

Optoelectronică

Curs 5

2022/2023

Disciplina 2022/2023

- ▶ 2C/1L Optoelectronică **OPTO**
- ▶ **Minim 7 prezente curs + laborator**
- ▶ Curs – conf. **Radu Damian**
 - an IV μ E
 - Joi 08(:**10**)-10:00, C1
 - E – 70% din nota (50%+20%)
 - **20% test (VP) la curs**, saptamana 4-6?
 - probleme + (2p prez. curs)
 - toate materialele permise
- ▶ Laborator – **sl. Daniel Matasaru**
 - an IV μ E
 - Luni 18-20, Miercuri 11-15 par
 - Max. 7 prezente
 - L – 30% din nota (+Caiet de laborator)

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

Bibliografie

- ▶ <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- ▶ Irinel Casian-Botez, "Structuri Optoelectronice", Ed. "CANOVA", Iasi 2001, ISBN 973-96099-2-9
- ▶ Behzad Razavi – Design of Integrated Circuits for Optical Communications, Mc Graw Hill
- ▶ John Powers – An Introduction to Fiber Optic Systems
- ▶ IBM – Understanding Optical Communications: on-line <http://www.redbooks.ibm.com>
- ▶ Radu Damian, I Casian, D Matăsaru – „Comunicatii Optice” , Indrumar de laborator, 2005
- ▶ MIT Course – Fundamentals of Photovoltaics, <https://ocw.mit.edu>

Fotografii



Date:

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

[Trimite email acestui student](#) | [Adauga acest student la lista \(0\)](#)

Detalii curente

Finantare	Buget
Bursa	Fara Bursa

Observatii



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						
	N	17/01/2014	Nota Finala	10	-	
	A	17/01/2014	Colocenta 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		



Date:

Grupa	5304 (2015/2016)
Specializarea	Tehnologii si sisteme de telecomunicatii
Marca	5244

[Trimite email acestui student](#) | [Adauga acest student la lista \(0\)](#)

Detalii curente

Finantare	Buget
Bursa	Bursa de Studii

Observatii

Bonus

Disciplina: Optoelectronica, structuri, tehnologii, circuite
An: 2015/2016

Bonus-uri care se aplica la nota de la teza obtinute prin:

- prezenta la curs (0.5p / 3pr)
- 3 miniteste aplicate la curs (max. 3 X 1.5p)
- contributie la site rf-opto (foto <C5=1p, >C5=0.5p)

Nr.	Student	Grupa	Prezente curs	Bonus prezenta	Bonus foto	Bonus T1	Bonus T2	Bonus T3	Total Bonus	Obs.
1	CIOLPAN OCTAVIAN	5306	3	0.5					0.5	-
2	NITA COSTEL-CATALIN	5307	4	0.5	1				1.5	-
3	BARON BOGDAN-IONUT	5405	12	2	1	0.5		0.75	4.25	-

Prezenta

[Curs](#)
[Laborator](#)

Liste

[Studenti care nu pot intra in examen](#)
[Bonus-uri acumulate](#)

- ▶ **Minim** 7 prezente
- ▶ 0.5p/3(2)prez
- ▶ 3 teste
- ▶ foto <C3 / <C5

Reprezentare logaritmică

$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_2 / P_1)$$

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log_{10} (P / 1 \text{ mW})$$

$$0 \text{ dB} = 1$$

$$+ 0.1 \text{ dB} = 1.023 (+2.3\%)$$

$$+ 3 \text{ dB} = 2$$

$$+ 5 \text{ dB} = 3$$

$$+ 10 \text{ dB} = 10$$

$$-3 \text{ dB} = 0.5$$

$$-10 \text{ dB} = 0.1$$

$$-20 \text{ dB} = 0.01$$

$$-30 \text{ dB} = 0.001$$

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$$

$$3 \text{ dBm} = 2 \text{ mW}$$

$$5 \text{ dBm} = 3 \text{ mW}$$

$$10 \text{ dBm} = 10 \text{ mW}$$

$$20 \text{ dBm} = 100 \text{ mW}$$

$$-3 \text{ dBm} = 0.5 \text{ mW}$$

$$-10 \text{ dBm} = 100 \mu\text{W}$$

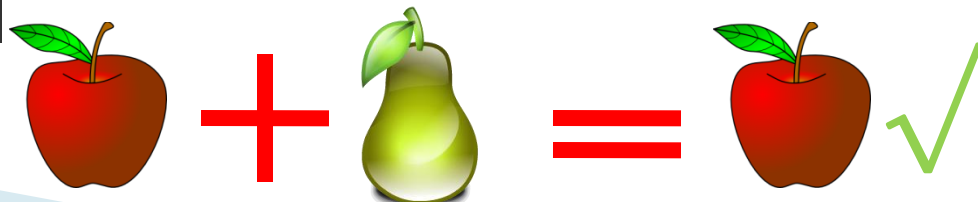
$$-30 \text{ dBm} = 1 \mu\text{W}$$

$$-60 \text{ dBm} = 1 \text{ nW}$$

$$[\text{dBm}] + [\text{dB}] = [\text{dBm}]$$

$$[\text{dBm/Hz}] + [\text{dB}] = [\text{dBm/Hz}]$$

$$[x] + [\text{dB}] = [x]$$



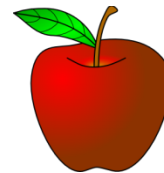
Calculul atenuarii/amplificarii

$$\text{Atenuare/Amplificare} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\text{Atenuare [dB]} = [-] 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$\text{Atenuare [dB]} = [-] 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_0} \cdot \frac{P_0}{P_{in}} \right) = [-] 10 \cdot \left[\log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_0} \right) - \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_0} \right) \right]$$

$$\text{Pierderi [dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



Lumina ca undă electromagnetică

Capitolul 2

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)
- ▶ **Emițătoare 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)

Parametri, dependenta de mediu

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377 \Omega$$

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = 2,99790 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$n = 1$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{c_0}{f}$$

$$\eta = \frac{\eta_0}{n}$$

$$c = \frac{c_0}{n}$$

$n = \sqrt{\varepsilon_r}$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

$$\lambda = \frac{c_0}{n \cdot f} = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\lambda = \lambda(n)$$
$$f = \text{indep.}$$

ITU G.692

"the allowed channel frequencies are based on a 50 GHz grid with the reference frequency at 193.10 THz"

SI

"a source that emits monochromatic radiation of frequency $540 \cdot 10^{12}$ Hz"

Optică geometrică

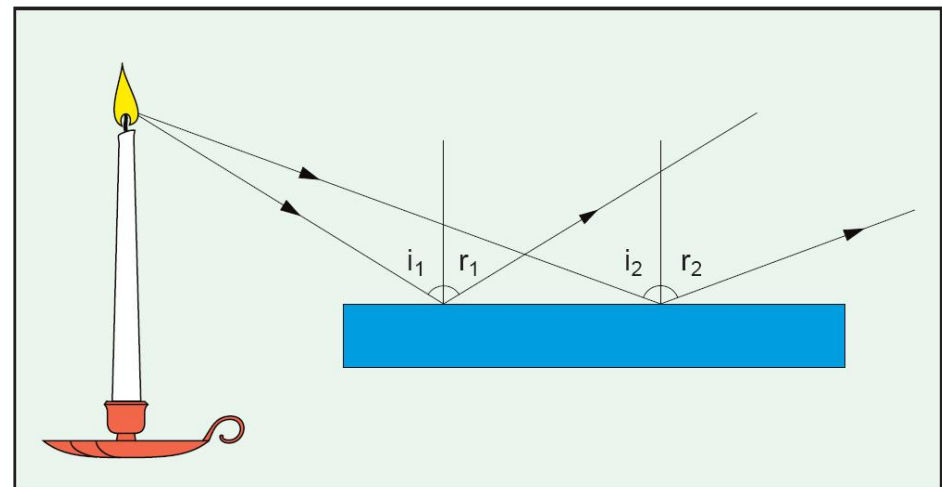
(tot) Capitolul 2

Reflexia luminii

- ▶ la suprafata de separatie dintre doua medii, (o parte din) lumina se intoarce in mediul de incidenta
- ▶ unghiul dintre raza incidenta si normala (ϕ_i) este egal cu unghiul dintre raza reflectata si normala (ϕ_r)

- ▶ **Legea reflexiei**

$$\phi_i = \phi_r$$



Refractia luminii

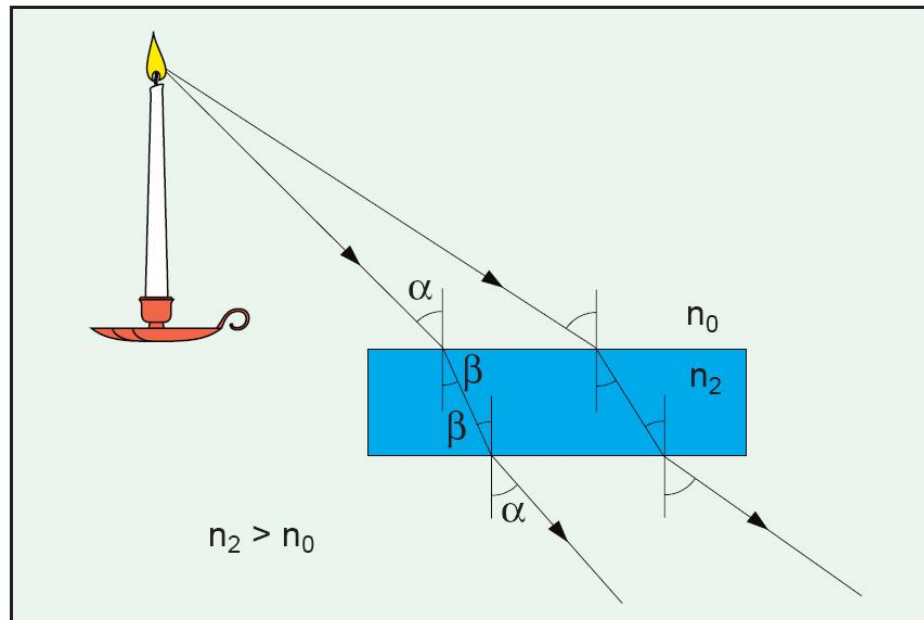
- ▶ la suprafața de separație dintre doua medii, (o parte din) lumina se (poate) propaga in mediul de transmisie sub un unghi diferit de unghiul incident
- ▶ la trecerea in medii mai “dense” (optic) lumina se apropie de normala
- ▶ la trecerea in medii mai “puțin dense” (optic) lumina se depărtează de normala

▶ Legea lui Snell (a refracției)

$$n_1 \cdot \sin \phi_i = n_2 \cdot \sin \phi_R$$

ϕ_i - unghi incident (in n_1)

ϕ_R - unghi de refracție (in n_2)



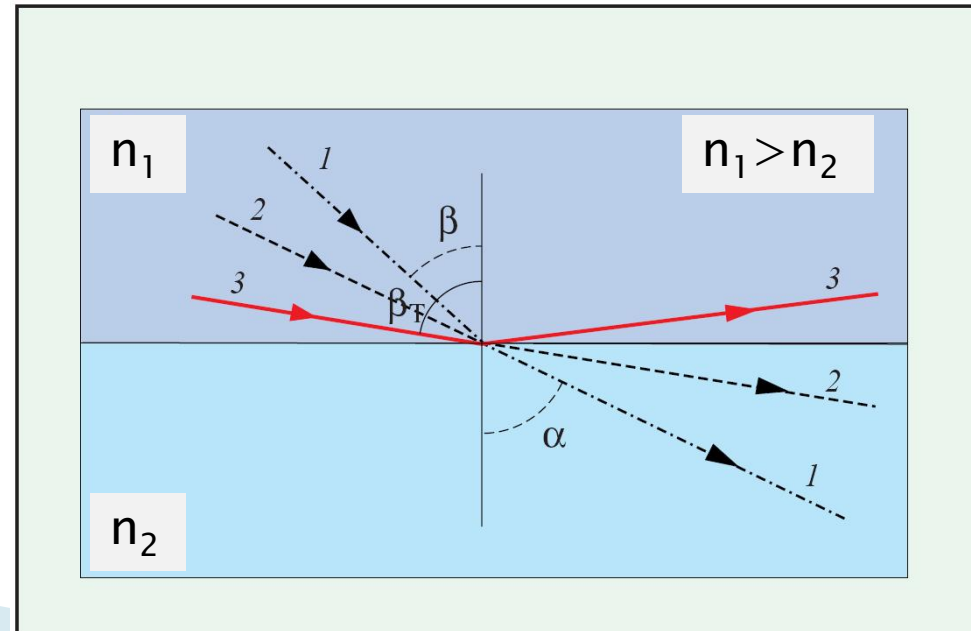
Reflexia totala

- ▶ Apare **numai când** lumina se propaga dintr-un mediu mai dens optic într-un mediu mai puțin dens
- ▶ La intersecția luminii cu suprafața de separație a doua medii se întâlnesc în general raze reflectate **și** raze refractate
- ▶ Pentru un unghi de incidență numit **unghi critic**, raza refractată se obține în lungul suprafeței de separație
- ▶ Pentru orice unghi mai mare decât unghiul critic există numai raza reflectată

$$n_1 > n_2; \quad \phi_R = 90^\circ$$

$$n_1 \cdot \sin \phi_C = n_2$$

$$\phi_C = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



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)
- ▶ Rezolvări: <http://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 normala la suprafața de separație, va trece din mediul (1) în mediul (2)? (1p)
- ▶ Rezolvări: <http://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)

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

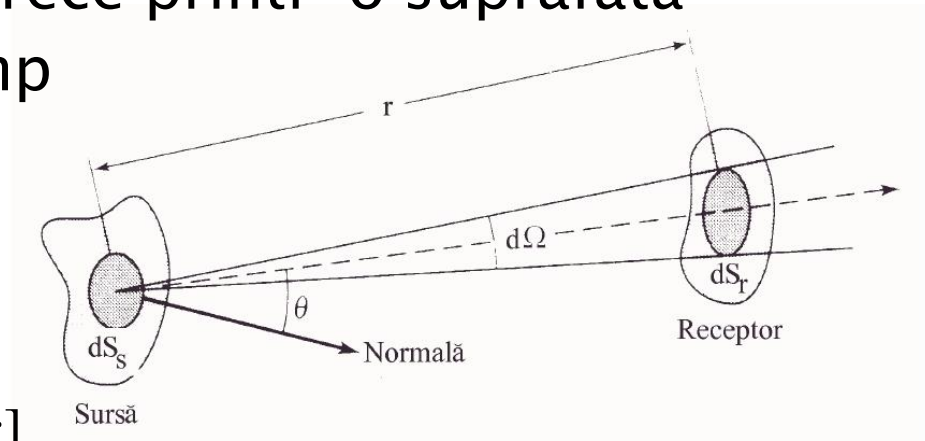
► Flux energetic al luminii

- 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: $\Omega = \pi \cdot \phi^2$



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”

