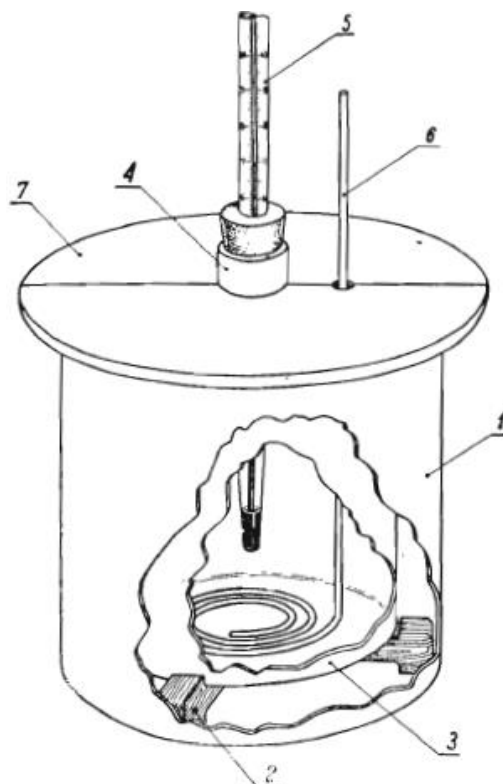


KALORYMETR



Rys. 1.

Kalorymetr służy do pomiarów ilości ciepła. Składa się on z dwóch naczyń aluminiowych, większego i mniejszego. Na dnie naczynia większego (1), zwanego *płaszczem kalorymetru*, spoczywa pierścień dystansowy (drewniany krzyżak) (2), na którym jest ustawione naczynie mniejsze (3) – właściwy kalorymetr. Kalorymetr ma aluminiową pokrywę. Na jej środku jest wytłoczona szyjka (4), w otworze której osadzamy termometr (5) za pomocą korka. Przez drugi mniejszy otwór w pokrywie jest przetknięty pręt mieszadła (6). Płaszcz kalorymetru nakrywamy tekturową pokrywą (7) przeciętą na pół.

Płaszcz kalorymetru chroni przed wymianą energii – przez cieplny przepływ energii (przez przewodzenie lub promieniowanie) między kalorymetrem a otaczającymi przedmiotami. Termometr używany do pomiarów kalorymetrycznych powinien mieć działkę elementarną $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ciepło dostarczone cieczy, znajdującej się w kalorymetrze, powinno być równomiernie rozproszony w całej jej masie; rozpraszamy je mieszając ciecz mieszadłem.

Ilość ciepła doprowadzonego do danej substancji ocenia się wg zmiany jej temperatury, a oblicza wg następującego wzoru:

$$Q = m \cdot c(t_2 - t_1)$$

gdzie:

Q – ilość ciepła dostarczonego substancji, J;

m – masa substancji, kg;

c – ciepło właściwe substancji, $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

t_1 – temperatura początkowa, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 – temperatura końcowa.

Obliczenia kalorymetryczne oparte są na zasadzie bilansu cieplnego.

Poniżej podajemy opisy kilku podstawowych doświadczeń, które mogą być wykonane przy pomocy kalorymetru.

1. Wyznaczanie ciepła właściwego ciał stałych

Na wadze mierzymy masę kalorymetru wraz z pokrywą i mieszadłem, oznaczając ją symbolem m_k . Wszystkie te części są wykonane z aluminium, którego ciepło właściwe wynosi $896 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$. Następnie wlewamy do kalorymetru wodę (np. około $1/3$ jego objętości). Mierzmy na wadze masę kalorymetru z wodą (m_1). Obliczamy masę wody:

$$m_w = m_1 - m_k .$$

Po wyrównaniu się temperatur kalorymetru i wody mierzymy termometrem temperaturę wody znajdującej się w kalorymetrze, a zatem i temperaturę kalorymetru z pokrywą. Oznaczamy ją przez t_1 .

