

Proprietățile fotometrice ale materialelor

Dacă asupra unui corp cade un flux luminos, o parte se va reflecta, o parte va fi absorbită de corp și o parte va trece prin corp. Dacă notăm fluxul incident cu Φ și aplicăm principiul conservării energiei atunci putem scrie:

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

Din punct de vedere fotometric proprietățile materialelor sunt mai bine caracterizate prin următorii coeficienți (factori) :

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} - \text{factor de reflexie}; \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} - \text{factor de absorbție}; \quad \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} - \text{factor de transmisie}.$$

Legea conservării energiei de mai sus, prin împărțire la Φ_i devine:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Reflexia sau transmisia unui flux luminos poate fi :

- regulată (dirijată) : unei raze incidente îi corespunde o singură rază reflectată sau transmisă;
- difuză (regulat difuză) : razele incidente sunt reflectate sau transmise în mai multe direcții
- mixtă : lumina incidentă este reflectată sau transmisă parțial regulat și parțial difuz;
- perfect difuză : luminanța are aceeași valoare în toate direcțiile.

Reflexia

a) Reflexia regulată respectă legile opticii geometrice:

- raza incidentă și cea reflectată se găsesc în același plan cu normala la suprafața iluminată
- unghiurile de incidență și cel de reflexie sunt egale în valoare absolută

Reflexia regulată se obține de la suprafețe netede șlefuite, ale căror neregularități sunt mai mici decât lungimea de undă a razelor incidente. Exemple:

- argint șlefuit, $\rho=0,88..0,93$
- oglindă de sticlă argintată, $\rho=0,70..0,85$
- tablă albă, $\rho=0,69$
- nichel șlefuit, $\rho=0,55..0,63$

b) În reflexia difuză fluxul reflectat este concentrat într-un unghi solid, iar intensitatea luminoasă maximă este îndreptată după axa acestui unghi. Materialele care pot da reflexie regulat difuză au suprafețele metalice mate. Exemple:

- suprafață argintată mată, $\rho=0,75$
- aluminiu mat, $\rho=0,55..0,60$
- suprafață cromată mată, $\rho=0,50$
- suprafață nichelată mată, $\rho=0,48..0,52$

c) Reflexia mixtă (combinată) este o combinație de reflexie regulată și difuză, iar coeficientul de reflexie este compus în consecință din două componente (regulată, ρ_r și difuză, ρ_d).

$$\rho = \rho_r + \rho_d$$

Exemple de materiale care au reflexie mixtă:

- sticlă opalescentă
 - smalț (glazură) de porțelan
 - marmură
- | | |
|---------------------|---------------------|
| $\rho_r=0,3..0,6$ | $\rho_d=0,05..0,06$ |
| $\rho_r=0,55..0,65$ | $\rho_d=0,05..0,06$ |
| $\rho_r=0,04..0,6$ | $\rho_d=0,05..0,06$ |

d) Reflexia perfect difuză are loc când fluxul reflectat este uniform repartizat într-un unghi solid 2π . Forma corpului fotometric al fluxului reflectat este o semi-sferă, intensitatea luminoasă după o direcție sub un unghi α oarecare față de normală, respectă legea lui Lambert:

$$dI_\alpha = dI_{\max} \cdot \cos \alpha$$

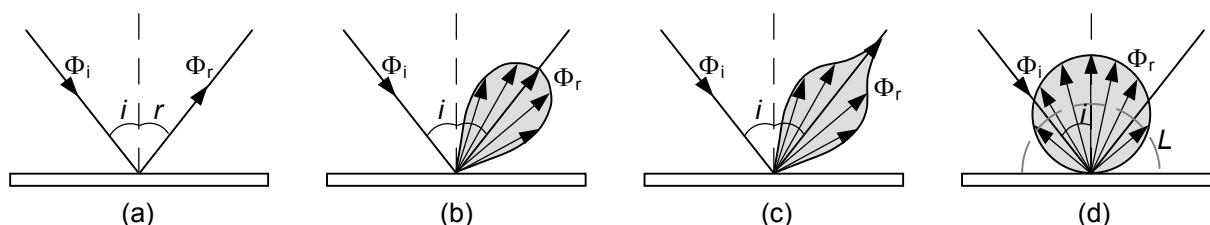


Fig.1.11 Reflexia luminii
a – regulată; b – difuză; c – mixtă; d – perfect difuză.

în care dI_{max} este intensitatea luminoasă în direcție normală la suprafață. O suprafață care prezintă această proprietate, privită din orice direcție, are aceeași strălucire și se numește suprafață perfect difuzantă sau perfect mată.

