Ćwiczenie 41

POMIAR CIEPŁA PAROWANIA WODY

41.1. Wiadomości ogólne

Ilość ciepła Q, jakiej należy dostarczyć, aby ogrzać ciało o masie m od temperatury t_1 do temperatury t_2, jest proporcjonalna do masy ciała oraz do różnicy temperatur $\Delta t = t_2 - t_1$

$$Q = m\,c\Delta t\,. \qquad (41.1)$$

Współczynnik proporcjonalności c, określający właściwości cieplne danego ciała, nosi nazwę ciepła właściwego. Ciepło właściwe c jest to wielkość fizyczna równa liczbowo ilości ciepła potrzebnej do ogrzania 1kg danej substancji o 1 stopień.

Pojemnością cieplną K ciała nazywamy iloczyn jego masy m i ciepła właściwego c

$$K = m\,c. \qquad (41.2)$$

Pojemność cieplna jest to wielkość fizyczna równa liczbowo ilości ciepła potrzebnej do ogrzania danego ciała o 1 stopień. Wielkość ta jest przydatna przy ocenie ilości ciepła pobieranego przez układy o strukturze niejednorodnej (np. kalorymetr z termometrem i mieszadełkiem).

Pomiędzy ciałami o różnych temperaturach, będącymi ze sobą w kontakcie, następuje wymiana ciepła. Jeżeli ciała te są izolowane cieplnie od otoczenia, oraz jeżeli nie zostaje przy tym wykonana praca, to zgodnie z zasadą zachowania energii (bilans cieplny), ilość ciepła oddawanego przez ciała o temperaturze wyższej równa jest ilości ciepła pobieranego przez ciała o temperaturze niższej

$$Q_{od} = Q_{pobr}\,. \qquad (41.3)$$

Ilość ciepła potrzebna do zamiany cieczy o masie m w parę o tej samej temperaturze

$$Q = m\,L;\ t = \text{const}. \qquad (41.4)$$

gdzie: L – ciepło parowania.

Ciepło parowania L jest to wielkość fizyczna równa liczbowo ilości ciepła potrzebnej do zamiany masy 1 kg cieczy w parę o tej samej temperaturze.

Ciepło parowania cieczy zależy od temperatury, w której ciecz paruje, i od ciśnienia, a jego wartość maleje ze wzrostem temperatury, zmierzając do zera w temperaturze krytycznej. W ćwiczeniu wyznaczamy ciepło parowania wody w temperaturze wrzenia pod ciśnieniem atmosferycznym.

41.2. Zadania

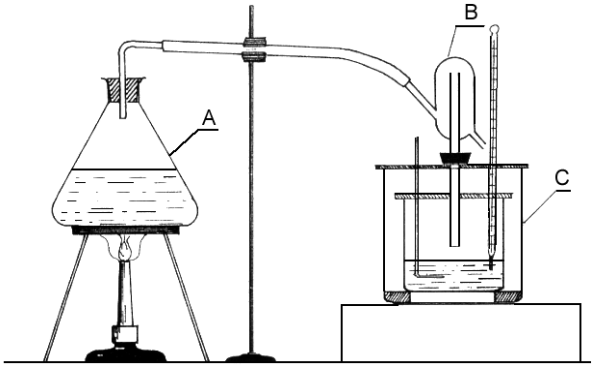
41.2.1. Wyznaczyć pojemność cieplną kalorymetru.
41.2.2. Wyznaczyć ciepło parowania wody.

41.3. Zasada i przebieg pomiarów

Aby wyznaczyć wartość ciepła parowania, wodę w parowniku A (rys. 41.1) ogrzewamy do temperatury wrzenia. Para przechodzi przez zbiorniczek B do naczynia kalorymetrycznego C, gdzie ulega skropleniu. Woda wrze w temperaturze 100°C pod ciśnieniem normalnym, można więc z wystarczającą dokładnością przyjąć, że taką temperaturę ma para wodna wprowadzona do naczynia kalorymetrycznego. Para skraplając się w temperaturze t_p = 100°C, oddaje ciepło

$$Q_1 = m_p L \,, \tag{41.5}$$

gdzie: m_p – masa pary,
L – ciepło parowania wody.



Rys. 41.1

Powstała woda, ochładzając się do temperatury końcowej t_k, oddaje ciepło

$$Q_2 = m_p c_w (t_p - t_k), \tag{41.6}$$

gdzie: c_w – ciepło właściwe wody.

Naczynie kalorymetryczne, wraz ze znajdującą się w nim wodą, ogrzewa się od temperatury początkowej t_0 do końcowej t_k, pobierając ciepło

$$Q_3 = (m_w c_w + K)(t_k - t_o), \tag{41.7}$$

przy czym: m_w – masa wody w naczyniu kalorymetrycznym,
K – pojemność cieplna naczynia kalorymetrycznego.

