

37. Pomiar ciepła właściwego

(2 tygodnie, 20 pkt.)

Zagadnienia: ciepło, temperatura, termopara, ciepło właściwe, pojemność cieplna kalorymetru, przemiany fazowe, ekstrapolacja.

literatura: Szy75, 254÷257, 281÷285; Szy99,398÷401, 433÷438; Dry1, 209÷211.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie ciepła właściwego wody w stanie ciekłym i stałym.

1. Idea pomiarów

Po dostarczeniu do pustego kalorymetru określonej porcji energii (ciepła) ΔQ , zaobserwujemy wzrost temperatury o ΔT_{cal} . Wtedy

$$\Delta Q = \Delta T_{cal} \cdot C, \quad (37.1)$$

gdzie C jest pojemnością cieplną kalorymetru. W przypadku, gdy w kalorymetrze znajduje się woda o masie m , wzrost temperatury wyniesie ΔT_w :

$$\Delta Q = \Delta T_w \cdot (C + mc_w), \quad (37.2)$$

gdzie c_w jest ciepłem właściwym wody. W przypadku, gdy w kalorymetrze znajduje się taka sama ilość lodu:

$$\Delta Q = \Delta T_L \cdot (C + mc_L), \quad (37.3)$$

gdzie ΔT_L i c_L są odpowiednio wzrostem temperatury i ciepłem właściwym lodu. Wstawiając (37.1) do (37.2) i (37.3) po przekształceniach otrzymujemy:

$$c_w = \frac{\Delta Q}{m} \left(\frac{1}{\Delta T_w} + \frac{1}{\Delta T_{cal}} \right), \quad (37.4)$$

$$c_L = \frac{\Delta Q}{m} \left(\frac{1}{\Delta T_L} + \frac{1}{\Delta T_{cal}} \right), \quad (37.5)$$

Widać, że poprzez pomiar odpowiednich skoków temperatury, masy wody oraz ilości dostarczonego ciepła można wyznaczyć bezwzględne wartości ciepł właściwych.

Stosunek ciepł właściwych może być wyznaczony na podstawie pomiarów skoków temperatury:

$$\frac{c_w}{c_L} = \frac{\frac{1}{\Delta T_w} - \frac{1}{\Delta T_{cal}}}{\frac{1}{\Delta T_L} - \frac{1}{\Delta T_{cal}}}. \quad (37.6)$$

2. Opis aparatury pomiarowej

Kalorymetr wykonany jest ze stopu Al, wewnątrz znajduje się końcówka termopary. Druga końcówka umieszczona jest w termosie wodzie z lodem. Pojemność kalorymetru wynosi **około** 90 cm³, pojemność cieplna **około** 390J/K. Kalorymetr umieszczony jest w drugim termosie w celu zmniejszenia wymiany ciepła z otoczeniem.

W ściance kalorymetru znajduje się uzwojenie grzałki o oporności 11.4(2) Ω. Grzałka zasilana jest urządzeniem, które pozwala na dostarczanie do układu ściśle określonych porcji energii.

3. Przeprowadzenie eksperymentu

a) przygotowanie termometru

Doświadczenie zaczynamy od umieszczenia „zimnego” końca termopary w mieszaninie drobno potłuczonego lodu z wodą. Kawałki lodu nie mogą być duże, gdyż mogłyby mieć temperaturę niższą od zera. Lód powinien wypełniać znaczną objętość termosu. Co pewien czas powinniśmy delikatnie wymieszać zawartość termosu w celu uniknięcia gromadzenia się na dnie wody o temperaturze 4°C.

Odkręcamy wkręty przykrywki kalorymetru, i wkładamy końcówkę termopary do wody z lodem. Sprawdzamy jakie napięcie wskazuje woltomierz i wykonujemy niezbędną korektę zera.

