



Piotr Janas, Paweł Turkowski, Marek Kasprowicz, Mateusz Suchanek
Zakład Fizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ĆWICZENIE 16

WYZNACZANIE CIEPŁA WŁAŚCIWEGO CIECZY METODĄ ELEKTROKALORYMETRU

Kraków, 2019

ZAKRES WYMAGANYCH WIADOMOŚCI

Praca i moc prądu. Ciepło Joule'a. Bilans cieplny (warunki stosowalności). Pojęcia: ciepło właściwe, ciepło topnienia, ciepło parowania, temperatura, energia wewnętrzna. I zasada termodynamiki.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker -Podstawy fizyki –T.2, rozdz.19
2. S. Przystalski –Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki –Część 3 rozdz.1
3. P.G. Hewitt –Fizyka wokół nas –rozd. 14

**Modyfikacja ćwiczeń z przedmiotu Fizyka w ramach projektu
pn. „Innowacyjny program strategicznego rozwoju Uczelni”
o numerze POWR.03.05.00-00-Z020/18**



CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1. Wstęp

Kalorymetria jest podstawową techniką badawczą w termodynamice. Termodynamika jest działem fizyki, gdzie zjawiska fizyczne opisywane są w obrębie układu termodynamicznego.

Układ termodynamiczny stanowi obszar w którym obiekty mogą wymieniać się energią i materią. Parametry układu termodynamicznego, opisujące jego stan, to wielkości fizyczne, takie jak: temperatura (T), objętość (V), ciśnienie (p). Układ termodynamiczny jest otoczony granicą. Przykładem układu termodynamicznego jest pojemnik z gazem doskonałym¹. Ze względu na właściwości granicy układu wyróżniamy układ zamknięty oraz układ izolowany. Układ izolowany nie wymienia z otoczeniem, ani materii, ani energii. Układ zamknięty nie wymienia z otoczeniem materii, a jedynie energię (np. układ zamknięty adiabatycznie - nie wymienia z otoczeniem materii oraz energii w postaci ciepła, lecz może wymieniać energię w postaci pracy). Układ w stanie równowagi termodynamicznej to układu, którego parametry nie zależą od czasu (są niezmiennie w czasie).

Proces termodynamiczny to każda zmiana układu, przy której zmienia się wartość co najmniej jednego z parametrów układu. Wyróżniamy następujące podstawowe przemiany termodynamiczne:

- przemiana izotermiczna ($T = \text{const}^2$),
- przemiana izobaryczna ($p = \text{const}$),
- przemiana izochoryczna ($V = \text{const}$),
- przemiana adiabatyczna ($dQ = 0$; $pV^k = \text{const}$, gdzie $k = c_p/c_v$)³.

¹ gaz doskonały - matematyczny model gazu, który w przybliżony sposób oddaje zachowanie rzeczywistych gazów.

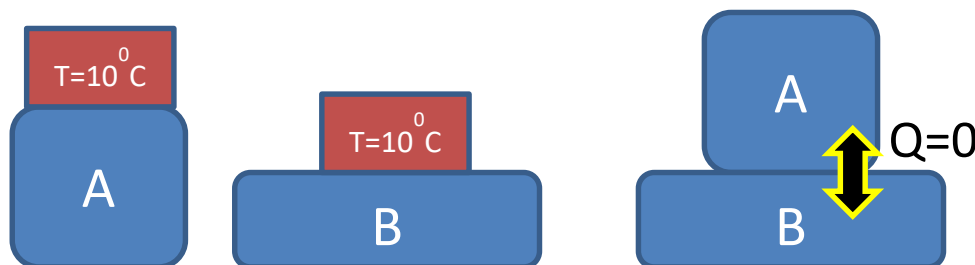
² const - łac.: constant - stały, niezmienny

³ Q - ciepło, dQ - zmiana ciepła, c_p - molowe ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, c_v - ... stałej objętości

2. Temperatura, ciepło i ciepło właściwe

Ciepło Q jest energią przekazaną między układem a jego otoczeniem na skutek istniejącej między nimi różnicy temperatur ΔT . Temperatura T jest miarą średniej energii kinetycznej ruchu i drgań atomów, cząsteczek i innych mikroskopowych ciał tworzących dany układ.

Zerowa zasada termodynamiki dotyczy składników (ciał) stykających się ze sobą. Jeżeli ciała A i B są w stanie równowagi termodynamicznej z trzecim ciałem (termometrem), to są one także w stanie równowagi termodynamicznej ze sobą nawzajem.



Rysunek 1. Zerowa zasada termodynamiki. Definicja termometru.

