

### DETERMINAREA CĂLDURII SPECIFICE A UNUI CORP SOLID

#### Considerații teoretice

O porțiune limitată din univers compusă dintr-un număr mare de particule, se numește sistem macroscopic.

Mărimile macroscopice care prin care se caracterizează un sistem, precum și comportarea sa față de mediul înconjurător, se numesc parametri macroscopici. Parametrii macroscopici pot fi *externi* și *interni*. Parametrii externi sunt mărimile macroscopice determinate de poziția corpurilor exterioare sistemului, care nu intră în sistem. Acești parametri depind de coordonatele corpurilor exterioare, de exemplu: volumul unui sistem, intensitatea unor câmpuri de forțe exterioare etc.

Parametrii interni sunt mărimile fizice determinate de mișcarea și distribuția în spațiu a particulelor constituente ale sistemului. De exemplu, presiunea, temperatura, energia, magnetizarea etc.

Parametrii interni depind și de mărimile parametrilor externi, din cauză că distribuția particulelor constituente ale sistemului depinde de distribuția corpurilor exterioare acestora.

Starea unui sistem fizic este complet determinată de un număr de parametri independenți. Atunci când toți parametrii independenți ce caracterizează starea unui sistem sunt constanți, se zice că sistemul se află în echilibru termodinamic. Parametrii care caracterizează starea de echilibru termodinamic a sistemului, se numesc parametri termodinamici.

Un parametru important care caracterizează starea unui sistem fizic este energia, care se definește ca fiind măsura generală a unei mișcări materiale (mișcare mecanică, mișcare termică, mișcarea microparticulelor etc.).

Energia totală a unui sistem se compune din energie externă și energie internă. Energia externă cuprinde energia de mișcare a sistemului ca întreg și energia acestuia într-un câmp de forțe.

Energia internă a sistemului cuprinde energia tuturor formelor de mișcare și de interacțiune dintre particulele constituente: energia mișcării de translație și de rotație a moleculelor, energia mișcării de vibrație a atomilor, energia interacțiunii moleculare, energia intraatomică, energia intranucleară etc.

Atunci când un sistem termodinamic interacționează cu mediul înconjurător, are loc un schimb de energie. Energia poate fi schimbată cu mediul exterior, fie cu variația parametrilor externi, fie fără variația acestor parametri. Cantitatea de energie schimbată de sistem numai cu variația parametrilor externi se numește lucru mecanic  $L$ , iar cantitatea de energie schimbată de sistem fără variația parametrilor externi se numește cantitatea de căldură  $Q$ . Rezultă deci, că în timp ce lucrul mecanic cheltuit poate să ducă la creșterea unei energii de orice tip (potențială, electromagnetică etc.), căldura duce

numai la creșterea energiei interne a sistemului. Lucru mecanic și cantitatea de căldură sunt deci două moduri diferite de transmitere a energiei și caracterizează transformarea unui sistem fizic dintr-o stare de echilibru termodinamic în altă stare de echilibru termodinamic.

Din această cauză nu are sens să se vorbească de cantitatea de căldură a unei stări de echilibru. Deci, cantitatea de căldură nu este o funcție de stare, ci o funcție de transformare. Cantitatea de căldură, având dimensiunile unei energii, se măsoară cu aceleași unități ca și aceasta: erg-ul sau joule-ul (erg, J) sau cu unități tolerate; caloric (cal) kilocaloria (kcal). Transformarea între unități se face folosind echivalentul mecanic al caloriei:

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal} &= 4,18 \text{ J} \\ 1 \text{ kcal} &= 427 \text{ kgm} \end{aligned}$$

*Caloria se definește ca fiind cantitatea de căldură necesară unui gram de apă distilată să-și ridice temperatura cu 1°C între 19,5 și 20,5°C.*

Se numește căldură specifică cantitatea de căldură necesară unității de masă pentru a-și ridica temperatura cu 1°C într-o transformare dată. Dacă notăm cu  $Q$  cantitatea de căldură dată masei  $m$  pentru a-i ridica temperatura cu  $\Delta t$  grade, atunci căldura specifică se definește:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} \quad (1)$$

