

Cursul 8.3 Radiația luminoasă: Marimi și unitati fotometrice

Ochiul omenesc percepe incandescența unui corp numai dacă temperatura acestuia depășește 700 °C. Pentru a caracteriza emisiile undelor electromagnetice de către corpurile încălzite se definesc câteva mărimi specifice radiației termice:

Definiție: Fluxul energetic sau fluxul radiant este viteza de variație a energiei radiante, sau energia radiantă în unitatea de timp:

$$\phi_e = \frac{dW}{dt}. \quad (1)$$

Definiție: Intensitatea energetică este numeric egală cu fluxul emis în unitatea de unghi solid:

$$I_e = \frac{d\phi_e}{dt}. \quad (2)$$

Fotometria se ocupă cu metodele și mijloacele de măsurare ale mărimilor caracteristice radiațiilor din domeniul vizibil. Lumina este capabilă să impresioneze ochiul și produce în creier senzația vizuală. Aceasta se manifestă în două moduri: senzația de intensitate și senzația de culoare.

Senzația de intensitate depinde de energia luminoasă care cade în unitatea de timp pe unitatea de suprafață a retinei și variază în funcție de energia W a izvorului luminos, deci cu fluxul de energie radiantă care se poate defini astfel:

$$P = \frac{dW}{dt}. \quad (3)$$

Fluxul de energie radiantă are dimensiunile unei puteri și se măsoară în Wați.

Senzația de culoare se manifestă prin faptul că ochiul prezintă o sensibilitate diferită în funcție de lungimea de undă a radiației incidente. Diferite radiații emise în aceeași cantitate de către izvorul radiant nu produc aceleași efecte de intensitate asupra ochiului, ele prezentând diferite eficacități luminoase sau vizibilități. Pentru a caracteriza acest lucru se definește sensibilitatea spectrală relativă V_λ ca fiind:

$$V_\lambda = \frac{P_o}{P_\lambda} \quad (4)$$

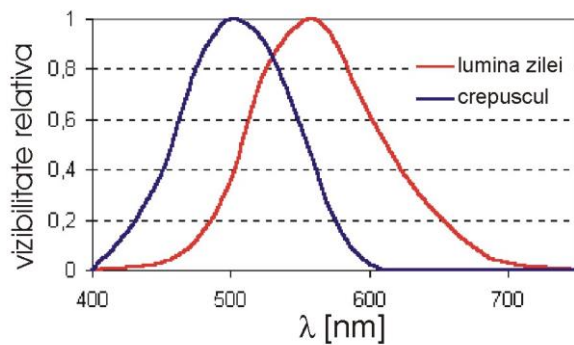


Figura 1 $V(\lambda)$ – sensibilitate spectrală relativă a vederii umane.

P_o este fluxul de energie radiantă în lumina monocromatică cu $\lambda_o = 555 \mu\text{m}$, pentru care ochiul uman prezintă maximum de sensibilitate în regimul de vedere diurnă (la fluxuri de energie intensă). P_λ este fluxul de energie radiantă în lumină monocromatică cu lungimea de undă λ . Fluxurile radiante

P_o și P_λ se măsoară cu ajutorul receptorilor fizici integrali.

În vederea crepusculară (la fluxuri de energie radiantă foarte slabe) curba de sensibilitate spectrală relativă $V_\lambda = f(\lambda)$ se deplasează către lungimile de undă mai mici (vezi Fig. 1). În plus avem puterea radiatiilor electromagnetice evaluate ca intensitatea senzației vizuale:

$$\Phi = 683 \sum_{\lambda} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda). \quad (5)$$

Mărimile fotometrice se definesc legat de senzația luminoasă. Astfel avem: *fluxul luminos Φ , intensitatea luminoasă I , iluminarea E .*

