze ustabilizuje się, zanotować ją.

W moździerzu pokruszyć lód na małe ( $20 - 30\text{ g}$ ) kawałki. Doprowadzić do sytuacji, w której w naczyniu będzie mieszanina wody z lodem. Lód ma wtedy temperaturę równą dokładnie  $0^\circ C$ . Wysuszyć bibułą kilka kawałków lodu i wrzucić je do kalorymetru. Ciepło topnienia lodu jest bardzo duże ( $332 \cdot 10^3\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) więc wprowadzenie do kalorymetru lodu nawet z odrobiną wody na jego powierzchni daje duże błędy w bilansie cieplnym.

Mieszając ciągle wodę poczekać aż kawałki lodu całkowicie roztopią się. Zapisać temperaturę końcową i zważyć kalorymetr w celu ustalenia masy roztopionego lodu. Kilkakrotnie powtórzyć wykonane pomiary.

### **2.2.3 Opracowanie wyników**

Obliczyć ciepło topnienia lodu korzystając z bilansu cieplnego. Jako ciepło właściwe kalorymetru przyjąć wartość tablicową dla aluminium. Wyznaczyć niepewności pomiarowe otrzymanych wyników. Porównać wynik z wartością tablicową i przedyskutować niepewności systematyczne wykonanych pomiarów.