Ciała materialne posiadają masę, jeśli są jednorodne to pobierają ilość ciepła proporcjonalną do swojej masy i przyrostu temperatury. Co można zapisać: $Q \sim m \cdot \Delta T$.

Jeśli chcemy zastąpić znak proporcjonalności (\sim) znakiem równości musimy wprowadzić współczynnik proporcjonalności (c) nazywany ciepłem właściwym danego materiału:

$$Q = cm\Delta T \quad (1a)$$

Równanie to definiuje ciepło właściwe c jako stosunek ilości przekazanego ciału ciepła Q do masy ciała m i zmiany temperatury ΔT związanej z tym przekazem:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (1b)$$

Z tej definicji można odczytać jednostkę ciepła właściwego $c \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$. Ciepło właściwe jest równe liczbowo ilości przekazanego ciepła (w dżulach) ciału o masie 1 kg przy zmianie jego temperatury o jeden stopień (Kelvina lub Celsjusza).



3. Zasada pomiaru kalorymetrycznego

Głównymi składnikami energii wewnętrznej U są: energia kinetyczna ruchu postępowego i obrotowego cząsteczek ciała, energia ruchu drgającego atomów, energia potencjalna oddziaływania drobin, energia chemiczna związana z możliwością przebudowy ciała, energia stanów elektronowych i energia jądrowa. Do energii wewnętrznej nie zalicza się energii kinetycznej i potencjalnej całości układu lub jego makroskopowych części. Energia wewnętrzna jest funkcją stanu i jej zmiana zależy jedynie od stanu końcowego i początkowego układu a nie od sposobu przejścia pomiędzy nimi. Pierwsza zasada termodynamiki, mówi, że zarówno ciepło Q jak i praca W mogą powodować ten sam skutek, mianowicie zmianę energii wewnętrznej ΔU :

$$\Delta U = Q + W \quad (2)$$

Ciepło pobrane przez układ oraz praca wykonana przez siły zewnętrzne na układzie prowadzą do wzrostu jego energii wewnętrznej, zaś ubytek ciepła oraz praca wykonana przez układ prowadzą do ubytku jego energii wewnętrznej.

W szczególnym przypadku, gdy układ jest izolowany, przez co rozumiemy, że nie wymienia on z otoczeniem masy, ciepła lub pracy ($Q = 0$ i $W = 0$), zgodnie z równaniem (2) jego energia wewnętrzna nie ulega zmianie ($\Delta U = 0$). Układ taki dąży do stanu równowagi termodynamicznej, w którym to stanie temperatura wszystkich jego elementów osiąga jednakową wartość. Wymianę ciepła pomiędzy wszystkimi elementami takiego układu można zbilansować wiedząc, że do chwili osiągnięcia stanu równowagi termodynamicznej suma ciepła oddanego (Q_0) przez elementy układu o wyższej temperaturze musi być równa sumie ciepła pobranego (Q_P) przez elementy o temperaturze niższej (gdyż $\Delta U = 0$):

$$Q_0 = Q_P \quad (3)$$

Zasada ta zwana bilansem cieplnym pozwala określić ilość ciepła jaka zostaje przez jakieś ciało pochłonięta lub oddana jeżeli znane są ciepła właściwe, masy i zmiany temperatur ciał



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



pomocniczych stanowiących z ciałem badanym układ izolowany. Przy zetknięciu tych ciał o różnych temperaturach początkowych następuje przekaz ciepła bez pośrednictwa pracy ($\Delta W = 0$).

Drugim sposobem pomiaru ilości przekazywanego badanemu ciału ciepła jest wykorzystanie zamiany dostarczonej z zewnątrz np. na drodze mechanicznej lub elektrycznej pracy w ciepło. Ilość ciepła Q wydzielonego w spirali grzejnej o oporze R w czasie t przepływu prądu stałego o natężeniu I może zostać obliczona ze wzoru Joule'a-Lenza:

$$Q = I^2 R t = U I t \quad (4)$$

Wielkości: U - (napięcie przyłożone do końców spirali grzejnej o oporze R), I (natężenie prądu), t (czas przepływu prądu) można łatwo zmierzyć. Sposób ten stosowany jest w elektrokalorymetrze.

