

Optoelectronică

Curs 6

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, 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)

* – VP

Acces

- ▶ Personalizat (parola), Generic (email)



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

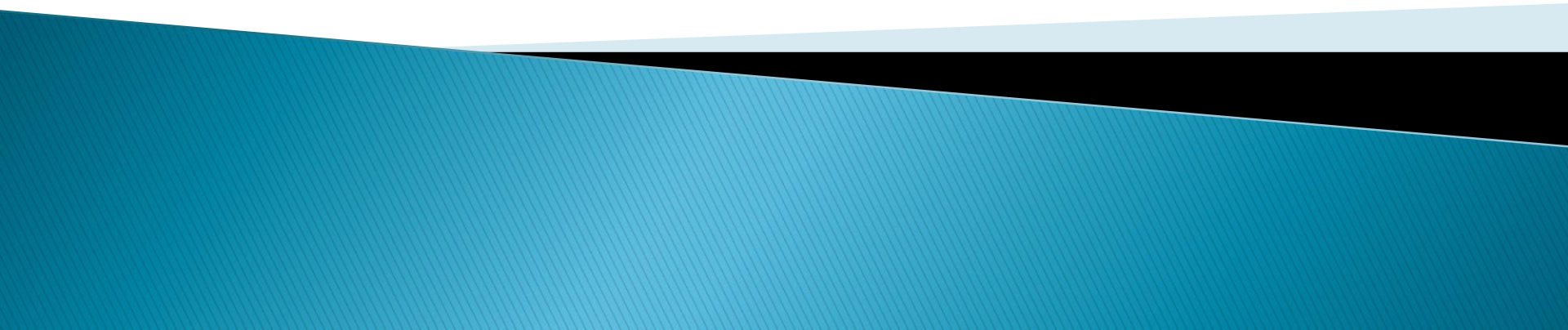
Write the code
below

5dd64f9

Send

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)

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

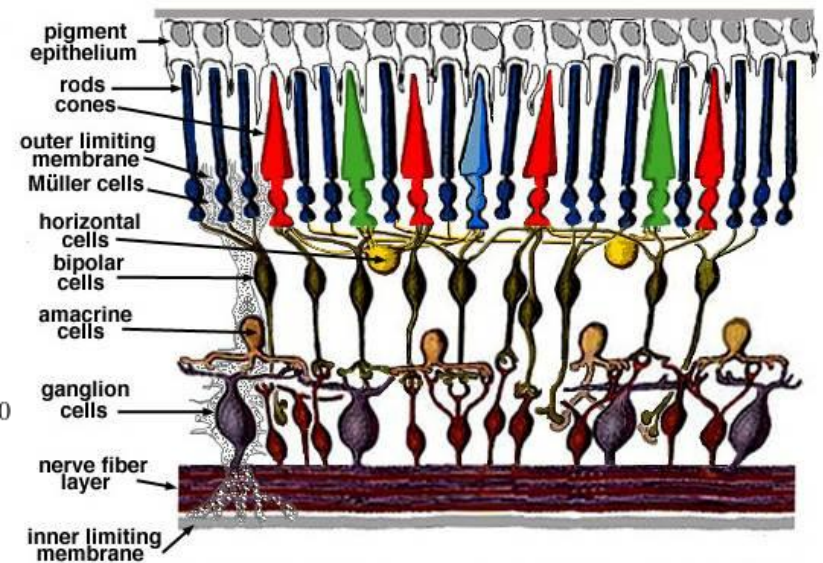
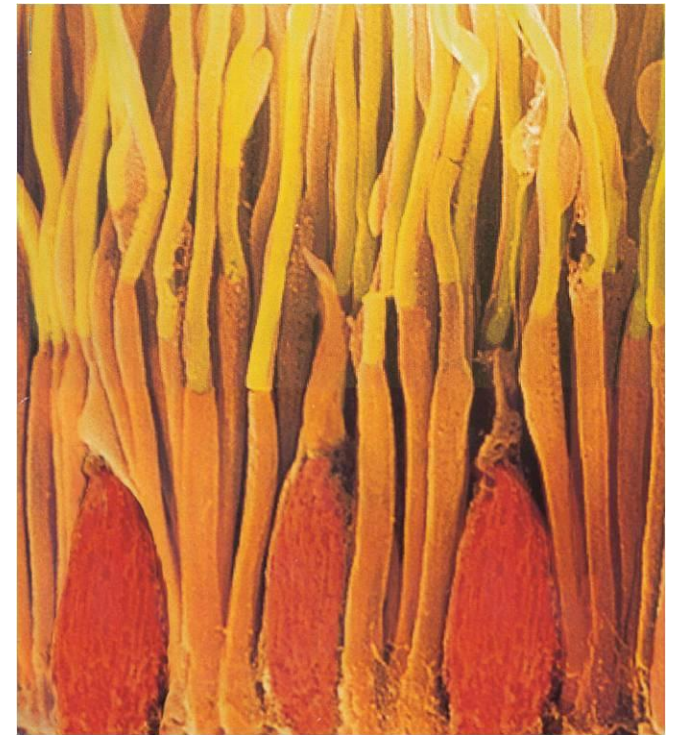
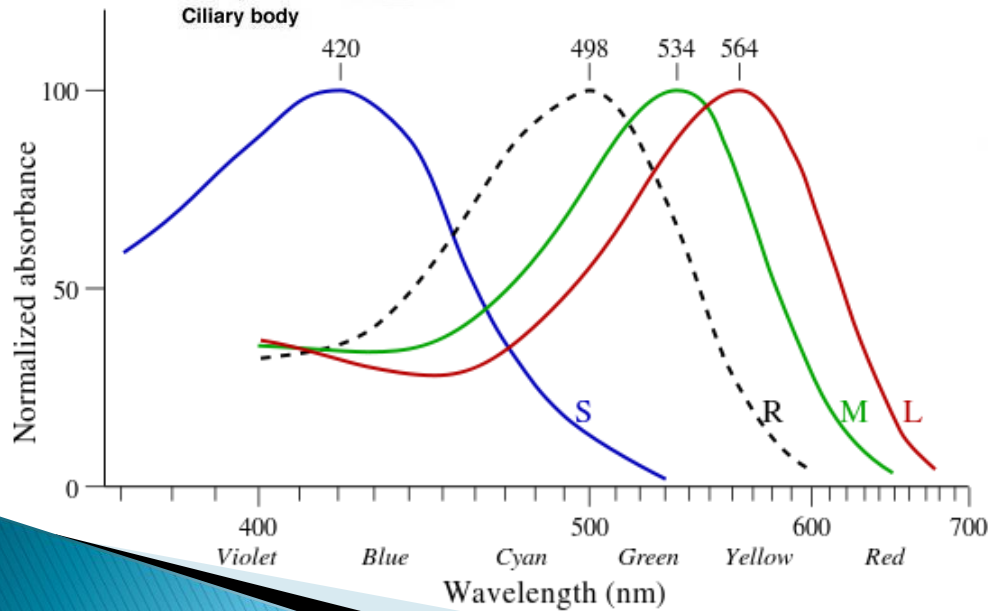
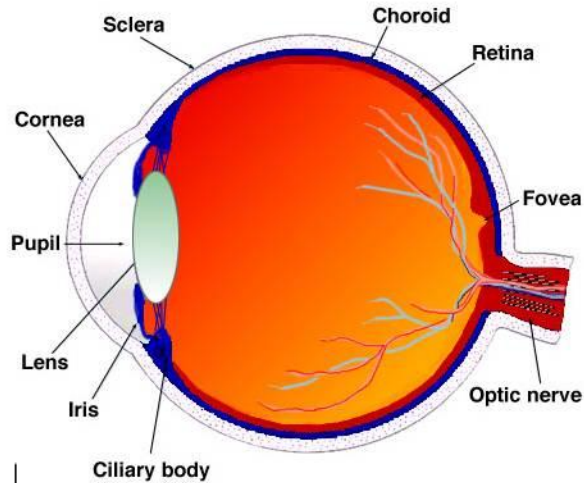
Fotometrie și radiometrie

