

Optoelectronică, structuri și tehnologii

Curs 4
2014/2015

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)

Fotografii

Studentii care au trimis fotografiile 🙌👏

Grupa: 5402

Nr.	Nume
1	APETRII MARIA

Grupa: 5403

Nr.	Nume
1	ALEXANDRESCU SEBASTIAN

Grupa: 5404

Nr.	Nume
1	APERGHIS MIHAI-ALIN

Grupa: 5405

Nr.	Nume
1	ANGHELUS MARIU

Studentii care **inca** nu au trimis fotografiile 🙄

Grupa: 5304

Nr.	Nume
-----	------

Grupa: 5402

Nr.	Nume
-----	------

Grupa: 5403

Nr.	Nume
-----	------

Grupa: 5404

Nr.	Nume
-----	------

Fotografii

FLORESCU DAN-CONSTAN



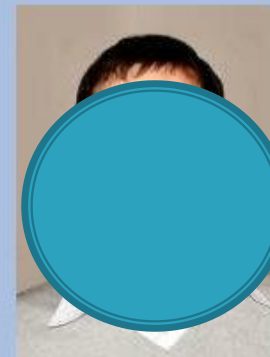
Date:

Grupa	5405 (2008)
Specializarea	Tehnologii si sisteme
Marca	3275

Note obtinute

Disciplina	Tip	Data	Descriere	Nota	Ob
DCMR	Dispozitive si circuite de microunde pentru radiocomunic				
	Nota	19/06/2009	Nota finala	10	
	Exam	19/06/2009	Examen DCMR	9	
	Tema	05/06/2009	Proiect DCMR	10	

FLORESCU DAN-CONSTA



Date:

Grupa	5405 (2008)
Specializarea	Tehnologii si sisteme
Marca	3275

Detalii

Finantare	Buget
Bursa	Bursa de Studii
Domiciliu	Iasi, judet Iasi
Promovare	Promovare Integrala
Credite	60
Media	8.86

Reprezentare logaritmică

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Calculul atenuarii

$$\text{Pierderi} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

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

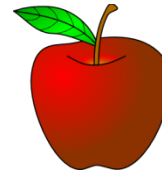
$$\text{Pierderi [dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-



$$\text{Atenuare [dB/km]} = \frac{\text{Pierderi [dB]}}{\text{lungime [km]}}$$

Lumina ca undă electromagnetică

Capitolul 2

Parametri, dependenta de mediu

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

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

$n = 1$

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

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

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

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

$n = \sqrt{\varepsilon_r}$

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

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

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"

Fotometrie și radiometrie

Capitolul 4

Flux energetic

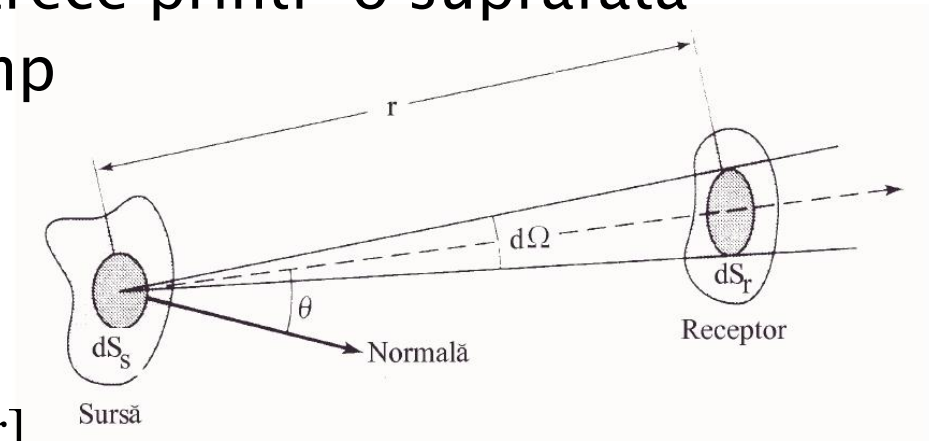
► Flux energetic al luminii

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

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

► Unghi solid

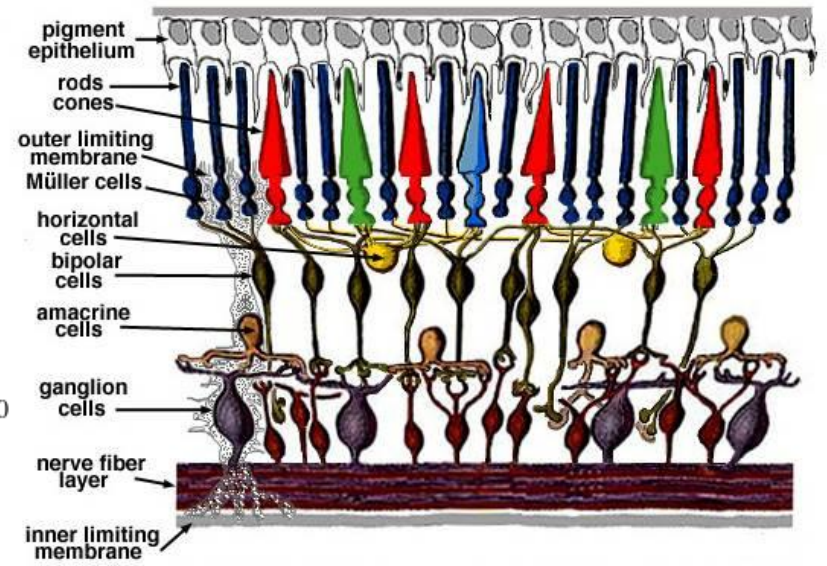
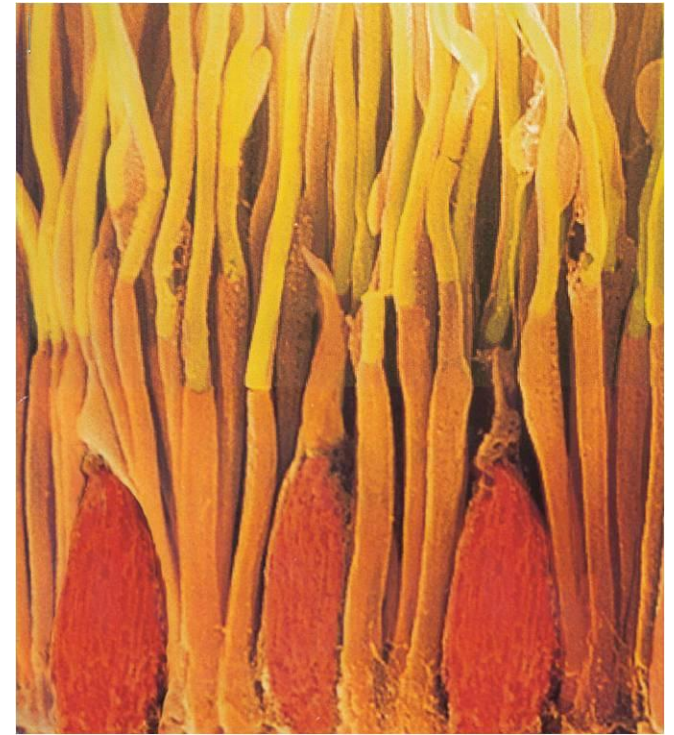
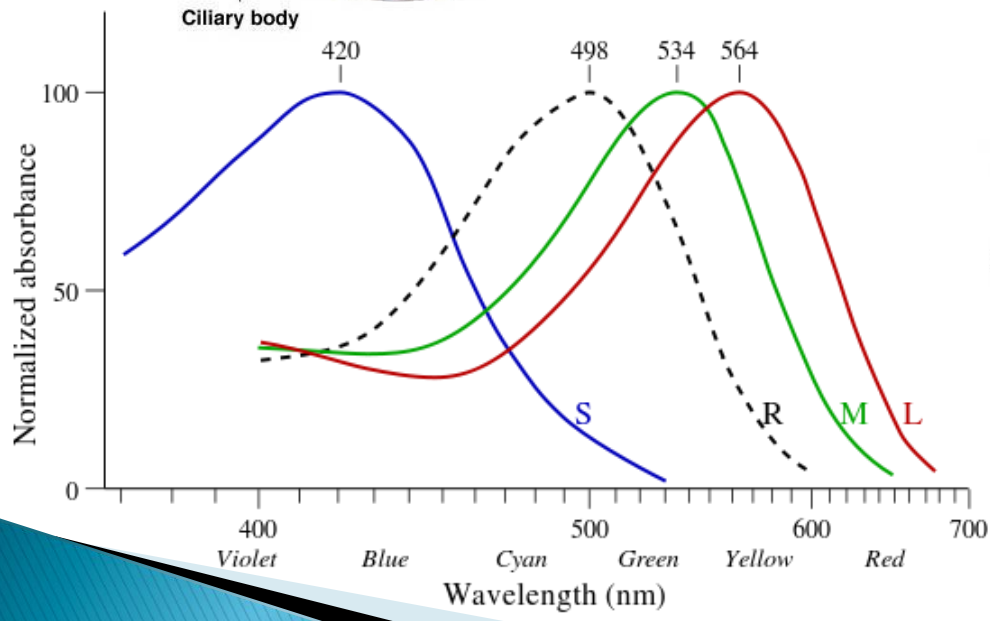
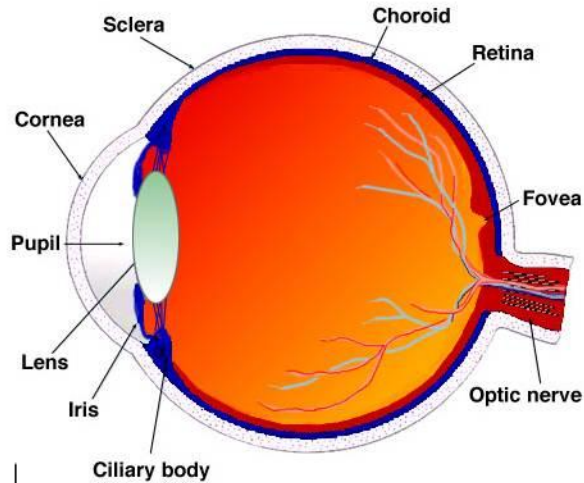
- definitie $\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [sr]$
- valoarea maxima, sfera: $\Omega = 4\pi \text{ sr}$
- pentru con cu deschiderea la varf 2ϕ : $\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \phi)$
- pentru unghiuri mici: $\Omega = \pi \cdot \phi^2$