Cum  $\Delta t$  este un interval finit de temperatură, căldura specifică definită cu relația (1) se consideră căldură specifică medie pe intervalul de temperatură respectiv. Dar se definește și o căldură specifică pentru un interval infinitesimal de temperatură prin relația:

$$c = \frac{\delta Q}{dT} \frac{1}{m} \quad (2)$$

Cum noțiunea de cantitate de căldură are sens numai pentru o transformare anumită, și căldură specifică are sens pentru o transformare anumită. Așa, de exemplu, în cazul gazelor se poate vorbi de căldura specifică la volum constant  $c_v$  și căldura specifică la presiune constantă  $c_p$ , acestea fiind diferite între ele. În cazul solidelor, în condiții obișnuite avem:  $c_v \cong c_p \cong 0$  (variațiile de volum fiind mici). Se mai obișnuiește ca în loc să se raporteze căldura specifică la unitatea de masă, să se raporteze la masa unui mol dintr-o substanță, numindu-se căldura molară. Relația dintre căldura specifică și căldura molară este următoarea:

$$C = \mu c \quad (3)$$

unde  $\mu$  este masa unui mol dintr-o substanță considerată.

Mărimea  $mc = \frac{Q}{\Delta t}$  se numește capacitate calorică a corpului de masă  $m$ .

Teoretic se arată că pentru temperaturi obișnuite (în jurul temperaturii camerei), căldurile specifice la gaze, lichide și solide sunt constante, în timp ce la temperaturi suficient de joase ele variază cu temperatura la puterea a treia. Acest lucru este confirmat de experiență în mod satisfăcător. Deci, prezintă importanța în ce domeniu de temperaturi se fac măsurătorile de călduri specifice.

Capitolul din fizică în care se studiază diferitele metode de măsură a cantităților de căldură și a căldurilor specifice se numește calorimetrie. La baza calorimetriei stau următoarele principii:

a. *Principiul echilibrului termic*

Mai multe corpuri cu temperaturi diferite formând un sistem izolat, dacă sunt puse în contact, după un timp oarecare, vor ajunge toate la aceeași temperatură.

b. *Principiul egalității schimbului de căldură*

Când se efectuează un schimb de căldură între două sisteme de corpuri, există totdeauna egalitate între căldura cedată de un sistem de corpuri și căldura primită de celălalt sistem.

c. *Principiul egalității cantităților de căldură ce intervin în fenomenele inverse.*

Când un fenomen se petrece într-un sens cu absorbția unei cantități de căldură, la fenomenul invers se va degaja aceeași cantitate de căldură. Adică încălzind un corp cu un număr de grade, el va absorbi o cantitate de căldură egală cu aceea pe care o degajă când se răcește cu același număr de grade.

Aparatele care se folosesc pentru determinarea căldurilor specifice ale diferitelor sisteme fizice se numesc calorimetre. Au fost concepute mai multe feluri de calorimetre, ținându-se seama de faza în care se găsește corpul (gaz, lichid, solid) a cărui căldură specifică se determină și de domeniul de temperaturi în care se fac măsurătorile.

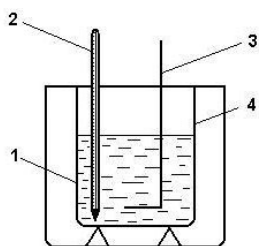


Fig. 1

În principiu cel mai simplu calorimetru este schițat în figura 1. El este format dintr-un vas metalic 1 în care se găsește un lichid oarecare. În acest vas se găsește un termometru 2 și un agitator 3 care trec prin capacul vasului. Vasul 1 este introdus în alt vas, 4, astfel că între ele se află un strat de aer izolator termic ce are rolul de a împiedica pierderea căldurii prin transmisie (aerul transmite mai greu căldura) în timpul experienței. Pentru diversele tipuri de calorimetre de la care se cere mare precizie, se acordă o deosebită atenție izolării termice care se asigură prin diferite metode. În scopul împiedicării pierderilor de căldură în exterior prin radiație termică, partea exterioară a vasului 1, precum și partea interioară a vasului 4 se nichelează pentru a deveni perfect reflectătoare. Pentru a împiedica pierderea unei cantități de căldură prin evaporarea apei din vasul 1 în timpul experienței, acestuia i se pune un capac.

Cu toate precauțiile ce se iau privitoare la izolarea termică, în realitate tot se pierde o cantitate de căldură în exterior, și, așa cum vom vedea, pentru a ține seama de acest lucru se fac așa numitele corecții calorimetrice. Pentru determinarea căldurii specifice a unui corp solid cu calorimetrul descris mai sus se folosește metoda amestecurilor, care se bazează pe cele trei principii ale calorimetriei. Ea constă în următoarele: considerăm un corp de masă  $m$  a cărui căldură specifică vrem să o măsurăm. Încălzim acest corp la o anumită temperatură finală  $t_f$ . După aceea îl introducem în lichidul din vasul 1 al calorimetrului, după ce, în prealabil, cu ajutorul termometrului 2, a fost citită temperatura inițială  $t_i$  la care se găsea vasul 1, lichidul din el, termometru (partea care se găsește în lichid) și agitatorul. După un timp oarecare conform primului principiu al calorimetriei, corpul a cărui căldură specifică o măsurăm, vasul 1, lichidul din el, agitatorul, partea din termometru ce se află în lichid, prin schimb de căldură între ele, ajung la aceeași temperatură  $\theta$ , care se numește temperatura amestecurilor. Conform celui de-al doilea principiu al calorimetriei, cantitatea de căldură cedată de corpul care a fost încălzit la temperatura  $t_f$  și care s-a răcit până la temperatura  $\theta$  trebuie să fie egală cu cantitatea de

căldură de corpurile care s-au încălzit de la temperatura inițială  $t_i$  până la temperatura amestecului  $\theta$ :

$$Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

unde:

$$Q_1 = m_o c (t_f - \theta) \quad (5)$$

$$Q_2 = (m_0 c_0 + m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3) (\theta - t_i) \quad (6)$$

cu următoarele notații:

$m_0, c_0$  – sunt masa, respectiv căldura specifică a apei din calorimetru (în cazul nostru, lichidul din calorimetru este apa pentru care  $c_0 = 4180 \text{ J/kgK}$ ;

$m_1, c_1$  – masa, respectiv căldura specifică a vasului calorimetric;

$m_2, c_2$  – masa, respectiv căldura specifică a agitatorului;

$m_3, c_3$  – masa, respectiv căldura specifică a părții din termometru care intră în apă.

Egalând relațiile (5) și (6) obținem pentru căldura specifică a corpului solid expresia:

$$c = (m_0 c_0 + K) (\theta - t_i) / m (t_f - \theta) \quad (7)$$

unde am notat cu  $K$  suma capacităților calorice ale vasului calorimetric cu accesorii, adică:

$$K = m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 \quad (8)$$

Mărimea  $K$  se mai numește și *echivalent în apă* al calorimetrului cu accesorii.

Dacă se pierde în exterior o cantitate de căldură, totul se petrece ca și când temperatura finală  $\theta$  la care ajunge amestecul ar fi mai mică cu  $\Delta t$ . Dacă se ține seama de această variație de temperatură, relația (7) devine:

$$c = (m_0 c_0 + K) (\theta + \Delta t - t_i) / m (t_f - \theta - \Delta t) \quad (9)$$

Se cunosc mai multe metode pentru determinarea corecției de temperatură  $\Delta t$ . Cea mai simplă este următoarea: înainte de a începe experiența, se ridică temperatura apei din vasul 1 cu câteva grade (2-3°C) deasupra temperaturii mediului ambiant și se notează această temperatură cu  $t_1$ . După citirea lui  $t_1$  se așteaptă un timp  $\tau_1$  minute (cam 5-10 min.) după care temperatura a scăzut la  $t_2$  datorită pierderilor de căldură în exterior. Atunci variația de temperatura pe minut la începutul experienței este:

$$\Delta_1 t = \frac{t_1 - t_2}{\tau_1} \quad (10)$$

După ce s-a terminat experiența, și anume, a fost citită temperatura  $\theta$  și a fost notat timpul  $\tau$  cât a durat experiența (de când s-a citit  $t_1$  și până s-a citit  $\theta$ ) se citește iarăși o temperatură  $t_4$ , după care se așteaptă din nou un timp  $\tau_2$  minute până ce temperatura a scăzut la  $t_5$ . Variația temperaturii pe unitate de timp la sfârșitul experienței va fi:

$$\Delta_2 t = \frac{t_4 - t_5}{\tau_2} \quad (11)$$

În general, în cursul experienței, pierderea de căldură în exterior și deci variația de temperatură corespunzătoare nu se face la fel în fiecare minut. Există metode de determinare a corecției la temperatură în fiecare minut al experienței. În metoda de față se consideră o variație medie de temperatură în fiecare minut al experienței. Acesta este dat de relația:

$$\Delta_3 t = \frac{\Delta_1 t + \Delta_2 t}{2} \quad (12)$$

Atunci variația de temperatură în tot timpul  $\tau$  cât a durat experiența și care apare în relația (9) va fi dat de expresia:

$$\Delta t = \frac{\Delta_1 t + \Delta_2 t}{2} \tau \quad (13)$$

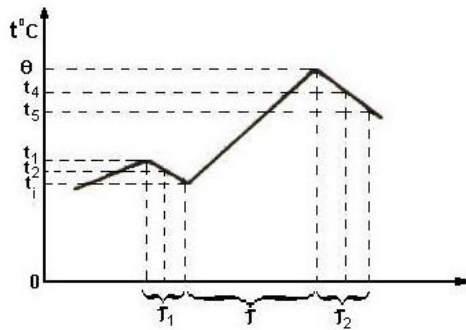


Fig. 2

Graficul din figura 2 reprezintă considerațiile făcute mai sus asupra determinării corecției de temperatură.

În experiența de față se va determina căldura specifică a unui corp solid care va fi încălzit până la temperatura  $t_f$  cu ajutorul unei etuve electrice.

### Descrierea aparatului

Instalația folosită în experiența de față este schițată în figura 3.

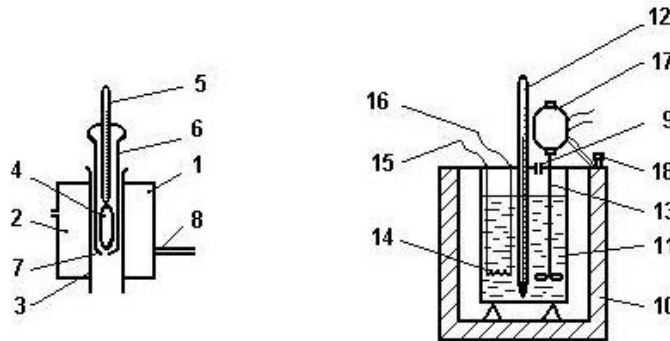


Fig. 3

Corpul solid a cărui căldură specifică se determină se încălzește până la temperatura finală  $t_f$  cu ajutorul unei etuve încălzită electric.

Pentru introducerea corpului încălzit în calorimetru se utilizează o altă etuvă 1.

Această etuvă este formată din doi cilindri 2 și 3 concentrici. În cilindrul 3 este introdus un alt cilindru ce sprijină corpul de studiat 4, în care se găsește un termometru 5. Cu ajutorul unui indicator 6 prins de parte de sus a acestui cilindru, orificiul 7 poate fi făcut mai mic sau mai mare, astfel încât corpul 4 să poată ieși prin partea de jos a etuvei. Când indicatorul se găsește în poziția de jos “auf”, orificiul 7 se deschide și corpul cade, iar când indicatorul se găsește în poziția “zu”, orificiul este închis și corpul rămâne în etuvă. Cu ajutorul tijei 8, etuva 1 poate fi transportată astfel încât partea de jos a ei să fie introdusă în orificiul 9 din capacul calorimetrului, ca să poată da drumul corpului încălzit direct în calorimetru. Și anume, după ce corpul a atins temperatura finală se scoate din etuva electrică și se introduce în etuva 1 care se manevrează cum am arătat mai sus.

