

MĂSURAREA TEMPERATURILOR

NOȚIUNI GENERALE

Starea de agitație termică a moleculelor unui corp și energia internă a acestui corp pot fi caracterizate printr-un parametru de stare ce poartă numele de **temperatură**.

În natură există mai multe fenomene fizice de dependență a unor parametri fizici cu temperatura. Aceste fenomene pot fi definite matematic prin funcții, care se numesc funcții termometrice și care trebuie să aibă următoarele caracteristici:

- să fie continue în domeniul de temperaturi utilizate;
- pentru o valoare a temperaturii trebuie să corespundă o singură valoare a funcției;
- să fie cât mai generală (aplicabilă pe un domeniu cât mai larg de temperaturi);
- să urmărească variația temperaturii atât în procesele de răcire cât și în cele de încălzire (condiția de fidelitate a funcției);
- la variații minime ale temperaturii să corespundă valori maxime ale funcției (condiția de sensibilitate).

Între fenomenele fizice ale căror funcții matematice îndeplinesc condițiile de mai sus pot fi enumerate:

- dilatarea corpurilor;
- efectul termoelectric;
- variația rezistenței electrice cu temperatura;
- radiația corpurilor;
- alte fenomene fizice.

SCĂRI DE TEMPERATURĂ

Scara de temperaturi construită pe baza principiului al doilea al termodinamicii, singura scară de temperaturi corectă, poartă numele de scară termodinamică de temperatură și este în același timp scara de temperatură acceptată pe plan internațional. Temperatura măsurată după această scară se notează cu T , iar valorile numerice sunt urmate de semnul K (ex. 273,15 K). Originea scării se găsește în punctul de zero absolut, adică în punctul în care încetează agitația moleculară. Construcția scării se face pe baza a șase puncte fixe principale definite astfel conform STAS.

În mod curent în practică se folosește scara termodinamică centigrad (scara Celsius), care este construită pe baza a două puncte principale, pentru presiunea de 1 atm:

1. punctul de topire a gheții $0^{\circ}C$
2. punctul de fierbere a apei $100^{\circ}C$

APARATE DE MĂSURAT TEMPERATURA

Aparatele de măsurat temperatura pot fi clasificate în funcție de mai multe criterii: fenomenul fizic de bază, precizie, de indicare a temperaturii etc.

În funcție de fenomenul fizic care stă la baza construcției aparatului avem:

Aparate care folosesc dilatarea corpurilor

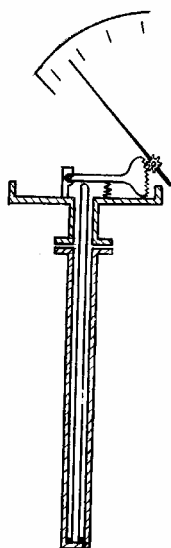
Corpul care se dilată poate fi un corp solid, lichid sau gazos. Aparatele care sunt construite pe principiul dilatării corpurilor, numite termometre, sunt aparate simple, precise,

cu un domeniu larg de temperatură și care pot fi folosite ca aparate indicatoare sau circuite de semnalizare sau reglare.

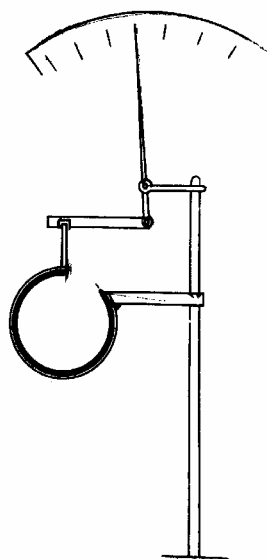
Caracteristicile funcționale ale termometrelor

Tipul termometrului	Corpul termometric	Domeniu de utilizare	Caracteristici
Termometru cu tijă metalică	Al, alama, Ol	-100 ... +100°C	Aparate robuste de tip regulator sau indicator
Termometru cu arc bimetalic	Al, alamă, Ol		
Termometru cu lamelă bimetalică	Alama/Ol + invar		
Termometre cu lichid	Galiu Mercur Toluen Alcool etilic	0 ... +1100°C -30 ... +700°C -90 ... +100°C -100 ... +75°C	Aparate de tip indicator, semnalizare, reglatoare
Termometre manometrice cu lichid	Hexan Alcool Mercur	-80 ... +320°C -50 ... +320°C -35 ... +600°C	Aparate ce transmit indicația la distanță (max 100 m)
Termometre manometrice cu vapori	Etan sau propan Butan Eter etilic Apa	-40 ... 0°C +20 ... +150°C +60 ... +160°C +120 ... +200°C	
Termometre manometrice cu gaz	Azot, argon, CO ₂	-60 ... +600°C	

