

CONSIDERAȚII PRIVIND SCĂRILE DE TEMPERATURĂ

Dumitru DINU*

Rezumat: Dintre mărimile fundamentale ale Sistemului Internațional de Mărimi (ISQ), temperatura termodinamică este singura de tip intensiv. Acest fapt face ca noțiunea de scară de măsurare asociată temperaturii să capete o relevanță sporită, având în vedere legătura dintre această mărime și starea termodinamică a corpurilor și/sau sistemelor. Lucrarea tratează aspecte cu privire la varietatea scărilor de temperatură și particularitățile care le departajează, precum și la particularitățile ansamblului ordonat de valori la stabilirea și utilizarea diferitelor scări de temperatură.

Summary: Among the fundamental quantities of the International System of Quantities (ISQ), the thermodynamic temperature is the only one of intensive type. This is why the notion of measurement scale associated to temperature has an increased relevance considering the relation between this quantity and the thermodynamic state of the bodies and/or systems. This paper deals with aspects regarding the variety of temperature scales and the peculiarities distinguishing among them, as well as the characteristics of the ordered values ensemble where establishing and using various temperature scales.

Cuvinte cheie: temperatură, clase de echivalență, scară de temperatură, scări de referință convenționale de temperatură, scări practice de temperatură, funcție de definiție a unei scări de temperatură

Key words: temperature, equivalence classes, temperature scale, conventional scales of reference temperature, practical temperature scales, definition function of a temperature scale

1 Introducere

O scară de măsurare se definește, în general, pentru o mărime de natură dată și este un ansamblu ordonat de valori, utilizat pentru ordonarea acelei mărimi și a mărimilor de aceeași natură cu natura mărimii considerate, după starea fenomenului, corpului sau substanței caracterizată de mărimile respective.

În cazul particular al unei temperaturi, o scară de măsurare este un ansamblu ordonat de valori, utilizat pentru ordonarea temperaturii după starea corpului/sistemului caracterizat de temperatura respectivă.

Scara de măsurarea de temperatură, numită în continuare și scară de temperatură, este o noțiune cu caracter de generalitate, deoarece definiția de mai sus a acesteia nu specifică modul de stabilire a „ansamblului ordonat de valori”.

Scopul prezentei lucrări este acela de a scoate în evidență aspecte cu privire la varietatea scărilor de temperatură și particularitățile care le departajează, precum și la particularitățile acestui ansamblu de valori la stabilirea și utilizarea diferitelor scări de temperatură.

Pentru facilitarea atingerii acestui scop, în prealabil în cap. 2 și cap.3, am prezentat unele noțiuni generale de termodinamică și am făcut unele considerații legate de elemente din definiția scării de temperatură, cum ar fi starea sistemului sau sistemelor și temperatura.

2 Generalități

2.1 Echilibru termodinamic. Echilibru termic

Mulțimea stărilor în care se poate găsi un sistem, include o submulțime denumită a stărilor de echilibru termodinamic. Într-o astfel de stare imaginară, proprietățile sistemului nu variază în timp, în condițiile în care fluxurile între părțile sistemului nu sunt împiedicate. Prin corp/sistem se înțelege, în lucrare, sistem termodinamic.

*Biroul Român de Metrologie Legală, șos. Vitan Bârzești, nr. 11, cod 042122, sectorul 4, București, tel. (40.1) 332 11 16, fax (40.1) 332 06 15, office@brml.ro

Conform principiului zero al termodinamicii, starea de echilibru termodinamic a unui sistem este complet determinată de variabilele independente $(X_1, X_2, \dots, X_n, U)$, unde U este energia (internă) sistemului, (X_1, X_2, \dots, X_n) sunt coordonatele generalizate (denumite și parametri externi sau variabile de poziție), iar numărul curent natural și pozitiv n depinde de corpul sau corpurile materiale din care este alcătuit sistemul considerat, și a formelor de mișcare care caracterizează aceste corpuri. Forțele generalizate (denumite și parametri interni sau mărimi intensive) ar fi complet determinate, în acest caz, de relațiile: $Y_i = Y_i(X_1, X_2, \dots, X_n, U)$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Se consideră două sisteme, diferite între ele, A și B (figura 2.1), ale căror stări de echilibru termodinamic sunt complet caracterizate de către variabilele independente: $\{X_1^A, X_2^A, \dots, X_{n_A}^A, U^A\}$ - pentru sistemul A, respectiv $\{X_1^B, X_2^B, \dots, X_{n_B}^B, U^B\}$ - pentru sistemul B. Sistemele se pun în contact termic, fiind separate de o suprafață diatermă (C) imobilă. Sistemul $A \cup B$ este izolat de lumea exterioară printr-un înveliș adiabetic imobil (D). În acest caz, variabilele de poziție X_i^A și X_j^B rămân constante în timp, iar energia sistemului total este: $U^{A \cup B} = U^A + U^B = const..$ Energiile U^A și U^B pot varia numai datorită schimbului de căldură dintre sistemele A și B, schimbul de lucru mecanic și schimbul de materie fiind împiedicate. Din experiență rezultă că:

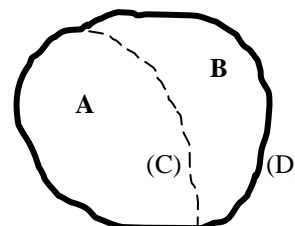


Fig. 2.1

◇ După punerea în contact termic a celor două sisteme, fie schimbul de căldură nu se produce, starea sistemului $A \cup B$ fiind o stare de echilibru termodinamic, fie echilibrul fiecărui sistem se strică și, după un timp, datorită schimbului de căldură, sistemele ajung într-o nouă stare de echilibru, sistemul total $A \cup B$ ajungând într-o stare de echilibru termodinamic. În acest din urmă caz se spune că sistemele A și B sunt în *echilibru termic*, adică **A Eterm B** sau **B Eterm A**.

◇ *Tranzitivitatea* este o proprietate generală a relației de echilibru termic.

◇ Dacă se crește energia totală $U^{A \cup B}$ prin schimb de căldură cu exteriorul după înlăturarea învelișului adiabetic în care se găsește sistemul $A \cup B$, atunci cresc și energiile U^A și U^B ale fiecărui subsistem.

2.2 Izotermele unui sistem sau ale unui lot de sisteme

Se consideră un lot arbitrar alcătuit din sistemele A, B, ..., J, ..., Z, fiecare dintre ele putându-se găsi într-o stare α , astfel încât să fie satisfăcute relațiile:

$$A_\alpha \text{ Eterm } B_\alpha \text{ Eterm } \dots \text{ Eterm } J_\alpha \text{ Eterm } \dots \text{ Eterm } Z_\alpha$$

Pe baza discuției de la pct. 2.1 se poate stabili mulțimea M^α de stări izoterme α , cu proprietatea comună pentru întregul grup de sisteme, de a fi toate, între ele, în echilibru termic, constituită din reuniunea izotermelor specifice sistemelor considerate, astfel:

$$M^\alpha = A_\alpha \cup B_\alpha \cup \dots \cup J_\alpha \cup \dots \cup Z_\alpha,$$

unde, pentru oricare din sistemele din lot, izoterma α este mulțimea stărilor sistemului aflate în echilibru termic cu starea α , adică: $J_\alpha = \{J_\alpha, J_{\alpha'}, J_{\alpha''}, \dots\} \subset J$, în care $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots \in \mathbf{R}^+$, iar J este mulțimea tuturor stărilor de echilibru termodinamic ale sistemului oarecare J.

