

Optoelectronică, structuri și tehnologii

Curs 3
2012/2013

Lumina ca undă electromagnetică

Capitolul 2

Parametri, dependenta de mediu

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377\Omega$$

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 2,99790 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$n = 1$

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

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

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

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

$n = \sqrt{\epsilon_r}$

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

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

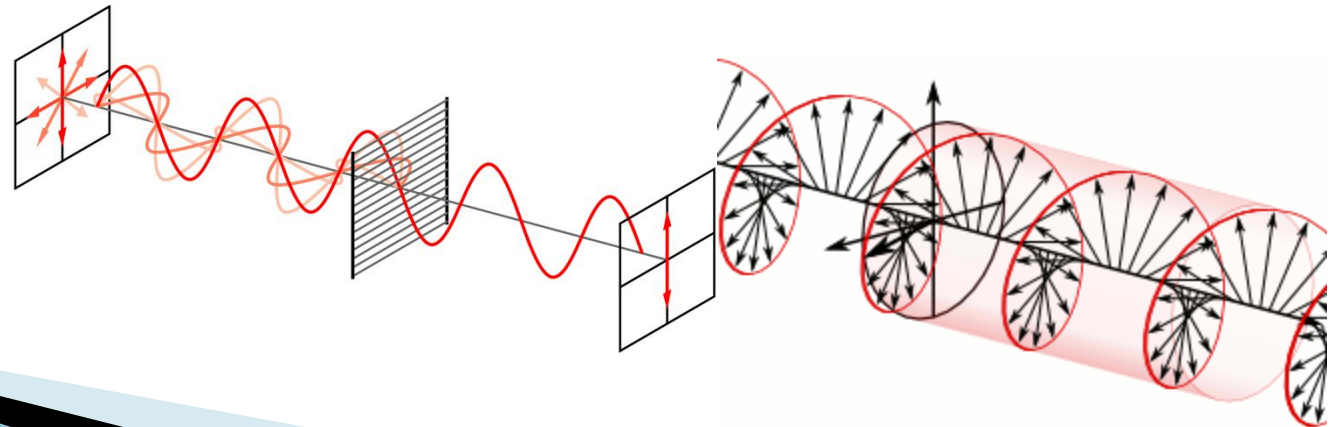
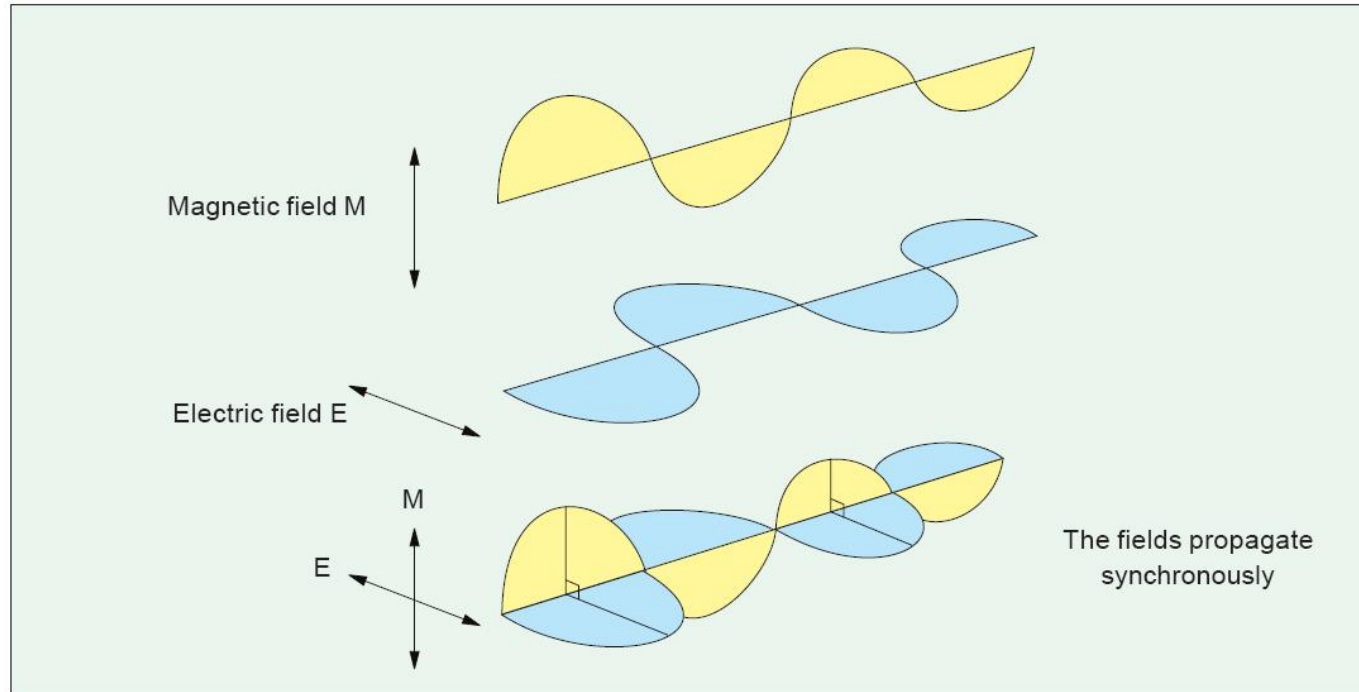
ITU G.692

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

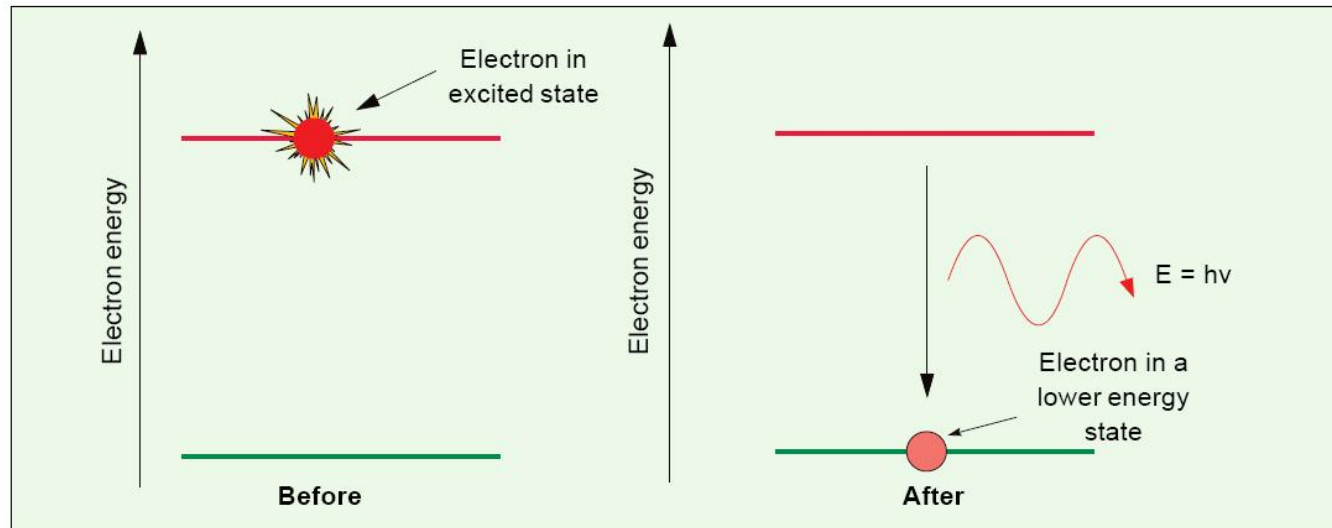
SI

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

Polarizarea luminii

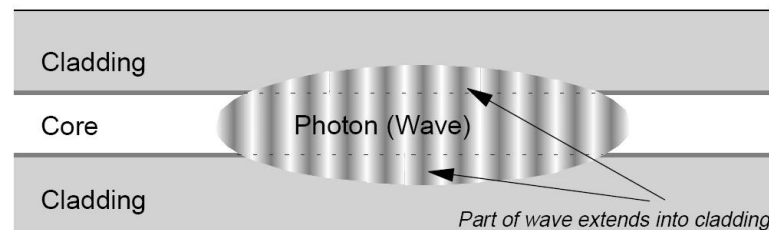


Model cuantic – foton



$$E_g = h\nu; \quad \lambda = \frac{hc}{E_g}; \quad \lambda[\mu\text{m}] = \frac{1.240}{E_g[\text{eV}]}$$

- ▶ h constanta lui Plank
 $6.62 \cdot 10^{-32} \text{ Ws}^2$
- ▶ c viteza luminii **in vid**
 $2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$



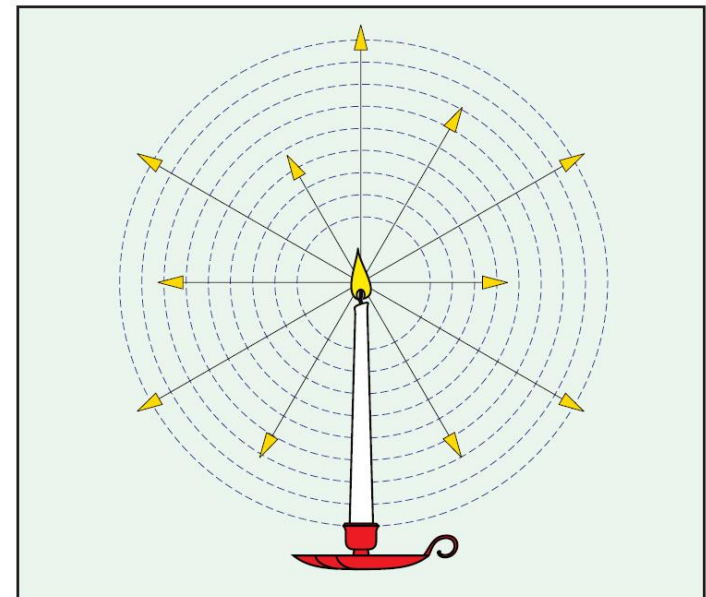
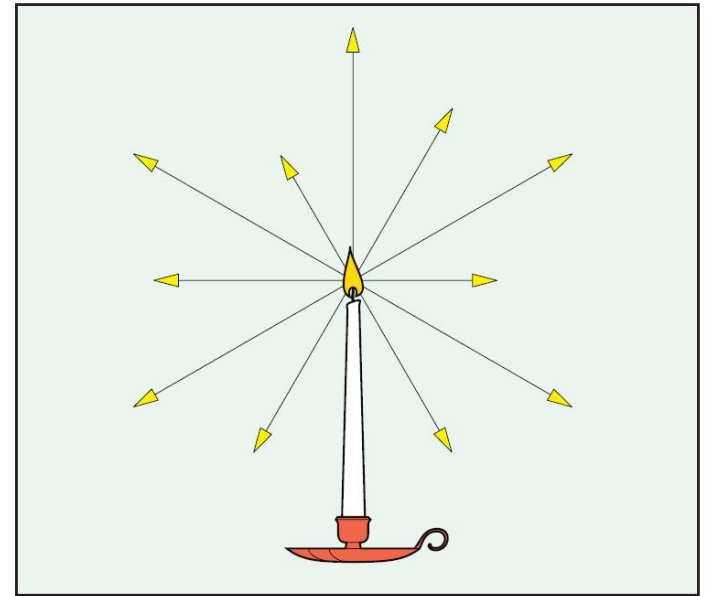
Optică geometrică

Capitolul 3

Raze de lumina

- ▶ Lumina este constituita din raze care se propaga in linie dreapta in medii omogene
- ▶ Sursa omnidirectionala: emite similar in toate directiile

- ▶ Energia luminoasa descreste invers proportional cu patratul distantei fata de sursa (energia se imparte uniform pe suprafata intregii sfere)



