

Optoelectronică

Curs 5

2025/2026

Disciplina 2025/2026

- ▶ 2C/1L Optoelectronică **OPTO**
- ▶ **Minim 7 prezente curs + laborator**
- ▶ Curs – conf. **Radu Damian**
 - an IV μ E
 - Marti 14:00–16:00, P7 $\rightarrow$ **P6**
 - E – 70% din nota (50%+20%)
 - **20% test (VP) la curs**, saptamana **5–7?**
 - probleme + (2p prez. curs)
 - toate materialele permise
- ▶ Laborator – sl. **Catalin Iov**
 - an IV μ E
 - Marti 16–18, I.08
 - Max. 7 prezente
 - L – 30% din nota (+Caiet de laborator +Probleme)

Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică*** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametri de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie*** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emitătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare)

* – VP

Acces

- ▶ Personalizat (parola), Generic (email)



Student profile page showing a photo of a student, a table with personal data, and a table of grades. A red circle highlights the link "Acceseaza ca acest student" and a red arrow points from it to the login page.

Date:

Grupa	5304 (2015/2016)
Specializarea	Tehnologii si sisteme de telecomunicatii
Marca	5184

[Acceseaza ca acest student](#)

Note obtinute

Disciplina	Tip	Data	Descriere	Nota	Puncte	Obs.
TW			Tehnologii Web			
N		17/01/2014	Nota finala	10	-	
A		17/01/2014	Colocviu Tehnologii Web 2013/2014	10	7.55	
B		17/01/2014	Laborator Tehnologii Web 2013/2014	9	-	
D		17/01/2014	Tema Tehnologii Web 2013/2014	9	-	

Login

Use the Registration no. and your

Registration no.

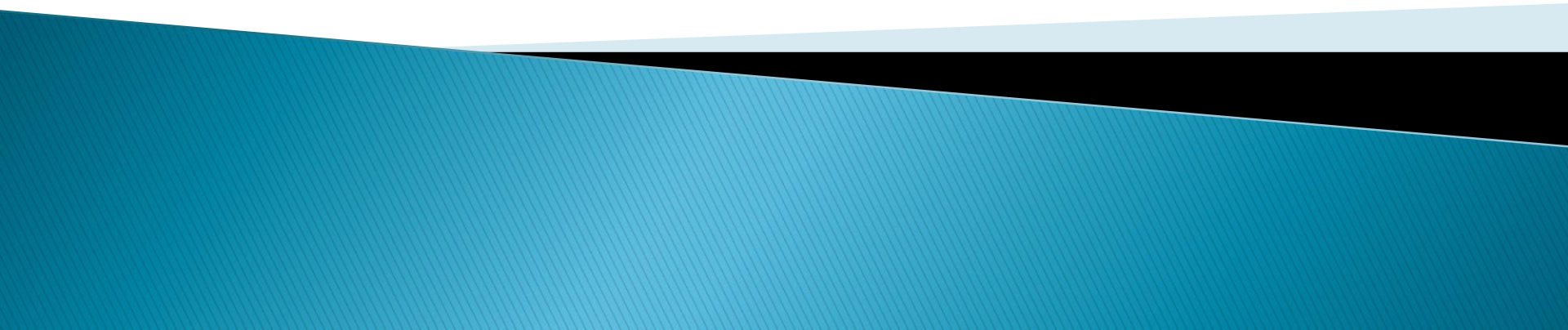
Email/Password

Write the code below

5dd64f9

Lumina ca undă electromagnetică

Capitolul 2



Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametrii de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emitătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare)

Optică geometrică

(tot) Capitolul 2

Probleme

- ▶ Într-un LASER Fabry-Perrot, coerența luminii este obținută prin reflexii succesive ale luminii între două oglinzi paralele, separate de o distanță egală cu un multiplu a jumătate de lungime de undă ce se dorește emisă. Interferența constructivă și coerența dintre lumina incidentă și reflectată asigură amplificarea numai a luminii care îndeplinește această condiție. Se dorește realizarea unei diode LASER cu lungimea de undă $\lambda_0 = 1305\text{nm}$ utilizând un material cu $\epsilon_{r1} = 10.80$.

$$\lambda = \lambda(n)$$

Probleme

- ▶ Care trebuie să fie distanța între oglinzi dacă se alege în așa fel încât să corespundă la 380 jumătăți de lungime de undă? (1 p)
- ▶ Dacă oglinda este realizată prin inserarea în material a unei lamele dintr-un dielectric cu $n_2 = 2.23$, ce procent din lumină incidentă părăsește zonă activă dintre cele două oglinzi la fiecare reflexie? (1 p)
- ▶ Dacă în total se emit 3 linii spectrale corespunzătoare selectării luminii la care distanța dintre oglinzi calculată la a) este egală cu $(380 - 1)$, (380) , $(380 + 1)$ jumătăți de lungime de undă, care este lățimea spectrală în domeniul frecvență a diodei? Valoarea trebuie exprimată în GHz. (2 p)
- ▶ Care este unghiul Brewster de obținere a luminii liniar polarizate pentru trecerea din materialul cu $\epsilon_{r1} = 10.80$ în aer. (1 p)
- ▶ Rezolvari: <https://rf-opto.etti.tuiasi.ro>

$$\lambda = \lambda(n)$$

unghi Brewster

lamela dielectrica

Probleme

- ▶ Într-un material cu indicele de refracție $n_1 = 3.75$ se interpune un strat de material (2) cu $\epsilon_{r2} = 5.20$ pentru a realiza o oglindă parțial reflectantă la realizarea unui LASER cu $\lambda_0 = 950\text{nm}$. Înălțimea stratului (2) este aleasă pentru reflectivitate maximă la incidență normală.
 - Care este înălțimea cea mai mică a stratului (2) pentru a obține acest efect? (2p)
 - Ce procent din puterea incidentă este întoarsă în materialul (1)? (1p)
 - O radiație care sosește cu înclinația de 41.2° față de normală la suprafața de separație, va trece din mediul (1) în mediul (2)? (1p)
- ▶ Rezolvari: <https://rf-opto.etti.tuiasi.ro>

lamela dielectrica

unghi critic

Fotometrie și radiometrie

Capitolul 3

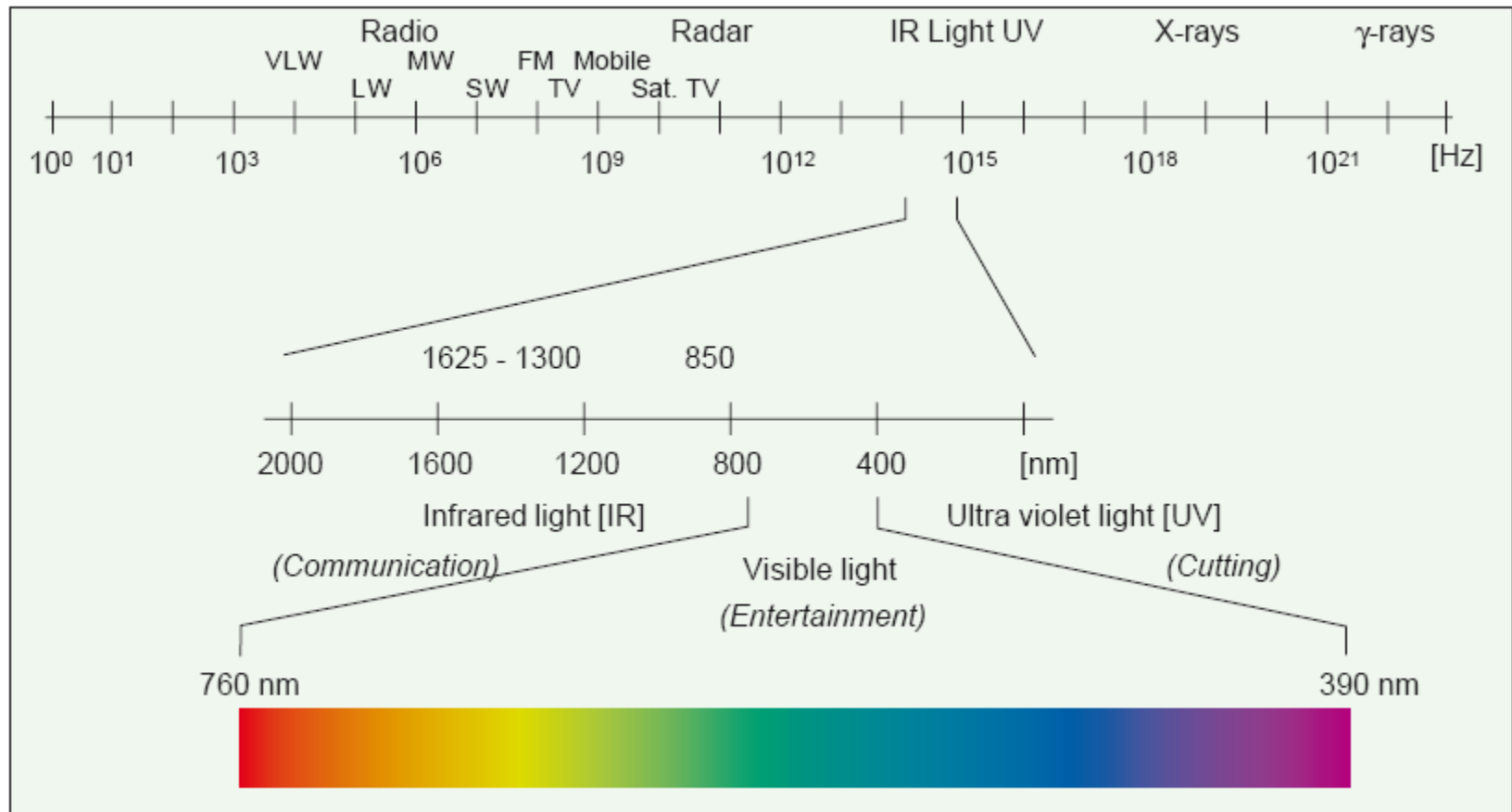
Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametri de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emitătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare)

Aplicatii majore

- ▶ Comunicatii
 - Infrarosu (InGaAsP)
- ▶ Vizibil
 - Spectru vizibil (GaAlAs)
- ▶ Iluminare
 - Putere ridicata, lumina alba (GaInN)
- ▶ Energie solara
 - Efect fotovoltaic (Si)

Spectrul electromagnetic



O alta dualitate

- ▶ In optoelectronica, lumina poate fi privita din doua puncte de vedere
 - energetic (efect asupra dispozitivului)
 - uman (efect asupra ochiului)
- ▶ Dualitatea mărimilor implicate
 - energetice
 - luminoase
- ▶ Candela (cd) este una din cele 7 mărimi fundamentale ale SI
 - Cd = intensitatea luminoasa a unei surse ce emite o radiație 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

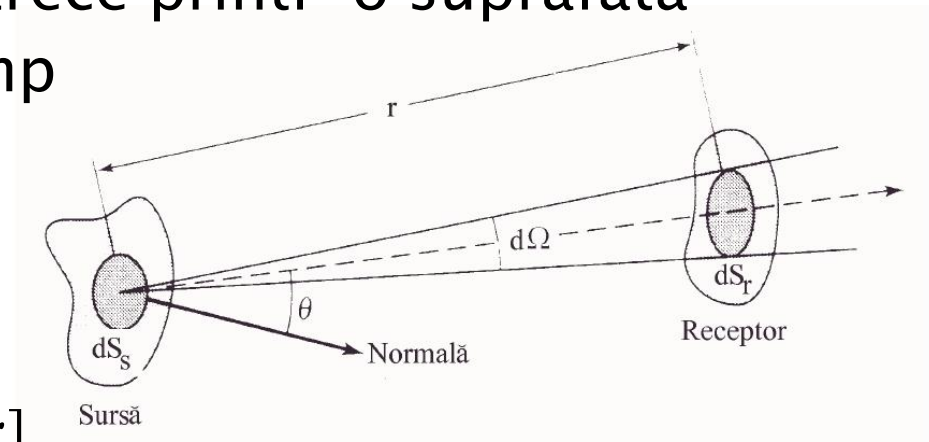
► Flux energetic al luminii

- 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, sfera: $\Omega = 4\pi \text{ sr}$
- pentru con cu deschiderea la varf 2ϕ : $\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \phi)$
- pentru unghiuri mici: $\Omega = \pi \cdot \phi^2$



$$P_d = \frac{P_0}{\Omega \cdot R^2} \sim \frac{1}{R^2}$$

Marimi globale vs. locale

- ▶ Flux energetic al luminii
 - viteza cu care energia trece printr-o suprafata
 - energie/unitatea de timp
 - unitatea SI – W

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

- ▶ Putere electrica/optica

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

Marimi globale vs. locale

- ▶ Flux energetic al luminii
 - marime locala
 - este asociat unei anumite suprafete
- ▶ Putere electrica/optica
 - marime globala
 - “suma fluxurilor pentru toate suprafetele disponibile”

$$P = \frac{dE}{dt} = \iint_S \frac{\partial^2 E}{\partial t \partial A} dA = \iint_S \frac{\partial \Phi_e}{\partial A} dA \quad [W]$$

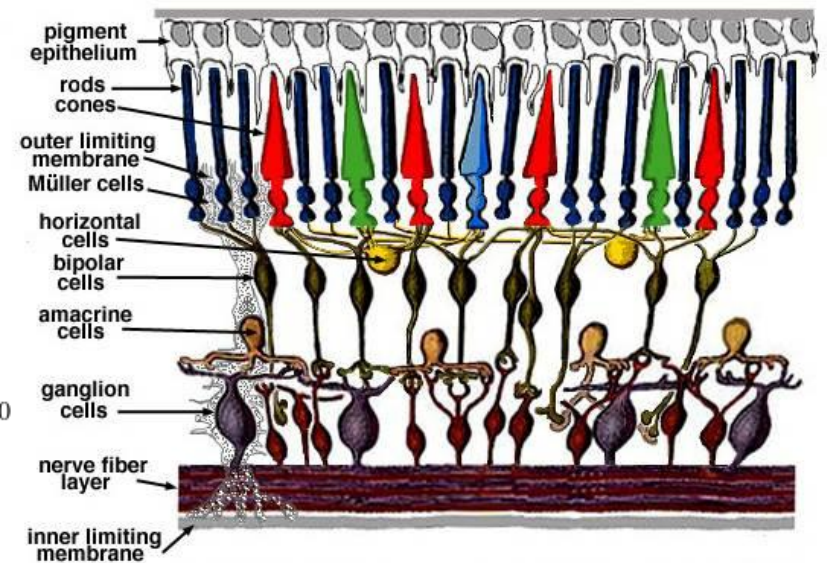
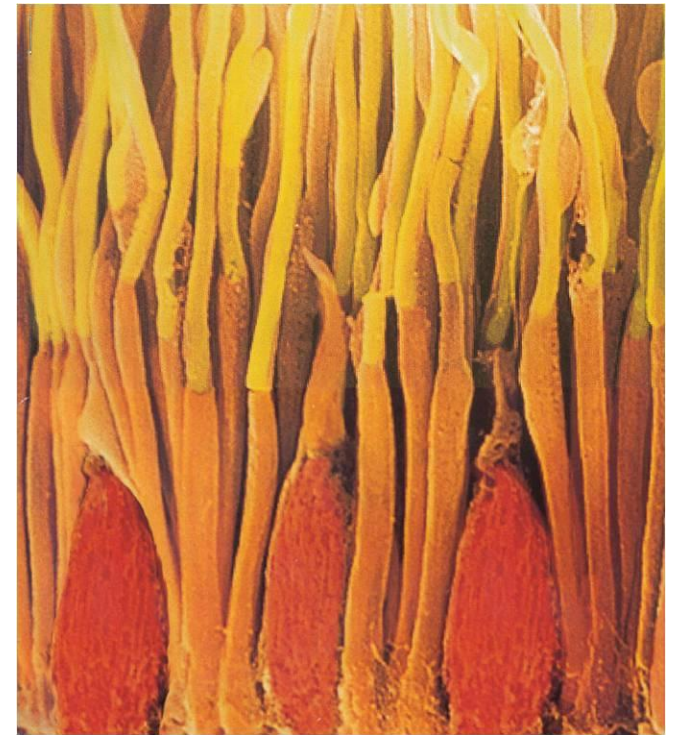
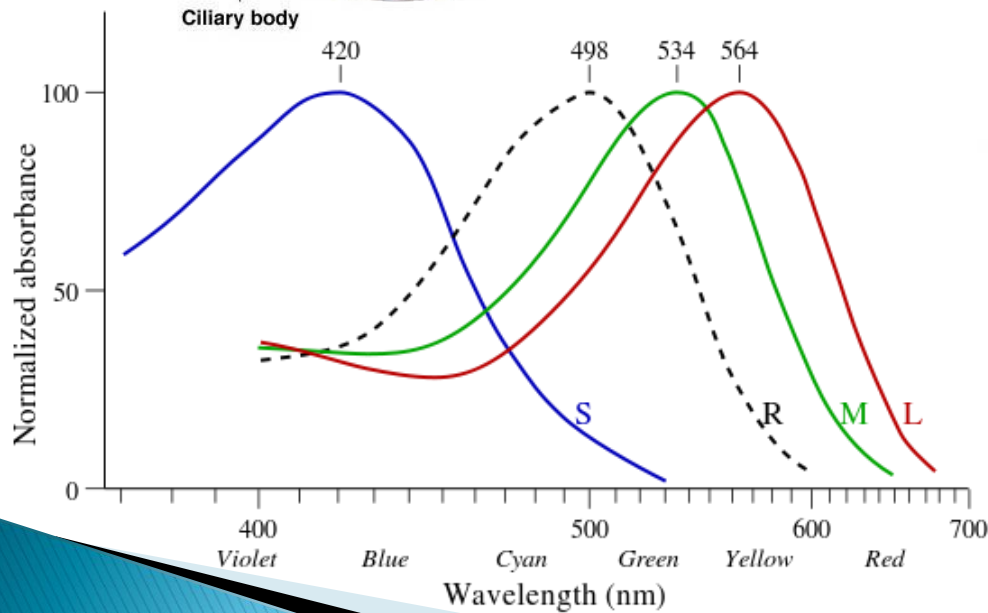
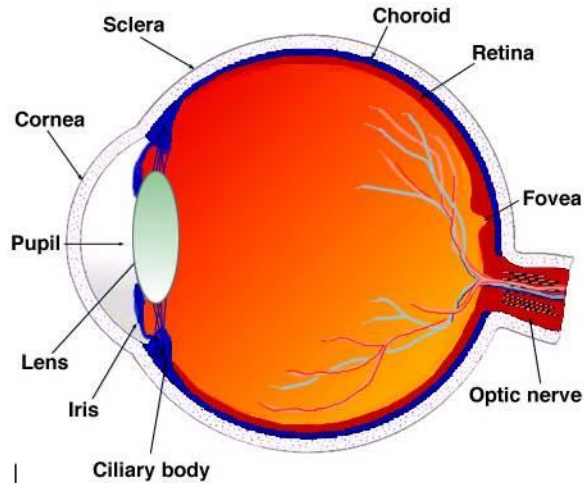
- ▶ Daca se poate considera emisie uniforma

$$\Phi_e \approx ct. \rightarrow P = \Phi_e \quad [W]$$

Flux luminos

- ▶ Flux luminos, definitie
 - o masura a puterii luminoase **percepute de om**
- ▶ Unitate de masura – $\text{lm} = \text{lumen}$
 - In SI de unitati **lumenul** este definit ca fluxul luminos al unei surse luminoase punctiforme cu intensitatea luminoasa de 1 cd 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”
 - fotometrie – indice “v”
- ▶ La alte lungimi de unda se tine cont de sensibilitatea relativa medie a ochiului uman

Ochiul uman



Standarde

- ▶ Se inceleaza definirea omului “standard”
- ▶ CIE – Commission Internationale de l'Éclairage
 - 1924 – luminozitatea relativa standard $V(\lambda)$ – **fotopic**
 - 1951 – luminozitatea relativa standard $V(\lambda)$ – **scotopic**
 - 1978 – Vos
 - 2005 – Sharpe, Stockman, Jagla, Jägle
 - 2008 – CIE $V(\lambda)$ – fotopic (~Sharpe)
- ▶ Sensibilitatea maxima a ochiului uman
 - vedere diurna (**fotopic**), $\lambda=555$ nm, $\eta_v = 683$ lm/W
 - vedere nocturna (**scotopic**), $\lambda=507$ nm, $\eta_v = 1700$ lm/W

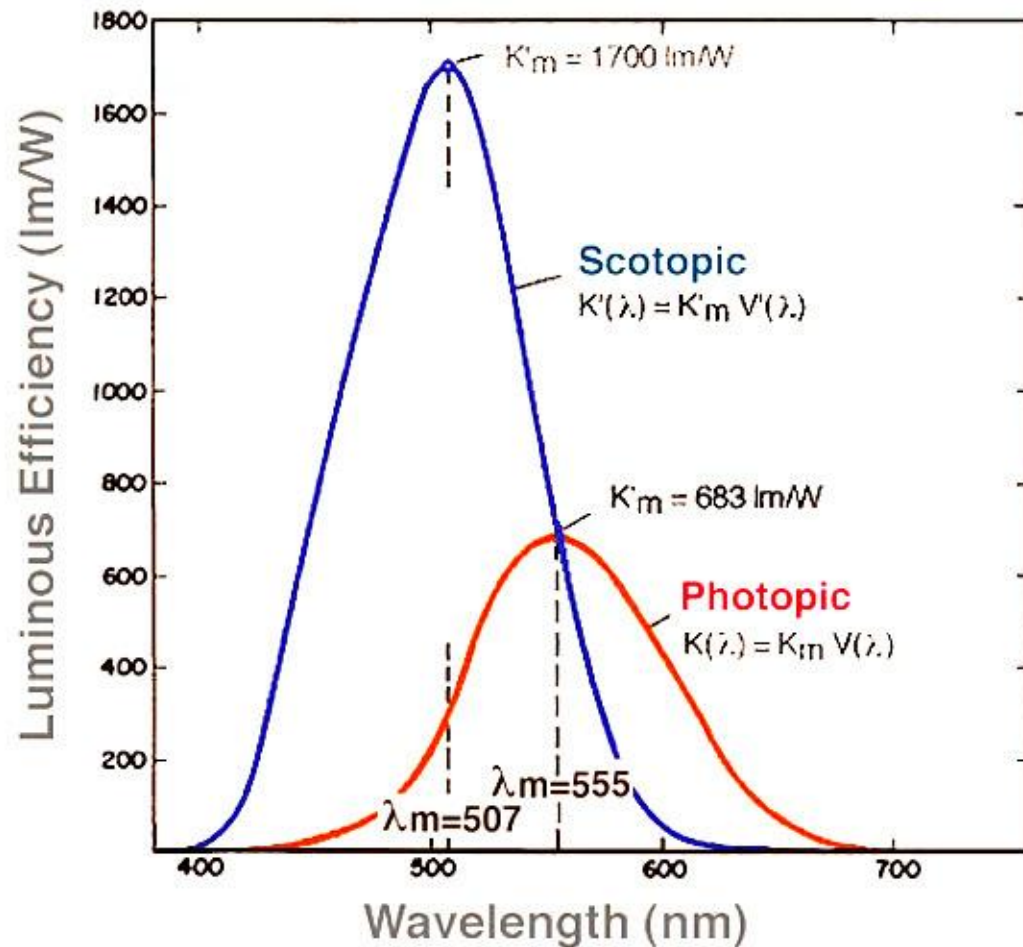


Figure 9. The scotopic and the photopic curves of spectral luminous efficacy (non-normalised values).