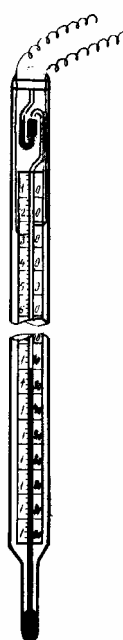
Termometrele ce folosesc dilatarea solidelor pot folosi dilatarea unui singur metal sau dilatarea a doua metale cu coeficienti de dilatare diferiti, sub forma de lamele sudate pe toata lungimea. Aluminul, alama si otelul in aliaj cu 25% nichel au coeficienti de dilatare mari, iar invarul are un coeficient de dilatare mic. Aceste aparate sunt robuste, au ca dezavantaje oboseala materialului in timp, precum si dezlipirea partiala a lamelelor in cazul bimetalelor.



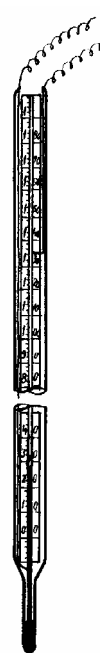
Termometru cu tijă metalică



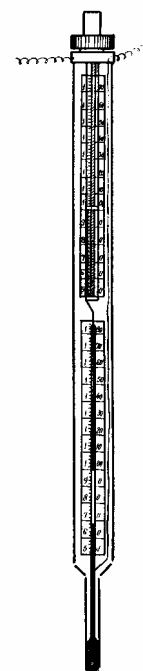
Termometru cu arc bimetalic



Termometru Beckmann



Termometru cu contact fix



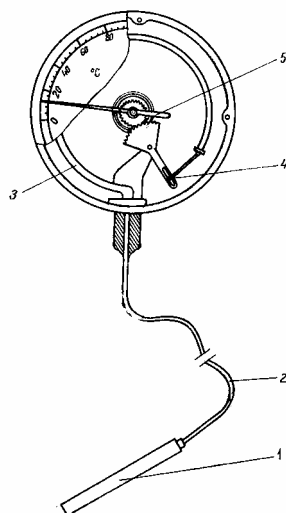
Termometru Wertex

Termometrele ce folosesc dilatarea lichidelor sunt construite din sticla speciala, fiind simplu de manevrat, precise și ieftine. Se remarcă termometrele speciale cu contacte electrice (cum ar fi termometrul Beckmann, termometrul cu contact fix și termometrul Wertex), ce permit închiderea unui circuit exterior, putând fi astfel utilizate ca elemente de semnalizare, reglare sau acționare.

Termometrul Beckmann este un termometru cu scară variabilă și rezervor suplimentar și este destinat măsurării diferențelor de temperatură. Intervalul de temperaturi se poate modifica prin scurgerea unei cantități de mercur din rezervorul suplimentar în capilarul termometrului, astfel încât scară este gradată în sens invers.

Termometrul Wertex este un termometru cu contact deplasabil. Astfel, unul din contacte este constituit dintr-un fir de platina ce se poate deplasa în interiorul capilarului termometrului până în dreptul reperului de temperatură dorit. Deplasarea are loc datorită faptului că firul de platina este legat de o piulită care se află pe un șurub ce se poate roti prin intermediul unei chei magnetice plasate în partea de sus a termometrului. Piulita se deplasează de-a lungul unei scări de temperatură auxiliare, identică cu prima, poziția piulitei corespunzând, pe această scară, cu poziția contactului mobil (capătul liber al firului de platina).

Termometrele manometrice reprezintă aparate de măsură ce folosesc drept principiu de funcționare variația presiunii cu temperatura.



Termometru manometric

Alcatuirea aparatului

- 1 - rezervor conținând corpul termometric, care se introduce în mediul cărui se măsoară temperatura;
- 2 - tub capilar de legătură;
- 3 - element elastic;
- 4 - dispozitiv de transmitere a mișcării;
- 5 - dispozitiv indicator sau înregistrator.

