Laborator de Fizică

DETERMINAREA CONDUCTIBILITĂȚII TERMICE PRITR-O METODĂ STATIONARĂ

I. Considerații teoretice

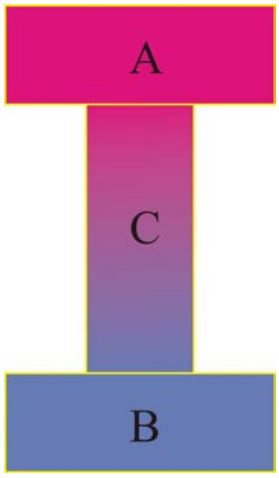

Figura 1

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

$$Q=\lambda S\frac{\Delta T}{l} \tag{1}$$

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

$$\lambda=\frac{Q}{S\frac{\Delta t}{l}}=\frac{Q}{S\cdot\nabla T} \tag{2}$$

unde $\nabla T=\frac{\Delta T}{l}$ este gradientul de temperatură, si reprezintă ca atare variația temperaturii dintre două secțiuni distanțate 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:

$$[\lambda]=\frac{W}{m^2\frac{grd}{m}}=\frac{W}{m.grd} \tag{3}$$

II. Metodica experimentală

a) <u>Instalația experimentală</u>

Rolul corpului A este jucat de vaporii de apă produşi prin încălzirea apei în balonul 1, de la un reşou. Corpul care preia căldura (corpul B) este calorimetrul 2. Corpul prin care se transmite căldura (corpul C) este un cilindru plin din metal 3, cu un capac la partea superioară prin care se leagă cu țeava de conducere a vaporilor de apă (fig.2). Cilindrul metalic, a cărui conductibilitate termică se determină si calorimetrul sunt izolate de sursa de încălzire cu ajutorul unui paravan din azbest. Temperatura camerei se măsoară cu termometrul θ; termometrul T indică temperatura apei din calorimetru, termometrele T_1 si T_2 arată temperaturile din partea de jos, respectiv partea de sus a probei.

Figura 2

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 si radiație, iar Q_1 încălzeşte partea de jos a cilindrului.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q' \tag{4}$$

Intre calorimetru si mediul exterior poate exista un schimb de căldură Q_4 si deci căldura totală primită de calorimetru este

$$Q_3 = Q' + Q_4 \tag{5}$$

unde:

$$Q' = Q_3 - Q_4 \tag{6}$$

Iar ecuația (4) devine :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 \tag{7}$$

Pentru coeficientul de conductibilitate termică, λ avem deci :

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

cu Q_4 pozitiv când calorimetrul primeşte căldură din exterior. Secțiunea cilindrului are valoarea S = 12.56×10^{-4} m^2, distanta dintre termometre l având valoarea l = 0,12 m.

b) <u>Modul de lucru</u>

1. Se porneşte reşoul pentru încălzirea apei.
2. Se cântăreşte calorimetrul împreună cu agitatorul (m_v); se introduce apă în calorimetru si se cântăreşte din nou. 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 si termometrul cu precizia 0.1 ^{0}C în calorimetru.
4. Se agită apa din calorimetru si când se stabileşte regimul staționar, adică atunci când termometrul din calorimetru indică o creştere a temperaturii, încep citirile temperaturilor.
5. Se citeşte temperatura apei din calorimetru si a celor două părți ale probei din două în două minute si pe cât este posibil simultan. Se citeşte de asemenea temperatura camerei (θ). Se fac n (5) măsurători în timpul τ (10 min.).

III. Prelucrarea datelor experimentale

a) Determinarea mărimilor fizice

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

$$Q_1 = \frac{m_c \cdot c_c}{2} \frac{\left(T_1^{\tau} - T_1^{o}\right)}{\tau} \quad (W) \tag{9}$$

unde m_c=0,805 kg , 2,380 kg si 2,504 kg pentru cilindrul confecționat din aluminiu, fier si respectiv alamã iar căldurile specifice c_c iau valorile $894{,}52\frac{J}{kg\ grd}$, $497{,}24\frac{J}{kg\ grd}$ si respectiv $383{,}3\frac{J}{kg\ grd}$.

2. Q_2 este cantitatea de căldură cedatã într-o secundã 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 cedatã este proporționala cu diferența de temperaturã dintre cilindru si mediu.

Pentru a-l determina pe Q_2 se calculează temperatura medie a jumătății de jos a cilindrului $\frac{\sum T_1}{n}$ si 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 citeşte Q_2 corespunzător diferenței de temperatură.