Exemple:

- oxid de magneziu	$\rho=0,96$
- sulfat de bariu	$\rho=0,95$
- vopsea albă pe bază de ulei	$\rho=0,80$

Transmisia

- Transmisia regulată se caracterizează prin păstrarea mărimii, formei și direcției unghiului solid al fluxului incident. Din grupa materialelor cu transmisie regulată fac parte corpurile "transparente", în principal sticlele colorate și necolorate.
- Transmisia regulat difuză se caracterizează prin împrăștierea într-un anumit unghi solid a fluxului ce a trecut, iar intensitatea luminoasă maximă este îndreptată după axa acestui unghi. Ea se întâlnește la sticlele mate, obținute prin sablare mecanică sau chimică, utilizate frecvent la construcția aparatelor de iluminat. Sticlele mate sunt caracterizate de valori ale coeficienților $\tau=0,78..0,85$ și $\rho=0,09..0,15$.
- Materialul care prezintă transmisie mixtă este sticla opalină, care se obține prin inserarea în masa sticlei a unor particule cu indici de refracție diferiți (oxizi de plumb, ipsos, talc etc.)
- Transmisia perfect difuză se caracterizează prin repartitia fluxului transmis după legea lui Lambert, independent de direcția fluxului incident. Materialul cu această proprietate este sticla dens lăptoasă, obținută la fel cu sticla opalină, doar că particulele transparente inserate în masa sticlei sunt de altă natură (compuși de thoriu sau de fosfor). Difuzia este cu atât mai completă cu cât aceste particule sunt mai mici.

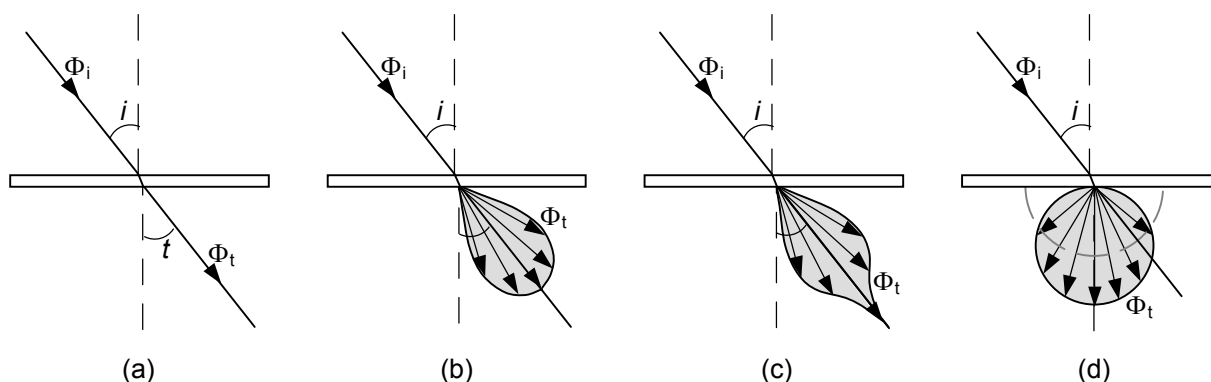


Fig.1.12 Transmisia luminii

a – regulată; b – difuză; c – mixtă; d – perfect difuză.

Din punct de vedere al dependenței factorilor fotometrici de lungimea de undă, cu radiație luminoasă, corpurile pot fi *colorate* sau *necolorate*. Pentru corpurile necolorate factorii ρ , α și τ nu depind de lungimea de undă a radiației incidente, astfel corpul reflectă, absoarbe și transmite în mod neselectiv lumină. La corpurile colorate ρ , α și τ depind de lungimea de undă, corpurile reflectă, absorb sau transmit în mod selectiv lumina și de aici senzația de culoare.

MĂSURAREA MĂRIMILOR FOTOMETRICE

Măsurarea mărimilor fotometrice se poate realiza prin două categorii de metode:

- metode (subiective) de fotometrie vizuală, care folosesc proprietatea ochiului omenesc de a aprecia dacă două suprafețe alăturate și de aceeași culoare au sau nu aceeași strălucire;
- metode (obiective) de fotometrie fizică, care folosesc proprietatea unor corpuri de a produce fotocurenți sau termocurenți sau de a-și modifica rezistivitatea electrică sub acțiunea unui flux luminos incident.