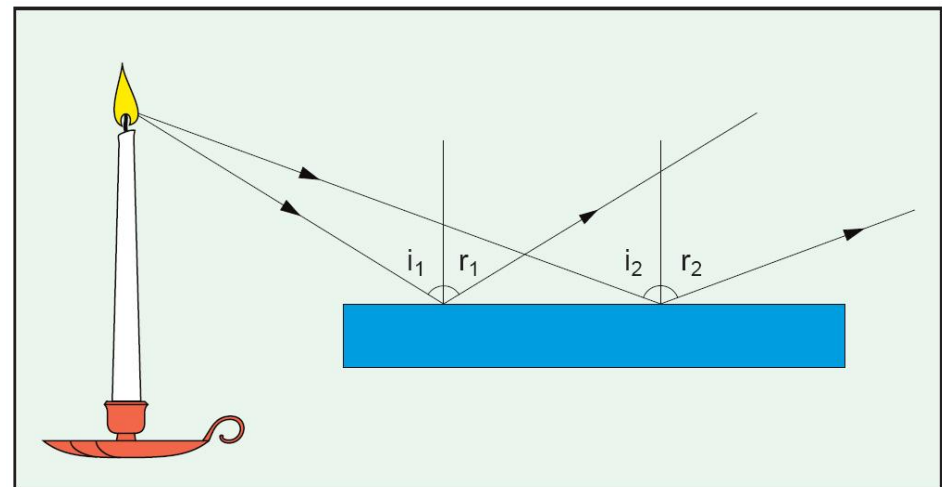
$$P = \frac{P_0}{r^2}$$

Reflexia luminii

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

- ▶ Legea reflexiei

$$\phi_i = \phi_r$$



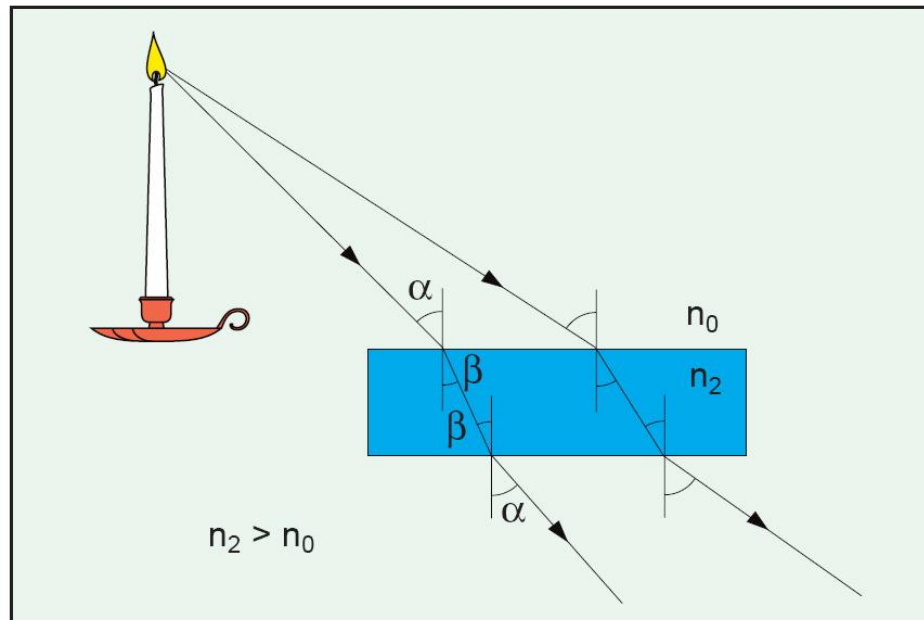
Refractia luminii

- ▶ la suprafata de separatie 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
- ▶ Legea lui Snell
(a refractiei)

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

ϕ_i - unghi incident

ϕ_R - unghi de refractie



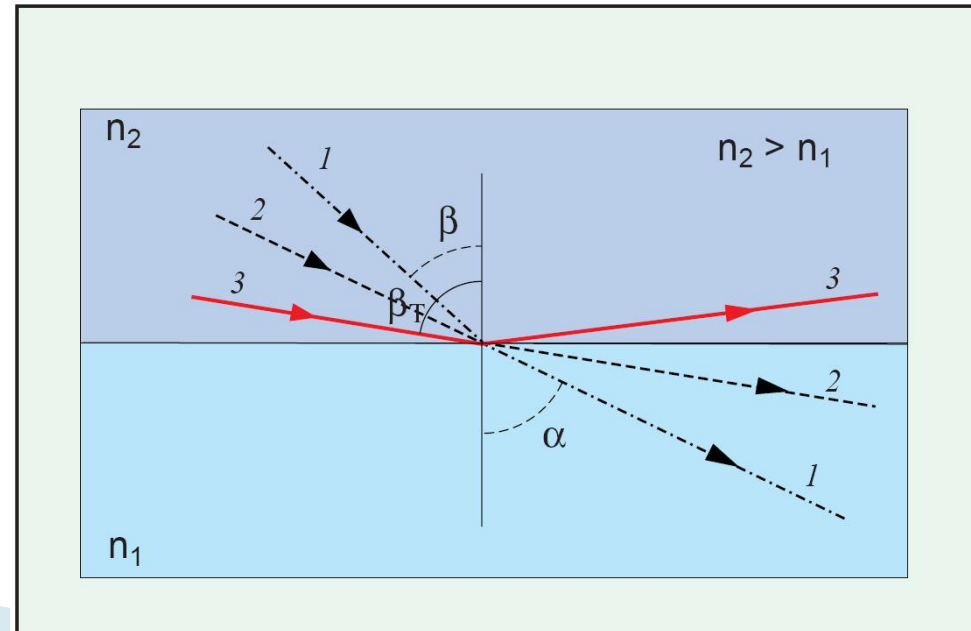
Reflexia totala

- ▶ 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 două 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

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

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

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

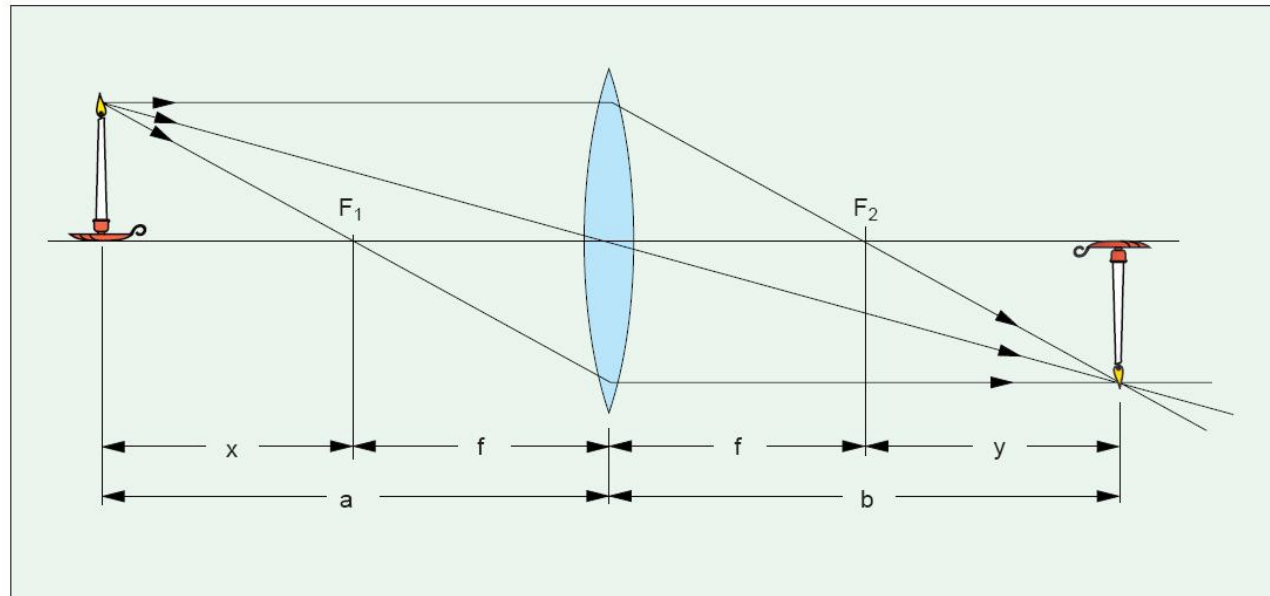


Lentile

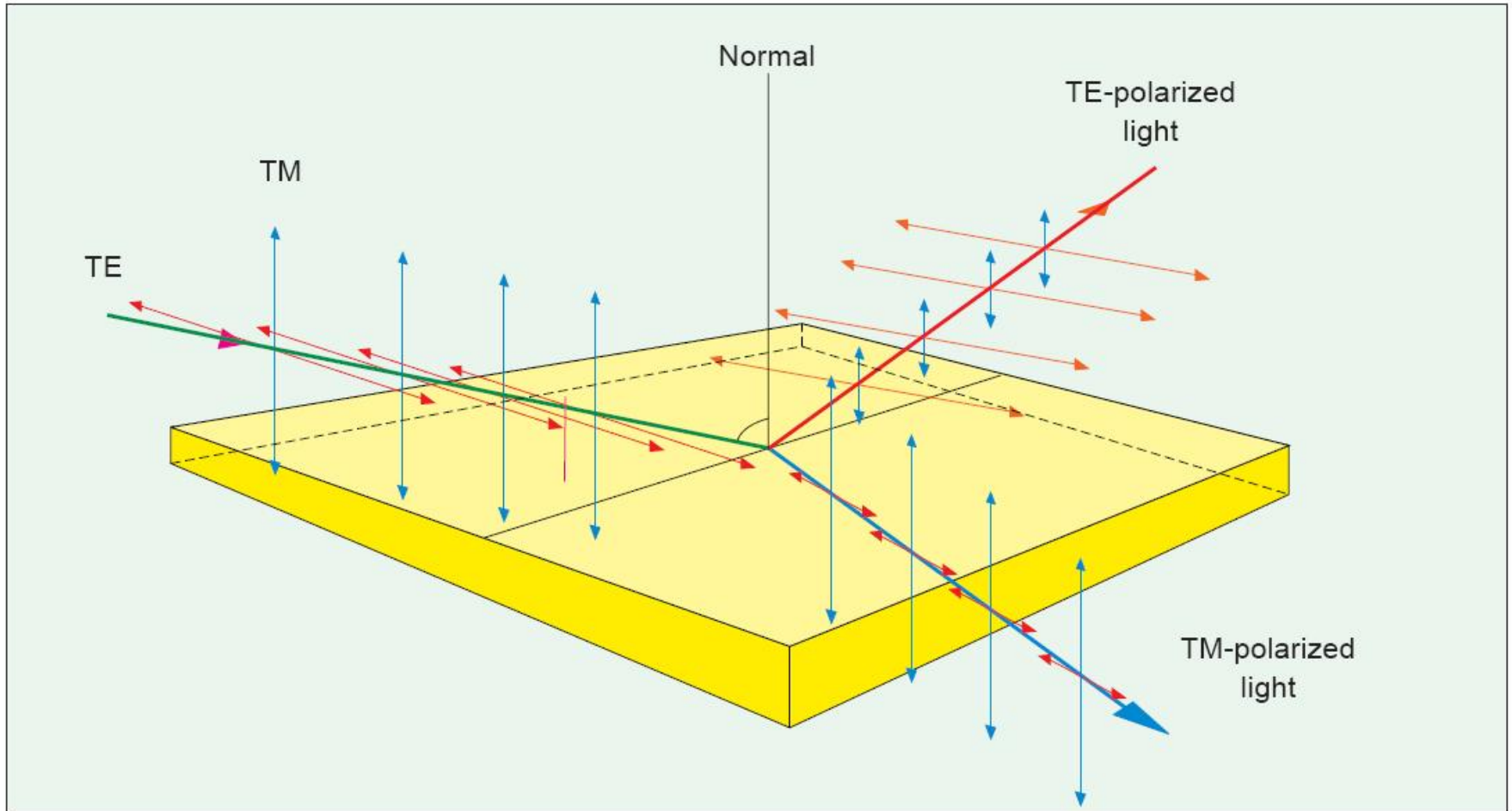
- ▶ Razele de lumina paralele sunt concentrate intr-un punct numit focar, aflat la **distanța focala** de planul lentilei
- ▶ O sursa omnidirectională poziționată în focar va permite obținerea unui fascicul paralel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

