

# Optoelectronică, structuri și tehnologii

Curs 2

# Lumina ca undă electromagnetică

Capitolul 2 – Recapitulare

# Parametri de propagare

## ▶ In vid

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377\Omega \quad v = v_g = c_0 \quad c_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = 2,99790 \text{ m/s}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{c_0}{f} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

Periodicitate in spatiu

Periodicitate in timp

## ▶ In mediu nedispersiv $\varepsilon_r$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \mu_0}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

$$n = \sqrt{\varepsilon_r} \quad \text{Indice de refractie al mediului} \quad c = \frac{c_0}{n}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} \quad \lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{c}{f} \quad \lambda = \frac{c_0}{n \cdot f} = \frac{\lambda_0}{n}$$

# Dispersia

- ▶ In medii dispersive  $\beta = \beta(\omega)$ ,  $n = n(\omega)$

$$\frac{d\beta}{d\omega} = \frac{d}{d\omega} \left( \frac{\omega \cdot n}{c} \right) = \frac{1}{c} \left( n + \omega \frac{dn}{d\omega} \right)$$

$$\frac{d\beta}{d\omega} = -\frac{\lambda}{\omega} \cdot \frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{1}{c} \left( n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \right) = \tau \quad (s/m)$$

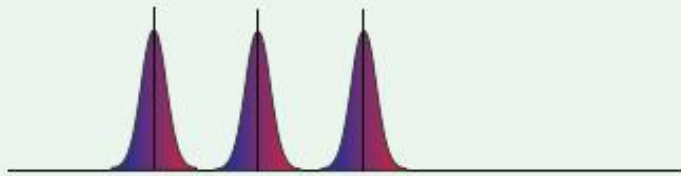
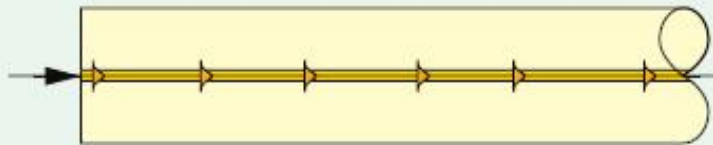
$$D = \frac{d\tau}{d\lambda} = \frac{1}{c} \left( \frac{dn}{d\lambda} - \lambda \frac{d^2n}{d\lambda^2} - \frac{dn}{d\lambda} \right) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2n}{d\lambda^2} \quad (s/m^2)$$

- ▶ Dispersia se exprima de obicei in **ps/nm/km** si permite aflarea intarzierilor aparute intre moduri (latirea impulsurilor) pentru o anumita latime spectrala si o anumita distanta parcursa

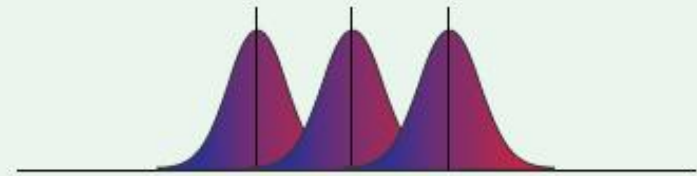
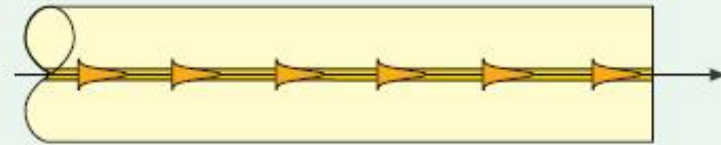
$$\Delta\tau = D \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

# Dispersie

> 50 km Single-mode step index  
< 10 km Multimode graded index  
< 1 km Multimode step index



