

## DETERMINAREA CĂLDURII SPECIFICE A UNUI LICHID PRIN METODA RĂCIRII

### Considerații teoretice

Determinarea căldurii specifice a unui lichid prin această metodă are la bază principiile calorimetriei (v. lucrarea VII), precum și legea după care se transmite căldura de la un corp solid la un fluid, cunoscută sub numele de legea de răcire a lui Newton. Această lege se enunță în felul următor:

*Cantitatea de căldură schimbată de un corp solid cu un fluid (gaz sau lichid) este proporțională cu diferența de temperatură dintre solid și fluid, cu suprafața solidului care schimbă căldura și cu timpul cât durează acest schimb de căldura:*

$$Q = \alpha (t_s - t_f) S \tau \quad (1)$$

unde coeficientul de proporționalitate  $\alpha$  se numește coeficient de schimb de căldură, care în general depinde de natura solidului cât și de natura fluidului, iar  $S$  este suprafața solidului care schimbă căldură.

Să considerăm un vas calorimetric a cărui capacitate calorică (a vasului calorimetric cu accesorii) o notăm cu  $K$ , în care se găsește un lichid de masă “ $m$ ” și de căldură specifică “ $c$ ” pe care vrem să o determinăm. Cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi acest vas cu accesorii în care se găsește lichid, de la temperatura  $t_0$  la temperatura  $t$ , este dată de relația :

$$Q = (mc + K) (t - t_0) \quad (2)$$

Atunci când acest sistem se răcește de la temperatura  $t$  la temperatura  $t_0$ , conform celui de-al 3-lea principiu al calorimetriei (vezi lucrarea V), el va ceda aceeași cantitate de căldură. Pentru intervale foarte mici de temperatură, expresia (2) se poate scrie sub formă diferențială:

$$dQ = (mc + K) dt \quad (3)$$

Dacă această cantitate de căldură este cedată unui fluid (aer sau oricare alt gaz) închis într-o incintă izotermă, atunci ea poate fi exprimată conform legii lui Newton pentru un interval infinitesimal de temperatură astfel :

$$dQ = -\alpha (t - t_f) S d\tau \quad (4)$$

semnul (-) apare din cauză că cantitatea de căldură este cedată de sistem.

Egalând relațiile (3) și (4) se obține:

$$(mc + K) dt = -\alpha (t - t_f) S d\tau \quad (5)$$

Am obținut o ecuație diferențială în variabilele temperatură și timp, separate, care poate fi integrată, și anume :

$$\frac{dt}{t - t_f} = -\frac{\alpha S}{mc + K} d\tau$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t - t_f} = -\frac{\alpha S}{mc + K} \int_0^T d\tau \quad (6)$$

$$\ln\left(\frac{t_2 - t_f}{t_1 - t_f}\right) = -\frac{\alpha S}{mc + K} \tau$$

$$t_2 - t_f = (t_1 - t_f) e^{-\frac{\alpha S}{mc + K} \tau}$$

Limitele de integrare au fost alese astfel: la timpul  $\tau = 0$ , calorimetrul cu lichidul ce-l conține se găsește la temperatura  $t_1$  până la care au fost încălzite în prealabil. După timpul  $\tau$ , calorimetrul cu lichidul s-a răcit până la temperatura  $t_2$ , în incinta izotermă de temperatură  $t_f$  ( $t_2 > t_f$ ).

Din relația (6), cunoscută sub numele de relația lui Richmann, se observă că temperatura unui corp care se răcește în condițiile de sus scade exponențial cu timpul. Experiența a arătat că această relație este valabilă pentru diferențe mici de temperatură, care nu trebuie să depășească 40–50°C.