4. Kalorymetry cieczowe

Urządzenia służące do pomiarów ciepła nazywamy kalorymetrami. W konstrukcji dowolnego typu kalorymetru wyróżnić można podstawowe elementy funkcjonalne: naczynie kalorymetryczne zawierające badaną próbkę, układ precyzyjnego pomiaru temperatury oraz osłonę zapewniającą izolację układu pomiarowego. Naczynie kalorymetryczne, w zależności od rodzaju kalorymetru zawierać może również ciało pomocnicze w postaci cieczy lub ciała stałego o ściśle określonych parametrach termodynamicznych oraz element, np. w postaci spirali grzejnej, umożliwiający wydzielanie wewnątrz układu kalorymetrycznego kontrolowanej ilości ciepła podczas wykonywania pracy. Najprostsze w konstrukcji i zastosowaniu laboratoryjnym są kalorymetry cieczowe.

Kalorymetr cieczowy składa się z naczynia kalorymetrycznego, do którego wprowadza się termometr i mieszadło. Naczynie kalorymetryczne stoi na źle przewodzącym krążku lub krzyżaku izolującym wewnątrz izolującej osłony. Naczynie i wewnątrz osłony jest polerowane i wybluszczane w celu zmniejszenia wymiany ciepła z otoczeniem przez promieniowanie. Naczynie kalorymetryczne wypełnione jest cieczą, do której wprowadza się ciało (najczęściej ciało stałe) o znanej temperaturze, różnej od temperatury cieczy i naczynia. Ilość ciepła

wymienionego pomiędzy wprowadzonym ciałem a układem złożonym z cieczy, naczynia, termometru i mieszadła można wyrazić następująco:

$$Q = \Delta T \sum_{i=1}^4 m_i c_i, \quad (5a)$$

gdzie m_i , c_i oznaczają masy i ciepła właściwe: kalorymetru, cieczy, termometru i mieszadła a ΔT jest zmianą temperatury układu po wprowadzeniu ciała. Zgodnie z zasadą bilansu cieplnego ciepło to można wyrazić również jako:

$$Q = mc\Delta T' \quad (5b)$$

gdzie m , c - oznaczają odpowiednio masę i ciepło właściwe ciała wprowadzonego do kalorymetru a $\Delta T'$ oznacza zmianę temperatury tego ciała. Porównując prawą stronę równania (5a) z prawą stroną równania (5b) można wyznaczyć ciepło właściwe c wprowadzonego ciała.

W kalorymtrze cieczowym można badać zarówno ciecze jak i ciała stałe, odwracając sytuację opisaną powyżej. Gdy badane ciało stanowi wypełniającą naczynie kalorymetryczne ciecz, wprowadzone do kalorymetru ciało stałe jest ciałem pomocniczym o znanej masie i ciepłe właściwym.

Występujące w równaniach bilansu cieplnego iloczyny masy i ciepła właściwego ($c \cdot m$) nazywane są pojemnościami cieplnymi. Sumę pojemności cieplnych: naczynia kalorymetrycznego, termometru i mieszadła oznaczymy przez WL :

$$WL = c_k \cdot m_k + c_t \cdot m_t + c_m \cdot m_m \left[\frac{J}{^\circ C} \right] \quad (6)$$

i nazwiemy równoważnikiem cieplnym kalorymetru. Wielkość WL można wyznaczyć doświadczalnie lub oszacować jej wartość posługując się tablicowymi wartościami ciepła właściwego odpowiednich substancji. W realizowanym doświadczeniu wielkość WL nie jest szacowana lecz jest mierzona łącznie z wielkością strat cieplnych wynikających z nieidealności osłony kalorymetru i oznaczana W_{eff} (efektywny równoważnik cieplny).



5. Izolacja układu pomiarowego

Sporządzając bilans cieplny kalorymetrycznego układu pomiarowego zakłada się zazwyczaj, że układ ten jest izolowany tzn. nie wymienia ciepła z otoczeniem mimo istnienia różnicy temperatur.

W praktyce zadanie izolacji termicznej układu spełnia osłona lub zespół osłon otaczających naczynie kalorymetryczne. Stosowane są dwa typy osłon. Pierwszy typ stanowią osłony adiabatyczne, których zadaniem jest maksymalne ograniczenie przekazu ciepła pomiędzy układem pomiarowym a otoczeniem. Osłony adiabatyczne minimalizują wielkość błędu systematycznego związanego z tym przekazem, kosztem znacznej nieraz, komplikacji rozwiązania konstrukcyjnego. Drugi typ osłon, stosowany zwłaszcza w prostszych i mniej dokładnych kalorymetrach, stanowią osłony izotermiczne o stałej w trakcie całego pomiaru temperaturze. Wprawdzie ilość przekazywanego pomiędzy naczyniem kalorymetrycznym a osłoną ciepła jest w takich kalorymetrach zazwyczaj znaczna, ale można ją obliczyć dość dokładnie i w postaci poprawki uwzględnić w bilansie cieplnym.