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

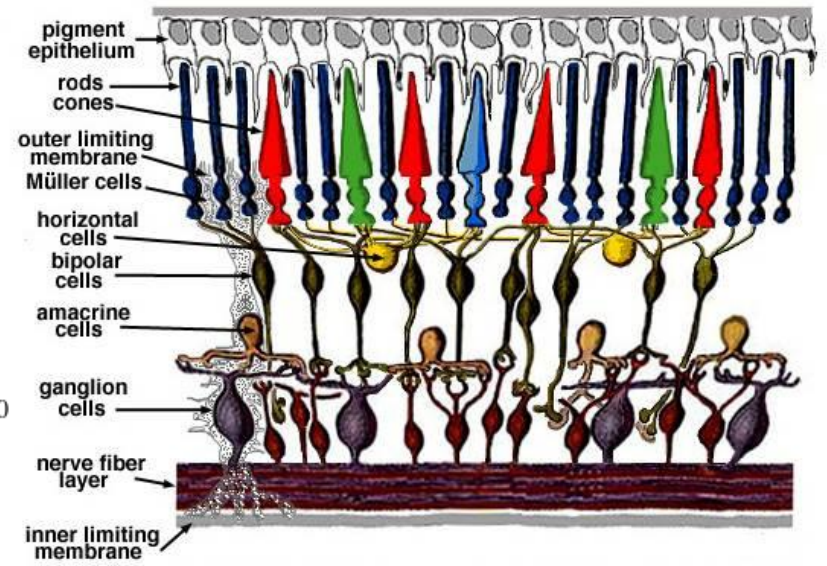
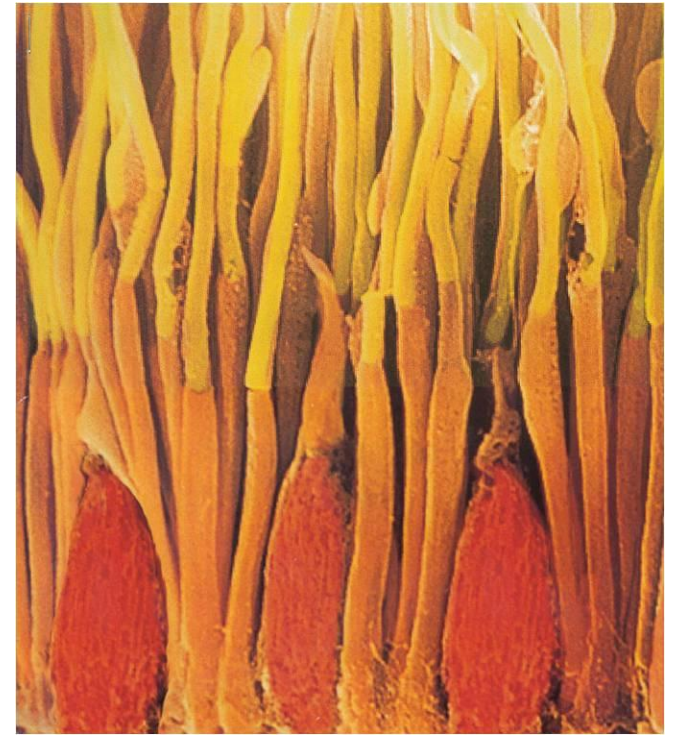
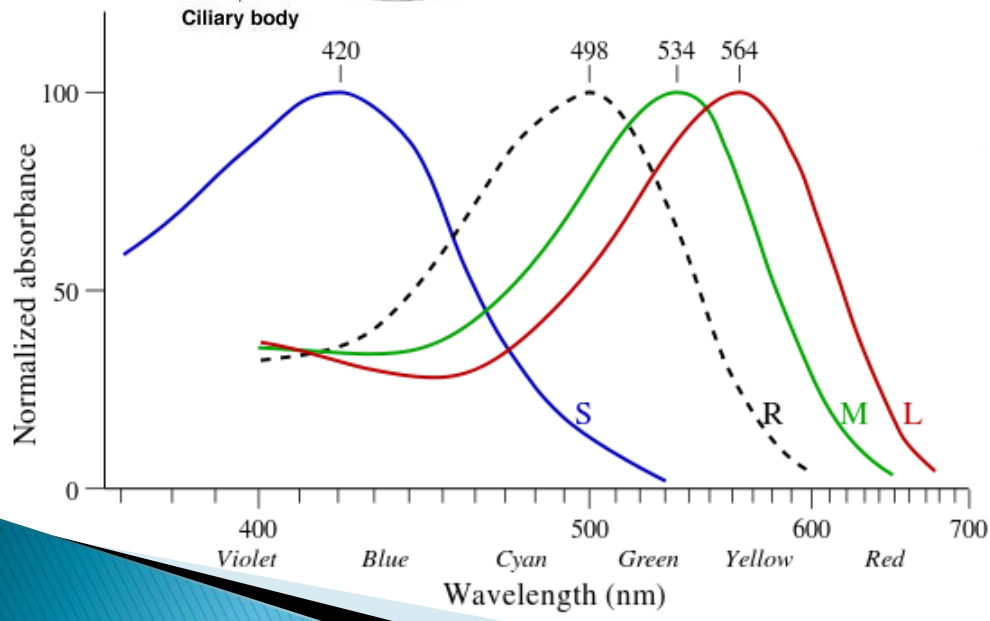
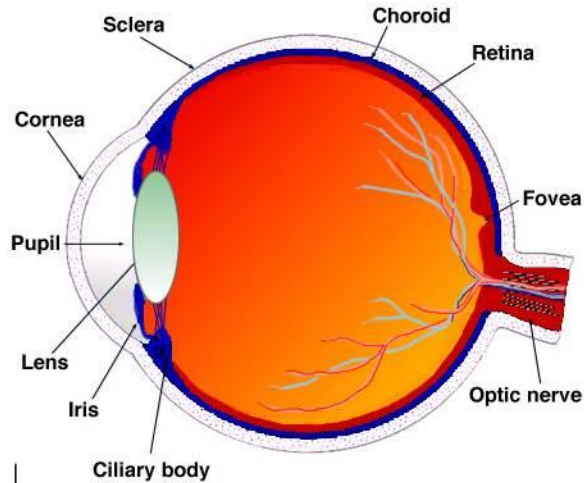
- ▶ Daca se poate considera emisie uniforma

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

Flux luminos

- ▶ Flux luminos, definitie
 - o masura a puterii luminoase percepute de om
- ▶ Unitate de masura – $lm = \text{lumen}$
 - 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

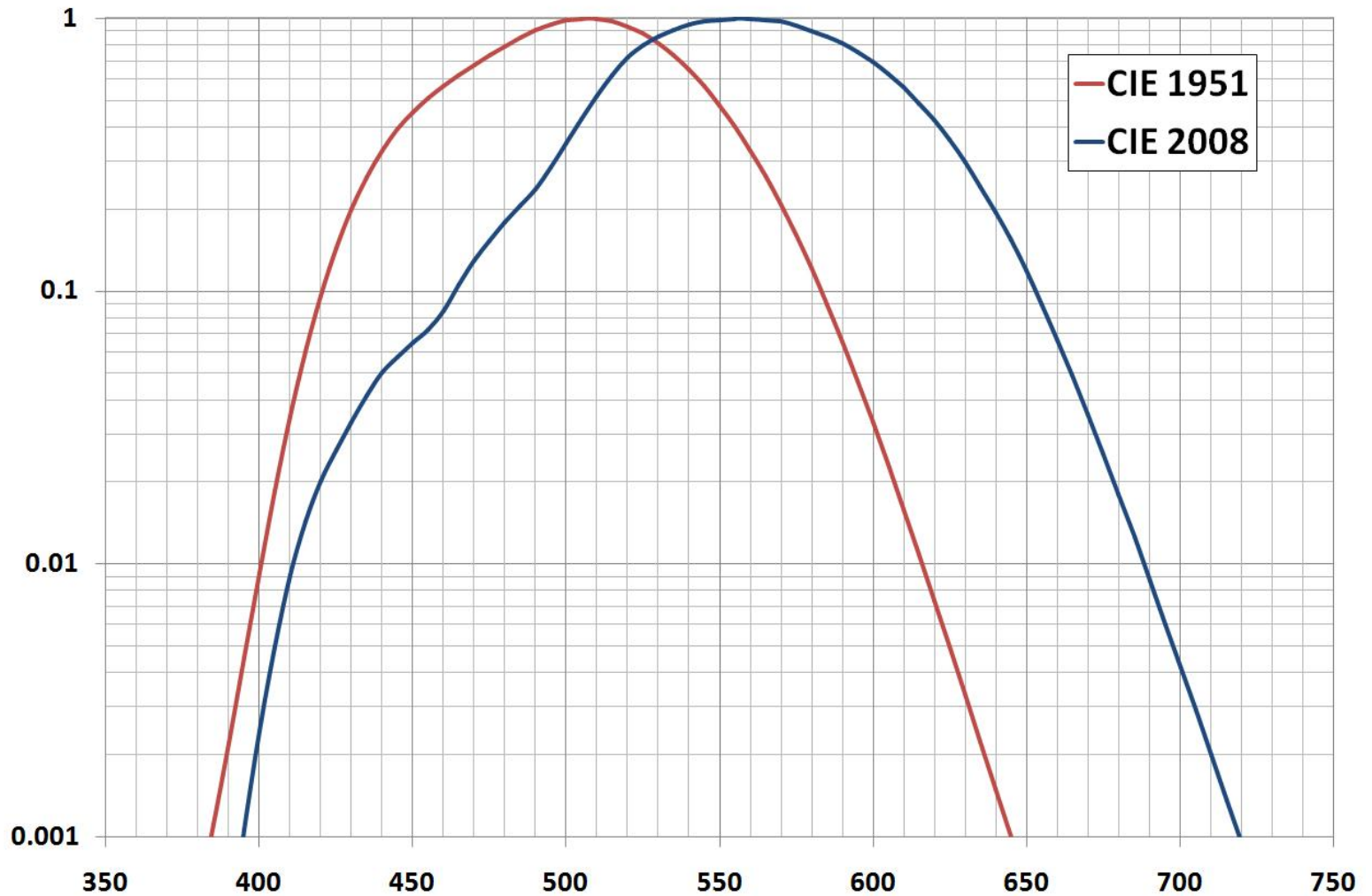
Ochiul uman



Standarde

- ▶ Se incearca definirea omului “standard”
- ▶ CIE – Commission Internationale de l'Éclairage
 - 1931 – 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

CIE $V(\lambda)$ fopic / 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:

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

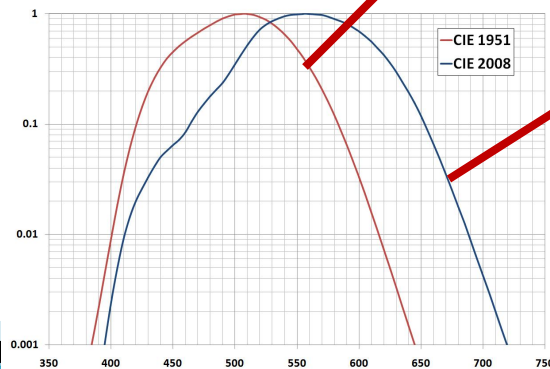
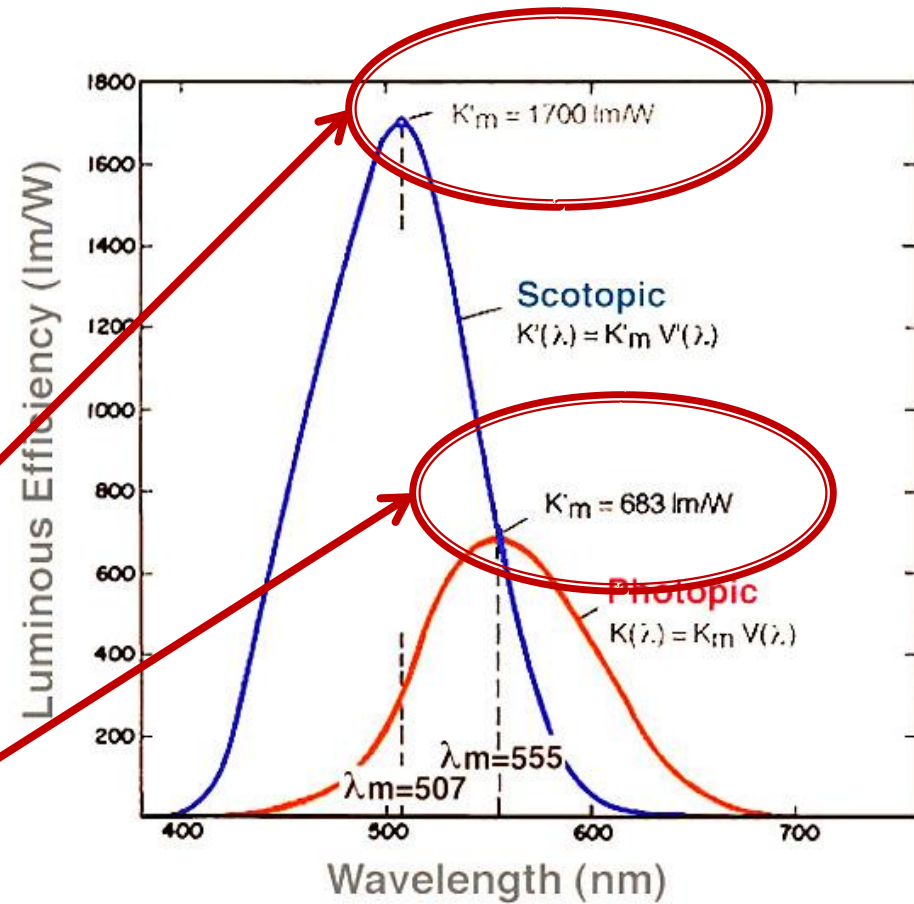
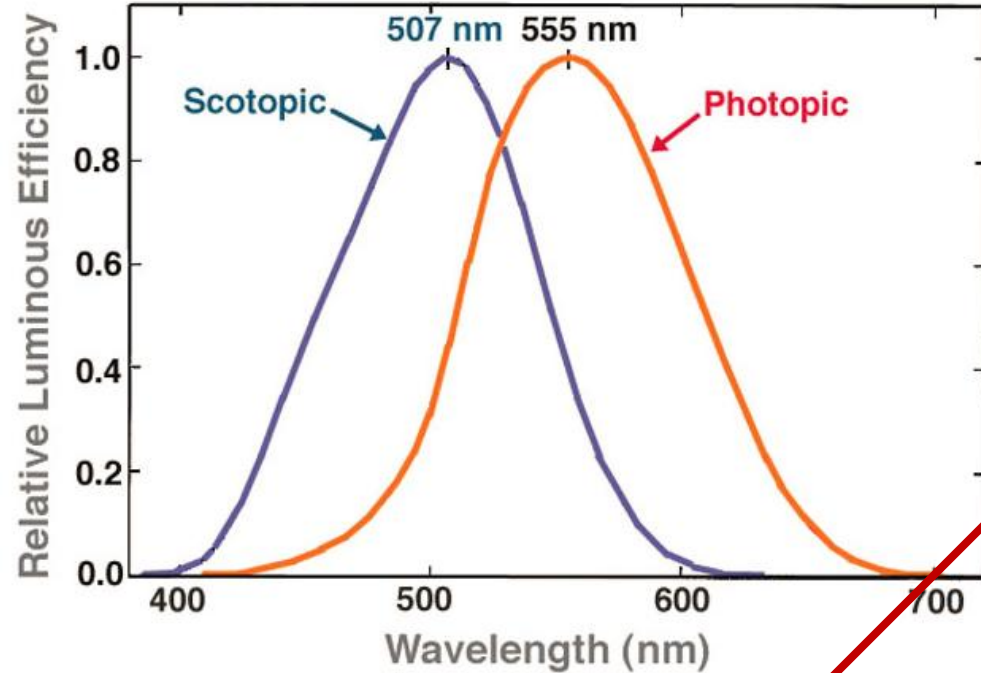
$$\Phi'_v = 1700 \frac{lm}{W} \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V'(\lambda) d\lambda = 1700 \frac{lm}{W} \int_{390nm}^{830nm} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V'(\lambda) d\lambda \quad [lm]$$

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

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



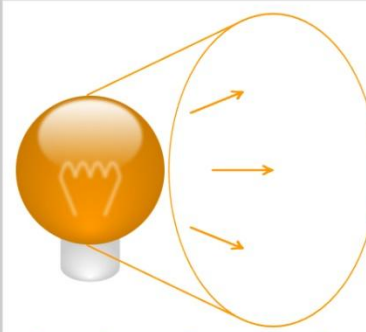

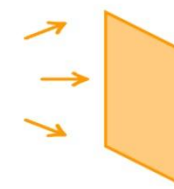
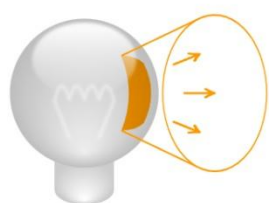
$$\Phi'_v = 1700 \frac{lm}{W} \cdot \sum_i \Phi_e(\lambda_i) \cdot V'(\lambda_i) \quad [lm]$$

Relatie radiometrie/fotometrie



Continuare

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/m ²) Radiant exitance M_e (W/m ²)	 Incoming: Illuminance E_V (lux, lx=lm/m ²) Irradiance E_e (W/m ²)
		
	Luminance L_V (nit, nt=cd/m ²) Radiance $L_{e,\Omega}$ (W/sr/m ²)	

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 ²

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

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

Directivitatea radiatiei exterioare

▶ SLED

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

▶ ELED

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

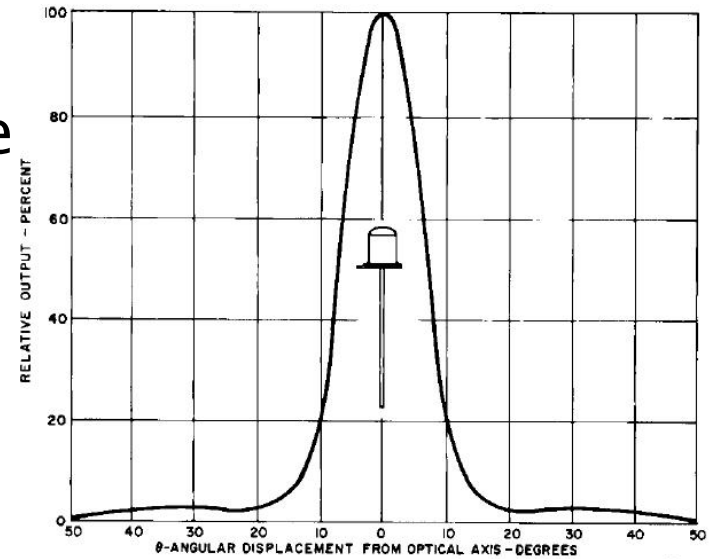
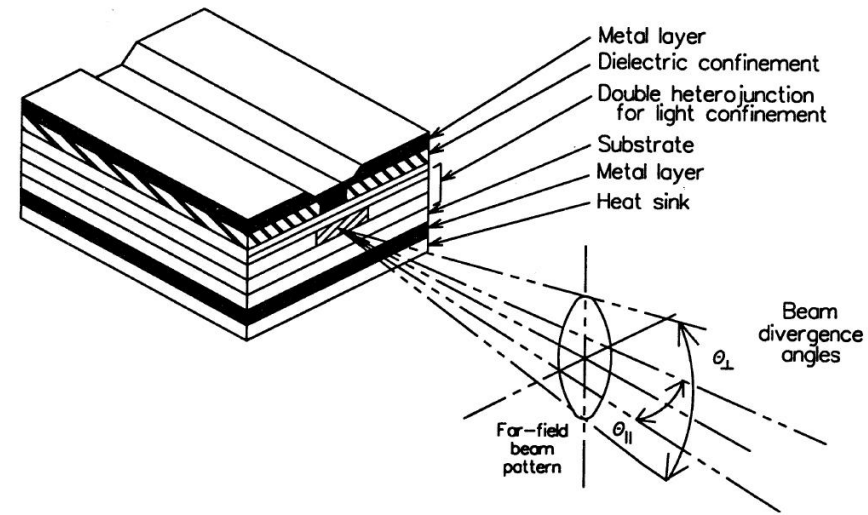


