

Badanie przewodnictwa cieplnego metali

Wymagania do ćwiczenia

1. Przewodnictwo cieplne.
2. Dyfuzja.
3. Gradient temperatury.
4. Transport ciepła.
5. Ciepło właściwe.

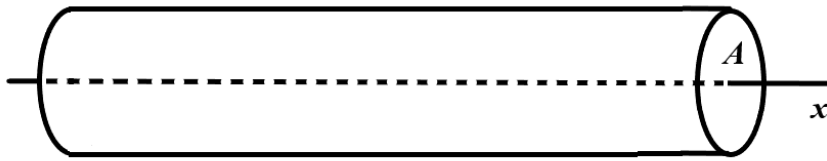
Literatura

1. Fizyka dla szkół wyższych. Tom 2. OpenStax. Część 1: Termodynamika. Rozdział 1: Temperatura i ciepło.
2. Savel'ev, Wykłady z fizyki. Tom 1. Mechanika. Fizyka cząsteczkowa. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN 2000, str. 309-310, 414-416.
3. K. Chłędowska, A. Bąk, Elementy termodynamiki, elektromagnetyzmu, optyki i fizyki jądrowej, Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2013, str. 6-12 i 43-48.

WPROWADZENIE DO TEMATYKI ĆWICZENIA

W doświadczeniu należy wyznaczyć współczynnik przewodności cieplnej miedzi i aluminium przy stałym gradiencie temperatury. Przepływ ciepła określić na podstawie kalorymetrycznego pomiaru współczynnika przewodności cieplnej badanych prętów.

1. Przewodnictwo cieplne obserwuje się w danym ciele, w przypadku istnienia różnicy temperatur. W tym ćwiczeniu bada się gradient temperatury występujący w przybliżeniu w jednowymiarowym obiekcie – metalowym pręcie.



Rys. 1. Pręt metalowy. A – powierzchnia przekroju pręta, x – oś pręta.

Ilość ciepła dQ transportowanego wzdłuż pręta w czasie dt zależy od A - powierzchni przekroju poprzecznego pręta oraz od gradientu temperatury $\partial T / \partial x$ wzdłuż osi pręta i jest opisywana przez zależność:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

λ – współczynnik przewodności cieplnej danego materiału (stała materiałowa w pewnym zakresie temperatur).

Rozkład temperatury w ciele jest funkcją położenia i czasu zgodnie z równaniem przewodnictwa cieplnego:

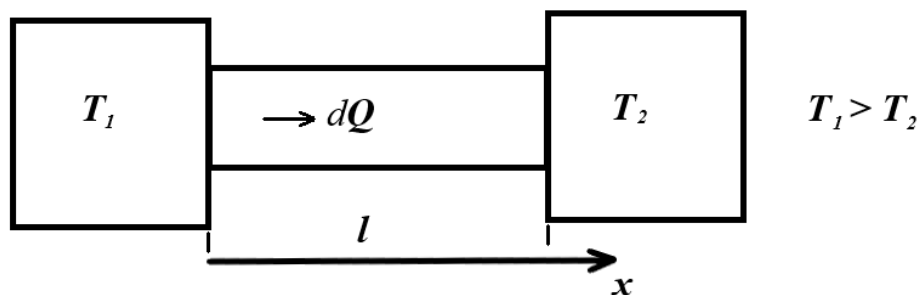
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

gdzie ρ jest gęstością ciała a c – jego pojemnością cieplną właściwą.

Po upływie pewnego czasu zostaje osiągnięty stan równowagi

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

gdy oba końce pręta o długości l osiągną odpowiednio temperatury T_1 i T_2 równe temperaturze danego zbiornika ciepła (Rys. 2.).



Rys. 2. Schemat przepływu ciepła dQ w pręcie o długości l i temperaturach końców odpowiednio T_1 i T_2 .

Po podstawieniu równania (3) do równania (2) uzyskuje się:

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{l} \cdot x + T_1 \quad (4)$$

Wpływ ciepła z otoczenia można wyznaczyć na podstawie wzrostu temperatury zimnej wody w zbiorniku kalorymetru.