6. Elektrokalorymetr

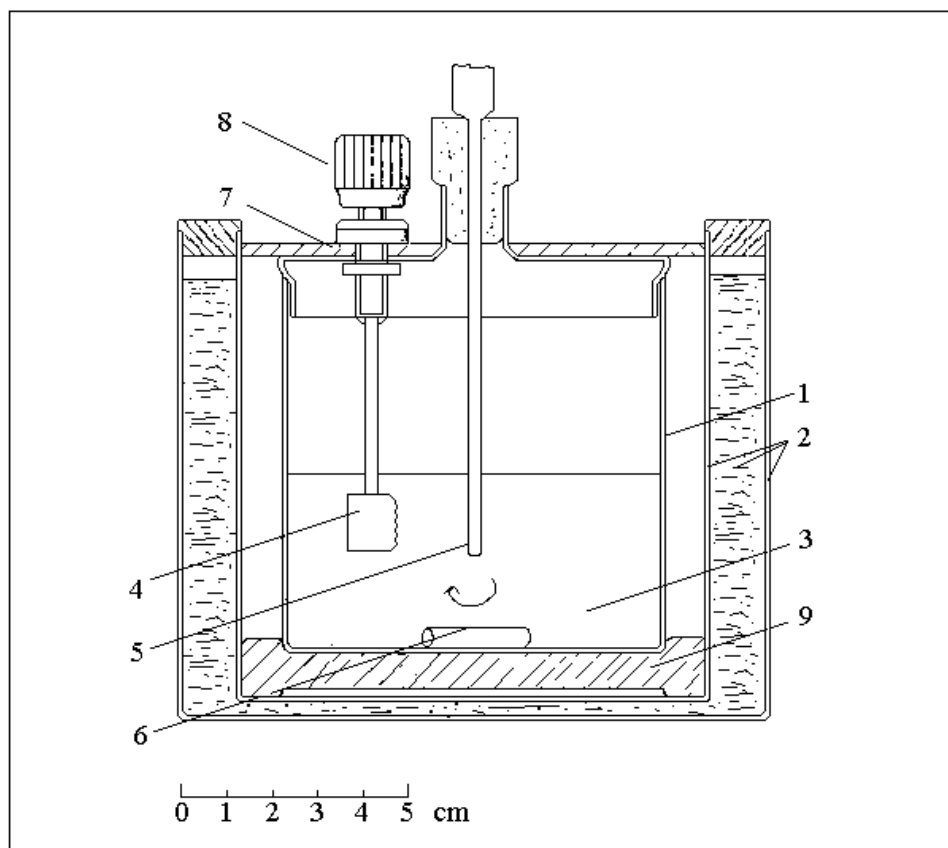
Szczególnym typem kalorymetru cieczowego przydatnym do pomiaru ciepła właściwego cieczy jest elektrokalorymetr (Rys.2). W przyrządzie tym bilans cieplny, czyli ilość ciepła pobranego przez ciało badane (ciecz) i ciała pomocnicze jest równa pracy prądu elektrycznego przepływającego przez grzałkę umieszczoną wewnątrz naczynia kalorymetrycznego. Oznaczając przez U napięcie przyłożone do grzałki, przez I natężenie prądu, a przez t czas jego przepływu możemy napisać:

$$UIt = (mc + W_L)\Delta T \quad (7)$$

gdzie m - masa cieczy, c - jej ciepło właściwe, ΔT - zmiana temperatury, równoważnik W_L jest pojemnością cieplną naczynia kalorymetrycznego powiększoną o pojemności o nieznanych lecz



niewielkich wartościach opisujące pobór ciepła przez grzałkę, mieszadełko, termometr i inne części układu pomiarowego pozostające w kontakcie cieplnym z cieczą.



Rys. 2. Elektrokolorometr. 1 - naczynie kalorymetryczne, 2 - osłona izotermiczna, 3 - ciecz badana, 4 - grzałka, 5 - sonda termometru cyfrowego, 6 - mieszadełko, 7 - krążek izolujący, 8 - zacisk laboratoryjny, 9 - drewniana podstawa.