Korzystając z zasady zachowania energii (bilans cieplny), otrzymujemy równanie

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \,, \tag{41.8}$$

czyli

$$m_p L + m_p c_w (t_p - t_k) = (m_w c_w + K)(t_k - t_o) \,, \tag{41.9}$$

skąd

$$L = \frac{(m_w \cdot c_w + K)(t_k - t_o)}{m_p} - c_w (t_p - t_k) \cdot \tag{41.10}$$

Aby wyznaczyć pojemność cieplną K, do naczynia kalorymetrycznego zawierającego masę m_1 wody zimnej o temperaturze t_1, wlewamy masę m_2 wody ogrzanej do temperatury t_2. W naczyniu ustali się temperatura końcowa t_3. Zimna woda w naczyniu, ogrzewając się od temperatury t_1 do temperatury końcowej t_3, pobierze ilość ciepła

$$Q_1 = m_1 c_w (t_3 - t_1) \,. \tag{41.11}$$

Naczynie kalorymetryczne, ogrzewając się od temperatury początkowej t_1 do temperatury końcowej t_3, pobiera ilość ciepła

$$Q_2 = K (t_3 - t_1) \,. \tag{41.12}$$

Ciepła woda wlana do naczynia kalorymetrycznego, oziębiając się od temperatury t_2 do temperatury końcowej t_3, odda ilość ciepła

$$Q_3 = m_2 c_w (t_2 - t_3) \,. \tag{41.13}$$

Odpowiedni bilans cieplny w postaci równania

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \tag{41.14}$$

prowadzi do związku:

$$(m_1 c_w + K)(t_3 - t_1) = m_2 c_w (t_2 - t_3) \,, \tag{41.15}$$

skąd

$$K = c_w\left(m_2\frac{t_2 - t_3}{t_3 - t_1} - m_1\right). \qquad (41.16)$$

Przebieg pomiaru pojemności cieplnej naczynia kalorymetrycznego:

1. Ważymy suche naczynie kalorymetryczne wraz z mieszadełkiem.
2. Wlewamy do naczynia masę m_1 (około 100 g) zimnej wody i mierzymy jej temperaturę t_1. Masę wlanej wody m_1 wyznaczamy, ważąc naczynie kalorymetryczne z wodą i odejmując masę pustego naczynia.
3. Wlewamy do naczynia kalorymetrycznego masę m_2 (około 100 g) wody ogrzanej do temperatury t_2 (ok. 40°–50°). Po wymieszaniu za pomocą mieszadełka mierzymy temperaturę t_3, jaka ustali się w naczyniu, a następnie ponownie ważymy naczynie kalorymetryczne w celu wyznaczenia masy m_2 ciepłej wody.
4. Pojemność cieplną naczynia kalorymetrycznego K obliczamy z wzoru (41.16)

Ciepło parowania wody wyznaczamy następująco:

1. Napełnić wodą (~200 g) parownik A, starannie zamknąć wieczko i włączyć zasilanie grzejnika parownika.
2. Do zważonego poprzednio naczynia kalorymetrycznego wlewamy masę m_w (około 150 g) zimnej wody o temperaturze t_0. Masę wody m_w wyznaczamy, ważąc naczynie kalorymetryczne z wodą i odejmując masę pustego naczynia.
3. Podgrzewamy wodę w parowniku A (rys. 41.1) i gdy para zacznie się intensywnie wydobywać z rurki połączonej ze zbiornikiem B, wkładamy rurkę do naczynia kalorymetrycznego tak, aby jej koniec był zanurzony w wodzie.
4. Po około 2-3 minutach skraplania się pary wyjmujemy rurkę z naczynia kalorymetrycznego, odczytujemy temperaturę t_k, która ustali się w naczyniu i ponownie ważymy naczynie kalorymetryczne w celu wyznaczenia masy m_p wody, która powstała ze skroplonej pary wodnej.
5. Ciepło parowania wody wyznaczamy ze wzoru (41.10).

41.4. Ocena niepewności pomiarów

Niepewność pomiaru pojemności cieplnej naczynia kalorymetrycznego i ciepła parowania wody obliczamy metodą różniczki zupełnej jako bezwzględne niepewności systematyczne pomiarów złożonych. Odpowiednie obliczenia prowadzą do wzorów:

$$|\Delta K| \cong \left| c_w \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \right| |\Delta m| + 3\left| c_w m_2 \frac{t_2 - t_1}{(t_3 - t_1)^2} \right| |\Delta t|, \qquad (41.17)$$

oraz

$$|\Delta L| = \left| \frac{t_k - t_0}{m_p} \right| |\Delta K| + \left| (t_k - t_0)\frac{c_w(m_p + m_w) + K}{m_p^2} \right| |\Delta m| + 2\left| \frac{c_w(m_w + m_p) + K}{m_p} \right| |\Delta t|, \qquad (41.18)$$

gdzie: Δm – niepewność pomiaru masy (jednakowa dla wszystkich mas) szacujemy, opierając się na klasie i dokładności zastosowanej wagi;

Δt – niepewność pomiaru temperatury wynika z dokładności użytego w pomiarach termometru.

Oszacowane w ten sposób wartości Δm i Δt są maksymalnymi niepewnościami systematycznymi (metoda typu B).

Literatura

[1] Szczeniowski S.: Fizyka doświadczalna, cz. II. Warszawa: PWN 1976.
[2] Massalski J., Massalska M.: Fizyka dla inżynierów, cz. I. Warszawa: WNT 1980.