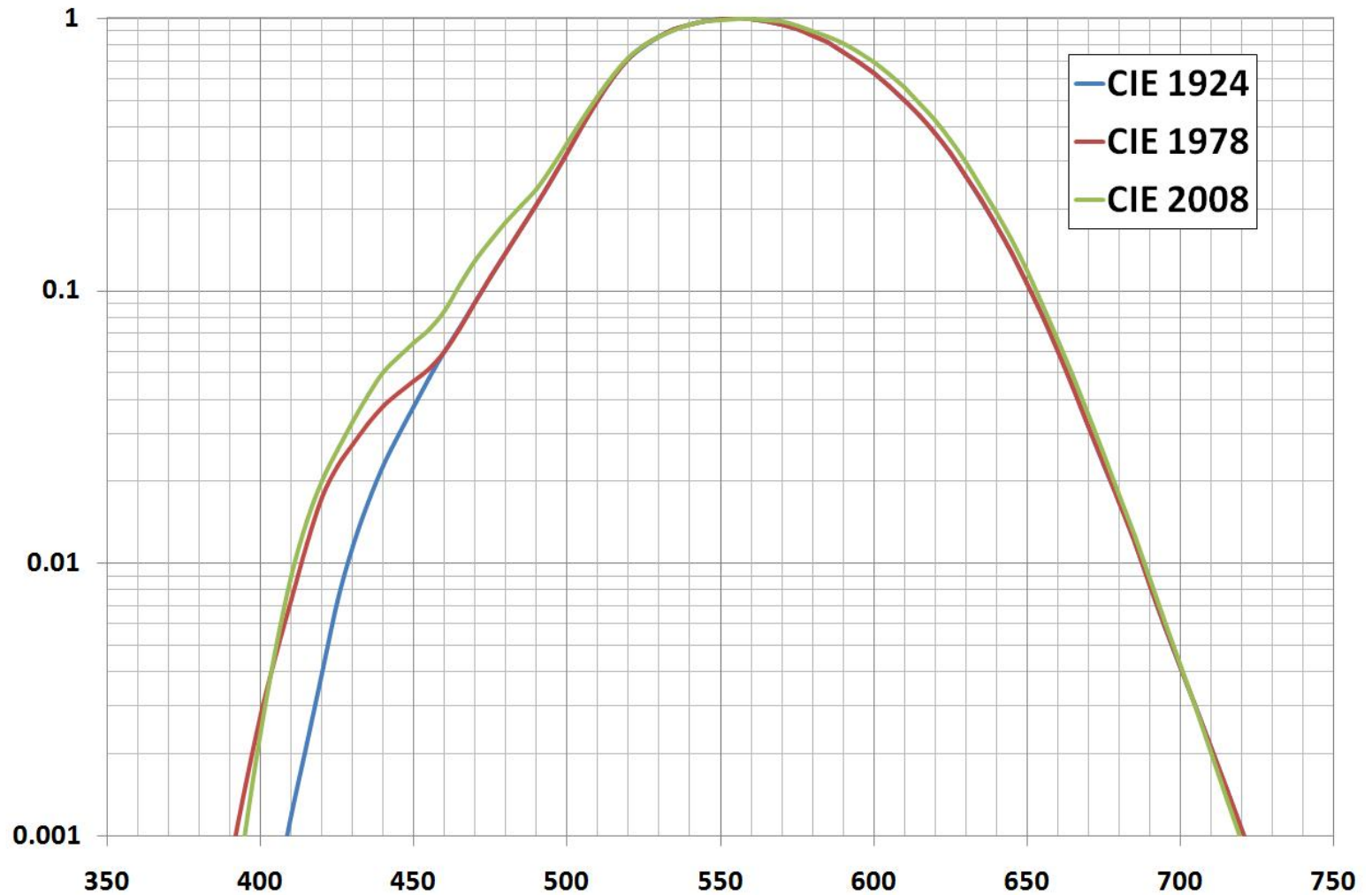
Flux luminos

- ▶ 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

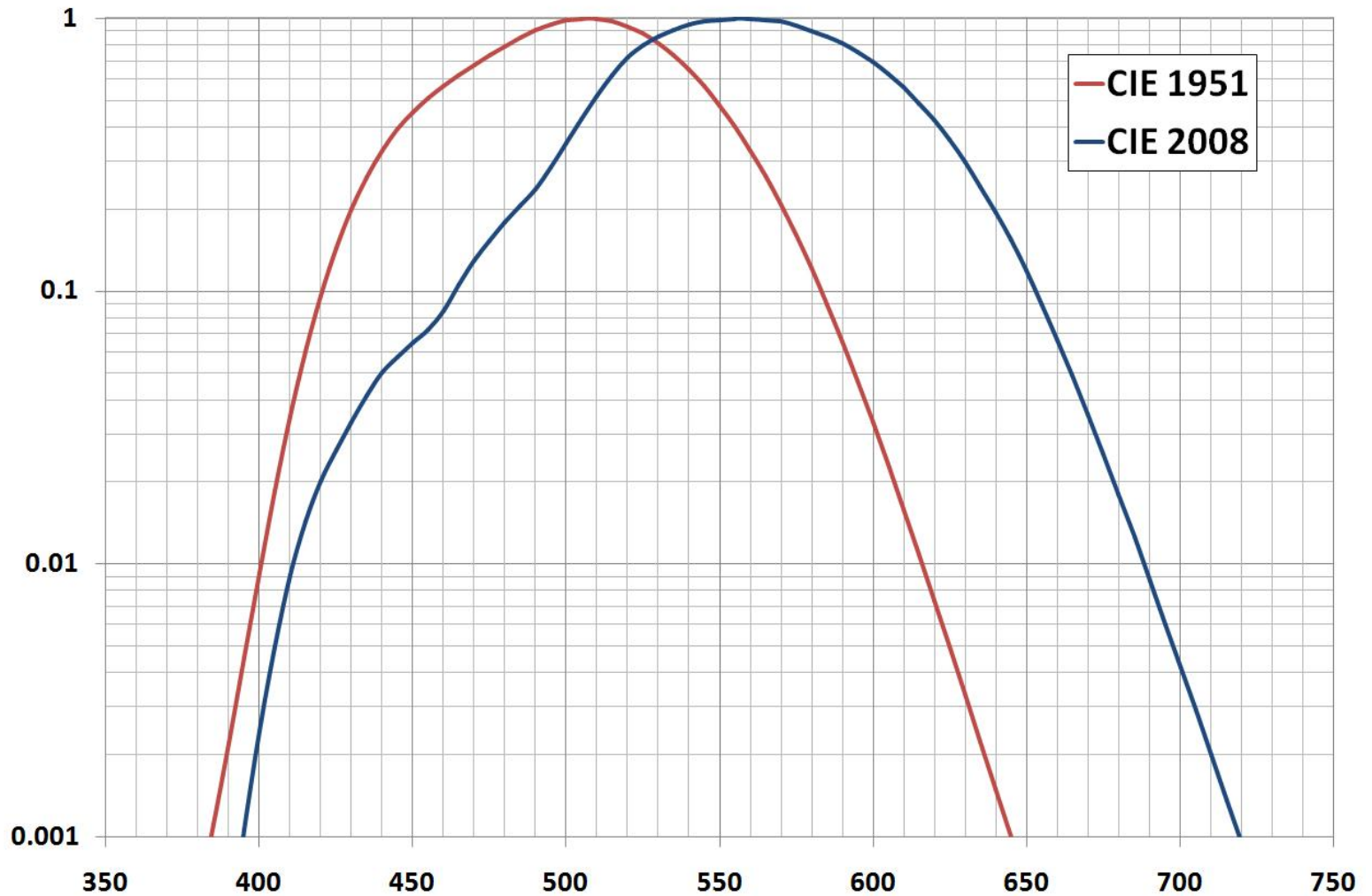
Ochiul uman



CIE $V(\lambda)$ fotopic



CIE $V(\lambda)$ fotopic / scotopic



Eficiența luminoasă relativă $V(\lambda)$

	λ	fotopic CIE 1924	fotopic CIE 2008	scotopic CIE 1951
Violet	400	0.000396	0.00245219	0.00929
Indigo	445	0.0298	0.0574339	0.3931
Albastru	475	0.1126	0.153507	0.734
Verde	510	0.503	0.520497	0.997
Galben	570	0.952	0.973261	0.2076
Portocaliu	590	0.757	0.811587	0.0655
Rosu	650	0.107	0.119312	0.000677

