

DETERMINAREA CONDUCTIBILITĂȚII TERMICE PRINTR-O METODĂ STAȚIONARĂ

1. Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este de a determina *coeficientul de conductibilitate termică*, pentru un corp confecționat dintr-un anumit material (cilindru de aluminiu). Metoda utilizată este o metodă calorimetrică, metodă care implică întotdeauna, un anumit grad de erori. Se determină bilanțul tuturor căldurilor

$Q = \sum_{i=1}^4 Q_i$: primite prin intermediul vaporilor de apă, transmise prin

conductibilitate termică și pierdute prin convecție și radiație. Se determină gradientul de temperatură ∇T și în final coeficientul căutat λ .

2. Considerații teoretice

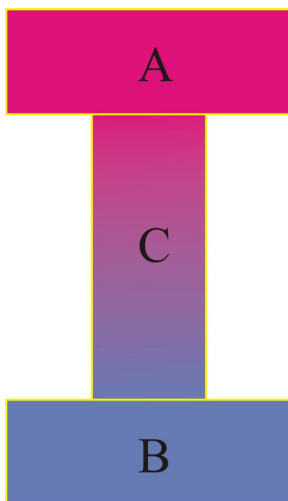


Figura 1

Dacă două corpuri A și B, cu temperaturi diferite, se găsesc în contact cu un același corp conductor C, atunci de la corpul mai cald se propagă căldura spre corpul mai rece, prin corpul C (Fig. 1). Schimbul de căldură se face prin conducție termică de-a lungul corpului C, de la particulă la particulă. Cantitatea de căldură, Q transmisă în unitatea de timp printr-o secțiune S este direct proporțională cu diferența de temperatură ΔT dintre corpurile A și B, cu secțiunea S a corpului C și invers proporțională cu lungimea L a corpului C.

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Factorul de proporționalitate, λ este coeficientul de conductibilitate termică al corpului C:

$$\lambda = \frac{Q}{S \frac{\Delta T}{L}} = \frac{Q}{S \cdot \nabla T} \quad (2)$$

unde $\nabla T = \frac{\Delta T}{L}$ este gradientul de temperatură și reprezintă variația temperaturii dintre două secțiuni separate cu o unitate de lungime.

Coeficientul de conductibilitate termică este numeric egal cu cantitatea de căldură transportată în unitatea de timp prin unitatea de secțiune, datorită unui gradient de temperatură unitar. Unitatea de măsură a coeficientului de conductibilitate termică este în SI:

$$[\lambda] = \frac{W}{m \cdot \text{grd}} \quad (3)$$

3. Aplicații

Coeficientul de conductivitate termică, λ este o mărime specifică fiecărui material. Depinde de proprietățile fizice ale acestuia, ca: temperatura, porozitatea, densitatea, umiditatea, structura materialului, etc. Temperatura influențează valorile coeficientului de conductivitate termică a materialelor izolante conform relației $\lambda_T = \lambda_0(1 \pm bT)$, λ_0 fiind conductivitatea termică la 0°C , iar b o constantă proprie materialului considerat. În general, λ crește cu temperatura. Datorită valorii λ_{aer} foarte mică, porii materialelor umpluți cu aer, asigură o valoare a lui λ mai mică. Dacă porii respectivi sunt saturați cu apă atunci valoarea lui λ crește, deoarece $\lambda_{\text{apa}} > \lambda_{\text{aer}}$. O densitate mare a materialelor, determină o micșorare (dispariție) a porilor, deci crește λ . Același efect îl are și granulația materialului, în practică se dorește o granulație aproximativ constantă.

4. Metodica experimentală

4.1. Montajul experimental

Rolul corpului A este jucat de vaporii de apă produși prin încălzirea apei în balon, de la un reșou. Corpul care preia căldura (corpul B) este calorimetrul. Corpul prin care se transmite căldura (corpul C) este un cilindru plin din metal, cu un capac la partea superioară prin care se leagă cu țeava de conducere a vaporilor de apă (vezi Fig.2). Cilindrul metalic, a cărui conductibilitate termică se determină și calorimetrul sunt izolate de sursa de încălzire cu ajutorul unui paravan din azbest.

Temperatura camerei θ se măsoară cu termometrul înainte de începerea lucrării; termometrul T indică temperatura apei din calorimetru, termometrele T_1 și T_2 arată temperaturile din partea de jos, respectiv partea de sus a probei.