Ciało stałe o masie m , którego ciepło właściwe chcemy wyznaczyć, przygotowujemy w stanie rozdrobnionym, np. żelazo w postaci drobnych gwoździ, miedź w postaci drobno pociętego drutu, ołów w postaci śrutu itp. Następnie wsypujemy je do małego naczynia metalowego (np. w kształcie próbówki) i wstawiamy do naczynia z gorącą wodą. Temperaturę ogrzewanego ciała mierzymy termometrem włożonym do próbówki i obsypanym rozdrobnioną substancją. Gdy badane ciało będzie miało temperaturę bliską temperatury gorącej wody (oznaczymy ją przez t_2), przerywamy ogrzewanie i wyjmując termometr szybko wsypujemy ciało do kalorymetru. Kalorymetr i płaszcz przykrywamy pokrywami. Wkładamy do kalorymetru termometr i mieszając mieszadłem zawartość kalorymetru, oczekujemy wyrównania się temperatur kalorymetru, wody i badanego ciała; oznaczamy ją przez t_3 .

Po wykonaniu powyższych czynności układamy równanie (bilans cieplny):

$$m \cdot c_x \cdot (t_2 - t_3) = m_w \cdot c_w \cdot (t - t_1) + m_k \cdot c_k \cdot (t_3 - t_1)$$

gdzie:

m_k – masa kalorymetru z pokrywą i mieszadłem, kg;

c_k – ciepło właściwe kalorymetru (aluminium), $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

m_w – masa wody, kg;

c_w – ciepło właściwe wody równe $4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

m – masa badanego ciała, kg;

c_x – ciepło właściwe badanego ciała, $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

t_1 – temperatura początkowa wody i kalorymetru z pokrywą i mieszadłem, $^\circ\text{C}$ lub K;

t_2 – temperatura początkowa badanego ciała, $^\circ\text{C}$ lub K;

t_3 – temperatura końcowa: wody, kalorymetru i badanego ciała, $^\circ\text{C}$ lub K;

Przekształcając powyższe równanie otrzymujemy wzór na ciepło właściwe badanego ciała:

$$c_x = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_3 - t_1)}{m(t_2 - t_3)}, \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Wzór można uprościć wprowadzając tzw. równoważnik wodny kalorymetru M . W tym celu należy pojemność cieplną wody ($m_w c_w$) powiększyć o pojemność cieplną kalorymetru ($m_k c_k$).

$$M = m_w c_w + m_k c_k$$

Równoważnik ten można ustalić dla danego kalorymetru i przy obliczeniach z niego korzystać. W ten sposób skraca się wydatnie czas trwania doświadczeń. Należy jednak pamiętać, aby do kalorymetru każdorazowo wlewać jednakową ilość wody, odmierzoną przy pomocy cylindra miarowego, gdyż równoważnik wodny został obliczony dla danej ilości wody. Uwzględniając równoważnik wodny kalorymetru, wzór na ciepło właściwe przyjmuje następującą postać:

$$c_x = \frac{M(t_3 - t_1)}{m(t_2 - t_3)},$$

gdzie M jest równoważnikiem wodnym kalorymetru.

W celu otrzymania dokładniejszego wyniku pomiaru należy uwzględnić ciepło pobrane przez część termometru zanurzoną w kalorymetrze. Ciepło pobrane przez termometr¹ obliczamy korzystając z faktu, że ilości ciepła potrzebne do ogrzania 1cm³ szkła i rtęci o 1°C są w przybliżeniu jednakowe.

Masa 1 cm³ szkła wynosi średnio 2,5 g, jego ciepło właściwe 831.6 J/(kg °C), zaś masa 1 cm³ rtęci wynosi 13,6 g, a jej ciepło właściwe 138,6 J/(kg °C). Mamy zatem: $2,5 \cdot 831,6 \approx 13,6 \cdot 138,6$

Z powyższego wynika, że do ogrzania masy 1 cm³ szkła lub rtęci o 1 °C potrzeba średnio 1982 J. Tę ilość ciepła będziemy oznaczać w równaniach bilansu cieplnego przez r .