Fig. 5. Typical Radiation Pattern

ST1054



Directivitatea radiatiei exterioare

- ▶ Sursa lambertiana

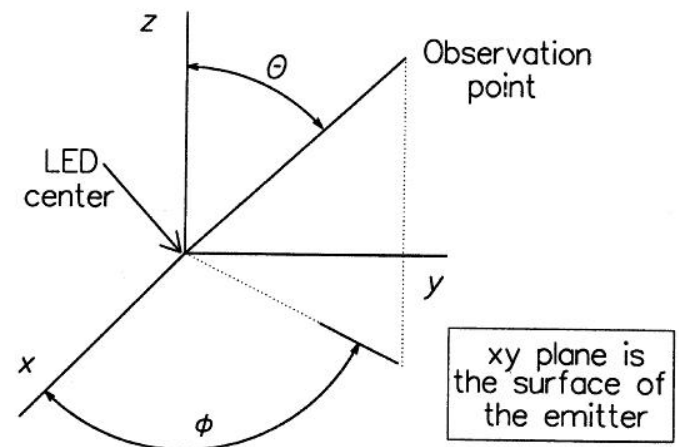
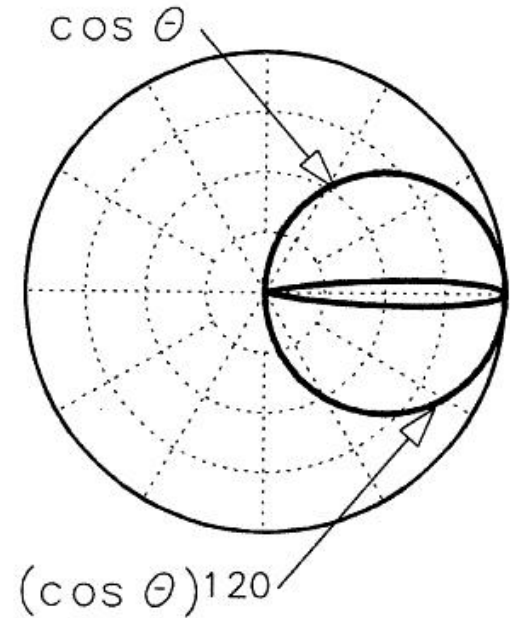
$$P(\theta) = P_0 \cdot \cos \theta$$

- ▶ 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 luminoase

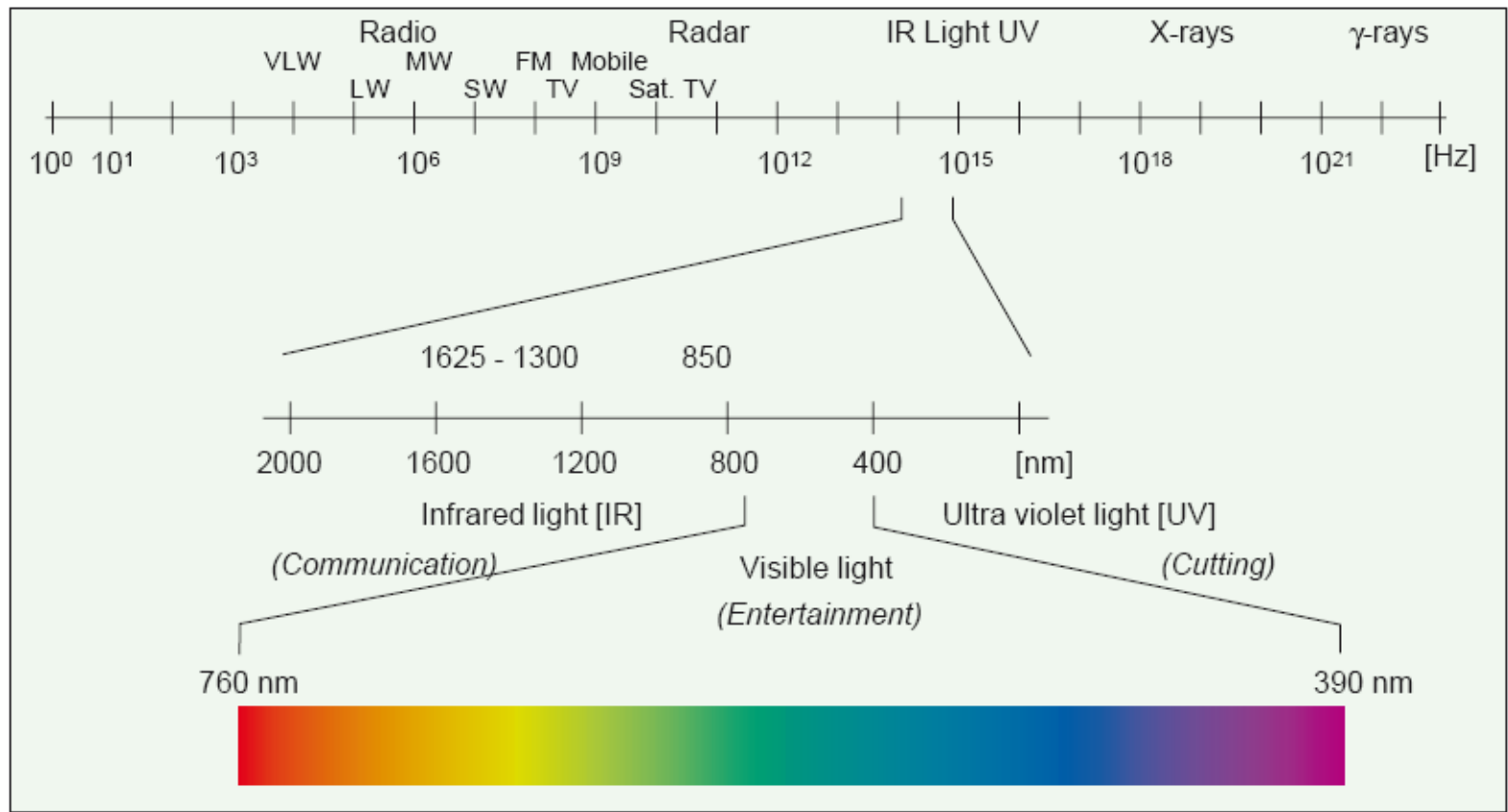
- ▶ Standardele pentru surse luminoase (de ex. semne de circulatie), iluminarea spatiilor de lucru/odihna
 - sunt concepute cu marimi luminoase
 - lm, cd, lx, cd/m² etc.
- ▶ de multe ori se adapteaza relatiile pentru surse mai simple:

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

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

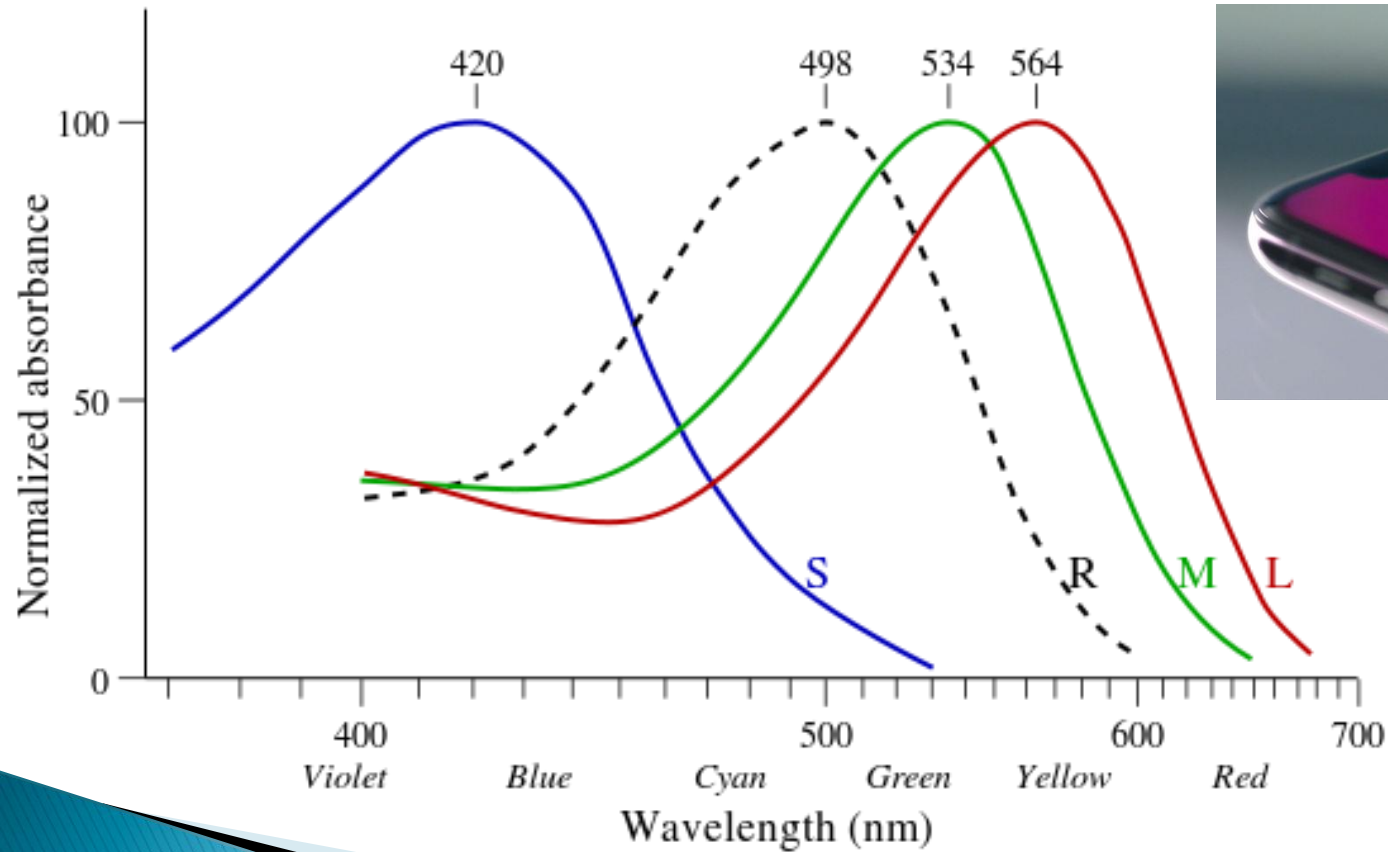
Ochiul uman – culoare

- ▶ culoare ~ lungime de unda



Ochiul uman – culoare

- ▶ culoare ~ lungime de unda

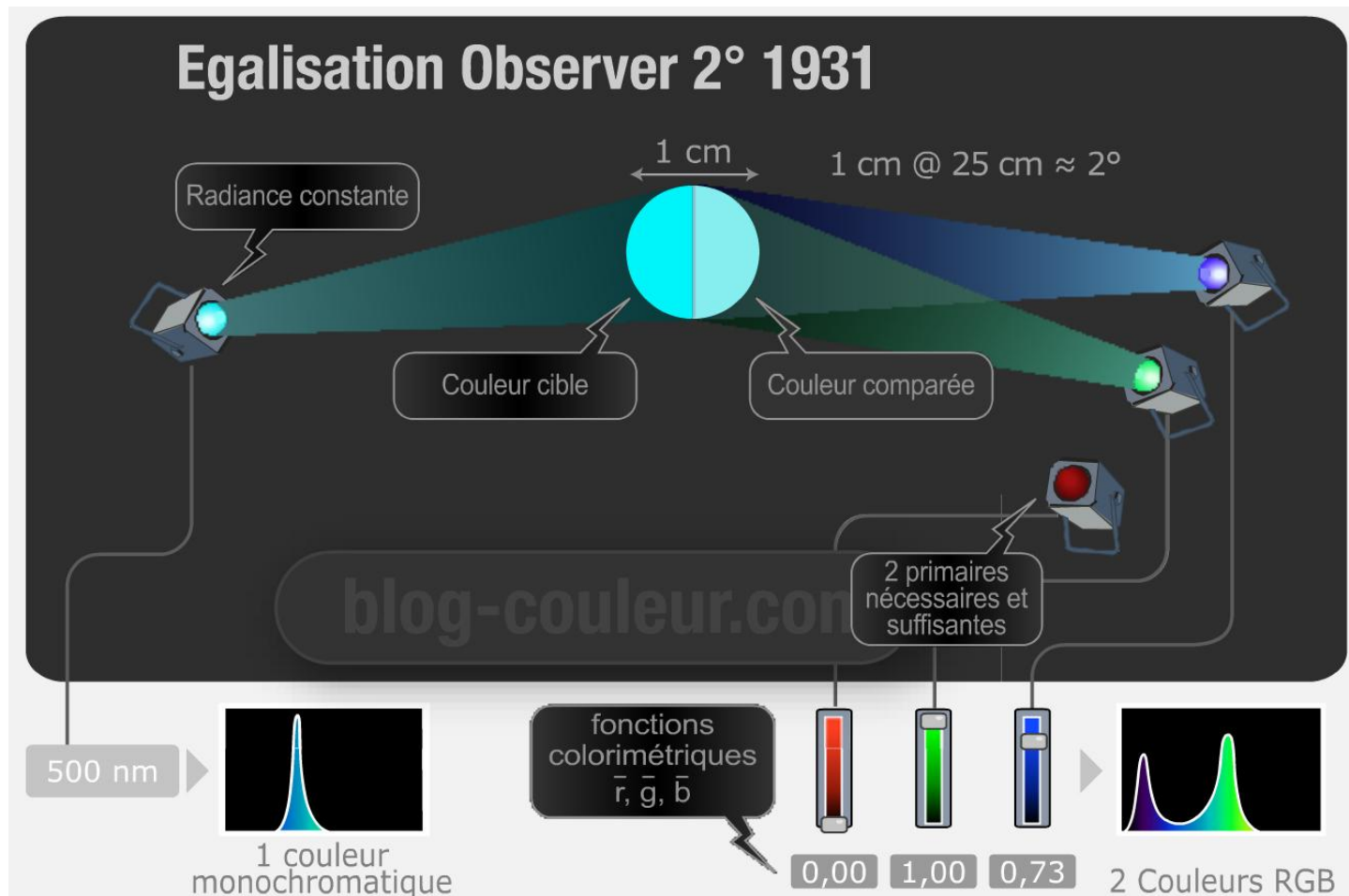


mantis shrimp

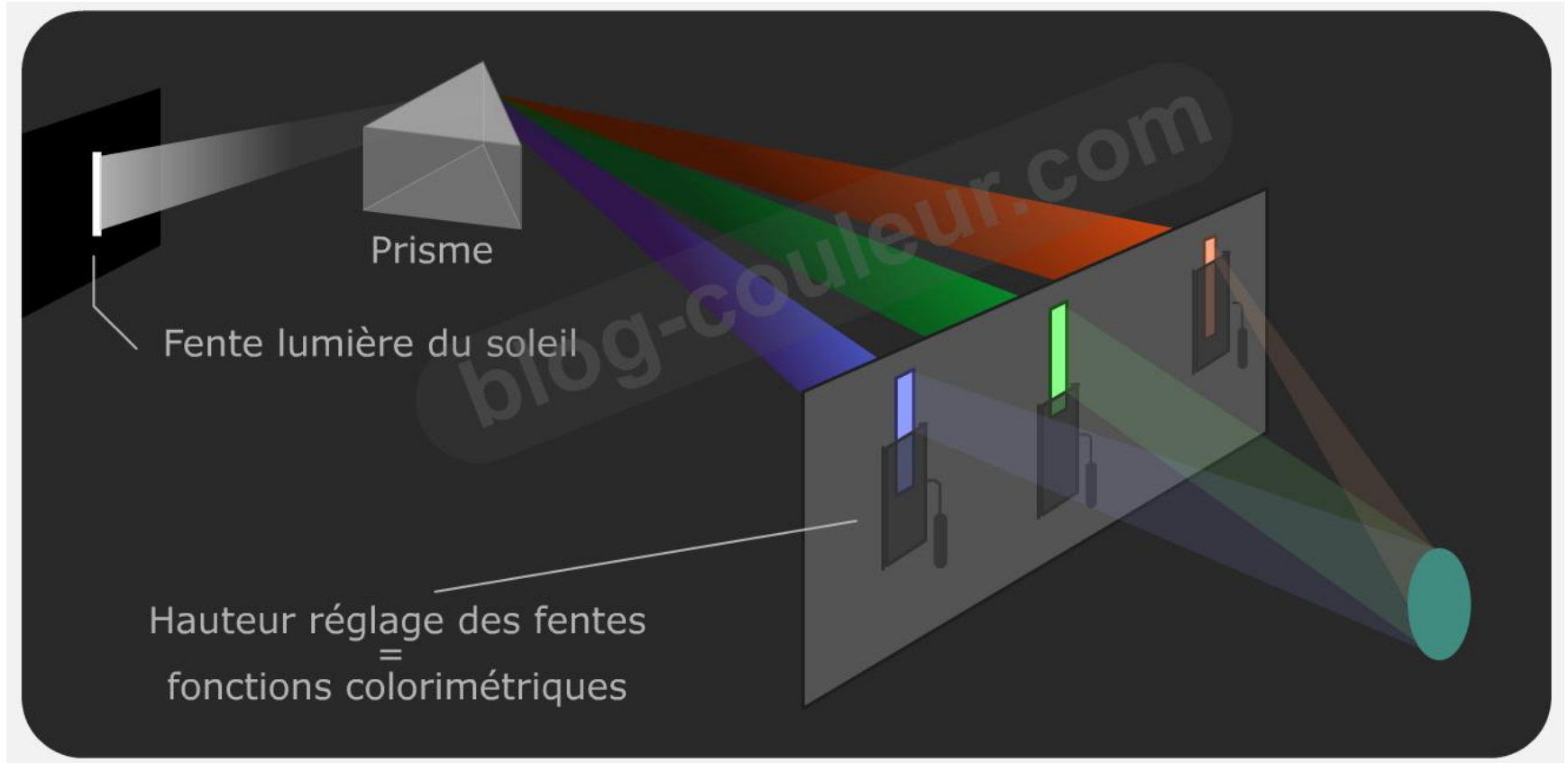
- ▶ 12 senzori de culoare
- ▶ senzor in ultraviolet
- ▶ senzor de lumina polarizata