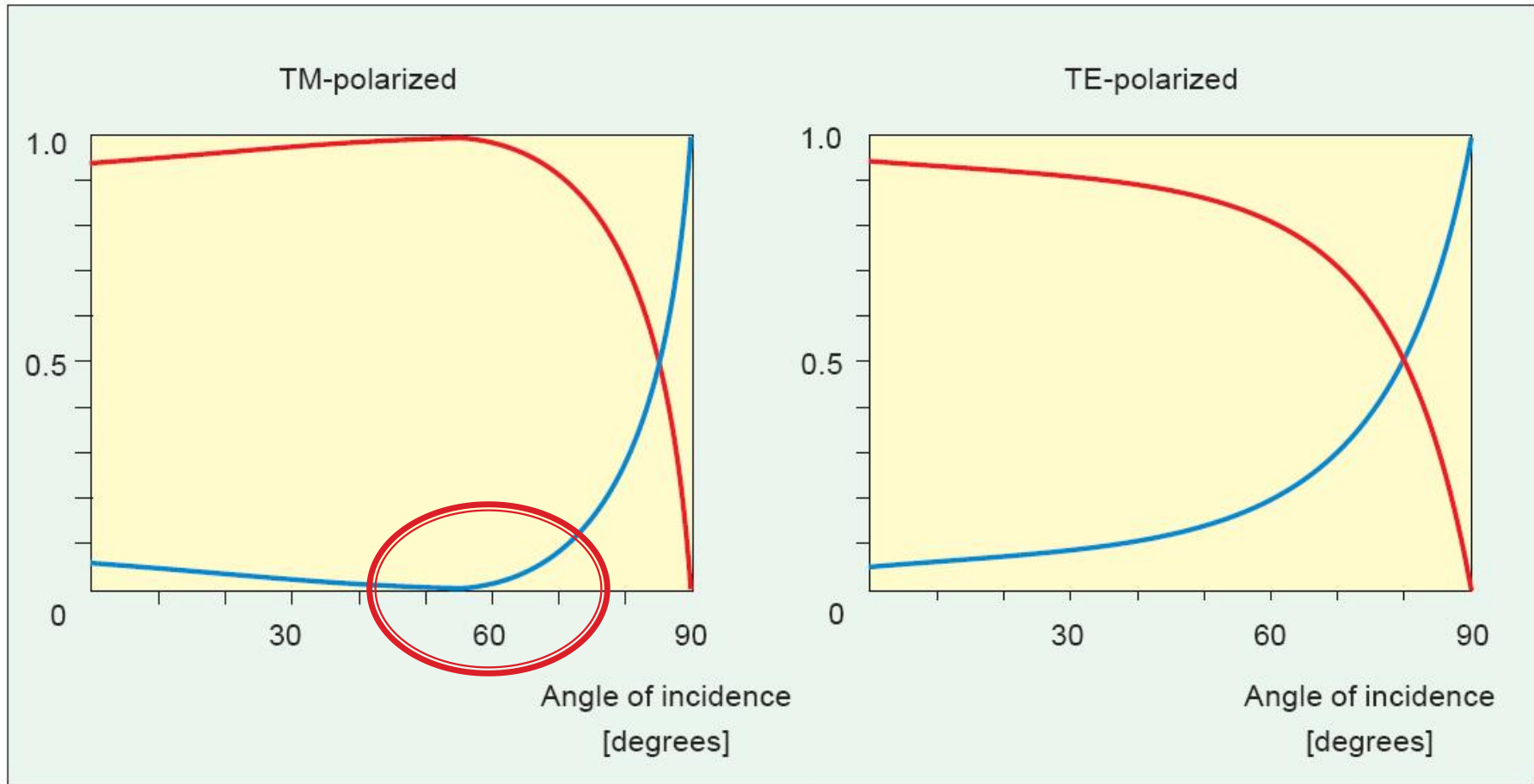
$$x \cdot y = f^2$$



Polarizarea luminii



Polarizarea luminii



Transmisia puterii intre medii

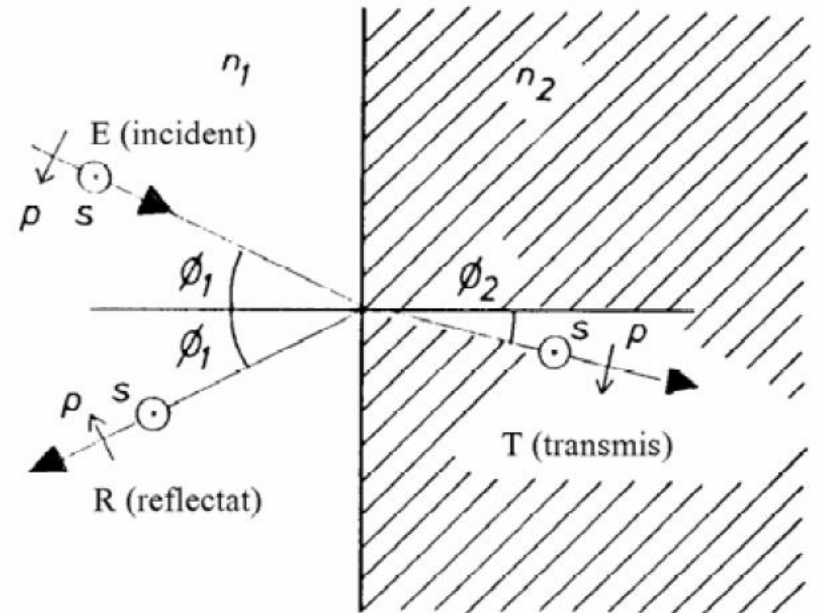
- ▶ incidenta oblica
- ▶ reflexiile in amplitudine a campului:

$$r_s = -\frac{\sin(\phi_1 - \phi_2)}{\sin(\phi_1 + \phi_2)}$$

$$r_p = \frac{\tan(\phi_1 - \phi_2)}{\tan(\phi_1 + \phi_2)}$$

$$t_s = \frac{2 \sin \phi_2 \cos \phi_1}{\sin(\phi_1 + \phi_2)}$$

$$t_p = \frac{2 \sin \phi_2 \cos \phi_1}{\sin(\phi_1 + \phi_2) \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$



Unghi Brewster

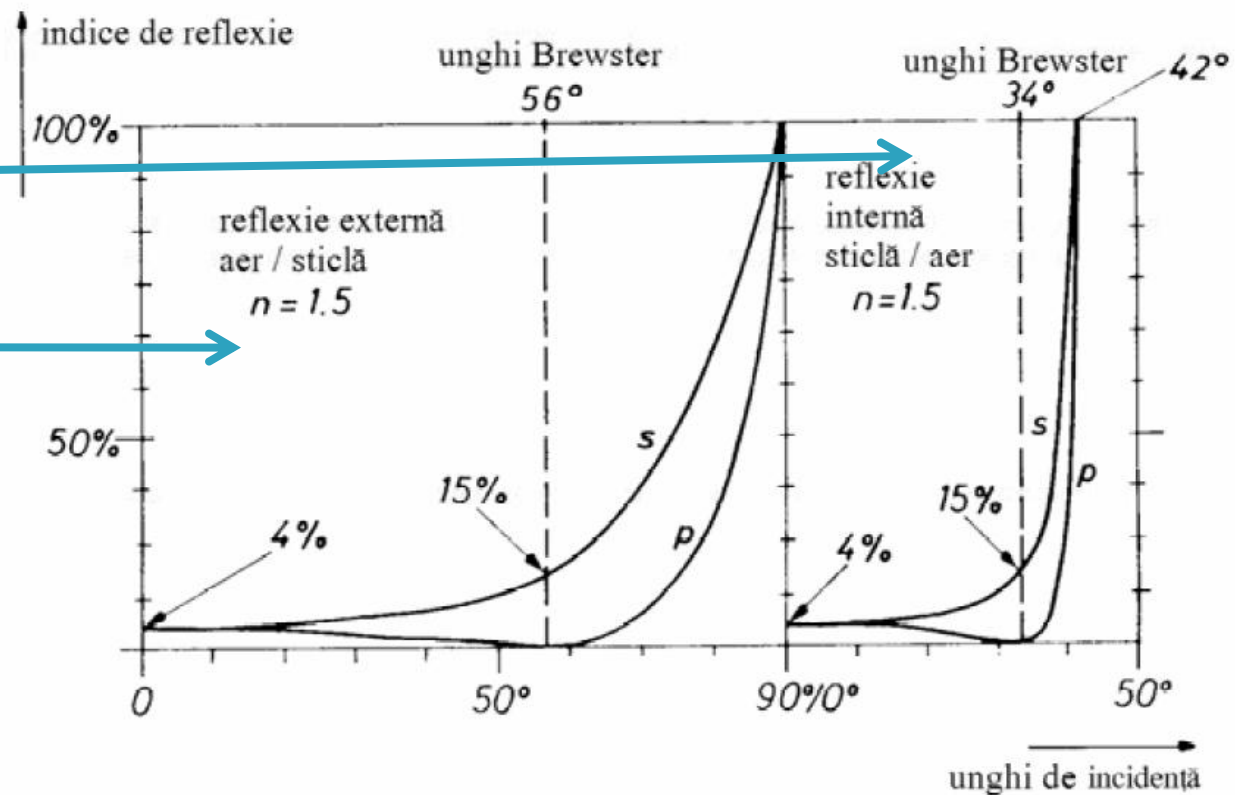
$$r_p = 0 \Rightarrow \tan(\phi_1 + \phi_2) \rightarrow \infty \Rightarrow \phi_1 + \phi_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$n_1 \cdot \sin \phi_1 = n_2 \cdot \sin \phi_2 = n_2 \cdot \cos \phi_1$$