3. Q_3 este căldură absorbită de calorimetru si apa din el în unitatea de timp:

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

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 foloseşte o diagramă asemănătoare cu aceea pentru Q_2. Q_4 se determină în funcție de diferențele corespunyatoare. Astfel $Q_4 = f\left(\frac{\sum \theta}{n} - \frac{\sum T}{n}\right)$

5. Gradientul de temperatură se determină conform relației:

$$\nabla T = \frac{\frac{\sum T_2 - \sum T_1}{n}}{l} \tag{11}$$

Rezultatele se trec în tabelul 1.

b) Calculul erorilor

Eroarea se calculează conform formulei

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

unde s-a tinut seama ca $\Delta T_1=\Delta T_2=\Delta T$

ATENTIE !

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

Tabelul 1.

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

Diagrama schimbului de căldură cilindru–mediu (Q_2) si calorimetru–mediu (Q_4) este redata in figura 3.

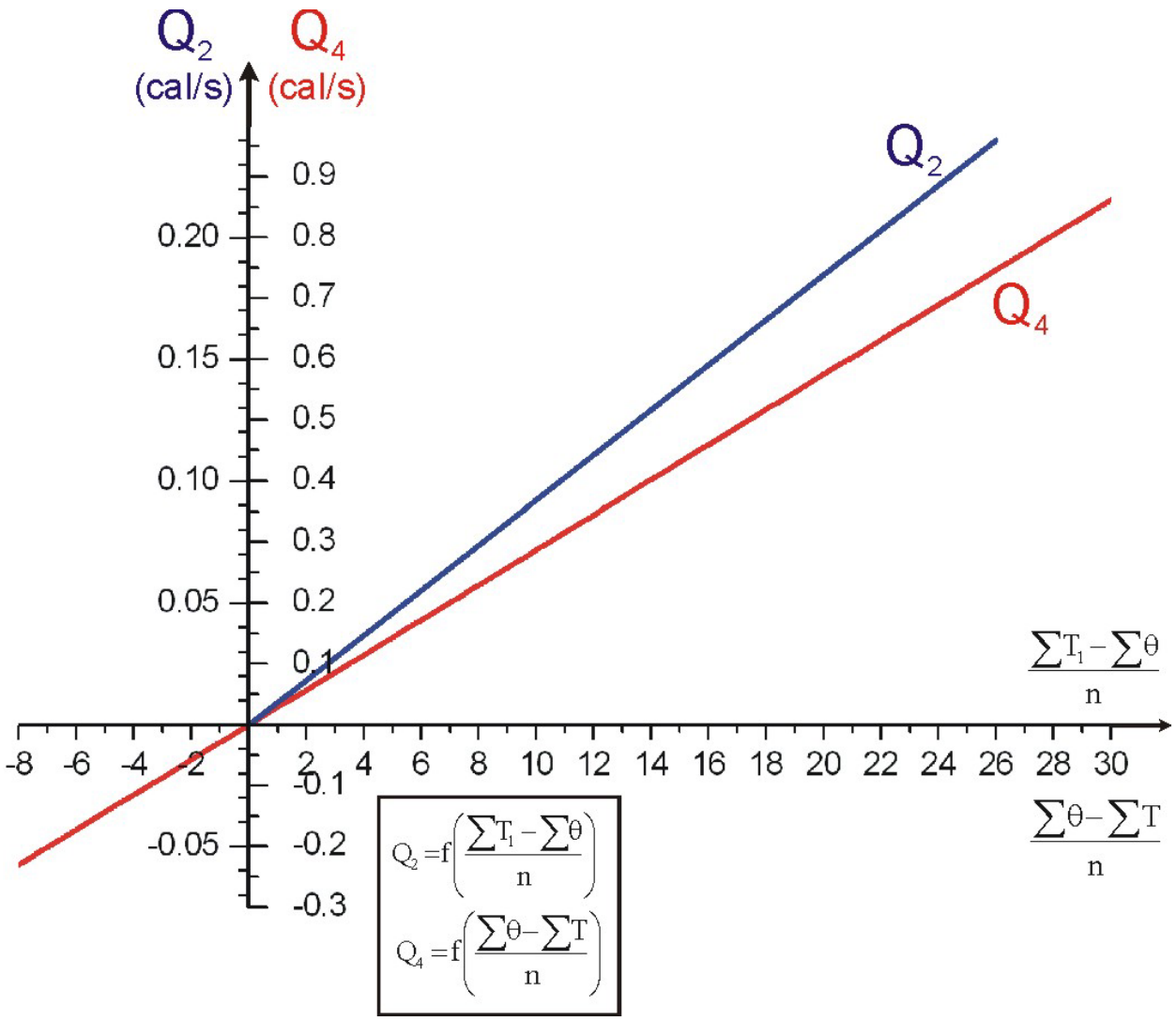
Q2 (cal/s)
Q4 (cal/s)
Q2
Q4
0.20
0.15
0.10
0.05
-0.05
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.1
-0.2
-0.3
-8 -6 -4 -2 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
(∑T1 − ∑θ)/n
(∑θ − ∑T)/n
Q2 = f((∑T1 − ∑θ)/n)
Q4 = f((∑θ − ∑T)/n)

Figura 3