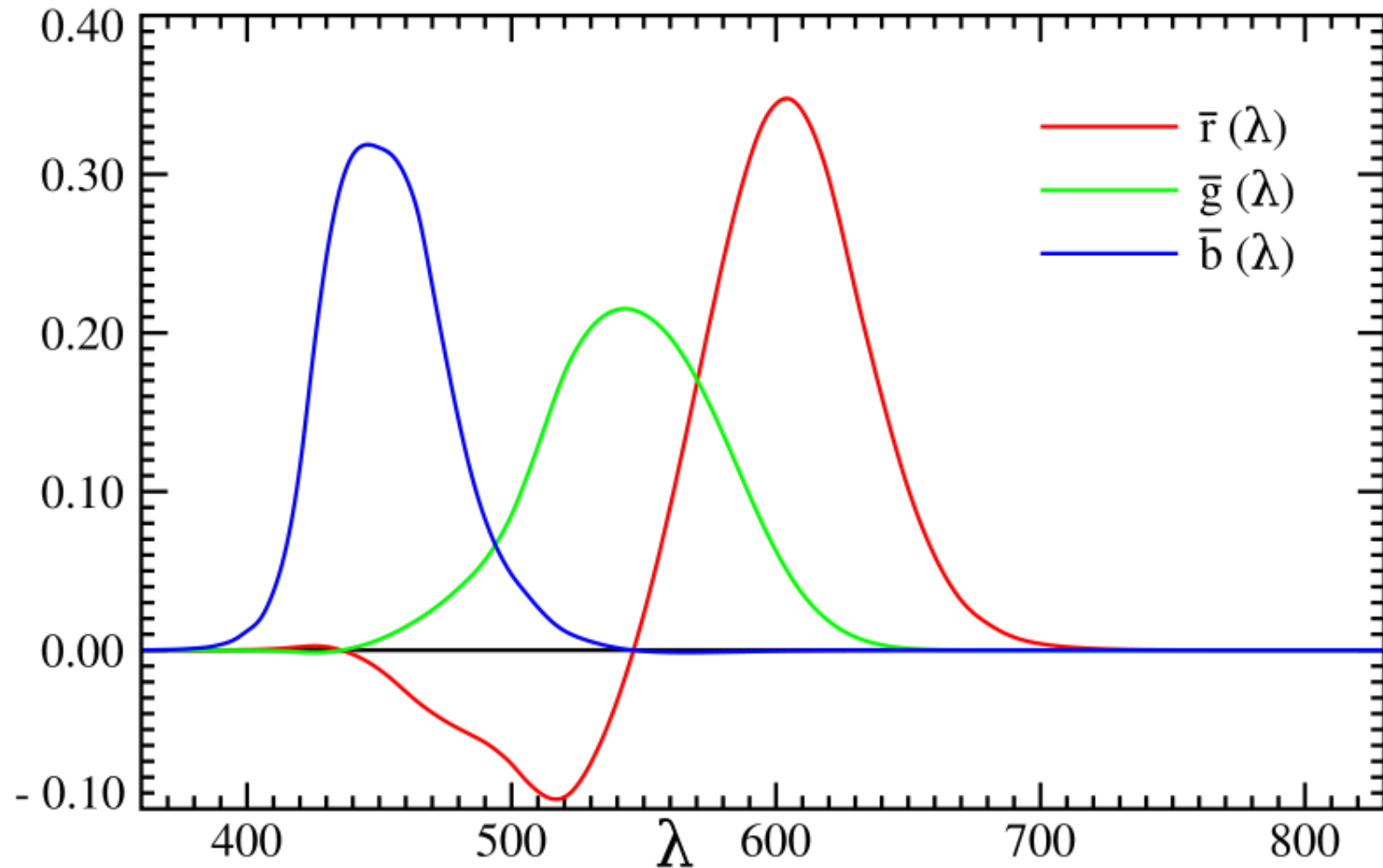
CIE xyz 1931



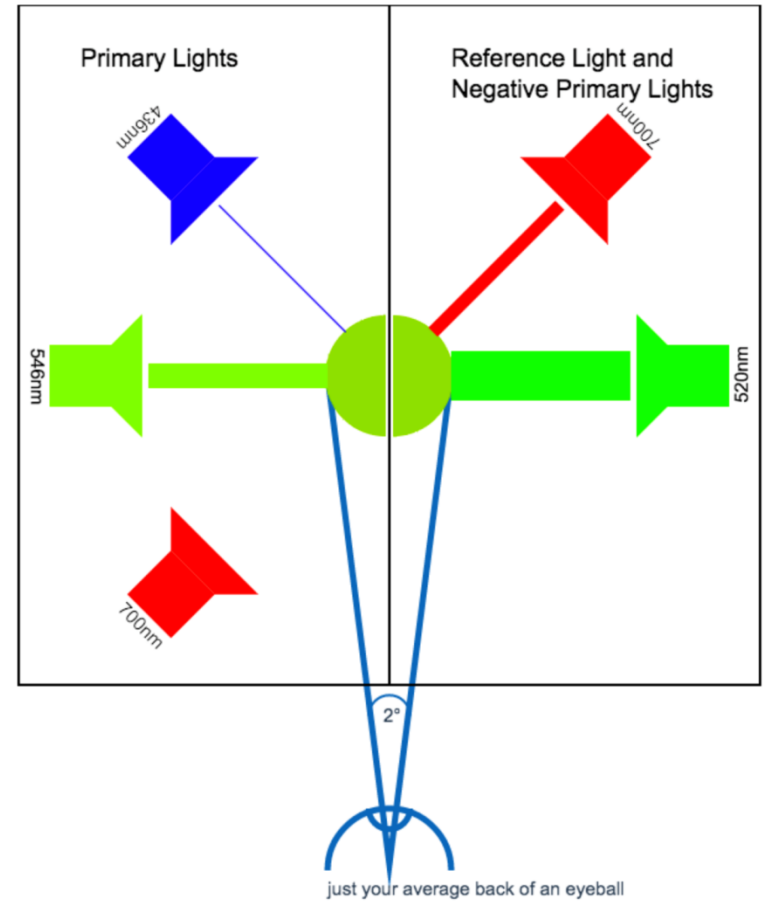
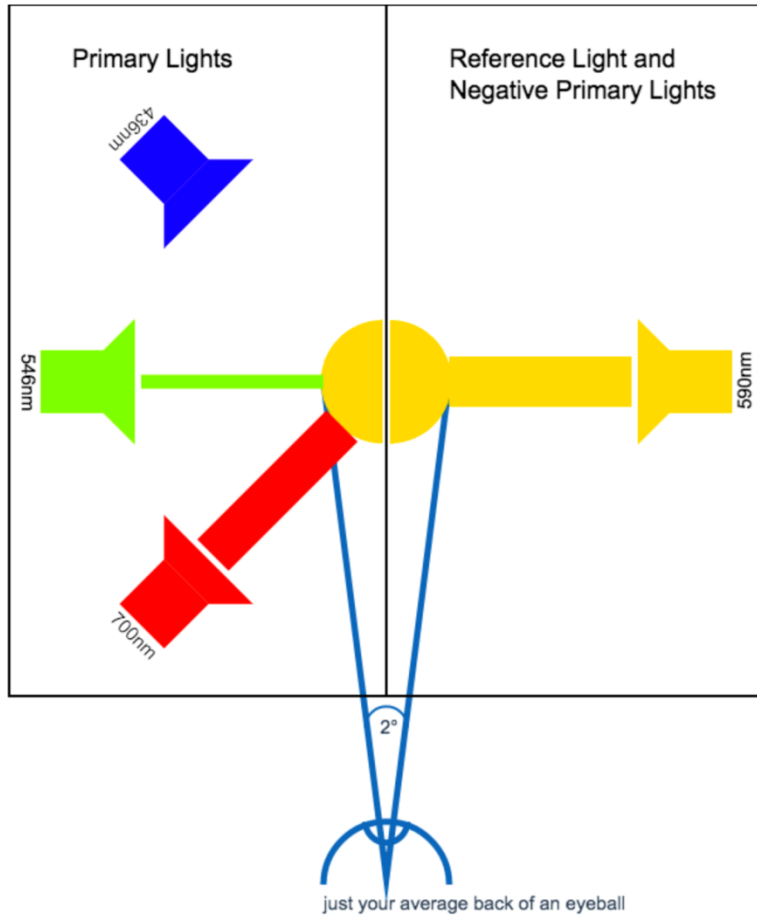
CIE xyz 1931



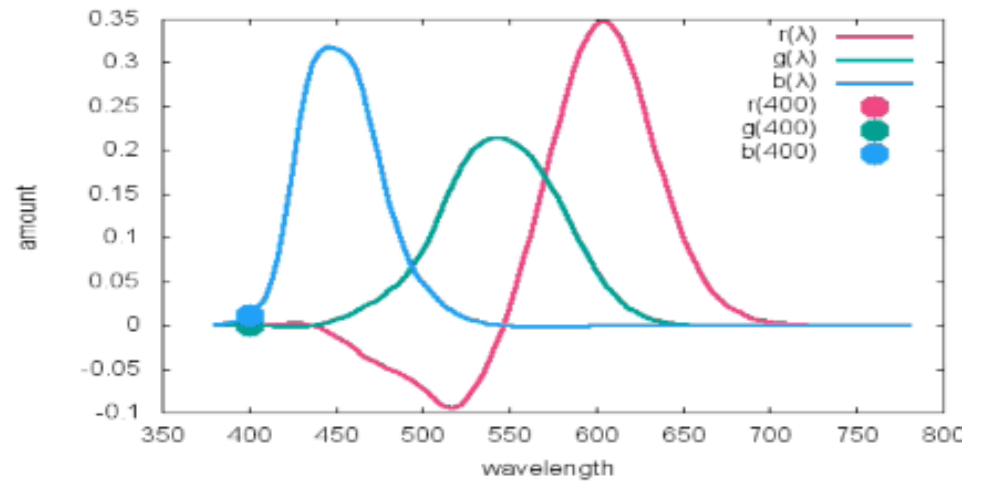
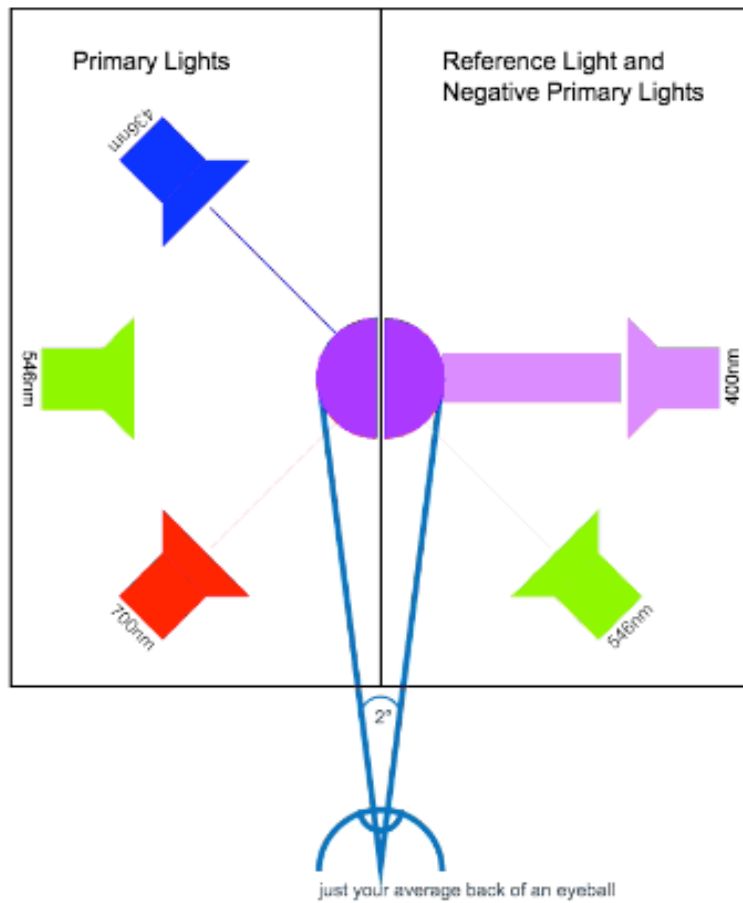
Cantitatea din culorile primare pentru aceeași senzație de culoare



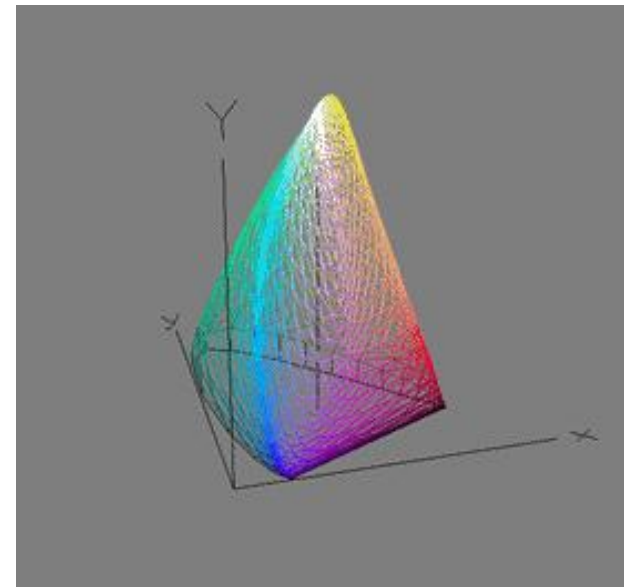
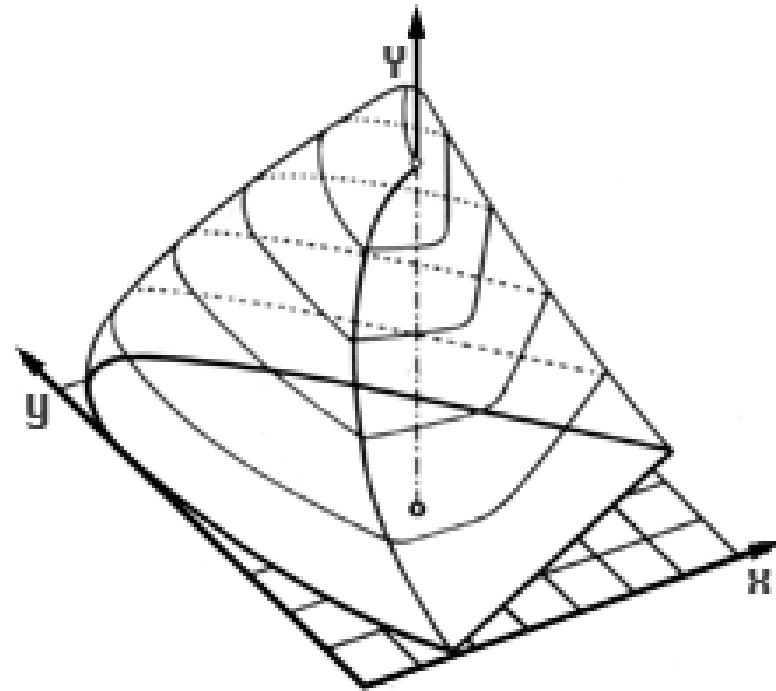
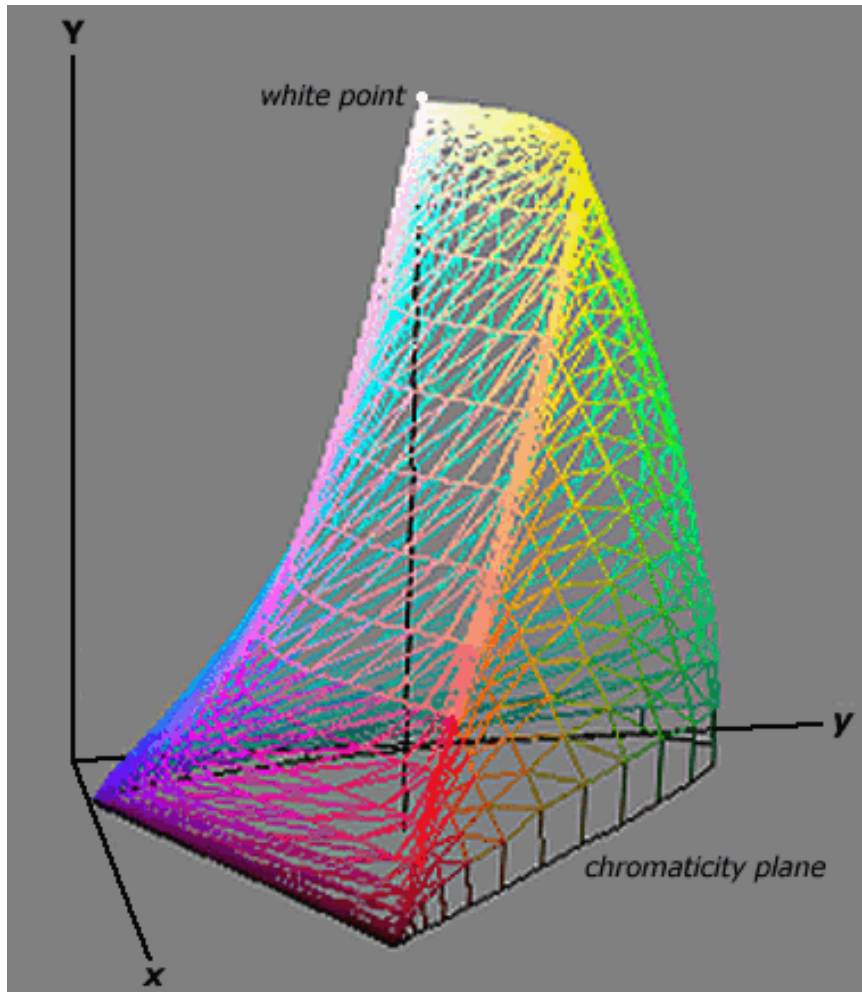
CIE xyz1931