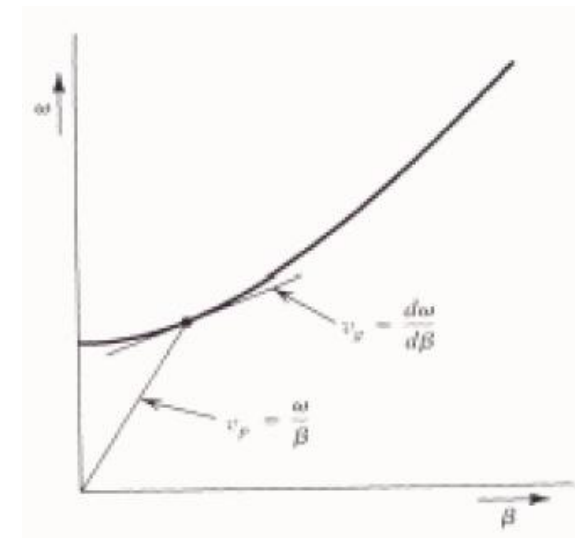
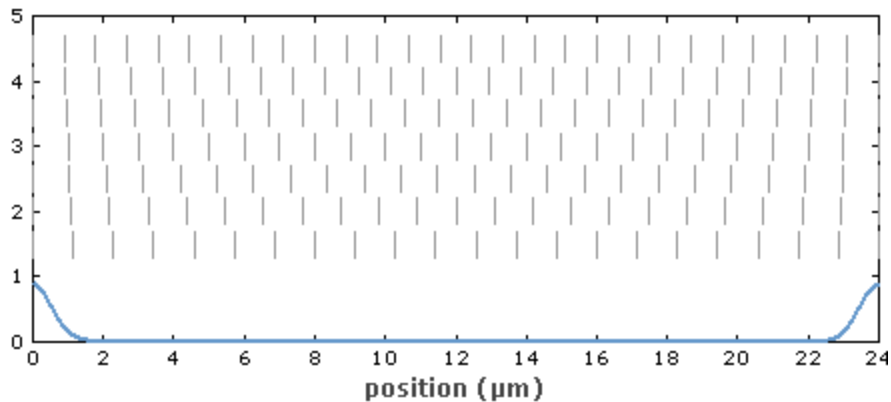
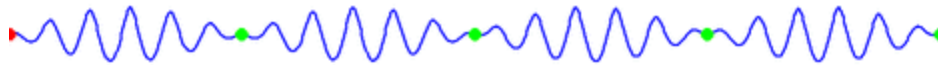
Transmission:  
Well-defined pulses but not absolutely monochromatic.  
Typical spectral width < 0.8 nm



Reception:  
Pulse broadening caused by the laser's spectral width and the difference between the refractive indices of the red and blue ends of the light pulse.

# Viteze de grup si faza

- ▶ Viteza de faza – viteza cu care circula energia
- ▶ Viteza de grup – viteza cu care circula informatia



# Fotometrie și radiometrie

Capitolul 3



# O alta dualitate

- ▶ In optoelectronica lumina poate fi privita din doua puncte de vedere
  - energetic (efect asupra dispozitivului)
  - uman (efect asupra ochiului)
- ▶ Dualitatea marimilor implicate
  - energetice
  - luminoase
- ▶ Candela (cd) este una din cele 7 marimi fundamentale ale SI
  - Cd = intensitatea luminoasa a unei surse ce emite o radiatie monocromatica cu frecventa  $540 \cdot 10^{12}$  Hz ( $\lambda = 555\text{nm}$  in vid) si are o intensitate radianta de  $1/683$  W/sr



# Flux energetic

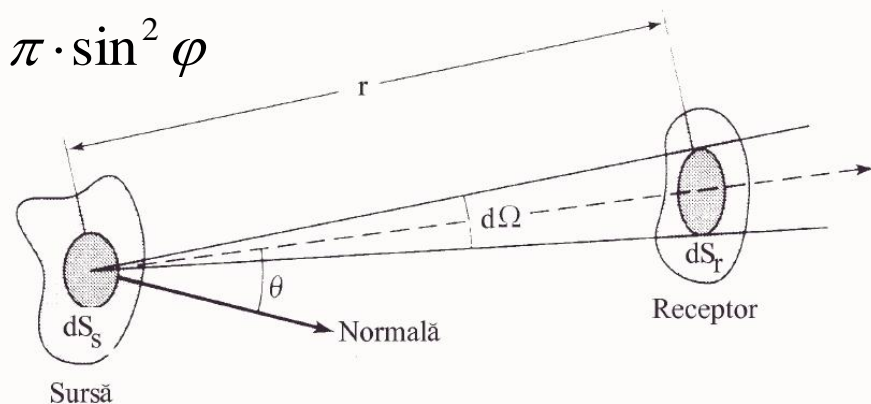
## ► Flux energetic al luminii

- viteza cu care energia trece printr-o suprafata
- energie/unitatea de timp
- unitatea SI – W