Relația **Eterm** = "este în echilibru termic cu" asociază fiecărei stări izoterme din M^α acele stări de echilibru termodinamic, cu condiția ca ele să aparțină tot lui M^α . Se pune în evidență, astfel, o mulțime de perechi ordonate, notate în general cu (X^α, Y^α) , care au proprietatea că elementului X^α îi este asociat Y^α prin relația dată. **Eterm** este mulțimea acestor perechi ordonate, adică o relație binară pe mulțimea nevidă M^α :

$$\text{Eterm} = \{(X^\alpha, Y^\alpha) \in M^\alpha \times M^\alpha \mid X^\alpha \text{ este în echilibru termic cu } Y^\alpha\}. \text{ Deoarece:}$$

1. **Eterm** este *reflexivă*, adică oricare ar fi $X^\alpha \in M^\alpha$, atunci $X^\alpha \text{ Eterm } X^\alpha$,

2. **Eterm** este *simetrică*, adică oricare ar fi $X^\alpha, Y^\alpha \in \mathbf{M}^\alpha$, astfel încât $X^\alpha \mathbf{Eterm} Y^\alpha$, atunci $Y^\alpha \mathbf{Eterm} X^\alpha$,

3. **Eterm** este *tranzitivă*, adică oricare ar fi $X^\alpha, Y^\alpha, Z^\alpha \in \mathbf{M}^\alpha$, astfel încât $X^\alpha \mathbf{Eterm} Y^\alpha$ și $Y^\alpha \mathbf{Eterm} Z^\alpha$, atunci $X^\alpha \mathbf{Eterm} Z^\alpha$, atunci **Eterm** se numește o relație de echivalență.

Dacă $X^\alpha \in \mathbf{M}^\alpha$ este un element oarecare, atunci submulțimea $\hat{X}^\alpha = \{Y^\alpha \in \mathbf{M}^\alpha | Y^\alpha \mathbf{Eterm} X^\alpha\}$ se numește *clasă de echivalență* a elementului X^α . Cu alte cuvinte, toate stările izoterme din \mathbf{M}^α , despre care știm deja că se află în stare de echilibru termic cu o stare anume din \mathbf{M}^α aleasă arbitrar (de ex. starea particulară a unui sistem simplu constituit dintr-un gaz perfect (vezi pct. 3.2, lit a)) și la care variabila de poziție volum este menținută fixă), formează o *clasă de echivalență*.

În clasa de echivalență \mathbf{M}^α , sistemul total se află în stare de echilibru termodinamic.

Analog, se pot construi și alte clase de echivalență, $\mathbf{M}^\beta, \mathbf{M}^\gamma, \dots$ în raport cu relația de echilibru termic, totalitatea acestor clase formând împreună o mulțime nenumărabilă.

Clasele de echivalență sunt disjuncte între ele. Aceasta se poate demonstra, cu ușurință, arătând că oricare ar fi indicii continui α și β , $\mathbf{M}^\alpha \cap \mathbf{M}^\beta = \Phi$, atunci când $\alpha \neq \beta$.

Astfel, $\mathbf{M} = \{\mathbf{M}^\alpha, \mathbf{M}^\beta, \mathbf{M}^{\beta\gamma} \dots\}$, ($\alpha, \beta, \gamma \dots \in \mathbf{R}^+$) este mulțimea tuturor stărilor de echilibru termodinamic ale lotului de sisteme considerate, care pot fi grupate în clase de echivalență disjuncte în raport cu relația de echilibru termic.

3 Temperaturi

3.1 Temperaturi „adevărate”

a) Discuția de la pct. cap. 2 și principiile generale referitoare la mărimi și unități [17], arată că există parametrii scalari de stare, intensivi, notați, în general, cu Θ_k , ($k \in \mathbf{R}^+$). Fiecare din aceștia, este, în general, numit *temperatură*, ia **aceeași valoare, unică**, pentru toate stările de echilibru ale unei clase de echivalență, indiferent de sistemul termodinamic căruia aparțin. Stările aparținând unor clase de echivalență diferite între ele au valori diferite ale temperaturii respective. Funcția care stabilește, din punct de vedere teoretic, corespondența dintre elementele mulțimii ordonate \mathbf{M} a claselor de echivalență (vezi pct. 4.1, lit a)) și elementele mulțimii valorilor temperaturii, este monotonă și **arbitrară**. Mulțimea tuturor parametrilor numiți temperatură (parametri temperatură), sau, altfel spus, a temperaturilor, este Θ . Definirea unei astfel de mărimi presupune utilizarea unor concepte și modelele idealizate care folosesc la descrierea proceselor și stărilor specifice lumii reale, dar care nu pot fi materializate în aceasta decât într-o măsură aproximativă. De aceea, un element oarecare al mulțimii Θ reprezintă **valori adevărate** (câte una pentru fiecare izotermă, [14], [15]) ale temperaturii unui sistem din lotul de la pct. 2.2, sau a sistemului total, **necunoscute și care nu pot fi aflate prin procedee reale de măsurare**. În anexa 1 sunt prezentați parametri relevanți care constituie temperaturi „adevărate”. Unii dintre aceștia sunt descriși la lit. b) și c).

b) *Temperatura termodinamică*, θ , este definită în baza principiului al doilea al termodinamicii pentru procese quasistatice-reversibile. Considerând că un fluid perfect parcurge un ciclu Carnot, raportul Q_1/Q_2 al căldurilor schimbate de-a lungul celor două izoterme (figura 3.1) nu depinde decât de temperatura termodinamică a acestora. Dacă se notează $Q_1 = Q_0$, respectiv $\theta_1 = \theta_0$ pentru o izotermă fixă, și $Q_2 = Q$, respectiv $\theta_2 = \theta$ pentru o izotermă oarecare, atunci, pentru ciclul Carnot ideal, care are loc între izotermele θ și θ_0 , se obține relația:

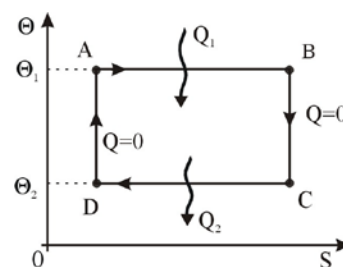


Fig. 3.1

$$\theta = \theta_0 \cdot \frac{Q}{Q_0} \quad (3.1)$$

Mărimea θ este pozitivă, extremitățile $\theta = 0$ și $\theta = \infty$ fiind excluse, se mai numește *temperatură absolută* și este definită până la un factor constant. Relația (3.1) permite determinarea temperaturii în funcție de căldurile Q și Q_0 . Raportul căldurilor joacă rolul unei proprietăți termometrice, dar fără să depindă de sistemul termometric utilizat. Temperatura este absolută, întrucât este independentă de sistem, iar punctul zero este definit. Într-adevăr, dacă Q este nulă, atunci θ va fi nulă, iar adiabata se confundă cu izoterma; acest punct are semnificație fizică, la această temperatură neefectuându-se vreun schimb de căldură.

Temperatura T , care verifică ecuația termică de stare a gazului perfect (vezi pct. 3.2, lit. a)) și care are valoarea exactă de 273,16 K pentru punctul triplu al apei, este temperatură termodinamică, una din cele 7 mărimi fundamentale din Sistemul Internațional de Mărimi (ISQ), și singura mărime fundamentală intensivă.