CIE 1931

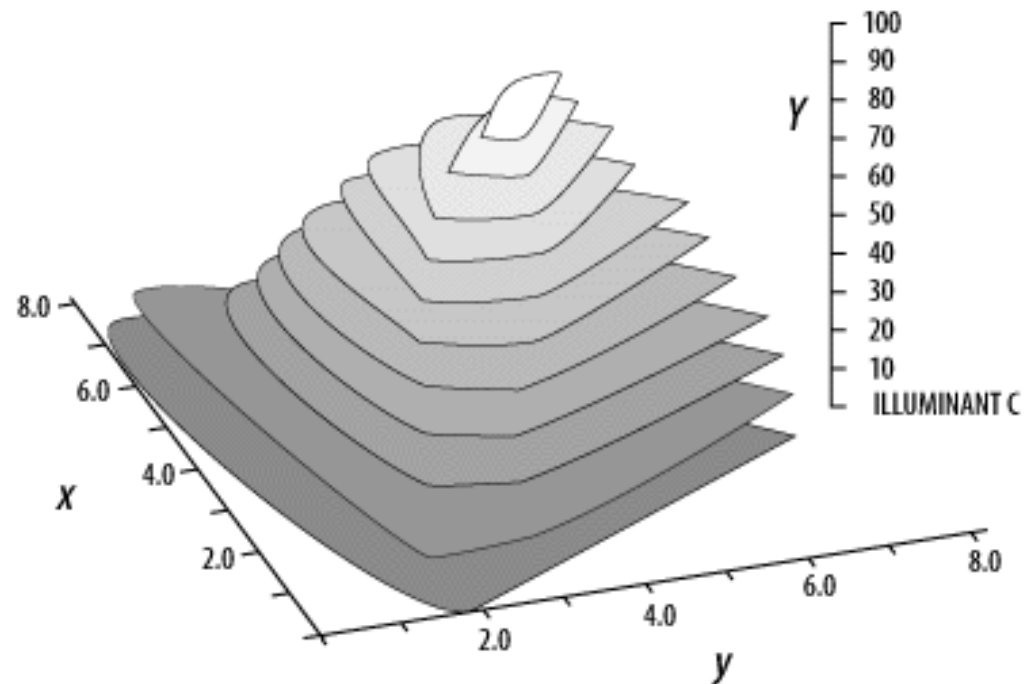


CIE xyz 1931

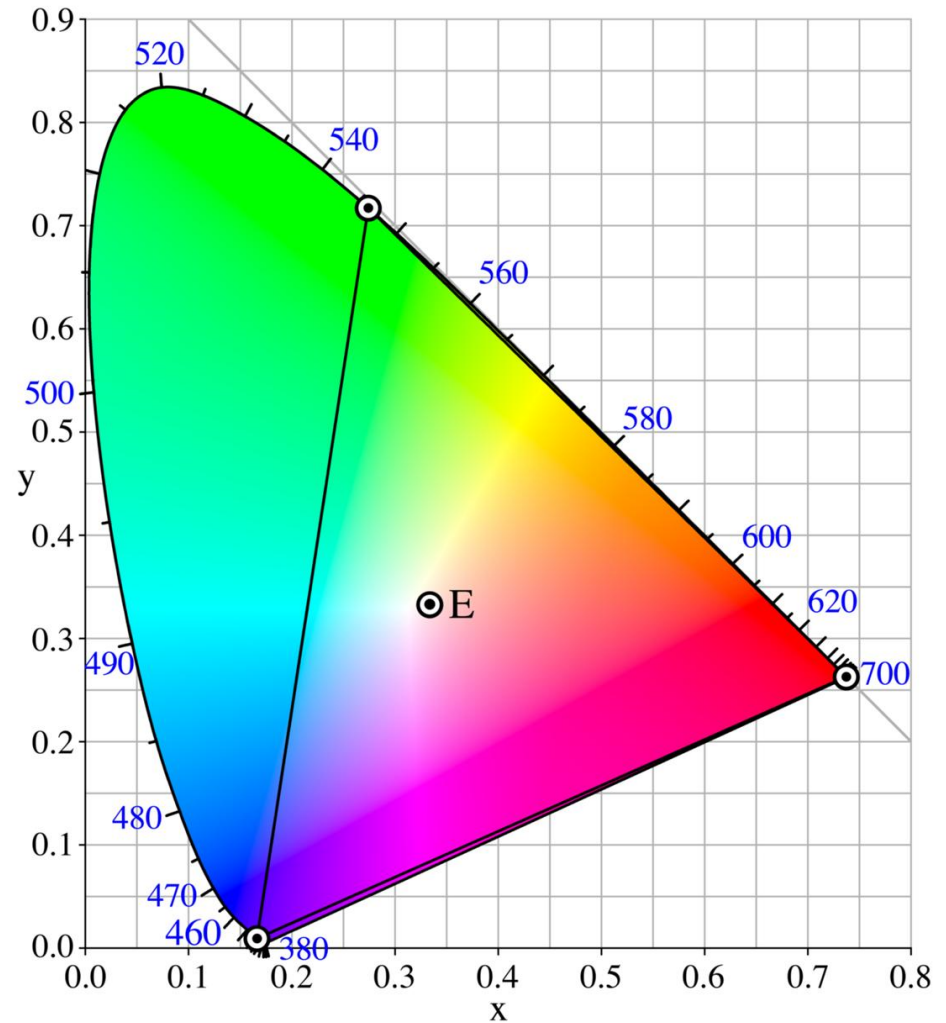
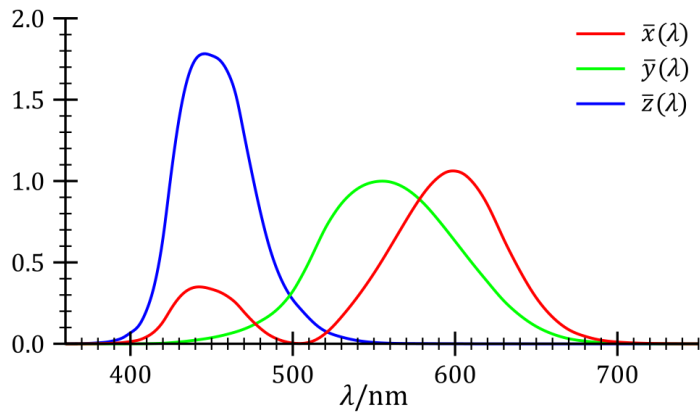


CIE xyz 1931

- ▶ 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

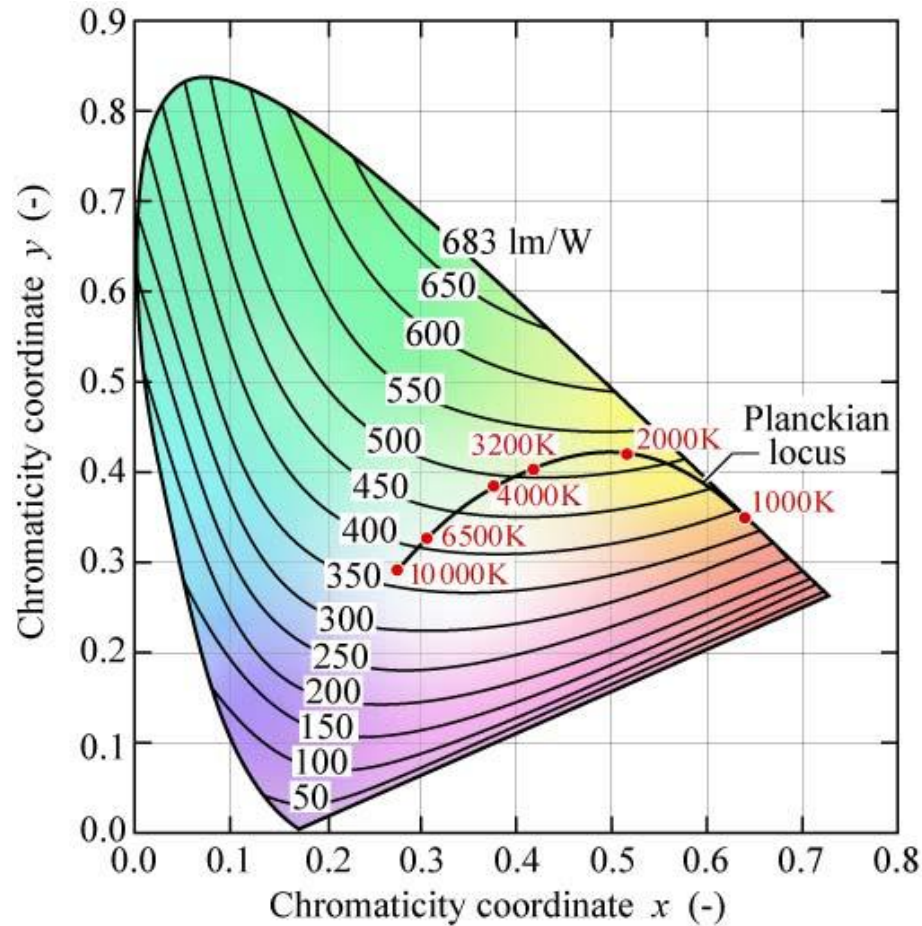
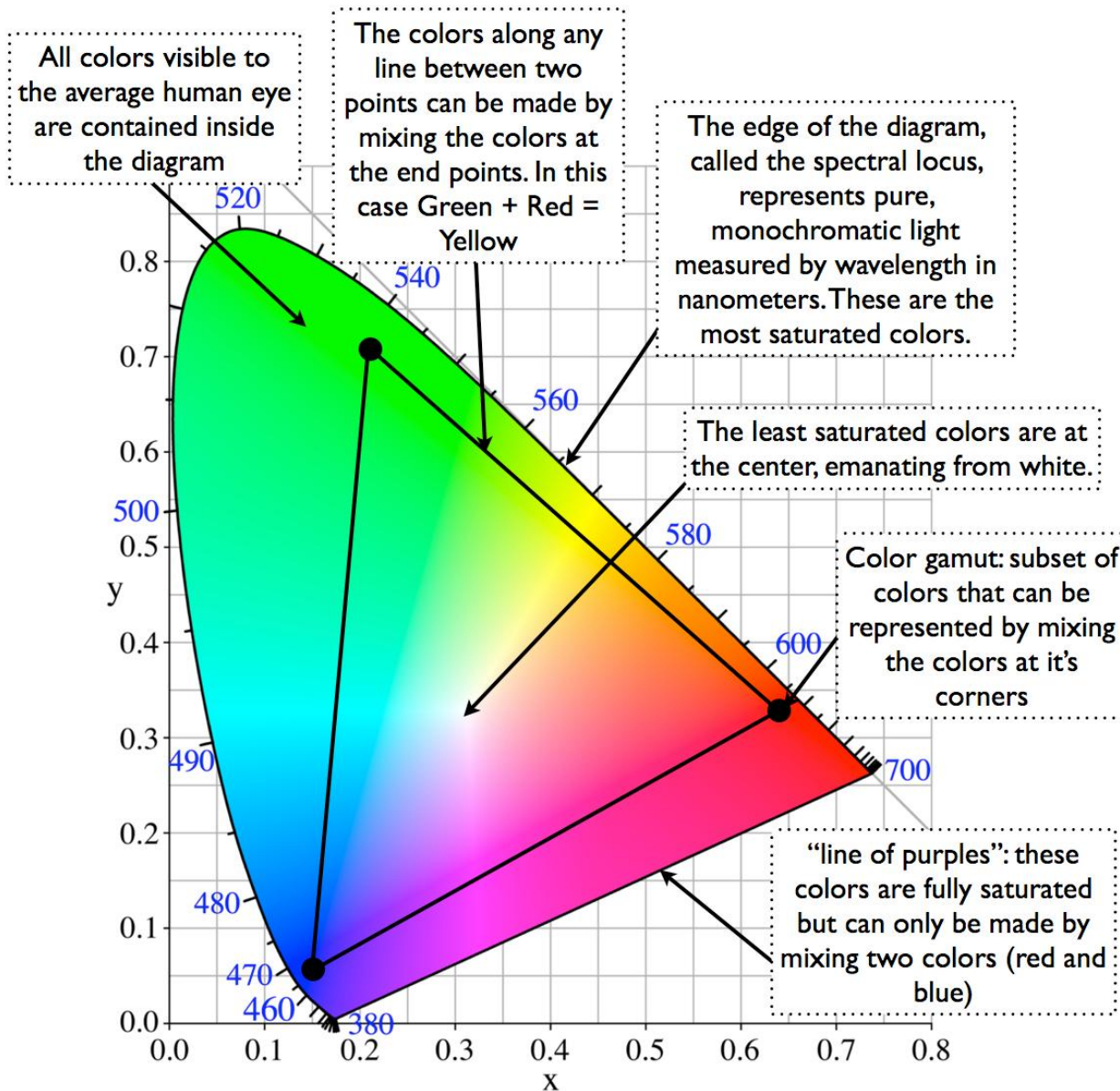


Fig. 16.8. Relation of maximum possible luminous efficacy (lumens per optical Watt) and chromaticity in the CIE 1931 x, y chromaticity diagram (adopted from MacAdam, 1950).