Prezintă avantajul transmiterii indicațiilor la distanțe relativ mari (maxim 100 m).

Aparate ce folosesc efectul termoelectric

Efectul termoelectric constă în apariția unui curent electric în circuitul închis format din două conductoare din materiale diferite, dacă sudurile sunt supuse unor temperaturi diferite.

În mod obișnuit se măsoară tensiunea apărută în circuitul termocuplului cu ajutorul unui milivolmetru, ce poate avea scară etalonată direct în grade.

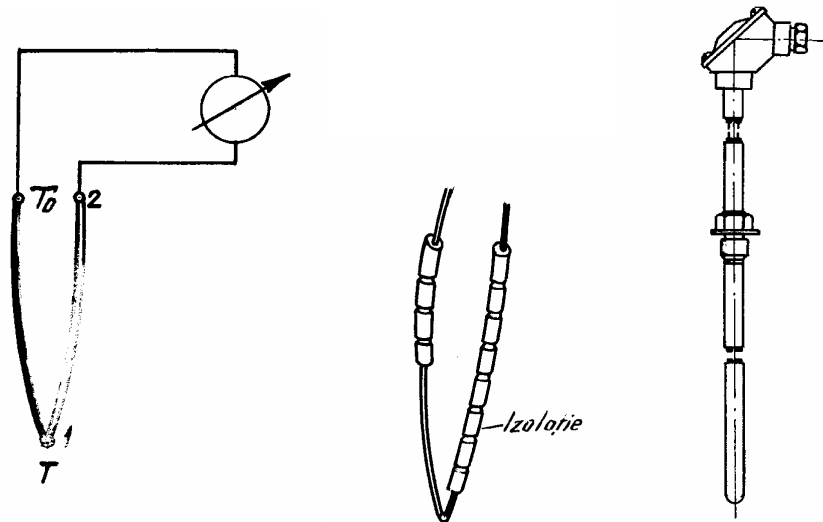
În funcție de natura materialelor utilizate la construcția termoelectrozilor, avem:

- *Termocupluri cu termoelectrozi din metale mobile.* Sunt folosite pentru etalonări și verificări. Cele mai răspândite sunt cele din aliaje de Pt-Rh cu diferite procente ale Rh.

- *Termocupluri cu termoelectrozi din metale obișnuite.* Cele mai utilizate combinații în construcția termoelectrozilor sunt: Fe – Const., Cromel – Alumel, Cromel – Copel, Cu – Const., W – Ta, Mo – Ta (ultimele trei pentru valori până la 2000°C) etc.

- *Termocupluri cu termoelectrozi nemetalici* (un termoelectrod metalic și unul nemetalic sau ambii electrozi nemetalici). Combinațiile frecvente sunt: carbură de siliciu – grafit, sau grafit – grafit. Construcția este de tipul teacă – baghetă centrală.

Termocuplurile sunt folosite la măsurători de temperaturi ridicate. Termoelectrozii termocuplurilor se confecționează din sârmă cu diametre cuprinse între zecimi de milimetri și 3 mm și se izolează folosind cauciuc pentru temperaturi până la 80°C mătase până la 120°C, email până la 150°C, sticlă până la 1000°C și porțelan până la 1500°C. Tuburile din cuarț sau porțelan sunt utilizate pentru temperaturi ridicate când metalele devin permeabile pentru unele gaze.



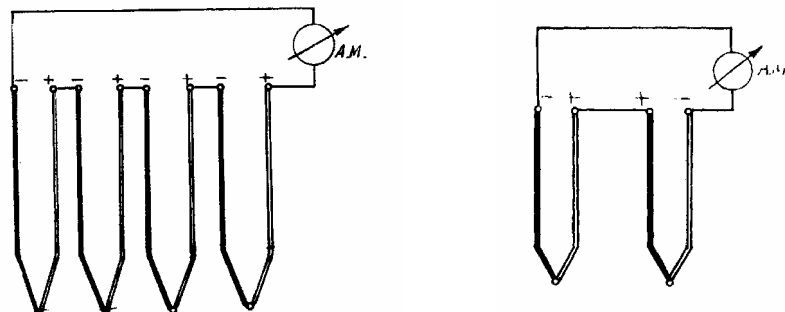
Circuitul termocuplului

Modul de izolare

Teaca de protecție

Când diferența de temperatură între sudura caldă și cea rece este prea mică, deci când f.e.t.m. are o valoare scăzută se utilizează legarea în serie a termocuplurilor.