Stabilirea, în viitorul apropiat, a valorilor exacte ale constantelor fizice fundamentale Boltzmann (k) și Avogadro (N_A), va permite, pe lângă redefinirea unității de măsură kelvin [11], cunoașterea cu exactitate a funcției $f_T(V, P)$ din relația (3.6). În mod implicit, temperatura astfel definită va deveni un element al mulțimii Θ de la lit. a). În acest caz, relația (3.6) poate fi utilizată la completarea definiției temperaturii termodinamice, proces care va fi influențat de neajunsul dat de faptul că temperatura definită astfel în funcție de proprietățile unui sistem (de ex.: $T = T_0 \cdot (Y/Y_0)$, ar acoperi o submulțime restrânsă de clase de echivalență, iar punctul $T = 0$ ar fi nedefinit, deoarece ar trebui ca $Y = 0$, ceea ce nu ar fi posibil, Y fiind un parametru intern. Aceste concluzii pot fi extinse, în anumite condiții, și la ecuațiile termice de stare ale altor sisteme perfecte.

c) Parametrii temperatură, derivați din temperatura termodinamică T prin relația

$$\theta_j = T - T_{cj}, \quad (j \in \mathbf{R}^+), \quad (3.2)$$

unde T_{cj} sunt, respectiv, constantele de decalare a valorilor temperaturilor θ_j față de valorile temperaturii termodinamice T , alcătuiesc mulțimea Θ . Adică $\Theta = \{\theta_j | \theta_j = T - T_{cj}, (j \in \mathbf{R}^+)\} \subset \Theta$. Dacă, de exemplu, $T_{cj|j=1} = 273,15$ K și $T_{cj|j=2} = (459,67/1,8)$ K, atunci se obțin temperaturile $\theta_1 = T - 273,15$ K, respectiv $\theta_2 = T - (459,67/1,8)$ K.

3.2 Temperaturi „practice”

a) Ținând cont de prevederile de la cap. 2 și pct.3.1, lit a), se poate afirma că toate forțele generalizate ale unui sistem termodinamic la echilibru depind numai de coordonatele generalizate și de un parametru temperatură „adevărată”, oricare ar fi el, din Θ . Dacă acesta este o temperatură oarecare Θ , atunci:

$$Y_i = Y_i(X_1, X_2, \dots, X_n, \Theta) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Cele n ecuații (3.3) reprezintă *ecuațiile termice de stare* specifice sistemului respectiv și parametrului temperatură Θ . Dacă aranjăm semnul astfel încât funcțiile să fie crescătoare menținând fixe coordonatele generalizate, atunci (3.3) este un mod unic de a scrie ecuațiile termice de stare pentru temperatura respectivă. De regulă, prin rezolvarea lor în funcție de Θ se poate obține:

$$\Theta = f_{\Theta}(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

Un sistem termodinamic cu o singură forță generalizată, Y , și cu o singură variabilă externă, X , este un sistem simplu, a cărui ecuație termică de stare este:

$$Y = Y(X, \Theta), \text{ de unde rezultă că } \Theta = f_{\Theta}(X, Y) \quad (3.5)$$

Gazul perfect este un model teoretic de substanță, fiind un caz limită al gazelor reale, atunci când presiunea acestora este mică. Ecuația termică de stare a acestuia este ecuația lui Clapeyron și are forma $P \cdot V = \nu \cdot R \cdot \Theta$, în care $\Theta \equiv T$. Această relație, scrisă sub forma $T = f_T(V, P)$, devine:

$$T = P \cdot V / (\nu \cdot R) \quad (3.6)$$

unde R și ν sunt constanta molară a gazelor, respectiv cantitatea de substanță, iar P și V sunt presiunea, respectiv volumul gazului.

b) Relațiile (3.4) particularizate pentru sistemele din lotul arbitrar de la pct. 2.2, nu vor conduce la o valoare unică a temperaturii, așa cum se arată la pct. 3.1, lit. a), nici atunci când s-ar presupune că sistemele din lot se află în echilibru termic între ele. De exemplu, în clasa de echivalență M^α sistemul total este caracterizat de valoarea Θ_α a temperaturii Θ , valabilă pentru toate sistemele din lot. Totuși, pentru aceeași stare α , relațiile (3.4), particularizate pentru fiecare sistem din lot, vor conduce, de exemplu, la temperaturile $\Theta_\alpha^A, \Theta_\alpha^B, \dots, \Theta_\alpha^J, \dots, \Theta_\alpha^Z$. Aceste temperaturi pot să nu fie egale între ele și pot să fie diferite de temperatura Θ_α a sistemului total. Un motiv este **cunoașterea inexactă a ecuațiilor termice** de stare (3.3) și (3.5). Știm că aceste ecuații există, dar nu se cunosc. Se cunosc, însă, aproximări ale lor. Pentru fiecare sistem real, acestea sunt date fie de experiență fie de fizica statistică. De exemplu, pentru gaze reale și $\Theta \equiv T$, s-au propus numeroase forme aproximative ale ecuației termice de stare, dintre acestea cea mai cunoscută fiind ecuația van der Waals. Se poate, chiar să se omită unele coordonate generalizate prin necunoașterea completă a sistemului real. Un alt motiv este faptul că stările de echilibru pentru care este validă noțiunea de *temperaturi „adevărate”* sunt stări limită pentru stările de echilibru ale sistemelor reale.

Totuși, relațiile și (3.4) și (3.5) au o mare importanță practică, deoarece acestea permit definirea unor temperaturi „practice” care aproximează, în acest caz, temperatura „adevărată” Θ , precum și definirea și realizarea unor scări practice de temperatură cu ajutorul cărora se măsoară temperatura corpurilor/sistemelor în lumea reală. În acest scop, funcțiile monotone f_Θ se aranjează să fie crescătoare, schimbând eventual semnul, astfel încât corelarea dintre evoluția temperaturii și a energiei și schimbul de căldură, menținând fixe coordonatele generalizate, să fie ca mai jos.

Considerăm două exemplare ale sistemului A care se găsesc în stări care nu aparțin aceleiași izoterme. Când sunt aduse în contact termic, sistemele schimbă căldură între ele. Energia dar și parametrii intensivi (temperatura, forțele generalizate) ai exemplarului care primește căldura vor crește. La atingerea echilibrului termic, temperaturile celor două exemplare se egalează. Exemplarul care a avut temperatura mai mică a primit căldură de la exemplarul cu temperatură mai mare

Temperaturile T_{90}, t_{90} [5], și T_{2000} [6] sunt exemple de temperaturi „practice”.

4 Scări de temperatură

Scările de măsurare în care se poate exprima fiecare din parametrii temperatură aparținând mulțimii Θ , sunt, în sensul prezentei lucrări, *scări de referință convenționale*, numite în continuare și *scări convenționale* sau *SRCT*. Principalele etape de stabilire și utilizare a unei astfel de scări, sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Etapa	Activități	Observații
I	Definirea <i>scării de referință convențională de temperatură</i>	Proces teoretic
II	Producerea/reproducerea unor <i>scări practice de temperatură</i> , numite în continuare și <i>scări practice</i> sau <i>SPT</i> , compatibile cu definiția SRCT:	
II.1	→ Descrierea modului de realizare practică	Proces teoretic
II.2	→ Realizarea practică conform descrierii	Proces practic
III	Utilizarea <i>scării practice a temperaturii</i> , adică realizarea de măsurări ale temperaturii:	
III.1	→ Descrierea metodei și a procedurilor de măsurare	Proces teoretic
III.2	→ Realizarea măsurării	Proces practic

4.1 Scări de referință convenționale de temperatură

Având în vedere caracterul mărimilor aparținând mulțimii Θ prezentate la pct. 3.1, lit. a) și a modului lor de stabilire, atunci definirea unei astfel de scări este un proces teoretic.