6.1 Elektrokolorometryczny pomiaru ciepła właściwego cieczy

Uwzględnienie wymiany cieplnej pomiędzy naczyniem kalorymetrycznym a osłoną izotermiczną prowadzi do pewnej modyfikacji równania bilansu cieplnego (7). Przyłożone do grzałki napięcie U wywołuje przepływ prądu I i zmianę temperatury cieczy $T(t)$ jedynie w przybliżeniu proporcjonalną do czasu t przepływu prądu:

$$UI t = (mc + W_L)[T(t) - T_p] + Q(t) \quad (8)$$

gdzie $Q(t)$ oznacza ciepło oddane do osłony na skutek niedokładnej izolacji cieplnej naczynia a T_p temperaturę początkową cieczy. Zakładamy, że ciepło właściwe c w przedziale temperatur ($\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C} - 30 \text{ }^\circ\text{C}$) jest stałe i korzystając z (8) otrzymujemy:

$$W_L + \frac{\dot{Q}}{\alpha} = \frac{UI}{\alpha} - mc \quad (9)$$

gdzie α jest stałą prędkością przyrostu temperatury ($\alpha = \Delta T / \Delta t$) uzyskaną podczas przepływu prądu o mocy UI przez grzałkę, \dot{Q} oznacza szybkość strat ciepłych ($\dot{Q} = \Delta Q / \Delta t$). Prędkość wymiany ciepła \dot{Q} jest funkcją różnicy temperatury osłony i temperatury naczynia kalometrycznego. Zależy ona także od wilgotności i stopnia mieszania powietrza, które modyfikują przewodnictwo cieplne warstwy izolacyjnej. Jeśli jednak temperatura osłony nie zmienia się podczas pomiarów to czynnik $(W_L + \dot{Q} / \alpha)$ w równaniu (9) można zastąpić przez tzw. równoważnik efektywny W_{eff} :

$$W_{eff} = \frac{UI}{\alpha} - mc \quad (10)$$

6.2 Metodyka pomiaru elektrokalorymetrem

Korzystając z bilansu cieplnego opisanego równaniem (10) chcemy wyznaczyć nieznaną wartość ciepła właściwego c , pozostałe zmienne są znane z wyjątkiem W_{eff} . Zatem, problem znalezienia dwóch niewiadomych sprowadza się do zastosowania układu 2 równań:

$$W_{eff_1} = \frac{U_1 I_1}{\alpha_1} - m_w c_w \quad (11a)$$

$$W_{eff_2} = \frac{U_2 I_2}{\alpha_2} - m_2 c \quad (11b)$$

gdzie, zmienne w powyższych równaniach pochodzą z dwóch następujących po sobie eksperymentach. Z pierwszego równania (11a) znając m_w – masa wody destylowanej, c_w – ciepło właściwe wody, U_1, I_1, α_1 – odpowiednio napięcie, natężenie prądu, prędkość przyrostu temperatury w trakcie ogrzewania wody, otrzymujemy równoważnik efektywny w trakcie ogrzewania wody $W_{eff_1} = W_L + \frac{\dot{Q}_1}{\alpha_1}$, gdzie \dot{Q}_1 - szybkość strat ciepłych w trakcie ogrzewania wody. W drugim równaniu (11b) mamy: m_2 – masa cieczy badanej, c – szukane ciepło właściwe cieczy badanej, U_2, I_2, α_2 – odpowiednio napięcie, natężenie prądu, prędkość przyrostu temperatury w trakcie ogrzewania cieczy badanej, równoważnik efektywny w trakcie ogrzewania cieczy badanej $W_{eff_2} = W_L + \frac{\dot{Q}_2}{\alpha_2}$, gdzie \dot{Q}_2 - szybkość strat ciepłych w trakcie ogrzewania cieczy badanej. Z układu równań (11) można wyznaczyć ciepło właściwe cieczy badanej c przy założeniu, że równoważnik efektywny jest stały w czasie i nie zależy od rodzaju cieczy ogrzewanej, czyli $W_{eff_1} = W_{eff_2}$. Aby założenie było prawdziwe należy moce grzejne w obu pomiarach dobrać tak, by $\alpha_1 \approx \alpha_2$, a pomiary przeprowadzić w tym samym zakresie temperatur. Dobrać tak czas trwania pomiaru aby temperatura osłony nie zmieniła się pomiędzy oraz w trakcie pomiarów, z drugiej strony zadbać, aby układ był nagrzewany równomiernie i nie zależne od swojej bezwładności grzewczej, wtedy wzór (11b) przyjmuje postać:

$$c = \frac{1}{m_2} \left[\frac{U_2 I_2}{\alpha_2} - W_{eff} \right], \quad (12)$$

gdzie: $W_{eff} = W_{eff_1} = W_{eff_2}$.