Fotometria fizică are mari avantaje de rapiditate și precizie, mai ales când se compară surse luminoase cu aceeași culoare (compoziție spectrală). La compoziții spectrale diferite, fotometria vizuală poate fi mai avantajoasă, excepție făcând spectrofotometria. Aparatele folosite la măsurarea mărimilor fotometrice se numesc fotometre și, atunci când sunt construite dedicat anumitor mărimi, ele capătă denumiri particulare în funcție de utilizarea lor : luxmetre , lumenmetre, luminanțmetre, exponometre etc.

Măsurări de fotometrie vizuală

Măsurarea intensității luminoase cu ajutorul fotometrului Lummer-Brodhun (v.fig.1.13) se bazează pe compararea vizuală a luminanțelor celor două suprafețe alăturate din câmpul vizual. Ecranul cu două fețe difuzante E este luminat de sursa care trebuie măsurată și, respectiv, de sursa etalon. Cu ajutorul oglinzilor cu reflexie totală O_1 și O_2 , lumina este trimisă spre cubul fotometric C , format din două prisme drepte din sticlă incoloră, între care, pe o porțiune a suprafeței de contact, se găsește o fantă de aer. Razele luminoase de la sursa etalon suferă o reflexie totală, în timp ce razele de la sursa de măsurat sunt trimise direct observatorului.

Imaginea pe care o va avea un observator ce privește prin ocularul O este formată din două jumătăți de disc cu străluciri diferite. Cele două surse care se compară se deplasează față de fotometru până când luminanțele celor două suprafețe din câmpul vizual devin egale. Atunci iluminările fețelor ecranului sunt identice, deci:

$$E_e = \frac{I_e \cdot \cos \alpha}{d_e^2} = E_m = \frac{I_m \cdot \cos \alpha}{d_m^2} \text{ deci } \frac{I_e}{d_e^2} = \frac{I_m}{d_m^2}$$

de unde

$$I_m = \frac{d_m^2}{d_e^2} \cdot I_e, \quad I_e - \text{fiind cunoscut (lampă etalon)}$$

Observație: Pentru a elimina erorile sistemice de măsură, fotometrul se rotește cu 180° și se repetă măsurătoarea, formula de calcul în acest caz fiind:

$$I_m = \frac{d_m \cdot d'_m}{d_e \cdot d'_e} \cdot I_e$$

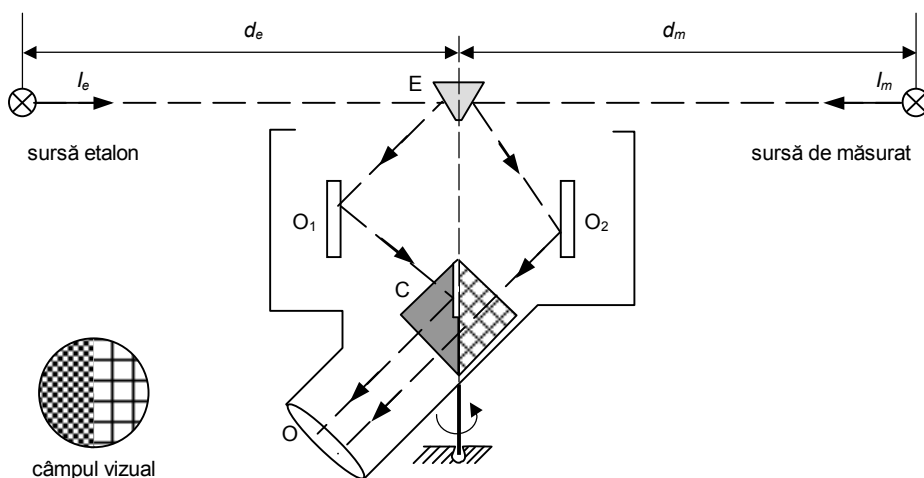


Fig.1.13 Fotometrul Lummer-Brodhun

E – ecran; O_1, O_2 – oglinzi; C – cub fotometric; O – ocular.

Măsurări de fotometrie fizică

În funcție de traductorul folosit se întâlnesc mai multe fotometre fizice:

- *microradiometre*, constituite dintr-un termocuplu și un galvanometru cu cadru mobil
- *bolometre*, la care construcția este bazată pe o foiță foarte subțire de platină a cărei rezistență electrică se modifică datorită încălzirii produse de un flux luminos incident.
- aparate cu rezistențe fotoelectrice (*fotorezistențe*) își modifică rezistența fără a se încălzi sub acțiunea unui flux luminos incident.
- aparate cu *celule fotoelectrice* (care au proprietatea de a emite electroni sub acțiunea luminii).