Dacă în vasul calorimetric se pune un alt lichid de masă  $m_0$  și căldura specifică  $c_0$ , care se răcește între aceleași temperaturi, dar în alt interval de timp, atunci relația (6) devine:

$$t_2 - t_f = (t_1 - t_f) e^{-\frac{\alpha S}{m_0 c_0 + K} \tau_0} \quad (7)$$

Egalând relațiile (6) și (7) se obține :

$$\frac{\tau_0}{m_0 c_0 + K} = \frac{\tau}{mc + K} \quad (8)$$

de unde căldura specifică a primului lichid se exprimă:

$$c = \frac{m_0 c_0 \tau}{m \tau_0} + \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} \cdot \frac{K}{m} \quad (9)$$

Dacă cel de-al doilea lichid este apa care are căldura specifică  $c = 4180 \text{ J/KgK}$  și luăm  $m_0 = m$ , atunci relația (9) se simplifică și devine :

$$c = \frac{c_0 \tau}{\tau_0} + \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} \cdot \frac{K}{m} \quad (10)$$

### Descrierea aparatului

Aparatul folosit în experiența de față este constituit ca în figura 1 dintr-un vas  $E$  cu pereții dubli printre care poate circula apă termostată care vine și iese prin tuburile  $T_1$  și  $T_2$ . În acest vas poate fi introdus un dispozitiv  $D$  legat solidar cu capacul  $C$  al vasului. În dispozitiv pot fi așezate două calorimetre mici din alamă, identice  $C_1$  și  $C_2$ . În incinta vasului  $E$  se găsește termocuplul  $t_1$  iar în calorimetre se găsește respectiv termocuplele  $t_2$  și  $t_3$  trecute prin dopuri de cauciuc  $d_1$  și  $d_2$ .

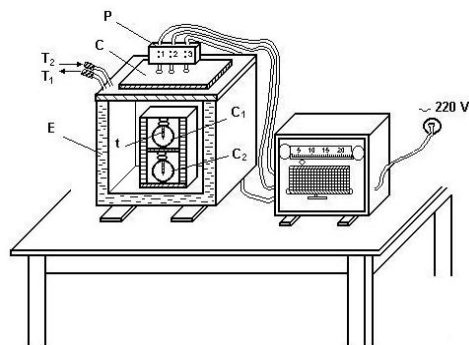


Fig. 1

Termocuplele sunt legate de un aparat de înregistrare a variațiilor de temperatură  $A$  prin intermediul unor borne fixate pe o placă de ebonită  $P$  care la rândul ei este fixată pe capacul vasului termostat. Motorușul aparatului înregistrator este alimentat de o sursă de curent alternativ de 220 V. Înregistratorul este prevăzut cu o scală gradată pe care se pot citi direct temperaturile dacă termocuplele folosite sunt din Fe – constantan. În fața scalei se poate mișca un ac indicator de care este legat solidar un dispozitiv care conține șase penițe de înregistrare numerotate de la 1 la 6. Noi vom folosi doar penițele 1,2 și 3 deoarece vom lucra cu trei termocuple. Înregistrarea variațiilor de temperatură în timp se face prin puncte pe o hârtie milimetrică ce este mișcată cu viteză constantă în fața penițelor de înregistrare. Înregistratorul este prevăzut și cu un întrerupător  $k$ , ce poate fi pus în oricare din cele trei poziții pe care sunt notate: “oprit”, “indicatoare” și “înregistrare”. Temperatura din interiorul vasului  $E$  trebuie menținută constantă. Acest lucru se realizează prin termostatare, când se elimină cantitatea de căldură primită de la cele două calorimetre prin procesele de transmisie cunoscute (conductibilitate termică, convecție și radiație) și se constată cu ajutorul, termocuplelui  $t_1$ .

## Modul de lucru

1. Se scot calorimetrele  $C_1$  și  $C_2$  din dispozitivul  $D$ , după ce în prealabil au fost scoase dopurile din cauciuc prin care sunt trecute termocuplele. Se cântărește un singur calorimetru (deoarece sunt identice). După aceea într-un calorimetru se pune o masă  $m$  de apă, iar în celălalt o masă egală cu prima dintr-un lichid a cărui căldură specifică trebuie determinată și se cântărește din nou. Prin scădere se determină masa apei și a lichidului studiat.

