



XLVII OLIMPIADA FIZYCZNA

(1993/1994)

ZAWODY III STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne — D

Nazwa - Wyznaczanie ciepła topnienia lodu

Źródła - Paweł Janiszewski, Jan Mostowski (red.): *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami*, PWN, Warszawa 2002;
- T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Wyznacz ciepło topnienia lodu mając do dyspozycji:

- menzurkę,
- rurkę szklaną (pipeta),
- korek z otworem dopasowanym do szklanej rurki,
- cienki drut oporowy dolutowany do końcówek umieszczonych w korku (drut i końcówki są pokryte izolacją elektryczną),
- styropianową osłonę menzurki,
- amperomierz,
- woltomierz,
- zegarek z sekundnikiem lub stoper,
- zasilacz prądu stałego,
- pisak wodoodporny,
- linijkę,
- naczynie z mieszaniną wody i pokruszonego lodu.

Gęstość lodu w temperaturze $t = 0^{\circ}\text{C}$ jest równa $\rho_L = 0,917 \text{ g/cm}^3$. Przyjmij, że gęstość wody w tych samych warunkach wynosi $\rho_w = 1,000 \text{ g/cm}^3$.

Rozwiązanie zadania D — XLVII OF, III stopień

Część teoretyczna

Pomysł pomiaru ciepła topnienia lodu opiera się na istnieniu różnicy między gęstością wody a gęstością lodu. Mieszanka wody z lodem (o temperaturze $t = 0^\circ\text{C}$ zmniejsza swoją objętość w miarę topnienia lodu. Stopienie lodu o masie m_L oznacza zmniejszenie objętości lodu w mieszaninie o $V_L = m_L/\rho_L$. Z lodu powstanie woda o objętości $V_W = m_L/\rho_W$. Zmiana objętości mieszaniny wyniesie więc

$$\Delta V = V_L - V_W = \frac{m_L}{\rho_L} - \frac{m_L}{\rho_W} = m_L \frac{\rho_W - \rho_L}{\rho_W \rho_L} .$$

Stąd obliczamy masę stopionego lodu

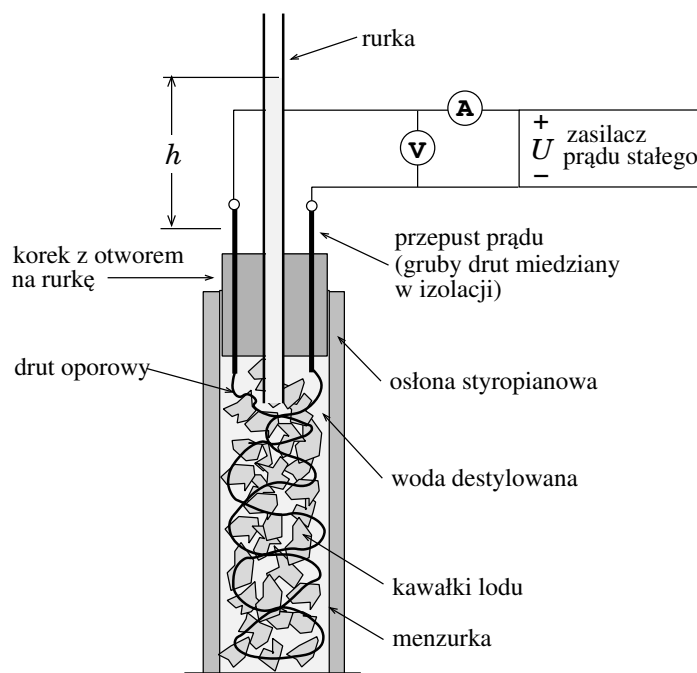
$$m_L = \Delta V \frac{\rho_L \rho_W}{\rho_W - \rho_L} .$$

Umieszczając mieszaninę wody z lodem w menzurce zamkniętej korkiem z rurką można obserwować zmiany wysokości słupa wody zamkniętej w rurce. W wyniku przepływu ciepła z otoczenia do menzurki lód topi się i wysokość słupa wody zmniejsza się. Za pomocą grzejnika wykonanego z cienkiego drutu umieszczonego w mieszaninie wody z lodem, można dostarczyć dodatkową porcję energii ΔE . Wtedy stopieniu ulegnie dodatkowa porcja lodu o masie m_L . Masę m_L obliczamy na podstawie zmiany wysokości słupa wody w rurce wywołanej ciepłem dostarczonym do układu przez grzejnik. Energię dostarczoną przez grzejnik określamy przy użyciu woltomierza, amperomierza i stopera. Pozwala to na wyznaczenie ciepła topnienia lodu L :

$$L = \frac{\Delta E}{m_L} = \Delta E \frac{\rho_W - \rho_L}{\Delta h S \rho_W \rho_L} , \quad (1)$$

gdzie: Δh — zmiana wysokości słupa wody, S — powierzchnia przekroju poprzecznego rurki.

Główny problem z jakim należy sobie poradzić polega na tym, aby właściwie dobrać moc grzałki w stosunku do mocy dostarczonej do układu w wyniku niedoskonałej izolacji cieplnej. Gdy moc grzałki jest zbyt mała, to wyznaczenie dodatkowej zmiany objętości może być obciążone dużym błędem. Dostarczenie zbyt dużej mocy do układu może sprawić, że w otoczeniu grzejnika temperatura wody wzrośnie tak bardzo, że woda zacznie ogrzewać ścianki naczynia i w efekcie duża część ciepła z grzejnika nie dotrze do lodu. Tak więc w części eksperymentalnej należy najpierw określić zmiany objętości mieszaniny wynikające z dopływu ciepła z otoczenia (można to zrobić dla menzurki bez izolacji styropianowej i ze styropianem), a następnie rejestrować zmiany objętości mieszaniny wody z lodem dla kilku wartości mocy dostarczonej do grzejnika. Pomiar można wykonać po zestawieniu układu pomiarowego przedstawionego na rys. 1.