Podsumowując, pomiary przebiegają następująco. Po zmontowaniu obwodu i wyznaczeniu masy suchego naczynia kalometrycznego, bez pokrywy, można przystąpić do wyznaczenia wielkości W_{eff} . Kalorymetr napełnia się wodą o masie 0.2 kg. Moc grzejna zostaje dobrana tak, by temperatura wody zmieniała się kilkakrotnie szybciej (w tempie około 0.5 °C/min) w porównaniu z szybkością stygnięcia równą około 0.1 °C/min. Szybsze ogrzewanie cieczy powodowałoby wyraźną niejednorodność rozkładu temperatur wewnątrz naczynia



kalorymetrycznego. Wyrównaniu temperatur w różnych częściach kalorymetru służy mieszanina magnetyczna. Wskazania termometru cyfrowego notowane są przy pomocy komputera. Akwizycja danych trwa około 10 minut i przerywana jest automatycznie po przekroczeniu temperatury 30°C .

Wyznaczenie ciepła właściwego badanej cieczy następuje po powtórzeniu czynności opisanych powyżej z kalorymetrem napełnionym badaną cieczą o tej samej masie $m_2 = 0.2\text{ kg}$. Cieczą jest alkohol etylowy $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ skażony (denaturat). Moc grzejną U_2I_2 dobiera się odpowiednio, tak by uzyskać prędkość ogrzewania α_2 zbliżoną do α_1 .

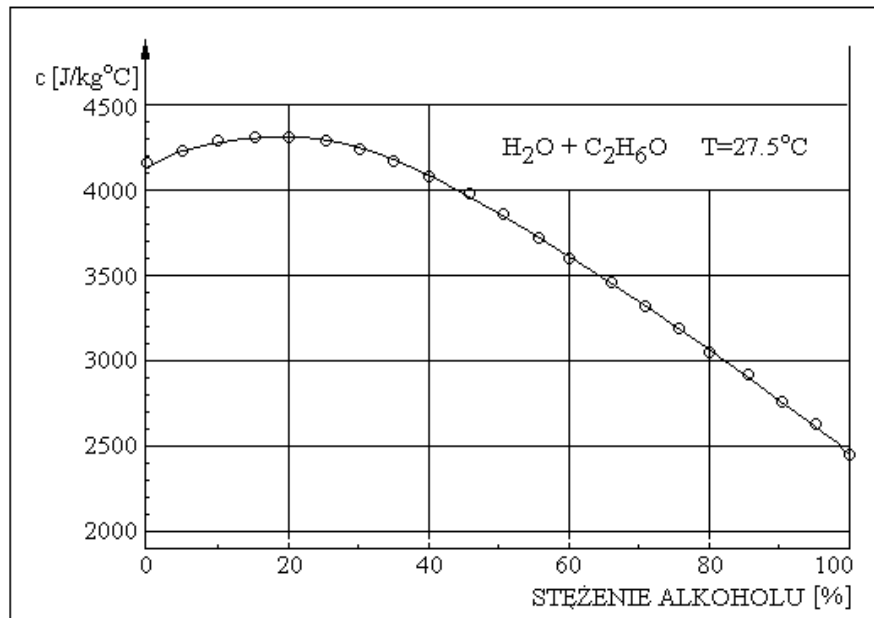
Opracowanie wyników, którymi są odczytywane z ekranu komputera współczynniki kierunkowe α_1 , α_2 prostych, oraz wcześniej zanotowane odczyty z przyrządów, polega na obliczeniu zgodnie ze wzorem (11a) wartości $W_{\text{eff}} = W_{\text{eff}_1}$, oraz zgodnie ze wzorem (12) wartości ciepła właściwego badanej cieczy c .

7. Ciepło właściwe wody i etanolu

Wartość ciepła właściwego zależy od rodzaju substancji. Porównanie ciepła właściwego alkoholu etylowego skażonego (denaturatu) badanego w tym ćwiczeniu z wartością tablicową dla etanolu $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ wymaga zaznajomienia się z dwoma następującymi faktami doświadczalnymi.

Ciepło właściwe niektórych cieczy słabo zależy od doboru przedziału temperatur, w których wykonywany jest pomiar. Dla przykładu ciepło właściwe wody $c_w = 4.181 \div 4.177 \cdot 10^3\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ w przedziale temperatur $20^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ [Jeżewski M., Kalisz J., Tablice wielkości fizycznych oraz pomocnicze tablice matematyczne, PWN, Warszawa 1957]. Alkohol etylowy wykazuje silną zależność ciepła właściwego od temperatury. W przedziale temperatur od 20°C do 40°C jego ciepło właściwe rośnie o około 6%. Używany w ćwiczeniu ze względu na niski koszt alkohol etylowy skażony zawiera pewną ilość wody. To modyfikuje wartość ciepła właściwego (o dalsze 25% dla stężenia alkoholu równego 80%). Porównanie wyniku otrzymanego w doświadczeniu z wartością tablicową ciepła właściwego sprawia więc trudność, ponieważ jest ona podawana najczęściej dla temperatury pokojowej i dla bezwodnego $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Zatem w celu porównania,

należy skorzystać z przedstawionego na Rys. 3. wykresu zależności ciepła właściwego wodnego roztworu C_2H_6O w funkcji stężenia procentowego alkoholu. Wykres odpowiada $T=27.5^\circ C$.