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)

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

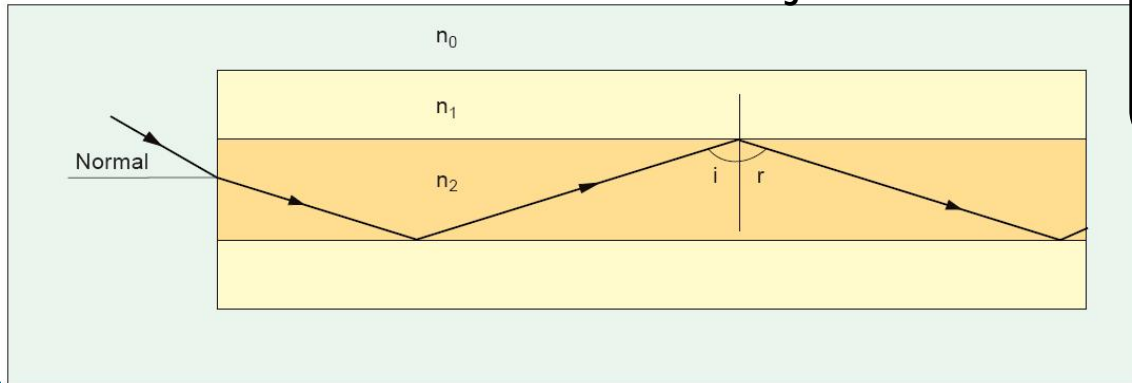
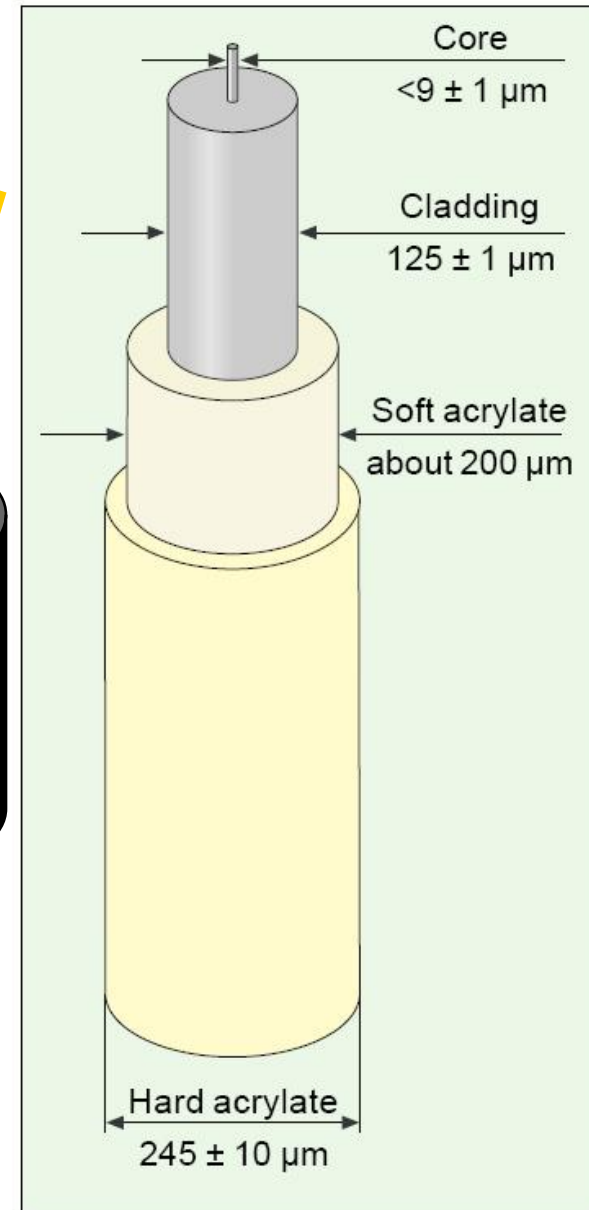
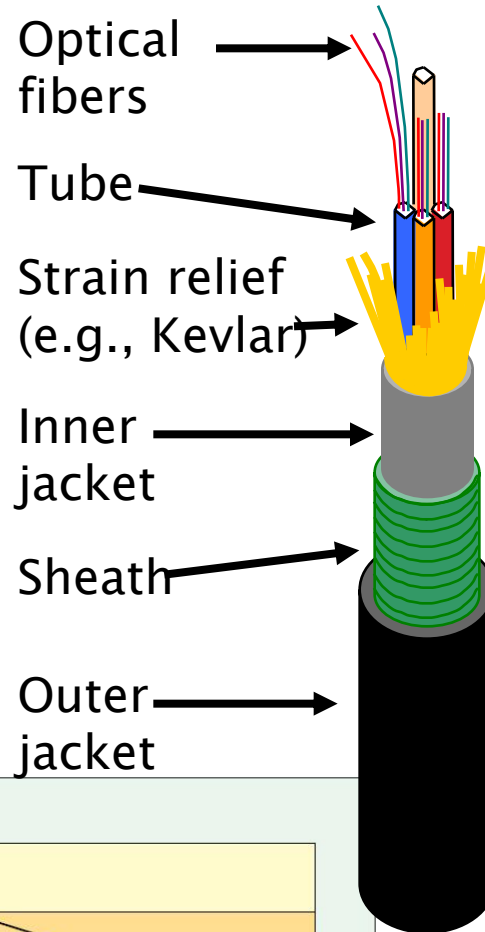
- ▶ Trebuie să proiectați un semafor cu LED-uri. LED-urile care intră în componența sa sunt caracterizate de eficiență cuantică egală (aceeași tehnologie), iar parametrii de catalog pentru LED-ul roșu sunt ...
- ▶ Proiectați semaforul, pentru a obține o iluminare la 5m, pe direcție normală, de 50 lx 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>