$$\phi_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\phi_B = 34^\circ$$

$$\phi_B = 56^\circ$$



Fotometrie și radiometrie

Capitolul 4

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

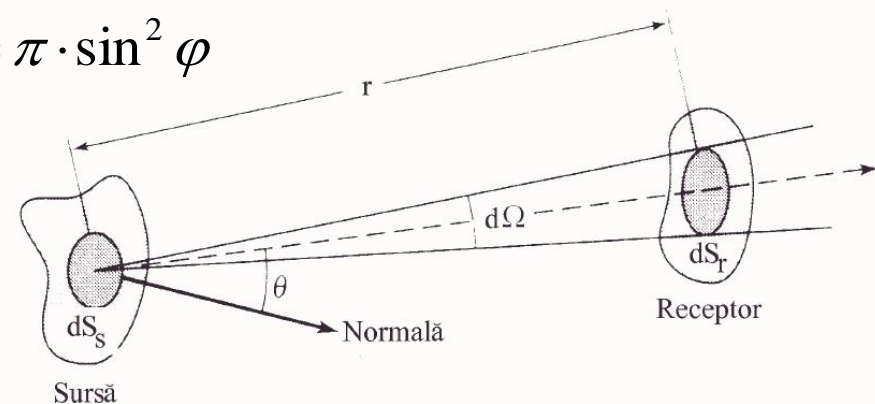
► Flux energetic al luminii

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

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

► Unghi solid

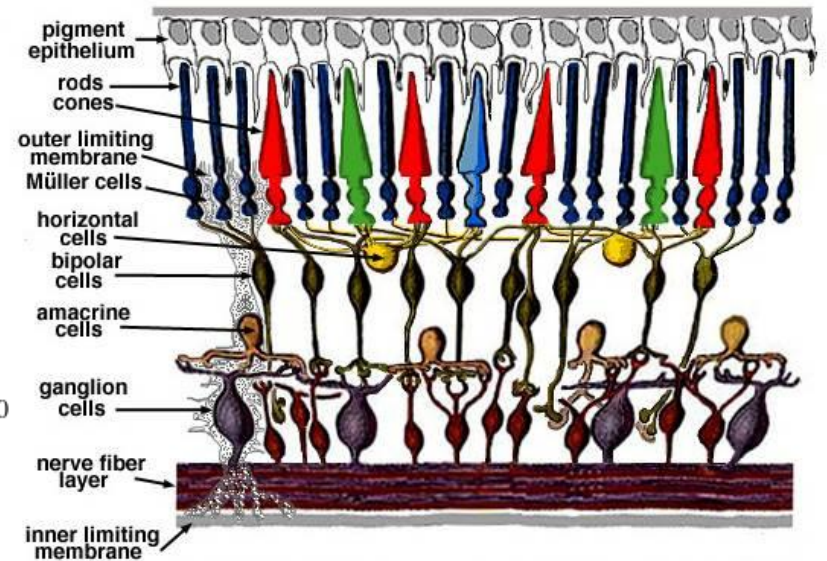
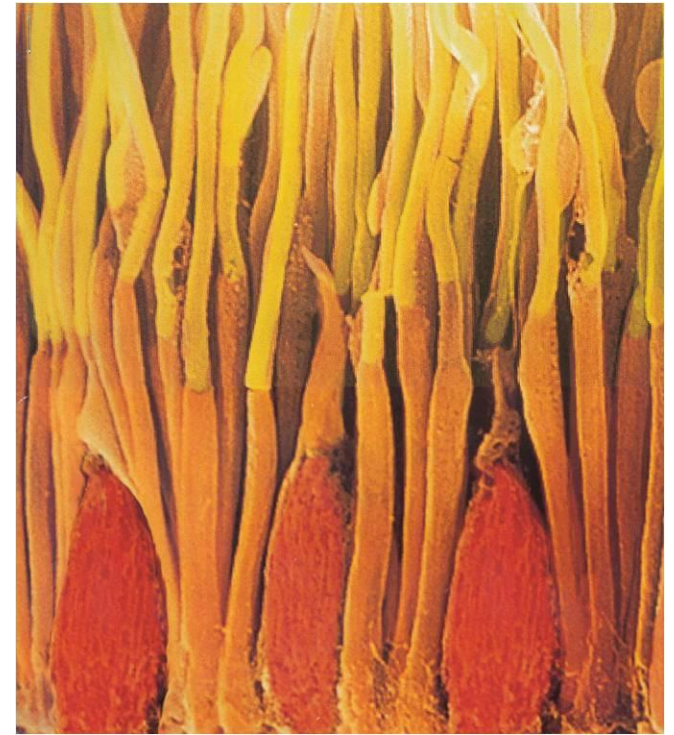
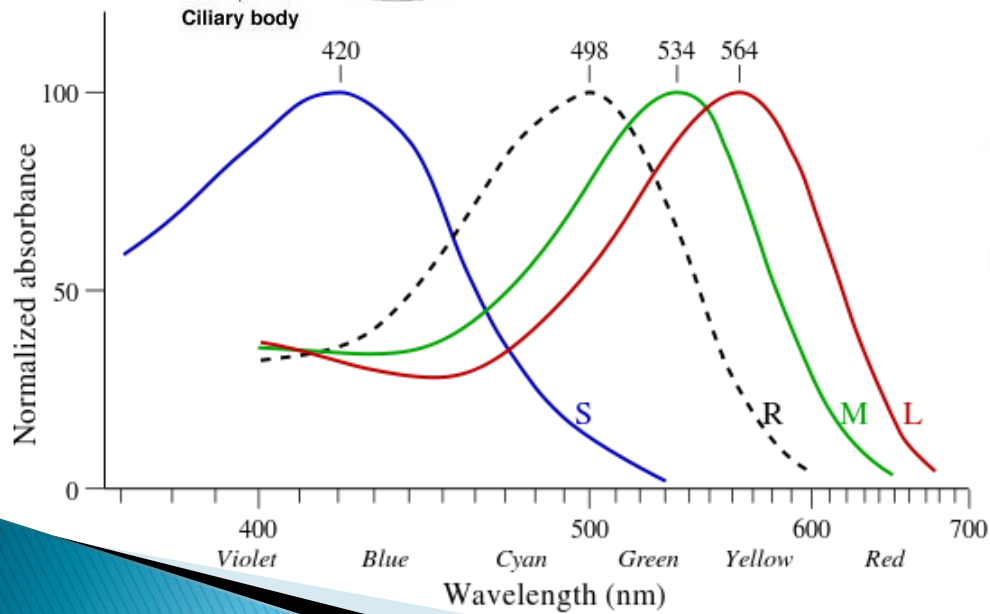
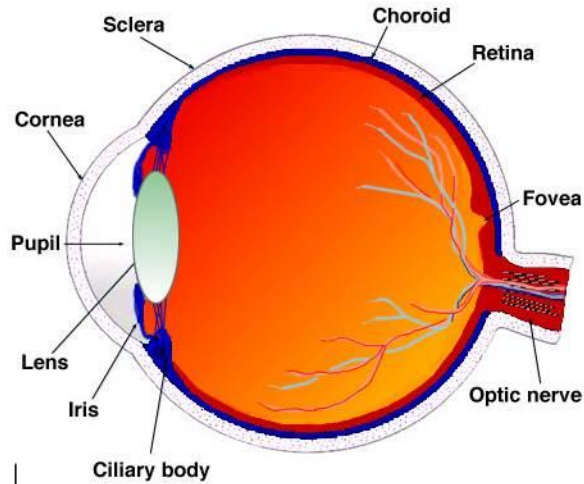
- definitie $\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [sr]$
- valoarea maxima: $\Omega = 4\pi \text{ sr}$
- pentru unghiuri mici $\Omega = \pi \cdot \sin^2 \varphi$



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

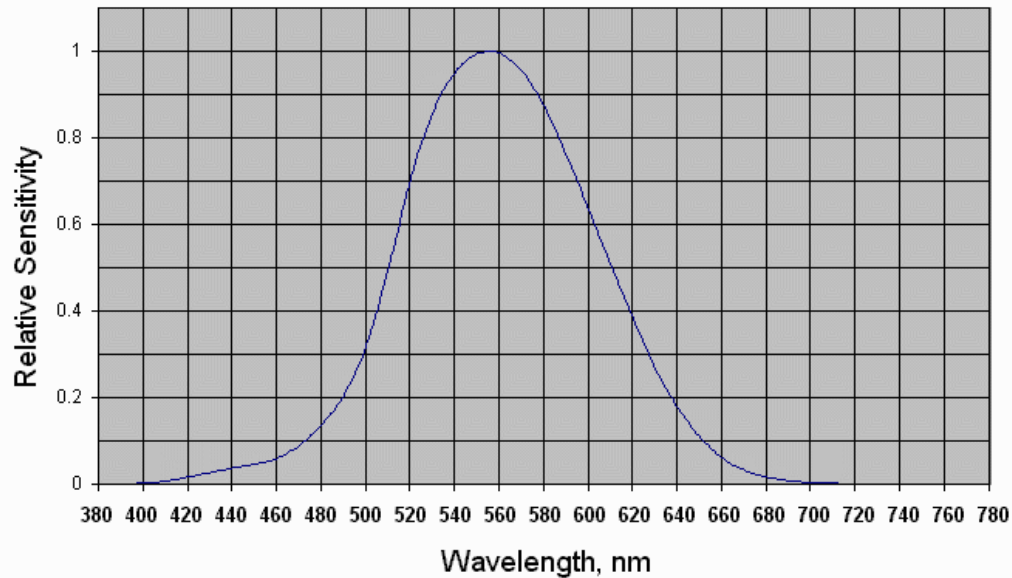
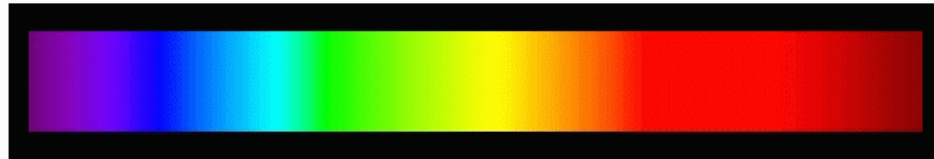
Ochiul uman



Standarde

- ▶ Se încearca definirea omului “standard”
- ▶ CIE – Commission Internationale de l'Éclairage
 - 1931 – luminozitatea relativa standard $V(\lambda)$ – fotopic
 - 1951 – luminozitatea relativa standard $V(\lambda)$ – scotopic
 - 1978 – Vos
 - 2005 – Sharpe, Stockman, Jagla, Jägle
- ▶ 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 $V(\lambda)$



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

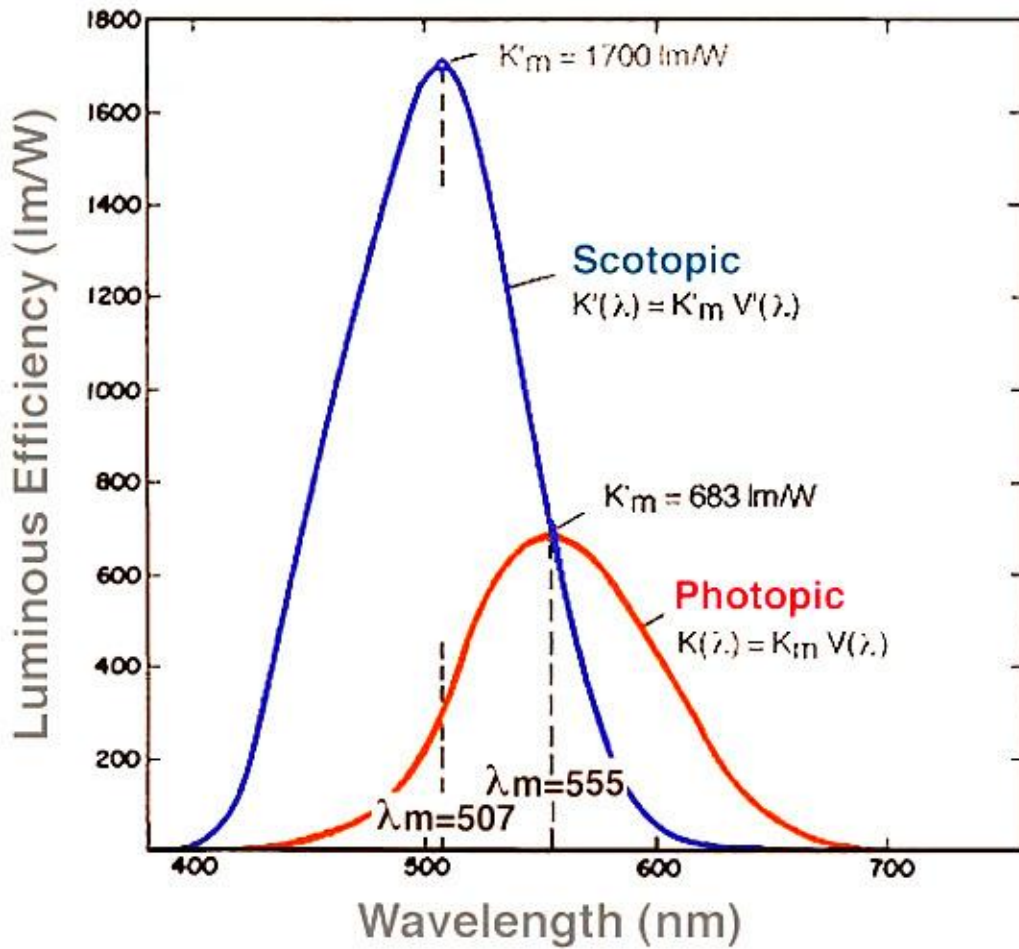


Figure 9. The scotopic and the photopic curves of spectral luminous efficacy (non-normalised values).