Se cunoaște că oricare din mărimi se poate exprima sub forma:

$$V = \{V\} \cdot [V], \quad (4.1)$$

unde V este mărimea (valoarea mărimii), $[V]$ este unitatea de măsură în care se exprimă mărimea V , iar $\{V\}$ este valoarea numerică a lui V . **Mărimea este independentă de unitate.** Aceasta deoarece trecerea de la o unitate la alta modifică valoarea numerică invers proporțional cu modificarea unității. Când atenția se concentrează pe valoarea numerică a mărimii exprimate într-o anumită unitate, atunci această valoare se poate indica astfel: $\{T\}_K$, T/K sau $\frac{T}{K} \rightarrow$ când mărimea este temperatura termodinamică exprimată în kelvini; de exemplu, $\{T\}_K = T/K = 273,16$ este valoarea numerică a lui $T = 273,16$ K.

a) La definirea unei SRCT pentru o temperatură oarecare Θ din Θ (vezi pct. 3.1, lit. a)), se parcurge următoarea procedură:

Se stabilește, din punct de vedere teoretic, corespondența dintre elementele mulțimii \mathbf{M} a claselor de echivalență și elementele mulțimii numerelor reale, respectiv o submulțime a acestora. Acest lucru înseamnă stabilirea funcției

$$f_{sc1} : \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{I} \subseteq \mathbf{R} \quad (4.2)$$

f_{sc1} poate fi considerată funcție care definește o scară convențională a temperaturii, deoarece mulțimea pe care este definită funcția, \mathbf{M} , este o mulțime ordonată (clasele de echivalență disjuncte în raport cu relația de echilibru termic pot fi ordonate după relația de ordine „mai cald decât”). În aceste condiții f_{sc1} poate fi ușor aranjată ca să fie injectivă.

Corespondența $f_{sc1}(\mathbf{M}^v) = \{\Theta_v\} \in \mathbf{I}$ ($v \in \mathbf{R}^+$), permite obținerea teoretică a numerelor reale $\{\Theta_v\}$, care sunt valorile numerice ale valorilor Θ_v ale mărimii Θ corespunzătoare fiecărei clase de echivalență. Variația temperaturii Θ , la variația stării unui sistem din lotul de la pct. 2.2, sau a sistemului total, între două clase de echivalență corespunzătoare unei variații egale cu 1 (unu) a variabilei numerice $\{\Theta\} \in \mathbf{I}$, se numește *unitate (de măsură)*.

Funcția f_{sc1} ia forme specifice fiecărei scări, și se definește indicând pentru fiecare element din domeniul de definiție imaginea sa, prin diagrame sau tabele; deoarece domeniul de definiție, \mathbf{M} , nu este o mulțime de numere aparținând mulțimii \mathbf{R} , funcția f_{sc1} nu este o funcție numerică și nu poate fi definită printr-o „formulă” matematică.

b) La definirea unei SRCT pentru o temperatura termodinamică T (vezi pct. 3.1, lit. b)), pe lângă procedura de la lit. a), se poate parcurge următoarea procedură:

Se stabilește, din punct de vedere teoretic, corespondența dintre valorile raportului Q/Q_0 , a cărei variație înseamnă trecerea sistemului de la o izotermă (clasă de echivalență) la alta, și mulțimea numerelor reale (sau o submulțime a acestora). Acest lucru înseamnă stabilirea funcției

$$f_{sc2} : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{I} \subseteq \mathbf{R} \quad (4.3)$$

Funcția numerică f_{sc2} se definește pe baza relației $T = f_T(Q/Q_0)$ scrisă sub forma ecuației (3.1). Variația temperaturii T , la variația raportului Q/Q_0 corespunzătoare unei variații egale cu 1 (unu) a variabilei numerice $\{T\} \in \mathbf{I}$, se numește *unitate (de măsură)*. Ținând cont și de relația (4.1), atunci relația care urmează definește o familie de scări convenționale pentru T .

$$\{T\} = a \cdot a_u \cdot \frac{Q}{Q_0} \cdot \{T_0\} \quad (4.4)$$

în care, se poate considera că izoterma fixă este cea corespunzătoare punctului triplu al apei ($\{T_0\} = 273,16$ pentru $[T_0] \equiv \text{K}$), și unde:

a : valoare numerică pozitivă și reală; modificarea acesteia determină trecerea de la o scară la alta;

a_u : coeficient numeric care depinde de unitățile $([Q], [Q_0], [T_0])$; dacă $[Q]$ și $[Q_0]$, respectiv $[T]$ și $[T_0]$ sunt identice, atunci $a_u = 1$.

c) La definirea unei SRCT pentru parametrii temperatură θ_j (vezi pct. 3.1, lit. c), pe lângă procedura de la lit. a), se poate parcurge următoarea procedură:

Se aplică raționamentul de la b), cu f_{sc3j} în loc de f_{sc2} . Relația care definește o familie de scări convenționale pentru o temperatură θ_j este:

$$\{\theta_j\} = a \cdot (\{T\} \pm \{T_{ctj}\}) \tag{4.5}$$

în care: a : valoare numerică pozitivă și reală; modificarea acesteia determină trecerea de la o scară la alta prin modificarea unității; se consideră că $[T] \equiv [T_{ctj}]$.

NOTĂ: Dacă se utilizează, în relația (4.5), semnul „+”, atunci nu va exista un zero al scării de temperatură obținute, deoarece acesta ar trebui deplasat sub valoarea de zero absolut, iar variația unei temperaturi de la valori pozitive către zeroul scării ar presupune atingerea temperaturii de zero absolut, ceea ce contravine principiului al III-lea al termodinamicii, conform căruia temperatura de zero absolut este principial inaccesibilă.

Exemple de scări de referință convenționale

Figura 4.1 constituie reprezentarea grafică a funcției (4.2), particularizată pentru patru scări de referință convenționale: Kelvin și Rankine ale temperaturii termodinamice T , precum și Celsius și Fahrenheit. Legătura între diferitele clase de echivalență reprezentate pe abscisă și valorile numerice reprezentate pe ordonată se realizează numai în mod grafic.

În acest scop, pentru scara Kelvin, se stabilesc două puncte pe grafic având următoarele coordonate:

- pentru primul punct, clasa de echivalență limită corespunzătoare acelei stări a sistemului consierat, aflată pe izoterma care se confundă cu izentropa ($T = 0, Q = 0$), și valoarea numerică 0 (zero);

- pentru cel de-al doilea punct, clasa de echivalență M^a corespunzătoare acelei stări a sistemului, ce se află în echilibru termic cu „punctul de topire al gheții” sau „punctul de îngheț al apei”, și valoarea numerică 273,15. Prin cele două puncte,

începând de la primul punct, se trasează o semidreaptă care constituie graficul scării Kelvin.