Fibra optică

Capitolul 5

Fibra optica

- ▶ un ghid de unda dielectric
 - miez
 - teaca



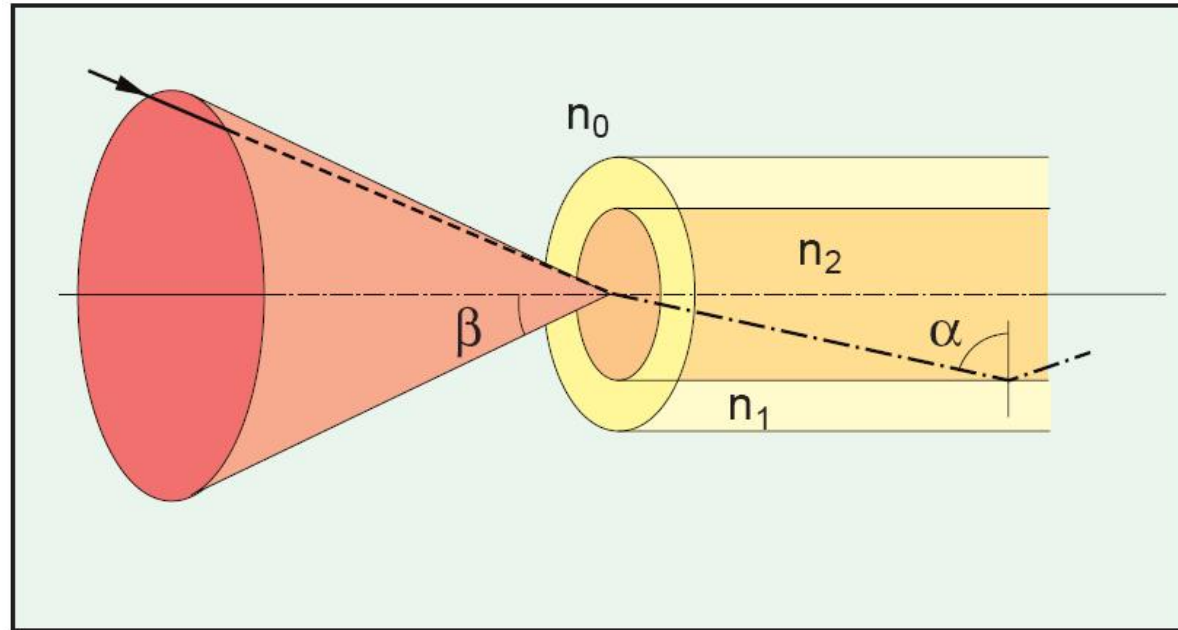
Unghi de acceptanta, apertura numerica

- ▶ Unghi de acceptanta

$$n_0 \cdot \sin \theta_{ACC} = n_2 \cdot \sin \phi_c$$

- ▶ Apertura numerica

$$NA = n_0 \cdot \sin \theta_{ACC}$$

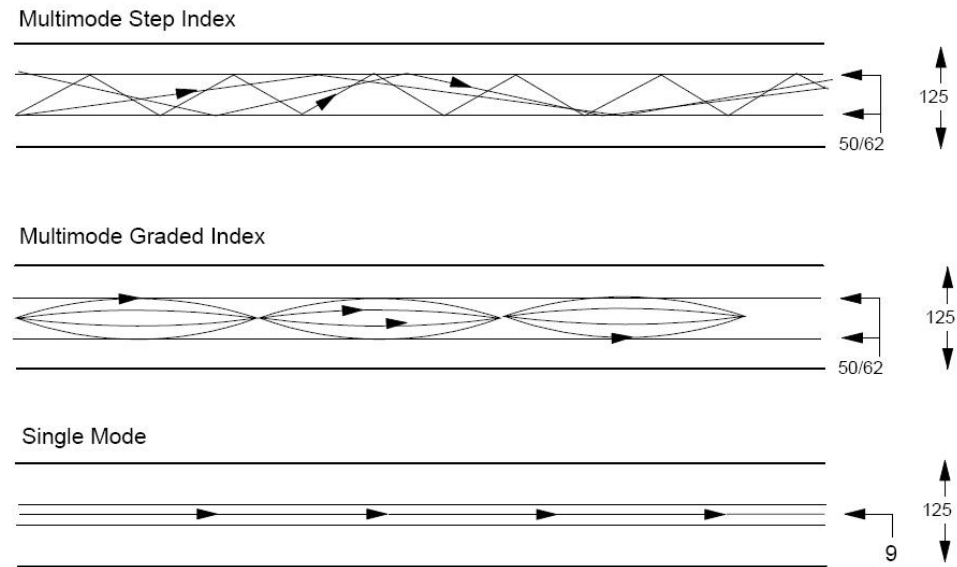
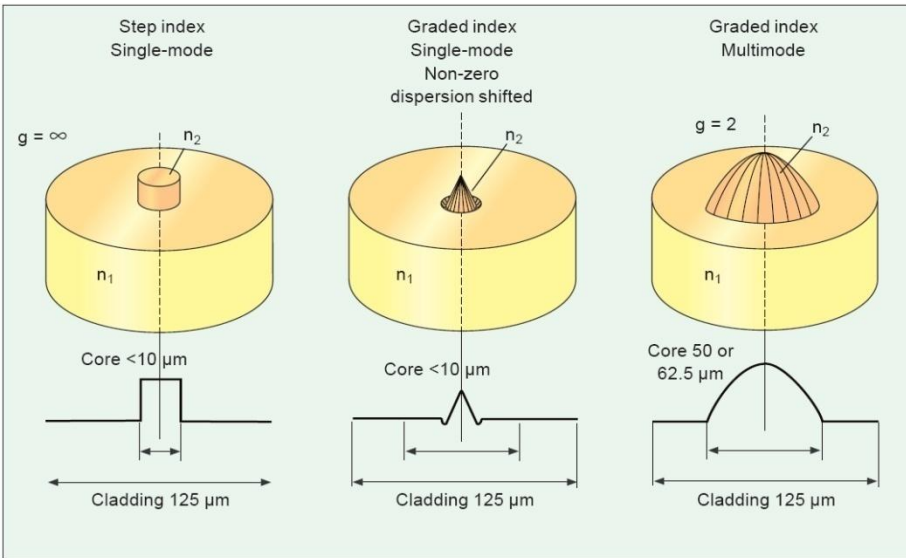
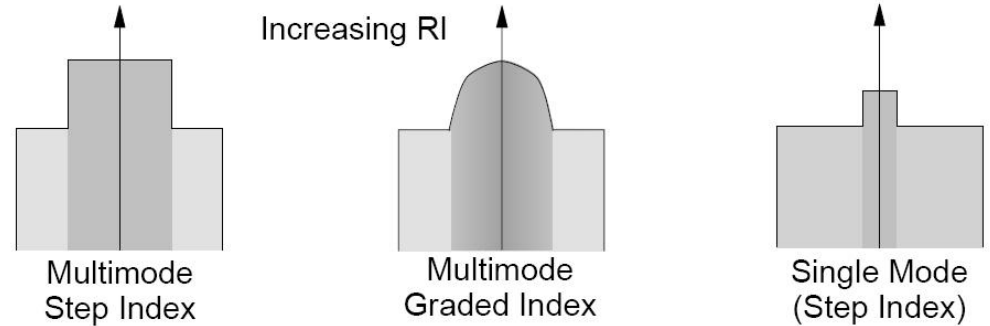


$$NA = n_2 \sqrt{\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2}} = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$$

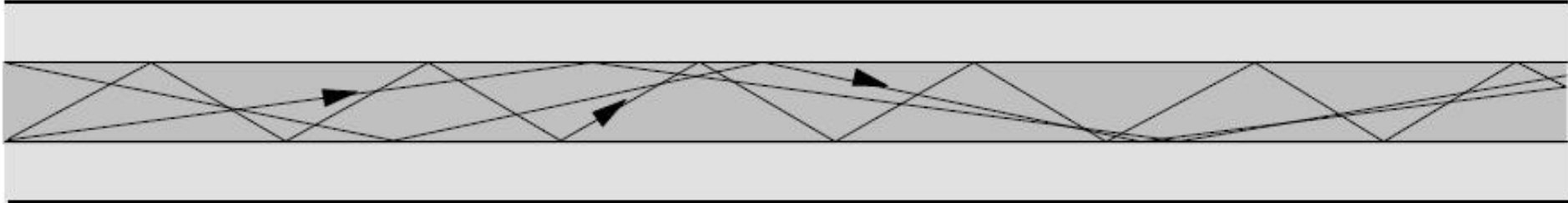
n_2 - miez
 n_1 - teaca
 $n_2 > n_1$!!

Tipuri de fibra

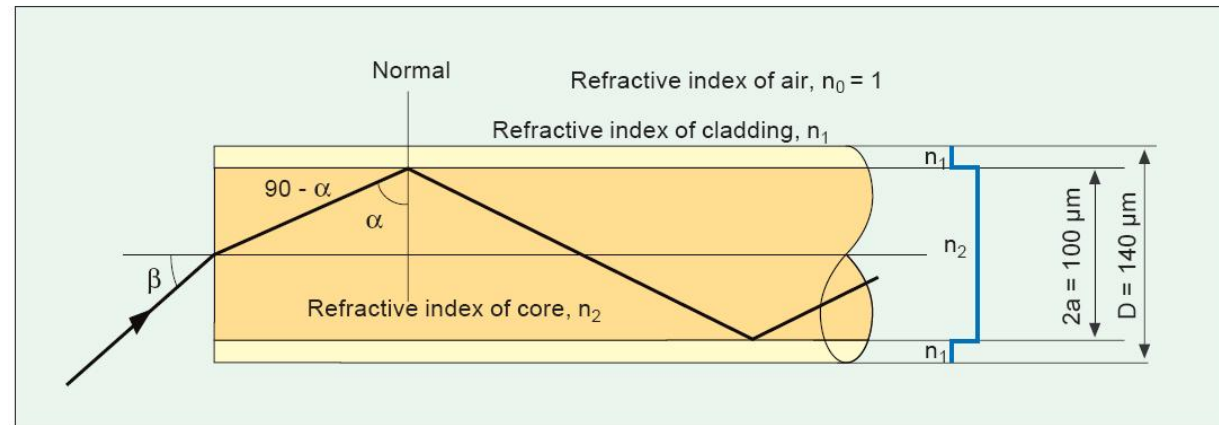
- ▶ Monomod
- ▶ Multimod
 - cu salt de indice
 - cu indice gradat



Fibre multimod cu salt de indice

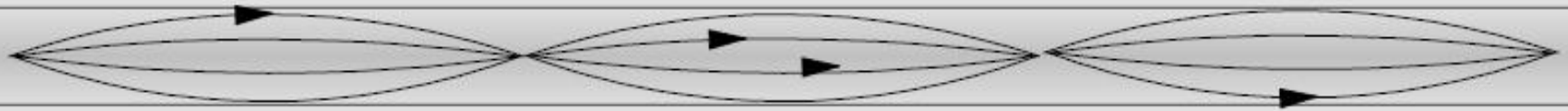


- ▶ 50/125 sau 62.5/125 (μm)
- ▶ 15–50 MHz · km

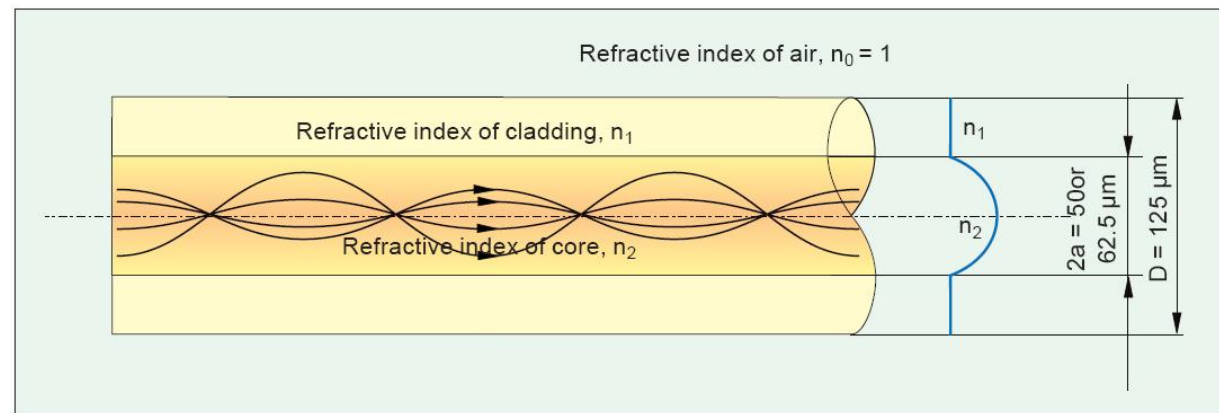


	glass	plastic
core diameter $2a$	100 μm	980 μm
cladding diameter D	140 μm	1000 μm
core refractive index n_2	1.48	
cladding refractive index n_1	1.45	