Calorimetrul folosit în această experiență este constituit astfel: un vas metalic 10 cu pereții dubli între care se găsește apă ce contribuie la izolarea termică de mediul exterior și a cărei temperatură se măsoară cu ajutorul unui termometru. În acest vas se găsește al doilea vas metalic 11. Temperatura apei dintre pereții dubli se menține la anumite valori, după nevoie, cu ajutorul unui ultratermostat, care constituie calorimetrul propriu-zis. Stratul de aer dintre cele două vase contribuie de asemenea la izolarea termică față de

exterior. Prin capacul acestui vas sunt introduse un termometru 12, un agitator 13 și conductorii de legătură ai unei rezistențe încălzitoare 14, care se fixează la bornele 15 și 16. Agitatorul este rotit cu ajutorul unui motor electric 17 fixat de vasul calorimetric cu ajutorul unui șurub 18. Motorul agitatorului este alimentat de la o sursă de curent alternativ  $S$  de 220 V printr-un reostat  $R$  care se găsește într-o cutie (v. fig. 4). Reostatul este pus în legătură cu motorul prin intermediul unei prize de pe cutie. Rotația motorului este reglată cu ajutorul reostatului. Tot pe cutie se găsește un întrerupător cu ajutorul căruia se pornește sau se oprește motorul.

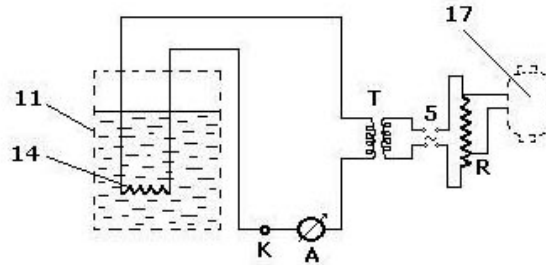


Fig. 4

Rezistența încălzitoare 14, care servește la determinarea echivalentului în apă al calorimetrului, se alimentează de la aceeași sursă de curent alternativ cu motorul agitatorului, dar prin intermediul unui transformator  $T$ . Cu ajutorul transformatorului, curentul care trece prin rezistențe se stabilește la o tensiune convenabilă ca rezistența să fie potrivit încălzită. Tensiunea  $V$  la bornele rezistenței se măsoară cu un voltmetru. În circuitul rezistenței încălzitoare se mai găsește un ampermetru  $A$  care indică intensitatea curentului ce trece prin circuit și un întrerupător  $K$ , cu ajutorul căruia se poate întrerupe circuitul rezistenței încălzitoare.

## Modul de lucru

În experiența de față se determină căldura specifică a mai multor corpuri solide după ce în prealabil a fost determinat echivalentul în apă al calorimetrului cu accesorii. Căldura specifică nu se determină folosind relația (9).

Capacitatea calorică  $K$  a calorimetrului cu accesorii se determină în felul următor: cantitatea de căldură cedată de rezistența încălzitoare se exprimă folosind legea lui Joule:

$$Q = V \cdot I \cdot \tau', \quad (14)$$

unde  $I$  este intensitatea curentului ce trece prin rezistența încălzitoare exprimată în amperi;  $V$  – tensiunea măsurată la bornele rezistenței încălzitoare (exprimată în volți);  $\tau'$  – timpul cât a trecut curent prin rezistență (secunde).

Folosind principiul egalității schimbului de căldură se pot scrie:

$$V \cdot I \cdot \tau' = (m_0 c_0 + K) (t_f - t_i) \quad (15)$$

unde am notat cu  $t_i$  și  $t_f$  respectiv temperatura inițială a calorimetrului cu apă și accesorii și temperatura acestuia după timpul  $\tau'$ .

Expresia lui  $K$  din (15) este data de relația :

$$K = (V \cdot I \cdot \tau') / (t_f - t_i) - m_0 c_0 \quad (16)$$

Succesiunea operațiilor este următoarea :

1. Se cântăresc corpurile ale căror călduri specifice se determină, notându-se masele lor, după care se introduc în etuva electrică ce se pune în stare de funcționare. Se așteaptă până ce corpurile se încălzesc la temperatura dorită ce poate fi citită pe termometrul etuvei.

2. Se pune în vasul calorimetric 11 o cantitate de apă de aproximativ 2 000 g, măsurată cu ajutorul unui cilindru gradat. Dacă în acest vas se găsește apa de la experiența anterioară, atunci se scot agitatorul cu motor, capacul cu termometru și rezistența încălzitoare, iar apoi vasul, care se golește și se umple din nou cu cantitatea dorită. Se așează apoi totul la loc, strângând bine șurubul 18 pentru ca agitatorul cu motor să nu vibreze.

3. Se procedează apoi la determinarea echivalentului în apă al calorimetrului. Se controlează la început cu ajutorul termometrelor 10 și 12 dacă apa dintre pereții dubli are aceeași temperatură cu apa din calorimetru. Aceasta pentru ca pierderile de căldură în timpul experienței să fie cât mai mici. În cazul în care termometrele arată temperaturi diferite se procedează la egalizarea lor cu ajutorul ultratermostatului. După aceasta se face legătura cu sursa de curent  $S$  având grijă ca întrerupătorul  $k$  să fie deschis, adică ampermetrul  $A$  să nu indice curent. Se pune apoi în funcțiune agitatorul cu ajutorul întrerupătorului de pe cutie.

4. După câteva minute se citește temperatura inițială a calorimetrului cu apă și accesorii  $t_i'$ .

5. Se închide circuitul rezistenței încălzitoare de la întrerupătorul  $k$  și exact în același timp se pornește un cronometru .

Se așteaptă să treacă un timp  $\tau'$  (cca.4-5 minute), după care se întrerupe circuitul rezistenței încălzitoare, oprind în același timp cronometrul.

6. Se citește temperatura  $t_f'$  și timpul  $\tau'$ . Introducând datele obținute în relația (16) se determină  $K$ . Se fac mai multe determinări ale acestei mărimi, iar în relația (9) se introduce valoarea medie a acestora .

7. Se determină variația de temperatură pe unitate de timp la începutul experienței. Pentru aceasta se citește o temperatură  $t_1$  pe care o are calorimetrul cu apa și accesorii (care este cu câteva grade mai ridicată decât a mediului ambiant) pornindu-se în același timp cronometrul. După un timp  $\tau_1$  minute se citește temperatura  $t_2$ , se oprește cronometrul și se citește timpul. Introducând datele obținute în relația (10) se determină  $\Delta_1 t$ .

Deoarece în urma relației de determinare a capacității calorice a calorimetrului apare o diferență de temperatură între apa din calorimetru și apa dintre pereții dubli ai acestuia, este necesar ca înainte de a începe experiența de determinare a căldurii specifice să se reducă această diferență de temperatură, cu ajutorul ultratermostatului, la o valoare minimă posibilă.

8. Când se constată că corpurile din etuva electrică au atins valori convenabile pentru temperatură (peste  $100^\circ \text{C}$ ), se pornește agitatorul și după câteva minute se citește temperatura inițială a calorimetrului cu accesorii  $t_i$  pe termometrul 12 (se va folosi o lupă pentru citirea temperaturilor).

9. Se scoate din etuva electrică unul din corpurile de studiat, se pune în etuva 1 și se introduce termometrul 5 în locașul său. Se aduce etuva 1 deasupra capacului calorimetrului și se potrivește ca partea de jos a ei să intre în orificiul 9 din capacul