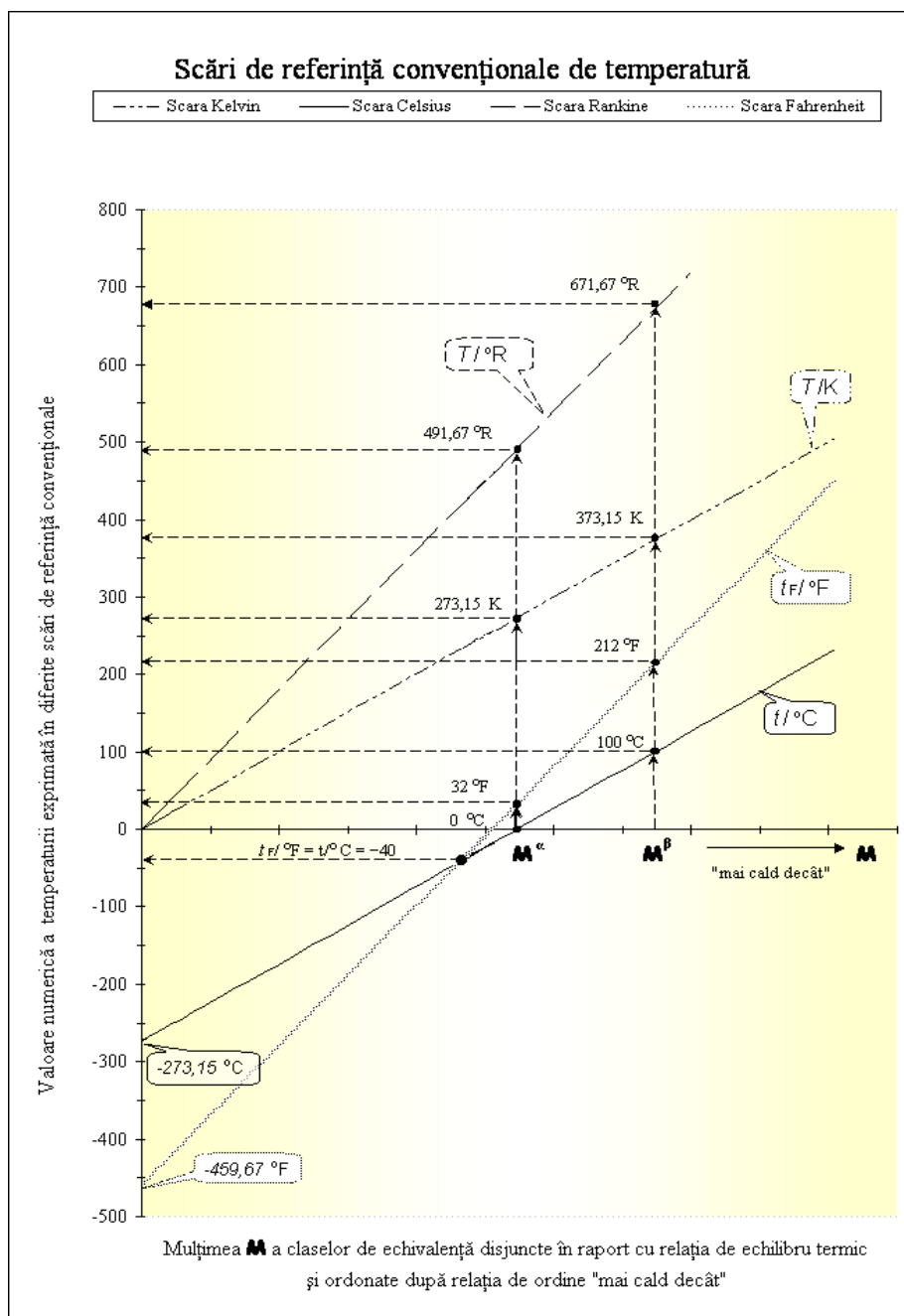


Fig. 4.1

Graficul scării Rankine se construiește similar cu cel al scării Kelvin, cu deosebirea că, pe ordonată, celui de-al doilea punct îi corespunde valoarea numerică 491,67.

Pentru scara Celsius, celor două puncte care determină semidreapta ce reprezintă graficul scării respective, le corespund, **pe abscisă**, clasa de echivalență M^a și, respectiv, clasa de echivalență M^b care conține acele stări ale sistemului, ce se află în echilibru termic cu punctul de vaporizare al apei la presiune atmosferică normală, iar **pe ordonată**, valorile numerice 0 (zero) și, respectiv, 100.

Graficul scării Fahrenheit se construiește similar cu cel al scării Celsius, cu deosebirea că pe ordonată, celor două puncte le corespund valorile numerice 32 și, respectiv, 212.

Din anul 1954, M^a a fost înlocuită cu o nouă clasă de echivalență. Aceasta conține acele stări ale sistemului considerat, ce se află în echilibru termic cu „punctul triplu al apei”. Valorile numerice corespunzătoare acestei noi clase sunt 273,16 pe scara Kelvin și, implicit, 0,01 pe scara Celsius.

Analizând graficul din figura 4.1, se constată următoarele aspecte relevante:

- Semidreptele scărilor Kelvin și Rankine, respectiv Celsius și Fahrenheit, sunt paralele între ele. Știindu-se relațiile între unități de măsură $1\text{ K} = 1\text{ }^\circ\text{C}$, $1\text{ }^\circ\text{R} = 1\text{ }^\circ\text{F}$ și $1\text{ K} > 1\text{ }^\circ\text{R}$, rezultă că, pentru același parametru temperatură și aceeași clasă de echivalență, trecerea de la o scară la alta cu panta mai mică, este însoțită de creșterea valorii unității de măsură invers proporțional cu scăderea valorii numerice.

- Având în vedere relația (4.1), atunci rezultă că scările Kelvin și Rankine aparțin aceluiași parametru, temperatura termodinamică, în timp ce scările Celsius și Fahrenheit aparțin unor parametri temperatură diferiți între ei și diferiți de temperatura termodinamică.

Între valorile numerice alocate unei anumite clase de echivalență prin cele patru scări convenționale se stabilesc relațiile matematice prevăzute în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

	T/K	$T/^\circ\text{R}$	$t/^\circ\text{C}$	$t_{\text{F}}/^\circ\text{F}$
$T/\text{K} =$	Identitate	$\frac{5}{9} \cdot T / ^\circ\text{R}$	$t / ^\circ\text{C} + 273,15$	$\frac{5}{9} \cdot (t_{\text{F}} / ^\circ\text{F} + 459,67)$
$T/^\circ\text{R} =$	$\frac{9}{5} \cdot T/\text{K}$	Identitate	$\frac{9}{5} \cdot (t / ^\circ\text{C} + 273,15)$	$t_{\text{F}} / ^\circ\text{F} + 459,67$
$t/^\circ\text{C} =$	$T/\text{K} - 273,15$	$\frac{5}{9} \cdot T / ^\circ\text{R} - 273,15$	Identitate	$\frac{5}{9} \cdot t_{\text{F}} / ^\circ\text{F} - \frac{160}{9}$
$t_{\text{F}}/^\circ\text{F} =$	$\frac{9}{5} \cdot T/\text{K} - 459,67$	$T / ^\circ\text{R} - 459,67$	$\frac{9}{5} \cdot t / ^\circ\text{C} + 32$	Identitate

4.2. Producerea/reproducerea unei SPT compatibilă cu definiția SRCT

Utilizarea unei SRCT definite (sau a definiției unei scări convenționale) în procesul de măsurare presupune realizarea unei scări practice compatibilă cu definiția acesteia. O scară practică poate avea un grad mai înalt sau mai scăzut de concordanță cu scara convențională (de fapt, cu definiția acesteia) în funcție de nivelul tehnologic și de cunoaștere de la un moment dat, dar și în funcție de cerințele de exactitate, impuse de măsurările în care urmează să se folosească scara practică de temperatură respectivă.

Producerea unei scări practice cuprinde etapele II.1 și II.2 din tabelul 4.1.

Să spunem că totalitatea scărilor practice compatibile cu o descriere dată, ce sunt sau ar putea fi realizate, formează un tip de scară practică. Mai multe realizări practice ale unei descrieri înseamnă de fapt *reproducerea* unui tip de scară practică.

Reproducerea unei scări de referință convenționale nu are sens și nici conținut, deoarece aceasta fiind un concept idealizat nu poate fi produsă/reprodusă, adică realizată practic întocmai cu definiția ei.

Reproducerea unui tip de scară practică se realizează prin intermediul mijloacelor de măsurare a temperaturii, fie ele de lucru sau etaloane. În termeni generali, se spune că acest proces implică *artifactual* și *experimental*.

Descrierea modului de realizare practică a unei SPT, implică, de regulă, stabilirea funcției care definește scara respectivă. Acest lucru se poate face numai în asociere cu un corp/sistem. Să presupunem că acesta este sistemul A menționat la cap.2. Menținând fixe variabilele $(X_1^A, X_2^A, \dots, X_{n_A}^A, Y_1^A)$, cu excepția variabilei Y_1^A (una din cele n_A forțe generalizate), care se lasă să varieze o dată cu variația temperaturii, adică o dată cu trecerea stării sistemului A în diferite clase de echivalență, se spune că Y_1^A este *parametru termometric*, iar sistemului A devine *corp termometric*, parte esențială a unui termometru sau traductor de temperatură.