effect Purkinje



Curbe normalize CIE

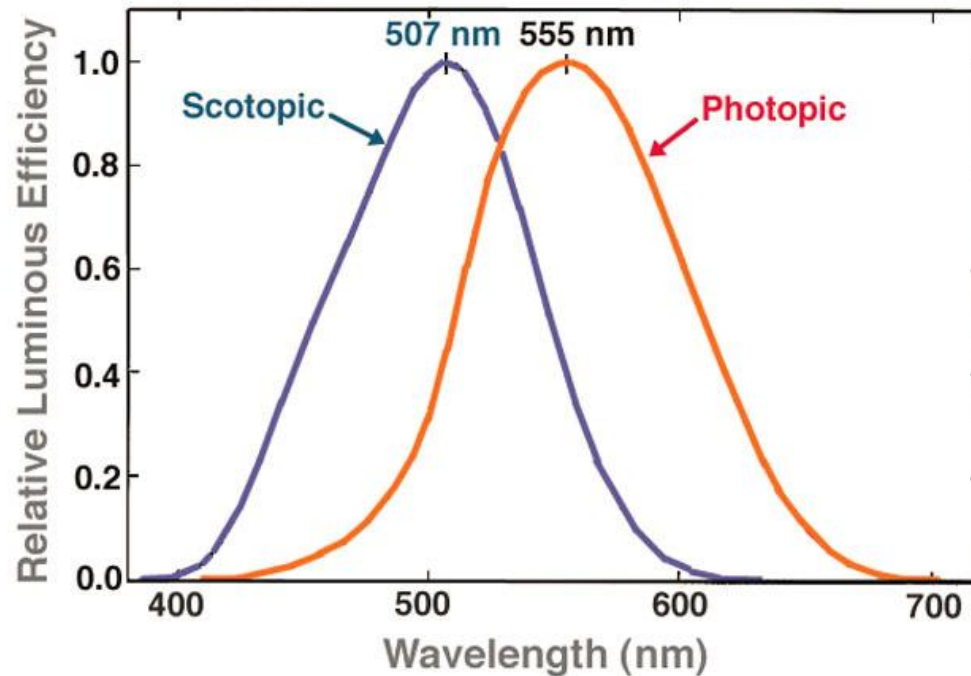


Figure 10. The scotopic and the photopic curves of relative spectral luminous efficiency as specified by the CIE (normalised values).

CIE $V(\lambda)$

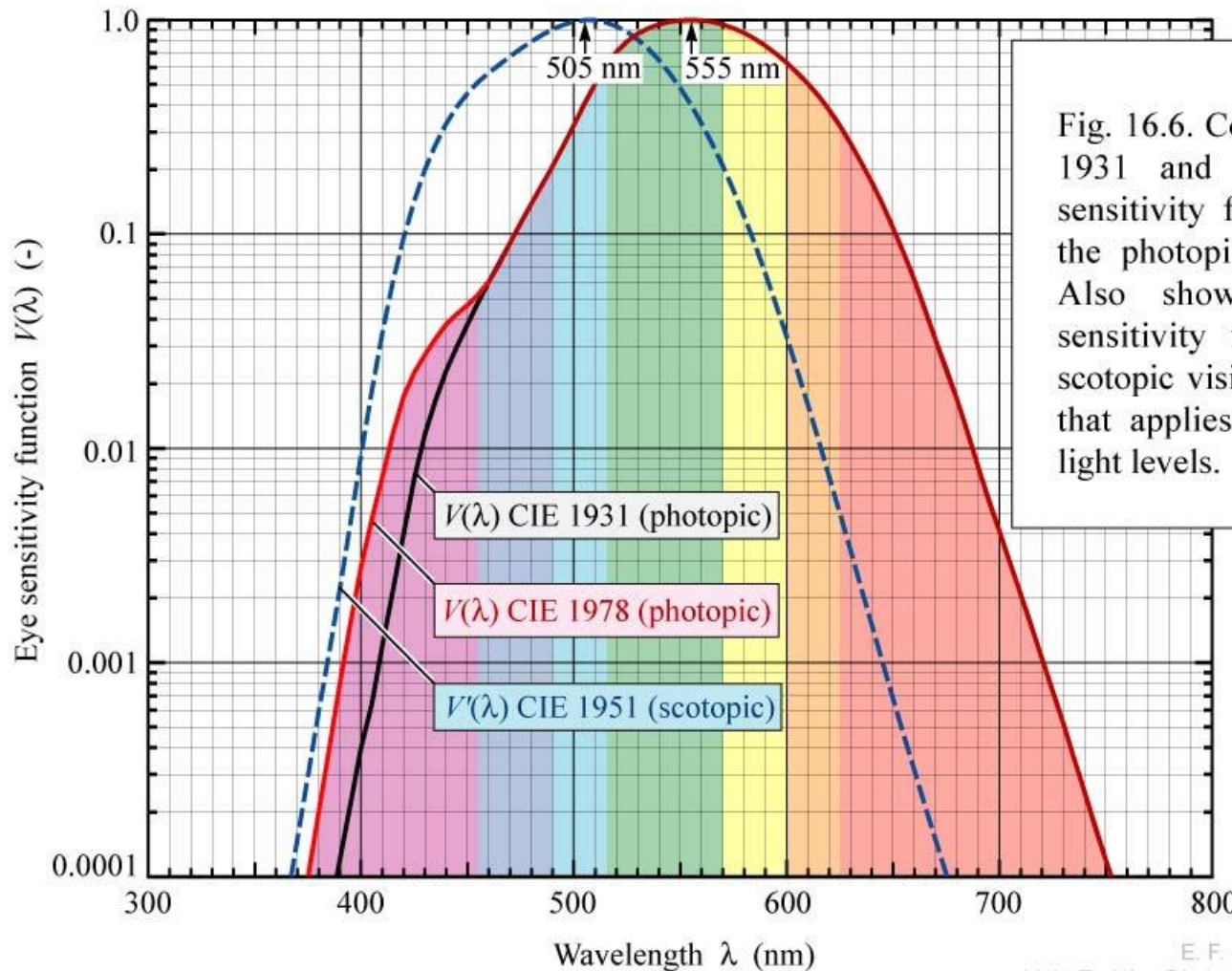
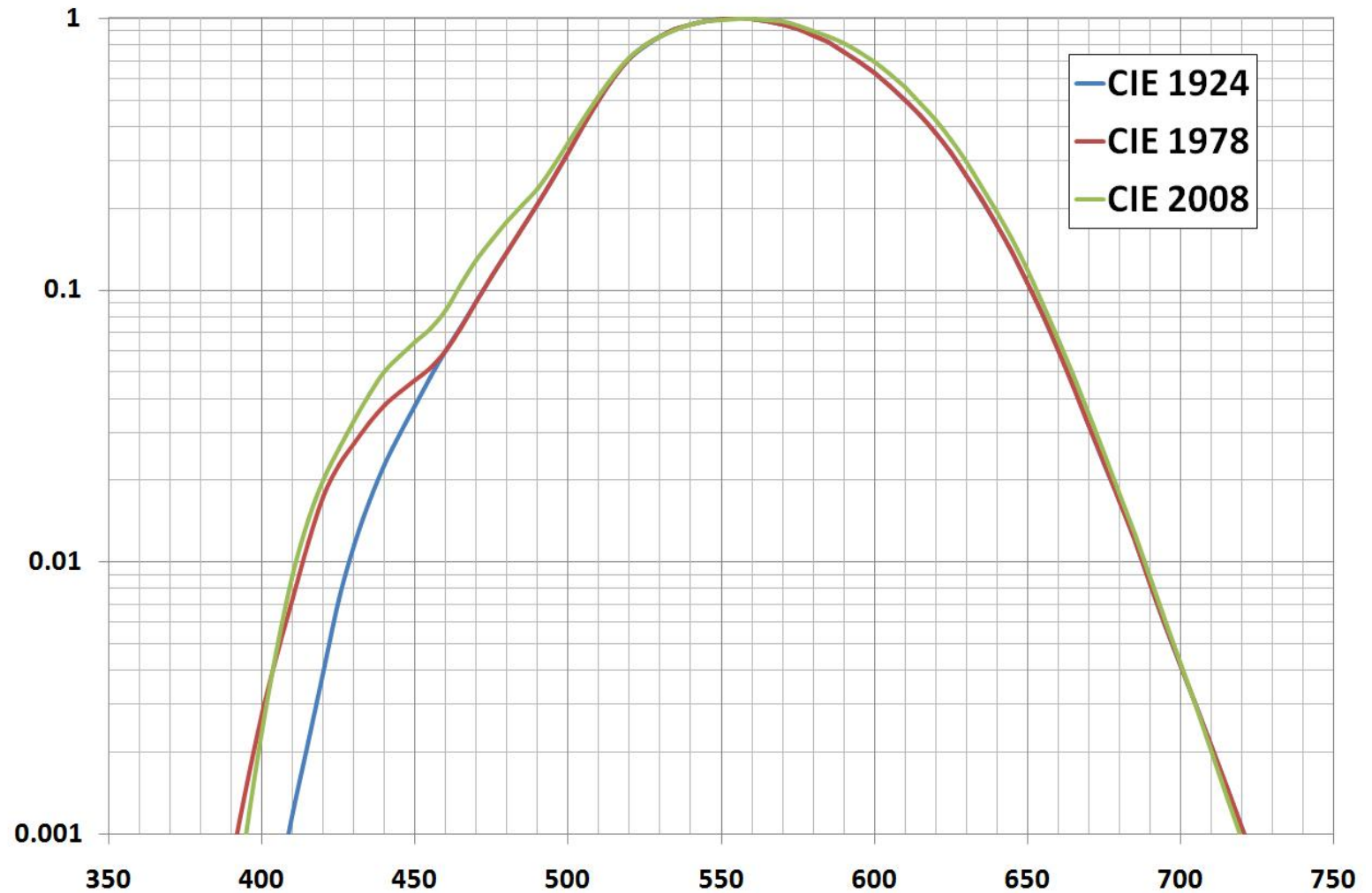
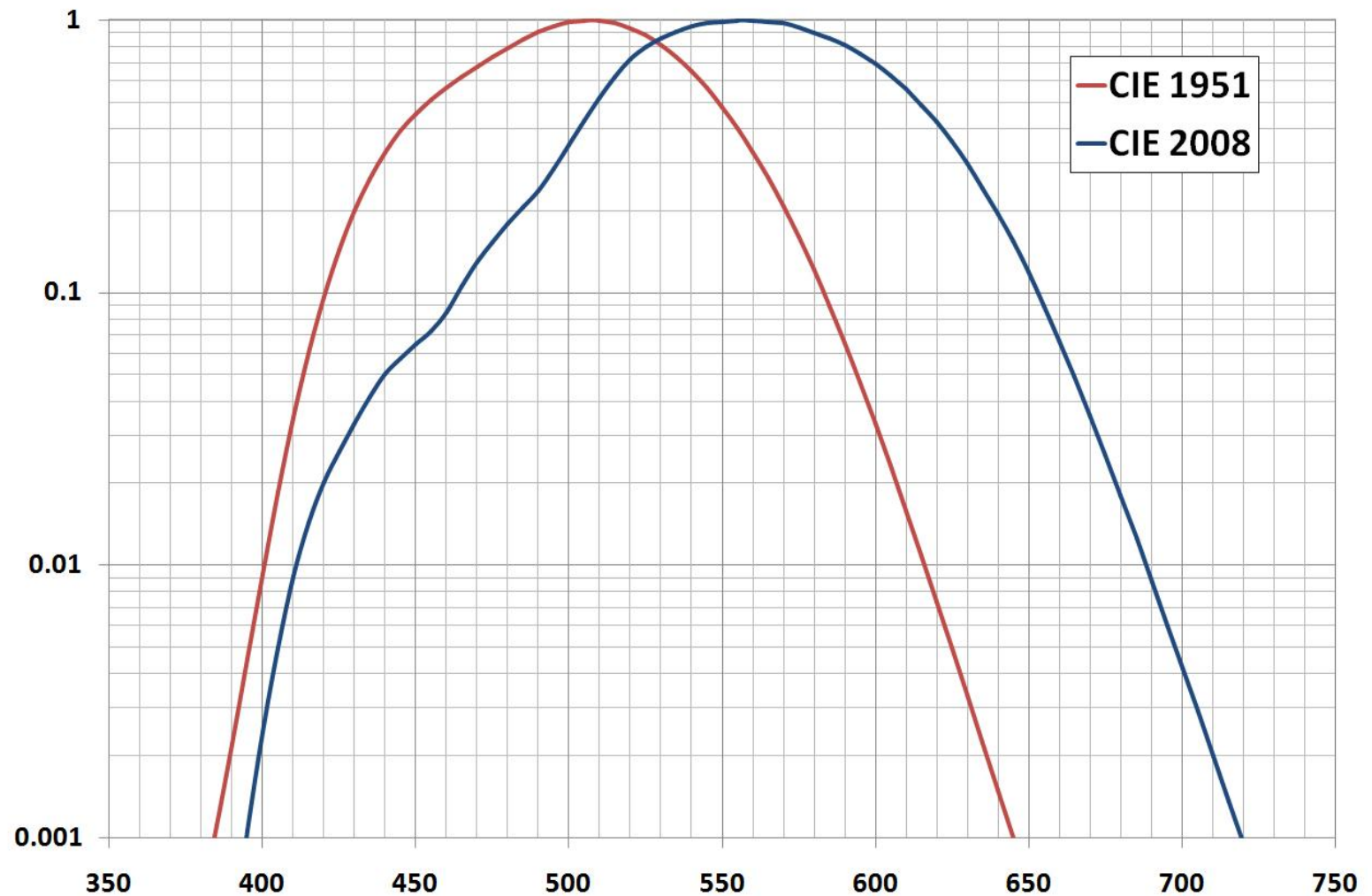


Fig. 16.6. Comparison of CIE 1931 and CIE 1978 eye sensitivity function $V(\lambda)$ for the photopic vision regime. Also shown is the eye sensitivity function for the scotopic vision regime, $V'(\lambda)$, that applies to low ambient light levels.

CIE $V(\lambda)$ fotopic



CIE $V(\lambda)$ fotopic / scotopic



Relatie radiometrie/fotometrie

- ▶ Pentru radiatii monocromatice

$$\Phi_v = 683 \frac{lm}{W} \cdot \Phi_e[W] \cdot V(\lambda) \quad [lm] \quad \Phi'_v = 1700 \frac{lm}{W} \cdot \Phi_e[W] \cdot V'(\lambda) \quad [lm]$$

- ▶ Pentru radiatii complexe:

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

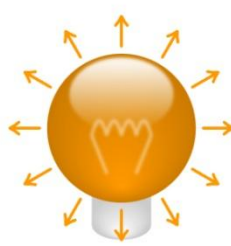
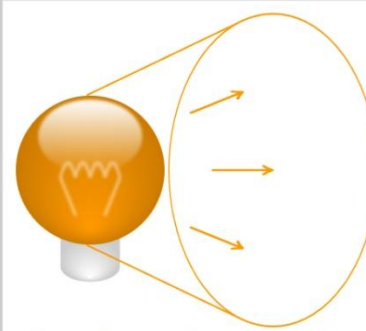
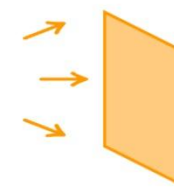
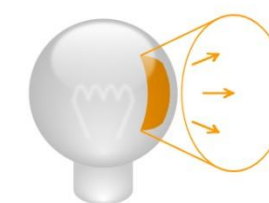
$$\Phi'_v = 1700 \frac{lm}{W} \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V'(\lambda) d\lambda = 1700 \frac{lm}{W} \int_{390nm}^{830nm} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V'(\lambda) d\lambda \quad [lm]$$

- ▶ De cele mai multe ori, sursele sunt discrete, λ_i

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

$$\Phi'_v = 1700 \frac{lm}{W} \cdot \sum_i \Phi_e(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \quad [lm]$$

Relatie radiometrie/fotometrie

	$\frac{\partial}{\partial \Omega} \rightarrow$	
	Non-directional	Directional
Over-all	 Luminous efficacy K (lm/W) Photometry [Luminous flux Φ_V (lumen, lm = cd · sr) Radiometry [Radiant flux Φ_e (watt, W)	 Luminous intensity I_V (candela, cd = lm/sr) Radiant intensity $I_{e,\Omega}$ (W/sr)
$\frac{\partial}{\partial A} \downarrow$	 Exiting: Luminous exitance M_V (lm/m²) Radiant exitance M_e (W/m²)  Incoming: Illuminance E_V (lux, lx = lm/m²) Irradiance E_e (W/m²)	 Luminance L_V (nit, nt = cd/m²) Radiance $L_{e,\Omega}$ (W/sr/m²)
Per unit area		

Marimi luminoase/energetice

► 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/energetice

► 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 ²

Marimi luminoase/energetice

► 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 ²	$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	SI: W/m ²

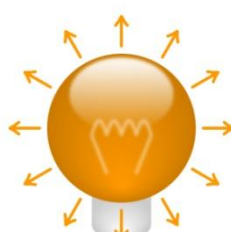
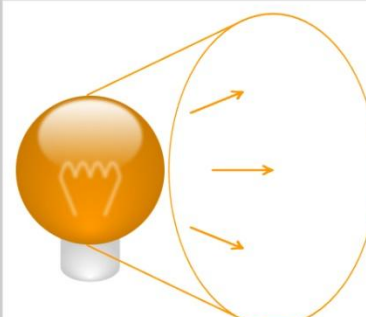
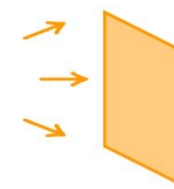
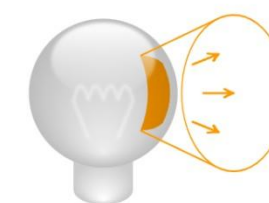
Marimi luminoase/energetice

► 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: cd/m ²	$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega \cdot dS}$	SI: W/m ² /sr

Relatie radiometrie/fotometrie

	$\frac{\partial}{\partial \Omega} \rightarrow$	
	Non-directional	Directional
Over-all	 Luminous efficacy K (lm/W) Photometry [Luminous flux Φ_V (lumen, lm = cd · sr) Radiometry [Radiant flux Φ_e (watt, W)	 Luminous intensity I_V (candela, cd = lm/sr) Radiant intensity $I_{e,\Omega}$ (W/sr)
$\frac{\partial}{\partial A} \downarrow$		
Per unit area	 Exiting: Luminous exitance M_V (lm/m²) Radiant exitance M_e (W/m²)  Incoming: Illuminance E_V (lux, lx = lm/m²) Irradiance E_e (W/m²)	 Luminance L_V (nit, nt = cd/m²) Radiance $L_{e,\Omega}$ (W/sr/m²)

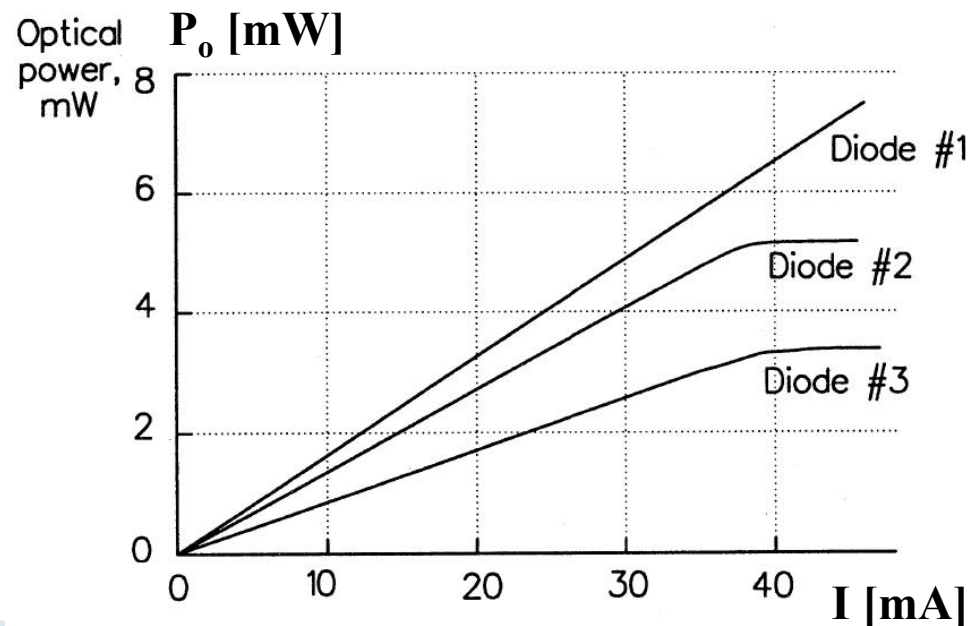
Caracteristica de raspuns LED

- ▶ Caracteristica putere optica emisa functie de curentul direct prin LED este liniara la nivele mici ale curentului.
- ▶ Nu exista curent de prag
- ▶ La nivele foarte mari puterea optica se satureaza

