

C7. Wyznaczanie współczynnika przewodnictwa cieplnego

Celem ćwiczenia jest poznanie mechanizmów transportu energii cieplnej, w szczególności zjawiska przewodnictwa cieplnego wraz z prawem Fouriera oraz doświadczalne wyznaczenie współczynnika przewodnictwa cieplnego.

Przewodnictwo cieplne - to proces przepływu ciepła między nierównomiernie ogrzаныmi częściami ciała lub układu ciał, polegający na przekazywaniu energii bezładnego ruchu jednych cząsteczek drugim (czyli przekazywaniu ich energii kinetycznej).

Ze względu na **przenoszenie energii**, przewodnictwo cieplne jest jednym ze **zjawisk transportu**. Stanowi jeden z trzech mechanizmów przekazywania energii cieplnej, obok **konwekcji** i **promieniowania**.

Przewodnictwo cieplne związane jest z różnicą temperatur. Jeżeli w warstwie ciała o grubości Δx występuje różnica temperatur ΔT , to wyrażenie $\Delta T/\Delta x$ (w zapisie różniczkowym dT/dx) nazywa się **gradientem temperatury**.

Prawo Fouriera dla przewodnictwa cieplnego mówi, że: *gęstość strumienia cieplnego q^* jest wprost proporcjonalna do gradientu temperatury:*

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1),$$

gdzie λ jest **współczynnikiem przewodnictwa cieplnego**, który zależy od materiału przewodzącego i świadczy o tym, czy dany materiał jest dobrym czy złym przewodnikiem ciepła. Znak minus w równaniu (1) oznacza, że energia w tym procesie przenosi się w kierunku zmniejszania się temperatury.

***Gęstość strumienia cieplnego q** to ilość ciepła Q przechodząca przez jednostkę powierzchni S w jednostce czasu τ .

$$q = \frac{Q}{S \cdot \tau} \quad (2).$$

W niniejszym ćwiczeniu - korzystając z dwóch powyższych zależności (1) i (2) wyznaczamy współczynnik przewodnictwa cieplnego λ dla wybranych materiałów, np. drewna, korka czy gleby. W tym celu próbkę badanego materiału umieszczamy w naczyniu cylindrycznym, którego powierzchnia boczna jest wykonana z materiału izolacyjnego, a dno jest płytką miedzianą. Naczynie to zamykamy drugą płytką miedzianą połączoną z ultratermostatem, który pozwala utrzymywać jej stałą temperaturę T_1 , znacznie wyższą od temperatury pokojowej. Obie płytki miedziane są umieszczone w osłonie izolacyjnej.

Ciepło przepływa z górnej płytki o wyższej temperaturze do dolnej, poprzez warstwę badanej próbki materiału o grubości l . Powoduje to stopniowy wzrost temperatury dolnej płytki.

Ciepło Q_1 , jakie pobiera dolna płytka miedziana o masie m i cieple właściwym c , podczas ogrzewania od temperatury początkowej t_1 do temperatury końcowej t_2 , wynosi:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (3).$$

Natomiast **ciepło Q_2 , które przechodzi** przez próbkę **w procesie przewodzenia ciepła**, można obliczyć ze wzoru (2) znając gęstość strumienia cieplnego q , jaki przepływa w czasie τ , przez

próbkę o znanej powierzchni S . Gęstość strumienia z kolei, można obliczyć – korzystając ze wzoru (1) - mierząc gradient temperatury w badanej próbce o grubości l . Gradient ten nie jest stały, gdyż temperatura dolnej płytki T_2 zmienia się od t_1 do t_2 . W przybliżeniu, można przyjąć, że gradient ten jest równy $(T_1 - T_2)/l$, gdzie T_2 jest wartością średnią początkowej i końcowej temperatury dolnej płytki, tzn.: $T_2 = (t_1 + t_2)/2$. Biorąc powyższe pod uwagę, otrzymujemy:

$$Q_2 = q \cdot S \cdot \tau = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{l} S \cdot \tau. \quad (4)$$

Ponieważ $Q_1 = Q_2$, otrzymujemy równanie: $m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{l} S \cdot \tau, \quad (5)$

z którego możemy wyliczyć współczynnik przewodnictwa cieplnego badanego materiału:

$$\lambda = \frac{m \cdot c \cdot l (t_2 - t_1)}{S \cdot \tau (T_1 - T_2)}. \quad (6)$$

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz.19
2. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz. 15

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(<https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/>) (zakładka: Symulacje zjawisk fizycznych),

C7. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary:	Imię i nazwisko studenta:	Kierunek studiów:
Data:	Imię i nazwisko prowadzącego:	Grupa:
		Zaliczenie:

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: zestaw pomiarowy z ultratermostatem, termometr, stoper, suwmiarka, próbka badanego materiału.