Traductoarele astfel realizate au eficacități luminoase spectrale relative mult diferite de ochiul mediu (observatorul de referință) și, pentru corectarea acestora, se folosesc filtre. Deoarece factorul de absorbție al filtrelor, în vizibil, poate atinge și 50%, atunci trebuie folosite amplificatoare electronice care să asigure stabilitatea dorită a aparatului.

Performanțele fotometrelor sunt apreciate prin raportul dintre efect (intensitatea curentului electric produs) și cauză (fluxul luminos incident), obținându-se mărimile numite:

- sensibilitate integrală, $\frac{I}{\Phi}$ [mA/lm];
- sensibilitate spectrală, $\frac{I}{\Phi_\lambda}$ [mA/lm].

Măsurarea iluminării

Printre cele mai folosite fotometre sunt **luxmetrele**, care folosesc ca elemente sensibile la acțiunea luminoasă termocupluri, celule fotoelectrice și rezistențe fotoelectrice.

Construcția de principiu a unei celule fotoelectrice cu seleniu este prezentată în fig.1.14 și are la bază proprietatea stratului subțire de seleniu 4 de a emite electroni sub acțiunea luminii. Între discul de seleniu și stratul transparent din Au sau Pt se formează un strat de blocare care va permite circulația electronilor emiși doar către inelul metallic 1. Dacă acesta se conectează la placa de bază (electrodul pozitiv), prin circuitul electric exterior care conține un galvanometru 7 de sensibilitate adecvată, se va închide un curent proporțional cu fluxul luminos incident și deci implicit cu iluminarea celulei.

$$I = k_L \cdot \Phi = \underbrace{k_L \cdot S_L}_{const} \cdot E = const \cdot E$$

k_L se numește sensibilitatea integrală a celulei fotoelectrice și are o valoare medie de 400μA/lm pentru luxmetrul cu seleniu. Aria celulei fotoelectrice S_L fiind cunoscută, ecranul galvanometrului poate fi gradat direct în lux.

Luxmetrul cu seleniu este cel mai folosit în raport cu alte variante constructive de luxmetre, deoarece curba eficacității spectrale luminoase relative are același maxim cu cea a observatorului fotometric de referință și, prin folosirea filtrelor, curbele V_λ pot fi făcute să coincidă (v.fig.1.15).

Dependența curentului de scurt circuit în funcție de iluminare este în general rectilinie, mai ales în zona originii (v.fig.1.16). Rezistența circuitului exterior deformează însă această caracteristică externă, neliniaritatea fiind cu atât mai pronunțată cu cât rezistența circuitului extern crește.

Luxmetrul poate fi utilizat pentru trasarea curbelor fotometrice. Pot fi folosite 3 metode.

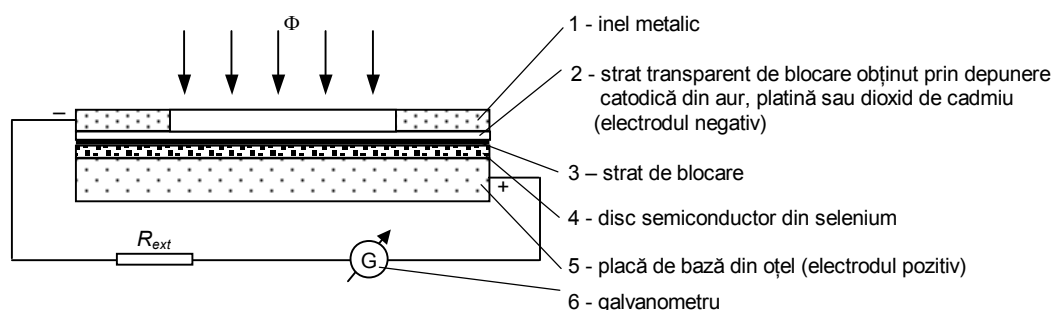


Fig.1.14 Luxmetrul cu seleniu

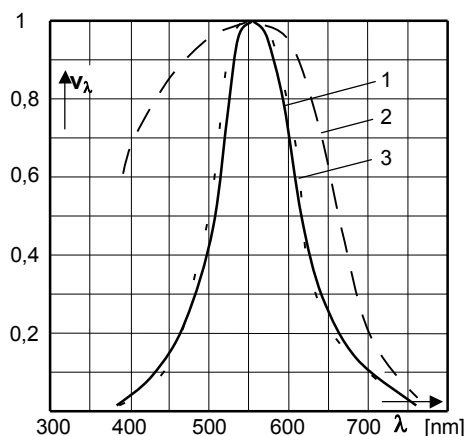


Fig.1.15 Curbele eficacității luminoase spectrale relative
1 – observator de referință, 2 – luxmetru fără filtru, 3 – luxmetru cu filtru