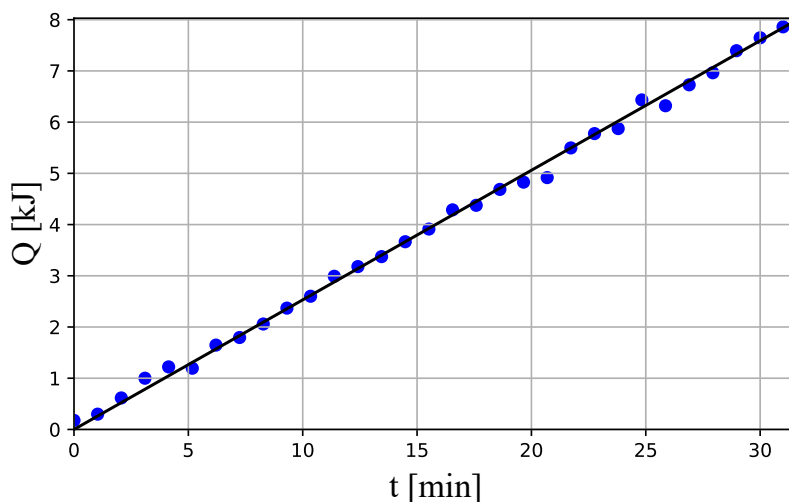
$$\Delta Q_S = (c_W \cdot m_W + C) \cdot \Delta T_S \quad (5)$$

gdzie $\Delta T_S = T - T_0$,

T_0 – temperatura wody w kalorymetrze w chwili początkowej $t = 0$ s,

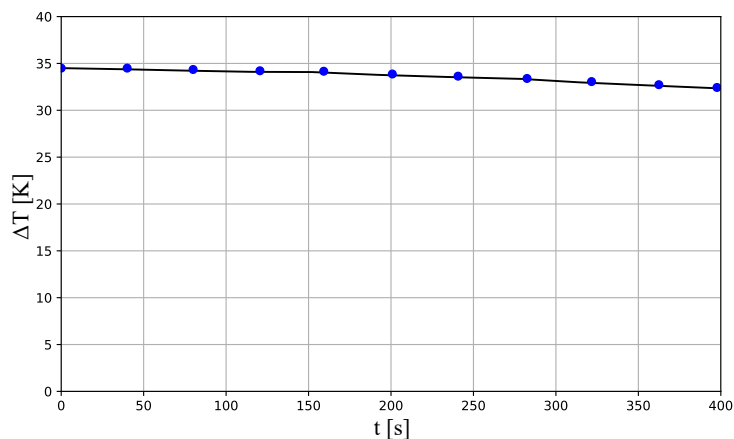
C – pojemność cieplna kalorymetru (w tym doświadczeniu $C \approx 75$ J/K).

Ciepło dostarczone do dolnego kalorymetru można wyznaczyć z równania (5).



Rys. 3. Ciepło pochłonięte przez kalorymetr Q_S w czasie t .

Na wykresie przedstawiającym różnice temperatur w czasie można zauważyć, że ΔT jest niemal stała (Rys. 4).



Rys. 4. Zmiana różnicy temperatur ΔT w czasie t - pręt aluminiowy.

Można więc uznać, że równanie (3) jest spełnione.

Aby wyznaczyć ciepło transportowane przez metalowy pręt zgodnie z równaniem (1) należy uwzględnić wpływ otoczenia:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_T}{dt} - \frac{dQ_S}{dt} \quad (6)$$