$$\Phi_e = \frac{dE}{dt} \quad [W]$$

## ► Unghi solid

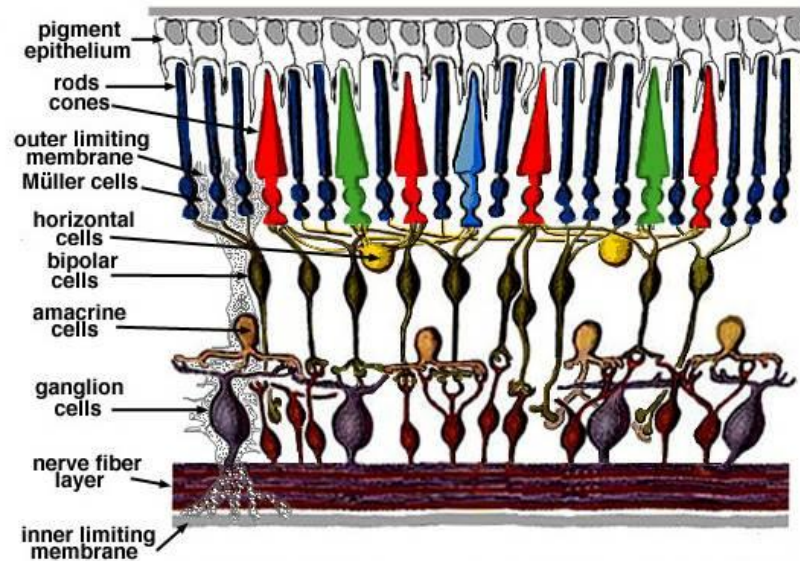
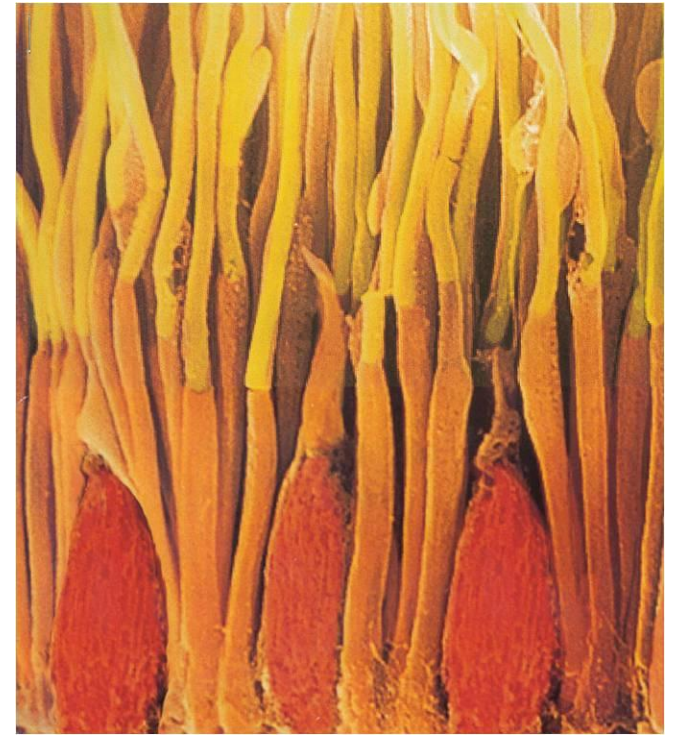
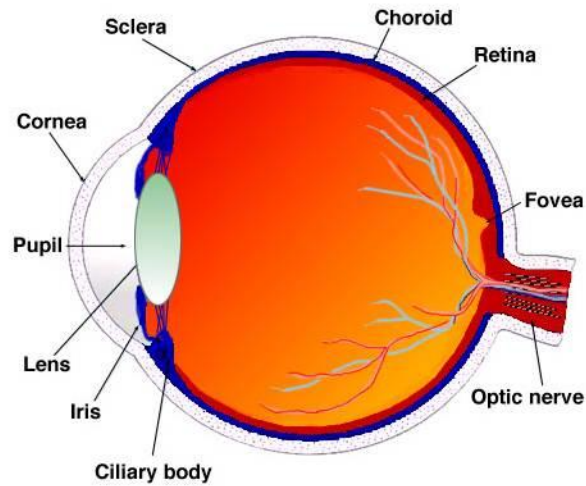
- definitie  $\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [sr]$
- valoarea maxima:  $\Omega = 4\pi \text{ sr}$
- pentru unghiuri mici  $\Omega = \pi \cdot \sin^2 \varphi$