- ▶ Responzivitatea

$$r = \frac{P_o}{I} \left[\frac{W}{A} \right]$$

- ▶ Tipic $r = 50 \mu W / mA$



Caracteristica de raspuns LD

- Amorsarea emisiei stimulate necesita pomparea unei anumite cantitati de energie – curent de prag

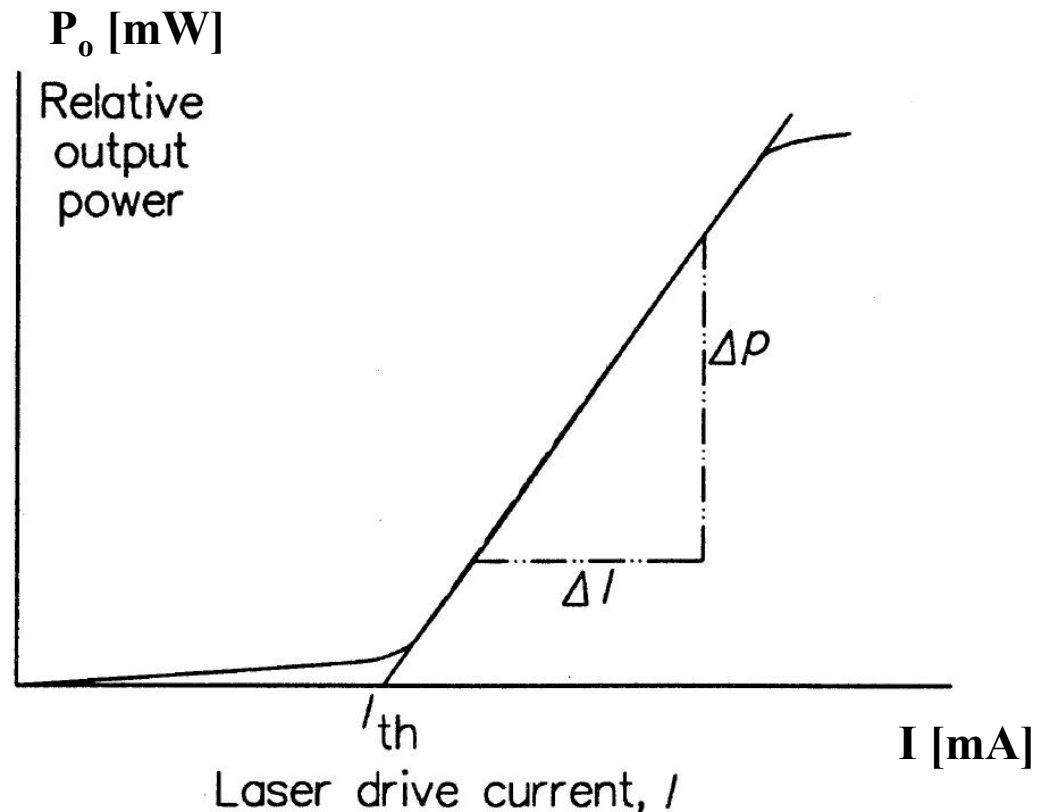
$I < I_{th}$ regim LED
ineficient!, $P_o \cong 0$

$I > I_{th}$ regim LASER

$$r = \frac{\Delta P_o}{\Delta I} \left[\frac{W}{A} \right]$$

$$P_o = r \cdot (I - I_{th})$$

Apare saturare la nivele mari de curent



Directivitatea radiatiei exterioare

► SLED

- radiatia este emisa cu simetrie circulara, in interiorul unui con cu unghi la varf tipic de 60°
- Viewing Half Angle $\sim 10^\circ \div 15^\circ$

► ELED

- radiatia emisa nesimetric in forma de con eliptic
 - perpendicular pe jonctiune $\sim 60^\circ$
 - paralel cu jonctiunea $\sim 30^\circ$

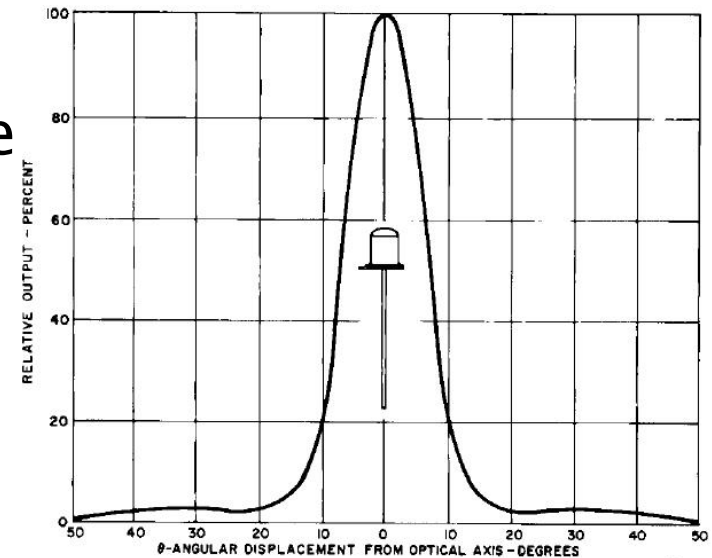
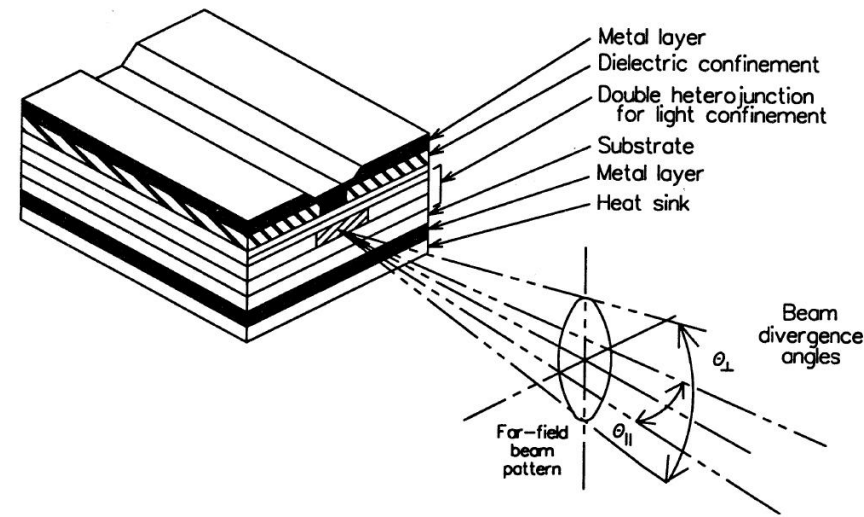


Fig. 5. Typical Radiation Pattern

ST1054



Directivitatea radiatiei exterioare

- ▶ Sursa lambertiana

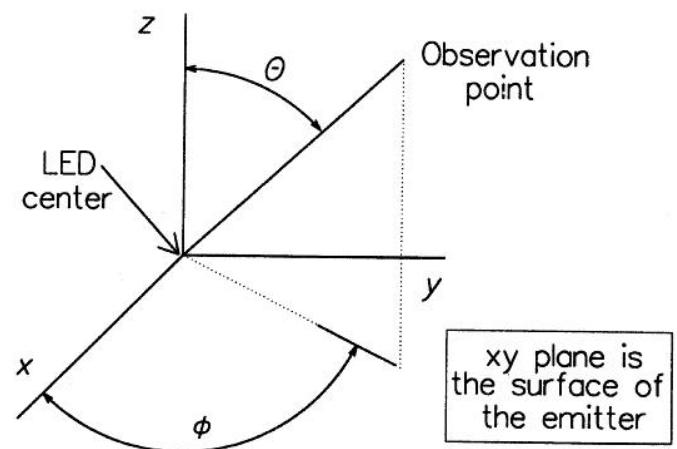
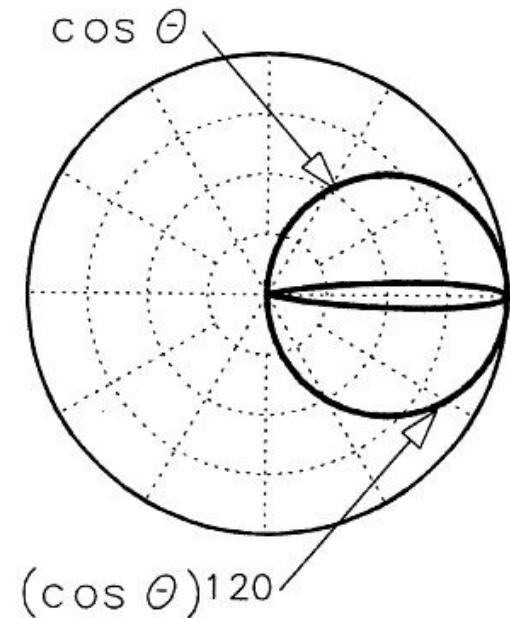
$$P(\theta) = P_0 \cdot \cos \theta$$

- ▶ Aproximatie Lambertiana pentru surse cu directivitate crescuta

$$P(\theta) = P_0 \cdot \cos^n \theta$$

- ▶ Surse cu emisie asimetrica

$$P(\theta) = \frac{P_0}{\frac{\sin^2 \phi}{\cos^T \theta} + \frac{\cos^2 \phi}{\cos^L \theta}}$$



Marimi globale vs. locale

- ▶ Flux energetic al luminii
 - marime locala
 - este asociat unei anumite suprafete
- ▶ Putere electrica/optica
 - marime globala
 - “suma fluxurilor pentru toate suprafetele disponibile”

$$P = \frac{dE}{dt} = \iint_S \frac{\partial^2 E}{\partial t \partial A} dA = \iint_S \frac{\partial \Phi_e}{\partial A} dA \quad [W]$$

- ▶ Daca se poate considera emisie uniforma

$$\Phi_e \approx ct. \rightarrow P = \Phi_e \quad [W]$$

Marimi luminoase

- ▶ Standardele pentru surse luminoase (de ex. semne de circulatie), iluminarea spatiilor de lucru/odihna
 - sunt concepute cu marimi luminoase
 - lm, cd, lx, cd/m² etc.
- ▶ de multe ori se adapteaza relatiile pentru surse mai simple:

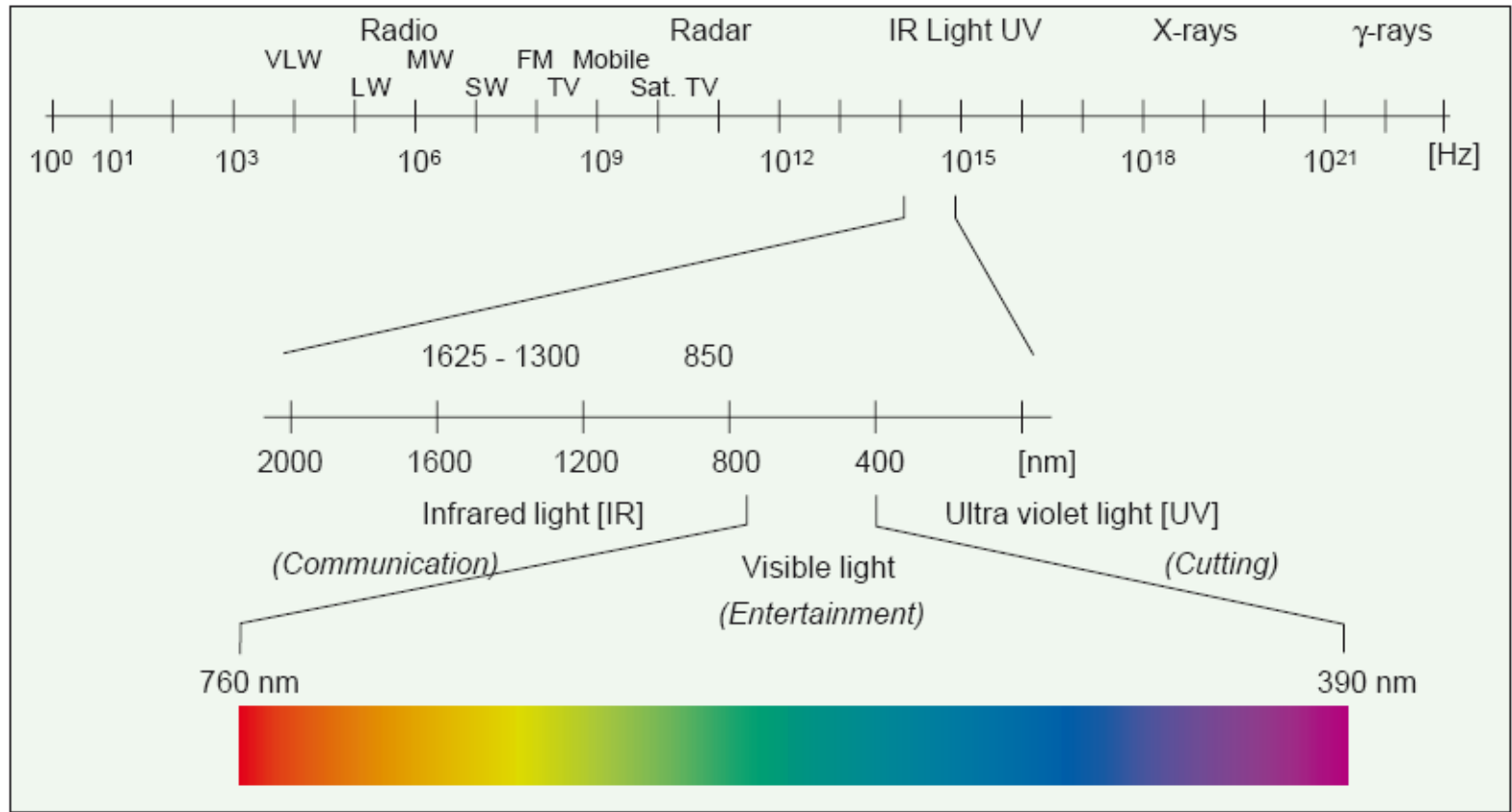
$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \rightarrow I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega} \Big|_{I_v \approx ct. in \Omega}$$

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS} \rightarrow E_v = \frac{\Phi_v}{S} \Big|_{\Phi_v \approx ct. pe S}$$

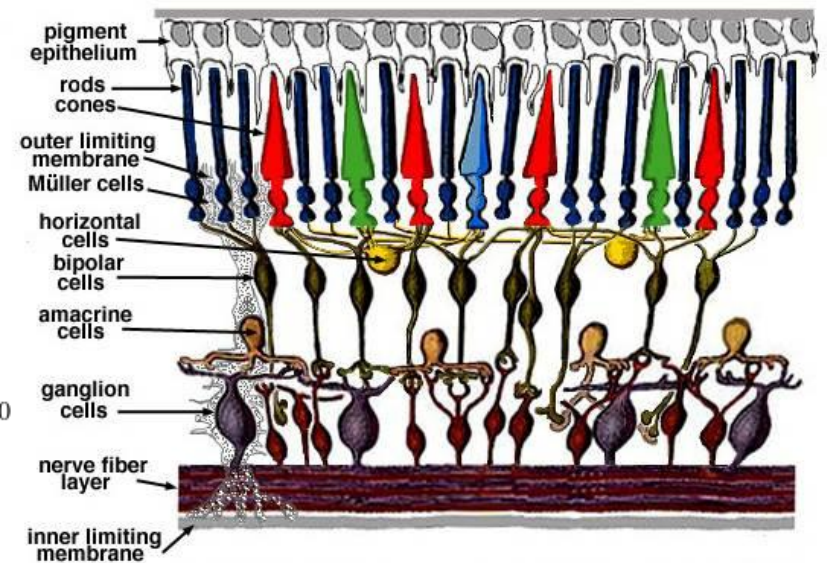
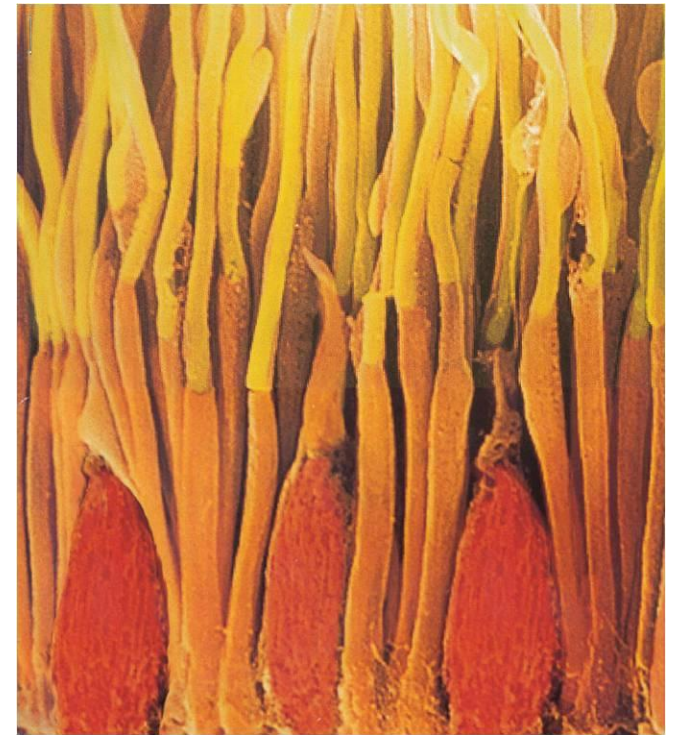
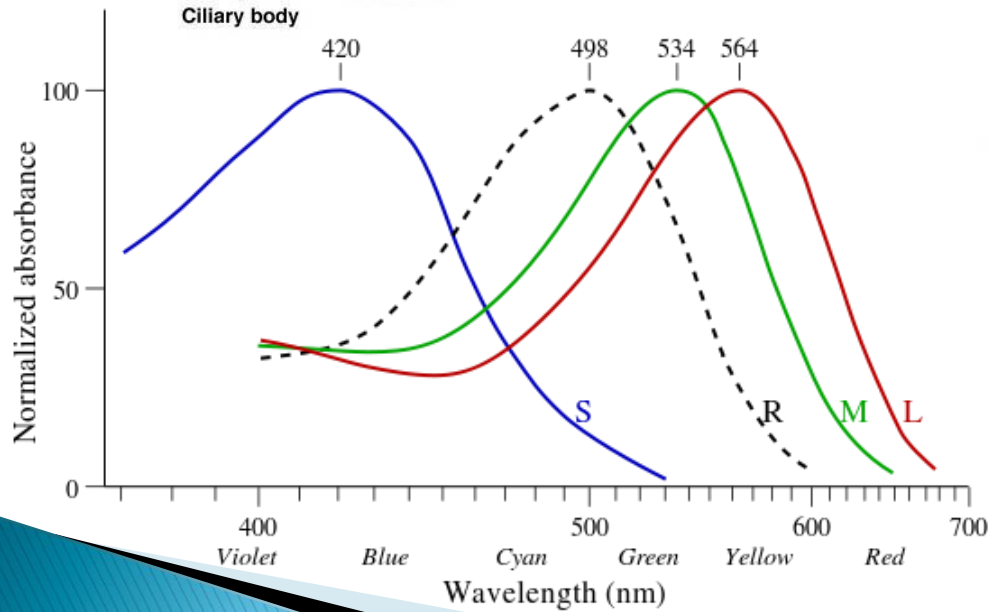
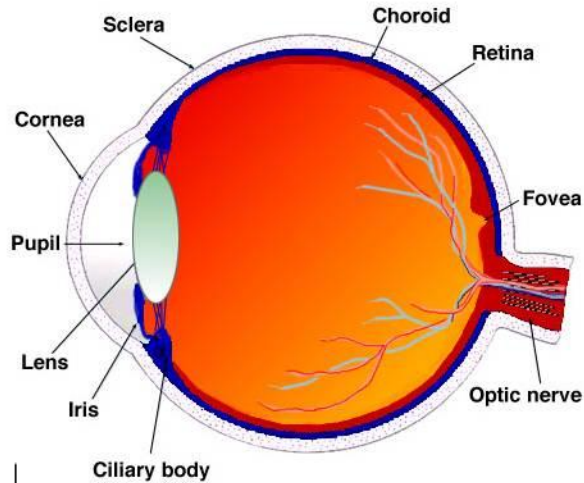
$$\Phi_v = 683 \frac{lm}{W} \int_{390nm}^{830nm} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda \rightarrow \Phi_v = 683 \frac{lm}{W} \cdot \sum_i \Phi_e(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i)$$