gdzie

Q – ciepło metalowego pręta,

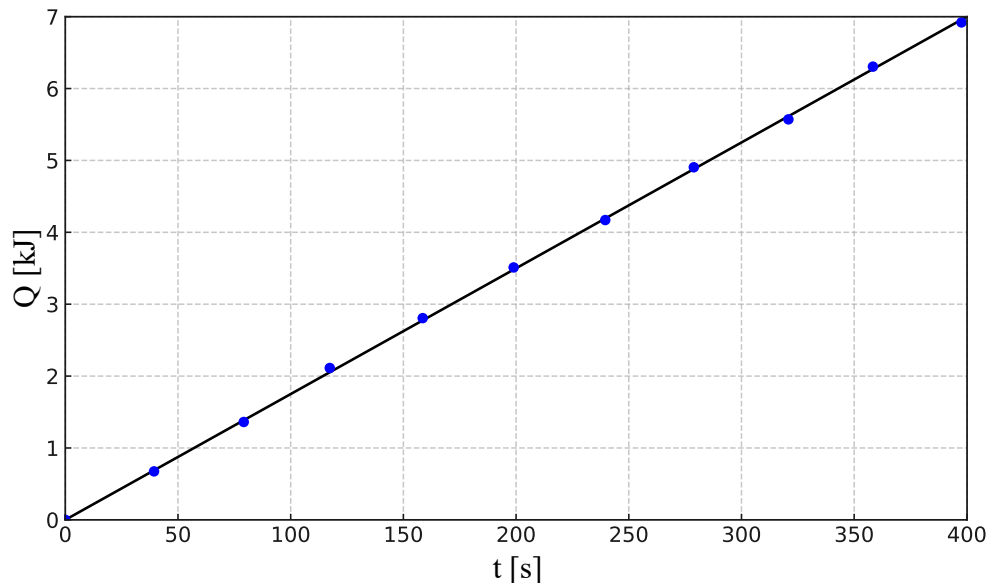
Q_T – ciepło całkowite (Total),

Q_S – ciepło z otoczenia (Surround).

Wartość $\frac{dQ_S}{dt}$ dla ciepła z otoczenia wyznacza się z nachylenia prostej z Rys. 3 (współczynnik kierunkowy prostej $Q_S = f(t)$). Wartość $\frac{dQ}{dt}$ dla całego układu należy wyznaczyć z nachylenia prostej z Rys. 5 (współczynnik kierunkowy prostej $Q = f(t)$ aluminium).

Z uwagi na stosunkowo krótki czas pomiaru, można zaniedbać wpływy otoczenia przyjmując, że kalorymetr jest dobrze izolowany.

Wartości temperatur i zmiany ich różnic w badanym metalowym pręcie są wykreślane w funkcji czasu.



Rys. 5. Zależność ciepła Q_{Al} od czasu t dla pręta aluminiowego.

Dla zadanych wartości długości pręta ($\Delta x = 31,5 \text{ cm}$) oraz powierzchni przekroju ($A = 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$) i uśrednieniu temperatury pręta, współczynnik przewodności cieplnej wyznacza się z równania (1).

Po uśrednieniu otrzymano następujące wartości:

$$\lambda_{Al} = 254 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}}.$$

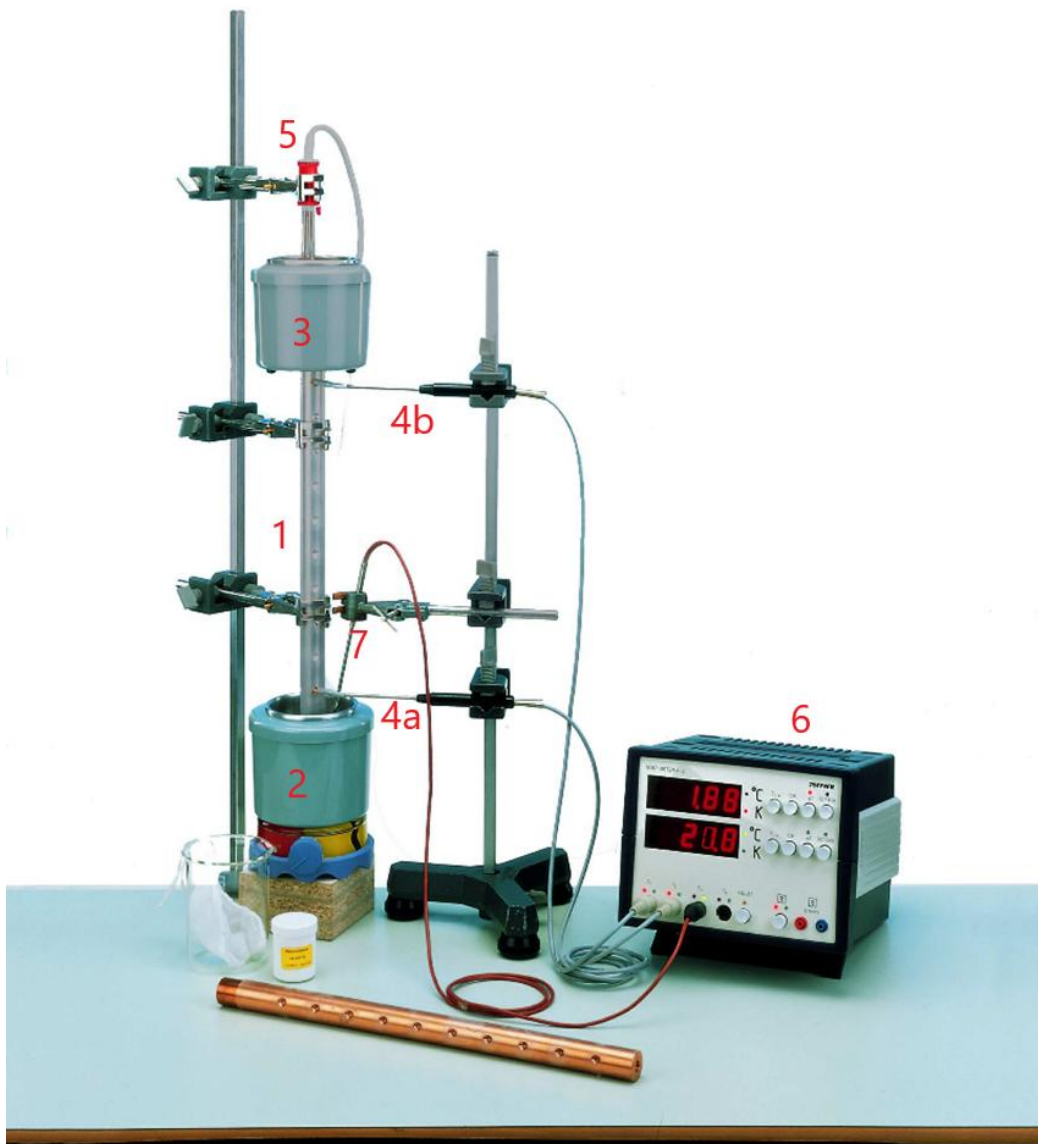
Dane literaturowe:

$$\lambda_{Al} = 220 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}}.$$



Metodologia wykonania pomiarów

Układ pomiarowy:



Rys.6. Zdjęcie układu pomiarowego do wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej.

1. Zaizolowany metalowy pręt (aluminiowy lub miedziany).
2. Dolny kalorymetr.
3. Górny kalorymetr.
4. 4a, 4b – termopary – sondy powierzchniowe.
5. Grzałka.
6. Termometr cyfrowy.
7. Termopara zanurzeniowa do wyznaczania temperatury wody w kalorymetrach.



Metodologia wykonywania pomiarów

1. Zważyć pusty dolny kalorymetr (2) i zanotować jego masę m_K
 - a) Wyznaczanie współczynnika przewodności cieplnej.
 1. Włożyć koniec zaizolowanego metalowego pręta (1) do górnego kalorymetru (3), zapewniając dobry kontakt termiczny przez pokrycie jego końca termoprzewodzącą pastą.
 2. Metalowy pręt przymocować do stojaka w taki sposób, aby móc umieścić pod nim dolny kalorymetr (2).
 3. Położenie dolnego kalorymetru może być zmieniane w pewnym zakresie przez zmianę wysokości podstawy. W czasie trwania pomiarów należy szczególnie uważać, aby przez cały czas dolny koniec pręta był zanurzony w zimnej wodzie.
 4. Końcówki termopary (4a, 4b) muszą być umieszczone jak najbliżej powierzchni pręta.
 5. Najbardziej zewnętrzne wgłębienia w pręcie (w odległości $\Delta x = 31,5 \text{ cm}$) mają być wykorzystane do pomiaru różnicy temperatur w pręcie. Aby poprawić wymianę ciepła pomiędzy prętem a końcówkami termopar należy te końcówki pokryć pastą termoprzewodzącą.
 6. Używając grzałki (5) doprowadzić wodę w górnym kalorymetrze do wrzenia i utrzymywać ją w tym stanie podczas pomiarów.