Charakterystyka termopary ma postać:

$$T = (27.7 \pm 0.1) \text{ K/mV} \cdot U - (0.64 \pm 0.03) \text{ K/(mV)}^2 \cdot U^2 + (270.3 \pm 0.4) \text{ K}, \quad (37.7)$$

gdzie T jest temperaturą „ciepłego” końca termopary a U napięciem na termoparze, gdy „zimny” koniec znajduje się w wodzie z lodem. Równanie z którego można obliczyć napięcie przy określonej temperaturze ma postać:

$$U = (0.0213 \pm 0.0005) \text{ mV/K} \cdot T + (2.9 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ mV/K}^2 \cdot T^2 - (7.93 \pm 0.06) \text{ mV}. \quad (37.8)$$

Uwaga: Równanie 37.8 można otrzymać z 37.7 w ten sposób, że z równania kwadratowego 30.7 wyliczamy U. Następnie rozwijamy pierwiastki w szereg Taylora do wyrazów rzędu T². Równania 37.7 i 37.8 nie są więc równoważne w sensie matematycznym. Są natomiast wygodne w użyciu i zgodne w granicach błędów.

b) pomiar pojemności cieplnej kalorymetru

Osuszamy dokładnie wnętrze kalorymetru, przykrywkę i końcówkę termopary. Mocujemy przykrywkę i umieszczamy kalorymetr w termosie. Zaczynamy notować co 10 s wskazania woltomierza. Wykonujemy jednocześnie roboczy wykres na papierze milimetrowym. Po uzyskaniu pewności, że napięcie nie zmienia się lub że zmienia się liniowo w czasie możemy dostarczyć porcję ciepła do układu. W tym celu ustawiamy zasilacz w reżimie stałego prądu na około 2 A oraz przerywacz prądu na około 20s. Notujemy jaką dokładnie wartość ustawiliśmy.

Włączamy przerywacz i co 10 s notujemy wskazania woltomierza. Obserwujemy wzrost napięcia a potem spadek. Notowanie wyników przerywamy dopiero po upewnieniu się, że

zmiany napięcia zależą liniowo od czasu. Dlatego tak ważne jest sporządzanie roboczego wykresu. Po ustaleniu się liniowego spadku temperatury powtarzamy pomiary.

Uwaga: Po dostatecznie długim czasie obserwacji zauważymy oczywiście, że zmiany napięcia a więc i temperatury w funkcji czasu nie są tak naprawdę liniowe a raczej eksponencjalne, zgodnie z rysunkami przedstawionymi w cytowanej na początku literaturze. Mówiąc o liniowej zależności od czasu mamy na myśli okresy równe kilkanaście 10s.

c) pomiary z lodem

Ważymy pusty kalorymetr. Wlewamy doń około 80 cm^3 wody destylowanej i ponownie ważymy. Po zamknięciu umieszczamy kalorymetr w termosie. Mierzmy temperaturę w kalorymetrze (trzeba przeliczyć napięcie na temperaturę, wzór (37.7)). Wlewamy ostrożnie trochę ciekłego azotu do termosu i obserwujemy spadek temperatury. Po ochłodzeniu do ok. 260K czekamy aż temperatura zacznie sama wzrastać. Po upewnieniu się, że temperatura wzrasta liniowo z czasem (robimy wykres!) dostarczamy porcję ciepła i notujemy wskazania woltomierza. Po ustaleniu się liniowego wzrostu temperatury powtarzamy pomiary

d) pomiary z wodą

Przepuszczamy prąd przez grzałkę kalorymetry i w ten sposób podgrzewamy lód aż do całkowitego stopienia się (obserwujemy jaka jest temperatura!). Przerwywamy grzanie. Po upewnieniu się, że temperatura wzrasta liniowo z czasem (robimy wykres!) dostarczamy porcję ciepła i powtarzamy znane już czynności.

4. Opracowanie wyników

Najistotniejszą częścią opracowania jest określenie skoków temperatury po dostarczeniu porcji ciepła. Posługujemy się ekstrapolacją różnicy temperatur do nieskończonej szybkiej wymiany ciepła. Idea metody jest opisana w podanej literaturze. Ekstrapolacji dokonujemy metoda graficzną, przy użyciu papieru milimetrowego.

Na podstawie podanej oporności grzałki oraz znanej wartości natężenia prądu i czasu wyznaczamy ilość ciepła dostarczaną do układu w każdej porcji. Szacujemy błąd tej wielkości. Korzystając z równań 37.4 i 37.5 wyznaczamy ciepła właściwe wody i lodu oraz szacujemy błędy.

Korzystając z równania 37.6 wyznaczamy stosunek c_w/c_L . Szacujemy błąd. Wszystkie wielkości porównujemy z literaturą.