Ochiul uman – culoare

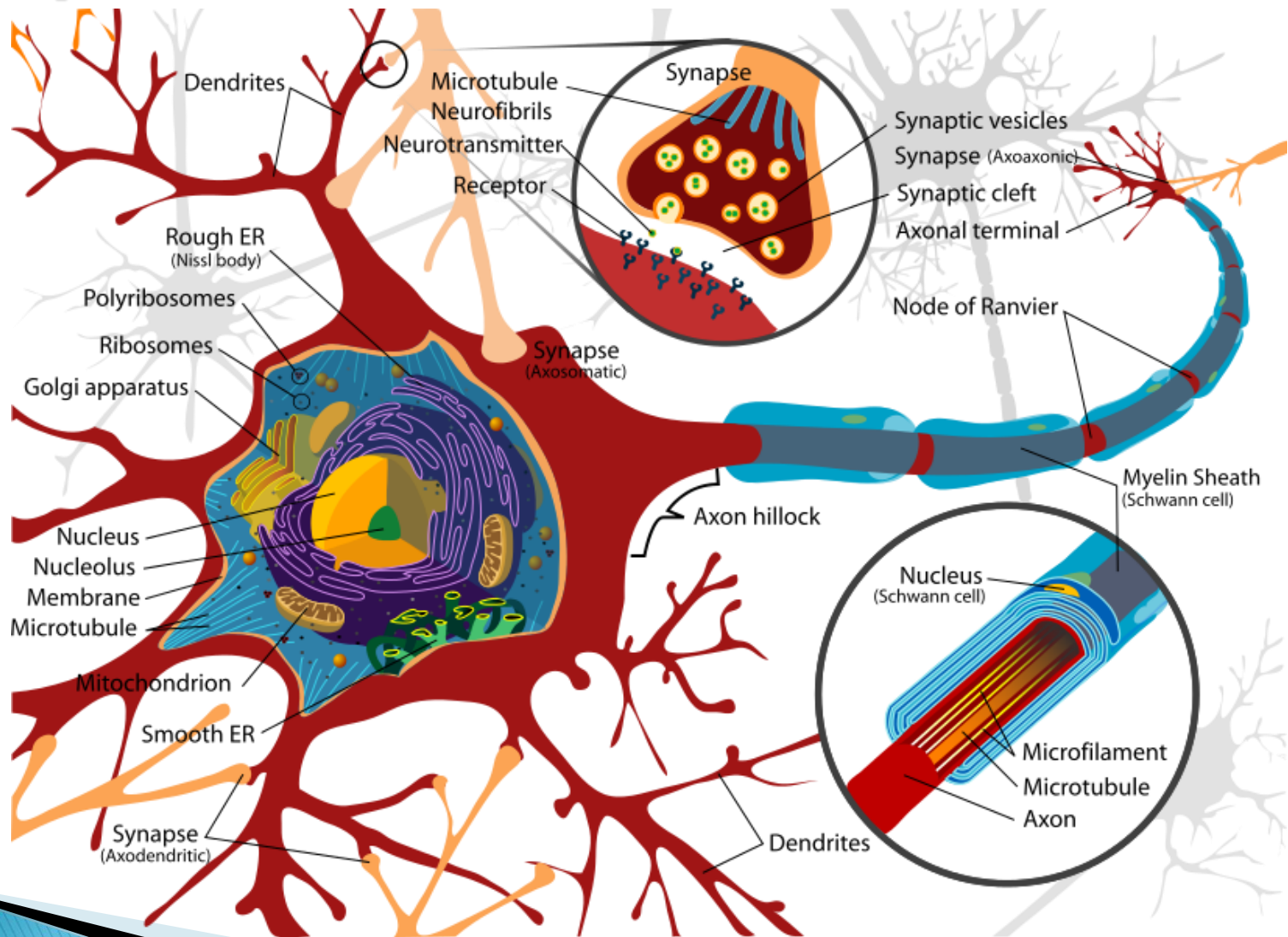
- ▶ culoare ~ lungime de unda



Ochiul uman

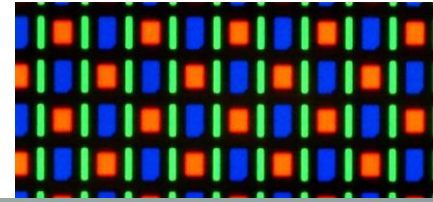
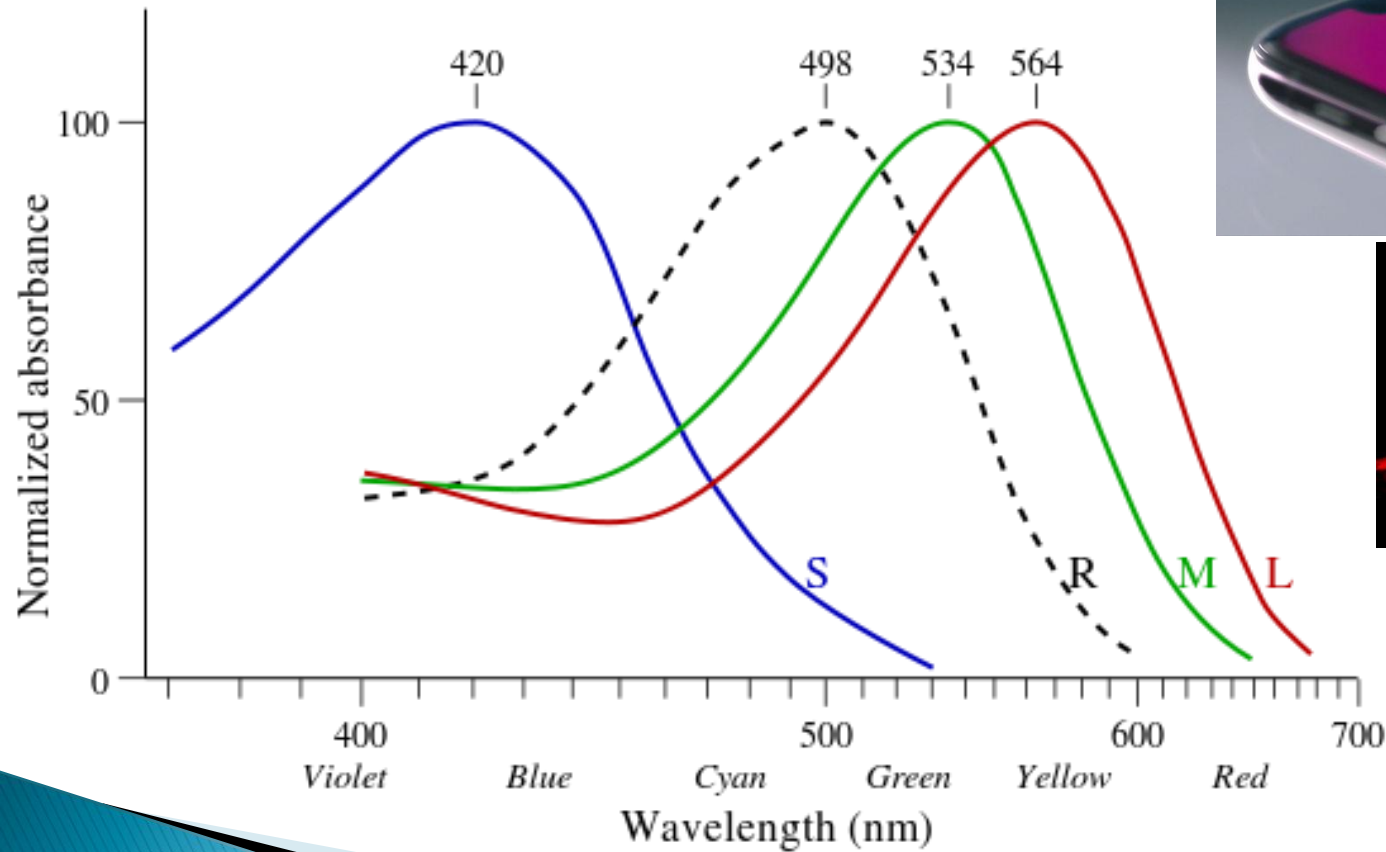


Scop 2



Ochiul uman – culoare

- ▶ culoare ~ lungime de unda

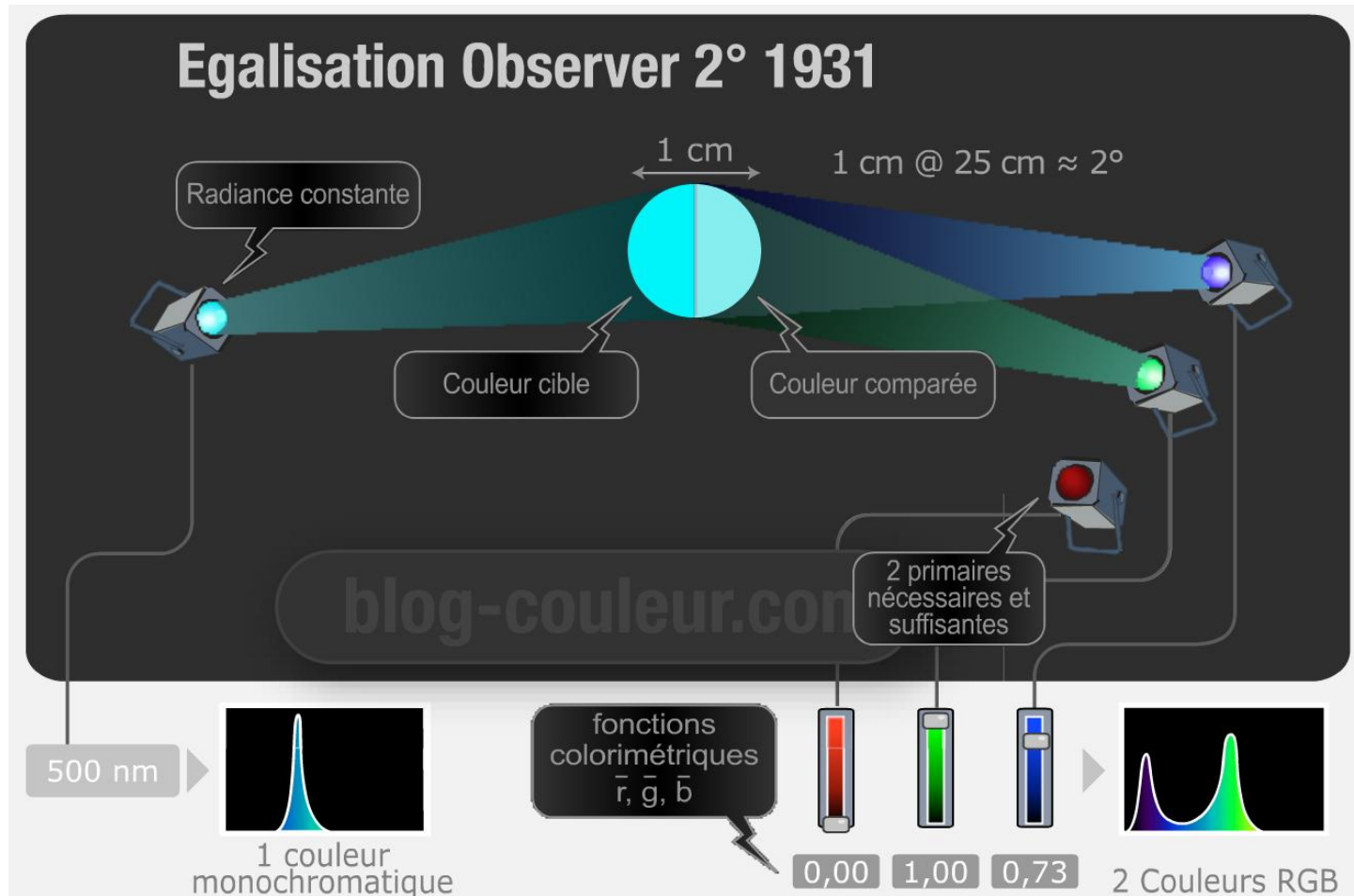


mantis shrimp

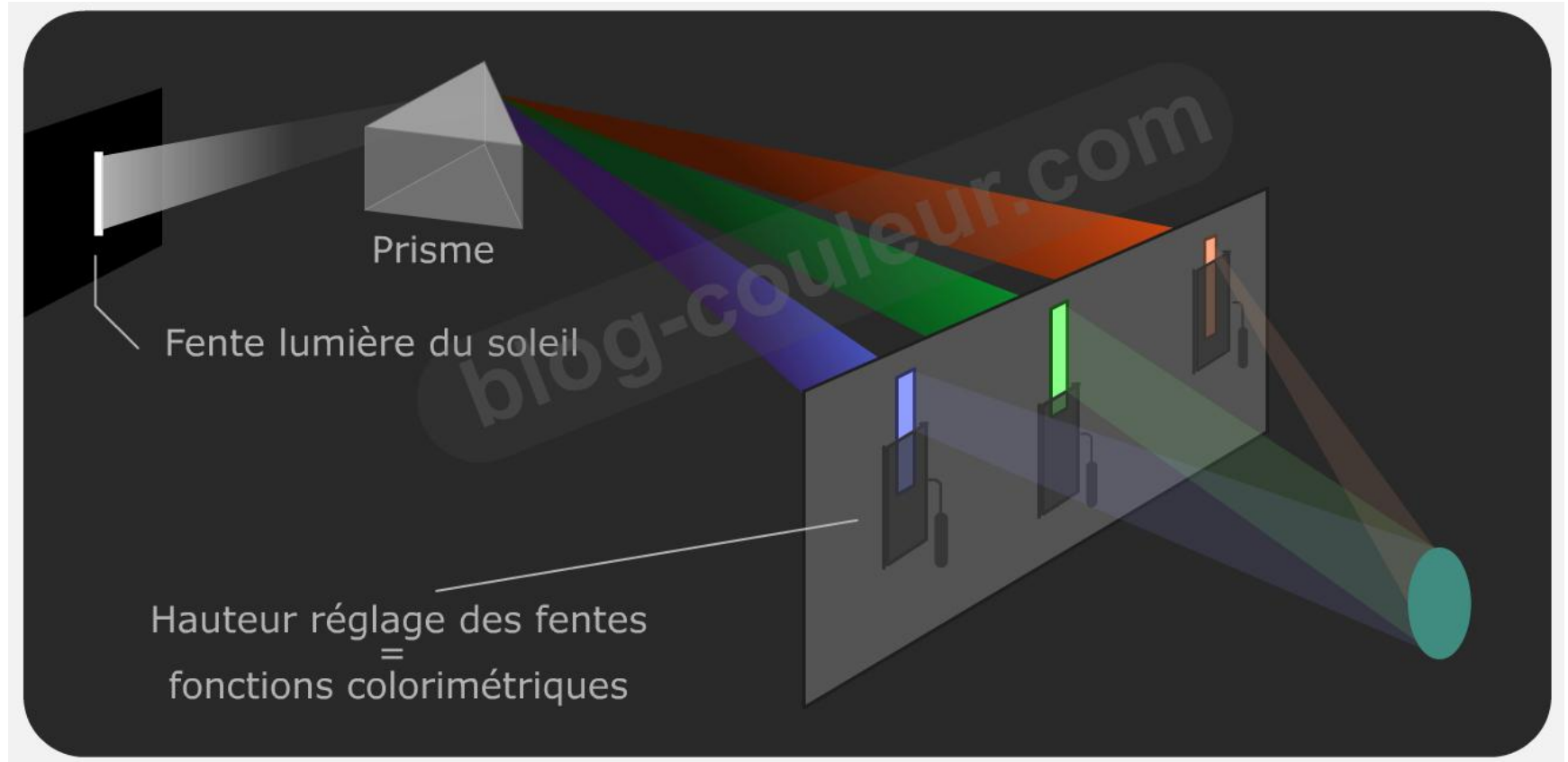
- ▶ 12 senzori de culoare
- ▶ senzor in ultraviolet
- ▶ senzor de lumina polarizata



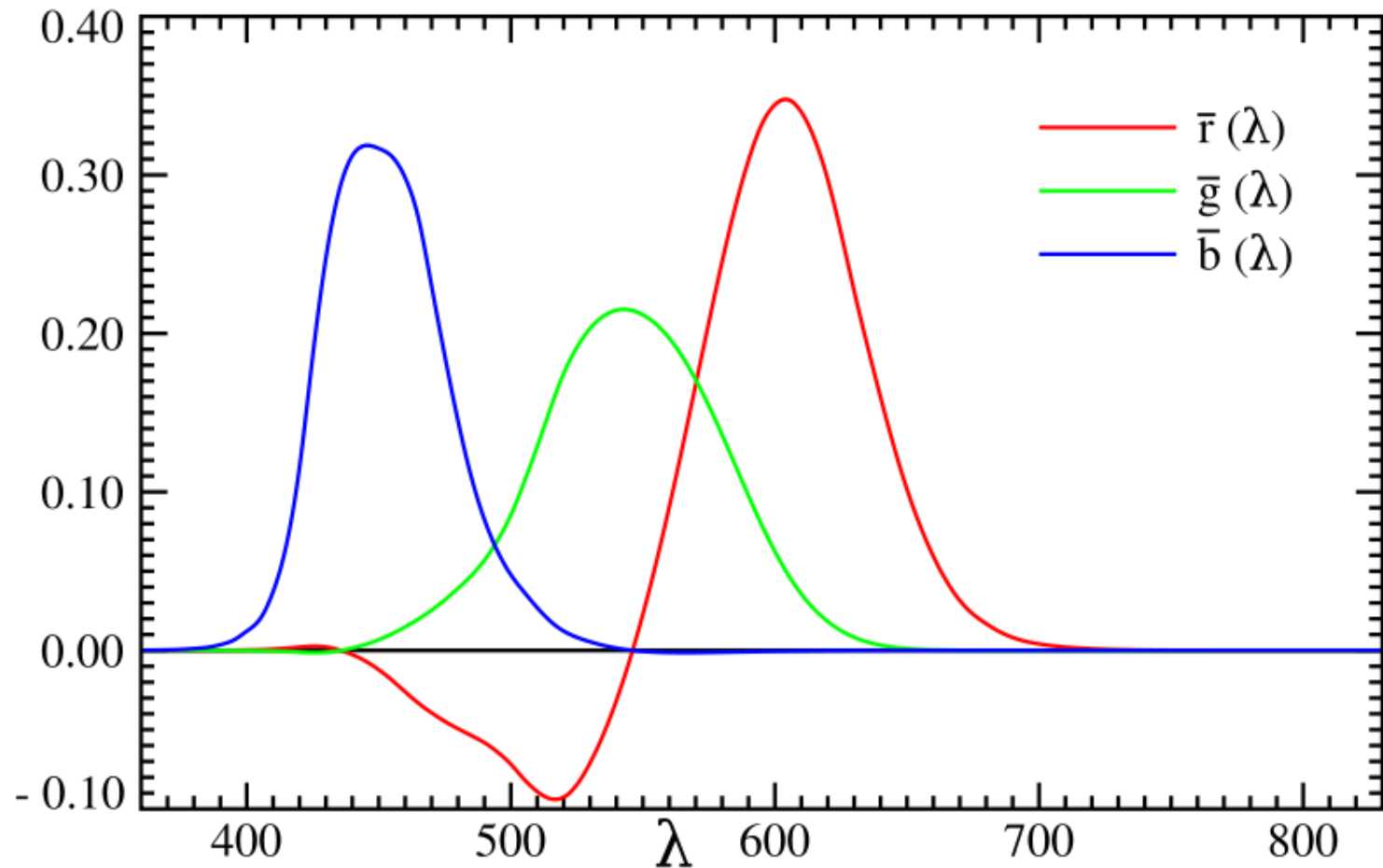
CIE xyz 1931



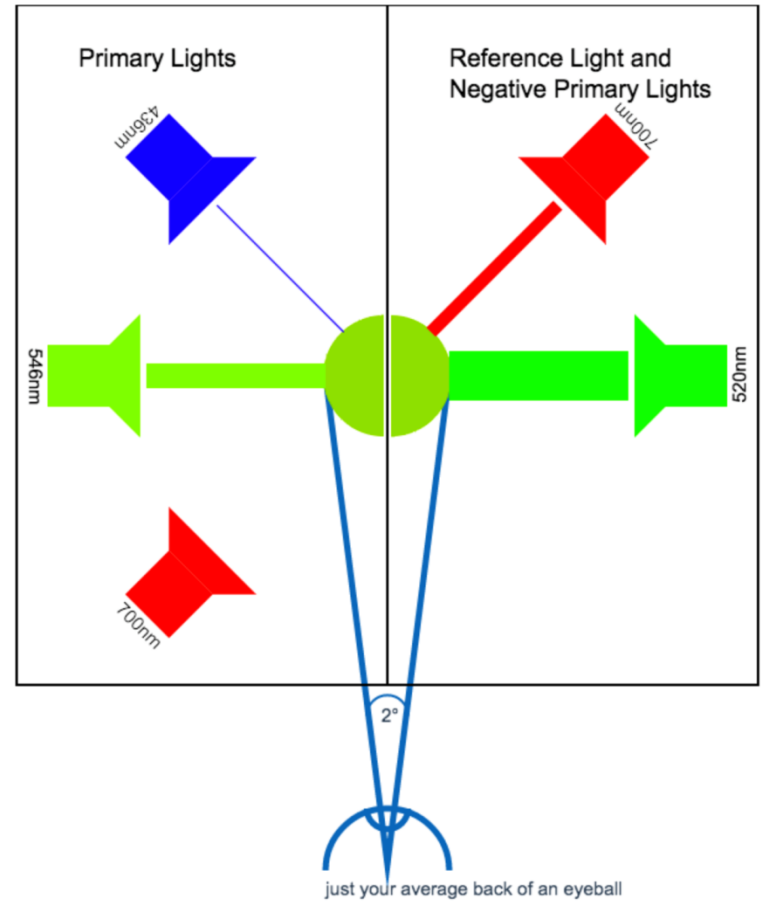
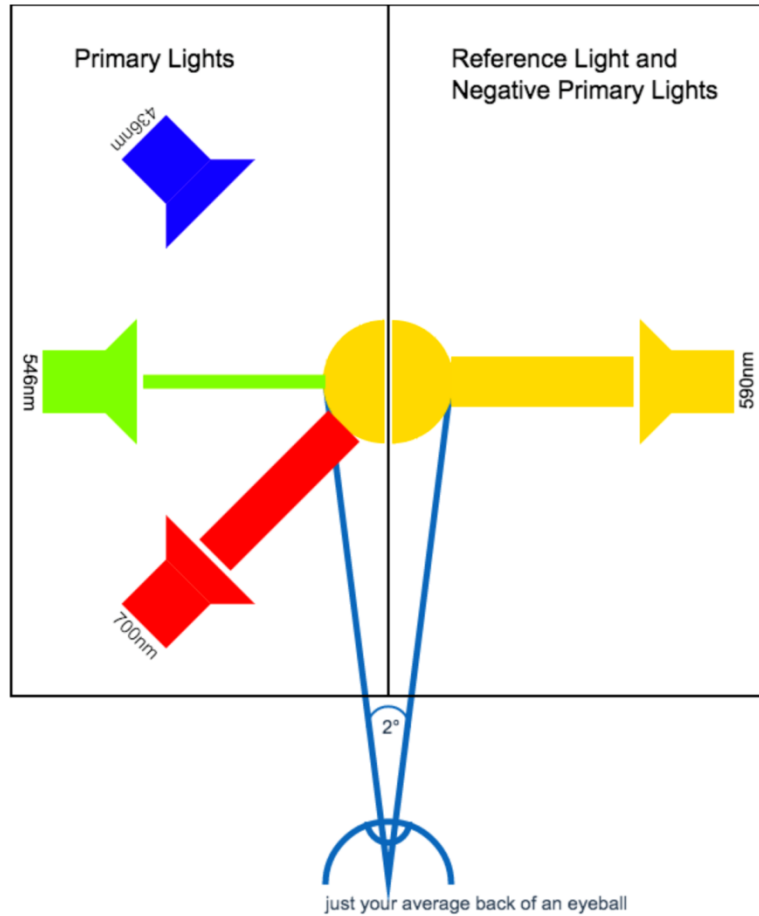
CIE xyz 1931