Vom nota cu Q cantitatea de căldură care trece în unitatea de timp prin secțiunea de la mijlocul probei. O parte din această căldură Q' este condusă în calorimetru, o parte Q_2 , se pierde prin convecție și radiație, iar Q_1 încălzește partea de jos a cilindrului.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q' \quad (4)$$

Între calorimetru și mediul exterior poate exista un schimb de căldură Q_4 și deci căldura totală primită de calorimetru este

$$Q_3 = Q' + Q_4, \quad (5)$$

unde:

$$Q' = Q_3 - Q_4, \quad (6)$$

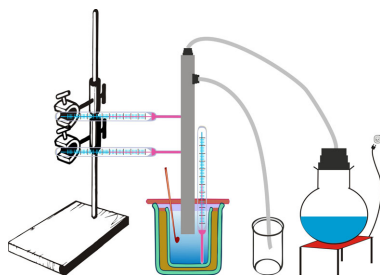


Figura 2

iar ecuația (4) devine :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 \quad (7)$$

Pentru coeficientul de conductibilitate termică, λ avem deci relația de calcul:

$$\lambda = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4}{S \cdot \nabla T} \quad (8)$$

cu Q_4 pozitiv, atunci când calorimetrul primește căldură din exterior. Secțiunea cilindrului are valoarea $S = 12.56 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, iar distanța dintre termometre L are valoarea $L = 0,12 \text{ m}$.

4.2. Modul de lucru

1. Se pornește reșoul pentru încălzirea apei.
2. Se cântărește calorimetrul împreună cu agitatorul (m_v); se introduce apă în calorimetru și se cântărește din nou (m_{v+a}). Diferența dintre valorile celor două măsurători reprezintă masa apei (m_a).
3. Se montează dispozitivul conform figurii 2, scufundându-se cilindrul metalic cu 2-3 mm în apa calorimetrului. Se introduc termometrele în orificiile corespunzătoare din cilindru și termometrul cu precizia $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ în calorimetru.
4. Se agită apa din calorimetru și în momentul în care se stabilește regimul staționar; citirile temperaturilor încep atunci când termometrul din calorimetru indică o creștere a temperaturii (sau în mod practic după ce termometrul T_2 indică o temperatură mai mare decât $45\text{-}50 \text{ }^\circ\text{C}$).
5. Se citește temperatura apei din calorimetru și a celor două părți ale probei din două în două minute și pe cât este posibil simultan. Se citește de asemenea temperatura camerei (θ). Se fac n (5) măsurători în timpul τ (10 min.).

4.3. Prelucrarea datelor experimentale

1. Q_1 fiind cantitatea de căldură transportată într-o secundă pentru încălzirea jumătății de jos a cilindrului, este dată de relația:

$$Q_1 = \frac{m_c \cdot c_c}{2} \frac{(T_1^{(\tau)} - T_1^{(0)})}{\tau} \quad (\text{W}) \quad (9)$$

unde $m_c = 0,805\text{kg}$, $2,380 \text{ kg}$ și $2,504\text{kg}$ pentru cilindrul confecționat din aluminiu, fier și respectiv alamă, iar căldurile specifice, c_c iau valorile $894.52 \frac{\text{J}}{\text{kg grad}}$, $497.24 \frac{\text{J}}{\text{kg grad}}$ și respectiv $383.3 \frac{\text{J}}{\text{kg grad}}$.

2. Q_2 este cantitatea de căldură cedată într-o secundă mediului înconjurător de către jumătatea de jos a cilindrului. Pentru determinarea ei s-au făcut măsurători suplimentare ale căror rezultate sunt date în diagrama anexă. Căldura cedată este proporțională cu diferența de temperatură dintre cilindru și mediu. Pentru a determina căldura Q_2 se calculează temperatura medie a jumătății de jos a cilindrului $\frac{\sum T_1}{n}$ și a mediului înconjurător $\frac{\sum \theta}{n}$.

De pe diagrama $Q_2 = f\left(\frac{\sum T_1}{n} - \frac{\sum \theta}{n}\right)$ se citește Q_2 corespunzător diferenței medii de temperatură.

3. Q_3 este căldura absorbită de calorimetru și apa din el în unitatea de timp:

$$Q_3 = \frac{(T^{(\tau)} - T^{(0)})(m_v c_v + m_a c_a)}{\tau} \quad (W) \quad (10)$$

Căldura specifică a apei este $c_a = 4185 \frac{J}{kg \cdot grad}$ iar căldura specifică a vasului

$$c_v = 383.3 \frac{J}{kg \cdot grad}$$

4. Pentru determinarea lui Q_4 , căldura absorbită de calorimetru din mediul înconjurător, se folosește o diagramă asemănătoare cu aceea pentru Q_2 . Q_4 se determină în funcție de diferențele corespunzătoare. Astfel $Q_4 = f\left(\frac{\sum \theta}{n} - \frac{\sum T}{n}\right)$.