effect Purkinje

Curbe normalizate CIE

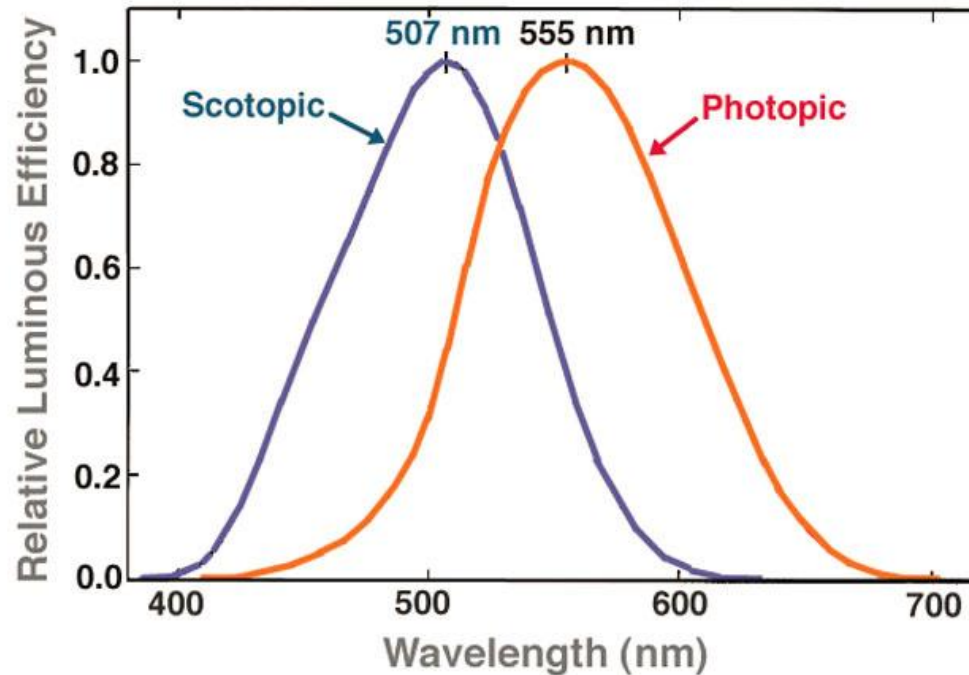


Figure 10. The scotopic and the photopic curves of relative spectral luminous efficiency as specified by the CIE (normalised values).

CIE $V(\lambda)$

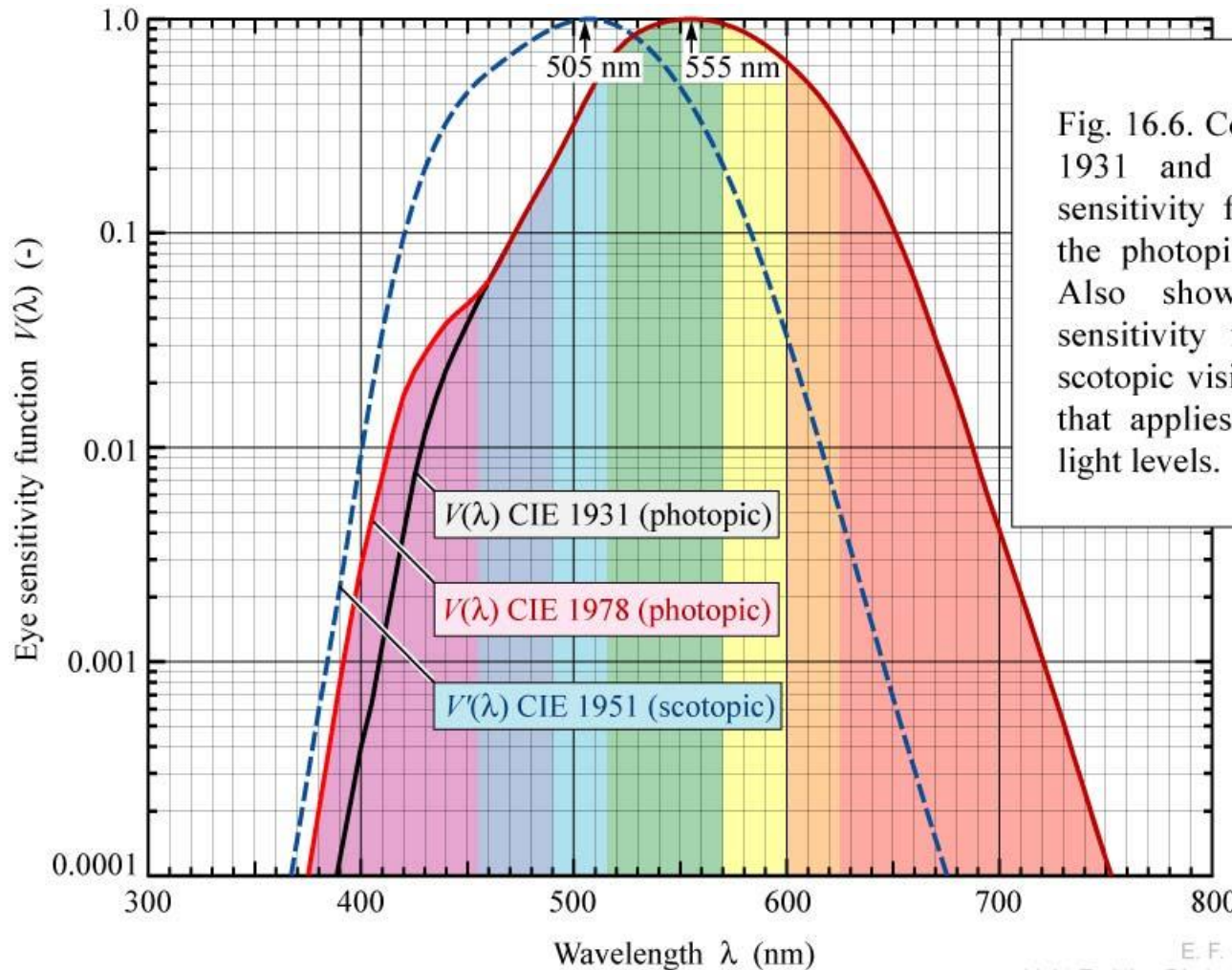
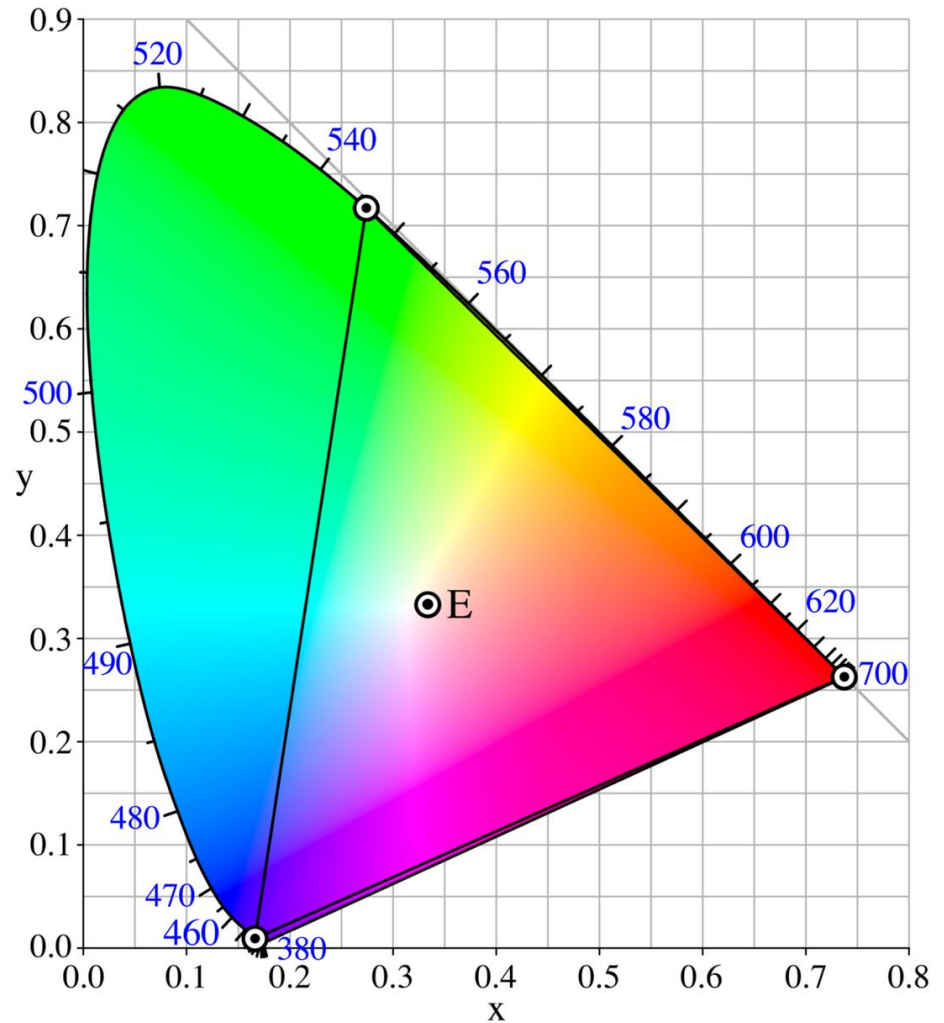
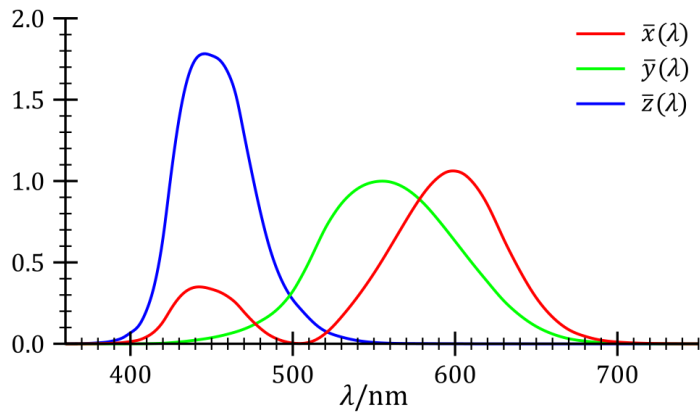
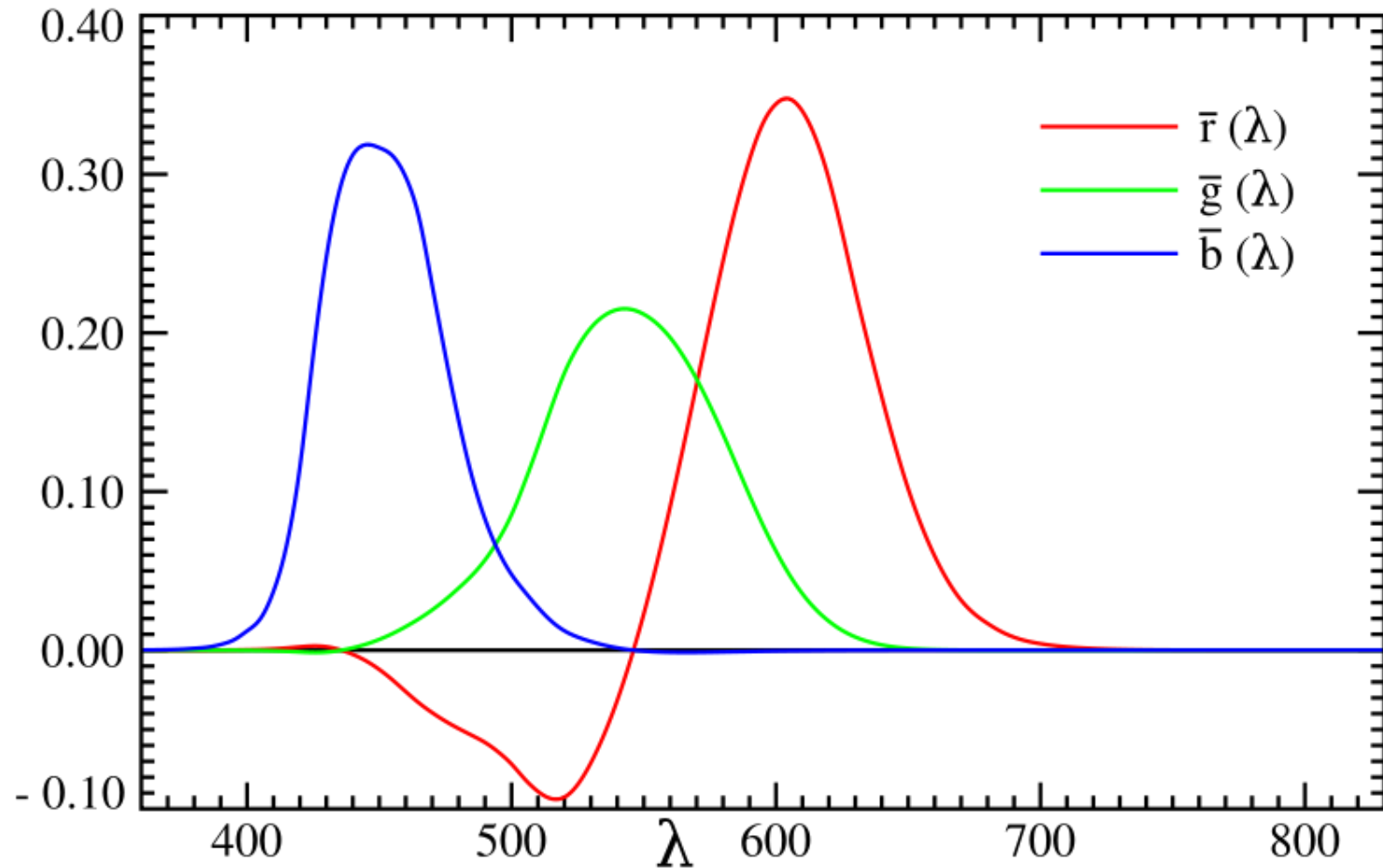


Fig. 16.6. Comparison of CIE 1931 and CIE 1978 eye sensitivity function $V(\lambda)$ for the photopic vision regime. Also shown is the eye sensitivity function for the scotopic vision regime, $V'(\lambda)$, that applies to low ambient light levels.