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

CIE xy 1931

► utilizzare

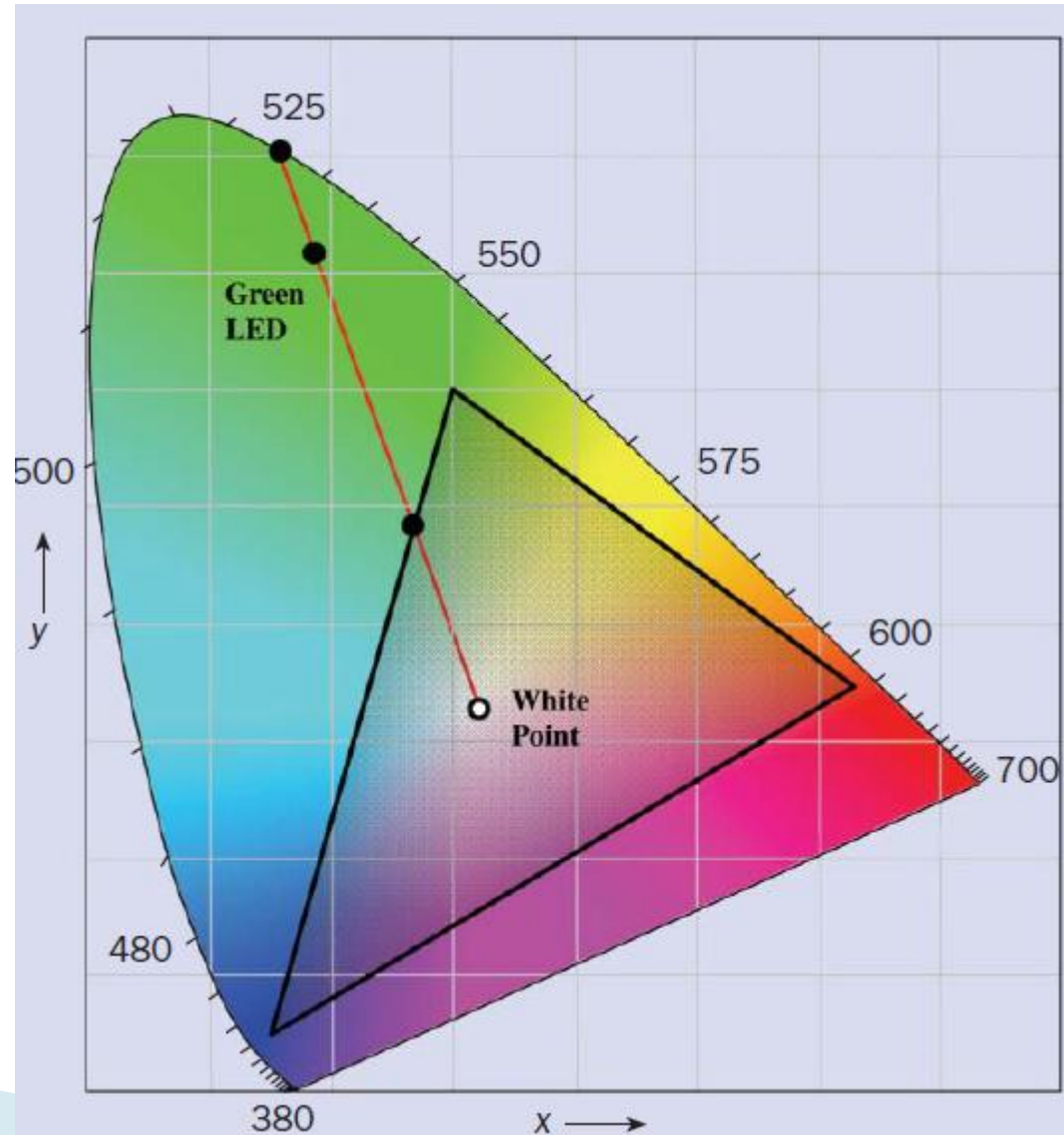
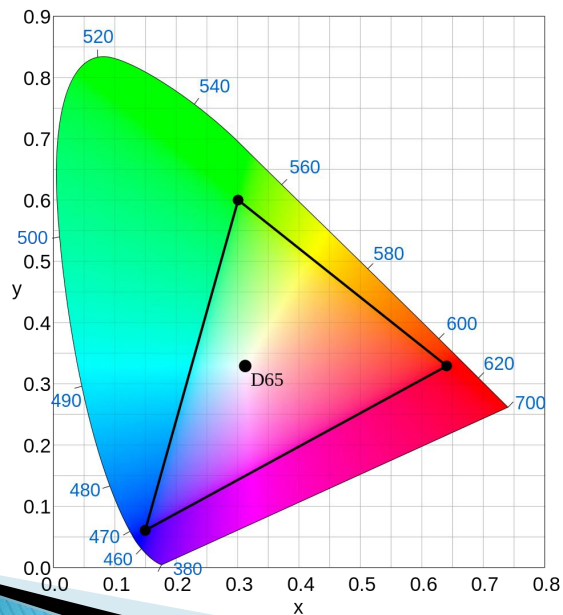


ITU-R BT.709

ITU-R BT.709 phosphor properties

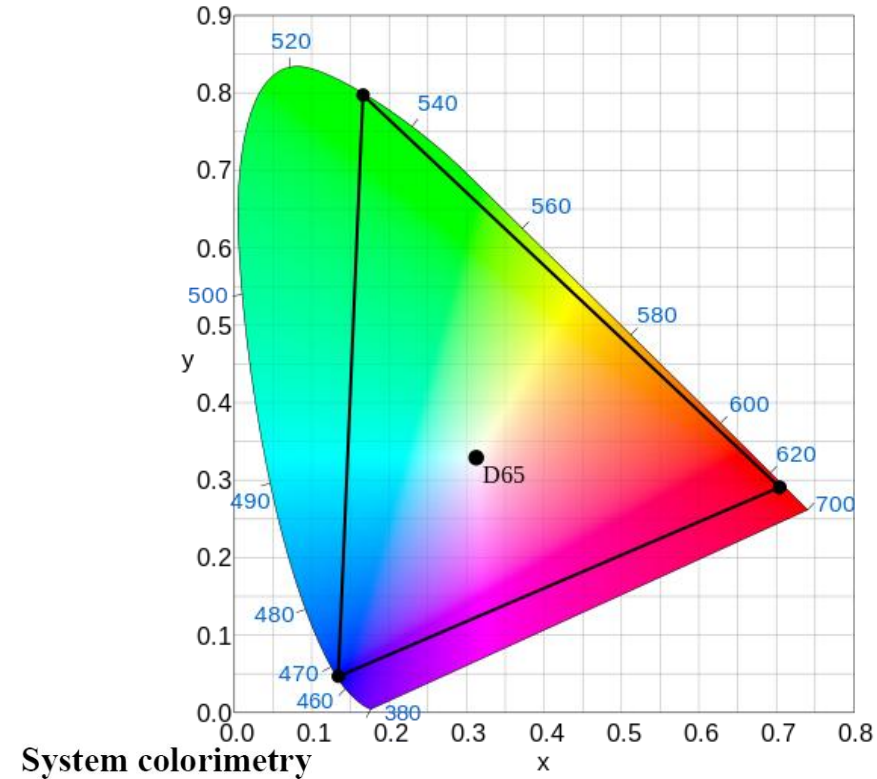
Phosphor	x	y
Red	0.640	0.330
Green	0.300	0.600
Blue	0.150	0.060

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

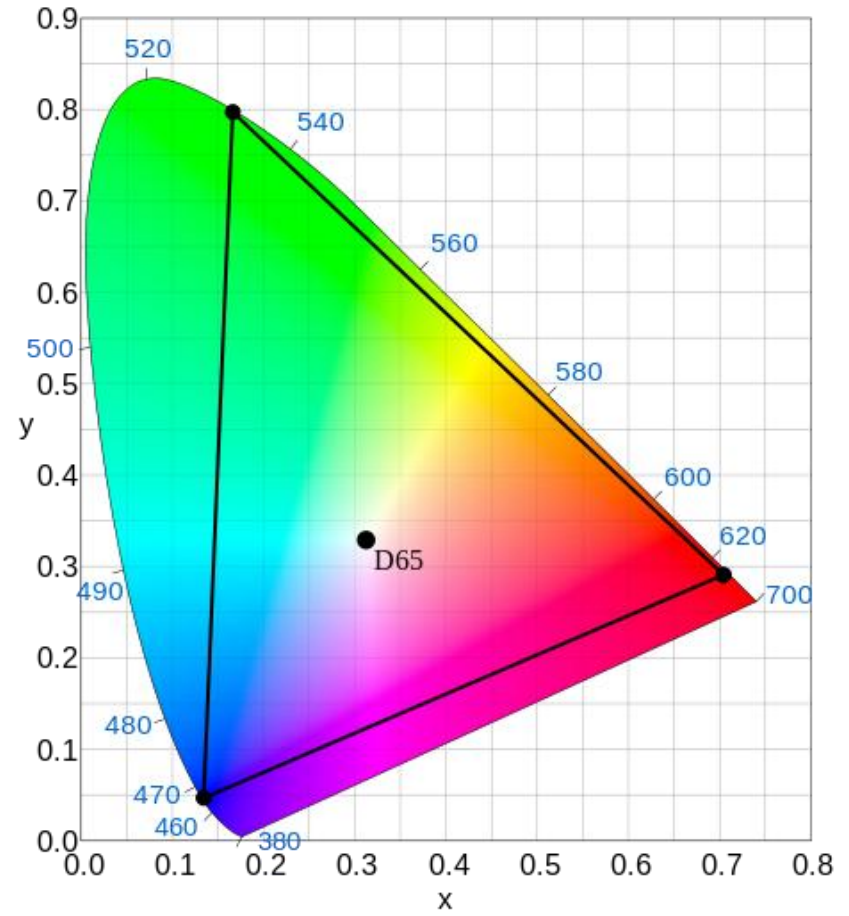
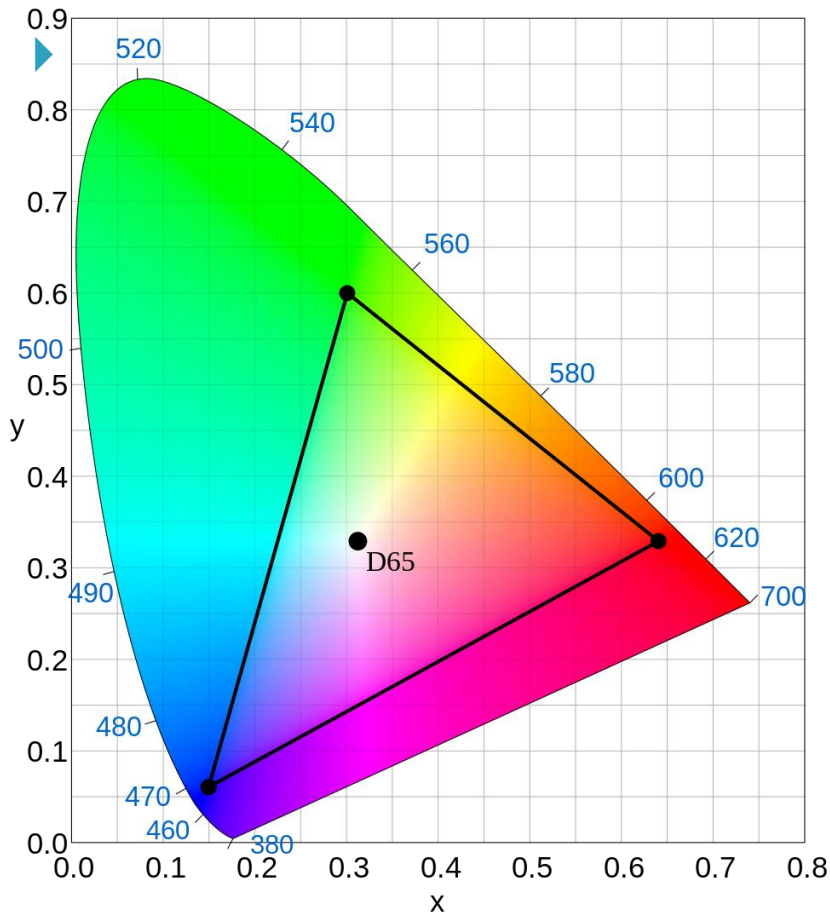
- ▶ Parameter values for ultra-high definition television systems
- ▶ UHDTV



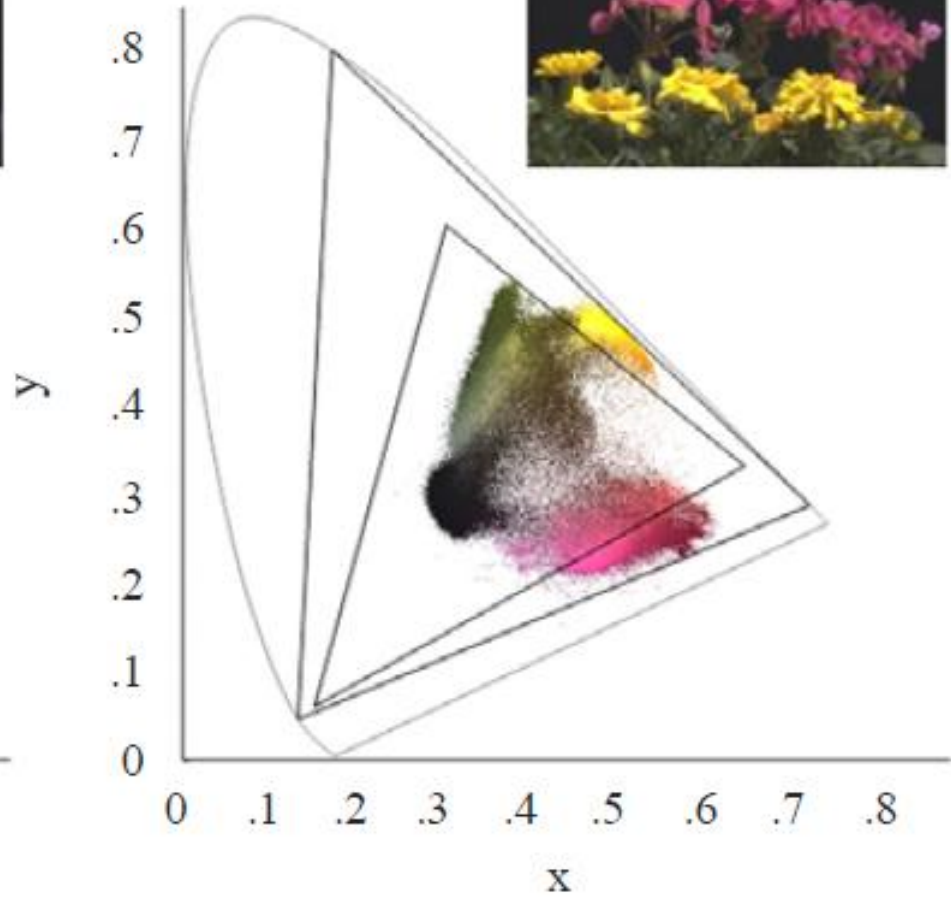
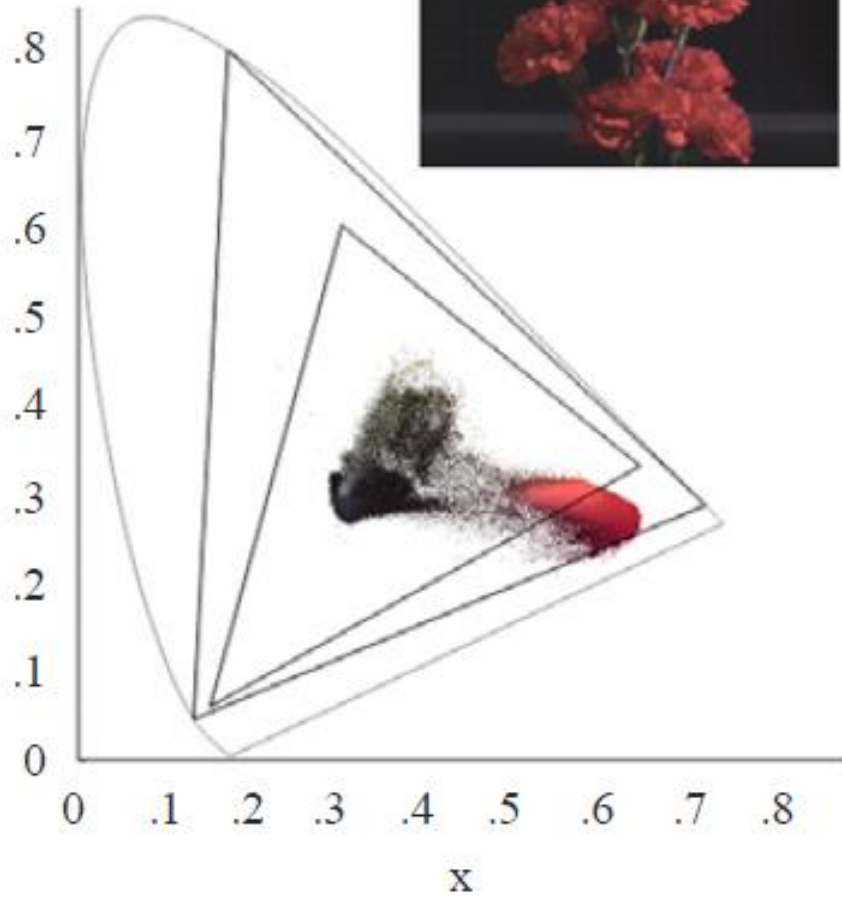
Parameter	Values		
Opto-electronic transfer characteristics before non-linear pre-correction	Assumed linear ⁽¹⁾		
Primary colours and reference white ⁽²⁾	Chromaticity coordinates (CIE, 1931)	x	y
	Red primary (R)	0.708	0.292
	Green primary (G)	0.170	0.797
	Blue primary (B)	0.131	0.046
	Reference white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