Chcąc uwzględnić w bilansie cieplnym ilość ciepła pobraną przez zanurzoną w kalorymetrze część termometru, mierzymy cylindrem miarowym objętość tej części termometru, zaś ciepło pobrane przez nią przy przyroście temperatury od t_3 do t_4 obliczamy z następującego wzoru:

$$Q_t = v \cdot r(t_3 - t_4),$$

gdzie:

Q_t – ilość ciepła pobrana przez termometr, J;

v – objętość części termometru zanurzonej w kalorymetrze, cm³;

r – 1882 J/(kg °C);

t_3 – temperatura końcowa, °C

t_4 – temperatura początkowa termometru przed włożeniem go do kalorymetru, °C

Po uwzględnieniu powyższego wzór na ciepło właściwe przybierze następującą postać:

$$c_x = \frac{M(t_3 - t_1) + vr(t_3 - t_4)}{m(t_2 - t_3)}.$$

W opisach pozostałych doświadczeń pominięto ilość ciepła pobraną przez termometr. (Uwzględnienie lub pominięcie ilości tego ciepła pozostawia się do decyzji nauczyciela).

W przypadku, gdy ciało stałe, którego ciepło właściwe chcemy wyznaczyć, jest rozpuszczalne w wodzie lub chemicznie z nią reaguje, należy do pomiaru użyć innej cieczy o znanym ciepłe właściwym, która wobec badanego ciała jest obojętna. Np. ciepło właściwe sodu metalicznego (Na) należy wyznaczyć w nafcie.

2. Wyznaczanie ciepła właściwego cieczy

Przebieg pomiaru jest podobny do pomiaru ciepła właściwego ciał stałych. Różni się tylko tym, że zmienia się rola użytych w doświadczeniu substancji. W doświadczeniu 1 znane było ciepło właściwe cieczy, a nieznanie ciała stałego; w tym przypadku należy użyć ciała stałego o znanym ciepłe właściwym i po ogrzaniu wsypać je do badanej cieczy znajdującej się w kalorymetrze. Po wykonaniu czynności jak w doświadczeniu 1 układamy równanie:

$$m_1 c_1 (t_2 - t_3) = m c_x (t_3 - t_1) + m_k c_k (t_3 - t_1)$$

gdzie:

¹ Obecnie nie stosuje się termometrów rtęciowych.

- m_1 – masa ciała stałego, kg;
 c_1 – ciepło właściwe ciała stałego,
 m – masa badanej cieczy, kg;
 c_x – ciepło właściwe badanej cieczy, J/(kg °C);
 m_k – masa kalorymetru, kg
 c_k – ciepło właściwe kalorymetru, J/(kg °C);
 t_1 – temperatura początkowa badanej cieczy i kalorymetru,
 t_2 – temperatura ciała stałego, °C
 t_3 – temperatura końcowa badanej cieczy, ciała stałego i kalorymetru,

Ciepło właściwe badanej cieczy obliczamy przekształcając wyżej podane równanie do postaci:

$$c_x = \frac{m_1 c_1 (t_2 - t_3) - m_k c_k (t_3 - t_1)}{m(t_3 - t_1)}$$

W celu otrzymania dokładniejszego wyniku pomiaru, w obliczeniach można uwzględnić ciepło pobrane przez termometr.

3. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu

Ważymy kalorymetr, po czym wlewamy do niego wodę. Ważymy ponownie i obliczamy masę wody jak w doświadczeniu 1. następnie wrzucamy do kalorymetru kawałek lodu uprzednio osuszony bibułą.