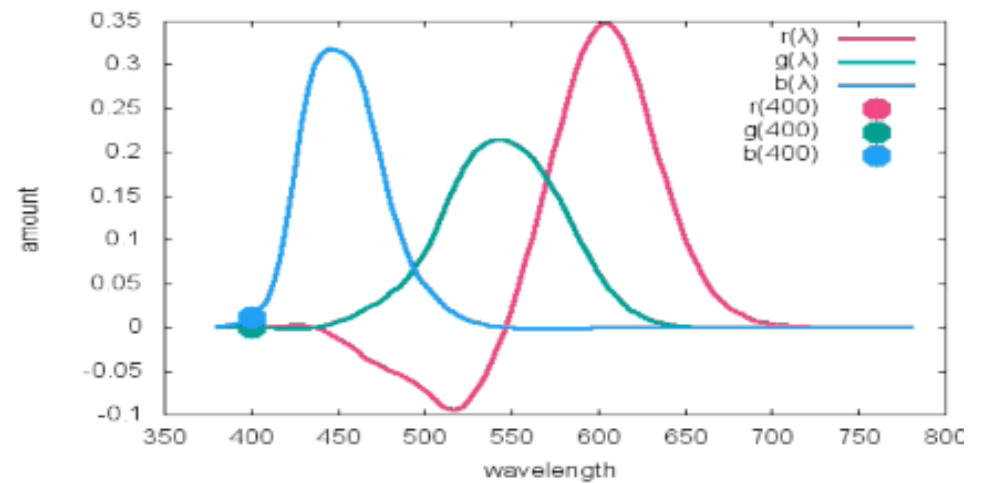
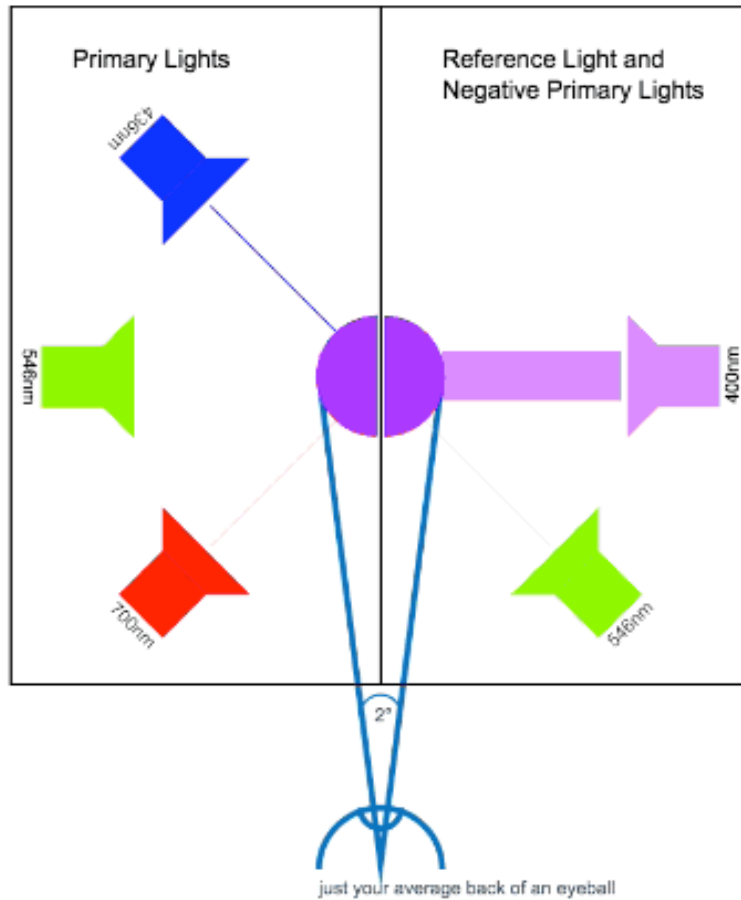
Cantitatea din culorile primare pentru aceeași senzație de culoare



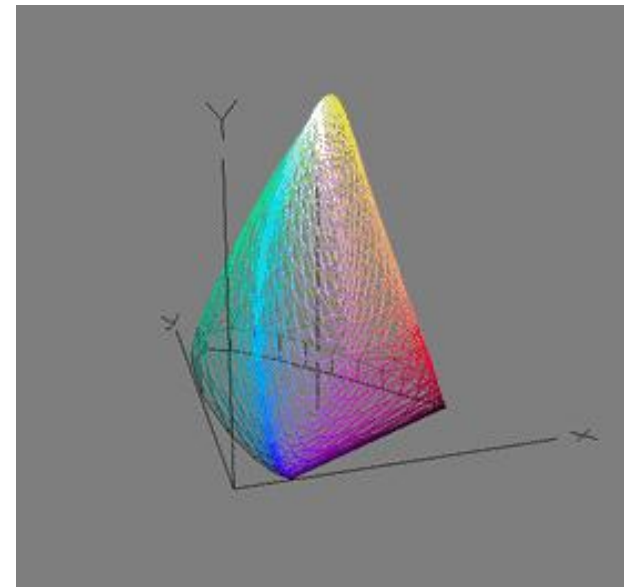
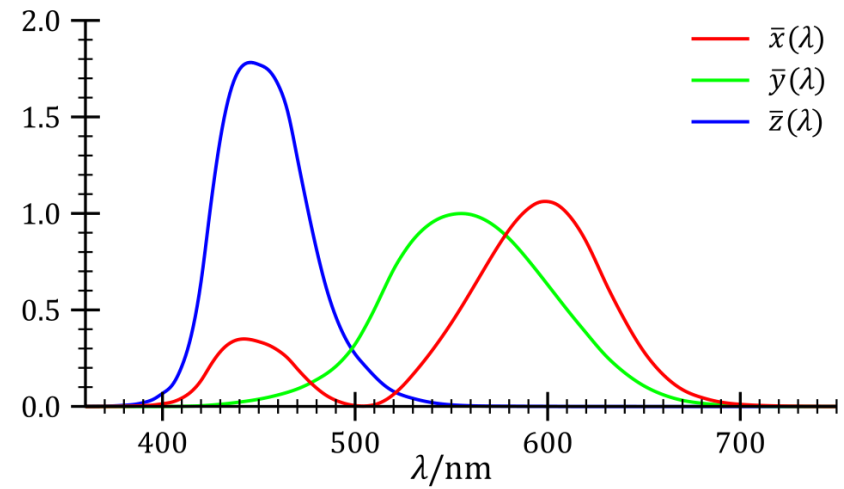
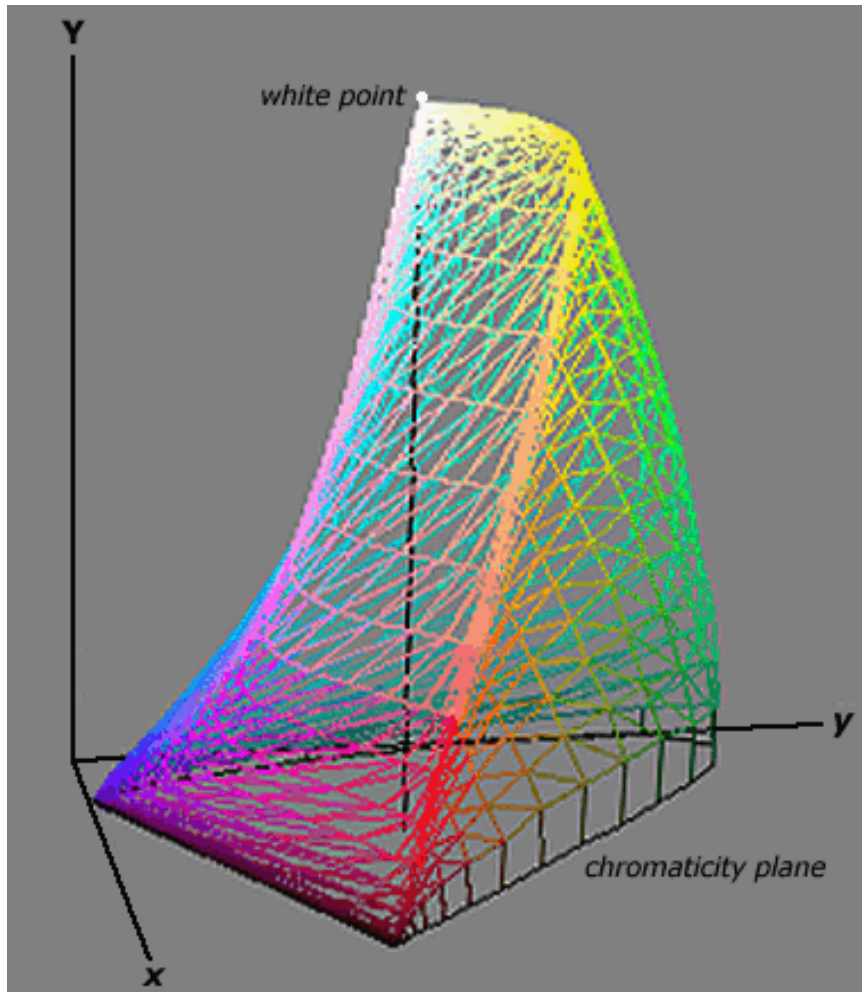
CIE xyz1931



CIE 1931

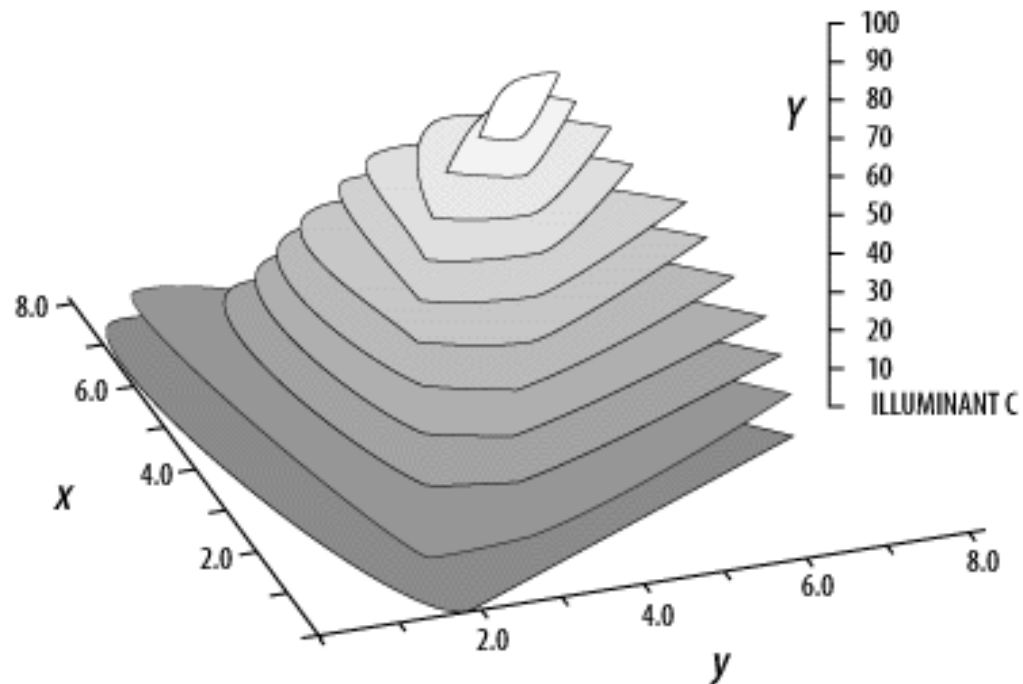
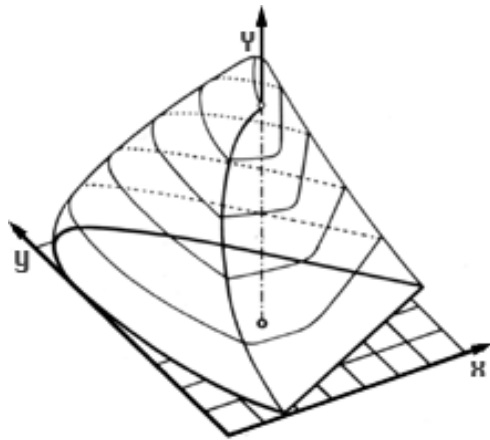


CIE xyz 1931

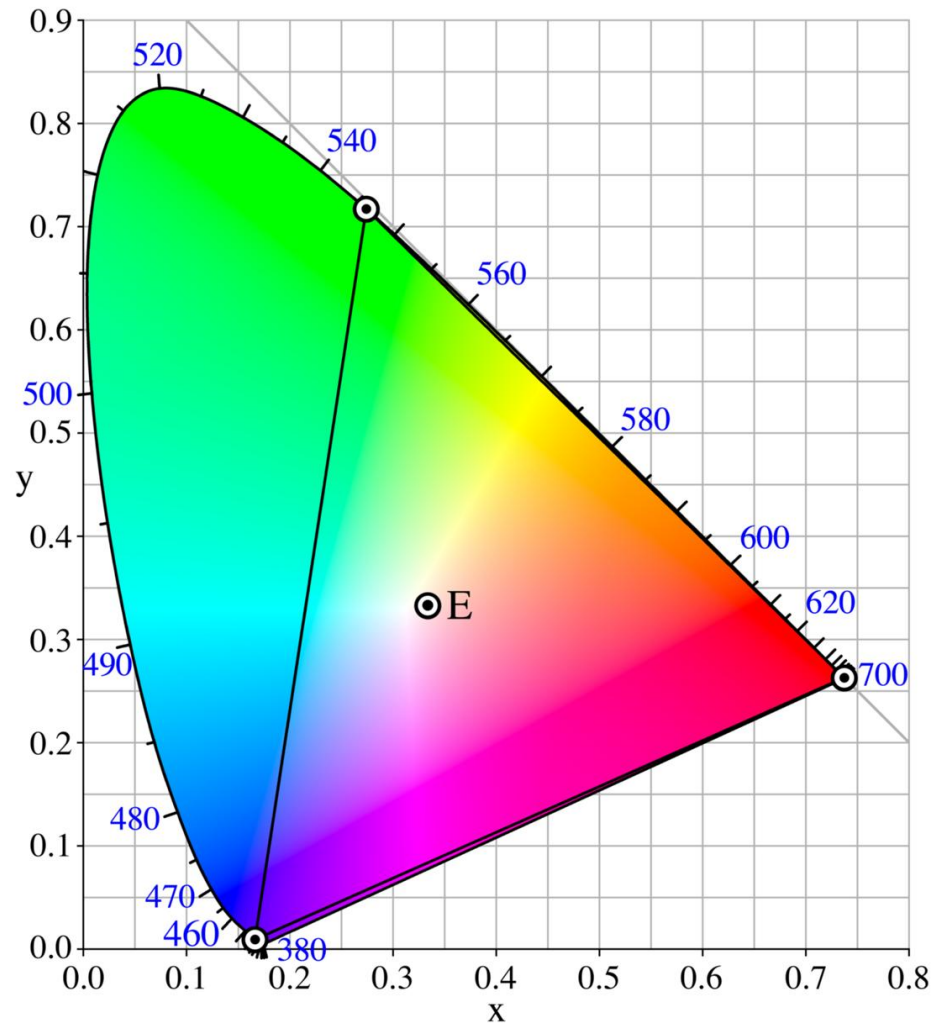
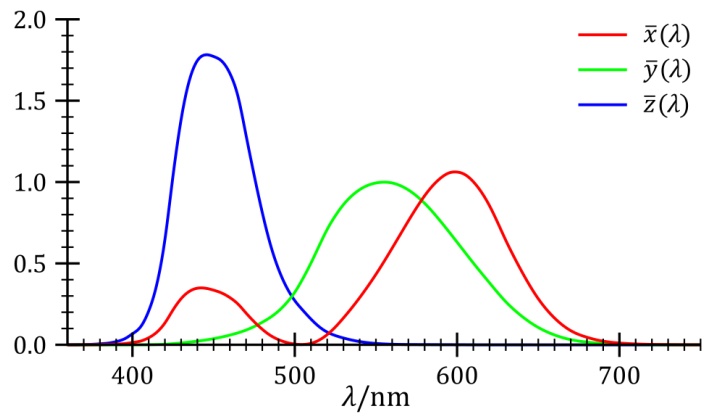


CIE xyz 1931

- ▶ Se alege una din axe ($xyY \rightarrow Y$) ca fiind cea a luminozitatii culorii
 - gri si alb sunt culori diferite
 - gri este un “alb” de luminozitate scazuta



CIE xy 1931



Radiometrie/fotometrie – fotopic

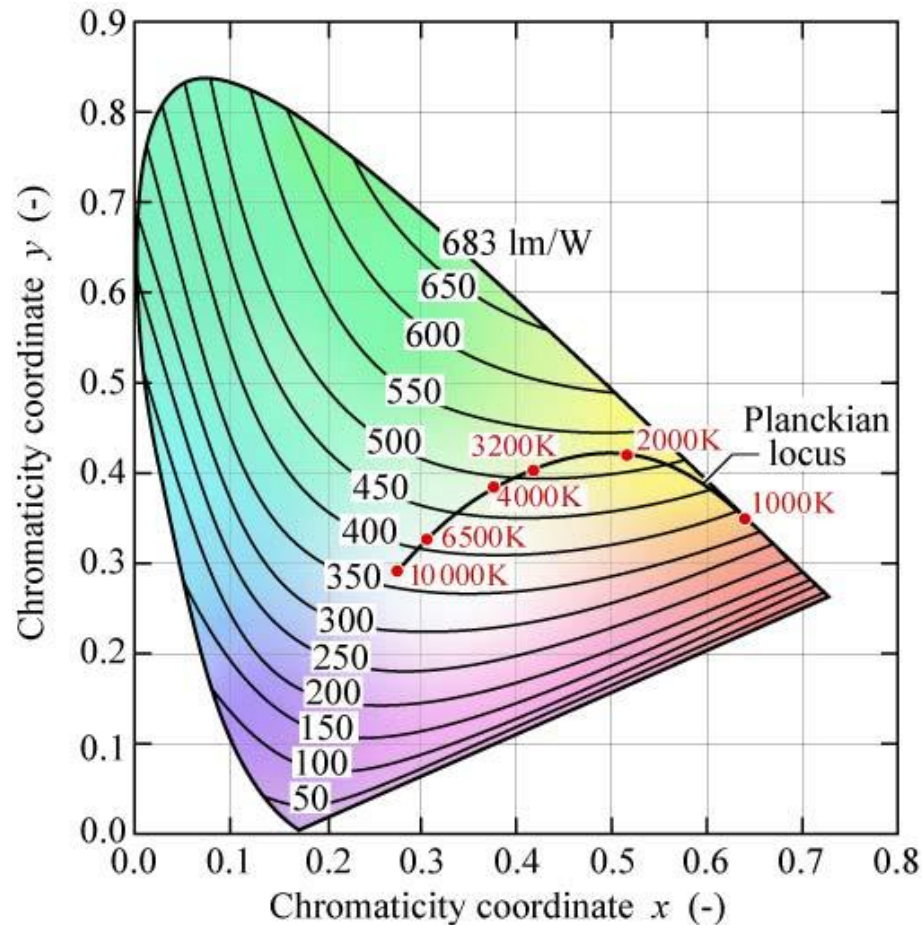


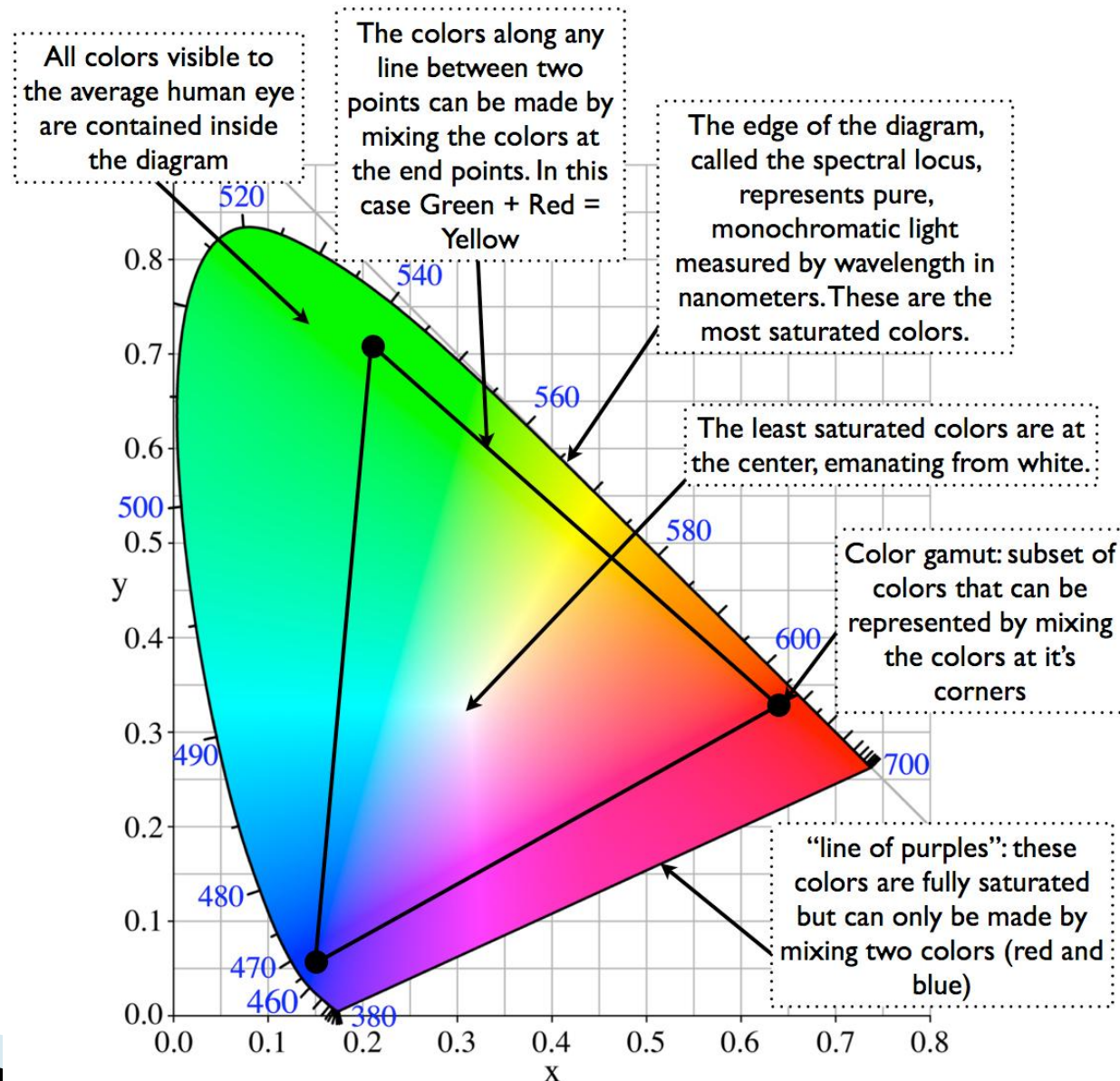
Fig. 16.8. Relation of maximum possible luminous efficacy (lumens per optical Watt) and chromaticity in the CIE 1931 x, y chromaticity diagram (adopted from MacAdam, 1950).