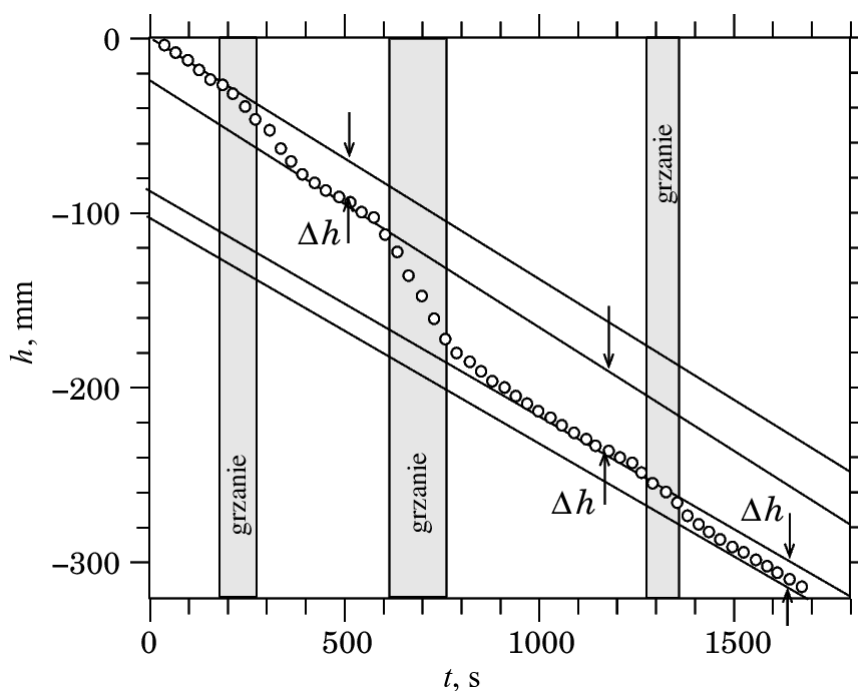


Rys. 1: Układ pomiarowy

Część doświadczalna

Na wstępie wykonujemy pomiar powierzchni przekroju wewnętrznej szklanej rurki. W tym celu do menzurki wlewamy wodę zawartą w rurce. Znając wysokość słupa wody w rurce oraz jej objętość wyznaczamy nieznaną powierzchnię. W przypadku użycia pipety czynności te są zbędne i mogą służyć jedynie sprawdzeniu skali objętości pipety. Następnie do menzurki wkładamy kawałeczki lodu wyjęte z naczynia z wodą. Równocześnie do naczynia wpychamy cienki drut miedziany (pomagając sobie np. długopisem lub rurką). Czekamy kilka minut, aby menzurka się ochłodziła, dodajemy lodu i dolewamy wody (z naczynia z mieszaniną wody i lodu). Zamykamy menzurkę korkiem i dolewamy tyle wody, aby otwór w korku został zalany. Wciskamy do korka rurkę w ten sposób, aby poziom wody w rurce był możliwie wysoki. Sprawdzamy, czy nie ma przecieku wody z menzurki. Możemy teraz obserwować zmiany poziomu wody w rurce. W tym celu w równych odstępach czasu (np. 30 s) zaznaczamy za pomocą pisaka wysokość słupa cieczy w rurce szklanej. Przez kilka minut rejestrujemy zmniejszenie objętości mieszaniny zamkniętej w menzurce spowodowane dopływem ciepła z otoczenia. Aby się przekonać, że izolacja styropianowa jest rzeczywiście skuteczna, najpierw przeprowadzamy eksperyment z nieosłoniętą menzurką, a następnie osłaniamy ją styropianem. Po pewnym czasie włączamy grzałkę dostarczając w ten sposób dodatkową energię do układu i cały czas rejestrujemy poziom wody w rurce. Energię dostarczoną do mieszaniny wody z lodem wyznaczamy mierząc spadek napięcia na cienkim drucie oporowym, natężenie płynącego przez niego prądu oraz czas jego przepływu. Następnie przerywamy grzanie i czekamy aż szybkość zmiany wysokości słupa wody wróci do wartości przed ogrzewaniem. Zaznaczamy na papierze milimetrowym zmiany wysokości słupa wody w funkcji czasu dla kilku wartości mocy dostarczonych do grzejnika. Na rys. 2 przedstawiono trzy cykle ogrzewania. Rysując proste odpowiadające samoistnemu topnieniu lodu, określamy zmiany objętości ΔV wynikające z dostarczenia do układu dodatkowej energii. Na podstawie wykresu szacujemy też błąd wyznaczenia ΔV . Korzystając ze wzoru (1) wyznaczamy ciepło topnienia lodu. Biorąc pod uwagę energię dostarczoną we wszystkich cyklach ogrzewania w doświadczeniu wzorcowym uzyskano wartość ciepła topnienia lodu $L = 340 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ z niepewnością pomiaru $u(L) = 40 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$. Oszacowany błąd pomiaru związany jest głównie z dokładnością wyznaczenia ΔV . Należy jednak zwrócić uwagę na możliwość popełnienia dużego błędu systematycznego

wynikającego z faktu, że w rozważaniach teoretycznych zakładano, że cała energia dostarczana z grzejnika jest przeznaczona na topnienie lodu.



Rys. 2: Trzy cykle ogrzewania

Punktacja