UWAGA! Grzałka zawsze musi być zanurzona w wodzie. Wodę należy uzupełniać – podczas gotowania znaczna jej część wyparowuje. Jeśli będzie zbyt niski poziom wody – grzałka ulegnie zniszczeniu!
 7. Upewnić się, że górny kalorymetr (3) jest dokładnie wypełniony wodą, aby uniknąć nadmiernego spadku jego temperatury przez niewłaściwe uzupełnianie wyparowanej wody.
 8. Utrzymywać w dolnym kalorymetrze (2) temperaturę 0°C za pomocą lodu w woreczku z gazy.

Pomiar:

Pomiar można rozpocząć po ustaleniu się stałego gradientu temperatur pomiędzy górną i dolną termoparą tzn. kiedy podczas pomiaru ich różnicy nie zachodzą zmiany.

1. Na początku pomiaru należy usunąć lód z dolnego kalorymetru.
2. Zmierzyć i zanotować zmiany różnicy temperatur ΔT oraz temperaturę dolnego kalorymetru T_w przez 5 minut.
3. Zważyć kalorymetr napętniony wodą i wyznaczyć masę wody m_w . Ustawić pomiar temperatury na termometrze cyfrowym (6)
4. Na pierwszym wyświetlaczu jest wyświetlana temperatura dolnej termopary na pręcie T_d .

5. Na drugim wyświetlaczu jest wyświetlana temperatura górnej termopary na pręcie T_g ;
6. Trzeci wyświetlacz wskazuje temperaturę trzeciej sondy zanurzeniowej (7) T_w (lub różnicę temperatur pomiędzy górną i dolną termoparą ΔT w zależności od wybranego trybu pracy).
7. Na podstawie uzyskanych pomiarów należy wyznaczyć współczynnik przewodności cieplnej λ badanych prętów.



Tabela pomiarowa 1

Lp.	m_K [kg]	$m_K + m_W$ [kg]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_g [$^{\circ}\text{C}$]	t [s]	T_w [$^{\circ}\text{C}$]	$\Delta T = T_g - T_d$ [K]
1.							
2.							
3.							



Obliczenia

- a) Wyznaczanie współczynnika przewodności cieplnej.
 1. Wykorzystując dane z Tabeli 2 oraz zależność (6), metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć wartość $\frac{dQ}{dt}$.
 2. Ze wzoru (1) wyznaczyć λ – współczynnik przewodności cieplnej.

$$\lambda = - \frac{\frac{\partial Q}{\partial t}}{A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)} \quad (7)$$

3. Wszystkie wyniki przedstawić we wnioskach.



Do wykonania dodatkowo

- b) Wyznaczenie wpływu otoczenia na dolny kalorymetr (opcjonalne – wybór prowadzącego).
1. Zważyć kalorymetr w temperaturze pokojowej i zapisać wynik pomiaru m_k
 2. Określić wpływ ciepła otoczenia na zmianę temperatury zimnej wody przez pomiar temperatury wody w czasie $t = 30 \text{ min}$ ($T_0 = 0^\circ\text{C}$ bez kawałków lodu). Zważyć kalorymetr wraz z wodą ($m_k + m_w$) i wyznaczyć masę wody m_w . Z równania (5) wyznaczyć $Q_s[W]$.



Tabela pomiarowa 2

Lp.	$m_k[\text{kg}]$	$m_k + m_w[\text{kg}]$	$t[\text{s}]$	$T_0[^\circ\text{C}]$	$T_w[^\circ\text{C}]$	$\Delta T_s = T_w - T_0$	$Q_s[W]$
1.			0		T_0	0	0
2.							

- b) Wyznaczanie wpływu środowiska na dolny kalorymetr.
- Na podstawie wyników z Tabeli 1 oraz przy wykorzystaniu równania (5) metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć $\frac{dQ_s}{dt}$ – współczynnik kierunkowy prostej:

$$Q_s = f(t).$$