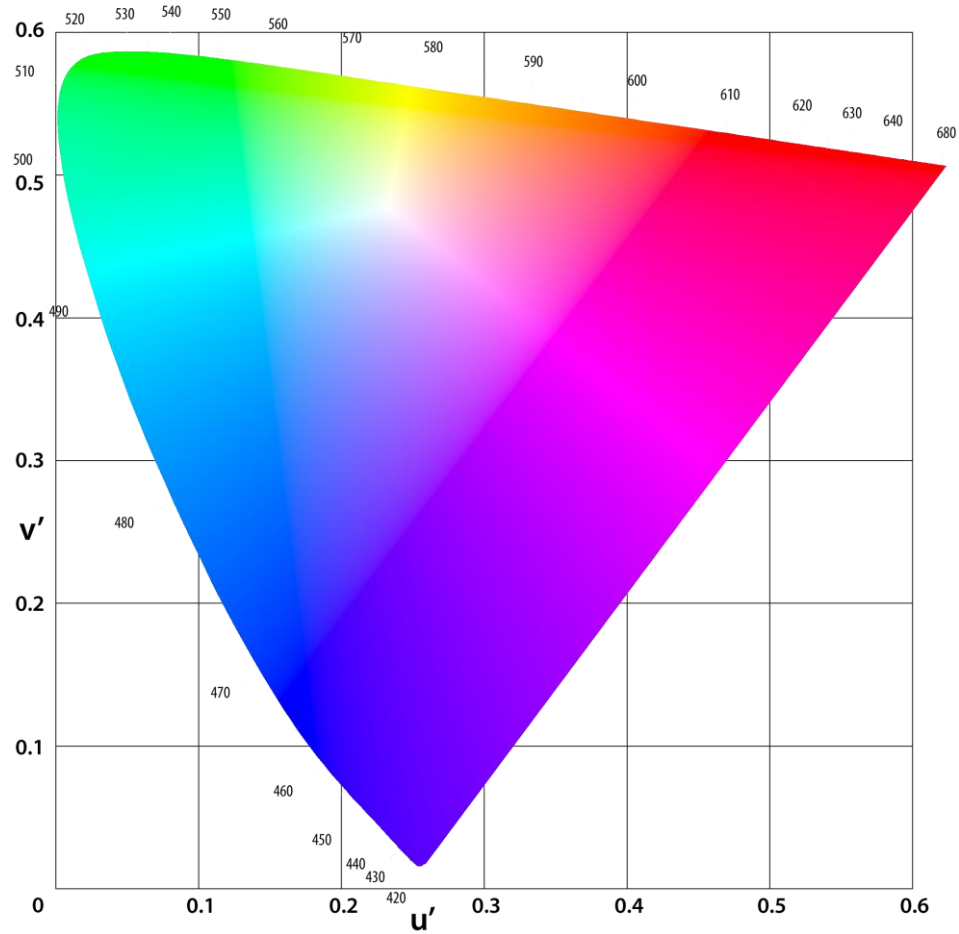
CIE xy 1931



Cantitatea din culorile primare pentru aceeași senzație de culoare



CIE LUV 1976



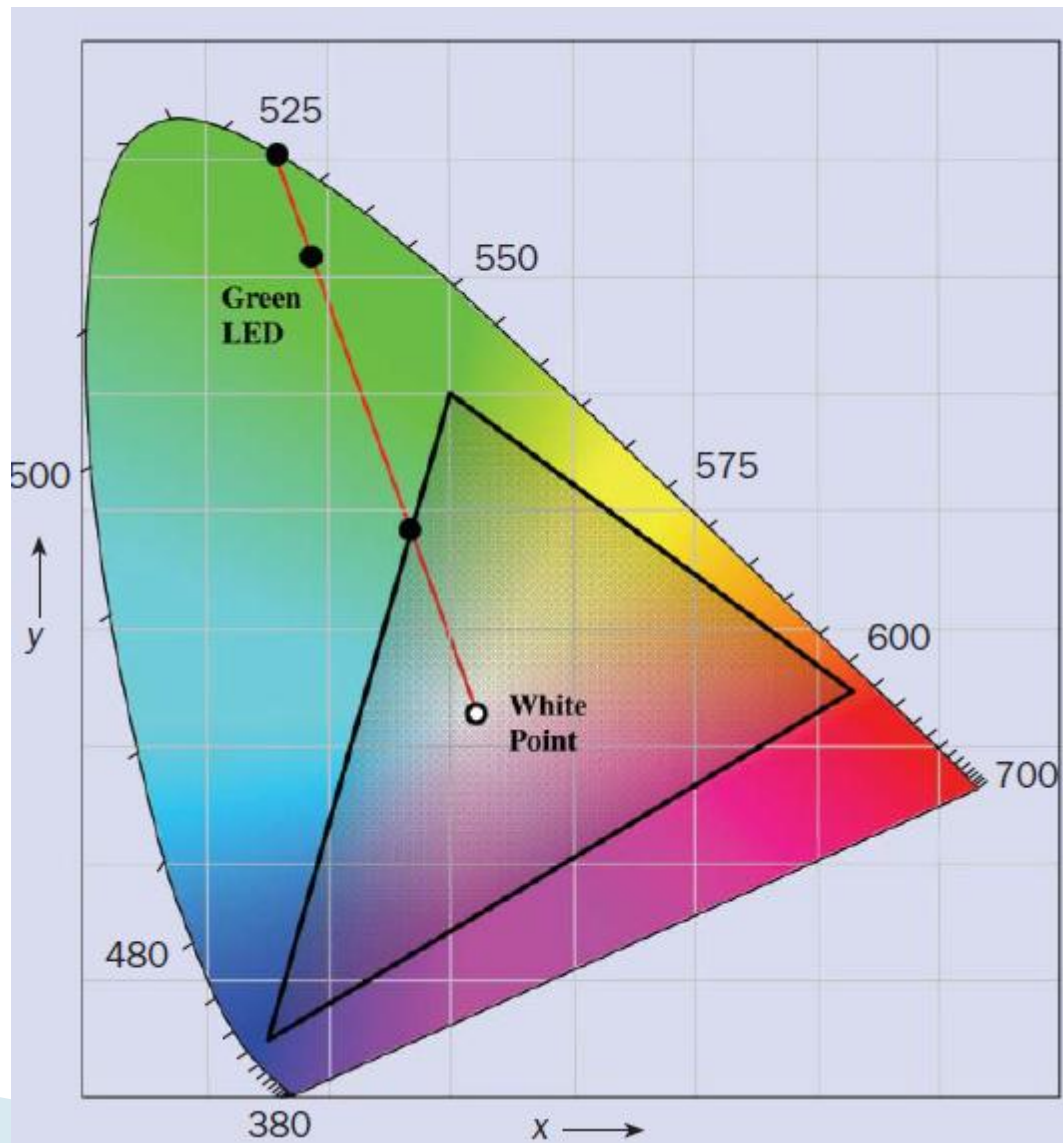
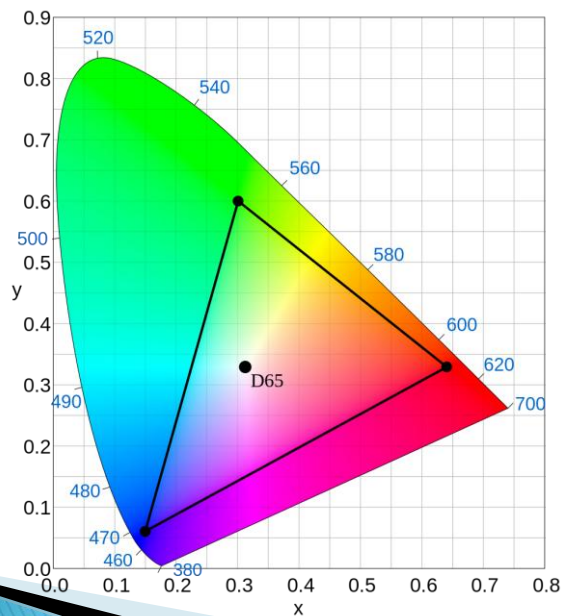
ITU-R BT.709



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].



Determinarea lungimii de unda dominante

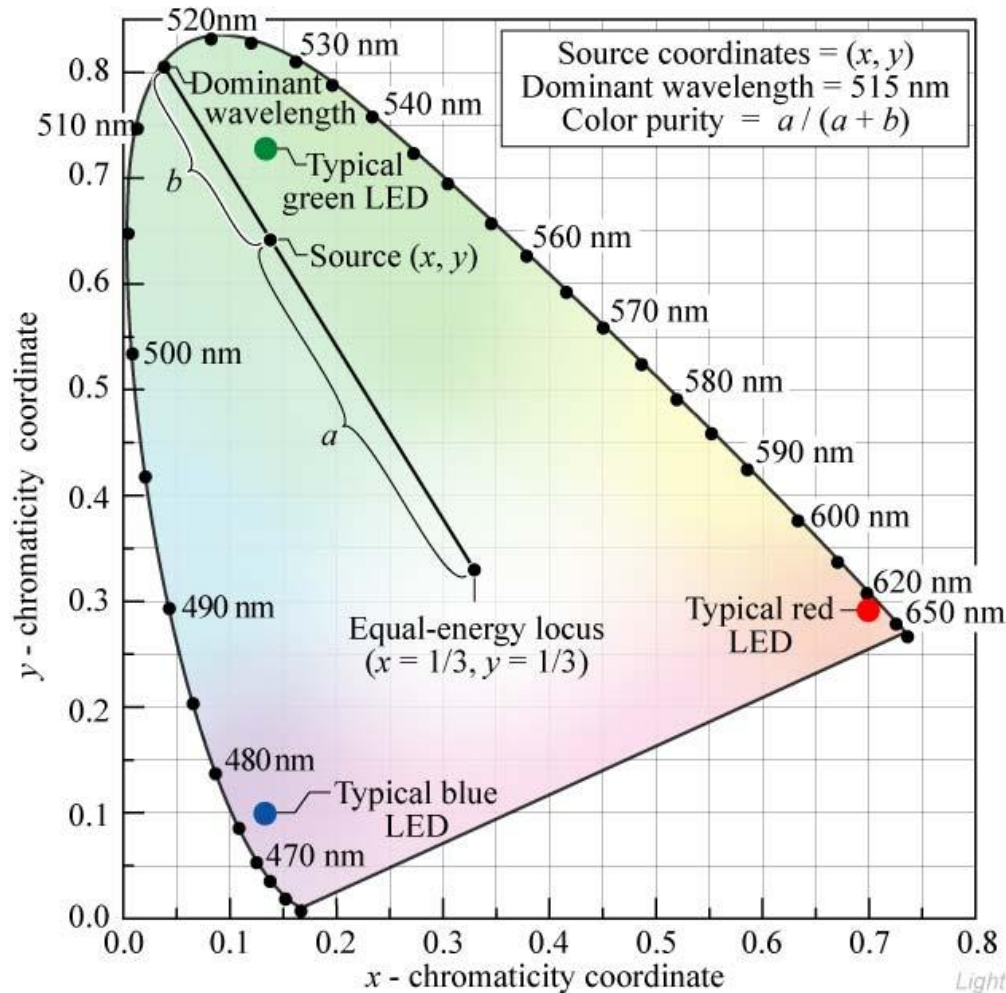


Fig. 17.8. Chromaticity diagram showing the determination of the *dominant color* and *color purity* of a light source with chromaticity coordinates (x, y) using the equal-energy locus ($x = 1/3, y = 1/3$) as the white-light reference. Also shown are typical locations of blue, green, and red LEDs.