Przykrywamy kalorymetr i mieszając wolno mieszadłem, oczekujemy na stopnienie lodu i ustalenie się temperatury, którą odczytujemy na termometrze. Po wykonaniu powyższych czynności ważymy kalorymetr. Znając masę kalorymetru z wodą przed wrzuceniem lodu i po jego stopnieniu, obliczamy z różnicy tych mas masę lodu. Wnioskując, że lód stopił się pobierając ciepło kalorymetru i zawartej w nim wody, układamy równanie:

$$m_1 x + m_1 c_w (t_3 - t_2) = m_k c_k (t_1 - t_3) + m_w c_w (t_1 - t_3)$$

gdzie:

- x – ciepło topnienia lodu, J/kg;
 m_1 – masa lodu (wody powstałej z jego stopnienia), kg;
 m_k – masa kalorymetru z mieszadłem, kg;
 m_w – masa wody znajdującej się w kalorymetrze, kg;
 c_k – ciepło właściwe kalorymetru, J/(kg °C);
 c_w – ciepło właściwe wody, 4186 J/(kg °C);
 t_1 – temperatura początkowa kalorymetru, °C;
 t_2 – temperatura lodu i powstałej z niego wody (0 °C);
 t_3 – temperatura końcowa kalorymetru (°C).

Przekształcając powyższe równanie, obliczamy ciepło topnienia lodu ze wzoru:

$$x = \frac{(m_k c_k + m_w c_w)(t_1 - t_3) - m_1 (t_3 - t_2)}{m_1}, \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

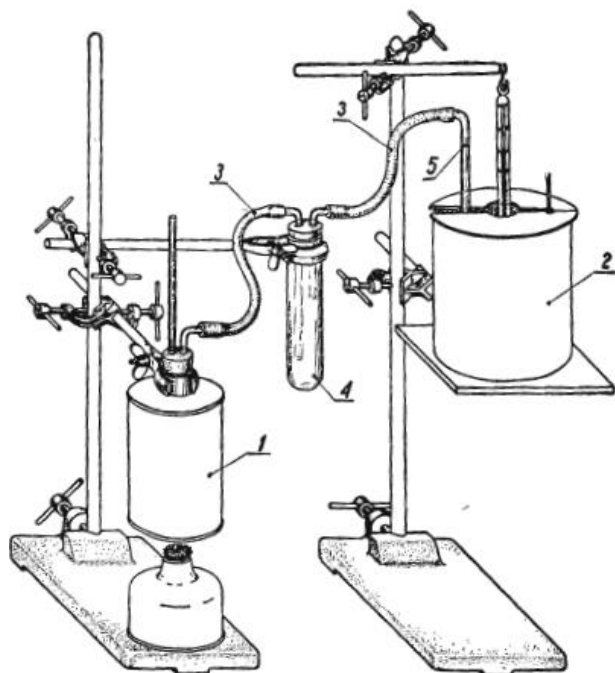
4. Wyznaczanie ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia

Ciepłem parowania wody w temperaturze wrzenia nazywamy stosunek dostarczonej energii na sposób ciepła Q do masy substancji m , która pod wpływem tej ilości ciepła wyparowała. Kalorymetryczna metoda pomiaru ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia opiera się nie na zamianie cieczy na parę, lecz odwrotnie, w kalorymetrze zamieniamy parę na ciecz.

Układ przyrządów w doświadczeniu jest pokazany na rysunku 2.

Przebieg doświadczenia jest następujący:

Ważymy kalorymetr bez pokrywy. Nalewamy wody i ważymy powtórnie w celu wyznaczenia masy wody. Temperaturę mierzymy termometrem zawieszonym przy pomocy mocnej nici na przedłużaczu umocowanym w statywie. Koniec termometru powinien być zanurzony w wodzie. Kalorymetr przykrywamy pokrywą tekturową.



Rys. 2.