Se stabilește, din punct de vedere teoretic, corespondența dintre valorile numerice ale variabilelor $(X_1^A, X_2^A, \dots, X_{n_A}^A, Y_1^A)$ care, prin relația (3.3) adaptată sistemului A, determină valorile parametrului Θ^A care aproximează valorile adevărate, necunoscute ale temperaturii Θ și unice pentru fiecare clasă de echivalență, și mulțimea numerelor reale (sau o submulțime a acestora). Acest lucru înseamnă stabilirea funcției:

$$f_{spA1}: \mathbf{R}^{n_A+1} \rightarrow \mathbf{I} \subseteq \mathbf{R}, \text{ sub forma } \{\Theta^A\} = f_{spA1}(\{X_1^A\}, \{X_2^A\}, \dots, \{X_{n_A}^A\}, \{Y_1^A\}) \quad (4.6)$$

Funcția f_{spA1} este funcție numerică și se definește indicând explicit, printr-o „formulă” unitară, regula prin care, într-o scară, oricărui element i se asociază imaginea sa. f_{spA1} ia forme specifice pentru fiecare parametru temperatură, respectiv pentru unele combinații de unități de măsură în care sunt exprimate variabilele X_i^A și Y_i^A , adică, forme specifice fiecărei scări practice obținută prin sistemul A pentru parametrul Θ .

Spre deosebire de cazul SRCT-urilor, în care funcțiile de definiție din relațiile (4.2), (4.4) și (4.5) sunt valabile pentru întreaga mulțime \mathbf{M} a claselor de echivalență, în cazul SPT-urilor, funcția de definiție din relația (4.6) este valabilă doar pentru o submulțime a lui \mathbf{M} . Fie această submulțime alcătuită din clasele de echivalență ordonate după relația de ordine „mai cald decât” și aflate între izotermele \mathbf{M}^γ și \mathbf{M}^δ (figura 4.2). Motivele relevante ale acestei limitări sunt: a) sistemul A nu poate exista ca atare în afara intervalului limitat de \mathbf{M}^γ și \mathbf{M}^δ , sau b) ecuația termică de stare este insuficient de exactă pentru nevoile practice, în afara intervalului limitat de \mathbf{M}^γ și \mathbf{M}^δ , chiar dacă există stări ale lui A în afara acestor limite. Dacă Θ se identifică cu temperatura termodinamică T sau cu oricare din temperaturile θ_j definite la pct. 3.1, lit. c), atunci f_{spA1} poate arăta astfel:

$$\{\Theta^A\} = a \cdot (a_u \cdot f_{T,A1}(\{X_1^A\}, \{X_2^A\}, \dots, \{X_{n_A}^A\}, \{Y_1^A\}) + b) \quad (4.7)$$

unde, $f_{T,A1}: f_\Theta$ din (3.4), particularizată pentru sistemul A, parametrul intensiv Y_1^A și temperatura termodinamică T ; spre deosebire de f_Θ care definește o relație între mărimi, $f_{T,A1}$ este o funcție numerică;

a : valoare numerică pozitivă și reală, a cărei modificare determină trecerea de la o scară la alta a aceleiași temperaturi prin modificarea unității, cu următoarea precizare: dacă $a = \text{const.}$, atunci diferitele scări definite cu (4.7) vor avea aceeași unitate (acesta este și cazul din figura 4.2);

b : valoare numerică reală, a cărei modificare determină trecerea de la o scară la alta prin modificarea poziției zeroului scării, cu următoarele precizări (figura 4.2):

- dacă $b \leq b_0$, atunci scara are zero; pentru $b < b_0$, scara cuprinde și valori numerice negative, iar $\{\Theta^A\}$ se identifică cu oricare $\{\theta_j^A\}$ în funcție de valoarea lui b ;

- dacă $b > b_0$, atunci $\{\Theta^A\}$ se identifică cu oricare din valorile $\{\theta_j^A\}$ în funcție de valoarea lui b , iar scările practice obținute nu au zero; pentru $b \in [b_0, 0]$, zeroul scării poate fi doar imaginar și se poate obține prin extrapolarea graficului funcției f_{spA1} pentru clase de echivalență

aflate dincolo de limita M^Y ;

a_u : coeficient numeric care depinde de unitățile $([X_1^A], [X_2^A], \dots, [X_{n_A}^A], [Y_1^A])$ și de unitățile constantelor nenumerice cerute de ecuațiile termice de stare; dacă aceste unități aparțin toate aceluiași sistem coerent de unități, atunci $a_u = 1$.

Funcția $f_{T,A1}(Y_1^A) = T^A$ din relația (4.7), care se obține atunci când se mențin fixe variabilele de poziție X_i^A , va fi crescătoare conform celor arătate la pct. 3.2, lit. b), și poate fi neliniară, ca în cazul termorezistențelor din platină.

Definirea inițială a scărilor de temperatură s-a realizat după această metodologie. De exemplu, pentru scărilor Fahrenheit și Celsius, sistemul A, care joacă rol de termometru, este în acest caz un sistem simplu ca cel prezentat la pct.3.2, lit. a), la care variația temperaturii T^A în funcție de forța generalizată măsurabilă Y , are, printr-o aproximare rezonabilă, forma cea mai simplă

$$T^A = m \cdot Y \quad (4.8)$$

unde m este o constantă nenumerică dată. Dacă se ia $a_u=1$, atunci relația (4.7) devine:

$$\{t_F^A\} = a \cdot (\{m\} \cdot \{Y\} + b) \quad \text{și, respectiv,} \quad \{t^A\} = a \cdot (\{m\} \cdot \{Y\} + b) \quad (4.9)$$

De regulă, produsele $a \cdot \{m\}$ și $a \cdot b$ se înlocuiesc cu a' și, respectiv, b' .

Cei doi coeficienți numerici, a' și b' , se determină dându-se temperaturii Fahrenheit t_F^A (vezi anexa 1) a sistemului A valorile numerice 32 și 212 corespunzătoare punctului de topire al gheții, respectiv punctului de vaporizare al apei la presiunea atmosferică normală, adică:

$$\begin{cases} 32 = a' \cdot \{Y_g\} + b' \\ 212 = a' \cdot \{Y_f\} + b' \end{cases}$$

Se realizează, astfel, o SPT, specifică sistemului A, care aproximează SRCT Fahrenheit a temperaturii. Gradul de aproximare este dat de cel al relației (4.8).

Exemplul scării Celsius este similar cu cel al scării Fahrenheit, cu deosebirea că cele două valori numerice ale temperaturii Celsius t^A (vezi anexa 1), sunt 0 și 100. Rezultă că:

$$\begin{cases} 0 = a' \cdot \{Y_g\} + b' \\ 100 = a' \cdot \{Y_f\} + b' \end{cases}$$

Se realizează, astfel, o SPT, specifică sistemului A, care aproximează SRCT Celsius a temperaturii. Gradul de aproximare este dat de cel al relației (4.8).

În cazul termometrelor, adică al aparatelor/dispozitivelor/sistemelor de măsurare a temperaturii, care indică direct temperatura, caracteristica de transfer a acestora înseamnă de fapt materializarea, cu o aproximare mai mare sau mai mică, a funcției de definire a scării practice. Un tip de termometru, inclusiv scara de repere a dispozitivului de indicare a temperaturii, reprezintă un tip de scară practică, care se reproduce pentru fiecare termometru în parte, parcurgând, de regulă, următoarele operații metrologice:

- Calibrarea

Prin calibrare se fixează pozițiile reperelor scării unui termometru (de regulă numai a unor repere principale), în funcție de valorile corespunzătoare ale măsurandului. Prin această operație se modifică caracteristica de transfer a termometrului astfel încât valorile numerice ale indicațiilor sale să fie cât mai apropiate de valorile numerice atribuite aceluiași măsurand indicate de un etalon de referință. Acest etalon reproduce la rândul lui un alt tip de scară practică, dar cu un grad mai mare de concordanță cu definiția scării convenționale asociată.