1. Mierzmy suwmiarką średnicę d oraz grubość l badanej próbki i umieszczamy ją w naczyniu pomiarowym zaopatrzonym w termometr.
2. Na termometrze kontaktowym ultratermostatu ustawiamy żadaną temperaturę górnej płytki miedzianej (np. 70°C) i włączamy ultratermostat do sieci.
3. Gdy termostatowana płytka miedziana osiągnie zadaną temperaturę $T_1 = 70^{\circ}\text{C}$ (lampka kontrolna na ultratermostacie gaśnie) przykładamy ją do górnej powierzchni badanej próbki.
4. Na termometrze naczynia pomiarowego obserwujemy wartość temperatury dolnej płytki, która nie ulega zmianie tak długo, dopóki strumień ciepła nie dopłynie do tej płytki.
5. Gdy zaobserwujemy zmianę temperatury dolnej płytki, odczytujemy jej wartość (t_1) i jednocześnie włączamy stoper, aby mierzyć czas przepływu ciepła.
6. Po upływie czasu $\tau = 20$ minut odczytujemy temperaturę dolnej płytki (t_2).

Tabela

Rodzaj badanego materiału:

Średnica d [m]	Grubość warstwy l [m]	Powierzchnia S [m ²]	Temperatura początkowa płytki dolnej t_1 [°C]	Temperatura końcowa płytki dolnej t_2 [°C]	Czas przepływu ciepła τ [s]	Temperatura płytki górnej T_1 [°C]	Średnia temperatura płytki dolnej T_2 [°C]

$$\text{Współczynnik przewodnictwa cieplnego } \lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] =$$

$$\text{Błąd współczynnika przewodnictwa cieplnego } \Delta\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] =$$

$$\text{Zestawienie } (\lambda \pm \Delta\lambda) \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] =$$

$$\Delta d = \Delta l = \dots \text{ [m]}$$

$$\Delta t_1 = \dots \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$\Delta t_2 = \dots \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$\Delta T_1 = \dots \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$\Delta T_2 = \dots \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$\Delta \tau = \dots \text{ [s]}$$

Opracowanie wyników

1. Obliczamy powierzchnię badanej próbki ($S = \pi d^2 / 4$).
2. Wyznaczamy średnią temperaturę T_2 dolnej płytki miedzianej jako $T_2 = (t_1 + t_2) / 2$.
3. Obliczamy współczynnik przewodnictwa cieplnego λ , wstawiając zmierzone wielkości (wyrażone w jednostkach SI) do wzoru:

$$\lambda = \frac{m \cdot c \cdot l (t_2 - t_1)}{S \cdot \tau (T_1 - T_2)},$$

przyjmując masę płytki $m = 0.028$ [kg] i ciepło właściwe miedzi $c = 394 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$.

4. Maksymalny błąd pomiaru współczynnika przewodnictwa cieplnego badanego materiału obliczamy metodą różniczek logarytmicznej, po wprowadzeniu wielkości pomocniczych:

$$t_2 - t_1 = t \quad \text{oraz} \quad T_1 - T_2 = T \quad (\text{przy czym } \Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 \text{ a } \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2).$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right| + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| + \left| \frac{\Delta \tau}{\tau} \right| + \left| \frac{\Delta T}{T} \right|, \quad \text{gdzie:} \quad \left| \frac{\Delta S}{S} \right| = \left| \frac{2 \Delta d}{d} \right|.$$

5. Obliczamy następnie błąd bezwzględny $\Delta \lambda$ i zestawiamy go ze znalezioną wartością λ w postaci: $(\lambda \pm \Delta \lambda) \text{ jedn. SI}$.