Fluxul luminos Φ , în lumină monocromatică care este dat de relația:

$$\Phi_\lambda = K V_\lambda P_\lambda \quad (6)$$

unde: P_λ este fluxul energetic radiant, V_λ este sensibilitatea spectrală relativă și K este echivalentul fotometric al radiației. Fluxul luminos Φ : acea parte a radiației electromagnetice capabilă să producă senzația de lumină. Dacă P se măsoară în wați și $K = 675 \text{ lm/W}$, fluxul luminos se măsoară în lumeni. Astfel:

$$[\Phi] = \text{lm (lumen)}$$

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / \text{sr}. \quad (7)$$

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ Cd} \times 1 \text{ sr}$$

Intensitatea luminoasă, I a unui izvor punctiform este numeric egală cu fluxul luminos elementar $d\Phi$ emis într-un unghiul solid elementar $d\Omega$:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (8)$$

caracterizeaza sursele de lumina și are unitatea de măsură $[I]_{SI} = \text{Cd}$ (candela). Ea este intensitatea luminoasă în direcția normalei unei suprafețe de $\frac{1}{600000} \text{ m}^2$ a unui corp negru, la temperatura de solidificare a platinei (2042 K) și la presiune normală. Lumenul este fluxul luminos emis de o sursă punctuală izotropă cu intensitatea de o candelă, într-un unghi solid de 1 steradian.

Pentru a calcula fluxul luminos total putem integra ecuația (8):

$$\int d\phi = \int_0^{\Omega_0} I(\Omega) d\Omega, \quad (9)$$

de unde se obtine fluxul luminos total ca:

$$\phi_{total} = \int_0^{4\pi} I(\Omega) d\Omega, \quad (10)$$

Iluminarea, E a unei suprafețe în jurul unui punct al suprafeței este numeric egală cu fluxul luminos care cade pe elementul de suprafață elementară dS din jurul aceluși punct:

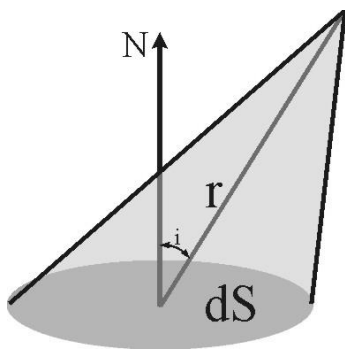
$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (11)$$

Unitatea de iluminare este luxul (lx) egal cu iluminarea produsă de un flux luminos de un lumen ce cade uniform pe aria de un metru pătrat:

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}, \quad (12)$$

Legătura dintre iluminarea unei suprafețe și intensitatea luminoasă a unei surse punctiforme se poate obtine prin combinarea reatiilor (4) și (5) și este dată de:

$$E = I \frac{d\Omega}{dS} \quad (13)$$



unde:

$$d\Omega = \frac{dS \cos i}{r^2}, \quad (14)$$

este unghiul pe care îl face normala la suprafața dS cu raza mijlocie a fasciculului de lumină (vezi Fig. 2), iar r este distanța de la sursă la elementul de suprafața iluminată dS

Figura 2 Iluminarea oblică a unei suprafețe. și deci:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos i. \quad (15)$$

Pentru o incidență normală, relația (9) devine:

$$E = \frac{I}{r^2}. \quad (16)$$

La compararea diferitelor surse de lumină, ochiul poate stabili ușor dacă două suprafețe apropiate au o iluminare egală, dar nu poate aprecia de câte ori iluminarea unei suprafețe este mai mare decât a alteia. De aceea fotometrele, aparate care servesc la determinarea unor mărimi fotometrice, sunt astfel construite încât rolul ochiului se reduce la stabilirea egalității iluminării a două câmpuri apropiate.