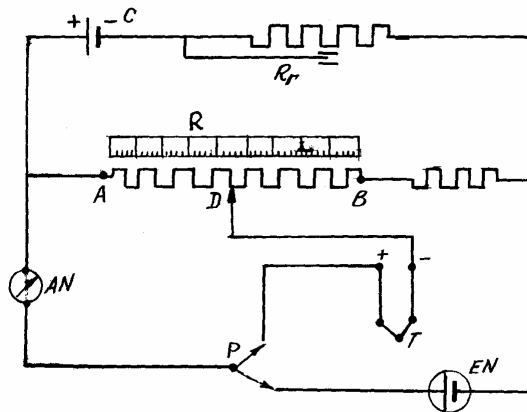
Pentru măsurarea diferenței de temperatură se vor racorda două termocupluri în opoziție.



Legarea in serie a termocuplurilor

Masurarea diferentelor de temperatura

Măsurarea forței termoelectromotoare se poate realiza prin intermediul milivoltmetrelor sau a compensatoarelor.



Utilizarea compensatoarelor se face opunând forței electromotoare ce trebuie măsurată, o tensiune reglabilă și cunoscută astfel încât curentul în circuitul de comparare să fie nul.

Schema de principiu a compensatorului, prezentată în figura alaturată, cuprinde sursa de curent continuu C , reostatul de reglaj R_r , reostatul R cu scara gradată în grade de temperatură, termocuplul T , un galvanometru indicator de nul AN și un element normalizat EN .

Prin deplasarea contactului D , forțele t.e.m. ale termocuplului și sursei pot fi echilibrate pe circuitul galvanometrului, astfel încât termocuplul va dezvoltă f.t.e.m.:

$$e = \frac{R_{AD}}{R_{AB}} E = \frac{l}{L} E = f(T)$$

Elementul normalizat servește la controlul punctului de nul, astfel încât la introducerea sa în circuit dacă AN nu indică valoarea zero se va face compensarea prin intermediul reostatului R_r .

Elementul normalizat este o pilă galvanică reversibilă ce dezvoltă o f.e.m. constantă pe un timp îndelungat. Cel de tip Weston dezvoltă la $+20^\circ\text{C}$ o f.e.m. constantă $E = 1,0183 \text{ V}$.

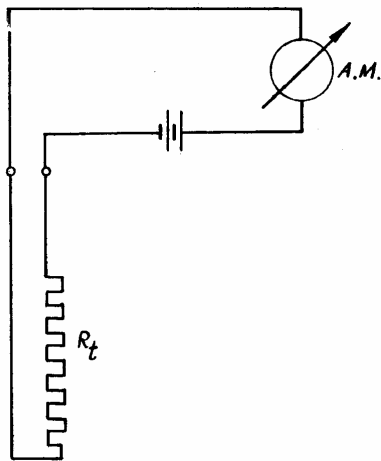
Avantajele principale ale termocupurilor sunt:

- precizia măsurării;
- posibilitatea de măsurare a unor temperaturi destul de ridicate;
- posibilitatea înregistrării automate a temperaturii;
- posibilitatea conectării la un singur aparat de măsură a mai multor termocupluri;
- posibilitatea de a fi utilizate pentru reglaj și în comenzi la distanță.

Aparate ce folosesc variația rezistenței electrice cu temperatura

Aparatele se numesc termometre cu rezistență electrică, măsoară temperaturi între -200 și $+850^\circ\text{C}$ și se compun din:

- termorezistență, care constituie elementul sensibil;
- conductoare de legătură;
- aparatul de măsură.



Termorezistența trebuie să fie realizată dintr-un material pentru care rezistența electrică să varieze cu temperatura după o lege cât mai simplă, astfel încât să putem calibra aparatul cu ușurință. Pentru un fir de platina, dependența rezistenței electrice cu temperatura pentru domeniul $0 \dots +630^\circ\text{C}$ este de forma

$$R = R_0(1 + At + Bt^2)$$

unde R_0 reprezintă rezistența electrică la temperatura de 0°C , iar A și B sunt două constante determinate experimental.

Materialele metalice utilizate la construcția termorezistențelor sunt: Pt, Cu, Ni, Fe.