Rys. 3. Ciepło właściwe wodnego roztworu alkoholu etylowego C_2H_6O w zależności od zawartości alkoholu.

16 WYZNACZANIE CIEPŁA WŁAŚCIWEGO CIECZY METODĄ ELEKTROKALORYMETRU

Celem ćwiczenia jest pomiar ciepła właściwego badanej cieczy przy pomocy elektrokalorymetru. Cieczą badaną jest wodny roztwór alkoholu etylowego.

Aparatura: izolowany kalorymetr wyposażony w oporowy element grzewczy (grzałka) i cyfrowy czujnik temperatury (DS18B20), regulowany zasilacz prądowy (PowerLab DC POWER SUPPLY 305D), system akwizycji danych (komputer Raspberry PI 3 B+).

ZASADA POMIARU

Pomiar składa się z dwóch zasadniczych części: wyznaczenia pomocniczej wielkości W_{eff} i wyznaczenia ciepła właściwego badanej cieczy.

Pomocnicza wielkość W_{eff} jest sumą pojemności cieplnej kalorymetru i składnika określającego szybkość wymiany ciepła pomiędzy naczyniem kalorymetrycznym a otoczeniem. Pomiar W_{eff} przeprowadzamy ogrzewając w elektrokalorymetrze ciecz o dokładnie znanej wartości ciepła właściwego. Jako ciecz kalibracyjną zastosujemy wodę destylowaną, dla której w przedziale temperatur (20 ÷ 40 [°C]) ciepło właściwe jest niemal stałe. Korzystając z zasady bilansu cieplnego W_{eff} można wyrazić następująco:

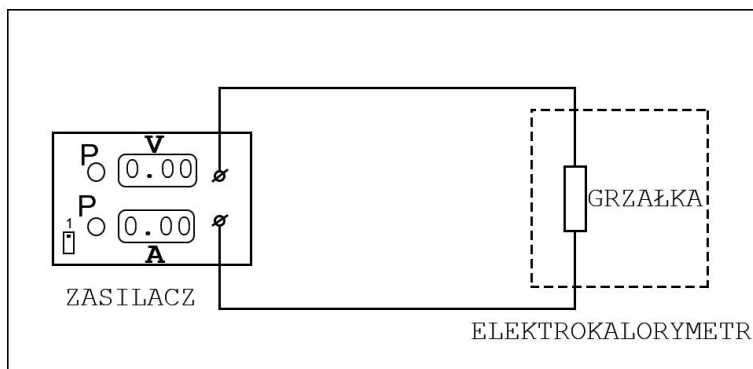
$$W_{eff} = \frac{U_1 I_1}{\alpha_1} - m_w c_w, \quad (1)$$

gdzie m_w , c_w oznaczają odpowiednio masę i ciepło właściwe wody, α_1 jest prędkością przyrostu temperatury ($\alpha_1 = \Delta T_1 / \Delta t_1$) uzyskaną podczas przepływu prądu o mocy $U_1 \cdot I_1$ przez grzałkę.

W celu wyznaczenia ciepła właściwego c badanej cieczy o masie m_2 wprowadzamy ją do elektrokalorymetru i ponownie mierzymy szybkość przyrostu temperatury ($\alpha_2 = \Delta T_2 / \Delta t_2$). Ciepło właściwe wyznaczamy z równania:


$$c = \frac{1}{m_2} \left[\frac{U_2 I_2}{\alpha_2} - W_{eff} \right]. \quad (2)$$

WYKONANIE ĆWICZENIA



Rys. 4. Schemat ideowy elektrokolorimetru: P - pokręta regulacji napięcia i natężenia prądu zasilającego, V i A - odczyty napięcia i natężenia prądu zasilającego.