ITU-R BT.709

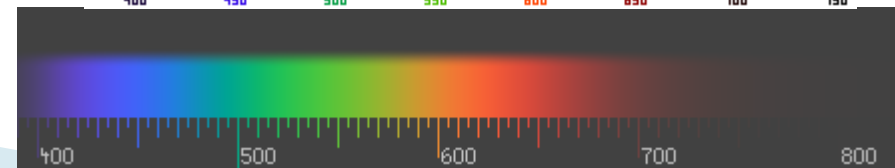
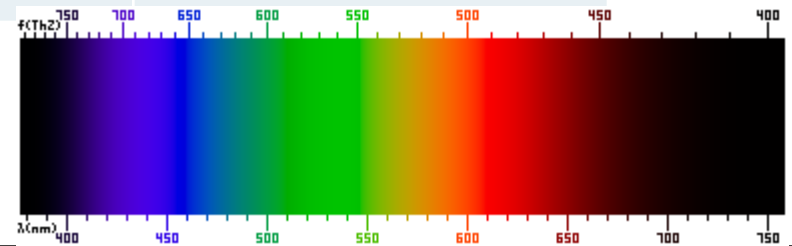


RGB values for Luxeon LEDs

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

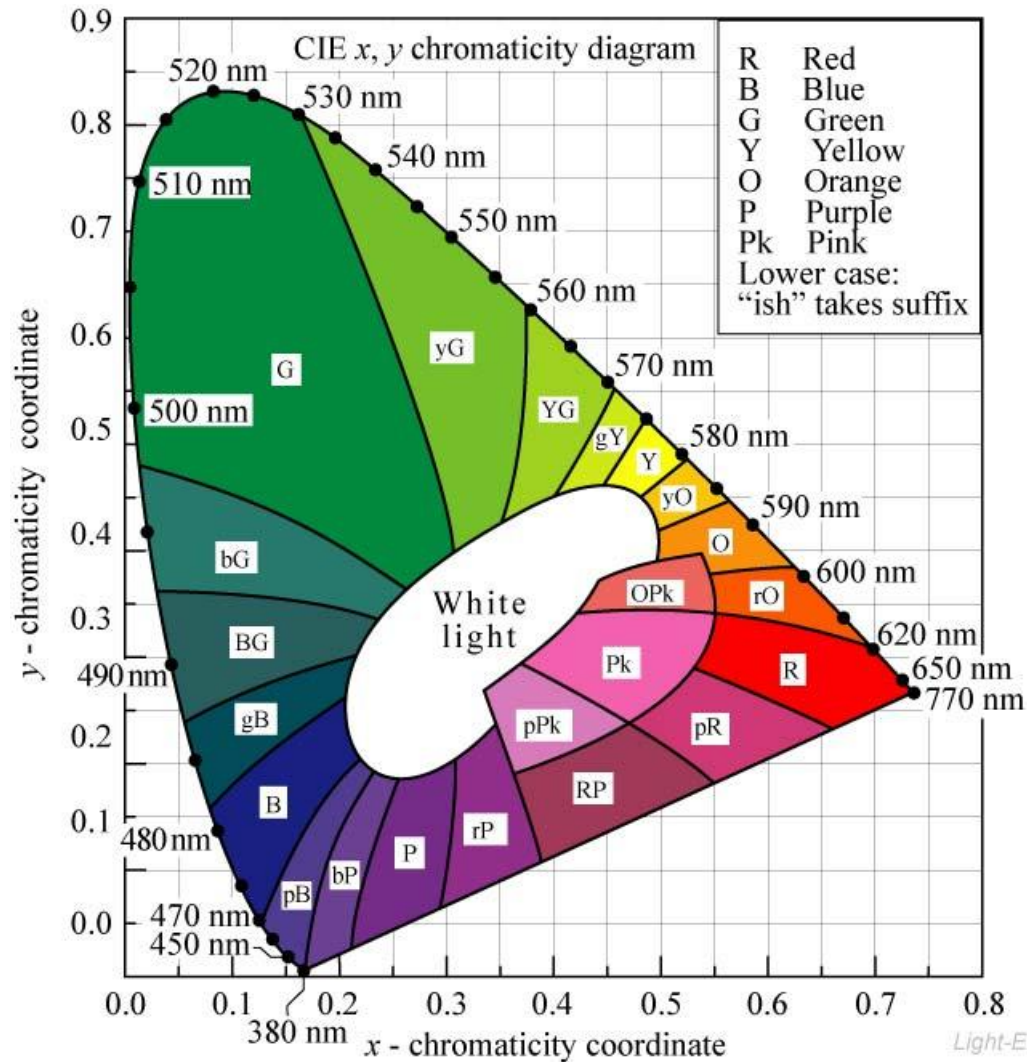


Fig. 17.3. 1931 CIE chromaticity diagram with areas attributed to distinct colors (adopted from Gage *et al.*, 1977).

Interpretarea standard a culorilor

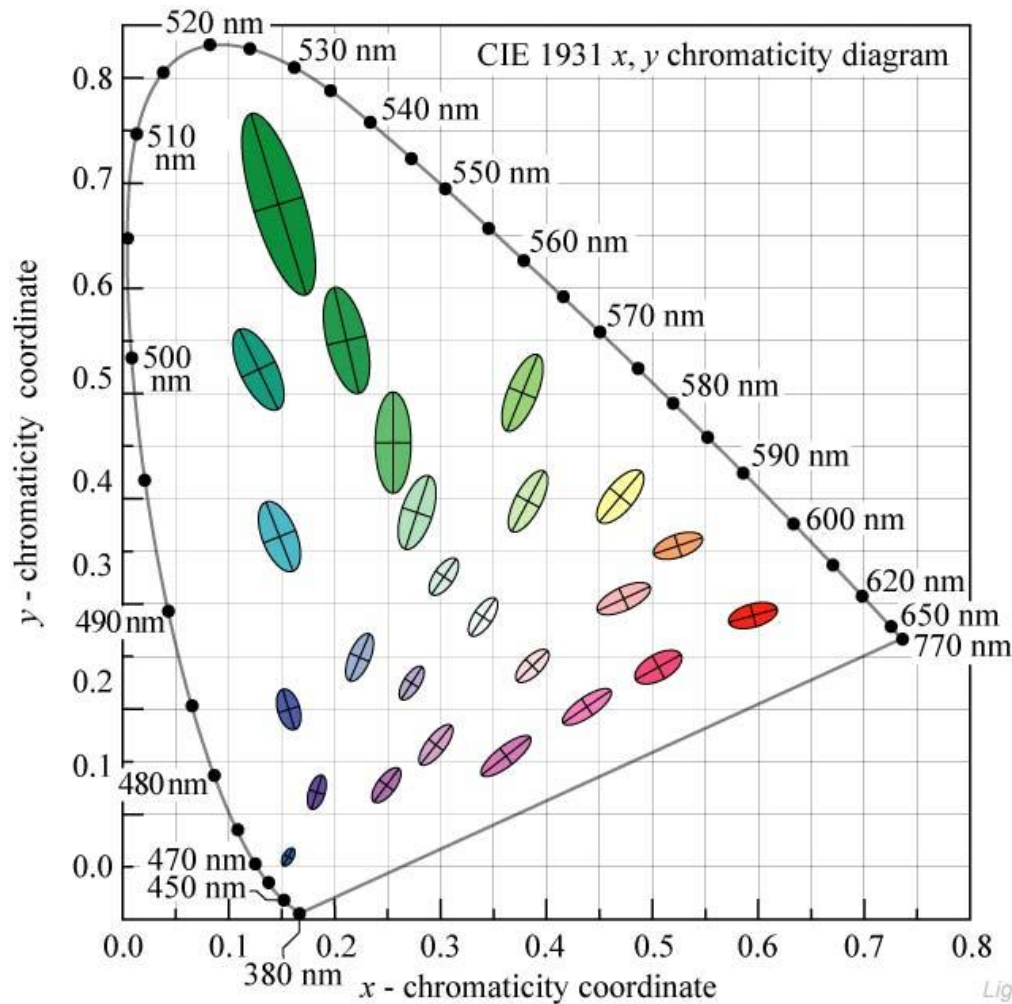


Fig. 17.5. MacAdam ellipses plotted in the CIE 1931 (x, y) chromaticity diagram. The axes of the ellipses are ten times their actual lengths (after MacAdam, 1943; Wright, 1943; MacAdam, 1993).