# Flux luminos

- ▶ Flux luminos, definitie
  - o masura a puterii luminoase percepute de om
- ▶ Unitate de masura –  $lm = \text{lumen}$ 
  - In SI de unitati **lumenul** este definit ca fluxul luminos al unei surse luminoase punctiforme cu intensitatea luminoasa de o candela intr-un unghi solid egal cu 1 sr.
  - la  $\lambda = 555\text{nm}$   $\Phi_e = 1\text{W} \Leftrightarrow \Phi_v = 683\text{lm}$
- ▶ Dualitate pentru toate marimile implicate
  - radiometrie – indice “e”
  - fotometri – indice “v”
- ▶ La alte lungimi de unda se tine cont de sensibilitatea relativa medie a ochiului uman

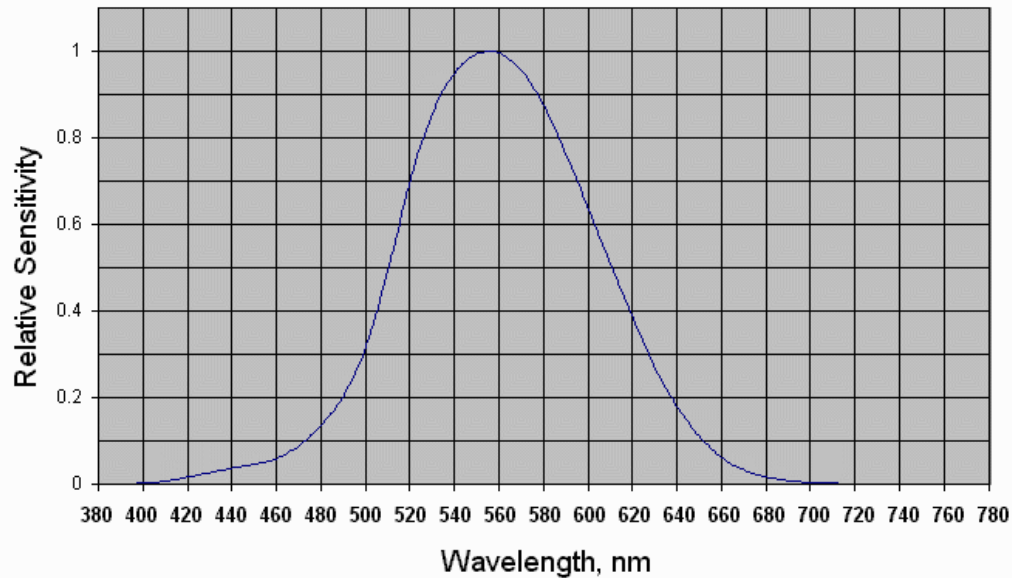
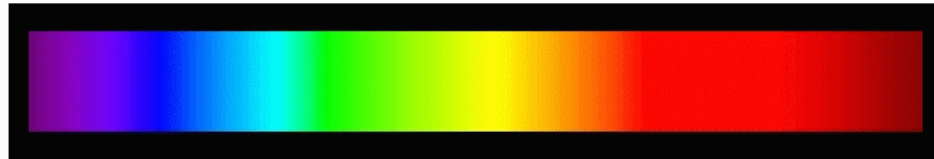
# Ochiul uman



# Standarde

- ▶ Se încearca definirea omului “standard”
- ▶ CIE – Commission Internationale de l'Éclairage
  - 1931 – luminozitatea relativa standard  $V(\lambda)$  – ftopic
  - 1951 – luminozitatea relativa standard  $V(\lambda)$  – scopic
  - 1978 – Vos
  - 2005 – Sharpe, Stockman, Jagla, Jägle
- ▶ Sensibilitatea maxima a ochiului uman
  - vedere diurna (ftopic),  $\lambda=555$  nm
  - vedere nocturna (scopic),  $\lambda=507$  nm