2. Se pune câte un dop la fiecare calorimetru după care se așează într-o etuvă pentru a fi încălzite până la o temperatură în jur de  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Se scot cele două calorimetre pline, încălzite și se așează în locurile lor din dispozitivul  $D$ , după ce în prealabil au fost introduse dopurile de cauciuc prin care trec termocuplele. După aceasta, dispozitivul  $D$  se introduce în incinta termostată.

4. Se pune întrerupătorul  $K$  al înregistratorului în poziția de înregistrare și se urmărește variația temperaturii în timp a celor două calorimetre cu lichid.

Temperatura incintei indicată de termocuplele 1 trebuie să rămână practic constantă.

Pentru aceasta se va regla debitul apei care termostează incinta, în mod corespunzător.

5. După terminarea înregistrării (temperatura vaselor se apropie de temperatura incintei) se taie hârtia cu graficele obținute. Se lipesc apoi cele două capete ale hârtiei, astfel încât să poată începe o nouă înregistrare.

6. Dacă graficele obținute arată ca în figura 2, atunci timpurile de răcire se determină astfel:

$$\tau_o = \frac{d_o}{v} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{d}{v} \quad (2)$$

unde  $d_o$  și  $d$  sunt distanțele măsurate pe hârtie milimetrică, corespunzătoare timpurilor  $\tau_o$  și respectiv  $\tau$ , iar  $v$  este viteza constantă a motorușului înregistratorului. Introducând aceste valori în formula căldurii specifice a lichidului, se obține:

$$c = c_o \frac{d}{d_o} + \frac{K}{m} \frac{d - d_o}{d_o} \quad (3)$$

Pentru calculul capacității calorice a calorimetrului se va neglija capacitatea calorică a dopului de cauciuc și termocuplului. Atunci  $K = m_1 c_1$  unde  $m_1$  este masa unui calorimetru iar  $c_1$ , căldura specifică a alamei ( $c_1 = 384,6 \text{ J / KgK}$ ).

### Calculul erorilor

Din cauză că nu se pot face multe determinări se va calcula eroarea absolută maximă și eroarea relativ pentru mărimea  $c$  data de relația (10). Pentru aceasta se observă că relația (10) este formată din doi termeni ( $A = \frac{\tau}{\tau_o}$ ,  $B = \frac{\tau - \tau_o}{\tau_o} \frac{K}{m}$ ) și deci eroarea

absolută maximă este egală cu suma erorilor absolute maxime ale termenilor. Erorile absolute maxime ale termenilor se vor calcula cu ajutorul erorilor relative corespunzătoare după relațiile:

$$\delta A = A + \varepsilon_A$$

$$\delta B = B + \varepsilon_B$$

Eroarea absolută maximă a lui  $K$  se calculează folosind relația (11). Pentru mărimile măsurate direct care intră în relațiile (10) și (11), ca erori absolute maxime, se iau cele mai mici diviziuni care se pot citi pe aparatele cu care au fost măsurate. Pentru constantele din aceste relații, erorile absolute maxime se iau ținând seama de cifrele semnificative cu care au fost date. Rezultatele obținute în urma determinărilor și a calculului erorilor vor fi trecute într-o tabelă de forma:

	$m_1$ (kg)	$m$ (kg)	$d_o$ (mm)	$d$ (mm)	$K$ (J/k)	$\varepsilon_K$ %	$\varepsilon_A$ %	$\varepsilon_B$ %	$\varepsilon_c$ %	$\delta c$ (J/kgK)	$\delta k$ (J/K)	$c \pm \delta c$ (J/kgK)
Apa												
Lichid												

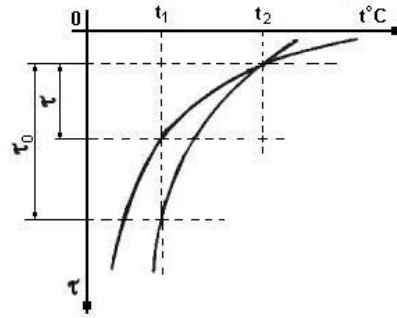


Fig. 2