

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 427

Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy za pomocą elektrokalorymetru

Rodzaj badanej cieczy:			Pomiar I	Pomiar II
Masa kalorymetru I,	m_{k1}	[kg]		
Masa kalorymetru II,	m_{k2}	[kg]		
Masa kalorymetru I. z wodą,	m_1	[kg]		
Masa kalorymetru II. z b. cieczą,	m_2	[kg]		
Masa wody,	$m_w = m_1 - m_{k1}$	[kg]		
Masa cieczy,	$m_x = m_2 - m_{k2}$	[kg]		
Temp. początkowa kal. I. i wody,	t_{01}	[°C]		
Temp. początkowa kal. II. i cieczy,	t_{02}	[°C]		
Temp. końcowa kal. I. i wody,	t_1	[°C]		
Temp. końcowa kal. II. i cieczy,	t_2	[°C]		
Ciepło właściwe kalorymetru,	c_k	[J/(kg·K)]	900	
Ciepło właściwe wody,	c_w	[J/(kg·K)]	4190	
Ciepło właściwe cieczy,	c_x	[J/(kg·K)]		
Średnie ciepło wł. cieczy,	c_c	[J/(kg·K)]		
Błąd bezwzględny,	Δc_c	[J/(kg·K)]		
Błąd względny,	B_p	[%]		

427. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy za pomocą elektrokalorymetru

Wprowadzenie

Przy zetknięciu się dwóch lub więcej ciał o różnej temperaturze 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 stanu cieplnego 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:

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

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

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}.$$

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

Jeżeli dwóm ciałom o ciepłe właściwym c_w i c_x dostarczymy tę samą ilość ciepła ΔQ , to możemy napisać zależność:

$$\Delta Q = m_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w = m_x \cdot c_x \cdot \Delta t_x \quad (1)$$

Znając masy obu ciał, ich przyrosty temperatury oraz ciepło właściwe c_w jednego z tych ciał (wody), możemy wyznaczyć ciepło właściwe c_x drugiego ciała. Idea ta została wykorzystana do wyznaczenia ciepła właściwego cieczy za pomocą elektrokalorymetru.

Równe ilości ciepła dostarczane są różnym cieczom za pośrednictwem ogrzewanych prądem elektrycznym spirali o jednakowym oporze, podłączonych szeregowo (rys. 1) do źródła prądu zmiennego. Ilość ciepła ΔQ_d wydzielona w czasie τ w przewodniku o oporze R , przez który płynie prąd o natężeniu I , równa jest pracy prądu elektrycznego

$$\Delta Q_d = I^2 \cdot R \cdot \tau. \quad (2)$$

Ponieważ prąd o natężeniu I płynie przez jednakowe spirale w tym samym czasie, to ilości wydzielonego w nich ciepła muszą być sobie równe. Należy uwzględnić również ciepło pobrane przez kalorymetry, skąd wynika równanie bilansu ciepła:

$$(m_w c_w + m_{k1} c_k) (t_1 - t_{01}) = (m_x c_x + m_{k2} c_k) (t_2 - t_{02}), \quad (3)$$

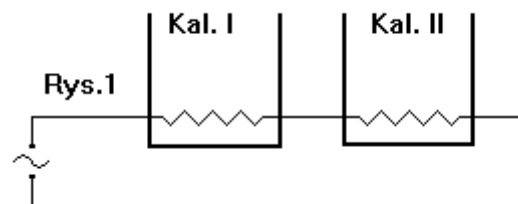
gdzie:

m_w, c_w — masa, ciepło właściwe wody; m_x, c_x — masa, ciepło właściwe cieczy badanej;

m_{k1}, m_{k2}, c_k — masy kalorymetrów i ciepło właściwe materiału, z którego są wykonane;

t_1, t_{01}, t_2, t_{02} — wartości temperatury końcowej i początkowej kalorymetru z wodą i cieczą badaną.