Emitanța luminoasă este mărimea fizică numeric egală cu densitatea de flux luminos **emis de o suprafață** dată definită matematic prin ecuația următoare.

$$M = \frac{d\Phi_e}{dS}. \quad (17)$$

Astfel folosind ecuația 17 se poate calcula fluxul energetic total emis, nu de o sursă punctiformă ci de o suprafață, ca fiind:

$$\phi_{total} = \int_S M(S)dS, \quad (18)$$

Emitanța M se măsoară tot în lm/m² dar această unitate nu este egală cu luxul fiind vorba despre un flux de strălucire emis de o suprafață și nu primit, cum a fost în cazul iluminării.

Eficacitatea sau eficiența luminoasă (e) este raportul dintre fluxul luminos trimis de o sursă de lumină (ϕ_e) și puterea electrică (P_c) absorbită (sau consumată) de această sursă.

$$e = \frac{\phi_e}{P_c}, \quad (19)$$

Eficiența luminoasă exprimă randamentul surselor de lumină fiind o caracteristică foarte importantă a acestora. unde are valori tipice pentru diferite surse de lumină sunt menționate în tabelul alăturat.

Tabel 1

Sursa de lumina	Eficiența luminoasă lm/W	Sursa de lumina	Eficiența luminoasă lm/W
lămpi cu incandescență și filament dublu spiralat	8,6-30	lămpi cu vapori de mercur	27,5-62,5
lămpi cu incandescență cu ciclu generator cu halogeni	24-33	lămpi cu vapori de Hg și halogenuri metalice	70-95
lămpi fluorescente	35-70	lămpi cu vapori de sodiu	76-150

Dacă se ia în considerare și consumul energetic al circuitului de conectare la rețea a lămpii eficiența luminoasă globală este dată de relația:

$$e_g = \frac{\phi_e}{P_{cg}}, \quad (20)$$

unde P_{cg} este puterea electrică totală consumată de o sursă de lumină și de elementele anexei din circuitul de alimentare.

Dacă 1 W este puterea fluxului luminos de 683 lumeni, atunci se poate defini o eficiență de sută la sută:

$$e_{100\%} = \frac{683 \text{ lm}}{1W}. \quad (21)$$

Dacă fluxul luminos al unui bec cu incandescență de 100 W este de 1.250 de lumeni, atunci randamentul aceste surse se poate exprima procentuale astfel:

$$\eta = \frac{e}{e_{100\%}} = \frac{\frac{\phi_e}{P_c}}{e_{100\%}} = \frac{\phi_e}{P_c \cdot e_{100\%}}, \quad (22)$$

de unde prin inlocuire se obține:

$$\eta = \frac{1250 \text{ lm}}{100W \cdot \frac{683 \text{ lm}}{1W}}. \quad (23)$$

adică:

$$\eta = 0.018 = 1.8 \%. \quad (24)$$

Se vede ca randamentul acestor surse este foarte scăzut, emițând cea mai mare parte a energiei radiante în domeniul infraroșu.

Temperatura de culoare T_c este temperatura măsurată în Kelvin la care trebuie încălzit corpul negru pentru a emite o radiație cu o componentă cromatică identică cu cea a radiației sursei considerate. Senzația de culoare al lămpilor se poate evalua pe baza temperaturii de culoare din tabelul numărul 2. Acesta da o clasificare orientativă a senzațiilor de culoare.

Tabel 2

Temperatura de culoare T_c (K)	Senzația de culoare
< 3300	Caldă (alba-galbenă-roșie)
330 - 5300	Intermediară (albă)
> 5300	Rece (albă-albstră)

Informații legate de senzația de culoare pot fi obținute de pe ambalajele surselor de lumină. De-a lungul istoriei omenirea și-a format vederea (a evoluat) astfel încât aceasta să fie sensibilă la lumina naturală a soarelui, și în această lumină ne simțim cel mai confortabil. Din acest motiv este de preferat sursele artificiale de lumină să emită o lumină asemănătoare cu cea produsă de soare. Astfel, este indicat ca pentru locuință și alte zone în care oamenii își petrec majoritatea timpului sursele de lumină să producă o lumină caldă.