# CIE $V(\lambda)$



**Response of Human Eye Versus Wavelength**  
(Data from the 1988 C.I.E. Photopic Luminous Efficiency Function)

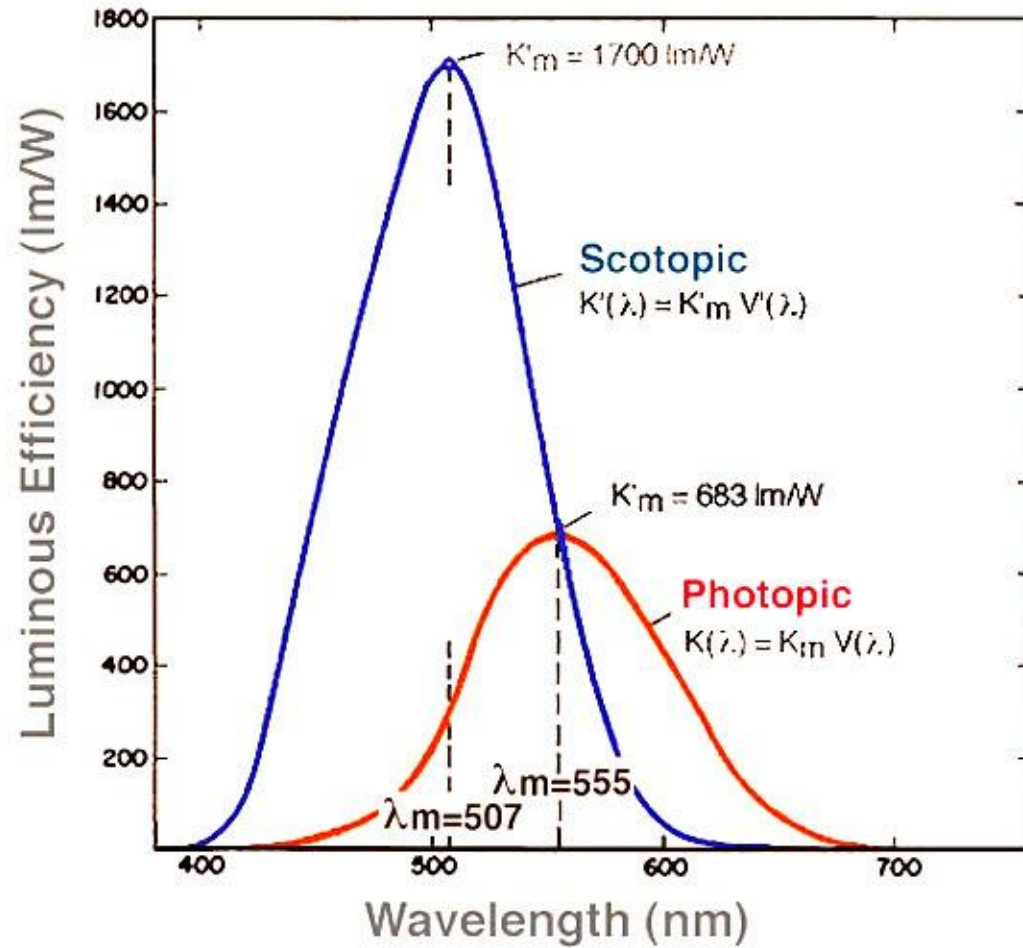


Figure 9. The scotopic and the photopic curves of spectral luminous efficacy (non-normalised values).