$$\eta_v(\lambda) \quad [\text{lm/W}]$$

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

CIE xy 1931

► utilizzare



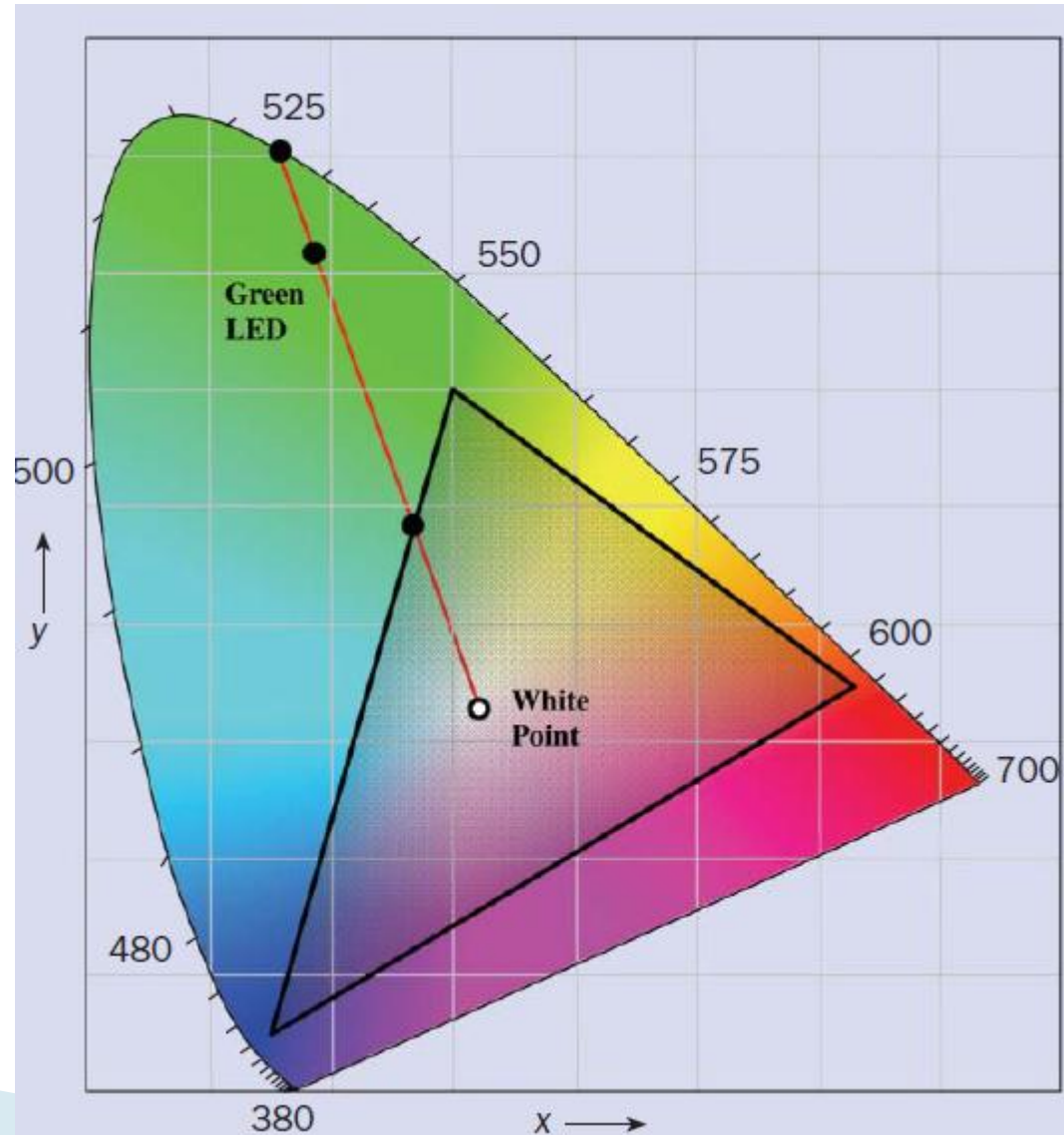
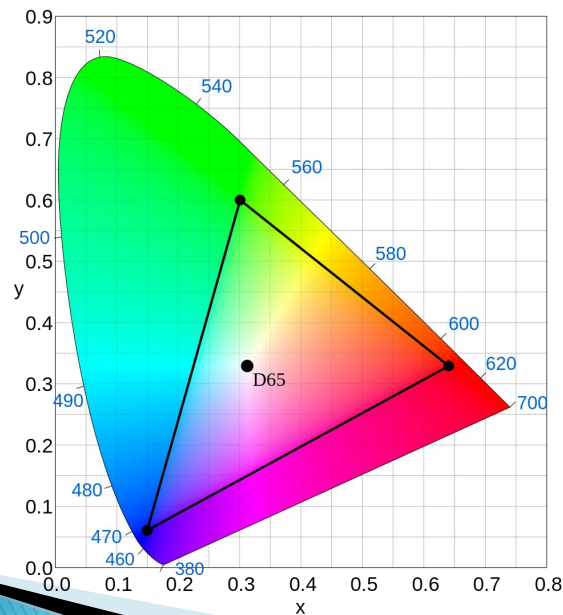
ITU-R BT.709

▶ HDTV

ITU-R BT.709 phosphor properties

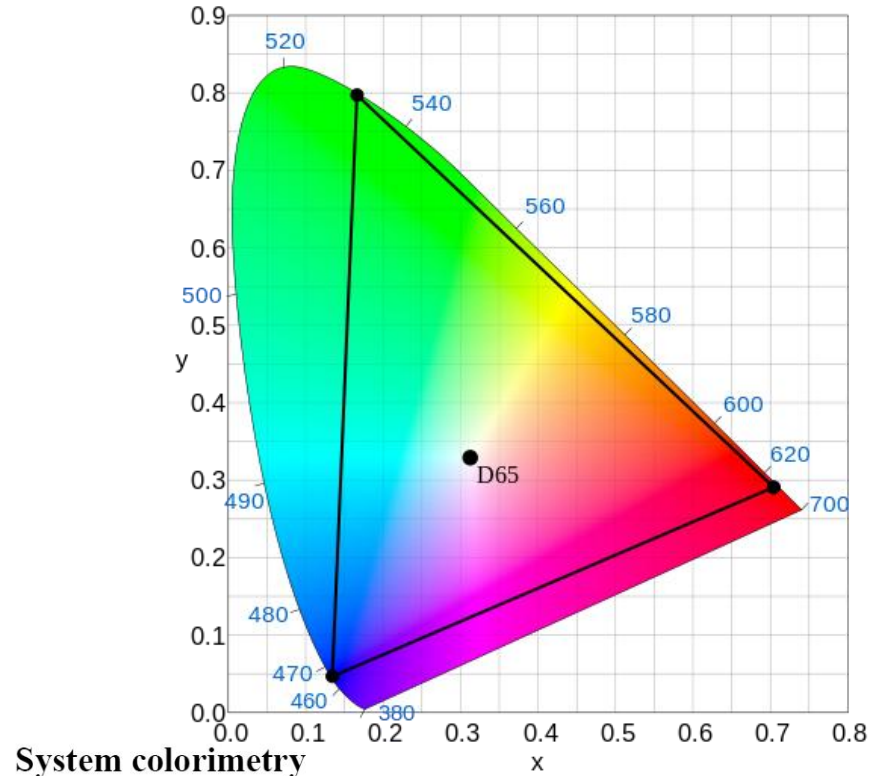
Phosphor	x	y
Red	0.640	0.330
Green	0.300	0.600
Blue	0.150	0.060

Data refers to xy chromaticity co-ordinates of ITU-R BT.709 phosphors which are used in most CRT displays [1].



ITU-R BT.2020

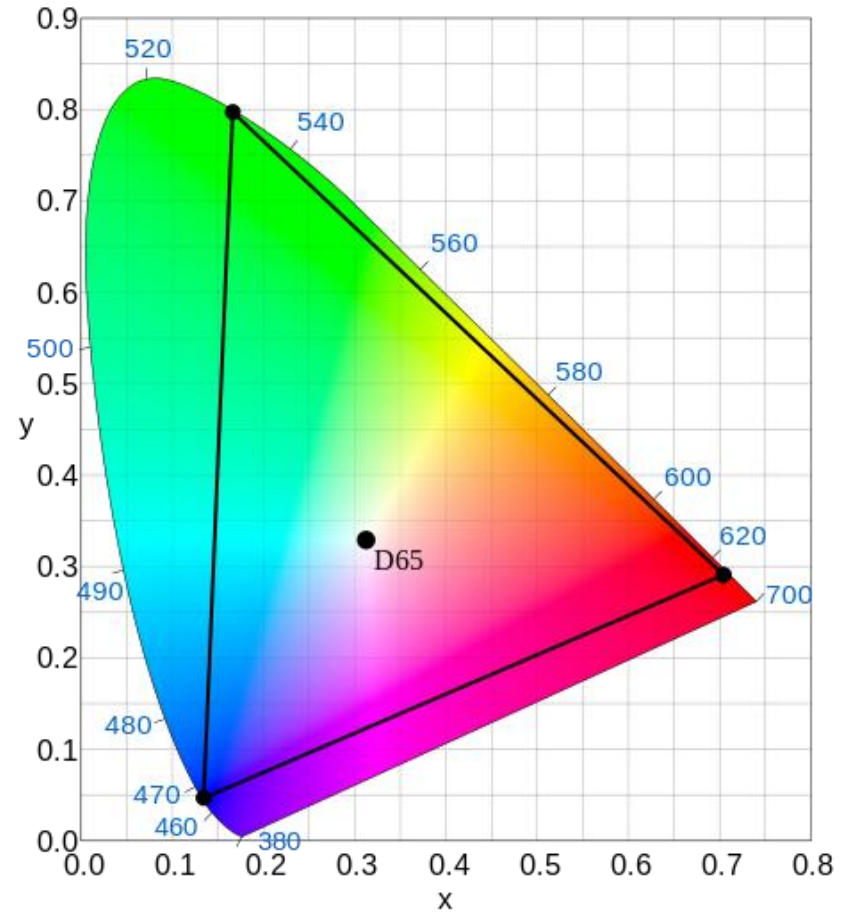
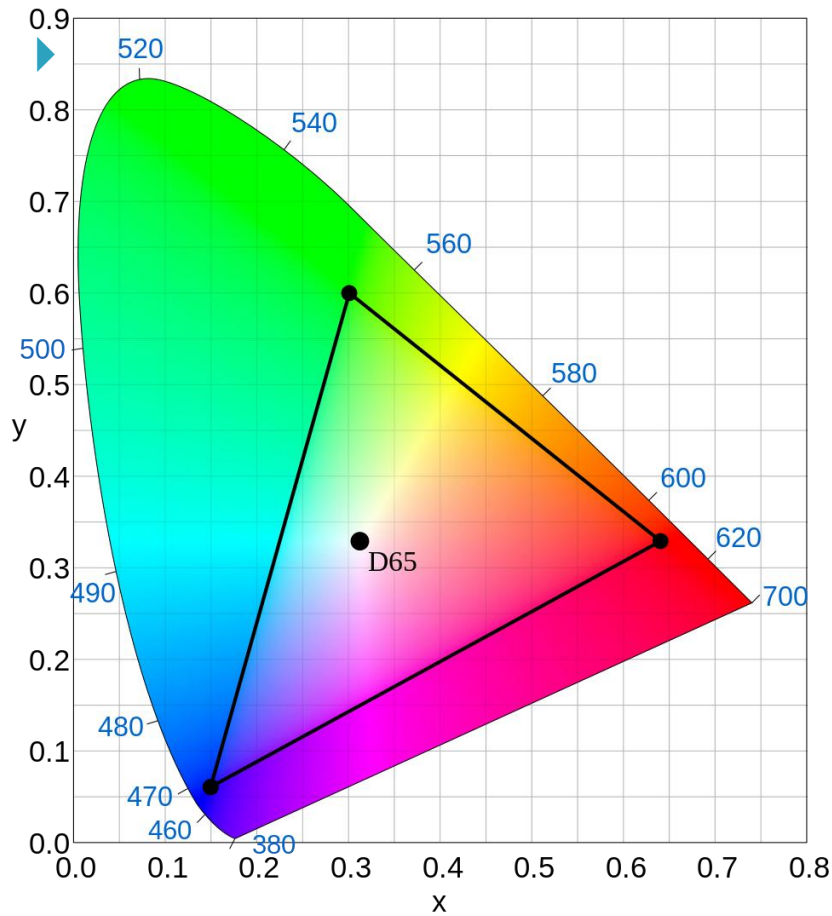
- ▶ Parameter values for ultra-high definition television systems
- ▶ UHDTV



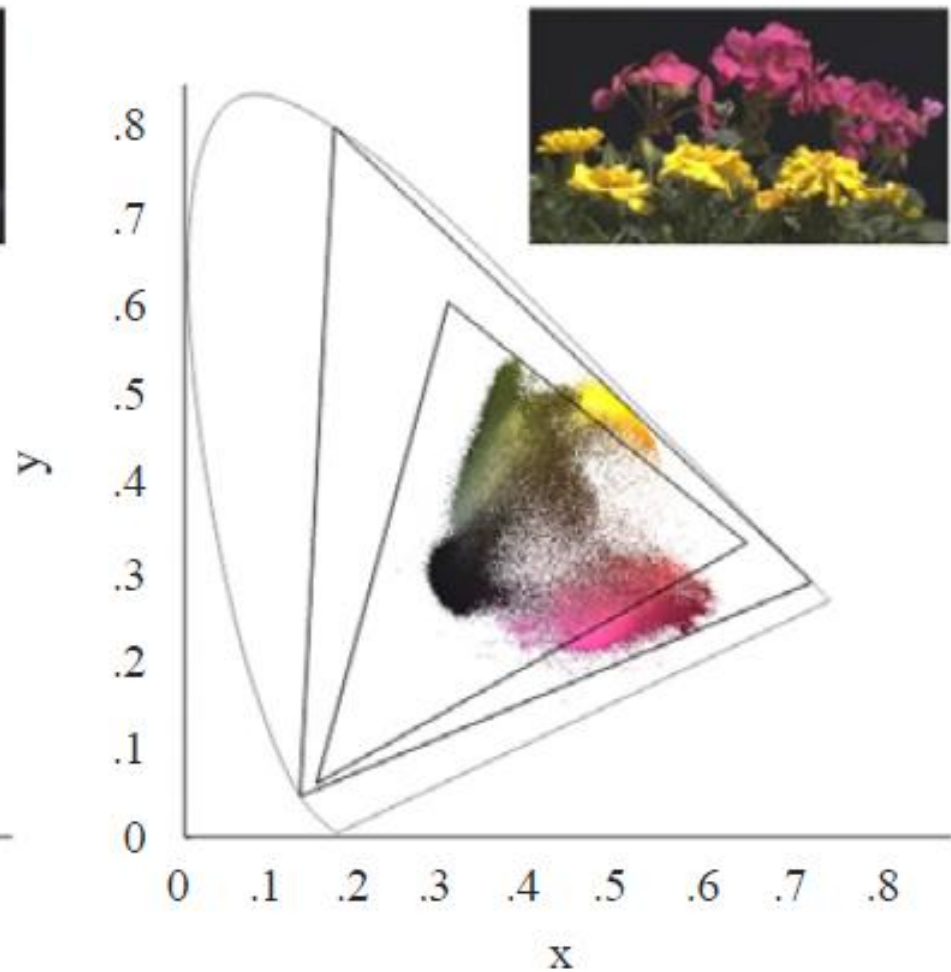
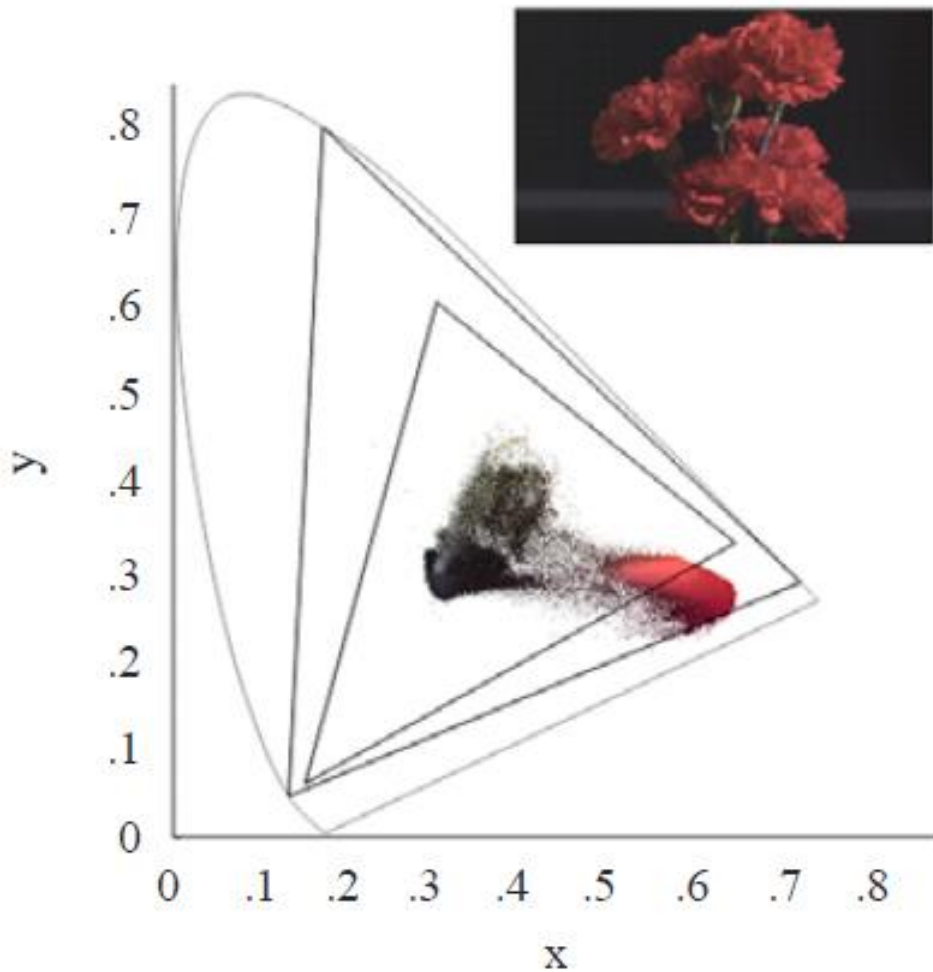
Parameter	Values		
Opto-electronic transfer characteristics before non-linear pre-correction	Assumed linear ⁽¹⁾		
Primary colours and reference white ⁽²⁾	Chromaticity coordinates (CIE, 1931)	x	y
	Red primary (R)	0.708	0.292
	Green primary (G)	0.170	0.797
	Blue primary (B)	0.131	0.046
	Reference white (D65)	0.3127	0.3290

⁽¹⁾ Picture information can be linearly indicated by the tristimulus values of RGB in the range of 0-1.

