

## Determinarea conductibilității termice printr-o metodă staționară

### Scopul lucrării:

Scopul acestei lucrări este determinarea coeficientului de conductibilitate termică, la metale, printr-o metodă staționară.

### I. Considerații teoretice

Din punct de vedere practic, corpurile solide conduc în mod diferit căldura. Mărimea fizică ce caracterizează substanța din punct de vedere al transportului de căldură este *coeficientul de conductibilitate termică*.

*Conductibilitatea termică* ( $\lambda$ ) a unei substanțe reprezintă cantitatea de căldură care trece în unitate de timp prin unitatea de suprafață, atunci când temperatura variază cu un grad pe unitatea de lungime. Unitatea de măsură a conductibilității termice în SI este  $\frac{W}{m \cdot grad}$ .

Fenomenul conductibilității termice poate fi studiat, ținând cont de următoarele variante:

- *regim variabil* - temperatura în diferite puncte ale corpului, variază cu timpul;
- *regim staționar (permanent)* - temperatura corpului într-un punct oarecare nu variază în timp (cantitatea de căldură care trece printr-un element de volum este egală cu cea care pleacă din elementul de volum), ci depinde doar de distanța  $x$  la care se află punctul în raport cu sursa de căldură.

În cele ce urmează vom studia fenomenul de conductibilitate termică printr-o metodă staționară.

Considerăm două corpuri, X și Y, care au temperaturi diferite și sunt puse în contact cu un alt corp conductor Z. De la corpul mai cald, X, se propagă căldură spre corpul mai rece, Y, prin cel de-al treilea corp conductor, Z (Fig. 1). La nivel microscopic, conducția termică se face prin intermediul moleculelor, al electronilor din banda de conducție și prin vibrațiile termice ale rețelei.

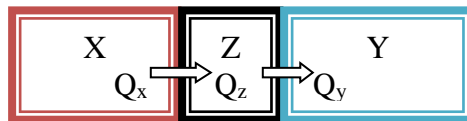


Fig.1.

Procesul propagării căldurii este descris cel mai bine de legea lui Fourier. Astfel:

$$\delta Q = -\lambda \cdot l \cdot dS \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \cdot d\tau \quad (1)$$

unde  $\delta Q$  este cantitatea de căldură ce trece prin suprafața  $dS$ , în timpul  $d\tau$ , iar  $\frac{\partial T}{\partial x}$  este gradientul de temperatură.

Așadar, cantitatea de căldură, notată cu  $Q$ , transmisă în unitatea de timp printr-o secțiune  $S$ , este direct proporțională cu diferența de temperatură  $\Delta T$ , dintre corpurile X și Y cu secțiunea  $S$  a corpului Z, și invers proporțională cu lungimea  $l$  a corpului Z.

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

De aici rezultă coeficientul de conductibilitate termică,  $\lambda$ , al corpului Z:

$$\lambda = \frac{Q}{S \cdot \frac{\Delta T}{l}} = \frac{Q}{S \cdot \nabla T} \quad (3)$$

unde  $\nabla T = \frac{\Delta T}{l}$  se numește gradient de temperatură, și reprezintă variația temperaturii dintre două secțiuni, distanțate cu o unitate de lungime.

## II. Metodica experimentală

### II.1. Dispozitivul experimental

Schema dispozitivului experimental este redată în Fig. 2. Principalele componente ale instalației sunt:

- Reșou;
- Balon din sticlă;
- Cilindru de metal (bară din aluminiu);
- Calorimetru;
- Vas cu agitator;
- Tub de cauciuc pentru ghidarea vaporilor de apă;
- Termometre pentru măsurarea temperaturii, în diferite puncte.

Balonul din sticlă, conținând apă, este așezat pe reșou. La încălzirea apei din balon, vaporii de apă, produși, ajung în partea superioară a cilindrului metalic, prin intermediul unui tub de cauciuc. Datorită fenomenului de agitație termică, electronii de conducție, din metal, sunt puși în mișcare și ajută la transferul căldurii către apa din calorimetru. Cilindrul metalic al cărui conductibilitate termică ne interesează, precum și calorimetrul, sunt izolate de sursa de încălzire printr-un paravan din azbest.

Termometrul T indică temperatura apei din calorimetru, iar termometrele  $T_1$  și  $T_2$  indică temperaturile din partea de jos, respectiv partea de sus, a barei din aluminiu.