Termometrele cu rezistență electrică care utilizează semiconductoarele ca materiale termosensibile se numesc *termistoare*; acestea se caracterizează printr-o lege de variație exponențială, precum și prin faptul că au o inerție termică practic nulă.

Măsurarea rezistenței se realizează cu ajutorul metodelor potențimetrice, a punților (echilibrate sau neechilibrate) și a logometrelor (aparate magneto-electrice).

Avantajele termometrelor cu rezistență electrică:

- precizie ridicată;
- posibilitatea centralizării controlului temperaturilor prin conectarea mai multor termometre la un singur aparat de măsură;
- posibilitatea înregistrării automate a temperaturii.

Aparate care utilizează fenomenul de radiație pentru măsurarea temperaturii

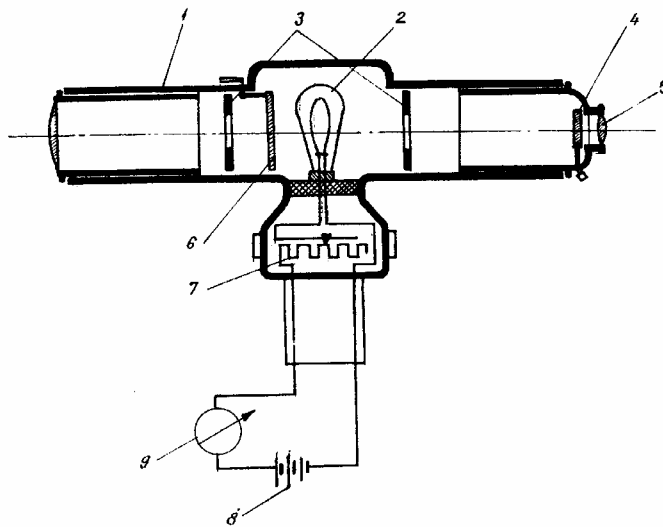
Acest fenomen este aplicat în construcția pirometrelor ce măsoară temperatura corpurilor după radiația lor, atunci când valoarea acestuia trece de 700°C . Principiul metodei constă în măsurarea energiei radiante emise de sursă folosind fie legea creșterii intensității radiației monocromatice cu temperatura, fie legea radiației corpului negru.

În această lucrare se vor examina trei tipuri de aparate de măsură:

- piometre optice cu dispariția filamentului;
- piometre de radiație totală;
- piometre fotoelectrice.

Piometrul optic cu dispariția filamentului

Principiul de funcționare a piometrului constă în compararea strălucirii sursei cu strălucirea filamentului unei lampi a aparatului, pentru radiații cu o anumită lungime de undă ($\lambda = 0.65 \mu\text{m}$), ținând cont că strălucirea este direct proporțională cu intensitatea radiației monocromatice.



Alcatuirea aparatului:

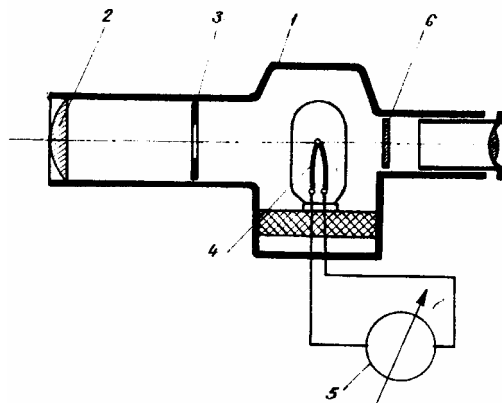
- 1 - luneta;
- 2 - lampa cu filament din Wolfram;
- 3 - diafragme;
- 4 - filtru ce permite trecerea radiatiilor de o anumita lungime de unda;
- 5 - lentila;
- 6 - filtru absorbant;
- 7 - rezistenta variabila;
- 8 - sursa de curent;
- 9 - aparat de masura.

Principalul dezavantaj al aparatului consta in faptul ca masurarile sunt subiective (depind de caracteristicile vizuale ale persoanei care efectueaza

masurarile).

Pirometrul de radiatie totala

Principiul de functionare se bazeaza pe actiunea termica a radiatiilor emise de corpul sursa (caruia ii masuram temperatura).



