zajęcia otwarte z fizyki

WYZNACZANIE CIEPŁA TOPNIENIA LODU

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ciepła topnienia lodu na podstawie bilansu cieplnego mieszaniny wody i lodu.

Ciepło to forma przekazywania energii z jednego ciała do drugiego. Ciała o różnych temperaturach będą dążyły do jej wyrównania, co określamy jako równowagę termiczną układu. Ten transport energii obserwujemy codziennie w bardzo wielu sytuacjach - np. podgrzewając potrawę w piekarniku, włączając klimatyzator czy korzystając z lodówki.

Łatwo zauważyć, że przedmioty nagrzewają się w różnym tempie. Dużo łatwiej jest rozgrzać na przykład metal niż drewno. Wynika to z różnej wartości ciepła właściwego, czyli wielkości mówiącej, ile energii należy dostarczyć, aby ogrzać jednostkową masę (np. 1 kg lub 1 g) substancji o 1°C. Opisuje to wzór

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

gdzie Q to ciepło dostarczone lub odebrane (energia) ciału, m to masa ciała, c to ciepło właściwe ciała – charakterystyczne dla każdej substancji, a ΔT to zmiana temperatury podczas tego procesu. Wzór ten obowiązuje w sytuacji gdy dostarczenie czy odebranie ciepła skutkuje tylko zmianą temperatury ciała, tj. gdy nie zachodzi zmiana stanu skupienia ciała. Gdy dochodzi do zmiany stanu skupienia, np. ze stałego w ciekły, dostarczana energia jest wykorzystywana również na zerwanie wiązań sieci krystalicznej.

W procesie topnienia lodu, wielkość charakteryzująca energię na jednostkową masę lodu nazywana jest ciepłem topnienia lodu L, a energia pobrana przez niego dana jest wzorem

$$Q = m \cdot L$$

W idealnie izolowanym układzie, podczas dochodzenia do równowagi termicznej ciepło oddane przez ciała o wyższej temperaturze jest równe ciepłu pobranemu przez ciała o niższej temperaturze. W naszym przypadku kostki lodu, które zostaną wrzucone do kalorymetru z wodą, będą pobierały ciepło zarówno od wody jak i wewnętrznej części naczynia. Ciepło to zostanie w pierwszej kolejności wykorzystane na podgrzanie lodu do temperatury 0°C, następnie na zmianę jego stanu skupienia, a na końcu na ogrzanie powstałej z kostek lodu wody. W tym samym czasie ciepło odebrane wodzie i kalorymetrowi będzie skutkowało obniżeniem ich temperatury. W końcu zostanie ustalony stan równowagi, tzn. stan w którym nie będzie już żadnych przepływów ciepła, a wszystkie ciała będą miały taką samą temperaturę. Zakładając, że energia nie ma innej dostępnej drogi ujścia, bilans cieplny reakcji opisuje równanie:

$$Q_{pobrane} = Q_{oddane}$$

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

gdzie

$$Q_{pobrane} = \overbrace{m_L \cdot c_L \cdot (0°\mathrm{C} - T_L)}^{\substack{\text{ogrzanie lodu}\\ \text{od temperatury } T_L\\ \text{do temperatury } 0°\mathrm{C}}} + \overbrace{m_L \cdot L}^{\substack{\text{stopienie}\\ \text{lodu}}} + \overbrace{m_L \cdot c_W \cdot (T_{równ.} - 0°\mathrm{C})}^{\substack{\text{ogrzanie wody z lodu}\\ \text{od temperatury } 0°\mathrm{C}\\ \text{do temperatury } T_{równ.}}},$$