5. Gradientul de temperatură se determină conform relației:

$$\nabla T = \frac{\sum T_2 - \sum T_1}{L} \quad (11)$$

Rezultatele se trec în tabelul 1.

Tabelul 1.

n	τ (min)	T (°C)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	θ (°C)	$\frac{\lambda}{\left(\frac{W}{m \cdot grad}\right)}$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ (%)	$\frac{\Delta \lambda}{\left(\frac{W}{m \cdot grad}\right)}$
1	0							
2	2							
3	4							
4	6							
5	8							
6	10							

4.4. Calculul erorilor

Eroarea se calculează conform formulei

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{2\Delta T}{|T_1^r - T_1^o|} + \frac{c_v + c_a}{m_v c_v + m_a c_a} \Delta m + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{2\Delta T}{\sum T_2 - \sum T_1} + \frac{2\Delta T}{|T - T^o|} \quad (12)$$

unde s-a ținut seama că $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T$

ATENȚIE !

1. masa cilindru de aluminiu, $m_c = 0.805$ kg;
2. căldura specifică a cilindrului de aluminiu $c_c = 894.52$ J/(kg · grd);
3. căldura specifică a apei $c_a = 4185$ J/(kg · grd);
4. căldura specifică a vasului $c_v = 383.3$ J/(kg · grd);
5. secțiunea cilindrului $S = 12.56 \times 10^{-4}$ m²;
6. distanța dintre termometre $L = 0.12$ m;
7. 1 cal = 4.18 J.

Diagrama schimbului de căldură, cilindru–mediu (Q_2) și calorimetru–mediu (Q_4) este redată în figura 3.

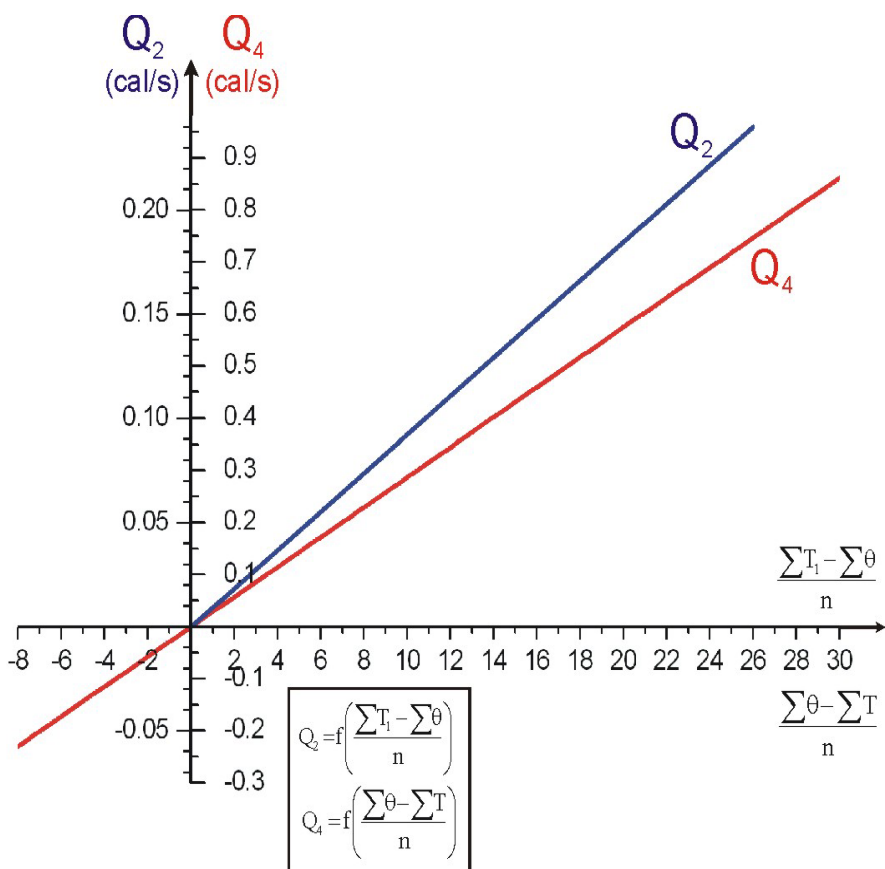


Figura 3