- Etalonarea

Prin etalonare se stabilește, în condiții specificate, relația dintre valorile numerice ale temperaturii indicate de termometrul supus etalonării și valorile numerice realizate cu un etalon de referință. Pentru ca valorile indicate să fie trasabile la definiția SRCT, se determină și incertitudinea de măsurare asociată acestor indicații. Această operație este necesară, deoarece, pe lângă indicația termometrului, există și alte valori ce, în mod rezonabil, pot fi atribuite măsurandului. Unul din motivele acestei multitudini de valori îl constituie faptul că atât tipurile de scări practice cât și

reproducerile aceluiași tip de scară practică pot diferi între ele. Alte motive ale acestei multitudini de valori sunt prezentate, în general, în cap.3.3 din [13] și, în special, în [9], [10] și [12].

Noțiunea standardizată de *trasabilitate metrologică la o unitate de măsură*, care se definește, în general, considerând că referința la care se raportează rezultatele măsurării este definiția unei unități de măsură prin realizarea sa practică, poate fi înlocuită, în cazul temperaturii, cu *trasabilitate metrologică la o SRCT*. Astfel, referința la care se raportează rezultatele măsurărilor de temperatură dintr-o organizație sau dintr-o zonă teritorială/administrativă pentru asigurarea trasabilității lor este definiția unei SRCT, prin SPT-urile cu cel mai înalt grad de concordanță (compatibilitate) cu această definiție. Printre SPT-urile menționate se află și reproducerile Scării Internaționale de Temperatură din 1990, SIT-90 (aceasta este, de fapt, o reuniune de scări practice) [5], și ale Scării Provizorii de Temperaturi Joase, PLTS-2000 [6].

Termometrele utilizate ca etaloane, cum ar fi cele cu dispozitiv de indicare a temperaturii în unitatea kelvin, reproduc scări practice de temperatură, care prezintă grade mai mari sau mai mici de concordanță cu definiția SRCT corespunzătoare, în funcție de poziția pe care o ocupă etalonul respectiv în lanțul de trasabilitate. O astfel de scară este denumită scară de repere sau scară a unui termometru. De regulă, scările practice înglobate de termometre, altele decât etaloanele de temperatură, prezintă cel mai scăzut grad de concordanță cu definiția SRCT corespunzătoare.

Termometrele înglobează, de regulă, scări practice corespunzătoare numai unor părți ale SRCT specifice. Această afirmație este același mod de a spune că *domeniul nominal* al indicațiilor unui termometru este o submulțime a mulțimii în care funcția care definește scara convențională ia valori.

O scară convențională a temperaturii este utilizată, în general, cu ajutorul mai multor termometre sau traductoare de temperatură care au domenii nominale diferite.

Funcția de definiție f_{spA1} , fiind o funcție numerică care se aplică proprietăților unui sistem real, se poate materializa prin caracteristicile de transfer ale termometrelor sau traductoarelor de temperatură. Un avantaj al utilizării unei funcții numerice de definiție a scării practice la stabilirea caracteristicii de transfer, este acela că se permite ca operațiile de calibrare/etalonare să fie efectuate numai pentru un număr restrâns de valori ale domeniului de măsurare. În acest caz, termometrul memorează funcția de definiție aproximată prin caracteristica sa de transfer.

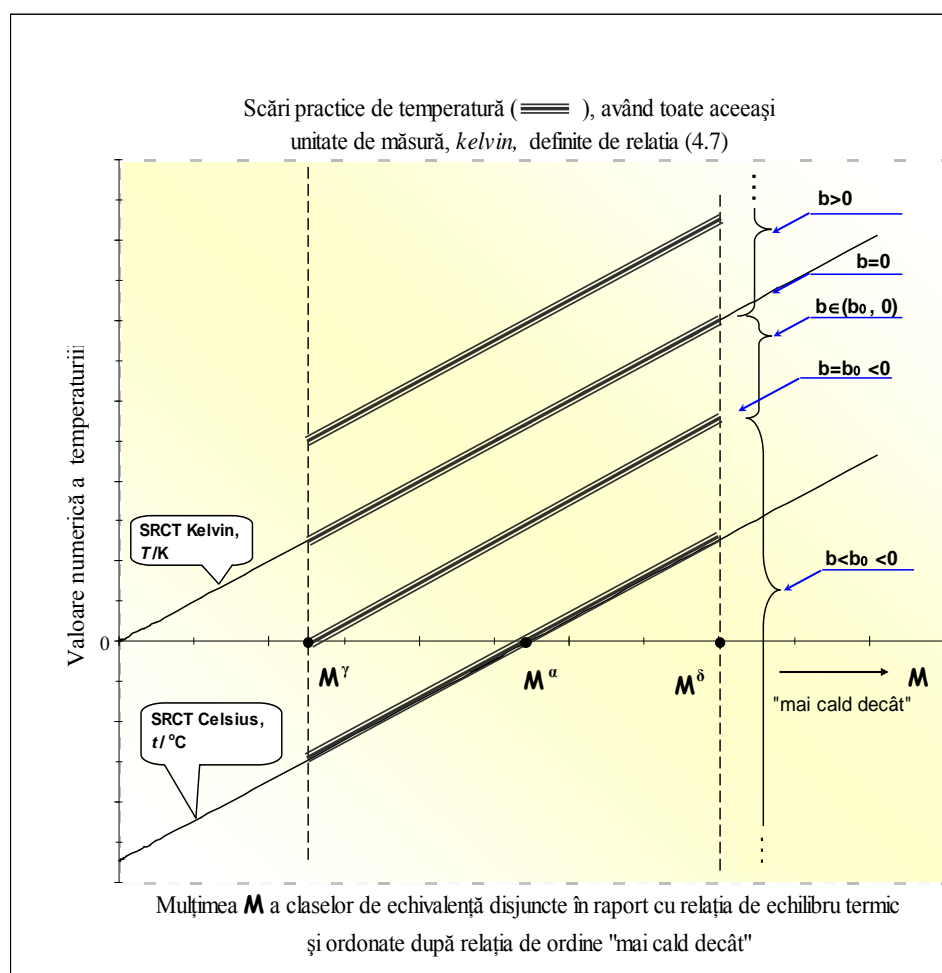


Fig. 4.2

5 Concluzii

Tipul de reprezentare grafică utilizat în figurile 4.1 și 4.2, prezintă particularități care îl fac mai avantajos decât alte tipuri de reprezentări. Astfel, acesta permite o reprezentare simplă, liniară, a scărilor pentru temperatura termodinamică T , respectiv temperaturile derivate din aceasta conform celor arătate la pct. 3.1, lit. c), și **ordonarea valorilor temperaturii corespunzătoare claselor de echivalență reprezentate pe abscisă**, prin ordonarea elementelor acesteia: a valorilor numerice pe ordonată, respectiv a unităților de măsură prin pantele semidreptelor sau segmentelor de dreaptă care constituie graficele scărilor de temperatură.