Parę wodną wytworzoną w kociołku do wytwarzania pary (1) doprowadzamy do kalorymetru (2) przy pomocy możliwie krótkich rurek gumowych (3) poprzez osuszacz (4) i rurkę szklaną (5). Przy wykonaniu pomiaru należy pamiętać, aby woda w kociołku gotowała się kilka (3-5) minut i w tym czasie para uchodząca przewodem doprowadzającym ją do kalorymetru nagrzała go. Zapobiegamy w ten sposób nadmiernemu skraplaniu się pary. Po wykonaniu tych czynności koniec rurki szklanej (5), którą jest zakończony przewód doprowadzający, zanurzamy w wodzie znajdującej się w kalorymetrze, rozsuwając uprzednio tekturową pokrywę. W czasie wpuszczania pary do kalorymetru należy obserwować na termometrze wzrost temperatury, który następuje bardzo szybko. Po ogrzaniu przez parę wody w kalorymetrze do 60–70 °C, należy przerwać jej dopływ, tzn. wyjąć z kalorymetru rurkę szklaną. Ogrzanie wody w kalorymetrze do wyższej temperatury powoduje zmniejszenie dokładności pomiaru. Po przerwaniu dopływu pary mieszamy zawartość kalorymetru mieszadłem do czasu ustalenia się temperatury, którą odczytujemy na termometrze. Następnie ponownie ważymy kalorymetr wraz z zawartością. Z różnicy mas kalorymetru przed i po wypuszczeniu pary obliczamy jej masę.

Wnioskując, że para i powstała z niej woda oddały swoje ciepło kalorymetrowi i zawartej w nim wodzie, układamy równanie:

$$m_p x + m_p c_w (t_2 - t_3) = m_k c_k (t_3 - t_1) + m_w c_w (t_3 - t_1)$$

gdzie:

x – ciepło parowania wody, J/kg;

m_p – masa pary wodnej (wody powstałej z jej skroplenia), kg;

m_k – masa kalorymetru z mieszadłem, kg;

m_w – masa wody znajdującej się w kalorymetrze, kg;

c_k – ciepło właściwe kalorymetru, J/(kg °C).

c_w – ciepło właściwe wody 4186 J/(kg °C);

t_1 – temperatura początkowa kalorymetru, °C;

t_2 – temperatura wody powstałej ze skroplenia się pary (100 °C);

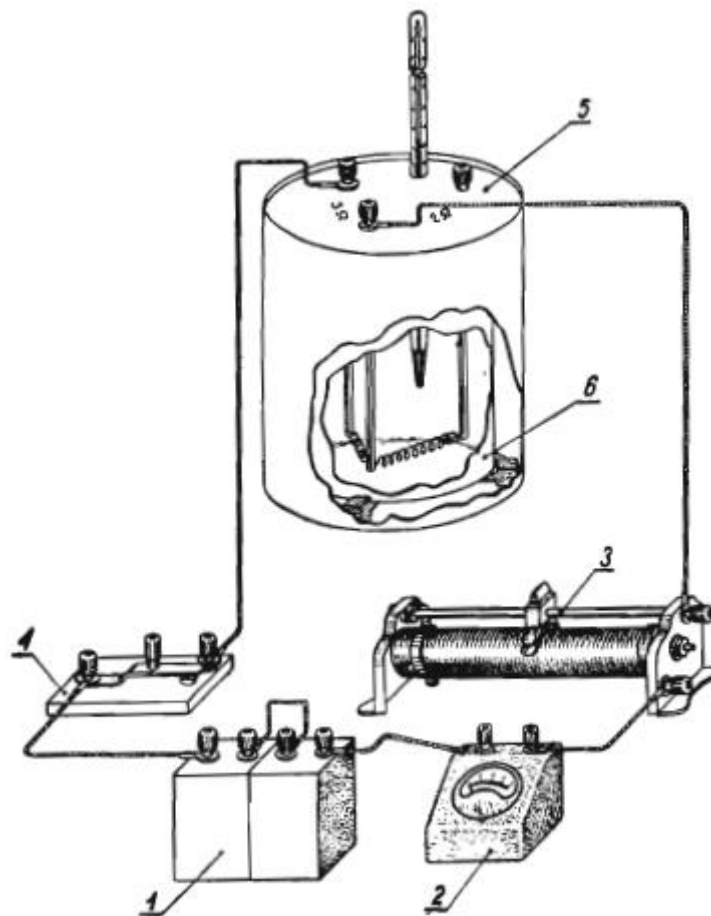
t_3 – temperatura końcowa kalorymetru.