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

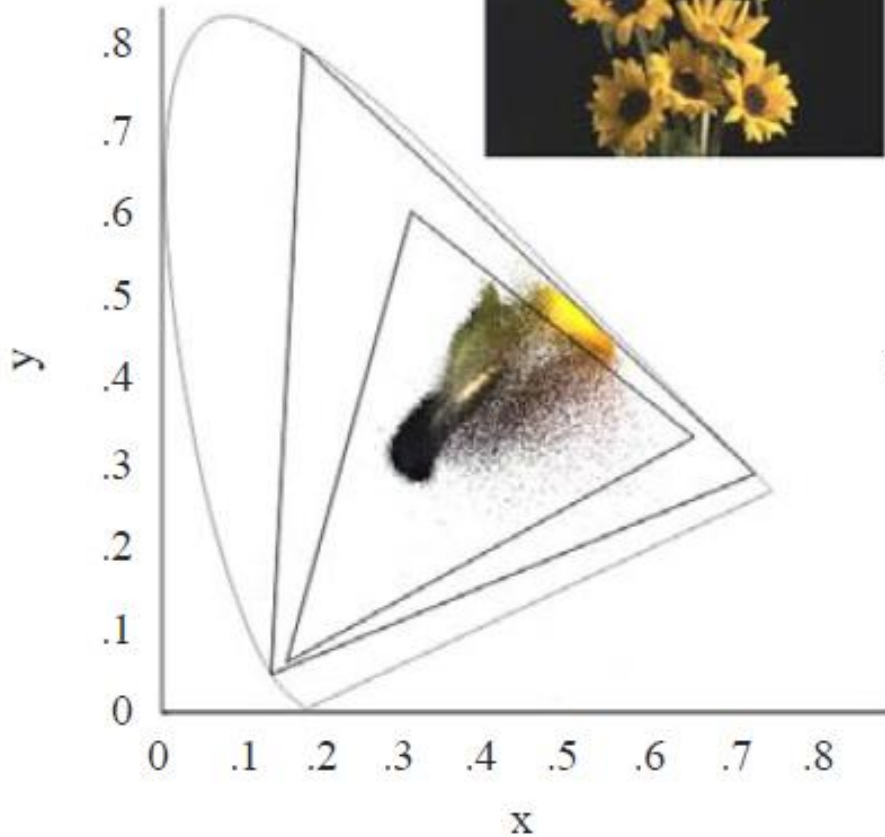
ITU-R BT.709/.2020



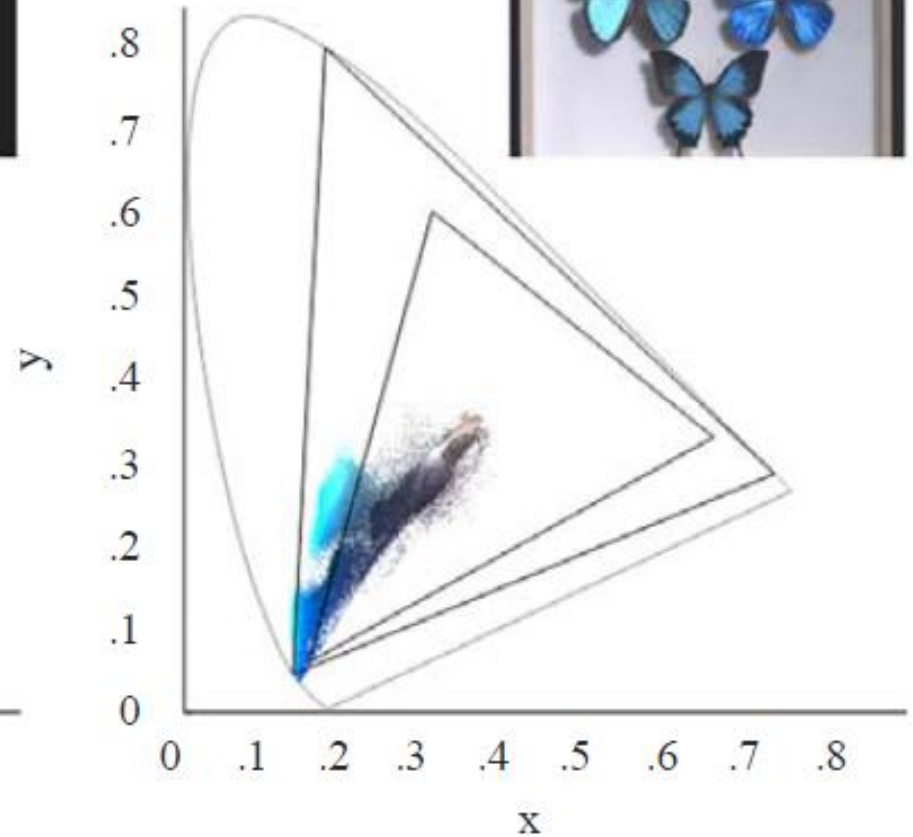
ITU-R BT.709/.2020



ITU-R BT.709/.2020



c) Sunflower



(d) Butterfly

Determinarea lungimii de unda dominante

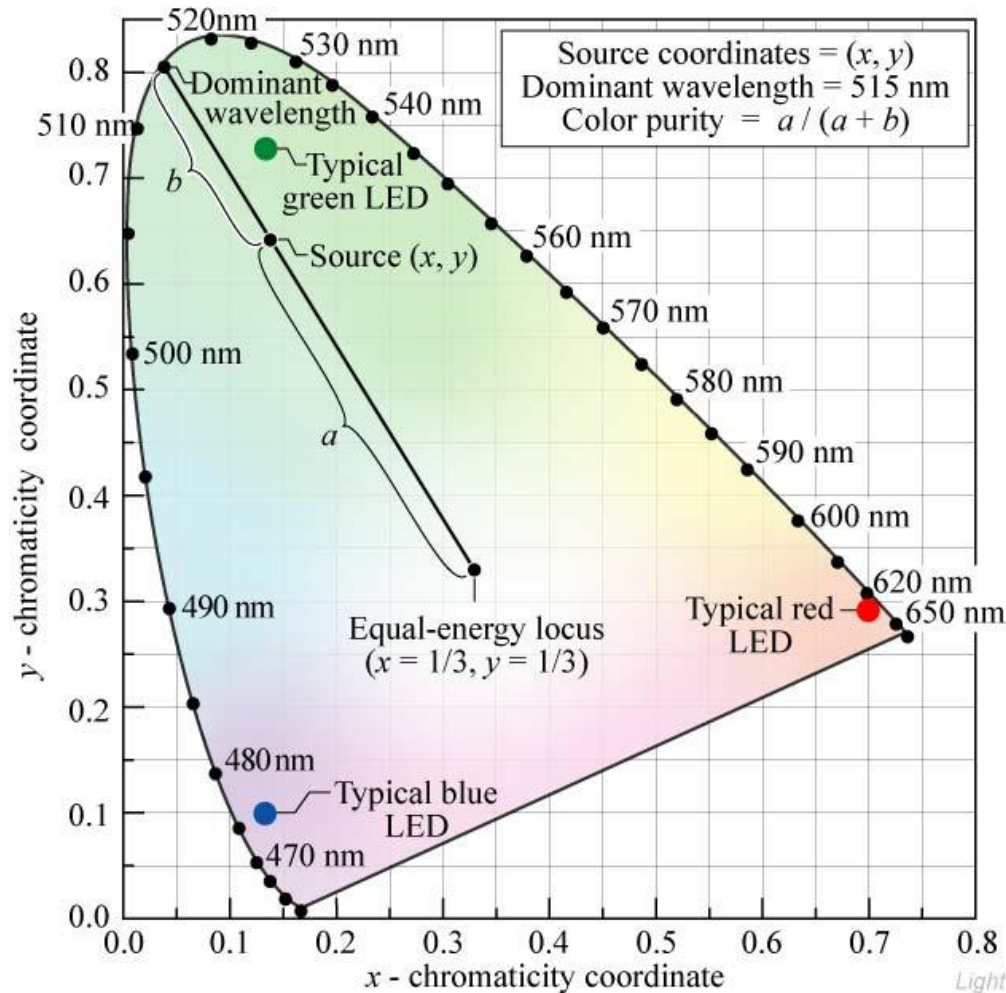
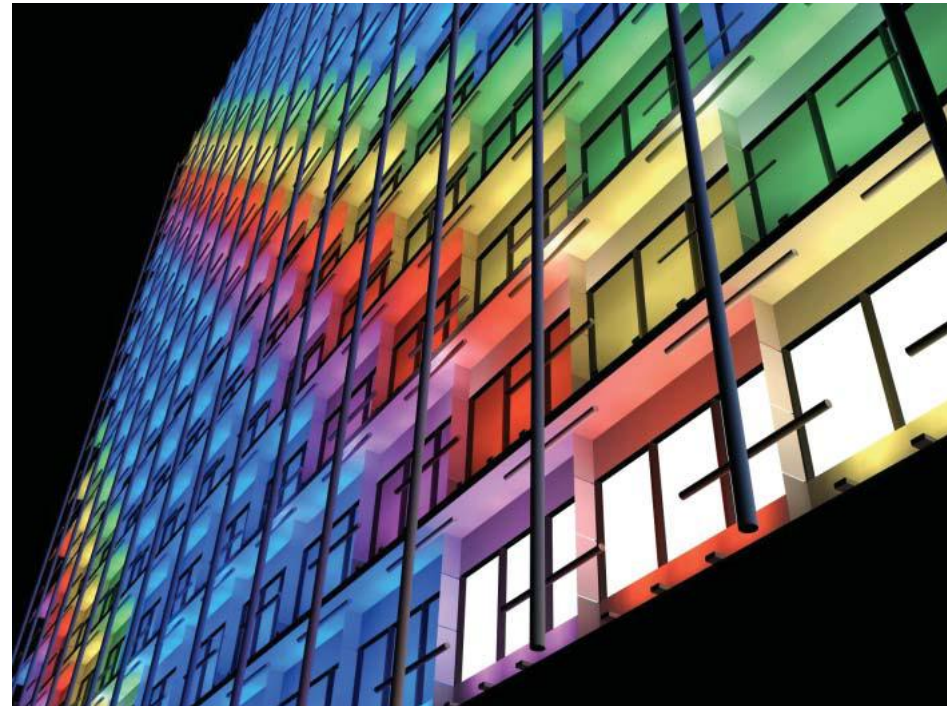


Fig. 17.8. Chromaticity diagram showing the determination of the *dominant color* and *color purity* of a light source with chromaticity coordinates (x, y) using the equal-energy locus ($x = 1/3, y = 1/3$) as the white-light reference. Also shown are typical locations of blue, green, and red LEDs.

ITU-R BT.709

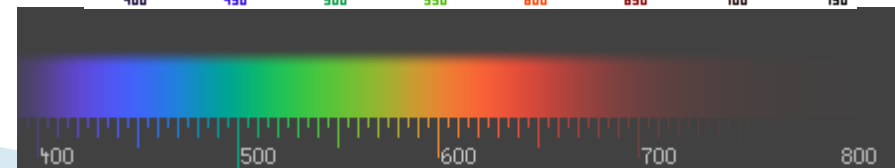
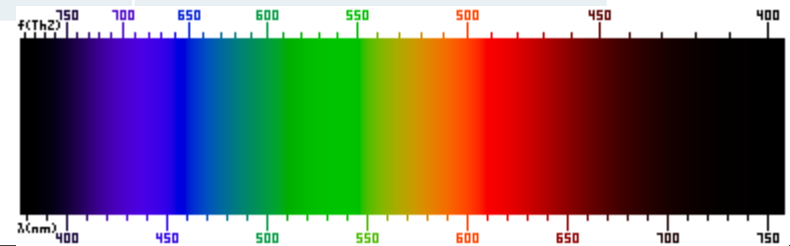


RGB values for Luxeon LEDs

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

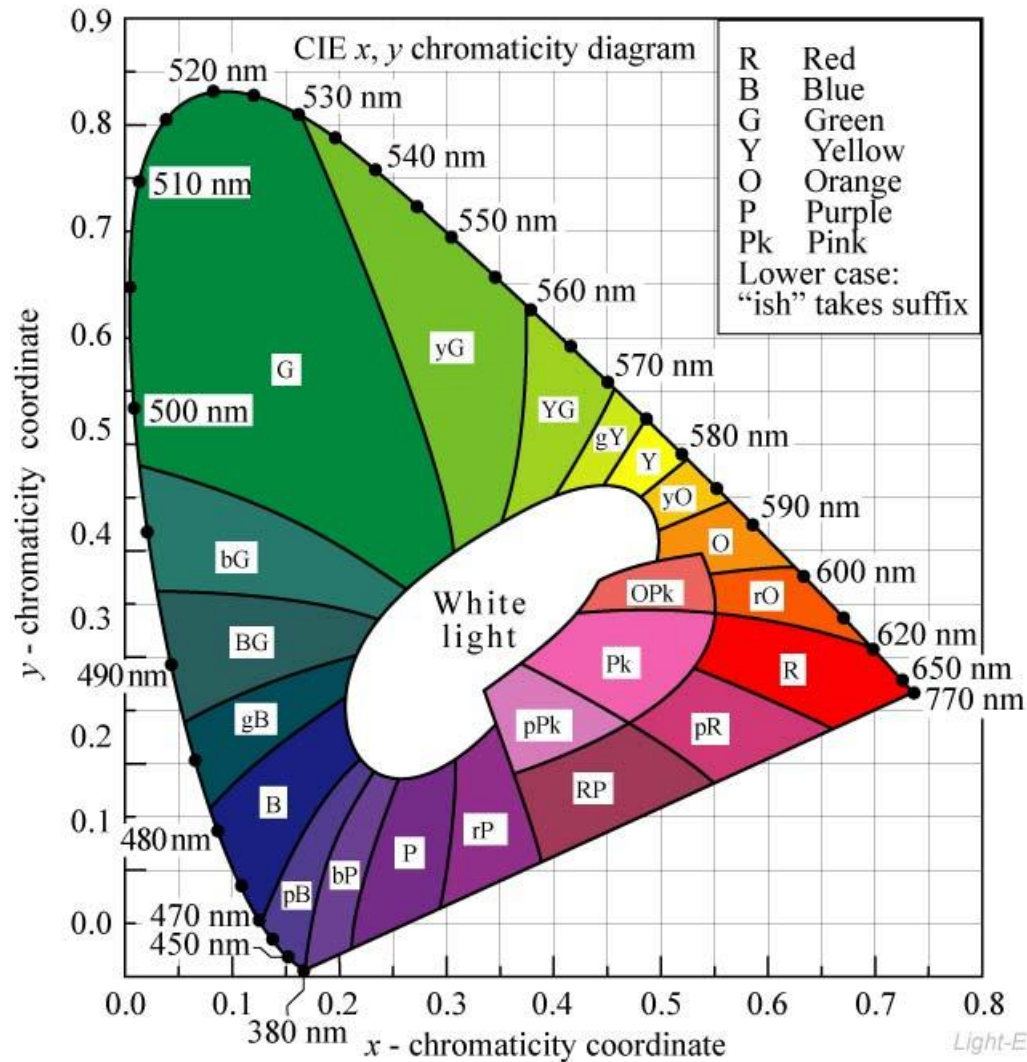


Fig. 17.3. 1931 CIE chromaticity diagram with areas attributed to distinct colors (adopted from Gage *et al.*, 1977).

Interpretarea diferentei de culoare

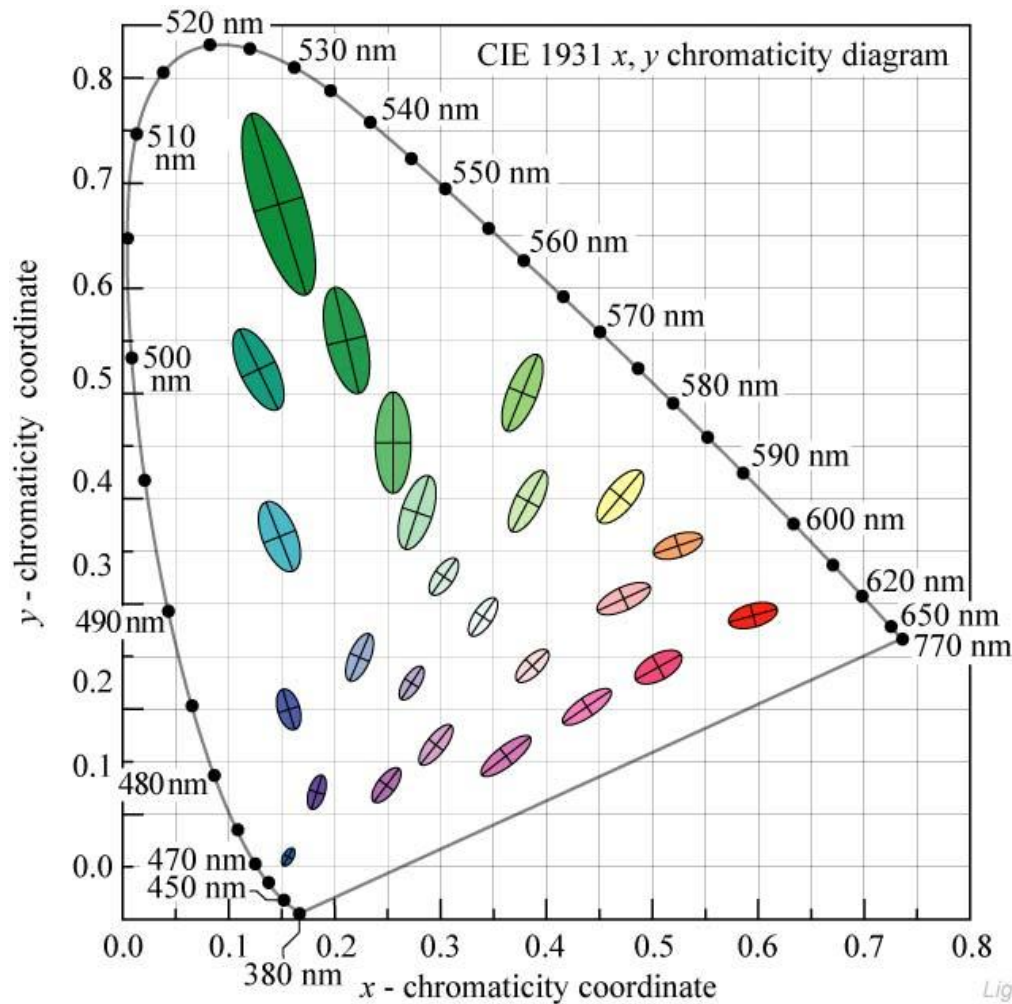
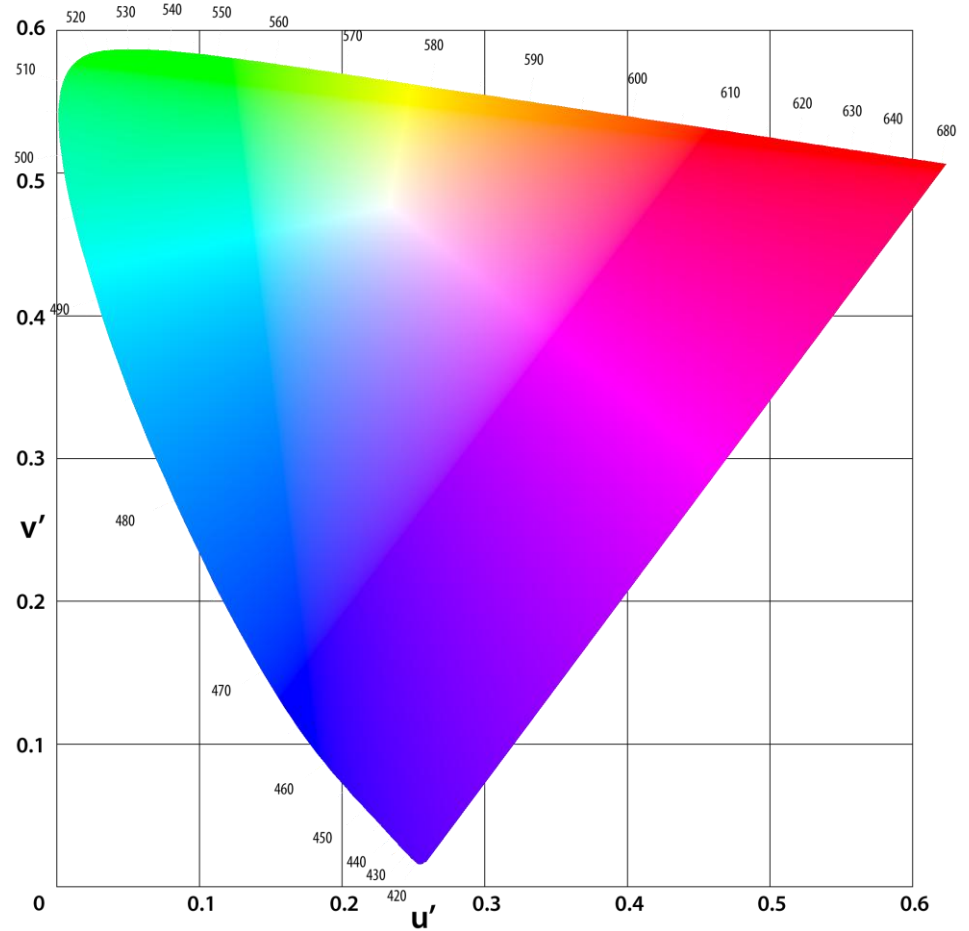