Temperatura de culoare

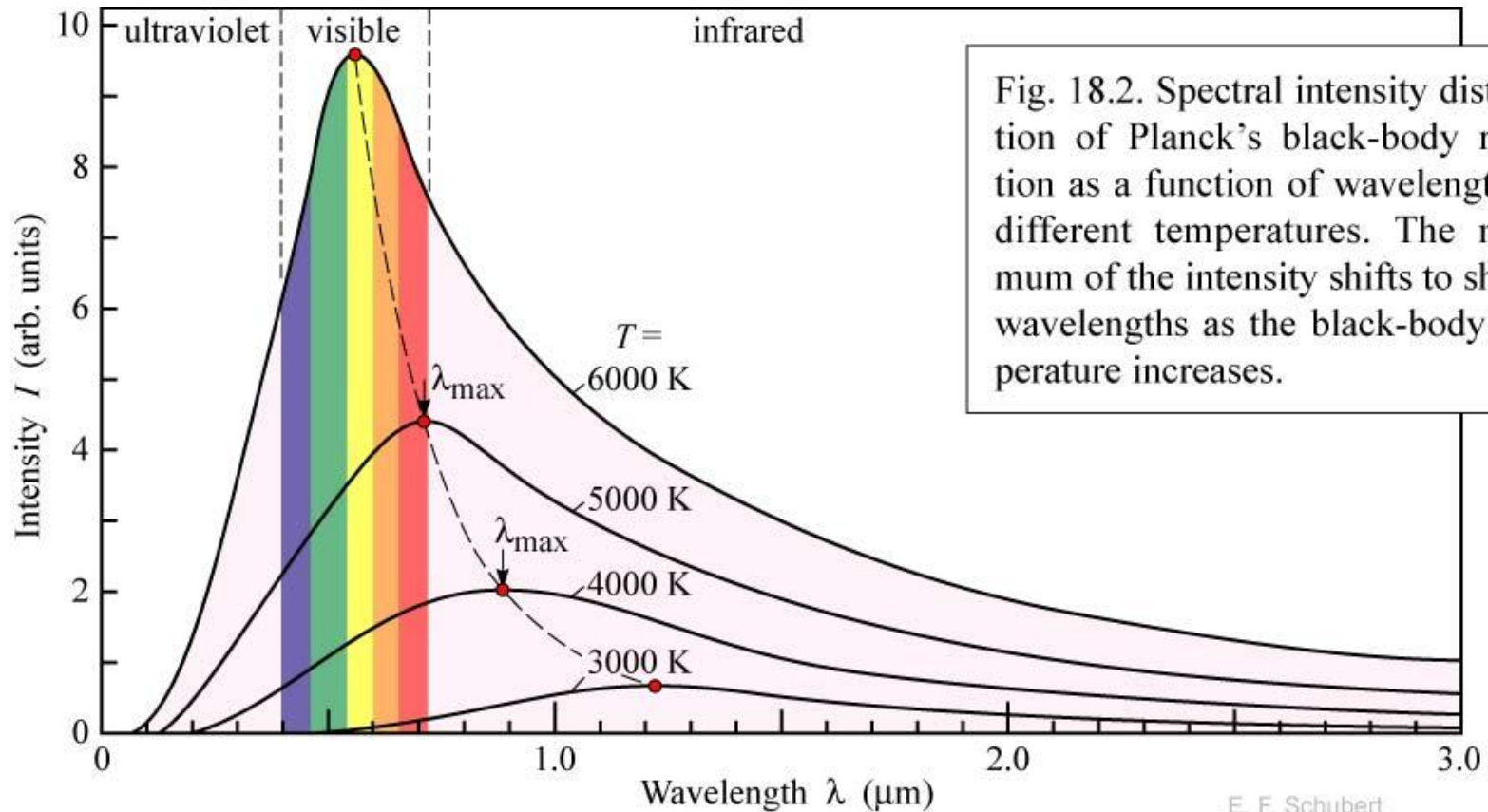
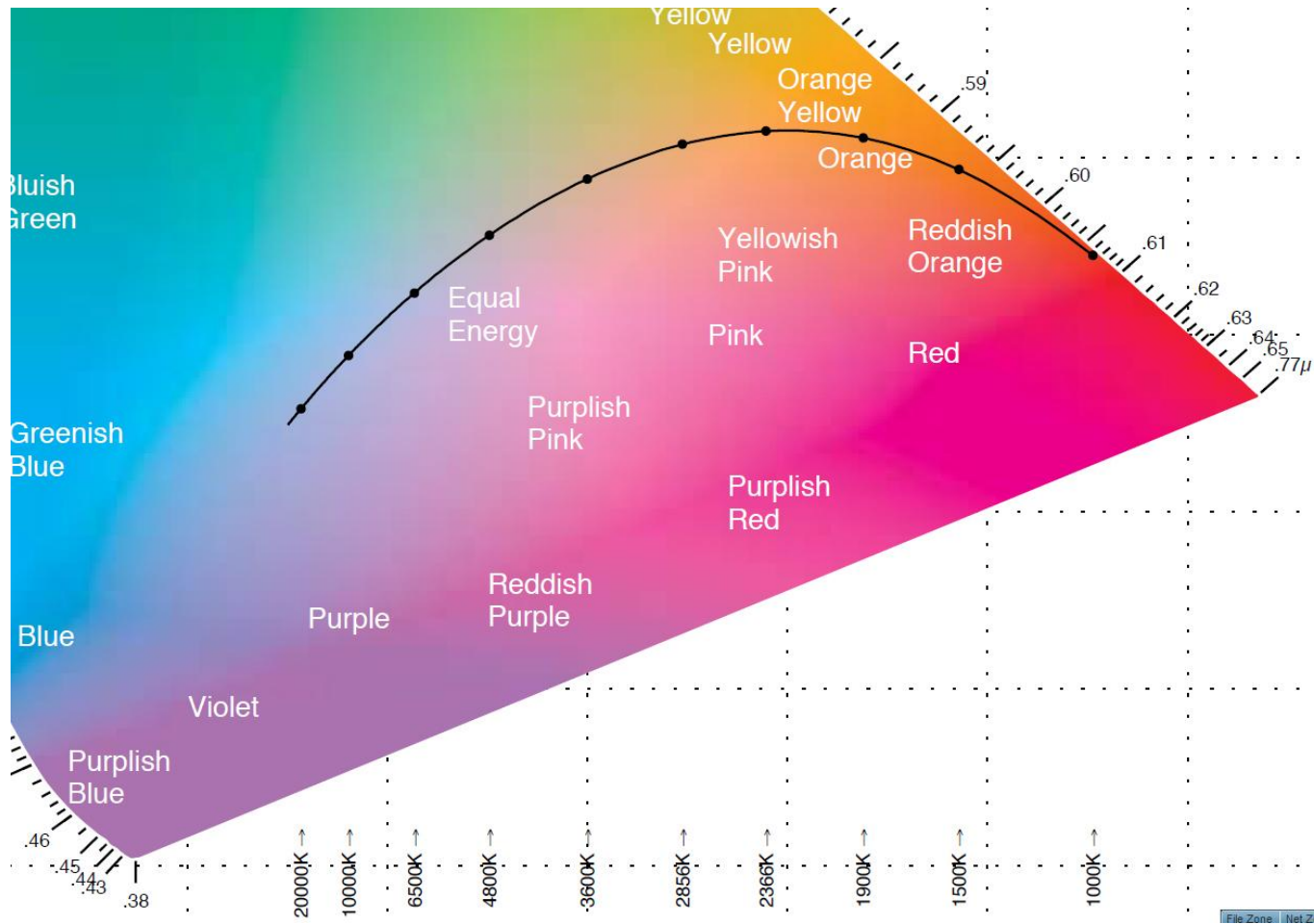
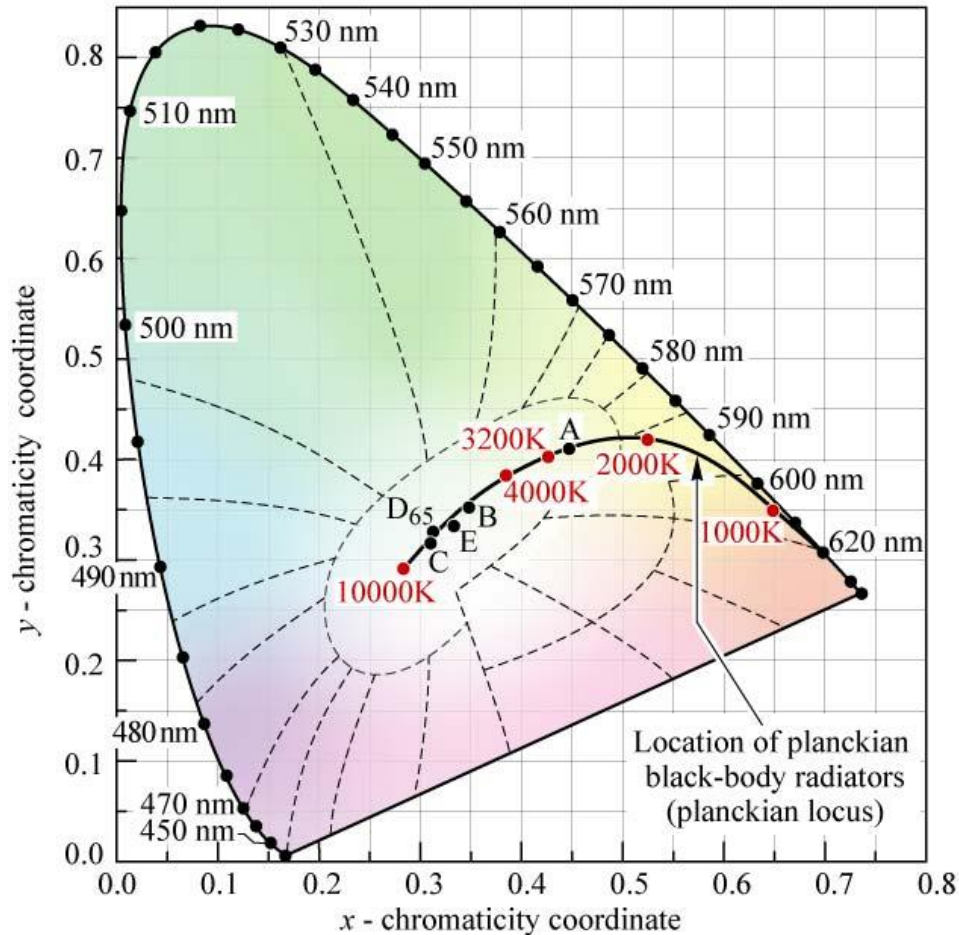


Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.

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

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

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

Relatie radiometrie/fotometrie

▶ Eficienta luminoasa maxima

- scotopic: $K_m' = 1700 \text{ lm/W @ } 505 \text{ nm}$
- fotopic: $K_m = 683 \text{ lm/W @ } 555 \text{ nm}$
 - **683.002** lm/W; $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ ($\lambda = 555.016 \text{ nm}$)

▶ Eficienta luminoasa

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

$$\eta_v' = \frac{\Phi_v [\text{lm}]}{\Phi_e [\text{W}]} = K_m' \cdot V'(\lambda) = 1700 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot V'(\lambda)$$

- ## ▶ Functiile de sensibilitate luminoasa sunt normalizate (valoarea 1 pentru sensibilitate maxima)

Radiometrie / fotometrie

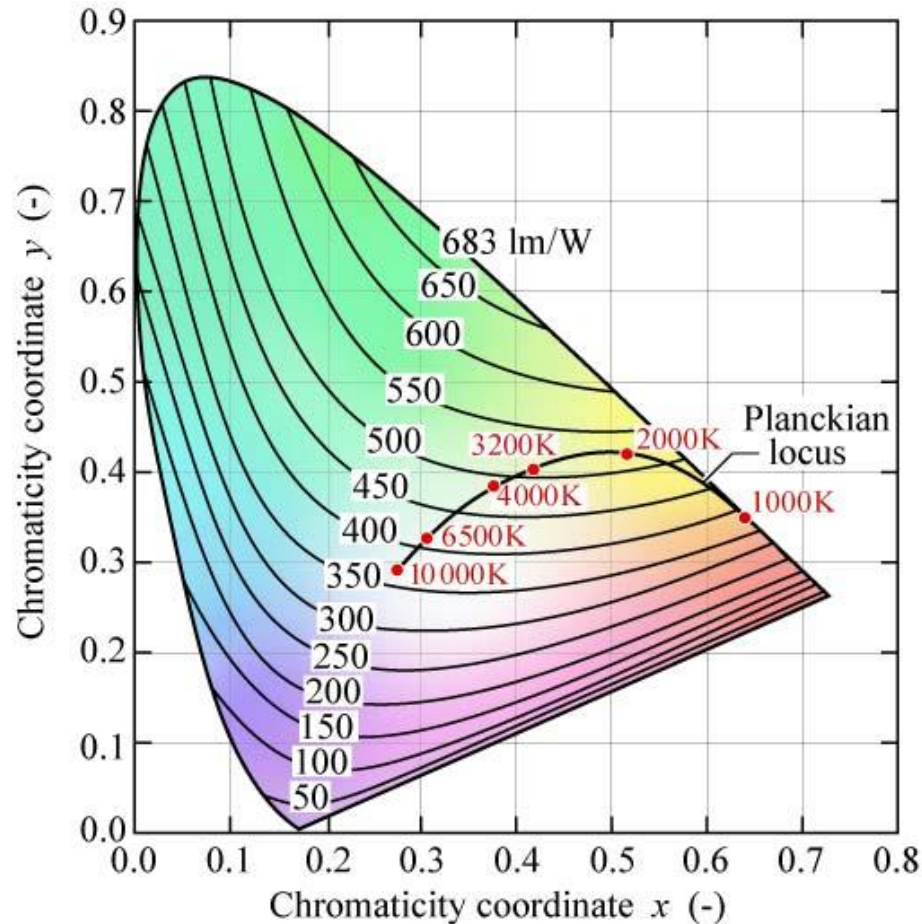


Fig. 16.8. Relation of maximum possible luminous efficacy (lumens per optical Watt) and chromaticity in the CIE 1931 x, y chromaticity diagram (adopted from MacAdam, 1950).

Eficiența luminoasă

	λ	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 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

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>

Contact

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