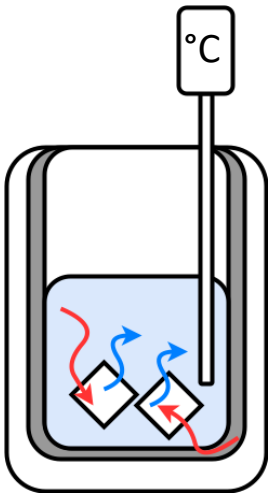
$$Q_{oddane} = \overbrace{m_W \cdot c_W \cdot (T_W - T_{równ.})}^{\substack{\text{ochłodzenie wody w kalorymetrze}\\ \text{od temperatury } T_W\\ \text{do temperatury } T_{równ.}}} + \overbrace{m_K \cdot c_K \cdot (T_W - T_{równ.})}^{\substack{\text{ochłodzenie kalorymetru}\\ \text{od temperatury } T_W\\ \text{do temperatury } T_{równ.}}},$$

indeksy L, W, i K oznaczają kolejno wielkość dotyczącą lodu, wody i kalorymetru, T_L jest temperaturą początkową lodu, T_W – temperaturą początkową wody w kalorymetrze oraz samego kalorymetru, a $T_{równ.}$ jest końcową temperaturą całego układu – temperaturą równowagi. Wprawdzie podstawową jednostką temperatury jest kelwin (K), jednak ponieważ różnica temperatur w obu skalach ma tą samą wartość swoje obliczenia możesz wykonywać używając skali Celsjusza.

POMIARY

Do dyspozycji masz:

- kalorymetr z mieszadłem i termometrem;
- stoper,
- wodę destylowaną,
- kubeczki do przechowywania lodu
- lód w zamrażalniku wyposażonym w termometr,
- wagę.



WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne
Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Eksperyment będzie polegał na zbadaniu temperatury końcowej układu, po wrzuceniu porcji lodu do wody znajdującej się w kalorymetrze. W kalorymetrze zanurzony zostanie termometr pozwalający na kontrolowanie temperatury znajdującej się w nim wody.

Zmierz masę wewnętrznego naczynia kalorymetru, po czym wlej do niego wodę w temperaturze pokojowej (ok. ⅔ objętości naczynia) i wykonaj pomiar ponownie. Następnie umieść naczynie kalorymetru w obudowie i zanurz termometr w wodzie. Włącz go, odczekaj 1 minutę i zmierz temperaturę wody. Wyniki umieść w tabeli.

m_K [g]	$m_K + m_W$ [g]	m_W [g]	T_W [°C]

Zmierz masę przygotowanych kubeczków na lód, po czym wrzuć do niego kilka kostek lodu z zamrażalnika i wykonaj pomiar ponownie. Kubeczek z lodem schowaj ponownie do zamrażalnika, tak aby lód się nie ogrzał. Pamiętaj o oznakowaniu kubeczka, tak aby w dalszych krokach korzystać z tego samego lodu. Sprawdź również temperaturę na termometrze w zamrażalniku. Wartości umieść w tabeli.

m_{kub} [g]	$m_{kub} + m_L$ [g]	m_L [g]	T_L [°C]

Zgodnie z równaniem bilansu cieplnego temperatura końcowa całego układu będzie równa

$$T_{równ.} = \frac{m_L \cdot c_L \cdot T_L - m_L \cdot L + (m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot T_W}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}$$

Oblicz przewidywaną temperaturę równowagi układu.

Potrzebne stałe fizyczne:

c_W [J/g°C]	c_K [J/g°C]	c_L [J/g°C]	L [J/g]
4,19	0,896	2,10	334

W następnym kroku wrzuć do naczynia kilka kostek lodu wyjętego z zamrażalnika. Razem z wrzuceniem lodu uruchom stoper. Notuj wartości temperatury w stałych odstępach czasu, np. co 15 sekund, aż do ustabilizowania się temperatury. Końcową temperaturę zanotuj w karcie pomiarów.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Przebieg zmiany temperatury układu w trakcie eksperymentu.

Czas [mm:ss]	Temperatura [°C]	Czas [mm:ss]	Temperatura [°C]	Czas [mm:ss]	Temperatura [°C]

Temperatura końcowa układu ($T_{końc}$): ……°C.