# Curbe normalizate CIE

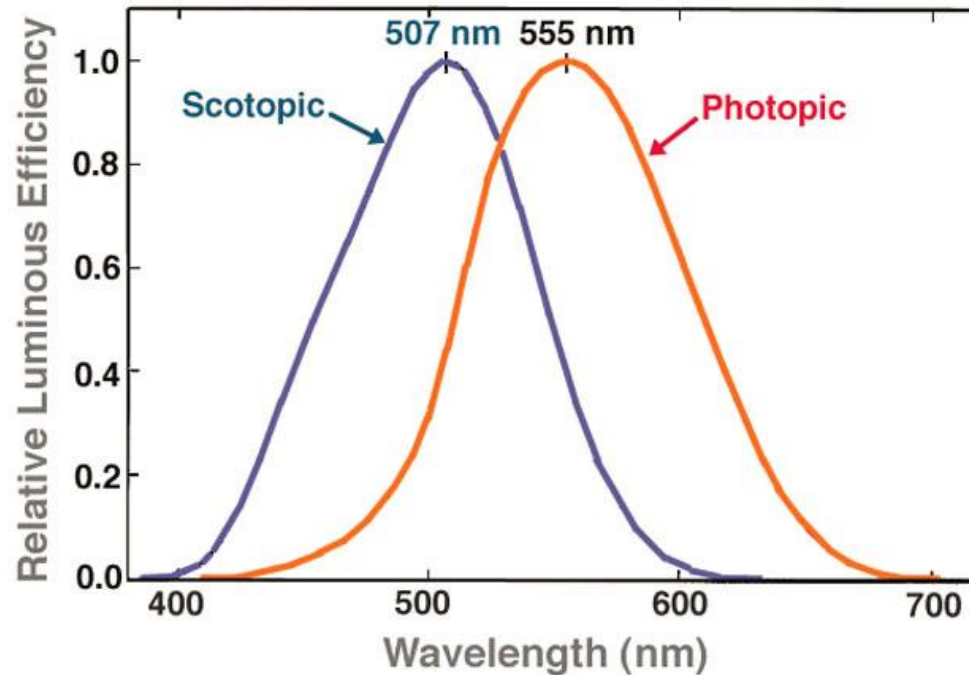
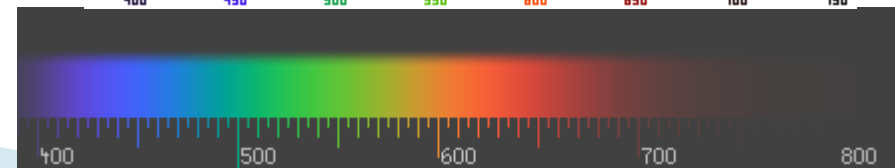
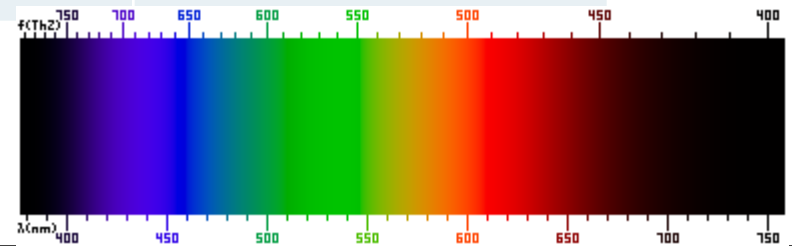


Figure 10. The scotopic and the photopic curves of relative spectral luminous efficiency as specified by the CIE (normalised values).