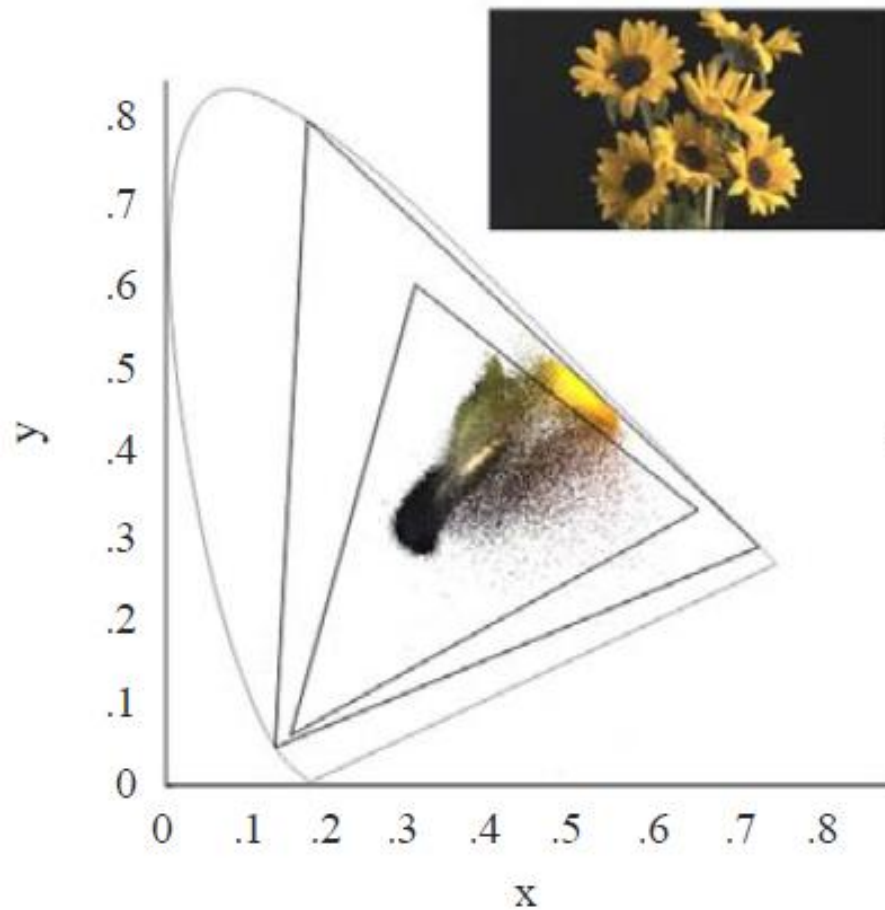
ITU-R BT.709/.2020



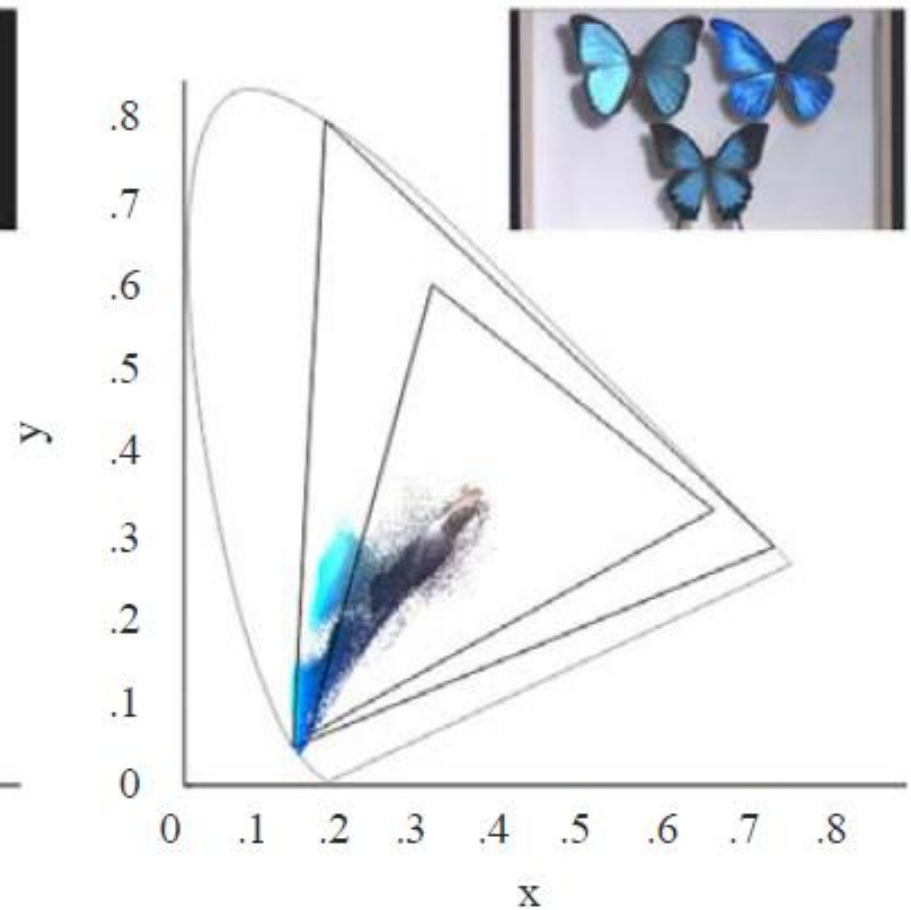
ITU-R BT.709/.2020



ITU-R BT.709/.2020

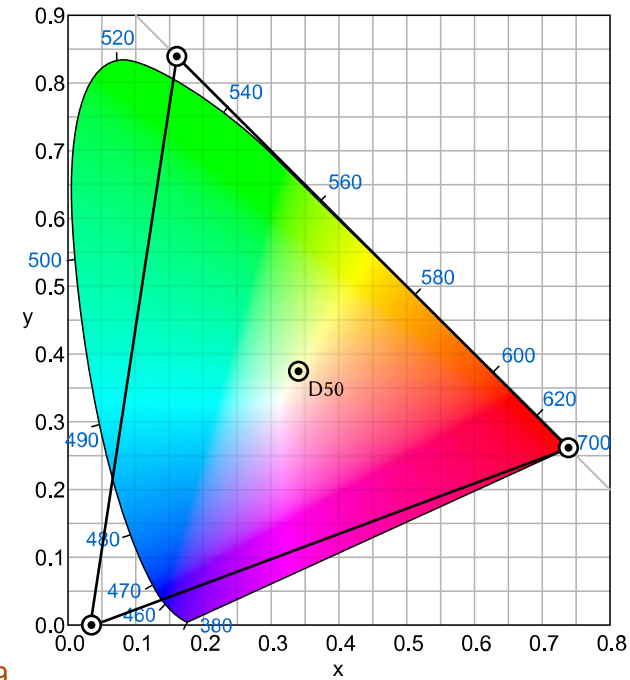
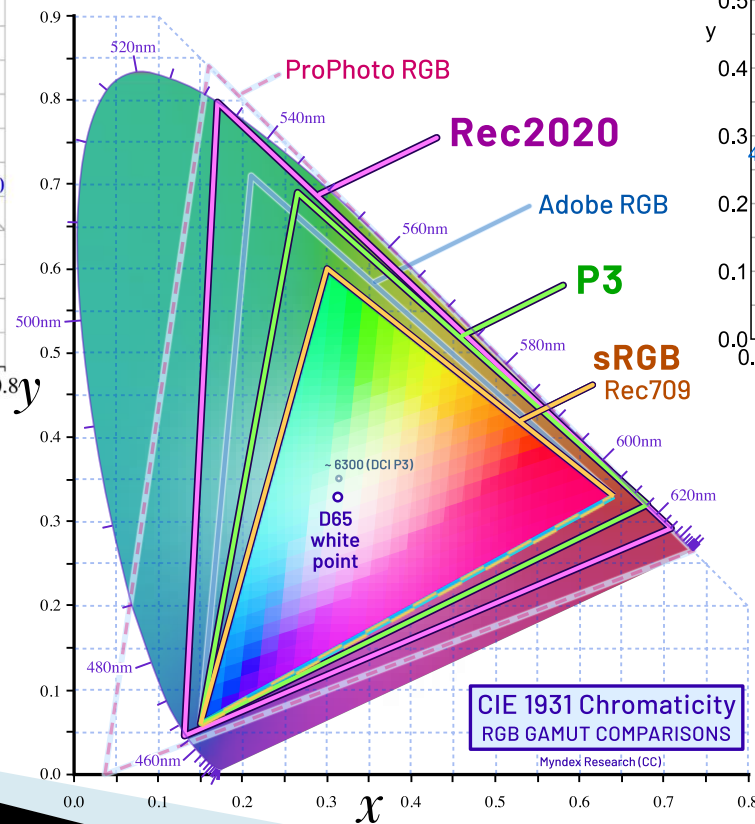
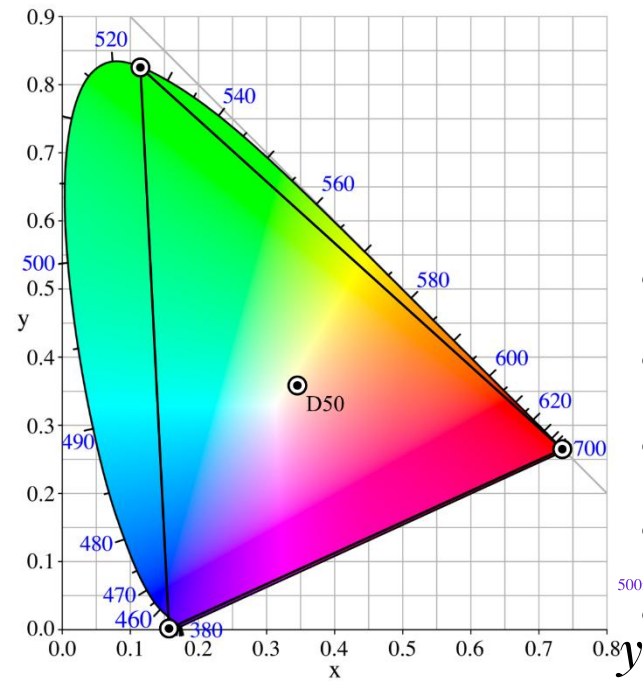


c) Sunflower



(d) Butterfly

Alte spatii de culoare



Determinarea lungimii de unda dominante

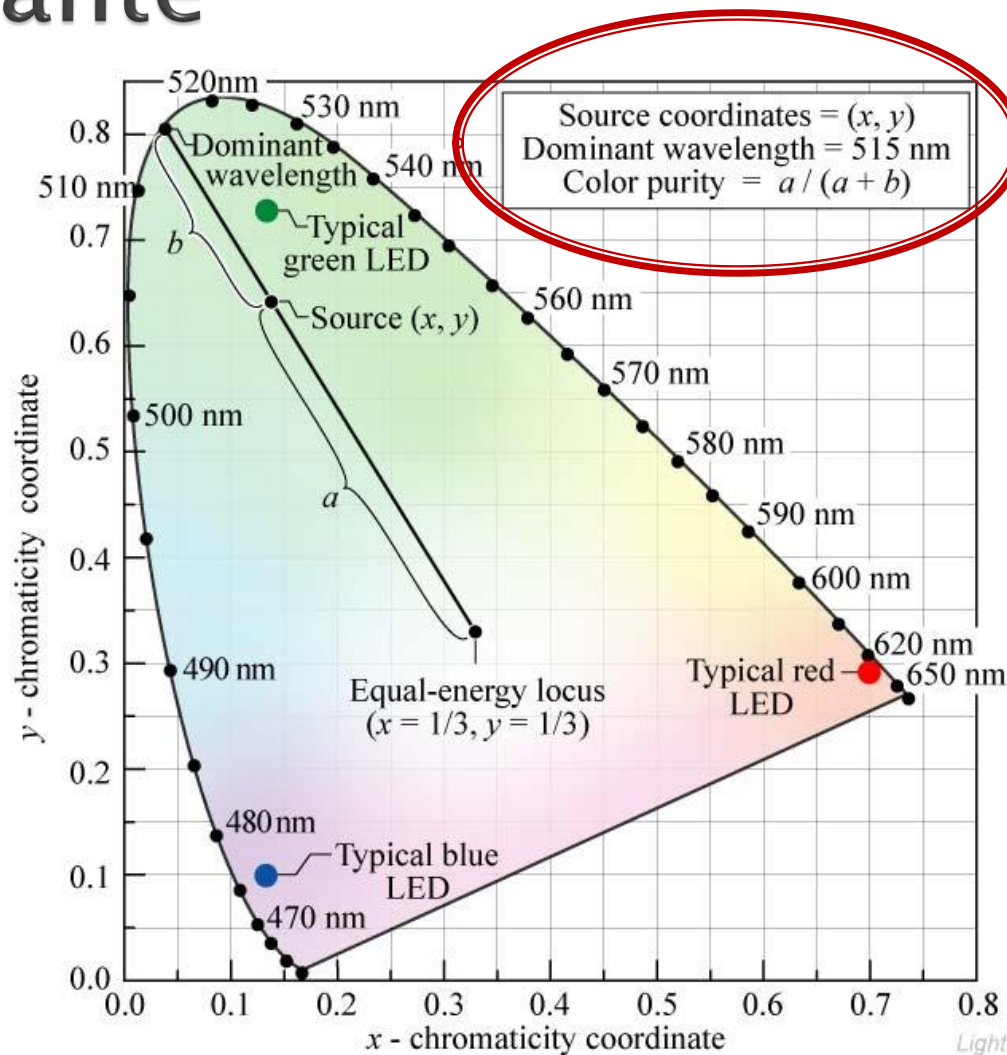
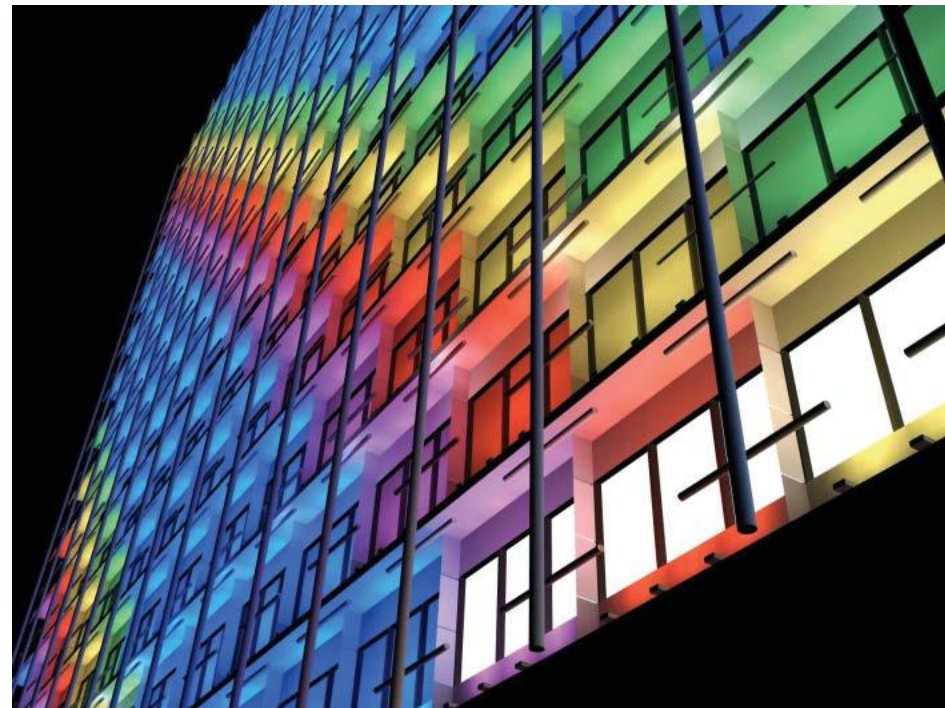


Fig. 17.8. Chromaticity diagram showing the determination of the *dominant color* and *color purity* of a light source with chromaticity coordinates (x, y) using the equal-energy locus ($x = 1/3, y = 1/3$) as the white-light reference. Also shown are typical locations of blue, green, and red LEDs.

ITU-R BT.709

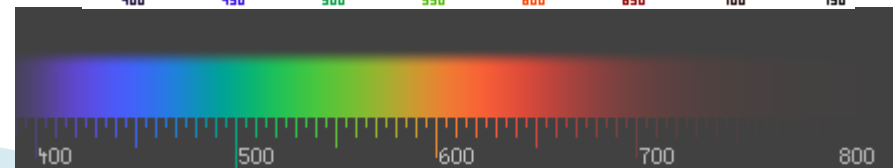
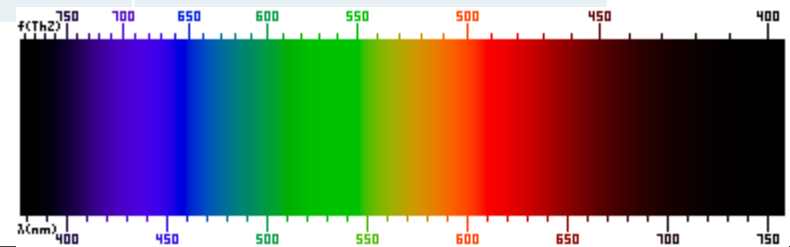


RGB values for Luxeon LEDs

LED color	Dominant wavelength λ_D (nm)	RGB values
Royal blue	455	0.05, 0.00, 0.95
Blue	470	0.00, 0.11, 0.89
Cyan	505	0.00, 0.63, 0.37
Green	530	0.00, 0.77, 0.23
Amber	590	0.70, 0.30, 0.00
Red-orange	615	0.97, 0.00, 0.03
Red	625	0.92, 0.00, 0.08

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



Interpretarea standard a culorilor

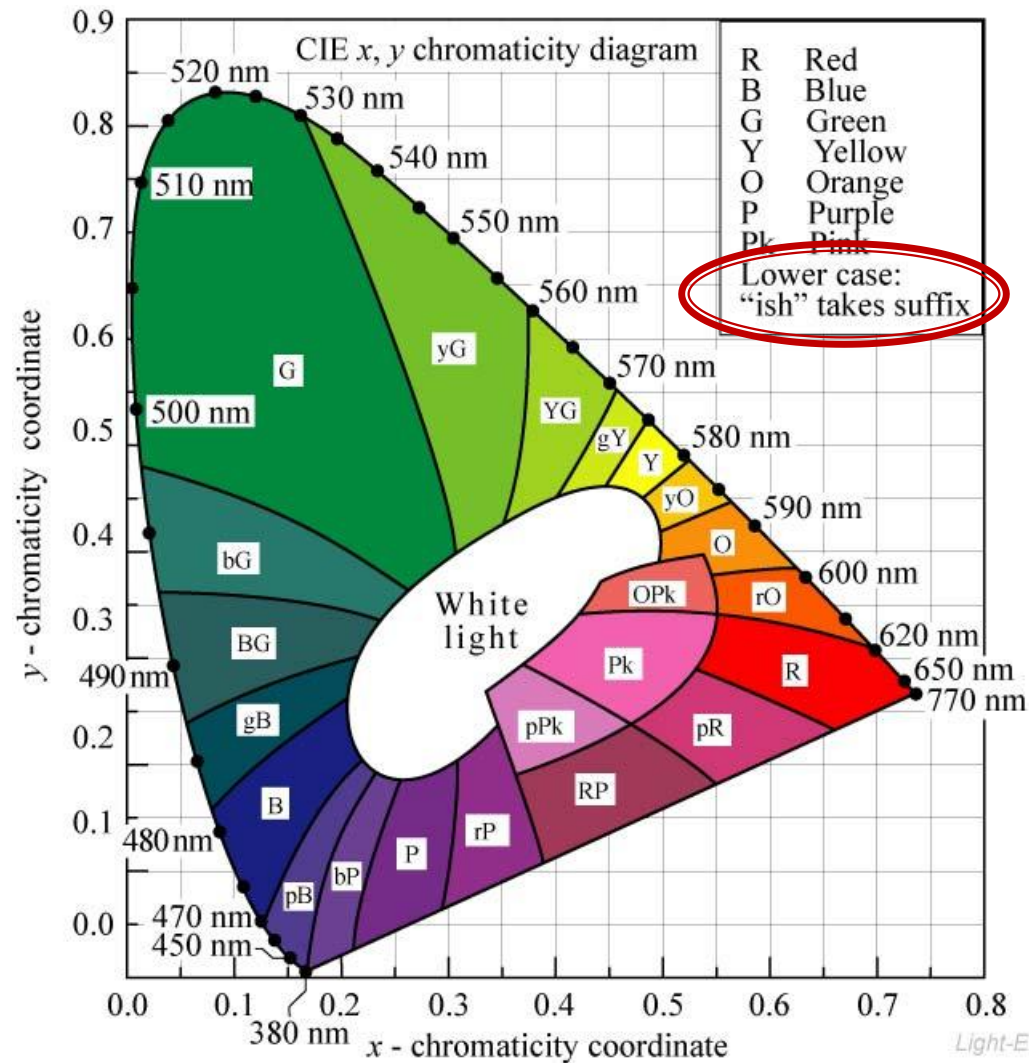


Fig. 17.3. 1931 CIE chromaticity diagram with areas attributed to distinct colors (adopted from Gage *et al.*, 1977).

Interpretarea diferentei de culoare

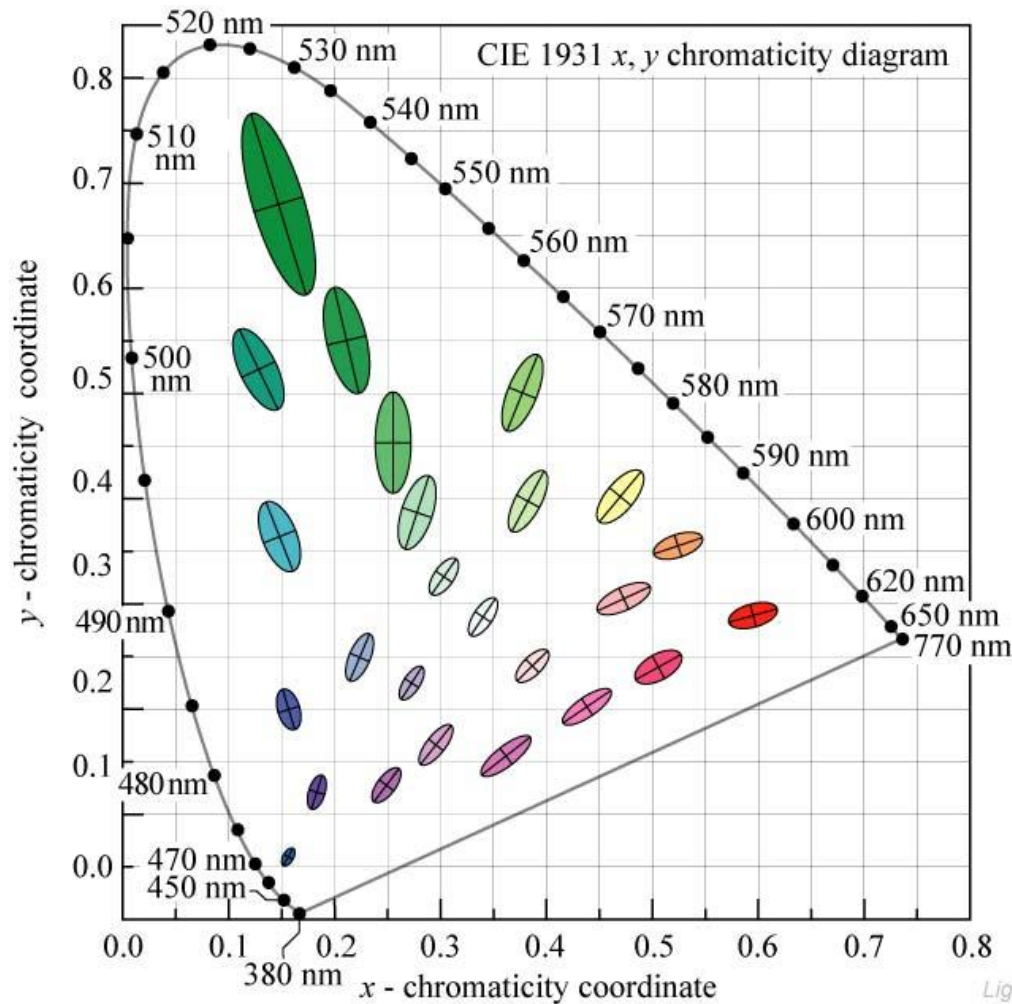
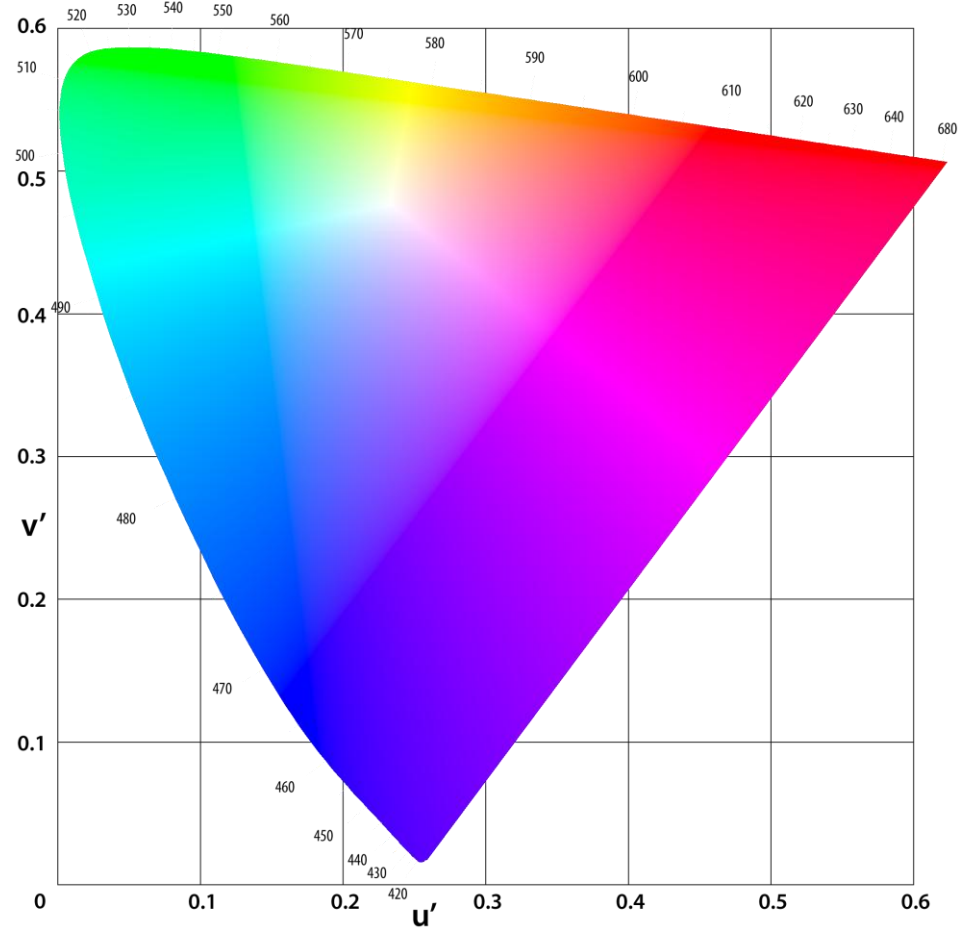


Fig. 17.5. MacAdam ellipses plotted in the CIE 1931 (x, y) chromaticity diagram. The axes of the ellipses are ten times their actual lengths (after MacAdam, 1943; Wright, 1943; MacAdam, 1993).