Przekształcając powyższe równanie otrzymujemy wzór na ciepło parowania wody:

$$x = \frac{(m_k c_k + m_w c_w)(t_3 - t_1) - m_p(t_2 - t_3)}{m_p}, \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

5. Przemiana energii elektrycznej w energię wewnętrzną

Sprawdzenie prawa Joule’a-Lenza.



Rys. 3.

Schemat doświadczenia pokazany jest na powyższym rysunku.

Ważymy kalorymetr bez pokrywy i mieszađła, a następnie napełniamy go naftą. Warzemy powtórnie i obliczamy masę nafty. Tworzymy obwód elektryczny z 6 V baterii akumulatorów (1), amperomierza (2) o zakresie wskazań 0÷2 A, opornicy suwakowej (3), wyłącznika- klucza do prądu (4) oraz spirali Joule'a (5) włożonej do kalorymetru. Kluczem do prądu zamykamy obwód i przy pomocy opornicy suwakowej ustalamy natężenie prądu, np.1,5 A, po czym wyłączamy prąd. Wkładamy do kalorymetru termometr przez otwór w bakelitowej oprawie spirali i mieszając nim naftę oczekujemy ustalenia się temperatury. Następnie ponownie włączamy prąd i przy pomocy stopera mierzymy czas jego przepływu. W czasie przepływu prądu należy naftę w kalorymetrze mieszać zanurzonym w niej końcem termometru. Po upływie około 5 minut wyłączamy prąd i mieszając naftę oczekujemy chwili ustalenia się temperatury, którą odczytujemy na termometrze.

Energię uzyskaną na sposób ciepła przez kalorymetr w czasie przepływu prądu przez spiralę Joule'a obliczamy ze wzoru:

$$Q = (m_k c_k + m_n c_n) \cdot (t_2 - t_1),$$

gdzie:

Q – ilość energii uzyskana na sposób ciepła przez kalorymetr w czasie przepływu prądu, J;

m_k – masa kalorymetru, kg;

m_n – masa nafty, kg;

c_k – ciepło właściwe kalorymetru, J/(kg °C);

c_n – ciepło właściwe nafty, J/(kg °C);

t_1 – temperatura początkowa kalorymetru i nafty, °C;

t_2 – temperatura końcowa kalorymetru i nafty, °C;

Powyższy wzór porównujemy ze wzorem wyrażającym prawo Joule'a:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad \text{J},$$

gdzie:

Q – ilość energii wydzielona przez spiralę, J;

I – natężenie prądu elektrycznego w spirali, J;

R – opór spirali, Ω ;

t – czas przepływu prądu, s.

Aby otrzymać bardziej poprawne wyniki, pomiar należy wykonać z możliwie dużą dokładnością. W tym celu należy znać dokładnie opór spirali, wartość natężenia prądu, a ponadto należy uwzględnić ciepło pobrane przez termometr. Doświadczenie to można powtórzyć włączając w obwód elektryczny spirale o różnych oporach.

Wyniki pomiarów uzyskane przy pomocy kalorymetru będą przybliżonymi wartościami wielkości podawanych w tablicach fizycznych, ponieważ w tablicach są podane średnie wartości szeregu pomiarów wykonanych w laboratoriach naukowych.

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego
pod kierunkiem *Tadeusza M. Molendy* na podstawie:

Kalorymetr

Nr katalogowy: V 4 – 4, poprzedni nr kat. F 82

Produkowano:

BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Fabryka Pomocy Naukowych w Poznaniu

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego