

## 2. TEMPERATURA

Multe din mărimile macroscopice (volumul presiunea și temperatura, de exemplu) sunt legate direct de percepțiile simțurilor noastre spre deosebire de proprietățile microscopice dar pentru orice sistem mărimile macroscopice și cele microscopice trebuie să fie legate între ele, deoarece ele nu sunt decât moduri diferite de descriere a aceleiași situații. Împletirea punctului de vedere microscopic cu cel macroscopic este o caracteristică a fizicii moderne. În particular primele pot fi exprimate cu ajutorul ultimelor. Astfel, presiunea unui gaz văzută macroscopic este măsurată cu un manometru. Privită microscopic, ea este legată de vitezele pătratic medii ale moleculelor care ciocnesc unitatea de suprafață și care transferă impuls fluidului manometric. Analog, temperatura unui gaz măsurată cu termometrul poate fi legată de energia cinetică medie de translație a moleculelor.

Începem examinarea fenomenelor termice cu un studiu al temperaturii.

### 2.1. Echilibrul termic

Principiul zero al termodinamicii (sau al doilea postulat) este corelat cu alte proprietăți ale echilibrului termodinamic, permițând introducerea *temperaturii empirice* ca parametru de stare specific termodinamicii. Enunțul principiului zero rezultă din generalizarea unor concluzii rezultate din experiență.

Pentru început vom încerca să înțelegem sensul noțiunii de echilibru termic și de temperatură. Vom considera pentru aceasta două sisteme termodinamice A și B aflate fiecare dintre ele în mod independent în stare de echilibru caracterizate de presiunile și volumele celor două sisteme.

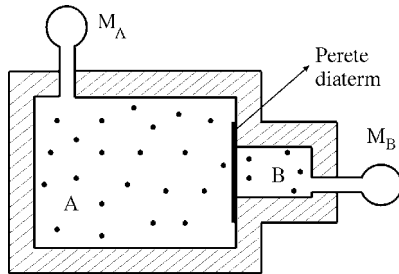


Fig.2.1 Echilibrul termic între două sisteme A și B despărțite printr-un perete diaterm.

Punem în contact aceste sisteme, astfel încât fiecare să poată acționa asupra celuilalt, dar ambele izolate de mediul înconjurător. Peretele diaterm împiedică schimbul de masă dintre cele două sisteme și orice interacțiune mecanică, electrică sau magnetică; în schimb lasă să treacă căldura.

În momentul cuplării sistemului A cu B se constată că (A+B) nu este la echilibru dar tinde și atinge starea de echilibru după un anumit timp conform principiului general al termodinamicii. Echilibrul care se stabilește în sistemul (A+B) are loc în urma "interacțiunii" dintre A și B prin peretele diaterm.

Această interacțiune nu este nici datorită reacțiilor chimice, nici datorită transferului de masă, nici datorită interacțiunii mecanice, nici datorită interacțiunii electrice; este o interacțiune de tip nou - *interacțiune termică*.

Această interacțiune este responsabilă pentru trecerea sistemului compus (A+B) către o stare de echilibru atât pentru A cât și pentru B în comparație cu stările lor inițiale. Interacțiunea termică se mai numește și *schimb de căldură*, constituind un mod special de transmitere de energie între sistemele A și B. Echilibrul care se stabilește în sistemul (A+B) se numește **echilibrul termic**.

Mărimile de stare ale ambelor sisteme aflate în echilibru termic nu mai sunt independente unele de altele, între ele existând o legătură funcțională:  $f(A,B)=0$ ,  $f$  fiind de fapt o “măsură” a dezechilibrului sistemului AUB. Forma funcției depinde numai de natura celor două sisteme și ar putea fi determinată printr-un număr mare de experimente, în care, pornind de la diverse stări inițiale ale ambelor sisteme se observă atingerea echilibrului termic.

## 2.2. Tranzitivitatea echilibrul termic. Principiul zero al termodinamicii.

### 2.2.1. Tranzitivitatea echilibrul termic

Să considerăm acum două sisteme A și B separate printr-un perete adiabetic, fiecare dintre ele aflându-se în contact cu un al treilea sistem C, prin intermediul unor pereți diatermici, întregul sistem fiind într-un înveliș adiabetic, la echilibru.

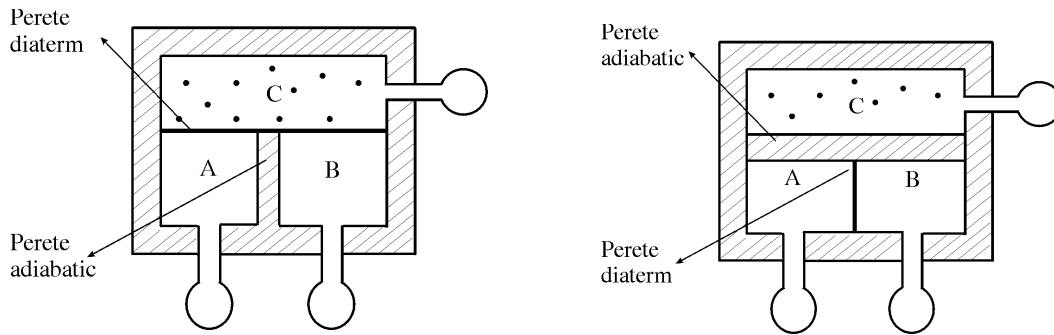


Fig.2.2. a)

b)

Deci între A și B nu există schimb de căldură. Fiecare dintre sisteme sunt inițial în echilibru. Între A și C și respectiv B și C este permis schimbul de căldură (Fig.2.2 a). Experiența arată că A și B vor atinge echilibrul termic cu C și nu va apare nici-o modificare a presiunii dacă peretele adiabetic dintre A și B este înlocuit cu unul diaterm (Fig. 2.2.b). Sau, altfel spus, dacă admitem realizarea echilibrului termic pe rând între A și C și respectiv B cu C, atunci când A și B se aduc în contact prin peretele diaterm se constată că de fapt ele sunt în echilibru termic între ele.

**Deci: două sisteme aflate în echilibru termic cu un al treilea, simultan sau succesiv, se află în echilibru termic și între ele.**

Matematic putem scrie astfel:

$$f(AUC)=0 \quad f(BUC)=0 \text{ implică } f(AUB)=0$$

Stările  $\sigma_A E \sigma_C$  (în echilibru), respectiv  $\sigma_B E \sigma_C$  (în echilibru), determină proprietățile:

- $\sigma_C E \sigma_A$  și  $\sigma_C E \sigma_B$ , relația de echilibru termodinamic este *simetrică*;
- $\sigma_A E \sigma_A$ ,  $\sigma_B E \sigma_B$  și  $\sigma_C E \sigma_C$  relația de echilibru termodinamic este *reflexivă*;

- dacă  $\sigma_A E \sigma_C$  și  $\sigma_B E \sigma_C$  atunci  $\sigma_A E \sigma_B$  relația de echilibru termic este *tranzitivă*.

*Proprietatea de tranzitivitate a echilibrului termic exprimă conținutul principiului zero al termodinamicii sau tranzitivitatea este o proprietate generală a echilibrului termic dintre stări.*

Principiul zero a fost enunțat pentru prima oară de Maxwell (1891) și s-a numit principiul zero din motive istorice, pentru că a apărut după ce se enunțase atât principiul I cât și principiul al II-lea (enunțate prima oară de Clausius).

Această discuție exprimă ideea că sistemele aflate în aceste stări posedă o proprietate care asigură condiția ca ele să fie în echilibru termic unele cu altele atunci când sunt puse în contact. Această proprietate se numește **temperatură empirică**.

*Temperatura unui sistem este o proprietate care determină dacă un sistem se află în echilibru termic cu alte sisteme, sau*

*Temperatura empirică reprezintă un parametru care permite compararea stărilor aflate la echilibru termic.*

### 2.2.2. Enunțuri echivalente ale principiului zero al termodinamicii

- Temperatura empirică este un alt anunț echivalent al principiului zero
- O formulare mai formală dar poate mai fundamentală a principiului zero este: există o mărime scalară numită temperatură, care reprezintă o proprietate a tuturor sistemelor termodinamice (în stări de echilibru), astfel încât egalitatea temperaturilor este o condiție necesară și suficientă pentru echilibrul termic. Esența principiului zero este : *există o mărime utilă numită "temperatură"*.
- Așadar, principiul zero permite definirea temperaturii ca o *mărime fizică măsurabilă*, prin asocierea *univocă* a unei valori numerice, fiecărei stări de încălzire a corpurilor. Ca urmare a introducerii temperaturii ca mărime care caracterizează starea internă a sistemului termodinamic se poate formula un alt enunț al principiului zero al termodinamicii:
- la echilibru, starea unui sistem termodinamic este determinată de cei  $n$  parametri externi și de temperatură,  $\sigma = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta)$ .

Este evident că notiunea de temperatură este lipsită de sens pentru sisteme care nu se afla la echilibru termic.

În general se admite că toți parametri interni  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , la echilibru sunt funcții de parametri externi  $x_1, x_2, \dots, x_n$  și de temperatură, adică

$$X_k = X_k(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) \quad 2.1$$

enunț echivalent al principiului zero al termodinamicii.

Acest enunț al principiului zero este valabil pentru o mărime de stare foarte importantă, *energia internă,  $U$  care la echilibru termodinamic se poate scrie:*

$$U = U(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) \quad 2.2$$

Sistemele termodinamice la echilibru termic supuse principiului zero al termodinamicii se numesc **sisteme ergodice**. Așadar, principiul zero al termodinamicii arată caracterul ergodic al sistemelor termodinamice.

O consecință foarte importantă a principiului zero al termodinamicii o constituie *axioma inaccesibilității izoterme: pot exista stări oricât de apropiate de o stare dată, care nu pot fi atinse printr-o transformare izotermă (izotermele nu se intersectează).*

Simțurile noastre pun în evidență proprietățile corpurilor de a fi mai calde sau mai puțin calde și permit stabilirea unei relații de ordine a acestor stări de încălzire. Aceste senzații dau numai informații calitative.

### 2.3. Măsurarea temperaturii. Scări de temperatură.

Caracterizarea obiectivă și cantitativă a stării de încălzire a corpurilor este posibilă, deoarece experiența a arătat existența unor corelații între schimbarea stării de încălzire semnalată de simțuri și modificarea unor proprietăți fizice ale corpurilor, cum ar fi: dilatarea corpurilor, creșterea presiunii unui gaz (la volum constant), creșterea volumului (la presiune constantă), rezistența electrică. Constatarea corelației între variația stării de încălzire și dilatarea lichidelor, a condus încă din timpul Renașterii la construcția unor dispozitive (termometre), care au permis ca prin măsurarea variației lungimii unei coloane de lichid să se determine variația stării de încălzire.

Oricare dintre aceste proprietăți poate fi folosită pentru construirea unui termometru adică pentru stabilirea unei scări particulare (empirice) de temperatură. Deci pentru a stabili o scară empirică de temperatură se alege o substanță termometrică particulară și o proprietate termometrică particulară a acestei substanțe. Apoi se definește scară temperaturilor presupunând o relație monotonă continuă între proprietatea termometrică aleasă și temperatura măsurată pe scara noastră particulară.

De exemplu, substanța termometrică poate fi un lichid într-un tub capilar de sticlă și proprietatea termometrică poate fi lungimea coloanei de lichid; sau substanța termometrică poate fi un gaz închis într-un vas și tinut la volum constant iar proprietatea termometrică presiunea gazului și mai pot fi o mulțime de alte exemple.

Este important însă să realizăm că fiecare alegere a substanței și a proprietății termometrice, împreună cu relația admisă sau presupusă între proprietate și temperatură, duce la o scară particulară (empirică) a temperaturilor ale căror indicații nu trebuie să concorde neapărat cu indicațiile date de alte scări de temperatură definite independent.

Să presupunem că am ales o substanță termometrică și reprezentăm prin  $X$  proprietatea termometrică pe care vrem să o folosim în stabilirea unei scări de temperaturi. Funcția  $\theta(X)$  este funcția termometrică iar forma ei determină scara de temperaturi. Măsurarea temperaturii presupune alegerea unei proprietăți termometrice care să aibă o variație cu temperatura cât mai simplă să spunem liniară:

$$\theta(X) = kX, \quad 2.3$$

unde  $k$  este o constantă care trebuie evaluată.

Prin alegerea formei liniare pentru funcția termometrică,  $\theta(X)$ , am fixat faptul că *diferențe de temperatură egale*, sau intervale de temperatură egale, *corespund la variații egale ale proprietății termometrice* ( $X$ ).

Aceasta înseamnă, de exemplu, că ori de câte ori lungimea coloanei de mercur din termometrul de sticlă cu mercur variază cu o unitate, temperatura variază cu o cantitate fixă bine definită, indiferent de temperatura de pornire. Rezultă de asemenea că două temperaturi măsurate cu același termometru, se află în același raport ca și valorile  $X$  corespunzătoare, adică:

$$\frac{\theta(X_1)}{\theta(X_2)} = \frac{X_1}{X_2} \quad 2.4$$

Pentru a determina constanta k și deci pentru a etalona termometrul trebuie precizat un *punct fix standard* la care toate termometrele trebuie să indice aceeași temperatură  $\theta$ .

Se pot folosi de asemenea *două repere fixe*.

a) pentru un reper fix:  $\frac{\theta(X)}{\theta(X_0)} = \frac{X}{X_0}$  și ca urmare se determină

$$\theta(X) = \theta_0 \frac{X}{X_0} \quad 2.5$$

prin măsurarea proprietății termometrice X,  $\theta_0$  fiind fixat prin convenție.

b) pentru două repere fixe:  $\frac{\theta(X_1)}{\theta(X)} = \frac{X_1}{X}$  și  $\frac{\theta(X_2)}{\theta(X)} = \frac{X_2}{X}$ ; se scad relațiile și se obține:

$$\theta = X \frac{\theta_2 - \theta_1}{X_2 - X_1} \quad 2.6$$

*Măsurarea temperaturii implică realizarea echilibrului termic între termometru și sistem, fără a modifica esențial temperatura sistemului.*

Exprimarea numerică a temperaturii pe baza legilor (2.5) sau (2.6) necesită stabilirea unei unități de temperatură prin considerarea reperelor termometrice corespunzătoare unor fenomene fizice reproductibile și divizarea intervalului dintre repere în părți identice echidistante numite *grade de temperatură*. Deci o stare ușor reproductibilă a unui sistem standard, ales convenabil se numește *punct fix*.

Din 1954 (a 10-a Conferință Generală asupra Măsurilor și Greutăților de la Paris) se folosește un singur punct fix, *punctul triplu al apei*, care reprezintă starea în care gheața, apa lichidă și vaporii de apă coexistă în echilibru.

Această stare poate fi obținută numai la o anumită presiune și este univoc determinată. Presiunea vaporilor de apă în punctul triplu este de 4,58 torr. Temperatura în acest punct fix standard este aleasă în mod arbitrar egală cu 273,16 K. Kelvinul este intervalul de temperatură egal cu unitatea.

Dupa proprietatea termometrică utilizată pentru măsurarea temperaturii termometrele sunt de mai multe tipuri:

Nr.crt.	Termometru	Proprietatea termometrică	Relația T(X)
1	Gaz menținut la volum constant	presiunea, p	$T_p = 273,16K \frac{p}{p_{tr}}$
2	Gaz menținut la presiune constantă	Volumul, V	$T_v = 273,16K \frac{V}{V_{tr}}$
3	Rezistență electrică (la curent constant)	Rezistența electrică, R	$T_R = 273,16K \frac{R}{R_{tr}}$
4	Termocuplul (la presiune constantă și curent zero)	Tensiunea termoelectromotoare, e	$T_e = 273,16K \frac{e}{e_{tr}}$

5	Lichid aflat într-un tub capilar	Lungimea L	$T_L = 273,16K \frac{L}{L_{tr}}$
---	----------------------------------	------------	----------------------------------

Exemplu: Un termometru cu rezistență de platină are o rezistență  $90,35 \Omega$  atunci când el este introdus într-un vas pentru punctul triplu. Ce temperatură va arăta termometrul dacă este introdus într-un mediu pentru care rezistența sa devine  $96,28 \Omega$  ?

$$T_R = 273,16K \frac{96,28R}{90,35} = 280,6K$$

Problema care se pune este dacă valoarea pe care o obținem pentru temperatura unui sistem depinde de alegerea termometrului pe care-l folosim. Prin definiție se asigură faptul că termometrele de diferite tipuri vor fi în concordanță la punctul fix standard, dar ce se va întâmpla la alte puncte? În consecință, pentru a obține o scară bine definită a temperaturilor, trebuie să alegem un tip particular de termometru ca termometru etalon sau standard. Alegerea va fi făcută nu pe baza convenției experimentale, ci prin cerința ca scara temperaturilor definită de de un termometru particular să se dovedească o mărime utilă în formularea legilor fizicii. Cele mai mici variații în citirile temperaturii se constată pentru diferitele termometre cu gaz la volum constant, ceea ce sugerează alegerea unui gaz ca substanță termometrică standard. S-a constatat că pe măsură ce cantitatea de gaz folosită într-un astfel de termometru și deci presiunea sa este redusă, variațiile indicațiilor date de diferite termometre cu gaz (care folosesc gaze diferite) se reduc. Ca urmare este ceva fundamental în comportarea unui termometru cu gaz la volum constant și presiuni joase.

Termometrul cu gaz la volum constant așa cum este descris mai jos este termometrul care este folosit pentru a stabili scara temperaturilor folosita astăzi.

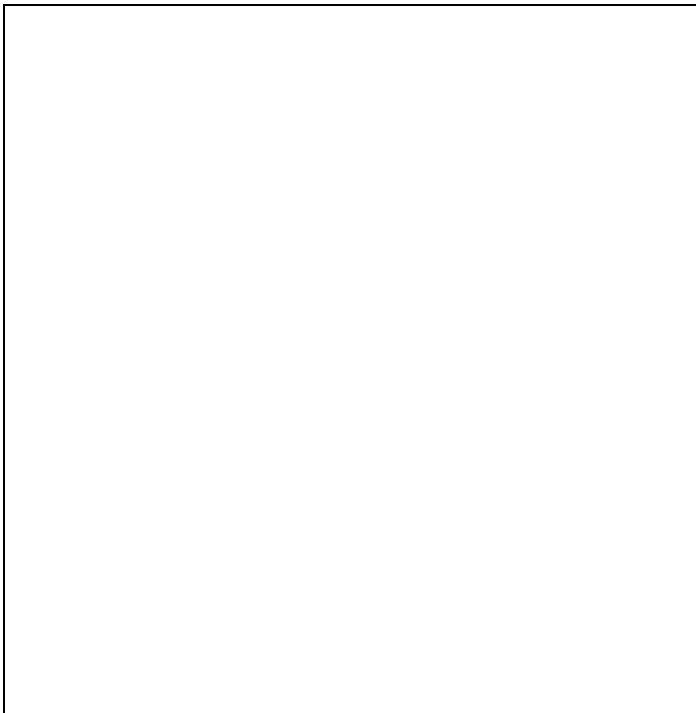


Fig.2.3. Un termometru cu gaz la volum constant. Atâta timp cât mercurul din stânga tubului manometric la același nivel pe scală (zero), volumul gazului închis va fi constant. Meniscul poate adus la zero prin ridicarea sau coborârea rezervorului R.

Termometrul cu gaz la volum constant corpul termometric fiind gazul (de exemplu heliu) folosește presiunea la volum constant ca proprietate termometrică.

Termometrul este prezentat schematic în fig. 2.3. El constă dintr-un balon de sticlă, porțelan, cuarț, platină sau platină-iridiu (depinde de intervalul de temperatura pentru care este folosit) legat printr-un tub capilar de un manometru cu mercur. Balonul care conține gazul este introdus într-o baie sau în mediul în care trebuie măsurată temperatura. Când temperatura gazului crește, gazul se distinde, determinând coborârea mercurului în ramura B și urcarea în A. Tuburile A și B comunică printr-un tub de cauciuc cu rezervorul de mercur R. Ridicând sau coborând rezervorul cu mercur, mercurul din ramura B poate fi făcut să coincidă cu un reper fix (E), păstrând astfel tot timpul gazul la volum constant. Întrucât volumul se păstrează constant, starea sistemului este caracterizată numai de presiunea  $p$  care se determină ușor citind diferența de înălțime dintre coloanele de mercur A și B și cunoscând presiunea atmosferică:  $p = p_0 + \rho gh$ .

Folosind relația din tabel se determină temperatura mediului.

### 2.3.2. Scări de temperatură

După modul de alegere a fenomenelor fizice particulare și după valorile numerice atribuite temperaturilor reperelor fixe se cunosc mai multe scări termometrice: Celsius, Fahrenheit, Reamur și scara termodinamică. *Scara termodinamică absolută a temperaturilor, numită și scara Kelvin* (Kelvin a propus-o pe baza principiului al doilea al termodinamicii) este o *scara independentă de proprietățile oricărei substanțe particulare*. Scara gazului ideal și scara Kelvin sunt identice în intervalul de temperatură în care poate fi folosit termometrul cu gaz și din acest motiv scriem K pentru unitatea de temperatură dată de termometrul cu gaz.

cele mai folosite scări de temperatură sunt scara Celsius și scara Fahrenheit. Ele se definesc cu ajutorul scării Kelvin. Scara Celsius a temperaturii folosește un grad (unitatea de temperatură) care are aceeași mărime ca și unitatea Kelvin. (Această scară a fost inventată de suedezul Celsius în 1742, a fost numită scară *centigrad* până în 1948 când la cea de-a 9 Conferință a Măsurilor și Greutăților a fost numită scara Celsius).

Relația de legătură dintre temperatura în K și cea în grade Celsius este:

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,16 K$$

Cele două repere pentru scara Celsius au fost temperatura la care apa îngheață la presiune atmosferică normală  $0^{\circ}C$ , care corespunde pe scara Kelvin temperaturii de 273,15 K și temperatura la care vaporii de apă și apa lichidă sunt la echilibru la presiunea atmosferică normală,  $100^{\circ}C$ .

Relațiile dintre temperaturi pentru diferitele scări termometrice se găsesc în tabelul următor.

Denumirea scării	Scara Celsius ( $^{\circ}C$ )	Scara Rankine ( $^{\circ}Ra$ )	Scara Fahrenheit $^{\circ}F$	Scara Reamur ( $^{\circ}R$ )
Celsius	-	$\frac{5}{9}T^{\circ}Ra - 273,15$	$\frac{t^{\circ}F - 32}{1,8}$	$1,25t^{\circ}R$
Rankine	$1,8(t^{\circ}C + 273,16)$	-	$t^{\circ}F + 459,67$	$1,8(1,25t^{\circ}R + 273,15)$

Fahrenheit	$1,8t^{\circ}C + 32$	$T^{\circ}Ra - 459,65$	-	$\frac{9}{4}t^{\circ}R + 32$
Reamur	$0,8t^{\circ}C$	$0,8(\frac{5}{9}T^{\circ}Ra - 273,16)$	$\frac{4}{9}(t^{\circ}F - 32)$	-

$-459,67^{\circ}F$  este valoarea corespunzătoare temperaturii de 0 K;  $32^{\circ}F$  corespunde temperaturii de 273,16 K.

### Scara Internațională Practică de Temperaturi

Așadar, până în prezent am stabilit că:

- Punctul fix standard în termometrie este punctul triplu al apei care are valoarea temperaturii de 273,16K
- Termometrul cu gaz la volum constant este termometrul standard sau etalon
- Scara gazului este folosită pentru a defini temperatura gazului ideal prin formula

$$T_p = 273,16K \lim_{p_{tr} \rightarrow 0} \frac{p}{p_{tr}}$$

un termometru cu gaz.

La cea de-a 7 Conferință Generală de Măsurii și Greutăți din 1927, 31 de state participante au adoptat o Scara Internațională Practică de Temperaturi, **SIPT**, deoarece determinarea temperaturii cu termometrul cu gaz este anevoioasă.

Aceasta a fost revizuită de mai multe ori, ultima dată fiind în 1968, la a 13 -a Conferință Generală de Măsurii și Greutăți.

SIPT este o scara conventională bazată pe o serie de puncte fixe controlabile prin mijloace de măsurare etalonate la aceste puncte fixe și pe relații matematice care servesc la stabilirea interdependenței dintre indicațiile mijloacelor de măsurare și temperaturile respective. Au fost indicate o serie de instrumente care trebuie folosite pentru interpolare între aceste puncte. *SIPT*<sup>68</sup> este astfel aleasă încât temperatura măsurată să constituie o buna aproximație a temperaturii termodinamice. *SIPT*<sup>68</sup> a devenit etalonul standard în mai toate țările. Aceste puncte fixe se găsesc în tabelul 2.3.

Tabel 2.3. Puncte fixe ale SIPT

	Punct de transformare	Temperatura (°C)	Temperatura (K)
Oxigen	Punct de fierbere	-182,97	90,18
Apă	Punctul triplu	0,01	273,16
Apă	Punct de fierbere (la presiune normală)	100,00	373,15
Sulf	Punct de fierbere	444,60	717,75
Argint	Punct de topire (la presiune normală)	960,80	1233,95
Aur	Punct de topire (p. normală)	1063,00	1336,50

## 2.4. Dilatarea termică



Efectele obișnuite ale variațiilor de temperatură sunt variațiile în dimensiunea și starea materialelor. Vom considera variațiile dimensiunilor care se produc fără modificarea stării substanței.

Variația dimensiunii unui corp solid cum este lungimea sa, lățimea sau grosimea, se numește dilatare liniară. Dacă lungimea acestei dimensiuni liniare este  $l$ , variația lungimii, determinată de variația  $\Delta T$  a temperaturii este  $\Delta l$ . Din experiență s-a constatat că, dacă  $\Delta T$  este suficient de mic, variația  $\Delta l$  a lungimii este proporțională cu variația de temperatură  $\Delta T$  și cu lungimea inițială  $l$ . Prin urmare se poate scrie:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \quad 2.7$$

unde  $\alpha$ , numit *coeficient de dilatare liniară*, are valori diferite pentru materiale diferite. Ecuația (2.7) se poate rescrie pentru a obține expresia pentru  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad [\alpha]_{S,l} = \text{grad}^{-1} = K^{-1}$$

$\alpha$  are semnificația variației relative a lungimii în raport cu variația temperaturii cu un grad.

Valoarea lui  $\alpha$  depinde de temperatura la care se determină lungimea  $l$ , dar variația lui  $\alpha$  este de obicei neglijabilă în raport cu precizia cu care se efectuează măsurătorile. Ca urmare se consideră constantă pentru un material dat. În tabelul 2.4. sunt date valorile experimentale ale coeficientului mediu de dilatare liniară pentru mai multe substanțe.

Tabel 2.4. Valori ale coeficientului de dilatare liniară,  $\alpha$

Substanța	$\bar{\alpha}$ , grad <sup>-1</sup>	Substanța	$\bar{\alpha}$ , grad <sup>-1</sup>
Aluminiu	$23 \cdot 10^{-6}$	Cauciuc tare	$80 \cdot 10^{-6}$
Alamă	$19 \cdot 10^{-6}$	Gheață	$51 \cdot 10^{-6}$
Cupru	$17 \cdot 10^{-6}$	Invar	$0,7 \cdot 10^{-6}$
Sticlă (obișnuită)	$9 \cdot 10^{-6}$	Plumb	$29 \cdot 10^{-6}$
Sticlă (pirex)	$3,5 \cdot 10^{-6}$	Oțel	$11 \cdot 10^{-6}$

Pentru multe solide, numite *izotrope*, variația procentuală (relativă) a lungimii pentru o variație dată de temperatură este aceeași pentru toate liniile din solid. Dilatarea este analoagă unei mărimi fotografice, cu excepția faptului că solidul este tridimensional. Dacă o placă plană are o gaură în ea,  $\frac{\Delta l}{l} (= \alpha \Delta T)$  pentru o variație  $\Delta T$  este același pentru

lungimea, grosimea, diagonala feței, diagonala spațială și diametrul găurii. Orice linie, fie dreaptă fie curbă, se lungește în raportul  $\alpha$  pentru un creșterea cu un grad a temperaturii.

Cu o foarte mare precizie variația relativă a ariei  $A$  pentru un variația temperaturii cu un grad, în cazul unui solid izotrop, este  $2\alpha$ , adică

$$\Delta A = 2\alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

iar variația relativă a volumului  $V$  pentru o variație cu un grad a temperaturii pentru un solid izotrop, este  $3\alpha$ , adică:

$$\Delta V = 3\alpha \cdot V \cdot \Delta T$$

Deoarece forma unui fluid nu este definită, are sens numai variația volumului cu temperatura. Gazele răspund rapid la variații de temperatură sau presiune, în timp ce variația de volum a lichidelor cu variația temperaturii sau presiunii este foarte mică. Se notează cu  $\beta$  coeficientul de dilatare volumică a unui lichid,  $\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T}$  și s-a dovedit că acest coeficient de dilatare volumică este independent de temperatură. Lichidele se dilată cu creșterea temperaturii, dilatarea volumică fiind de aproximativ zece ori mai mare decât a solidelor.

Apa, cel mai obișnuit lichid, nu se comportă ca celelalte lichide. În figura 2.4.este prezentată curba dilatării apei.La valori mai mari decât 4°C apa se dilată odată cu creșterea temperaturii, deși neliniar. La valori între 4°C și 0°C, însă, apa se dilată în loc să se contracte. Dilatare la scăderea temperaturii nu se observă la niciun alt lichid.;se mai observa la substanțe de tipul cauciucului si la anumite substanțe solide cristaline pe intervale limitate de temperatură. Densitatea apei este maximă la 3,98°C când are valoarea aproximativă de 1000 kg/m<sup>3</sup>.La celelalte temperaturi densitatea apei este mai mică. Aceasta comportare a apei explică de ce lacurile îngheață mai întâi la suprafață.

Fig.2.4.Variația densității apei cu temperatura la presiunea atmosferică normală (a);variatia densității între 0°C și 10°C (b).

## ÎNTREBĂRI ȘI PROBLEME

1. Ce fel de concept este temperatura ,microscopic sau macroscopic?
2. Este vreun gaz mai bun decât altul pentru folosirea într-un termometru etalon cu gaz la volum constant? Care sunt proprietățile gazului necesare pentru un astfel de termometru?
3. Se poate folosi un termometru de sticlă cu apă? De ce este mai bun termometru de sticlă cu mercur?

4. Dacă temperatura în scara gazului la punctul de fierbere al apei este 373,15 K, care este valoarea limită a raportului dintre presiunea unui gaz la punctul de fierbere al apei și presiunea la punctul triplu al apei, dacă gazul este menținut la volum constant?

5. Fie  $p_{tr}$  presiunea din balonul unui termometru cu gaz la volum constant, atunci când balonul se afla la temperatura punctului triplu de 273,16 K și fie  $p$  presiunea atunci când se află la temperatura camerei. Fie date trei termometre cu gaz la volum constant:

- 1) gazul este oxigenul și  $p_{tr} = 20$  cm Hg;
- 2) gazul este oxigenul și  $p_{tr} = 40$  cm Hg;
- 3) gazul este hidrogenul și  $p_{tr} = 30$  cm Hg.

Valorile  $p$  măsurate pentru aceste trei termometre sunt:  $p_1, p_2, p_3$ .

a) O valoare aproximativă a temperaturii camerei,  $T$ , poate fi obținută cu fiecare din termometre folosind formulele:

$$T_1 = 273,16K \frac{P_1}{20cmHg} ; T_2 = 273,16K \frac{P_2}{40cmHg} ; T_3 = 273,16K \frac{P_3}{30cmHg}$$

Marcați cu “adevărat” sau “fals” fiecare din următoarele afirmații:

- (1) Cu ajutorul metodei descrise toate cele trei termometre vor da aceeași valoare;
- (2) Cele două termometre cu oxigen vor fi în concordanță unul cu celălalt dar nu cu termometrul cu hidrogen;
- (3) Fiecare din cele trei termometre va da o valoare diferită pentru  $T$ .

b) În cazul în care există o discordanță între cele trei termometre, să se explice cum ar trebui modificată metoda de utilizare a acestora pentru ca toate cele trei termometre să dea aceeași valoare pentru  $T$ .

6. La ce temperatură scara Fahrenheit și scara Celsius ar indica aceeași temperatură? Dar scara Fahrenheit și scara Kelvin?

7. Temperatura suprafeței Soarelui este de aproximativ 6000 K. Să se exprime această temperatură în scara Fahrenheit.

8. Să se exprime temperatura normală a corpului uman 98,6 °F în scara Celsius.

9. Un termometru greșit etalonat introdus într-un amestec de apă cu gheață indică -8 grade, iar când este în apă care fierbe el indică +112 grade. Experiența se realizează la presiune atmosferică normală. Să se determine temperatura reală când termometrul arată +40.