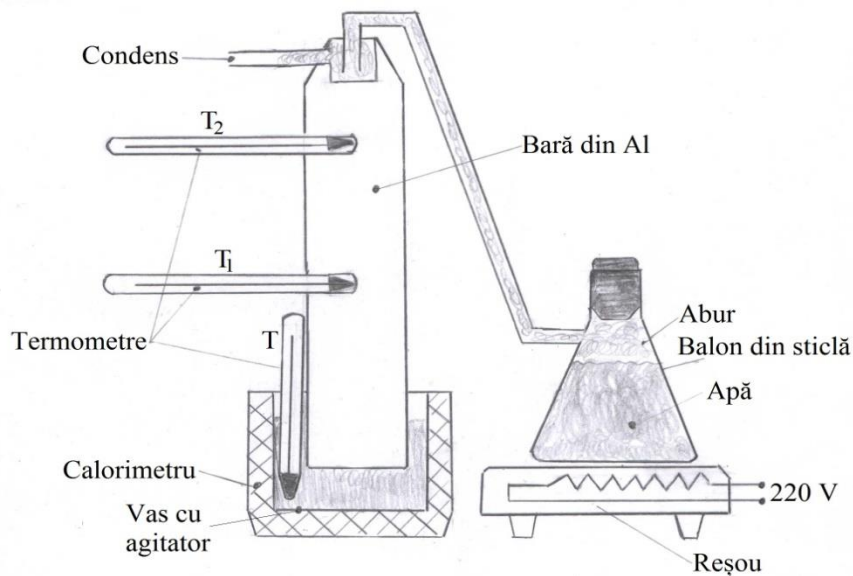


Fig. 2.

Cantitatea de căldură care trece în unitatea de timp prin secțiunea S de la mijlocul cilindrului din aluminiu se notează cu Q. Când se atinge regimul permanent, o parte, Q<sub>2</sub>, din această căldură se pierde, prin convecție și radiație, o parte, Q<sub>1</sub>, încălzește partea de jos a cilindrului, iar restul, Q', este condusă în calorimetru:

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

Deoarece între calorimetru și mediul exterior există un schimb de căldură, pe care o notăm cu Q<sub>4</sub>, căldura totală primită de calorimetru, pe care o notăm cu Q<sub>3</sub>, este dată de relația:

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

Din relația (5) se obține:

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

Înlocuind Q' din relația (6) în relația (4), se obține:

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

Înlocuind Q din relația (7) în relația (3) se obține coeficientul de conductibilitate termică al cilindrului din aluminiu:

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

unde S este secțiunea cilindrului iar  $\nabla T$  este gradientul de temperatură ce se determină cu ajutorul relației:

$$\nabla T = \frac{\sum T_2 - \sum T_1}{l} \quad (9)$$

unde l este distanța dintre termometrele T<sub>1</sub> și T<sub>2</sub>.

Căldurile Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> și Q<sub>4</sub> se calculează în felul următor:

1. Q<sub>1</sub> reprezintă cantitatea de căldură, transportată într-o secundă, pentru încălzirea jumătății de jos a cilindrului:

$$Q_1 = \frac{m_c c_c (T_1^\tau - T_1^0)}{2\tau} \text{ (W)} \quad (10)$$

unde m<sub>c</sub> este masa cilindrului din aluminiu, iar c<sub>c</sub> este căldura specifică aluminiului;

2. Q<sub>2</sub> reprezintă 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 prezentate în Fig. 3.

Așadar, de pe diagrama  $Q_2 = f\left(\frac{\sum T_1}{n} - \frac{\sum \theta}{n}\right)$ , se citește Q<sub>2</sub> corespunzător;

3. Q<sub>3</sub> este căldura absorbită de calorimetru și apa din el, în unitatea de timp:

$$Q_3 = \frac{(T^\tau - T^0)(m_v c_v + m_a c_a)}{\tau} \text{ (W)} \quad (11)$$

unde c<sub>a</sub> este căldura specifică a apei, iar c<sub>v</sub> este căldura specifică a vasului;

4. Q<sub>4</sub> reprezintă căldura absorbită de calorimetru din mediul înconjurător. Din Fig. 3 se poate determina valoarea lui Q<sub>4</sub>, știind că  $Q_4 = f\left(\frac{\sum \theta}{n} - \frac{\sum T}{n}\right)$ .