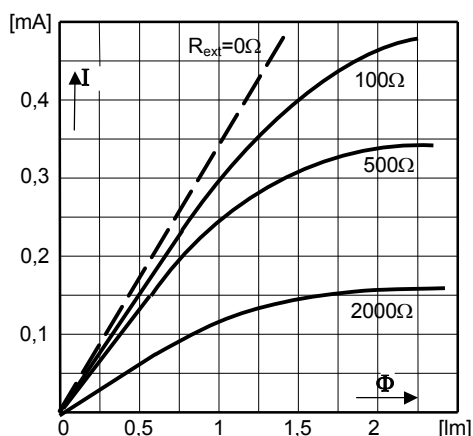


Fig.1.16 Caracteristica de ieșire a luxmetrului cu seleniu pentru diferite valori ale rezistenței circuitului exterior R_{ext}

Măsurarea fluxului luminos

Măsurarea fluxului luminos se realizează cu ajutorul lumenmetrului sferic numit și "sfera lui Ulbricht". Aceasta este o sferă goală, de dimensiuni mult mai mari (diametrul între 0,5...4m) decât sursa al cărui flux urmează a fi determinat. Suprafața interioară prezintă o reflexie perfect difuză obținută prin acoperirea cu mai multe straturi de vopsea albă mată.

Sfera Ulbricht este prevăzută cu o fereastră din sticlă opalină, în dreptul căreia este plasat un fotometru (luxmetru, Lx). Razele luminoase emise de sursă sunt împiedicate să ajungă direct la fereastră de către ecranul E.

Se demonstrează că iluminarea este aceeași pentru orice punct de pe suprafața interioară a sferei independent de repartitia în spațiu a intensității luminoase a sursei sau de poziția sursei în interiorul sferei, valoarea iluminării fiind proporțională cu fluxul luminos total emis de sursă. Într-adevăr, dacă iluminarea directă medie produsă de sursă pe fața interioară a sferei este:

$$E_0 = \frac{\Phi}{4\pi \cdot R^2}$$

atunci, după o primă o primă reflexie vom avea

$$E' = \frac{\Phi \cdot \rho}{4\pi \cdot R^2}$$

urmând succesiv:

$$E'' = \frac{(\Phi \cdot \rho) \cdot \rho}{4\pi \cdot R^2} = \frac{\Phi \cdot \rho^2}{4\pi \cdot R^2}$$

$$E''' = \frac{\Phi \cdot \rho^3}{4\pi \cdot R^2}$$

.....

Iluminarea medie totală va fi deci:

$$E = E' + E'' + E''' + \dots = \frac{\Phi \cdot \rho}{4\pi \cdot R^2} \underbrace{(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots)}_{\text{serie}} = \frac{\Phi \cdot \rho}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{1}{1 - \rho} = \frac{1}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot \Phi$$

adică

$$E = k_U \cdot \Phi,$$

unde k_U este constanta lumenmetrului, care se determină printr-o primă măsurătoare plasând în interiorul sferei o lampă etalon, iar abia apoi sursa a cărui flux luminos trebuie măsurat.

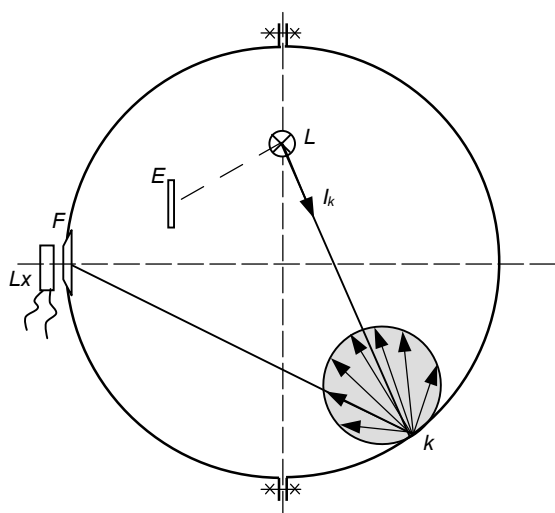


Fig.1.17 Lumenmetrul sferic (Ulbricht)
L – lampă; E – ecran opac; F – fereastră; Lx – luxmetru.