Na papierze milimetrowym sporządź wykres zależności $T(t)$. Zastanów się, czy zmiana ma charakter liniowy, czy może inny. Czy tempo zmiany temperatury kalorymetru jest stałe czy zmienne w czasie? Od czego ono może zależeć?

ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIAROWYCH

Wartość obliczonej przez Ciebie temperatury równowagi obarczona jest pewną niepewnością, bo do jej obliczenia były wykorzystywane nie tylko stałe fizyczne (które możemy przyjąć, że znamy dokładnie), ale wielkości mierzone przez Ciebie (masy, temperatury), a każda z nich była wyznaczona z pewną dokładnością. Zmienna $T_{równ.}$ jest zatem przykładem wielkości złożonej, której niepewność liczymy zgodnie z zasadą propagacji niepewności pomiarowych, jako pierwiastek z sumy kwadratów niepewności składowych.

Masy wyznaczamy dzięki wadze, której dokładność pomiaru wynosi $\Delta m = 0{,}01$ g. Przy masach rzędu 100 g, jest to ok. 0,1‰, a więc i tę wielkość uznajemy za wyznaczoną dokładnie. Największy wpływ na dokładność wyznaczenia temperatury równowagi ma zatem precyzja odczytu temperatury lodu i wody. Można przyjąć, że dokładność odczytu wynosi $\Delta_T = 0{,}5$°C.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

W związku z tym niepewność obliczonej temperatury możemy przyjąć zgodnie ze wzorem

$$u_{T_{równ.}} = \sqrt{u_{T_L}^2 + u_{T_W}^2}$$

gdzie u_{T_L} jest niepewnością wyznaczenia temperatury równowagi związanej z niepewnością odczytu temperatury lodu, natomiast u_{T_W} jest niepewnością wyznaczenia temperatury równowagi związanej z niepewnością odczytu temperatury wody. Każdą z tych niepewności wyznaczamy jako:

$$\begin{aligned} u_{T_L} &= \frac{1}{2}\left|T_{równ.}(T_L + \Delta_T) - T_{równ.}(T_L - \Delta_T)\right| \\ &= \frac{1}{2}\left|\frac{m_L \cdot c_L \cdot (T_L + \Delta_T) - m_L \cdot L + (m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot T_W}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right. \\ &\quad \left. - \frac{m_L \cdot c_L \cdot (T_L - \Delta_T) - m_L \cdot L + (m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot T_W}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right| \\ &= \frac{1}{2}\left|\frac{2m_L \cdot c_L \cdot \Delta_T}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right| = \frac{m_L \cdot c_L \cdot \Delta_T}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{T_W} &= \frac{1}{2}\left|T_{równ.}(T_W + \Delta_T) - T_{równ.}(T_W - \Delta_T)\right| \\ &= \frac{1}{2}\left|\frac{m_L \cdot c_L \cdot T_L - m_L \cdot L + (m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot (T_W + \Delta_T)}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right. \\ &\quad \left. - \frac{m_L \cdot c_L \cdot T_L - m_L \cdot L + (m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot (T_W - \Delta_T)}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right| \\ &= \frac{1}{2}\left|\frac{2(m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot \Delta_T}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K}\right| = \frac{(m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K) \cdot \Delta_T}{m_L \cdot c_W + m_W \cdot c_W + m_K \cdot c_K} \end{aligned}$$

Korzystając z wcześniejszych tabel pomocniczych oblicz niepewności składowe i ostateczną niepewność obliczonej temperatury równowagi.

u_{T_L} =……..°C u_{T_L} =……..°C

$$T_{równ.} \pm u_{T_{równ.}} = (\text{……..}\pm\text{……..})°\text{C}$$

Czy wielkość zmierzona przez Ciebie zgadza się z wartością obliczoną w granicach niepewności pomiarowej? Jakie inne czynniki mogły mieć wpływ na uzyskany wynik, a nie zostały uwzględnione w rachunku niepewności?

Opracowanie:
A. Spyra, A. Drabińska

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

zajęcia otwarte z fizyki

MIEJSCE NA OBLICZENIA

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa