

Wprowadzenie

Przy zetknięciu się dwóch lub więcej ciał o różnych temperaturach następuje przepływ ciepła od ciała cieplejszego do ciała zimniejszego. Ciało oddające ciepło obniża swoją temperaturę, a ciało pobierające — podwyższa. *Ciepło* jest, zatem, formą energii przekazywanej od jednego ciała do drugiego. *Temperatura* jest miarą stopnia ogrzania ciała.

Ilość ciepła Q wyrażamy w układzie SI w dżulach [J], natomiast temperaturę T — w kelwinach [K]. W życiu codziennym temperaturę mierzymy w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$] i w tym przypadku oznaczamy ją małą literą t . Związek pomiędzy obiema skalami przedstawia równanie

$$T = t + 273,15$$

Przyrost temperatury jest w obydwu skalach jednakowy: $\Delta T = \Delta t$.

Ilość ciepła Q pobranego przy ogrzaniu ciała od temperatury T_1 do temperatury T_2 (lub oddanego przy jego stygnięciu od T_2 do T_1) zależy od rodzaju ciała i jest proporcjonalna do jego masy m i uzyskanej zmiany temperatury:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności c nazywamy średnim ciepłem właściwym w zakresie temperatur od T_1 do T_2 . Z (1) otrzymujemy wzór definiujący ciepło właściwe:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2)$$

Ciepło właściwe jest to ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy ciała o jednostkę temperatury. Ciepło właściwe wyrażamy w $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Wyznaczanie ciepła właściwego ciała stałego

Przy pomiarach ciepła właściwego posługujemy się kalorymetrem, fot. 1. Kalorymetr skonstruowany jest tak, aby ciała znajdujące się w nim były odizolowane termicznie od otoczenia. Składa się on z naczynia wewnętrznego, nazywanego często kalorymetrem właściwym, i naczynia zewnętrznego, pełniącego rolę osłony adiabaticznej, chroniącej kalorymetr właściwy przed wymianą ciepła z otoczeniem. Do pomiaru temperatury we wnętrzu kalorymetru służy termometr.

Przy takiej izolacji wnętrza kalorymetru od otoczenia, zgodnie z zasadą zachowania energii, ilość ciepła dostarczonego jest równa ilości ciepła pobranego. Ciepło jest dostarczane przez prąd elektryczny, przepływający przez uzwojenie grzejne, umieszczone w grzałce, a pobierane przez substancje umieszczone w kalorymetrze. W równaniu bilansu ciepła, musimy uwzględnić, że kalorymetr właściwy też bierze udział w procesie wymiany ciepła.

Ilość ciepła dostarczonego można obliczyć ze wzoru na pracę prądu elektrycznego:

$$Q_1 = W = UI\tau \quad (3)$$

gdzie: U — napięcie, I — natężenie, τ — czas.

Korzystając z prawa Ohma można wzór (3) zapisać w postaci:



Fot. 1. Kalorymetr.

$$Q_1 = W = U \frac{U}{R} \tau = \frac{U^2}{R} \tau \quad (4)$$

W celu pomiaru ciepła właściwego wody c_w , wlewamy jej określoną masę m_w do kalorymetru i ogrzewamy za pomocą grzałki od temperatury początkowej t_p do temperatury końcowej t_k . Równocześnie podgrzany zostaje także kalorymetr o masie m_k i ciepło właściwym c_k .

Ciepło pobrane możemy w trakcie tego procesu zapisać jako:

$$Q_2 = m_w c_w (t_k - t_p) + m_k c_k (t_k - t_p) \quad (5)$$

Z bilansu ciepła wynika, że:

$$Q_1 = Q_2 \quad (6)$$

Z powyższych równań wyznacza się ciepło właściwe wody:

$$c_w = \frac{\frac{U^2}{R} \tau - m_k c_k (t_k - t_p)}{m_w (t_k - t_p)} \quad (7)$$

Znając ciepło właściwe wody, można dokonać pomiaru ciepła właściwego c_0 dowolnego ciała stałego, umieszczając go w kalorymetrze z wodą i podgrzewając całość za pomocą grzałki. Ciepło pobierane będzie wtedy przez kalorymetr, wodę i ciało stałe o masie m_0 , a równanie (5) zmieni się w:

$$Q_2 = m_w c_w (t_k - t_p) + m_k c_k (t_k - t_p) + m_0 c_0 (t_k - t_p) \quad (8)$$

Ciepło właściwe ciała stałego wynosi:

$$c_0 = \frac{\frac{U^2}{R} \tau - m_k c_k (t_k - t_p) - m_w c_w (t_k - t_p)}{m_0 (t_k - t_p)} \quad (9)$$

Uważny czytelnik zauważył pewnie, że ciepło pobierane jest także przez grzałkę. Jest to jednak wielkość energii tak mała, że z powodzeniem możemy ją zaniedbać.

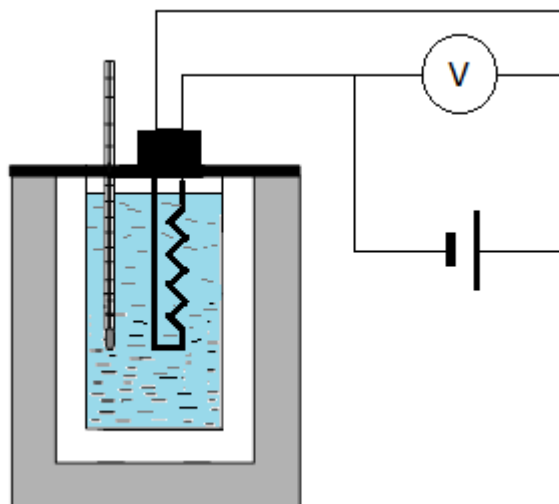
Wykonanie zadania

Część I:

1. Ważymy na wadze wewnętrznej, metalową część kalorymetru i zapisujemy jego masę m_k .
2. Wlewamy do kalorymetru wodę do wysokości około 2 cm pod górną granicę naczynia i ważymy kalorymetr z wodą m_l .
3. Obliczamy masę wody m_w .
4. Umieszczamy kalorymetr w obudowie i przykrywamy pokrywką.
5. Za pomocą miernika uniwersalnego mierzymy opór grzałki.
6. Grzałkę i termometr umieszczamy w kalorymetrze i łączymy w obwód zgodnie ze schematem nr 1 (fot. 2).



Fot. 2. Zdjęcie połączeń elementów.



Schemat 1.

7. Włączamy zasilacz i grzałkę.
8. Nastawiamy napięcie na zasilaczu na prąd stały o wartości około 20-25 V. Napięcie sprawdzamy na woltomierzu i zapisujemy. Warto kontrolować co pewien czas w trakcie całego pomiaru, czy napięcie nie ulega zmianie.
9. Włączamy stoper i jednocześnie zapisujemy temperaturę.
10. Pomiar temperatury przeprowadzamy co 1 minutę przez 15 minut, zapisując czas i temperaturę w tabeli.
11. Po zakończeniu pomiarów wyłączamy grzałkę i zasilacz.
12. Wylewamy wodę i osuszamy kalorymetr.

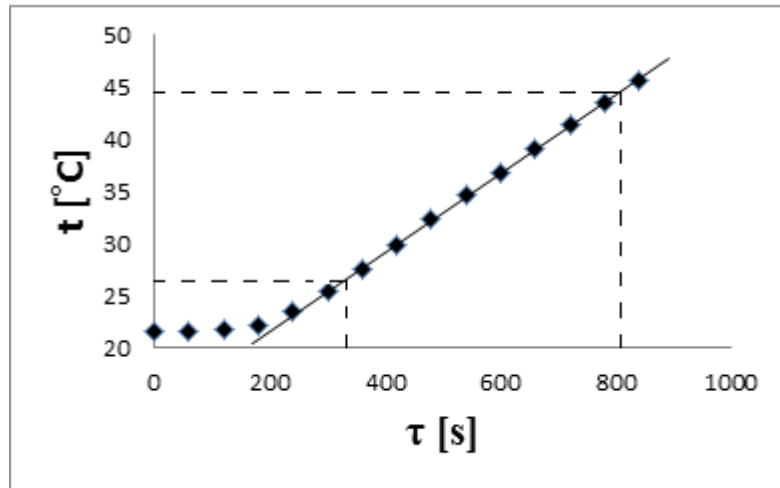
Uwaga! Może być dość gorący!

Część II:

1. Wsypujemy do kalorymetru badany materiał i ważymy go wraz z kalorymetrem (masa m_2).
2. Obliczamy masę ciała stałego m_0 umieszczonego w kalorymetrze.
3. Dolewamy do kalorymetru wodę tak, aby kalorymetr był zapełniony do około 2 cm pod swoją górną granicę.
4. Ważymy kalorymetr z wodą i ciałem stałym i zapisujemy masę m_3 .
5. Obliczamy masę wody m_w .
6. Mieszymy całość w celu usunięcia pęcherzyków powietrza.
7. Następnie postępujemy tak jak w części pierwszej.
8. Po zakończeniu pomiarów i wyłączeniu zasilania, **wylewamy zawartość kalorymetru na sitko** tak, aby kawałki materiału nie znalazły się w zlewie i po odciknięciu wody przesypujemy materiał do pustego pojemnika.

Opracowanie wyników pomiarów

1. Sporządzamy wykres zależności temperatury wody od czasu.
2. Do punktów, które układają się wzdłuż prostej (można pominąć kilka początkowych pomiarów) dopasujemy za pomocą linijki prostą (rys. 1).



Rys. 1.

3. Z początku oraz z końca prostej wybieramy dwa punkty (inne niż zmierzone!). Odczytujemy dla wybranych punktów wartości czasów τ_p i τ_k wraz odpowiadającymi im wartościami temperatur t_p i t_k .
4. Obliczamy $\tau = \tau_k - \tau_p$.
5. Ze wzoru (7) obliczamy ciepło właściwe wody.
6. Sporządzamy wykres zależności temperatury ciała stałego z wodą od czasu.
7. Podobnie jak poprzednio dopasowujemy do wykresu prostą i odczytujemy z niej odpowiednie wartości czasów i temperatur.
8. Ze wzoru (9) obliczamy ciepło właściwe ciała stałego.

Rachunek błędów

Na dokładność wyznaczenia ciepła właściwego wody ma wpływ niepewność pomiaru napięcia i oporu przy użyciu miernika cyfrowego, dokładność wyznaczania czasu za pomocą stopera, dokładność wagi laboratoryjnej służącej do wyznaczania masy wody oraz niepewność użytego termometru, a także dokładność dopasowania prostej do punktów doświadczalnych.

Można przyjąć, że dokładności te wynoszą odpowiednio:

- Dla prądu stałego wyznaczona się napięcie z dokładnością 1%, ponieważ jednak napięcie jest we wzorze w kwadracie musimy tę wartość podwoić;
- Pomiar oporu – 2%;
- Pomiar czasu – około 1% (oczywiście stoper jest dużo dokładniejszy, ale nasz refleks – już nie!);
- Niepewność ważenia – zależy od wagi, ale w przypadku wyznaczania masy dokładność jest tak duża, że niepewność wynikającą z tego pomiaru można pominąć;
- Dokładność termometru – około 1%;
- Dokładność dopasowania prostej – około 3%.

$$\frac{\Delta c}{c_w} \cdot 100\% = 1\% + 2\% + 1\% + 1\% + 3\%$$

Dokładność pomiaru ciepła właściwego ciała stałego można przyjąć taką samą jak dla wody.

Po otrzymaniu wyników warto porównać ciepła właściwe dla wody i ciała stałego z wartościami tablicowymi.