Przekształcając równanie (3) otrzymamy wzór, z którego można określić nieznanne ciepło właściwe c_x badanej cieczy:



$$c_x = \frac{(m_w c_w + m_{k1} c_k)(t_1 - t_{01}) - m_{k2} c_k (t_2 - t_{02})}{m_x (t_2 - t_{02})} \quad (4)$$

Wykonanie zadania

1. Ważymy wewnętrzne naczynia kalorymetrów (część metalową) — masy m_{k1} , m_{k2} .
2. Jeden kalorymetr wypełniamy do połowy wodą, a drugi badaną cieczą (np. gliceryną) i ważymy — masy m_1 , m_2 . Obliczamy masę wody $m_w = m_1 - m_{k1}$ oraz masę badanej cieczy $m_x = m_2 - m_{k2}$.
3. Umieszczamy naczynia w osłonach, wstawiamy termometry i łączymy obwód wg rys. 1. Wykorzystaj grzałki 5 Ω . Termometry utrzymuj prostopadle aby nie stykały się z grzałką.
4. Zamieszaj wykonując ruch po okręgu całym kalorymetrem.
5. Mierzmy temperaturę początkową: wody — t_{01} oraz badanej cieczy — t_{02} .
6. Włączamy prąd do obwodu i przepuszczamy tak długo (ok. 10 min.), aż temperatura badanej cieczy wzrośnie o około 10 $^{\circ}\text{C}$. Ustaw na zasilaczu 15 V – prąd zmienny. Podczas eksperymentu mieszaj, co 1 min. tak jak w punkcie 4.
7. Po wyłączeniu prądu i dokładnym zamieszananiu cieczy (tak jak w punkcie 4), odczytujemy temperaturę końcową: wody — t_1 , badanej cieczy — t_2 .
8. Wyjmujemy pokrywy ze spiralami z kalorymetrów i płuczemy spirale wodą.
9. Powtarzamy pomiary zamieniając pokrywy ze spiralami miejscami tak, aby spirala, która przedtem ogrzewała wodę, teraz ogrzewała badaną cieczą.
10. Dla obu pomiarów obliczamy ciepło właściwe badanej cieczy, wzór (4).
11. Znajdujemy średnią wartość ciepła właściwego i porównujemy ją z wartością tablicową (obliczamy błąd bezwzględny i względny w odniesieniu do wartości tablicowej).

Rachunek błędów

Rachunek błędów przeprowadzimy dla uproszczonego wzoru na ciepło właściwe cieczy. Otrzymamy go po pominięciu we wzorze (4) udziału kalorymetrów w bilansie ciepła. Uzasadnione to jest faktem, że pojemność cieplna kalorymetru (jest to iloczyn masy i ciepła właściwego ciała) stanowi poniżej 10% pojemności cieplnej badanej cieczy i ok. 5% pojemności cieplnej wody używanej w doświadczeniu. Fakt ten jest spowodowany stosunkowo małymi wartościami ciepła właściwego metali jak i niedużymi masami kalorymetrów.

Uproszczony wzór na c_x przedstawia się następująco:

$$c_x = \frac{m_w c_w (t_1 - t_{01})}{m_x (t_2 - t_{02})} = \frac{m_w c_w t_w}{m_x t_x} \quad (5)$$

Wielkości t_w , t_x oznaczają przyrost odpowiednio — temperatury wody i badanej cieczy.

Błąd pomiaru ciepła właściwego na podstawie wzoru (5) wyznaczmy metodą różniczkowania logarytmicznego. Otrzymujemy następujące wyrażenie na maksymalny błąd względny:

$$\frac{\Delta c_x}{c_x} = \frac{\Delta m_w}{m_w} + \frac{\Delta m_x}{m_x} + \frac{\Delta t_x}{t_x} + \frac{\Delta t_w}{t_w} \quad (6)$$

Przy wyprowadzaniu wzoru (6) przyjęto, że obarczone błędem pomiaru są: m_w , m_x , t_x , t_w . Jeśli ważenie wykonujemy z dokładnością Δm , to, ze względu na podwójne ważenie, przy wyznaczaniu mas cieczy musimy przyjąć: $\Delta m_w = \Delta m_x = 2 \cdot \Delta m$. Podobnie, $\Delta t_w = \Delta t_x = 2 \cdot \Delta t$, gdzie Δt — dokładność pomiaru temperatury. Obliczamy także błąd bezwzględny Δc_x .