Fig. 17.5. MacAdam ellipses plotted in the CIE 1931 (x , y) chromaticity diagram. The axes of the ellipses are ten times their actual lengths (after MacAdam, 1943; Wright, 1943; MacAdam, 1993).

CIELUV 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 universală, independentă 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

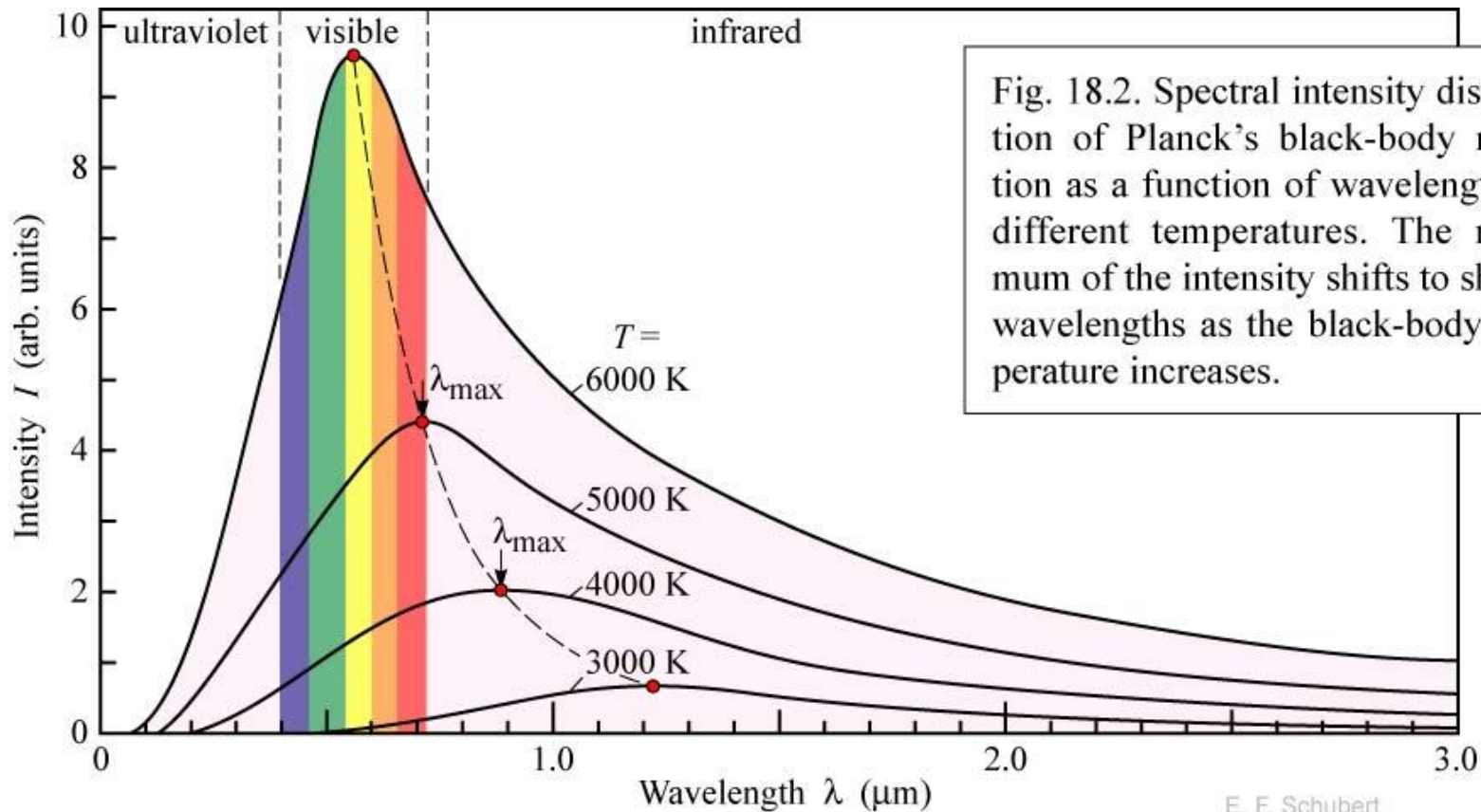
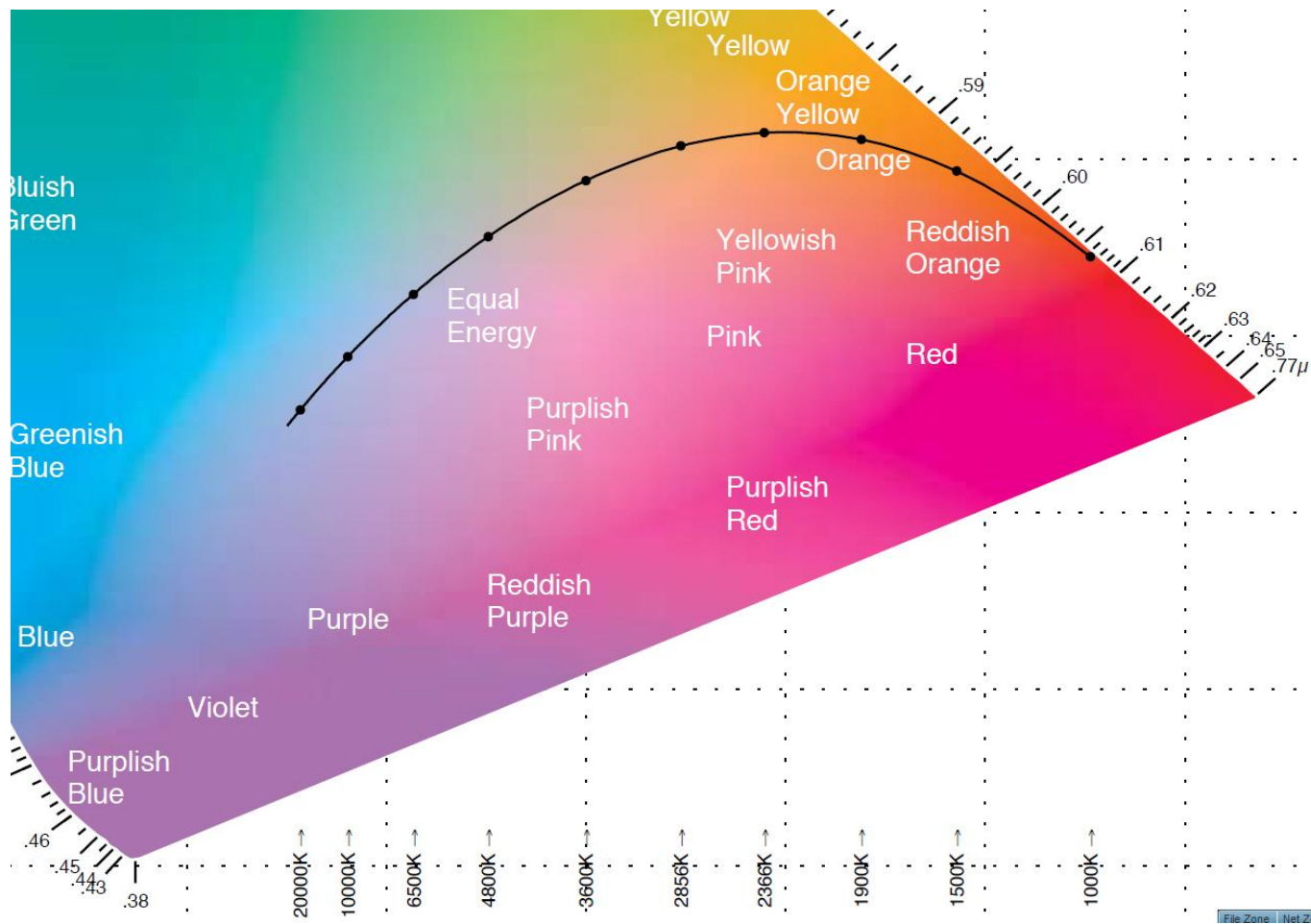


Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.

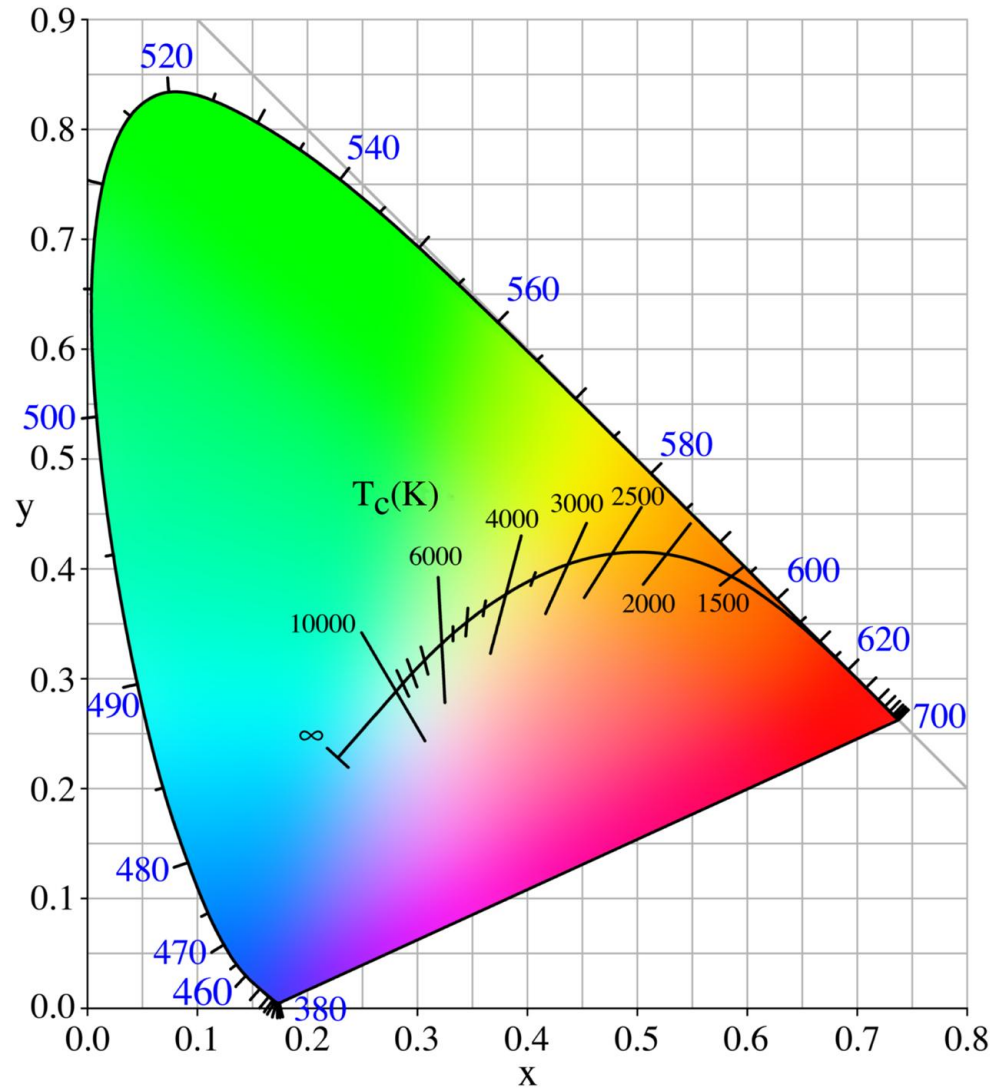
E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org



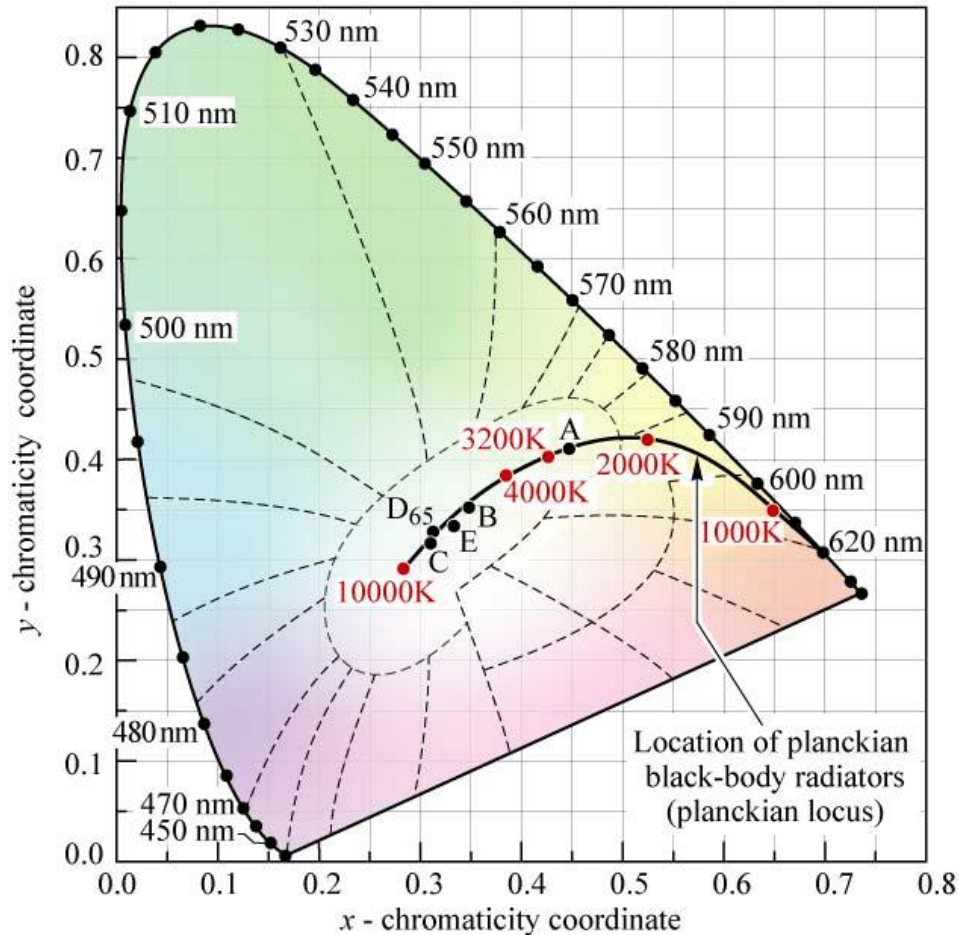
CIE xy 1931



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: <http://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)
- ▶ Rezolvari: <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>

Contact

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