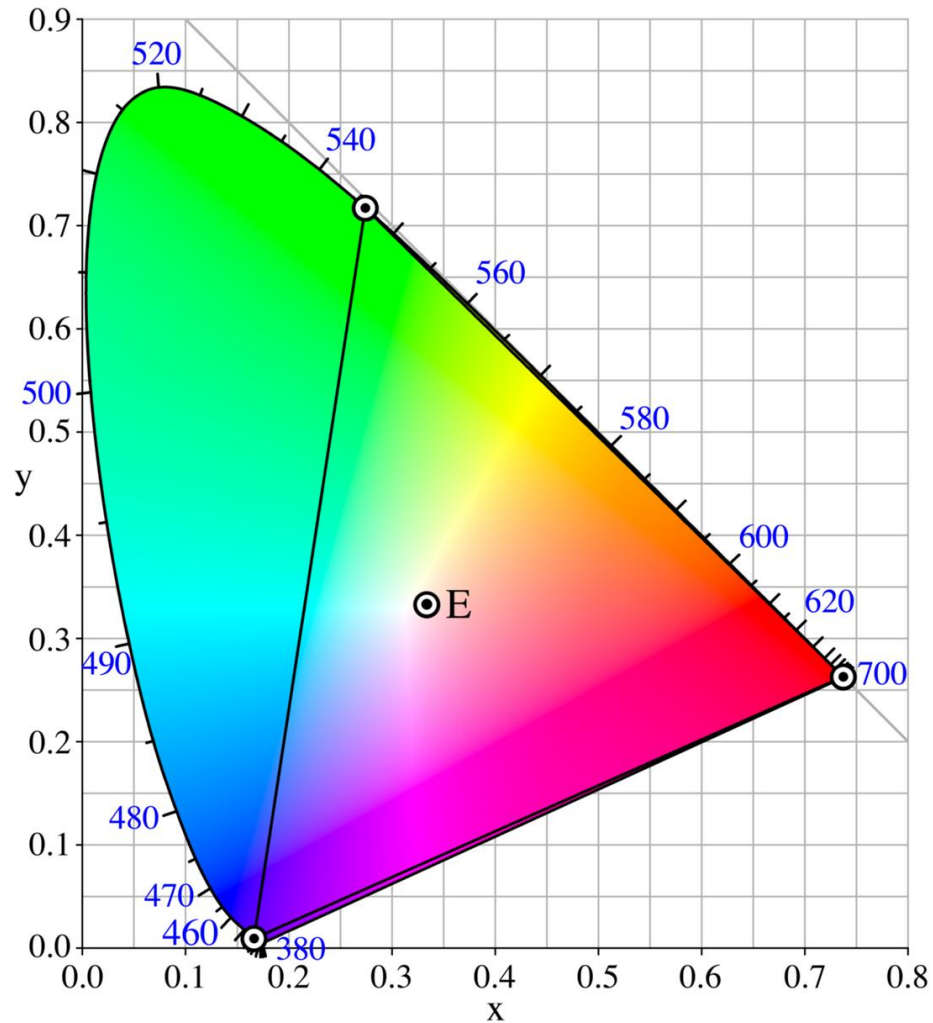


# Culori – lungime de unda

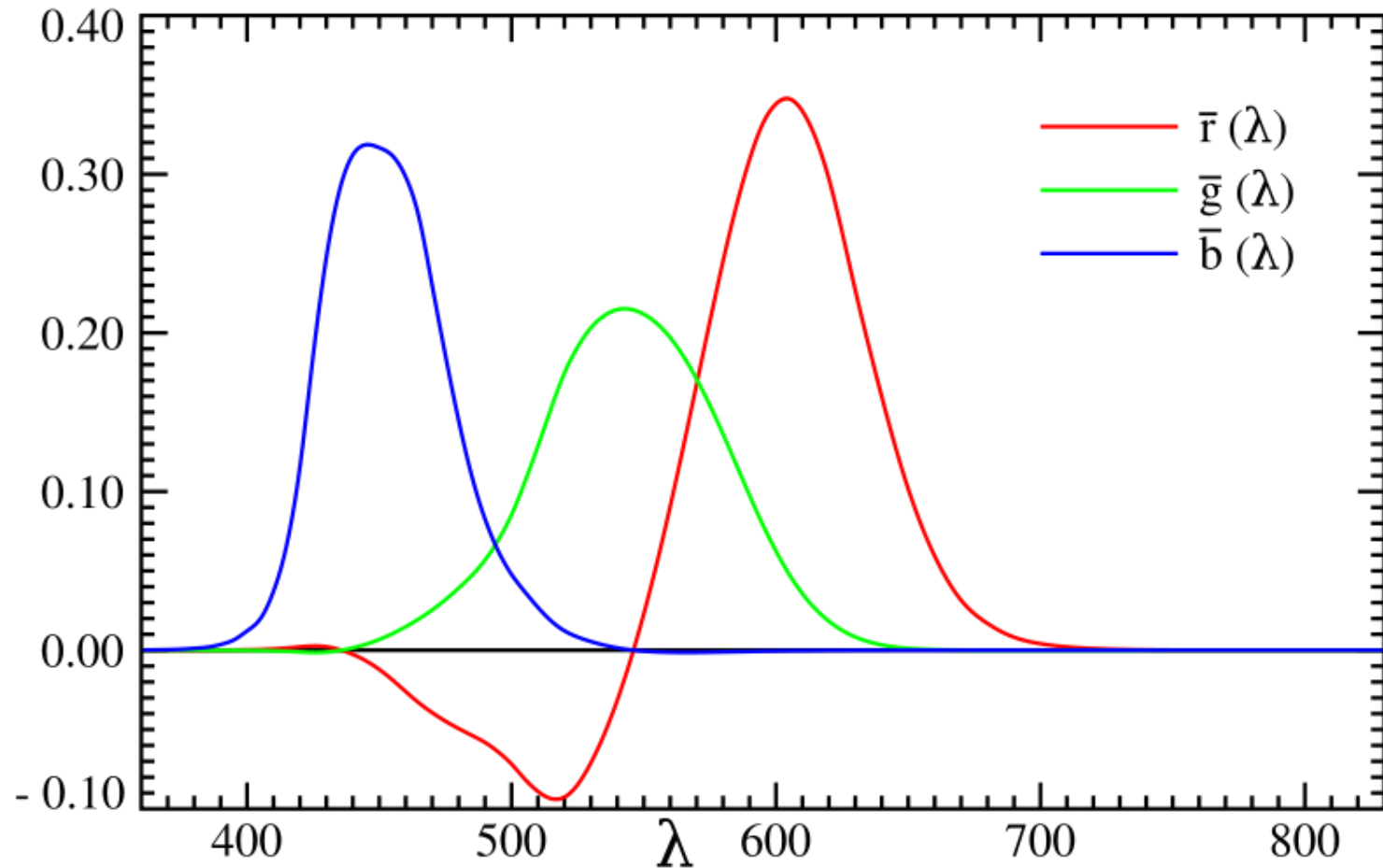
Culoare	Lungime de unda	Frecventa
Rosu	~ 700-630 nm	~ 430-480 THz
Portocaliu	~ 630-590 nm	~ 480-510 THz
Galben	~ 590-560 nm	~ 510-540 THz
Verde	~ 560-490 nm	~ 540-610 THz
Albastru	~ 490-450 nm	~ 610-670 THz
Violet	~ 450-400 nm	~ 670-750 THz