CIE LUV 1976

- ▶ uniformitatea percepției, a "diferenței de culoare"



Black body

► Legea lui Planck

- Intensitatea radiatiei electromagnetice (radianta spectrala) a corpului absolut negru (absoarbe in totalitate radiatiile incidente)
- Lege universala, independenta de material, forma etc.

$$I_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{k \cdot T \cdot \lambda}} - 1}$$

Temperatura de culoare

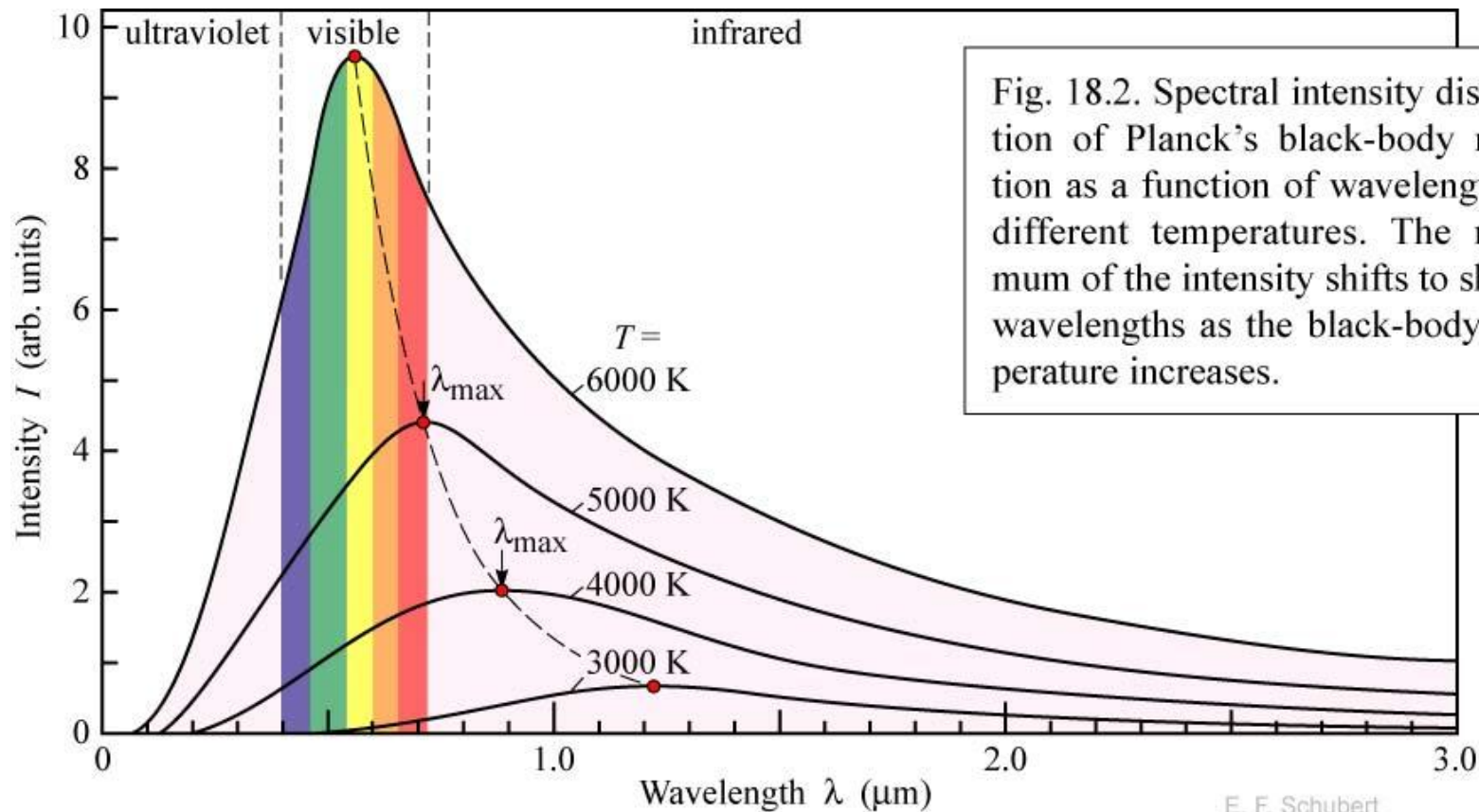
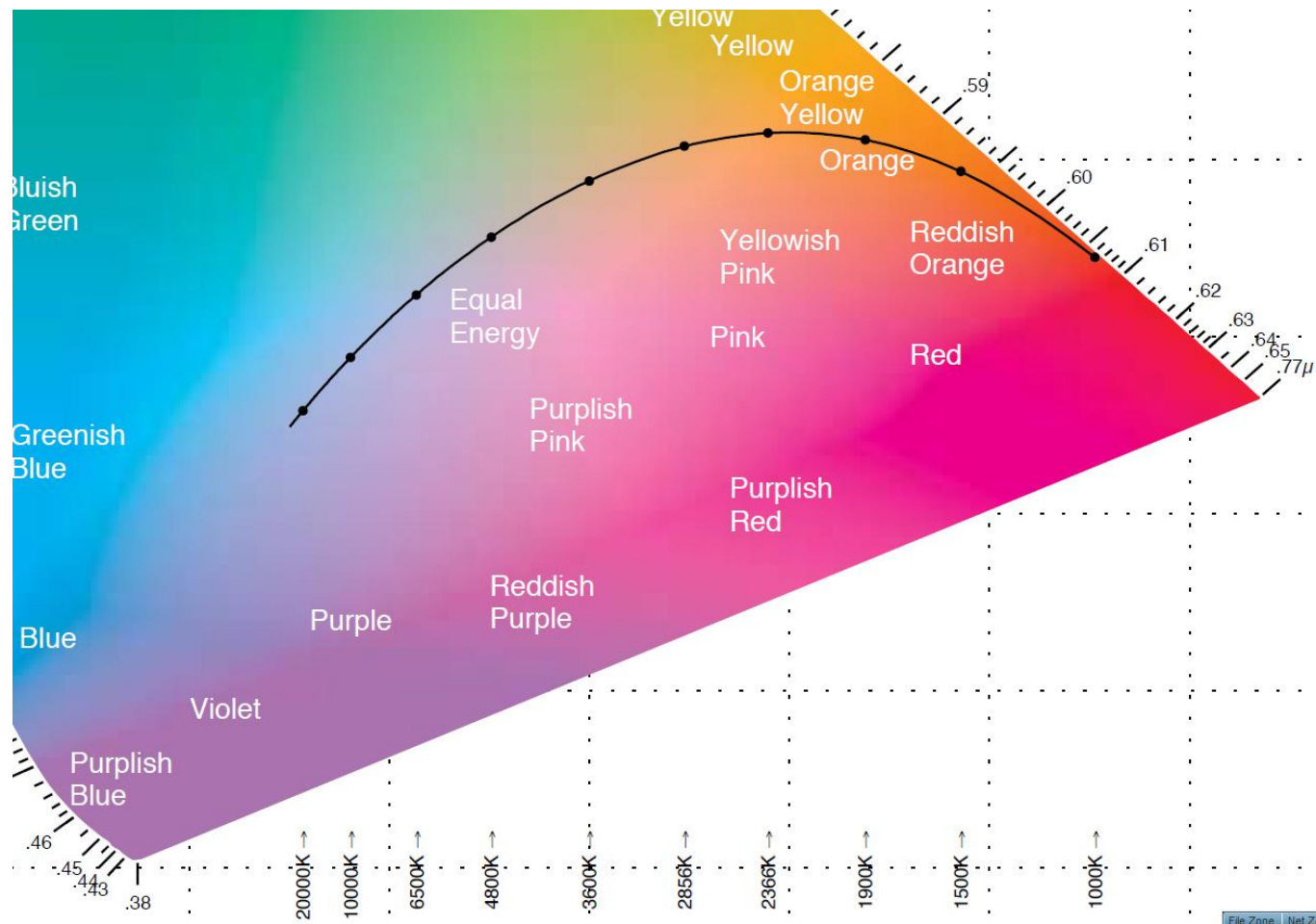


Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.

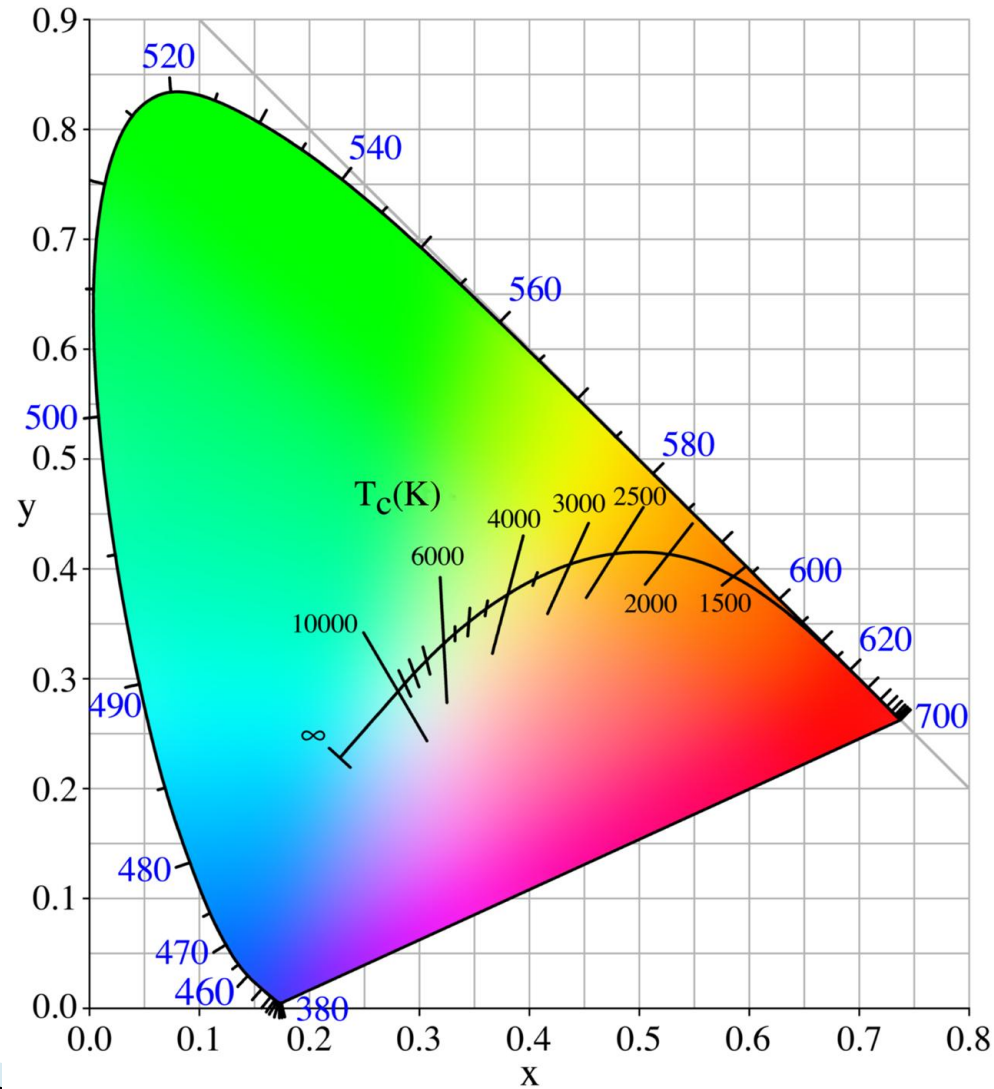
E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org



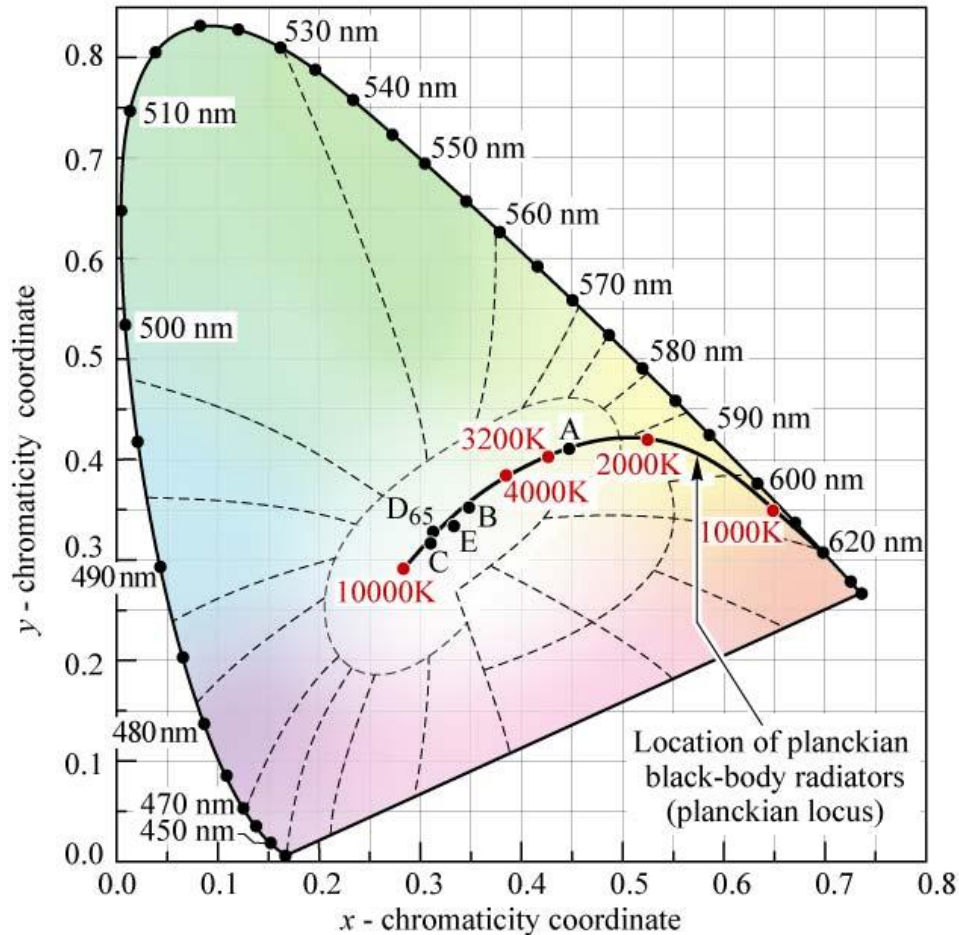
CIE xy 1931



CIE xy 1931



Temperatura de culoare



Illuminant A
 $(x, y) = (0.4476, 0.4074)$
 (Incandescent source, $T = 2856$ K)

Illuminant B
 $(x, y) = (0.3484, 0.3516)$
 (Direct sunlight, $T = 4870$ K)

Illuminant C
 $(x, y) = (0.3101, 0.3162)$
 (Overcast source, $T = 6770$ K)

Illuminant D₆₅
 $(x, y) = (0.3128, 0.3292)$
 (Daylight, $T = 6500$ K)

Illuminant E (equal-energy point)
 $(x, y) = (0.3333, 0.3333)$

Fig. 18.3. Chromaticity diagram showing planckian locus, the standardized white Illuminants A, B, C, D₆₅, and E, and their color temperature (after CIE, 1978).

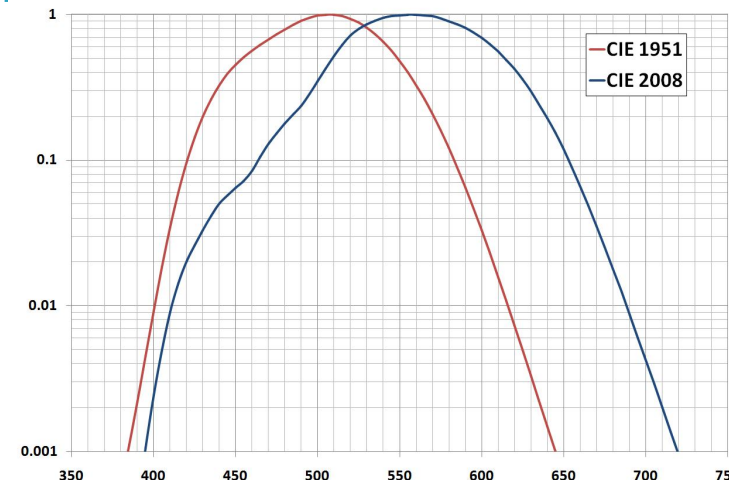
Lungimi de unda tipice – LED



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

Probleme

- ▶ Panoul unui dispozitiv conține două LED-uri de semnalizare, unul de culoare verde și unul roșu standard. Doriți ca ambele să ofere aceeași luminozitate relativă și cât mai mare posibilă. Dacă ambele LED-uri acceptă un curent maxim de 50 mA, calculați curentul prin cele două LED-uri.
- ▶ Rezolvari: <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>



Probleme

- ▶ Trebuie să proiectați un semafor cu LED-uri. LED-urile care intră în componența sa sunt caracterizate de eficiență cuantică egală (aceeași tehnologie), iar parametrii de catalog pentru LED-ul roșu sunt ...
- ▶ Proiectați semaforul, pentru a obține o iluminare la 5m, pe direcție normală, de 50 lx pe timp de zi și 2 lx pe timp de noapte.
- ▶ Cerințe: luminozitate egală pentru cele 3 culori, alegerea numărului de LED-uri (considerente electronice/practice), necesitățile de curent ale fiecărui LED, parametrii pentru sursa de alimentare, parametrii unui sistem de control a intensității luminoase pentru reglare zi/noapte.
- ▶ Rezolvari: <https://rf-opto.etti.tuiasi.ro>

Probleme

- ▶ O instalație de semnalizare diurnă monocoloră trebuie realizată cu LED-uri. Cerințele sunt exprimate în parametri luminoși (lm, lx, cd, etc.). Aveți posibilitatea să alegeți între 4 LED-uri care au majoritatea parametrilor identici, valorile diferite fiind cele din tabel:

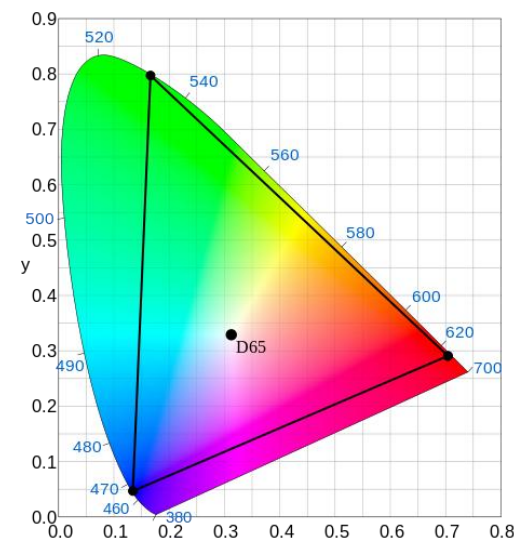
Nr.	Lungime de undă [nm]	Putere optică emisă [mW]	Preț
1	645	2.55	1.39
2	550	2.30	1.09
3	645	1.35	1.18
4	645	2.90	1.24

Probleme

- ▶ Se presupune că numărul de LED-uri necesar în instalație este suficient de mare astfel încât rotunjirea la număr întreg să nu modifice semnificativ rezultatele.
 - Alegeți componenta care vă permite să obțineți prețul total cel mai mic. Justificați. (3.5p)
 - Dacă instalația este prevăzută să funcționeze pe timp de noapte, se schimbă alegerea? Justificați. (1.5p)
- ▶ Rezolvări: <https://rf-opto.etti.tuiasi.ro>

Probleme

- ▶ Culoarea unui LED este caracterizată, în curba CIE xy 1931, de coordonatele: $x = 0.331$, $y = 0.375$.
 - Determinați lungimea de undă dominantă.
 - Determinați puritatea culorii LED-ului
 - Cărei culori îi corespunde această lungime de undă?
 - Se poate reprezenta culoarea LED-ului pe un dispozitiv HDTV ITU-R BT.709?
 - Dar pe un dispozitiv UHD TV ITU-R BT.2020?



Contact

- ▶ Laboratorul de microunde si optoelectronica
- ▶ <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- ▶ rdamian@etti.tuiasi.ro