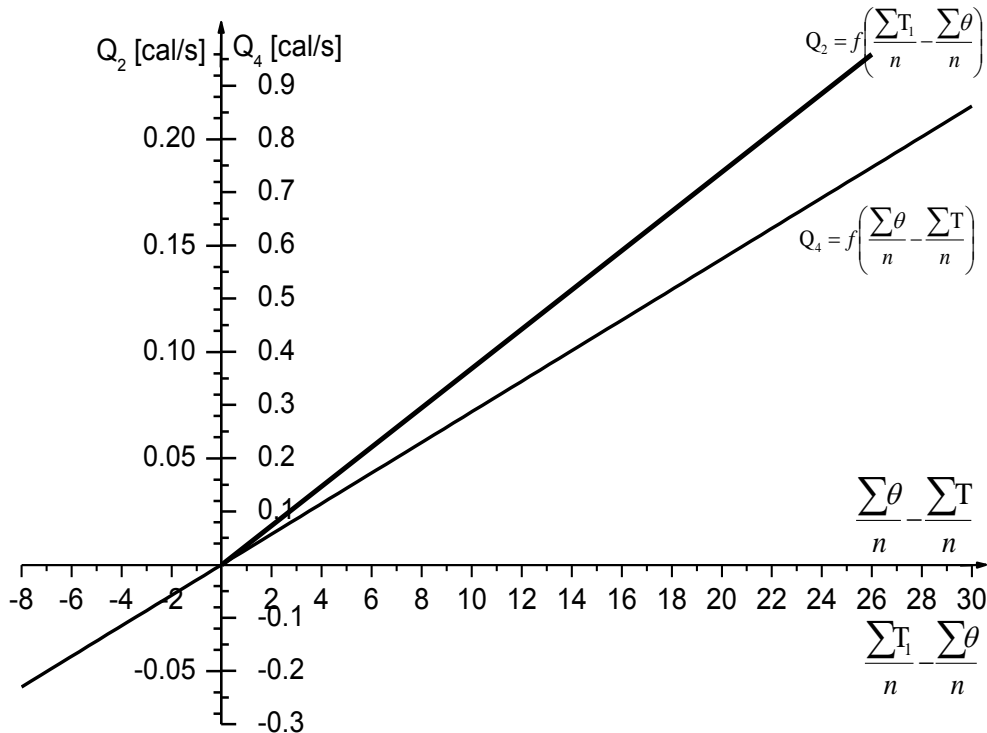


Fig. 3.

## II.2. Modul de lucru

- i. Se cântărește vasul și agitatorul din interiorul calorimetrului, notând valoarea acestora cu  $m_v$ ;
- ii. Se introduce apă în vas și facem din nou cântărirea, valoarea obținută o notăm cu  $m_{v+a}$ . Diferența dintre valorile celor două măsurători reprezintă masa apei  $m_a$ ;
- iii. Introducem în calorimetru vasul cu apă și agitator;
- iv. După ce punem capacul pe calorimetru, avem grijă să scufundăm cilindrul metalic cu 2-3 cm în apa calorimetrului;
- v. Se introduc două dintre termometre în orificiile corespunzătoare de pe cilindru, iar termometrul cu precizia 0,1 °C în apa din calorimetru;
- vi. Se citește temperatura camerei,  $\theta$ ;
- vii. Se pornește reșoul pentru a încălzi mai întâi apa din balonul de sticlă, iar apoi, prin conducție, și apa din calorimetru;
- viii. Se agită apa din calorimetru, iar când se stabilește regimul staționar (când termometrul din calorimetru indică o creștere a temperaturii) încep citirile temperaturilor;
- ix. Citirile celor trei termometre se vor face pe cât posibil simultan. De asemenea, măsurătorile se vor face din două în două minute (timp de 10 minute);
- x. Înainte de fiecare citire, se agită apa din calorimetru pentru a se putea citi cât mai corect temperatura acesteia;
- xi. Rezultatele obținute se trec în tabelul 1.

Tabelul 1.

Nr. crt.	$\tau$ (min)	T (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	$\theta$ (°C)	$\lambda$ $\left(\frac{W}{m \cdot grad}\right)$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ (%)	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ $\left(\frac{W}{m \cdot grad}\right)$
1	0							
2	2							
3	4							
4	6							
5	8							
6	10							

### II.3. Prelucrarea datelor experimentale

i. Se calculează Q<sub>1</sub> cu relația (10);

ii. Se calculează  $\frac{\sum T_1}{n} - \frac{\sum \theta}{n}$  și se citește Q<sub>2</sub> corespunzător din Fig. 3. Valoarea citită din Fig. 3, este în cal/s, astfel că trebuie transformată în Watt, știind că 1cal = 4,18 J;

iii. Se calculează Q<sub>3</sub> cu relația (11);

iv. Se calculează  $\frac{\sum \theta}{n} - \frac{\sum T}{n}$  și se citește Q<sub>4</sub> corespunzător, din Fig. 3. Și în acest caz este nevoie de transformarea valorii citite din cal/s, în Watt;

v. Se calculează gradientul de temperatură cu relația (9);

vi. Se calculează coeficientul de conductibilitate termică cu relația (8);

vii. Eroarea relativă se calculează cu relația:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{2\Delta T}{|T_1^\tau - T_1^0|} + \frac{(c_v + c_a) \cdot \Delta m}{m_v c_v + m_a c_a} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{2\Delta T}{\sum T_2 - \sum T_1} + \frac{2\Delta T}{|T^\tau - T^0|} \quad (12)$$

viii. Se calculează cu relația:  $\Delta\lambda = a \cdot \lambda$ , deoarece  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = a$ ;

ix. Rezultatele obținute se introduc în tabelul 1.