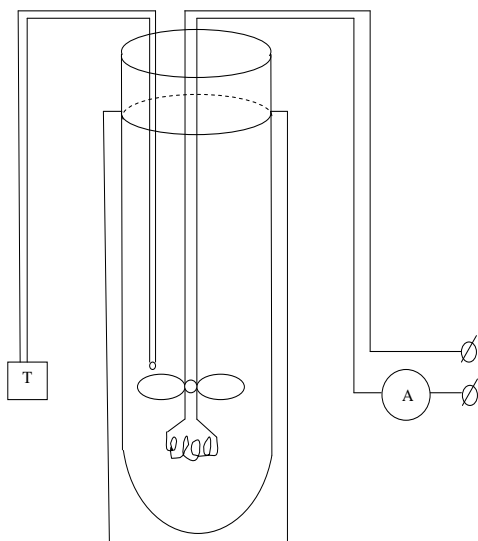


UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

LUCRARE DE LABORATOR

Determinarea căldurii specifice a lichidelor și solidelor

Îndrumar de laborator la fizică



Chișinău
2015

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Inginerie și Management în Electronică și
Telecomunicații
Catedra Fizică

LUCRARE DE LABORATOR
Determinarea căldurii specifice a
lichidelor și solidelor

Îndrumar de laborator la fizică

Chișinău
Editura „Tehnica-UTM”
2015

Îndrumarul de laborator este elaborat în conformitate cu programele de studii la fizică pentru Universitatea Tehnică. Sunt formulate scopul și obiectivele lucrării și este prezentat succint materialul teoretic la tema studiată. De asemenea, sunt formulate întrebări de control, al căror răspuns necesită minimul de cunoștințe necesare pentru admiterea studenților la efectuarea lucrării de laborator.

Îndrumarul este destinat studenților tuturor specialităților, secțiilor la zi și cu frecvență redusă.

Autori: conf. univ., dr. A. Rusu
lector superior C. Pîrțac
lector superior S. Gutium

Recenzent: conf. univ., dr. S.Rusu

Lucrarea de laborator nr. 13c

Determinarea căldurii specifice a lichidelor și solidelor

Scopul lucrării: determinarea căldurii specifice a unui lichid sau solid.

Obiective: în urma efectuării acestei lucrări studenții vor fi capabili:

- să definească noțiunile de energie internă, cantitate de căldură, capacitate calorică a unui corp și căldură specifică (molară);
- să stabilească relațiile dintre capacitățile calorice;
- să definească stările și procesele de echilibru (cvasistatice) și de neechilibru;
- să explice metoda de determinare experimentală a capacității calorice a sistemului considerat și să deducă formula (12);
- să explice metoda de determinare experimentală a căldurii specifice a unui lichid sau solid și să deducă formula (18);
- să explice cum se ține seama de pierderile de căldură în timpul experimentului;
- să explice modul de realizare a procesului cvasistatic de încălzire în experiment;
- să achiziționeze valorile experimentale ale temperaturii sistemului la încălzirea lui peste intervale egale de timp;
- să construiască și să explice graficul dependenței variației temperaturii Δt° de intervalul de timp t și după punctele experimentale prin metoda celor mai mici pătrate, să determine la calculator panta dreptei obținute în cazul încălzirii sistemului, să determine capacitatea calorică a sistemului C_s ;
- să determine eroarea standard $\Delta_s C_s$ a capacității calorice;

- să repete experimentul de $n \geq 5$ ori pentru substanța studiată și să determine căldura specifică c_x a lichidului sau solidului studiat, precum și eroarea standard a acesteia pentru diferite niveluri de încredere.

Materiale și accesorii: calculator, soft pentru procesarea datelor experimentale, electrocalorimetru, termometru digital interfațat calculatorului, cântar, lichid sau solid de studiat, ampermetru.

Considerații teoretice și experimentale

Se numește energie internă U a unui corp suma energiilor cinetice și potențiale ale tuturor particulelor acestuia. Există două posibilități de a varia energia internă a unui corp: 1) efectuând un lucru mecanic asupra corpului și 2) prin schimb termic (conductibilitate termică, convecție și schimb termic prin radiație). Variația energiei interne a unui corp ca rezultat al schimbului termic se numește cantitate de căldură Q primită sau cedată de acest corp în procesul considerat. În practică, cantitatea de căldură Q comunicată unui corp se calculează cunoscând capacitățile calorice caracteristice corpului: capacitatea calorică a corpului C_c , căldura specifică c , căldura molară C .

Capacitate calorică a unui corp C_c se numește cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi corpul cu $1K$. Astfel, dacă pentru a încălzi corpul cu ΔT se cheltuiește cantitatea de căldură Q , atunci:

$$C_c = Q/\Delta T . \quad (1)$$

Cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi o unitate de masă (1 mol) de substanță cu 1 K se numește căldură specifică c (căldură molară C). Din aceste definiții rezultă:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}; C = \frac{Q}{\nu\Delta T} = \frac{Q}{m/M\Delta T}, \quad (2)$$

unde ν este numărul de moli și M este masa unui mol de substanță. C_c , c , și C se măsoară în SI în J/K și, respectiv, în J/(kg·K) și J/(mol·K). După cum se observă din formulele (1) și (2), cantitatea de căldură primită sau cedată de un corp poate fi calculată cu una din formulele:

$$Q = C_c \Delta T; \quad Q = cm \Delta T; \quad Q = C \nu \Delta T. \quad (3)$$

Din aceste relații rezultă că cele trei capacități calorice sunt legate între ele:

$$c = C/M; \quad C_c = cm; \quad C_c = C m/M. \quad (4)$$

Trebuie de remarcat că orice proces real de încălzire sau de răcire constă dintr-o consecutivitate de stări de neechilibru. Stare de neechilibru a unui sistem se numește starea ce nu poate fi caracterizată prin valori determinate ale parametrilor termodinamici (presiune, temperatură, volum). Un proces de neechilibru nu poate fi realizat în sens invers, trecând prin aceleași stări

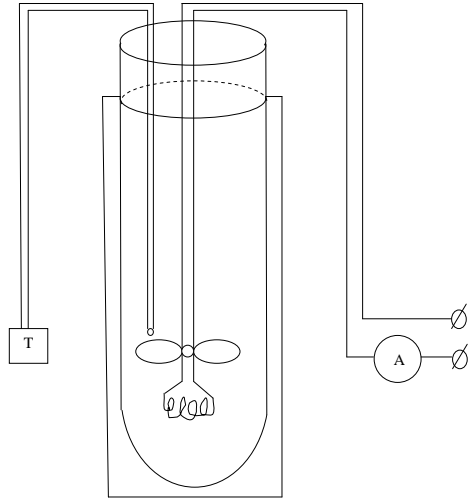


Fig. 1

ca și în procesul direct. De aceea, astfel de procese se numesc procese ireversibile. Pentru ca procesul să fie de echilibru, adică să fie constituit dintr-o consecutivitate de stări de echilibru, stări ce pot fi caracterizate prin valori determinate ale parametrilor termodinamici, este necesar ca procesul să fie foarte lent, adică să se producă cu o viteză foarte mică, în limită, infinit mică. Astfel se

obține un proces aproape de echilibru care se mai numește și proces cvasistatic.

Pentru determinarea căldurii specifice a unei substanțe lichide sau solide se poate utiliza un electrocalorimetru (*fig. 1*) compus dintr-un termos în care este introdus un încălzitor electric. În termos se introduce apă a cărei temperatură se măsoară cu ajutorul termometrului. Trecând prin încălzitor un curent de intensitatea I în timpul t , acesta degajă o cantitate de căldură Q , care conform legii lui Joule-Lenz este exprimată astfel:

$$Q = I^2 R t, \quad (5)$$

unde R este rezistența electrică a încălzitorului. Presupunând că această cantitate de căldură se consumă la încălzirea apei cu Δt° , se poate scrie:

$$Q = c m_0 \Delta t^\circ, \quad (6)$$

unde c este căldura specifică a apei, iar m_0 este masa ei. Dar formula (6) poate fi scrisă numai dacă întreg volumul apei are aceeași temperatură, adică dacă apa după încălzire timp de t s se va afla în stare de echilibru termodinamic. Echilibrul poate fi asigurat amestecând continuu apa încălzită cu ajutorul amestecătorului (*fig. 1*). Din formulele (5) și (6) se poate ușor determina c , întrucât mărimile $I, R, t, m_0, \Delta t^\circ$ pot fi măsurate în mod direct. Însă această metodă ar putea fi utilizată numai pentru estimarea valorii căldurii specifice a apei c , deoarece o parte din cantitatea de căldură (5) este absorbită de către termos, însăși încălzitorul, senzorul termometrului și dopul calorimetrului. Cantitățile de căldură (5) și (6) se pot considera egale numai dacă această parte este neglijabilă. Dacă această parte nu poate fi neglijată în comparație cu $c m_0 \Delta t^\circ$, atunci ea trebuie luată în seamă. Pentru rezolvarea acestei probleme reprezentăm cantitatea de căldură absorbită de către sistem în forma:

$$Q = c m_0 \Delta t^\circ + \Delta Q, \quad (7)$$

unde ΔQ este cantitatea de căldură absorbită de către termos, însăși încălzitorul, senzorul termometrului și dopul calorimetrului. Sistemul considerat este izolat termic. De aceea:

$$I^2 R t = c m_0 \Delta t^\circ + \Delta Q \quad (8)$$

De aici se observă că pentru determinarea căldurii specifice c trebuie să cunoaștem ΔQ ori să identificăm o metodă ce ar permite excluderea acestei mărimi. A pune problema determinării ΔQ nu are nici un sens. Într-adevăr, ΔQ poate fi reprezentat astfel:

$$\Delta Q = c_1 m_1 \Delta t^\circ + c_2 m_2 \Delta t^\circ + \dots,$$

unde c_1 și m_1 , c_2 și m_2 ș. a. m. d sunt căldurile specifice și, respectiv, masele termosului, încălzitorului etc., care nu se cunosc. Astfel rămâne un procedeu, și anume, cel de excludere a mărimii ΔQ din raționamentele noastre. Pentru aceasta nu este de ajuns o singură ecuație (8). Avem nevoie de două ecuații. Acestea pot fi obținute considerând diferite mase de apă în electrocalorimetru. Presupunem că în termos avem o cantitate m_0 de apă sau de alt lichid. Trecând prin încălzitor un curent de intensitatea I în timpul t , sistemul va primi cantitatea de căldură (5) care se consumă la încălzirea sistemului cu Δt° :

$$Q = C_s \Delta t^\circ, \quad (9)$$

unde C_s este capacitatea calorică a sistemului. Întrucât sistemul este izolat termic, obținem:

$$I^2 R t = C_s \Delta t^\circ. \quad (10)$$

De aici se poate determina C_s . Dar, cum? Dacă vom determina C_s direct din (10), riscăm să obținem un rezultat greșit, întrucât primele variații ale temperaturii sistemului se vor fixa numai după un interval de timp t_0 necesar pentru ca în sistem să înceapă un

proces cvasistatic de încălzire datorită agitării apei din calorimetru. Astfel, sistemul va avea o anumită inerție, ceea ce va duce la apariția unei erori sistematice la măsurarea intervalului de timp t care poate afecta valoarea determinată a mărimii C_s . Trebuie, deci, să identificăm o metodă ce ar permite excluderea influenței erorii sistematice. Astfel de metodă există și constă în următoarele. Efectuăm un șir de măsurări ale variației temperaturii sistemului cu Δt° și a intervalului de timp t în care are loc această variație. Conform relației (10), variația temperaturii trebuie să fie:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_s} t, \quad (11)$$

dacă sistemul nu posedă inerție, adică întârziere în indicarea datelor pentru Δt° . Dar inerția, după cum am menționat, există. De aceea, relația (11) va avea forma:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_s} t + b_0, \quad (12)$$

unde b_0 este o constantă corespunzătoare intervalului de timp t_0 de întârziere a apariției indicațiilor variației temperaturii din cauza inerției termice a sistemului, dar și din cauza unor eventuale erori sistematice comise la măsurarea mărimilor Δt° și t (fig. 2). Relația (12) reprezintă o dependență liniară de tipul:

$$Y = p_0 X + b_0, \quad (13)$$

unde $Y = \Delta t^\circ$, $p_0 = I^2 R / C_s$ și $X = t$. Astfel, construind graficul dependenței (13) (fig. 2) și determinându-i panta p_0 , vom putea determina capacitatea calorică a sistemului:

$$C_s = I^2 R / p_0. \quad (14)$$

Valoarea determinată astfel a capacității calorice a sistemului C_s nu va mai fi afectată de inerția sistemului, ceea ce nu se poate

spune despre valoarea determinată direct din formula (11). Influența inerției sistemului mai poate fi exclusă și altfel, și anume, deplasând originea de măsurare a timpului. Pentru aceasta inițiem încălzirea sistemului și numai peste 40-60 s începem măsurarea temperaturii atunci când se stabilește procesul cvasistatic de încălzire a sistemului. Ca rezultat trebuie să se obțină un grafic asemănător celui din *fig. 3*, dacă la măsurarea variației temperaturii și timpului nu se comit erori sistematice. Întrucât acest aspect al experimentului nu se cunoaște anticipat, se va considera $b_0 \neq 0$. Măsurarea temperaturii

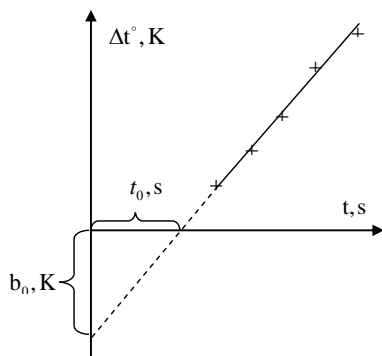


Fig. 2

sistemului t° se va realiza peste intervale consecutive egale de timp Δt , termometrul digital având această posibilitate. Astfel, $Y = \Delta t^\circ = t_{N_0}^\circ - t_0^\circ$, iar $X = t = N_0 \Delta t$, unde N_0 este numărul de măsurări ale temperaturii. Pentru a putea determina valoarea medie a mărimii C_s și eroarea standard a acesteia, este necesar să repetăm experiența de mai multe ($N \geq 5$) ori în aceleași condiții.

Pentru ca experiența să se realizeze în aceleași condiții, înlocuim apa deja caldă de masa m_0 cu altă masă de apă $m + m_0$ sau o masă de apă m_0 și un corp de masa

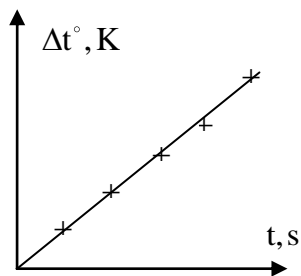


Fig. 3

m , căldura specifică a căruia se măsoară. Trecând prin încălzitor un curent de aceeași intensitate I ca și în cazul precedent, în loc de (10) avem:

$$I^2 R t = C_s \Delta t^\circ + c_x m \Delta t^\circ. \quad (15)$$

De aici, ținând seama de inerția termică a sistemului și de eventualele erori sistematice la măsurarea mărimilor Δt° și t , se obține în locul formulei (12) relația:

$$\Delta t^\circ = \frac{I^2 R}{C_s + c_x m} t + b. \quad (16)$$

Construind graficul acestei dependențe liniare a variației temperaturii Δt° de mărimea $X = t$, vom putea determina panta acesteia p , care conform relației (16) este legată cu mărimile C_s și c_x prin relația:

$$p = \frac{I^2 R}{C_s + c_x m}. \quad (17)$$

Ținând seama că $p_0 = \frac{I^2 R}{C_s}$, obținem:

$$c_x = \frac{I^2 R}{m} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_0} \right). \quad (18)$$

Graficul dependenței (16) trebuie construit de mai multe ori ($n \geq 5$) în aceleași condiții pentru a avea posibilitatea determinării valorii medii a mărimii c_x , precum și a erorii standard a acesteia.

În continuare vom analiza mai detaliat presupunerile făcute la deducerea relației pentru determinarea căldurii specifice c_x :

1. În primul rând am presupus că în relațiile (12) și (16) capacitățile calorice C_s și $C_s + c_x m$ nu depind de temperatura t° . În caz contrar dependența dintre Δt° și t și-ar pierde caracterul său linear și nu s-ar putea aplica raționamentele expuse mai sus. În pofida faptului că pentru orice substanță căldura specifică c_x depinde de temperatură, metoda utilizată permite determinarea ei și

chiar stabilirea dependenței acesteia de temperatură. Pentru aceasta trebuie ales un astfel de interval de temperaturi, încât nici una din dependențele (12) și (16) să nu fie afectate. Pentru unele substanțe, dependența căldurii specifice de temperatură este atât de lentă, cum este de exemplu pentru apă, încât variația căldurii specifice cu variația temperaturii se află în limitele erorilor experimentului. Totuși, intervalul de temperaturi Δt° , chiar și în acest caz, trebuie luat cât mai mic posibil, întrucât în afară de lichid în sistem mai intră termosul, încălzitorul, senzorul termometrului și dopul, ale căror capacități calorice pot depinde mai puternic de temperatură. Astfel, cu cât mai mic va fi intervalul de temperaturi Δt° , cu atât mai mică va fi variația capacităților calorice C_s și $C_s + c_x m$ și mai liniare vor fi dependențele (12) și (16). În instalația de măsurare se utilizează un termometru digital interfațat calculatorului ce permite măsurarea temperaturii cu precizia de 0,04 K. De aceea, se pot utiliza pentru măsurări intervale destul de mici de temperaturi, de exemplu de 1-2 K. Acum este clar că pentru stabilirea dependenței căldurii specifice de temperatură, intervalul investigat de temperaturi trebuie divizat într-un număr de intervale mai mici, determinând c_x pentru fiecare din ele. Numărul de intervale se determină din condiția ca în fiecare din aceste intervale dependențele (12) și (16) în limitele erorilor experimentului să fie liniare.

2. În al doilea rând, am presupus că sistemul este perfect izolat termic. Însă a obține în practică un sistem perfect izolat este aproape imposibil. Astfel, pe parcursul experimentului vor avea loc pierderi de căldură, care trebuie luate în seamă. Aceasta se poate face introducând corecții la valorile pantelor dreptelor (12) și (16). Dacă nu se vor lua în calcul pierderile, aceasta va conduce la subestimarea valorilor pantelor dreptelor p_0 și p . Pierderile de căldură sunt proporționale cu temperatura și ele trebuie să depindă și de masa de substanță din termos. Circumstanțele menționate arată că aceste corecții trebuie să fie

diferite. Notăm corecțiile prin δp_0 și, respectiv, prin δp . Acum formula (18) va capăta forma:

$$c_x = \frac{I^2 R}{m} \left(\frac{1}{p + \delta p} - \frac{1}{p_0 + \delta p_0} \right). \quad (19)$$

Corecțiile δp_0 și δp pot fi determinate în felul următor. După terminarea procesului de încălzire a sistemului, se studiază procesul de răcire a sistemului, inițiindu-se procesul de măsurare a temperaturii lui peste intervale consecutive egale de timp Δt și se construiește graficul dependenței $Y = \Delta t^\circ = t_0^\circ - t_{N_0}^\circ$ de $X = t = N_0 \Delta t$, unde t_0° este temperatura inițială a sistemului. Panta acestei drepte va fi δp_0 sau δp , după caz. În cazul când experimentul se efectuează cu apă la temperaturi apropiate de temperatura laboratorului, pierderile de căldură pot fi neglijate, acestea fiind foarte mici. Absența sau prezența pierderilor de căldură poate fi observată la măsurarea temperaturii sistemului după terminarea procesului de încălzire.

Dacă temperatura apei încălzite din termos spre sfârșitul experienței nu depășește temperatura camerei mai mult decât cu $20^\circ C$ și termosul este bine izolat termic, pierderile de căldură sunt nesemnificative și pot fi neglijate. În această situație măsurările se vor efectua conform Variantei I (vezi Fișa de lucru).

În cazul dacă temperatura apei încălzite din termos depășește temperatura camerei mai mult decât cu $20^\circ C$, apar pierderi de căldură, care pot fi considerabile, de aceea pot influența semnificativ rezultatele măsurărilor. În această situație măsurările se efectuează conform Variantei II (vezi Fișa de lucru).

3. În al treilea rând, am presupus că temperatura în fiecare punct al lichidului în fiecare moment de timp este aceeași ca și în locul unde se află senzorul termometrului. Aceasta înseamnă că încălzirea lichidului este uniformă. O încălzire poate fi uniformă numai dacă ea este lentă, fiind însoțită de o amestecare continuă a lichidului. Numai în acest caz căldura va avea timp pentru a putea

fi absorbită nu de unele părți ale lichidului, ci de întregul sistem. Un proces uniform de încălzire se poate realiza, alegând o valoare adecvată a intensității curentului I ce parcurge încălzitorul. Astfel ajungem la concluzia că în instalația de măsurare procesul de încălzire trebuie să fie un proces cvasistatic. Însă încălzitorul, reprezentând sursa de căldură nu poate ceda căldură instantaneu. Pentru aceasta este nevoie de un anumit interval de timp. În afară de aceasta, căldura cedată de încălzitor este proporțională cu temperatura lui. La început temperatura lui este egală cu temperatura mediului și acesta nu cedează căldură. Cu timpul, temperatura lui crește și încălzitorul începe a ceda căldură, dar această căldură deocamdată nu este egală cu $I^2 Rt$. În acest timp are loc încălzirea substanței încălzitorului. Numai când temperatura încălzitorului atinge o valoare determinată (această valoare depinde de forma și dimensiunile încălzitorului, precum și de rezistența lui electrică) în sistem se stabilește un echilibru dinamic: cantitatea de căldură degajată de rezistența R ($I^2 Rt$) este egală cu cantitatea de căldură cedată sistemului de către încălzitor. În afară de aceasta, există și inerția altor părți ale sistemului. Inerția totală a sistemului se manifestă într-o întârziere temporală a indicațiilor termometrului. Matematic aceasta se reflectă prin apariția în formulele (12) și (16) a termenilor liberi b_0 și b care și reprezintă manifestările întârzierilor menționate. Dar pantele dreptelor (12) și (16) și, prin urmare, valorile capacităților calorice C_s , $C_s + c_x m$ și c_x nu depind de b_0 și b . Totuși, pentru ca procesul de încălzire să fie destul de lent (cvasistatic), iar formula de lucru (18) să fie valabilă, experimentul trebuie să fie efectuat numai după stabilirea procesului cvasistatic de încălzire (*fig. 3*).

Erori întâmplătoare

Dacă graficele dependențelor (12) și (15) se construiesc la calculator utilizând metoda celor mai mici pătrate, atunci și erorile standard ale pantelor $\Delta_s p_0$ și $\Delta_s p$, precum și a termenilor liberi

$\Delta_s b_0$ și $\Delta_s b$ se vor determina folosind aceeași metodă. Eroarea standard a capacității calorifice a sistemului $\Delta_s C_s$ se va determina după formula:

$$\Delta_s C_s = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{n_0} (C_{si} - \bar{C}_s)^2} \quad (20)$$

În cazul căldurii specifice c_x se efectuează $n \geq 5$ măsurări indirecte ale acesteia. De aceea, eroarea standard a căldurii specifice se va calcula după formula generală pentru eroarea standard a mediei aritmetice:

$$\Delta_s c_x = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^n (c_{xi} - \bar{c}_x)^2} \quad (21)$$

Fișa de lucru

Varianta I

1. Cântăriți o masă m_0 de apă aflată mai devreme la temperatura camerei și turnați-o în termos, astfel încât aceasta să acopere încălzitorul, senzorul termometrului și agitatorul, dar să mai rămână loc pentru a putea adăuga mai târziu 100-150 g de apă.
2. Conectați termometrul digital la calculator, ampermetrul (voltmetrul) la instalația de măsurare și porniți calculatorul.
3. Conectați instalația de măsurare la sursa de alimentare și porniți agitatorul.
4. Accesați programul pentru achiziția și procesarea datelor, în fereastra **Foia de titlu** introduceți informația solicitată, apoi accesați butonul **Continuare**.
5. Ajungând la fereastra **Caracteristicile experienței**, completați punctele **1. Scopul experienței** și **2. Aparat și accesorii** în conformitate cu indicațiile metodice la lucrare. Citiți cu atenție punctul **3. Dependența studiată**, apoi accesați butonul **Continuare** și ajungeți la fereastra **Efectuarea lucrării**.

6. Aici introduceți mărimile cerute: **numărul de serii** de măsurări $N \geq 5$, **numărul de subserii** $n = 2$ (încălzire-răcire), **masa substanței** cercetate m , **rezistența încălzitorului** R măsurată anticipat. Bifați opțiunea **încălzitorul cu puterea 100%**, accesați butonul **On** și introduceți valoarea măsurată a intensității curentului I . Dacă în instalația de măsurare se utilizează un voltmetru, atunci intensitatea curentului se va calcula aplicând legea lui Ohm: $I = U/R$. Cu butonul **Off** deconectați încălzitorul.
7. Accesați butonul **Setings Com**, apoi din fereastra apărută **Setup** selectați opțiunea **Port Com3** și **OK**. Accesând butonul **Open Com**, conectați interfața termometrului la calculator.
8. Stabiliți un **interval de timp** Δt de 2-5 s peste care termometrul digital va fixa temperatura sistemului, alegeți opțiunea **încălzire** și cu butonul **On** conectați curentul prin încălzitor.
9. Accesând butonul **Start**, puteți urmări în partea stângă a ecranului calculatorului temperatura apei, care se află în creștere. Fără a opri încălzirea apei, după ce temperatura a crescut cu $2-3^\circ C$, accesați butonul **Restart**.
10. Stabiliți același **interval de timp** Δt ales, peste care termometrul digital va fixa temperatura sistemului, alegeți opțiunea **încălzire**, și accesați butonul **Start**.
11. Achiziționați 15-20 valori ale temperaturii, accesați butonul **Stop**, apoi **Calcule**. Construiți graficul dependenței (12) la calculator, calculați panta p_0 a dreptei obținute, precum și eroarea standard a acesteia $\Delta_s p_0$ prin metoda celor mai mici pătrate.
12. Repetați pașii 10, 11 încă de $2N-1$ ori, urmărind ca puterea încălzitorului (intensitatea curentului sau căderea de tensiune de pe rezistența încălzitorului) să rămână constantă pe tot parcursul experienței.
13. După calcularea rezultatelor ultimei măsurări, deconectați încălzitorul, accesând butonul **Off** de pe fereastra calculatorului și accesați butonul **Continuare**.

14. Oprii agitatorul și înlocuieți apa deja caldă din termos cu altă apă de masa cunoscută ($m_0 + m$) la temperatura camerei sau cu altă masă de apă m_0 și un corp de masa m , căldura specifică a căruia se caută.
15. Accesați butonul **Open_Com** și repetați punctele 6, 8-13. Deconectați agitatorul și accesați butonul **Continuare**.
16. La fereastra **Procesarea datelor** analizați datele din **4. Tabelul valorilor medii**. Dacă rezultatele sunt satisfăcătoare, accesați butonul **Accept** din **5. Prelucrarea datelor experimentale** și calculați cu formulele (14) și (18) valorile medii ale mărimilor C_s și c_x .
17. Accesați butonul **Accept** din **6. Calculul erorilor** și cu formulele (19) și (20) calculați erorile standard $\Delta_s C_s$ și $\Delta_s c_x$ ale mărimilor C_s și c_x , care corespund unui nivel de încredere de 68%. Analizați la indicația profesorului și alte niveluri de încredere.
18. Scrieți valoarea obținută a căldurii specifice și erorii standard în **7. Rezultatul final** și comparați-l cu valorile tabelare.
19. Accesați butonul **Concluzii** și formulați concluzii în urma investigațiilor.
20. Accesați butonul **Referat** pentru a salva referatul la lucrarea efectuată, după care ieșiți din program accesând butonul **Finis**.

Varianta II

1. Efectuați pașii 1-9 din varianta I.
2. Stabiliți același **intervalul de timp** Δt ales, peste care termometrul digital va fixa temperatura la încălzirea sistemului, alegeți opțiunea **încălzire** și accesați butonul **Start**.
3. Achiziționați 15-20 valori ale temperaturii, accesați butonul **Stop**, apoi deconectați încălzitorul, accesând butonul **Off** de pe ecranul calculatorului, agitatorul urmând să lucreze. Accesați butonul **Calcule** și construiți graficul dependenței (12) la

calculator, calculați panta p_0 a dreptei obținute, precum și eroarea standard a acesteia $\Delta_s p_0$, utilizând metoda celor mai mici pătrate.

4. Introduceți **intervalul de timp** Δt de 10 s, peste care termometrul digital va fixa temperatura la răcirea sistemului, alegeți opțiunea **răcire** și peste 2 -3 minute de la deconectarea încălzitorului accesați butonul **Start**.
5. Achiziționați 10-12 valori ale temperaturii, accesați butonul **Stop**, apoi **Calcule**. Dacă a avut loc micșorarea temperaturii, construiți la calculator un nou grafic al dependenței modulului variației temperaturii sistemului de timp în care a avut loc răcirea. Determinați panta acestei drepte δp_0 , care este corecția la valoarea p_0 , determinată la punctul 3 din varianta curentă, precum și eroarea standard a acesteia $\Delta \delta p_0$.
6. Accesând din nou butonul **On** al încălzitorului de pe ecranul calculatorului, conectați curentul prin încălzitor și așteptați 1-2 min. să se stabilească creșterea constantă a temperaturii.
7. Repetați pașii 2-5 ai variantei curente încă de $N-1$ ori, urmărind ca puterea încălzitorului (intensitatea curentului sau căderea de tensiune de pe rezistența încălzitorului) să rămână constantă pe tot parcursul experienței.
8. După calcularea rezultatelor ultimei măsurări deconectați încălzitorul, accesând butonul **Off** de pe ecranul calculatorului, apoi butonul **Continuare**.
9. Opriți agitatorul și înlocuiți apa deja caldă din termos cu altă apă de masa cunoscută ($m_0 + m$) la temperatura camerei sau cu altă masă de apă m_0 și un corp de masa m , căldura specifică a căruia se caută.
10. Accesați butonul **Open_Com** și repetați pașii 6 (varianta I) și 2-8 (varianta curentă).
11. În continuare urmați pașii 16-20 din Varianta I.

Întrebări de control

1. Definiți noțiunile de energie internă, cantitate de căldură, capacitate calorică a unui corp, căldură specifică și molară.
2. Stabiliți relațiile dintre capacitățile calorice, reieșind din definițiile acestora.
3. Prin ce se deosebește căldura specifică a substanței de căldura ei molară?
4. Definiți starea de neechilibru și procesul de neechilibru.
5. Definiți starea de echilibru și procesul quasistatic.
6. De ce procesul de neechilibru este ireversibil?
7. Din ce este compus electrocalorimetrul?
8. Cum se măsoară în această lucrare căldura primită de către apă? Formulați legea lui Joule-Lenz.
9. De ce căldura specifică c a apei din calorimetru nu poate fi determinată din relația $cm_0\Delta t^\circ = I^2Rt$?
10. Ce reprezintă mărimea ΔQ în ecuația $Q = cm_0\Delta t^\circ + \Delta Q$?
11. Ce reprezintă relația $I^2Rt = C_s\Delta t^\circ$, în ce condiții este valabilă?
12. De ce capacitatea termică a sistemului C_s nu se poate determina direct din relația $I^2Rt = C_s\Delta t^\circ$?
13. Cum se poate determina C_s ?
14. Cum pot fi eliminate eventualele erori sistematice la determinarea mărimii C_s ?
15. Cum poate fi interpretat faptul că graficul dependenței creșterii temperaturii de timp nu trece prin originea sistemului de coordonate?
16. De ce este nevoie să fie înlocuită apa încălzită deja din termos cu o nouă cantitate de apă cu masa cunoscută, care are temperatura camerei?
17. Explicați metoda, cu ajutorul căreia se determină căldura specifică a substanței cercetate c_x .

18. Dacă sunt pierderi de căldură, pantele dreptelor p_0 și p sunt subestimate sau supraestimate?
19. Cum se determină corecțiile δp_0 și δp la pantele p_0 și, respectiv, p ?
20. În ce condiții se pot neglija pierderile de căldură ale sistemului apă-termos?
21. Ce transformări de energie au loc în sistemul apă-termos în experiență? Dar în sistemul încălzitor-apă-termos?
22. La amestecarea apei are loc frecarea dintre apă și elicea agitatorului. Ce influență termică are acest proces asupra sistemului apă-termos?
23. De ce este nevoie să se aleagă un interval de timp mai mare pentru a măsura pierderile de căldură decât timpul necesar măsurării creșterii temperaturii sistemului?
24. Termometrul digital utilizat în experiență are o inerție mică și o precizie înaltă. De ce nu se admite o creștere mai mare a temperaturii într-un timp mai scurt?
25. Pentru măsurarea căldurii specifice a unor corpuri solide prin această metodă e mai bine ca ele să fie întregi sau fărâmițate? De ce?
26. Cum ar putea fi măsurată căldura specifică a uleiului de floarea-soarelui?

Bibliografie

1. A. Rusu, S. Rusu. Ciclul de prelegeri. **II. Bazele fizicii moleculare și ale termodinamicii**. Chișinău, Edit. "Tehnica-UTM", 2014, 117 p.
2. A. Rusu, S. Rusu, C. Pîrțac. Prelucrarea datelor experimentale. Îndrumar de laborator la fizică. Chișinău, Secția Redactare și Editare a U.T.M., 2012.

LUCRARE DE LABORATOR

Determinarea căldurii specifice a lichidelor și solidelor

Îndrumar de laborator la fizică

Autori: A. Rusu
C. Pîrțac
S. Gutium

Redactor: Eugenia Balan

Bun de tipar 18.06.2015
Hârtie ofset. Tipar RISO
Coli de tipar 1,25

Formatul 60x84 1/16
Tirajul 50 ex.
Comanda nr. 63

2004, U.T.M., Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168
Editura „Tehnica-UTM”
2068, Chișinău, str. Studenților, 9/9