# CIE xy 1931



# Cantitatea din culorile primare pentru aceeași senzație de culoare



# Lungimi de unda tipice – LED



Wavelength (nm)	Color Name
940	Infrared
880	Infrared
850	Infrared
660	Ultra Red
635	High Eff. Red
633	Super Red
620	Super Orange
612	Super Orange
605	Orange
595	Super Yellow
592	Super Pure Yellow
585	Yellow
4500K	"Incandescent" White
6500K	Pale White
8000K	Cool White
574	Super Lime Yellow
570	Super Lime Green
565	High Efficiency Green
560	Super Pure Green
555	Pure Green
525	Aqua Green
505	Blue Green
470	Super Blue
430	Ultra Blue

# Relatie radiometrie/fotometrie

- ▶ Pentru radiatii monocromatice

$$\Phi_v = 683 \frac{lm}{W} \cdot \Phi_e [W] \cdot V(\lambda) \quad [lm]$$

- ▶ Pentru radiatii complexe:

$$\Phi_v = 683 \frac{lm}{W} \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda = 683 \frac{lm}{W} \int_{390nm}^{830nm} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda \quad [lm]$$

- ▶ Eficienta luminoasa

$$\eta_v = \frac{\Phi_v [lm]}{\Phi_e [W]} \quad \left[ \frac{lm}{W} \right]$$

# Eficiența luminoasă

	$\lambda$	fotopic CIE 1924	Sharpe 2005	scotopic CIE 1951
Violet	400	0	2	16
Indigo	445	20	40	668
Albastru	475	77	108	1248
Verde	510	344	361	1695
Galben	570	650	659	353
Portocaliu	590	517	541	111
Rosu	650	73	77	1

# Marimi luminoase

## ► Intensitatea

- raportul dintre fluxul care părăsește sursa și se propagă într-un element de unghi solid ce conține direcția de propagare și elementul de unghi solid.
- o masura a puterii emise de o sursa într-un element de unghi solid

Intensitatea			
Fotometrie		Radiometrie	
$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	SI: cd	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	SI: W/sr



# Marimi luminoase

## ► Iluminarea

- raportul dintre fluxul primit de un element de suprafață conținând punctul și aria acestui element (definita într-un punct al unei suprafețe la **receptie**):
- o masura a intensitatii luminii incidente pe o suprafata

Iluminarea			
Fotometrie		Radiometrie	
$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$	SI: lx	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	SI: W/m <sup>2</sup>

# Marimi luminoase

## ► Excitanța

- raportul dintre fluxul care părăsește un element de suprafață conținând punctul și aria elementului de suprafață (definita într-un punct al unei suprafețe la emisie):
- o masura a intensitatii luminii emise de o suprafata

Excitanța			
Fotometrie		Radiometrie	
$M_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$	SI: lm/m <sup>2</sup>	$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	SI: W/m <sup>2</sup>

# Marimi luminoase

## ▶ Luminanța

- raportul dintre fluxul care părăsește, atinge sau traversează un element de suprafață și care se propagă în direcții conținute într-un con elementar,  $d\Omega$ , conținând direcția dată, și produsul dintre unghiul solid al conului și aria proiecției ortogonale a elementului de suprafață pe un plan perpendicular pe direcția dată,  $dS$  (definita într-o direcție, într-un punct de pe suprafața unei surse sau unui receptor, sau într-un punct pe traiectul unui fascicol):
- o masura a densitatii de intensitate luminoasa într-o anumita directie

Luminanța			
Fotometrie		Radiometrie	
$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega \cdot dS}$	SI: lm/m <sup>2</sup>	$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega \cdot dS}$	SI: W/m <sup>2</sup>