Alcatuirea aparatului:

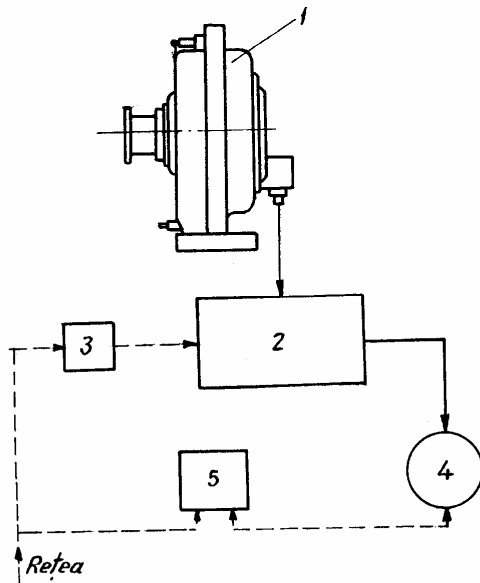
- 1 - luneta;
- 2 - lentila pentru concentrarea fluxului radiant;
- 3 - diafragma;
- 4 - organ termosensibil constituit din mai multe termocupluri legate in serie;
- 5 - aparat de masura (milivoltmetru sau potentiometru);
- 6 - filtru pentru protectia ochilor de lumina puternica a sursei.

Avantajul acestui aparat, spre deosebire de pirometrul cu disparitia filamentului, consta in eliminarea subiectivitatii masurarii (nu intervine aprecierea subiectiva a observatorului). Aparatul are insa o precizie scazuta, deoarece o parte din

energia radianta este absorbita de catre mediul dintre sursa si aparat

Pirometrul fotoelectric

Are ca element termosensibil o celula fotoelectrică al carei curent fotoelectric este proportional cu fluxul luminos emis de corpul cald, care este la randul sau o masura a temperaturii corpului.



Alcatuirea aparatului:

- 1 - luneta;
- 2 - lentila pentru concentrarea fluxului radiant;
- 3 - diafragma;
- 4 - organ termosensibil constituit din mai multe termocupluri legate in serie;
- 5 - aparat de masura (milivoltmetru sau potentiometru);
- 6 - filtru pentru protectia ochilor de lumina puternica a sursei.

Aparatul se foloseste pentru inregistrarea si reglarea temperaturii in procese termice ce decurg cu viteza mare.

Alte mijloace de măsurat temperatura

Conuri Seger (indicatori pirometrici)

Conurile Seger se folosesc pentru determinarea temperaturilor ridicate în cuptoarele industriale. Acestea sunt piramide triunghiulare de 30 sau 58 mm înălțime, confecționate din diferite amestecuri de caolin, cuarț, feldspat și alți fondanți ceramici, alese astfel încât diferitele indicatoare să aibă temperatura de înmuiere între 600 și 2000 °C cu intervale din 20 în 20 °C. Se notează cu numere care corespund cu 1/10 din temperatura de înmuiere a lor (ex. I.P. 130 înseamnă că temperatura de înmuiere a acestuia este de 1300 °C.) la care vârful conului atinge planul bazei sale.

Culori termoscoapice (indicatori de temperatură)

Principiul metodei are la bază proprietatea unor substanțe de a-și schimba culoarea în funcție de temperatură. Fenomenul, numit termochromie, oferă posibilități rapide și ieftine de evaluare a temperaturii. Domeniul de utilizare este cuprins între +40°C și +1350°C. De exemplu, iodura dublă de cupru și mercur este roșie pt temperaturi până la 55 °C, devine roșie-brună până la 63 °C, brună până la 70°C și neagră peste 100°C.

Temperatura magnetică

Pentru temperaturi foarte scăzute care formează domeniul criogeniei, termometria utilizează legătura dintre susceptibilitatea magnetică x și temperatura magnetică T^* dată de legea:

$$T^* = \frac{C}{x}$$

unde C este constanta Curie. Legătura dintre temperatura magnetică și temperatura termodinamică este o funcție cunoscută pentru sărurile paramagnetice utilizate.

Fototermometria

Metoda fototermometriei utilizează plăci fotografice speciale sensibile la radiatiile infraroșii, care permit obținerea unei imagini a distribuției de temperatură prin înnegrirea plăcii fotografice funcție de acesta. Transparența zonei de pe placa fotografică dezvoltată se măsoară cu microfotometre speciale.