Fibre multimod cu indice gradat

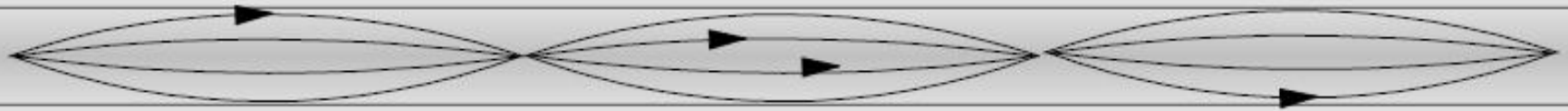


- ▶ 50/125 sau 62.5/125 (μm)
- ▶ 700–1200 MHz · km



Core diameter $2a$	50 or 62.5 μm
Cladding diameter D	125 μm
Maximum refractive index, core	1.46
Relative differential refractive index	0.010

Fibre multimod cu indice gradat

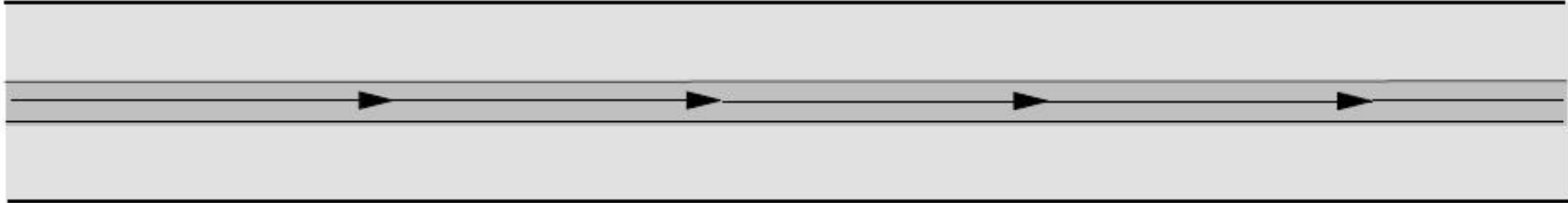


$$n(r) = n_2 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right]$$

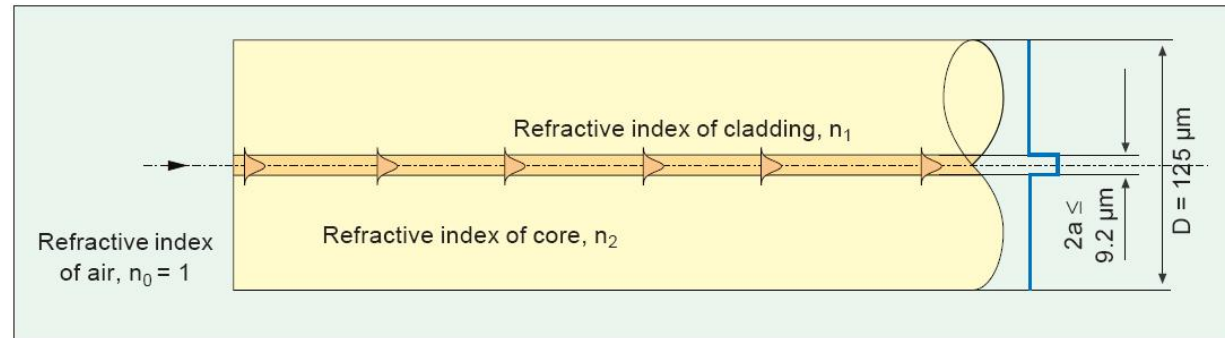
$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_2^2} = \frac{n_2^2 - n_1^2}{2n_2^2} \approx \frac{n_2 - n_1}{n_2} \approx \frac{\Delta n}{n} \quad \text{for } \Delta \ll 1$$

- ▶ $g = 1$ - indice gradat triunghiular
- ▶ $g = 2$ - indice gradat parabolic
- ▶ $g = \infty$ - salt de indice

Fibre monomod



- ▶ 6–8/125 (μm)
- ▶ MHz · km
nerelevant
- ▶ MFD – Mode
Field Diameter



Cladding diameter D	125 μm
Core refractive index n_2	1.4485
Cladding refractive index n_1	1.4440
Refractive index differential	0.003 = 0.3%

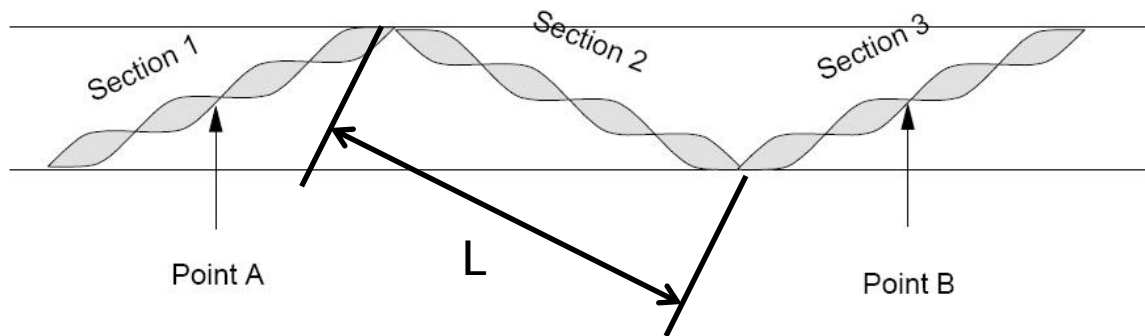
Frecventa normalizata

▶ Frecventa normalizata

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = k \cdot a \cdot NA \quad a - \text{raza miezului}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

▶ Numar de moduri

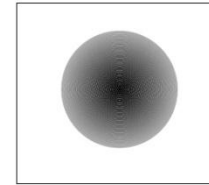


$$L = m \cdot \lambda$$

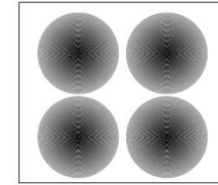
$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