De regulă, o temperatura (un parametru temperatura) poate fi exprimată în mai multe scări. Trecerea de la o temperatură la alta implică, în general, trecerea de la o scară la alta. Un punct de pe grafic poate aparține mai multor scări; în acest caz scările aparțin unor parametri temperatură diferiți între ei, și chiar unor parametri intensivi, alții decât temperaturi (parametrilor Y_i , de exemplu). Parametrii temperatură care se definesc ca mărimi fără dimensiune (de ex.: $\ln(T/T_0)$, unde T_0 este o valoare de referință a temperaturii T) se pot exprima numai într-o singură scară convențională de temperatură.

Scările parametrilor temperatură diferiți de cei stabiliți la pct. 3.1, lit. b) și lit. c), nu sunt, în mod obligatoriu, liniare. Chiar dacă acestea sunt, de regulă, definite în funcție de temperatura termodinamică, definită deja în mod riguros pe baza principiilor termodinamicii, totuși, tipul de grafic menționat mai sus permite o reprezentare care sugerează mai bine realitatea prin raportarea la clasele de echivalență.

La o SPT, graficul permite asocierea, în mod rezonabil, a mai multor valori numerice cu o clasă de echivalență, caz în care acesta poate fi reprezentat de o bandă a cărei lățime este proporțională cu gradul de aproximare, prin SPT, a definiției scării convenționale corespunzătoare (figura 4.2).

Tratarea scărilor de temperatură, plecând de la descrierile din tabelul 4.1, ajută la evaluarea sistematică a surselor de incertitudine care pot fi grupate în funcție de etapele privind producerea/reproducerea și utilizarea scărilor practice de temperatură.

Plecând de la sensul noțiunii de mărime și al principiilor generale referitoare la mărimi și unități [14], [15] și [17], la utilizarea noțiunilor de temperatură și scară de temperatură m-am bazat pe conceptele de *parametri temperatură* și *mulțime/mulțimi* de astfel de parametri, față de abordarea tradițională în care predomină conceptul de parametru „global” pentru temperatură, numit și *temperatură empirică* [1], [2] și [3].

Bibliografie

- [1] Popescu I.M., *Fizica termodinamică*, Editura Politehnica Press, București, 2002
- [2] Moisil G.C., *Termodinamica*, Editura Academiei RSR, București, 1988
- [3] Țițeica Ș., *Termodinamica*, Editura Academiei RSR, București, 1982
- [4] Iacobescu F., Ilioiu N., *Istoria Metrologiei din România*, Editura Academiei Române, București, 2003
- [5] Preston-Thomas H., *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*, Metrologia, 1990, **27**, 3-10
- [6] xxx Recommendation 1 (CI-2000): *Extension of the International Temperature Scale below 0,65 K*, 89th Meeting of the CIPM, 2000, 128-130
- [7] Rusby R.L., Hudson R.P., Durieux M., Schooley J.F., Steur P.P.M., Swenson C.A., *Thermodynamic Basis of the ITS-90*, Metrologia, 1991, **28**, 9-18
- [8] Kemp R.C., *The Reference Function for Platinum Resistance Thermometer Interpolation between 13,8033 K and 273,16 K in the International Temperature Scale of 1990*, Metrologia, 1991, **28**, 327-332
- [9] Nicholas J.V., *On the thermodynamic accuracy of the ITS-90: platinum resistance thermometry below 273 K*, Metrologia, 1995, **32**, 71-77
- [10] Ancsin J., *Non-uniqueness of the ITS-90 (uncertainties in temperature measurements)*, Metrologia, 1996, **33**, 5-17
- [11] Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Taylor B.N., Williams E.R., *Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005)*, Metrologia, 2006, **43**, 227-246

- [12] xxx *Suplimentary Information for the International Temperature Scale of 1990*, Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), Pavillon de Breteuil, F-92310 Sevres, 1990
 [13] xxx SR ENV 130005:2003, *Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare*, acest standard este identic cu prestandardul european ENV 13005:1999
 [14] xxx ISO VIM (DGUIDE 99999.2), *International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM)-Third edition*, ISO 2006
 [15] xxx SR 13251:1996, *Vocabular internațional de termeni fundamentali și generali în metrologie*
 [16] xxx *Sistemul Internațional de Unități (SI)*, Editura Academiei RSR, București, 1989
 [17] xxx *Unități de măsură - Colecție de standarde*, Editura Tehnică, București, 1997

Anexa 1

Temperaturi, simboluri și unități

Simbol	Despre mărime/mulțimea de mărimi	Unitate de măsură
T	Temperatura termodinamică T de la la pct. 3.1, lit. b), se poate exprima în scări convenționale de temperatură cu <i>zero absolut</i> ; $T \in \Theta$.	mulțime nenumărabilă de unități
	Dacă $a = 1$ și $a_u = 1$, atunci SRCT definită de relația (4.4) se numește <i>scara Kelvin</i> . În această scară, $T_{PT_{R_{A_{Pa}}}} = 273,16$ K.	kelvin, simbol K ¹⁾
	Dacă $a = 9/5$ și $a_u = 1$, atunci SRCT definită de relația (4.4) se numește <i>scara Rankine</i> . În această scară, $T_{PT_{R_{A_{Pa}}}} = 491,688$ °R. NOTĂ: Atunci când se exprimă în scara Rankine, temperatura T se mai notează cu T_R .	grad Rankine, simbol °R 1 °R = (5/9) K
Θ	Temperatura termodinamică, definită până la un factor constant, se poate exprima în orice scară convențională de temperatură cu <i>zero absolut</i> .	mulțime nenumărabilă de unități
θ_1, t	Temperatura θ_1 de la pct. 3.1, lit. c), se poate exprima în scări convenționale de temperatură cu <i>zero arbitrar</i> ; $\theta_1 \in \Theta$. Dacă $a = 1$ și $j = 1$, atunci SRCT definită de relația (4.5) se numește <i>scara Celsius</i> a temperaturii θ_1 . NOTĂ: Atunci când se exprimă în scara Celsius, temperatura θ_1 se mai numește <i>temperatura Celsius</i> , și se notează cu t (vezi tabelul 4.2).	grad Celsius, simbol °C Gradul Celsius este o denumire specială a kelvinului.
θ_2, t_F	Temperatura θ_2 de la pct. 3.1, lit. c), se poate exprima în scări convenționale de temperatură cu <i>zero arbitrar</i> ; $\theta_2 \in \Theta$. Dacă $a = 9/5$ și $j = 2$, atunci SRCT definită de relația (4.5) se numește <i>scara Fahrenheit</i> a temperaturii θ_2 . NOTĂ: Atunci când se exprimă în scara Fahrenheit, temperatura θ_2 se mai numește <i>temperatura Fahrenheit</i> , și se notează cu t_F (vezi tabelul 4.2).	grad Fahrenheit, simbol °F Gradul Fahrenheit este egal cu gradul Rankine.
Θ	Mulțimea $\Theta = \{\theta_j j \in \mathbf{R}^+\}$, unde θ_j sunt parametrii de la pct. 3.1, lit. c), ce se exprimă în scări convenționale de temperatură cu <i>zero arbitrar</i> ; $\Theta \subset \Theta$	mulțime nenumărabilă de unități
Θ	Mulțimea $\Theta = \{\Theta_k k \in \mathbf{R}^+\}$, unde Θ_k sunt parametrii temperatură/temperaturile de la pct. 3.1, lit. a)	mulțime nenumărabilă de unități

¹⁾ Unitate aparținând SI.

Prezentat în data de 15 august 2006; acceptat în data de 10 septembrie 2006
 Revizia științifică: prof.univ.dr.ing. Ion M. POPESCU



Dumitru DINU

- Absolvent al Institutului Politehnic din București, Facultatea de Mecanică, specializarea mecanică fină, 1984
- Cercetător științific la Institutul Național de Metrologie, 1987
- Director al Institutului Național de Metrologie, 2000 - 2001
- Director general adjunct al BRML, 2002
- Doctorand la Universitatea „Politehnica” din București, 2003