I. Wyznaczenie wielkości pomocniczej W_{eff}

1. Obwód elektryczny przedstawiony jest na Rys.4. Amperomierz i woltomierz wmontowany jest w obudowę zasilacza.
2. Zdjąć pokrywę elektrokolorimetru i położyć ją delikatnie na stole. Wytrzeć wnętrze naczynia kalorymetrycznego szmatką i wyznaczyć jego masę m_o bez pokrywy.
3. Napełnić kalorymetr wodą tak, by jej masa m_w wynosiła **0.2 kg**. Do dozowania małych porcji cieczy należy posłużyć się pipetą.
4. Włożyć do kalorymetru mieszadło (magnes w białej otulinie teflonowej). Po sprawdzeniu obwodu przez prowadzącego zajęcia włączyć mieszadło magnetyczne i sprawdzić czy mieszadło w kalorymetrze obraca się. Założyć pokrywę elektrokolorimetru.
5. Włączyć zasilacz, ustawić przy pomocy pokręta "current - fine" natężenie prądu $I_1 = 1.35 \text{ A}$, odczytać napięcie U_1 dla ustalonego natężenia.
6. Za pomocą myszy na pulpicie komputera uruchomić program **ćw 16.py** (dwukrotne kliknięcie). Aby uruchomić skrypt pomiarowy klikamy myszką na ikonkę:  (play). Na ekranie pojawią się dwa okna, górne pomiarowe i dolne obliczeniowe, gdzie po osiągnięciu przez układ $30 \text{ }^\circ\text{C}$ zostanie przeprowadzone dopasowanie prostej i analiza szybkości jej narastania.
7. Zgodnie z komunikatem na ekranie komputera wyłączyć zasilacz prądu stałego grzałki, oraz mieszadło magnetyczne.
8. Zanotować wynik: współczynnik kierunkowy prostej α_1 .

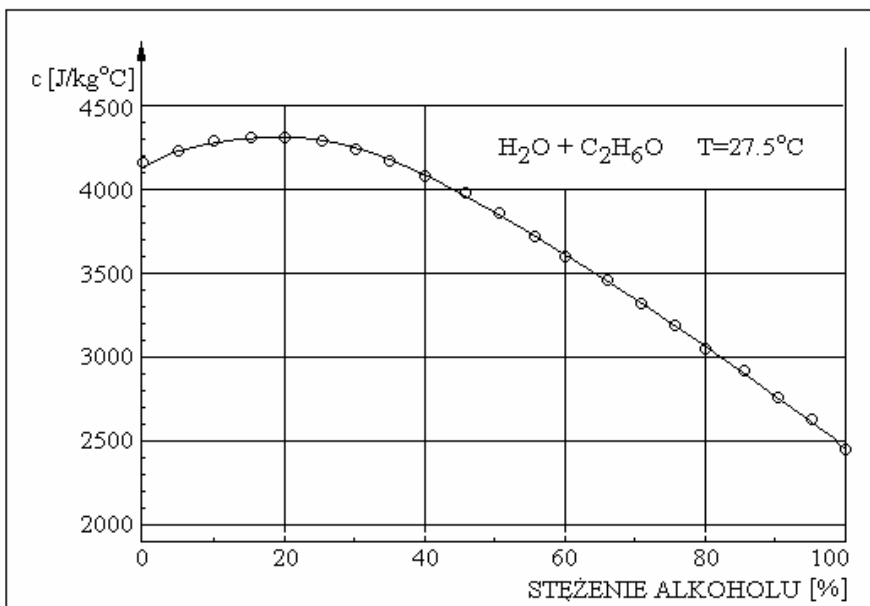
II. Wyznaczenie ciepła właściwego alkoholu etylowego

9. Powtórzyć czynności opisane w punktach powyżej ze zmianami:
 - a) wyłączyć wodę, napełnić kalorymetr alkoholem etylowym odważając $m_2 = 0.2 \text{ kg}$ badanej cieczy. Natężenie prądu (I_2) ustalić na poziomie **1.17 A**. Odczytać napięcie prądu U_2 dla ustalonego natężenia. Spisać wynik α_2 .
10. Po zakończeniu pomiaru wyłączyć zasilacz grzałki, oraz mieszadło magnetyczne. Alkohol etylowy przelać z naczynia kalorymetrycznego do zlewki, a następnie korzystając z lejka przelać do butli.



OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Obliczyć zgodnie ze wzorem (1) wartość W_{eff} wykorzystując zmierzone dla wody wielkości m_w , U_1 i I_1 oraz wyliczoną komputerowo z pomiaru zależności $T(t)$ prędkość przyrostu temperatury α_1 . Przyjąć $c_w = 4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.
2. Obliczyć zgodnie z równaniem (2) ciepło właściwe badanej cieczy. W obliczeniach wykorzystać wartości m_2 , U_2 , I_2 , α_2 oraz W_{eff} .
3. Porównać otrzymaną wartość ciepła właściwego badanej cieczy z wartością tablicową (patrz Rys. 5).



Rys. 5. Ciepło właściwe wodnego roztworu alkoholu etylowego $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ w zależności od zawartości alkoholu.