Moduri in fibra

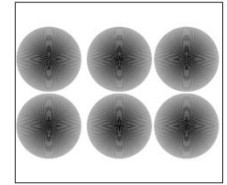
- ▶ Moduri in ghid rectangular



TEM₀₀

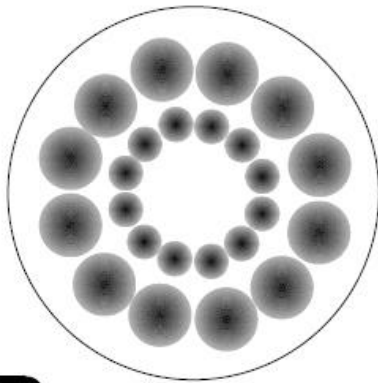


TEM₁₁

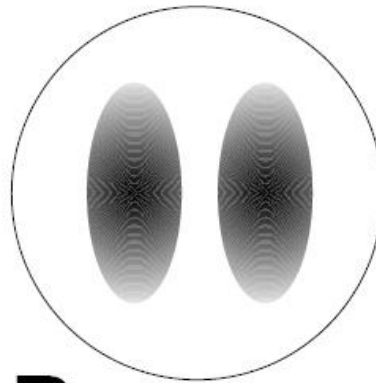


TEM₂₁

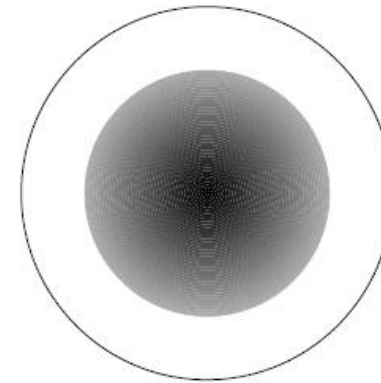
- ▶ Moduri linear polarizate in fibra



LP₆₂

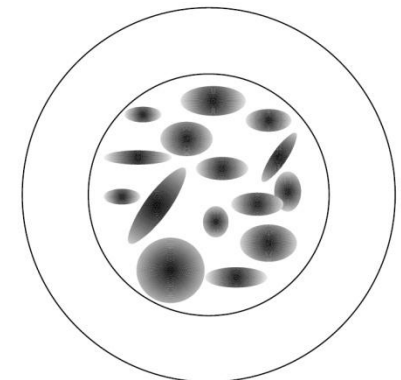


LP₁₁



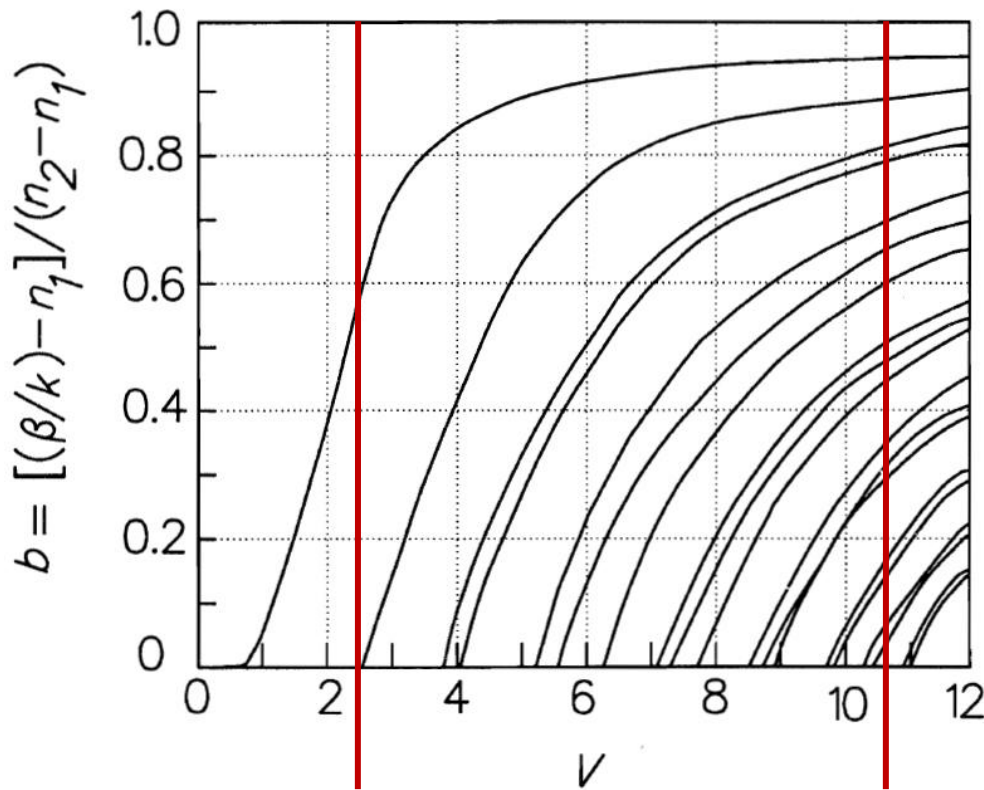
LP₀₁

“Sparkle” pattern



Frecventa normalizata – monomod

► Fibre monomod



b – coeficient de propagare modal relativ

$$V \leq V_c = 2.405$$

exista un singur mod (solutii fc. Bessel)

$$\lambda \geq \lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA = \pi \frac{2a}{2.405} NA$$

Exemplu:

$$2a = 8.5 \mu\text{m}$$

$$NA = 0.11$$

$$\lambda_c = \pi \frac{8.5}{2.405} 0.11 = 1210 \text{nm}$$

Frecventa normalizata

- ▶ Numar de moduri
 - Multimod cu salt de indice

$$g = \infty \Rightarrow N \approx \frac{V^2}{2}$$

- Multimod cu indice gradat

$$g = 2 \Rightarrow N \approx \frac{V^2}{4}$$

- Monomod

$$V \leq V_c = 2.405 \quad \text{exista un singur mod (solutii fc. Bessel)}$$

$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

Exemplu

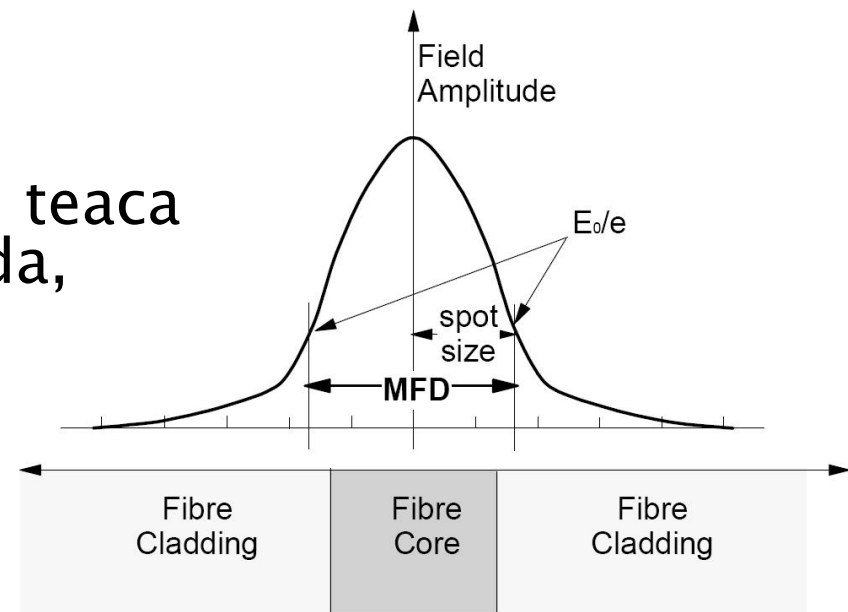
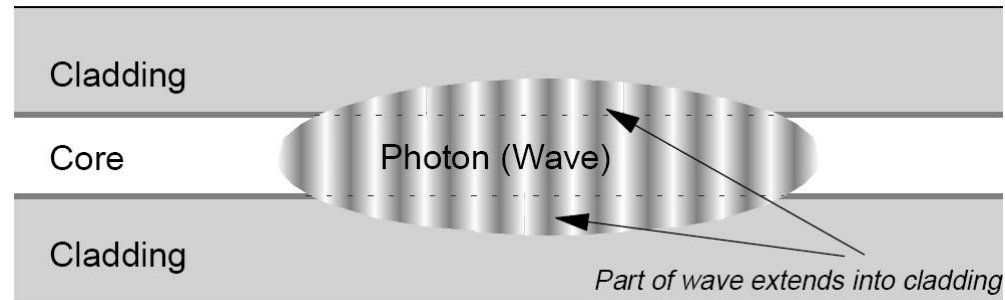
- ▶ fibra tipica multimod
 - $g=2$
 - $2a = 50\mu\text{m} \rightarrow a = 25\mu\text{m}$
 - $NA = 0.2$ la $\lambda = 1\mu\text{m}$

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = 2\pi \frac{25}{1} 0.2 = 2 \cdot \pi \cdot 5 \approx 31.4$$

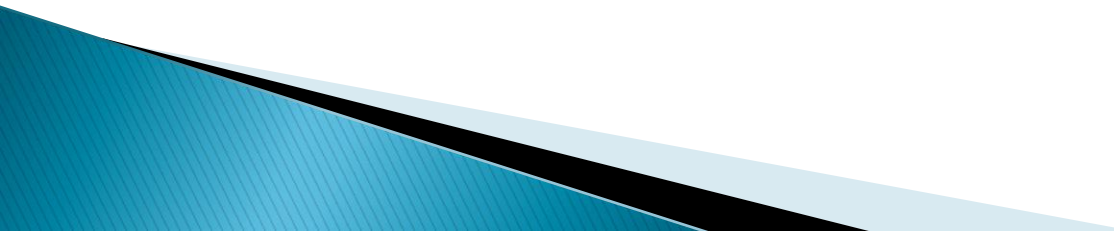
$$g = 2 \Rightarrow N = \frac{V^2}{4} = \frac{31.4^2}{4} = 247$$

Propagarea in fibra monomod

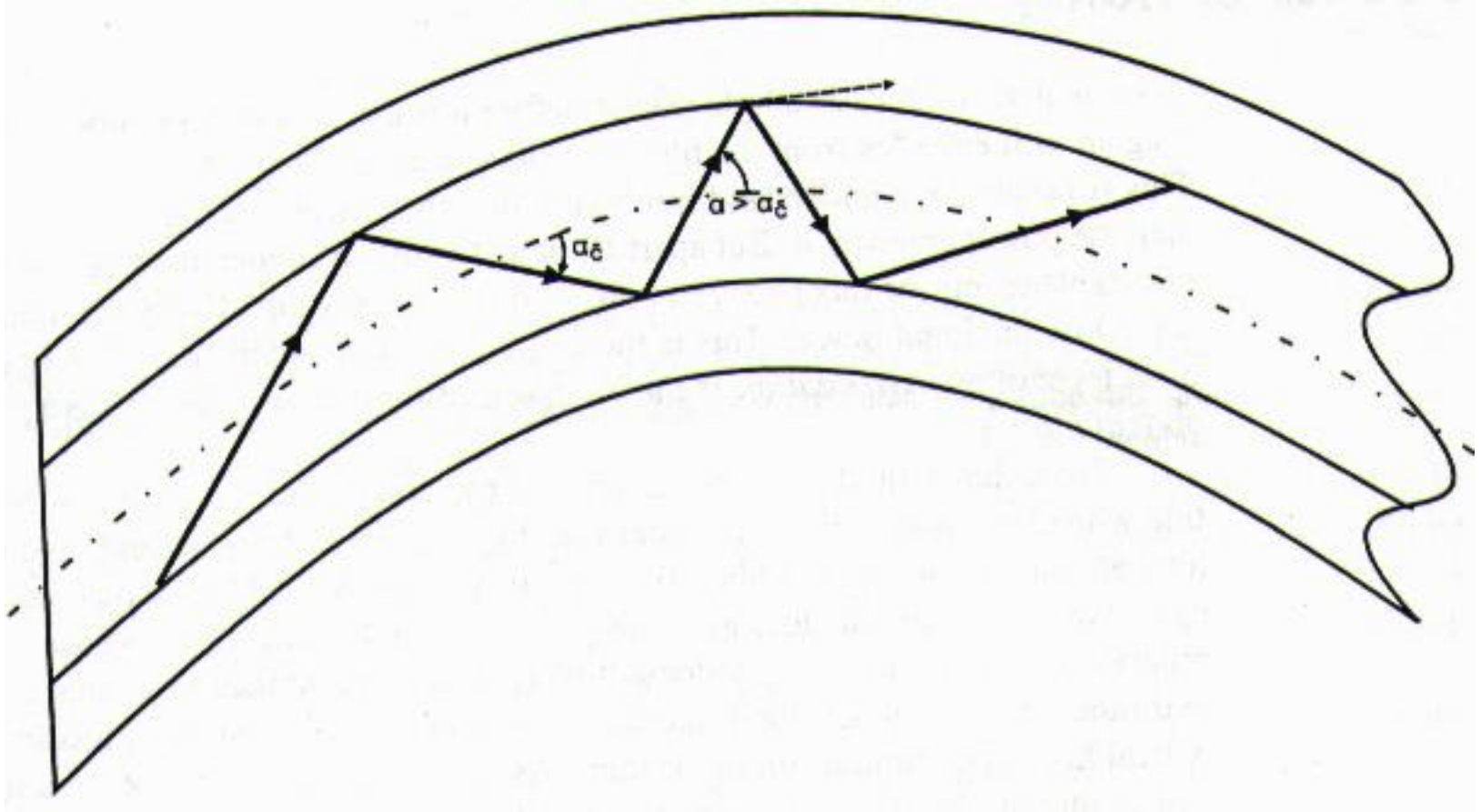
- ▶ Propagarea luminii poate fi explicata doar prin teoria electromagnetica
- ▶ Energia campului se extinde in teaca (diametrul efectiv al spotului luminos – MFD, Mode Field Diameter)
- ▶ $MFD > 2a$
- ▶ Adancimea de patrundere in teaca depinde de lungimea de unda, generand dispersia de ghid



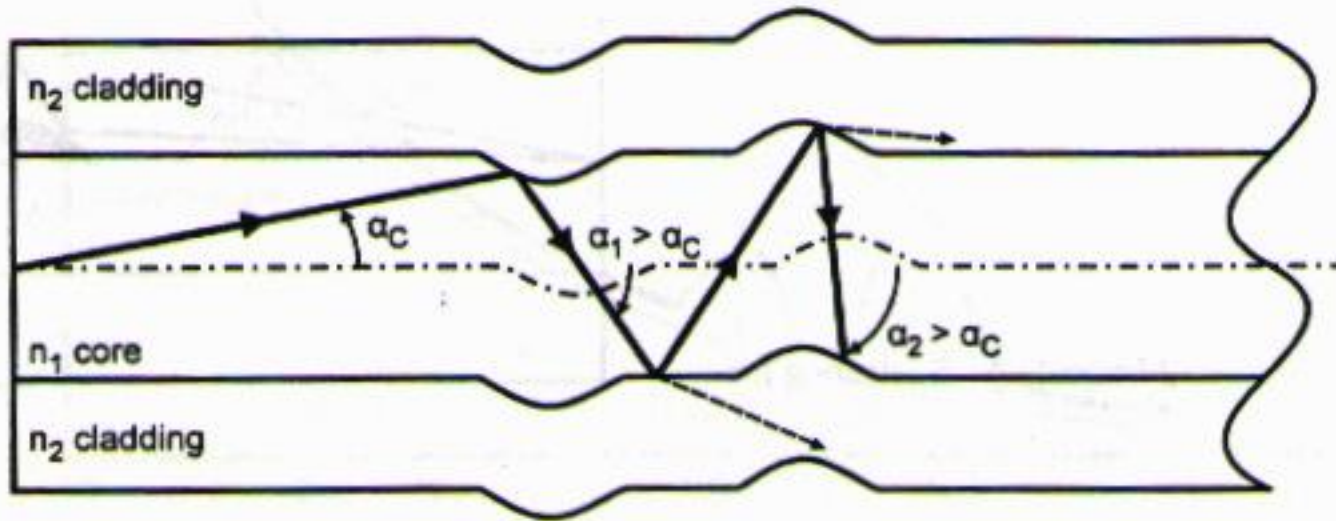
ATENUAREA

- ▶ Macrocurburi
 - ▶ Microcurburi
 - ▶ Imprastiere
 - ▶ Absorbție
- 

Macrocurburi

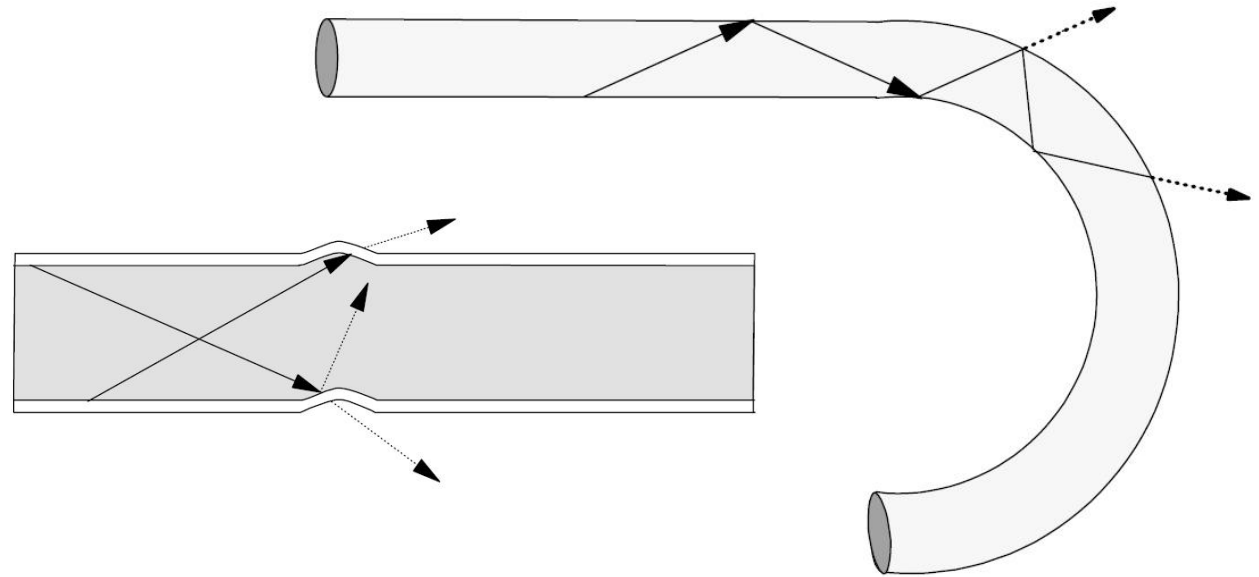


Microcurburi



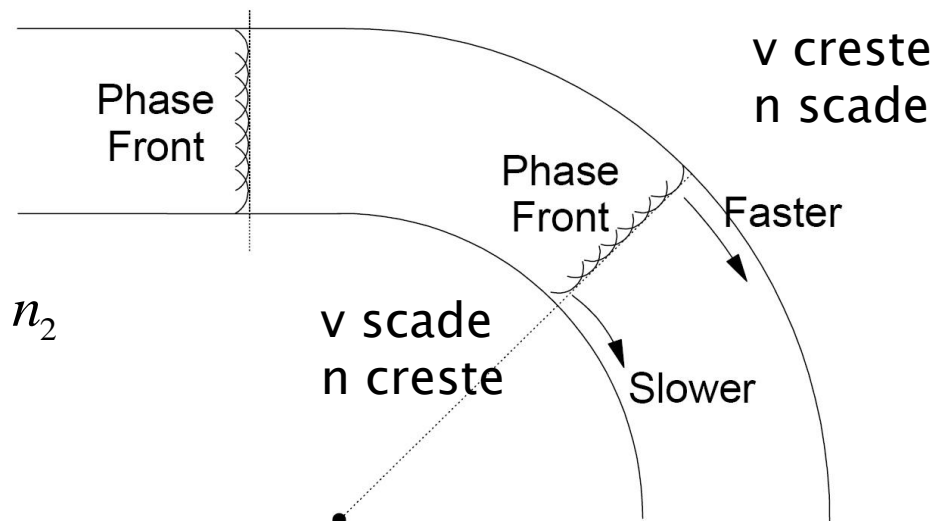
Efectul curburilor

▶ Multimod

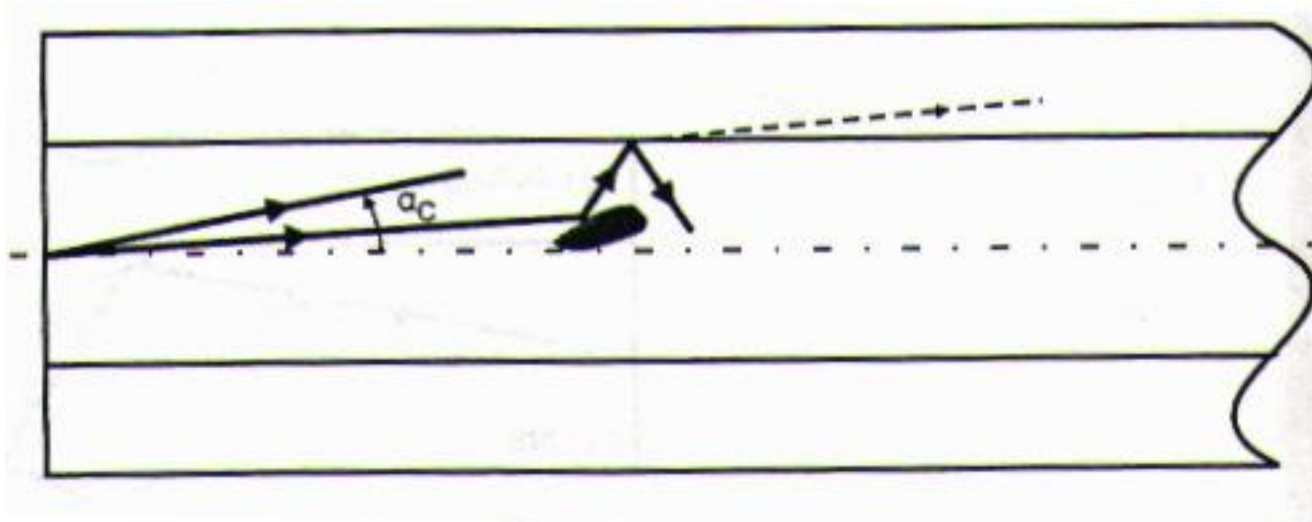


▶ Monomod

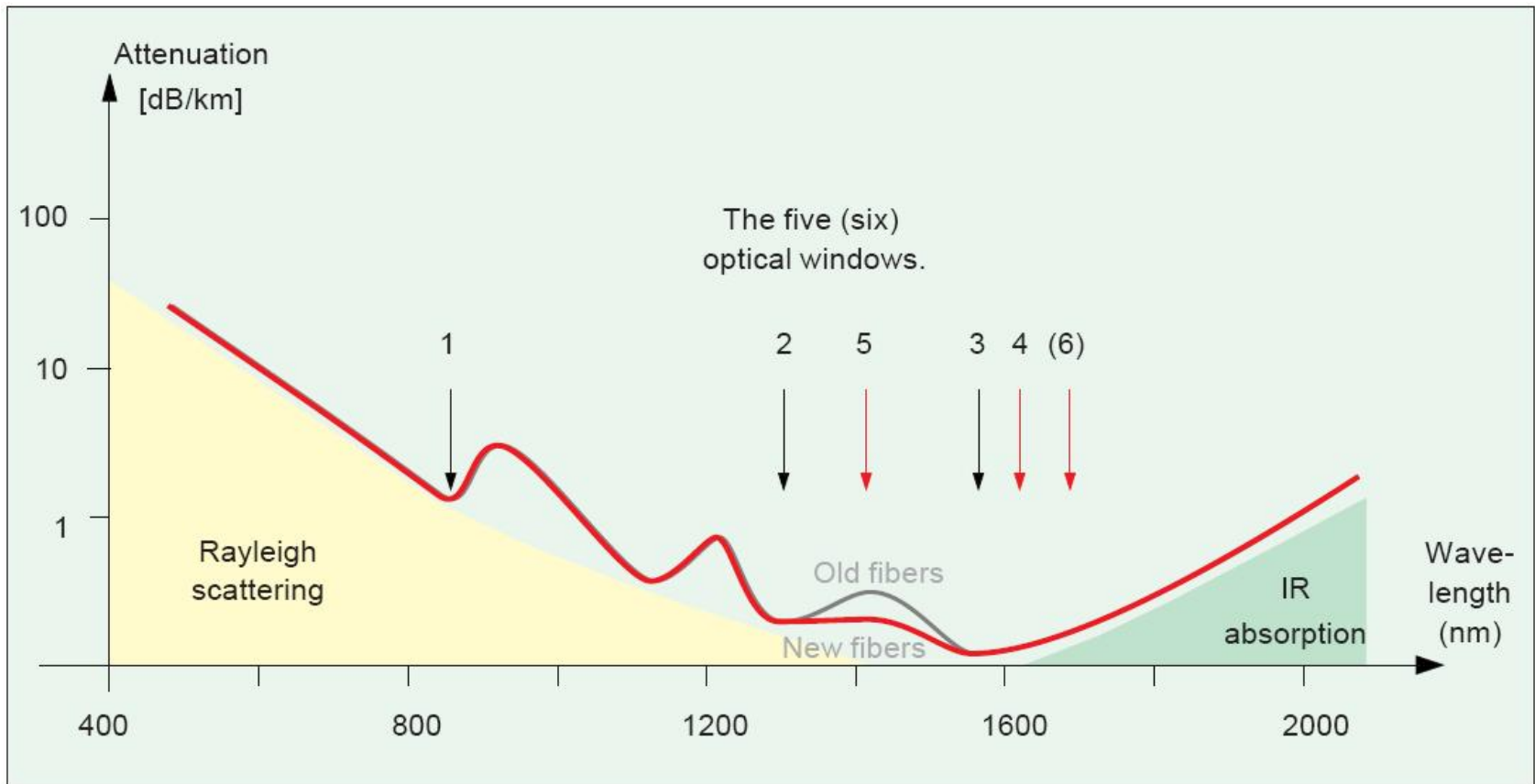
$$R > R_C \Rightarrow n_{1,ext} > n_2$$



Imprastiere

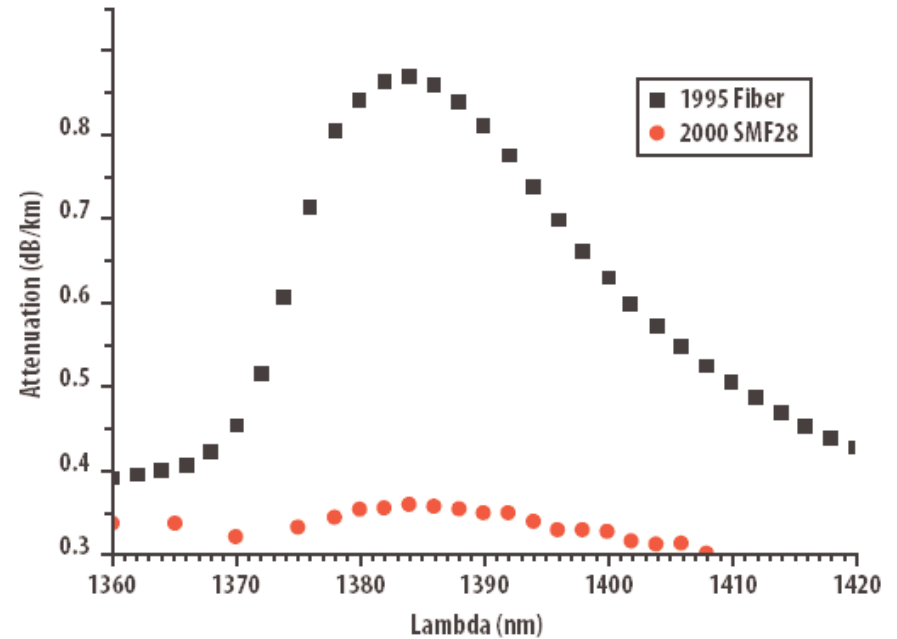
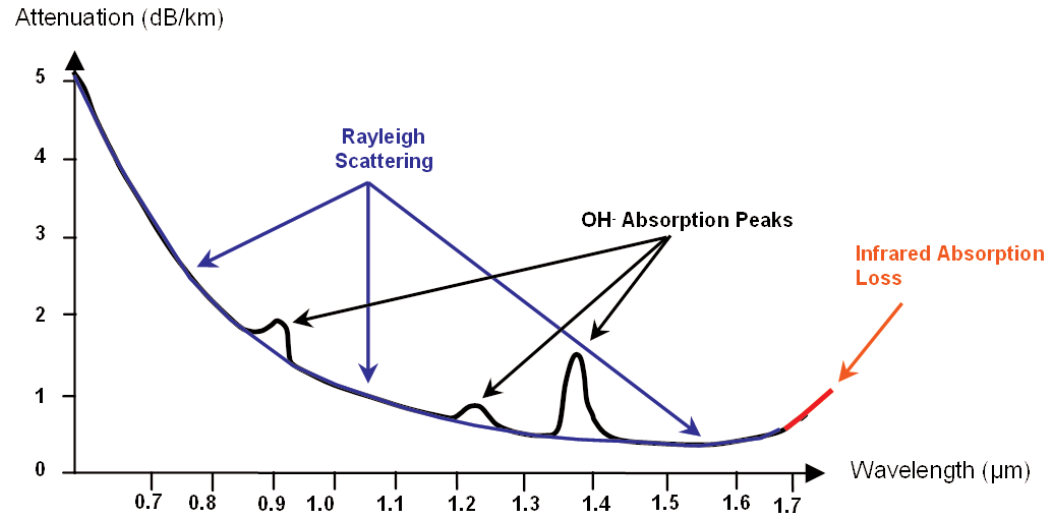


Absorbtie



Absorbentie OH

- ▶ Absorbentie
 - 950nm
 - 1244nm
 - 1383nm
- ▶ Apa!



Fiber Attenuation Comparison

Calculul atenuarii

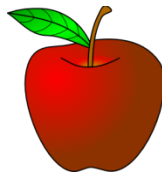
$$\text{Pierderi} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

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

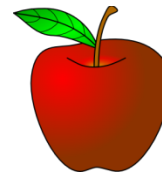
$$\text{Pierderi [dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-



$$\text{Atenuare [dB/km]} = \frac{\text{Pierderi [dB]}}{\text{lungime [km]}}$$

Contact

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