Capitolul 3

Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, 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)

Ochiul uman



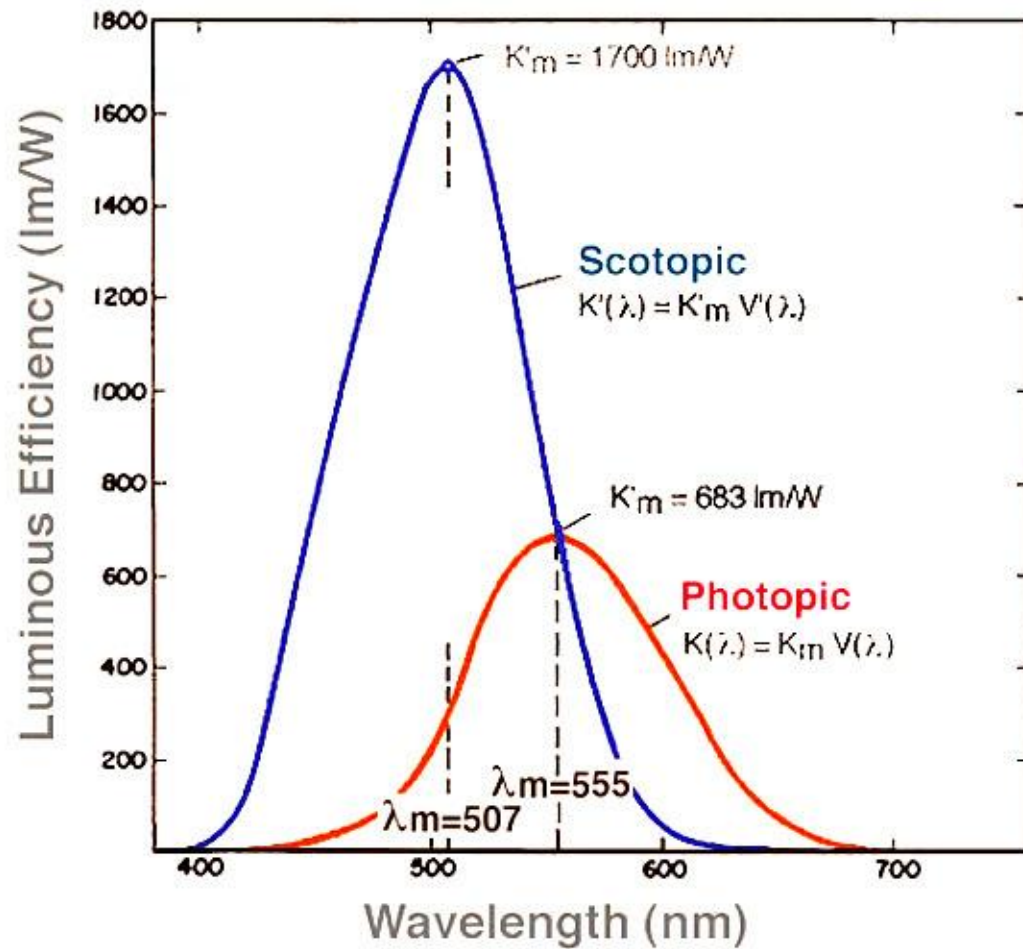
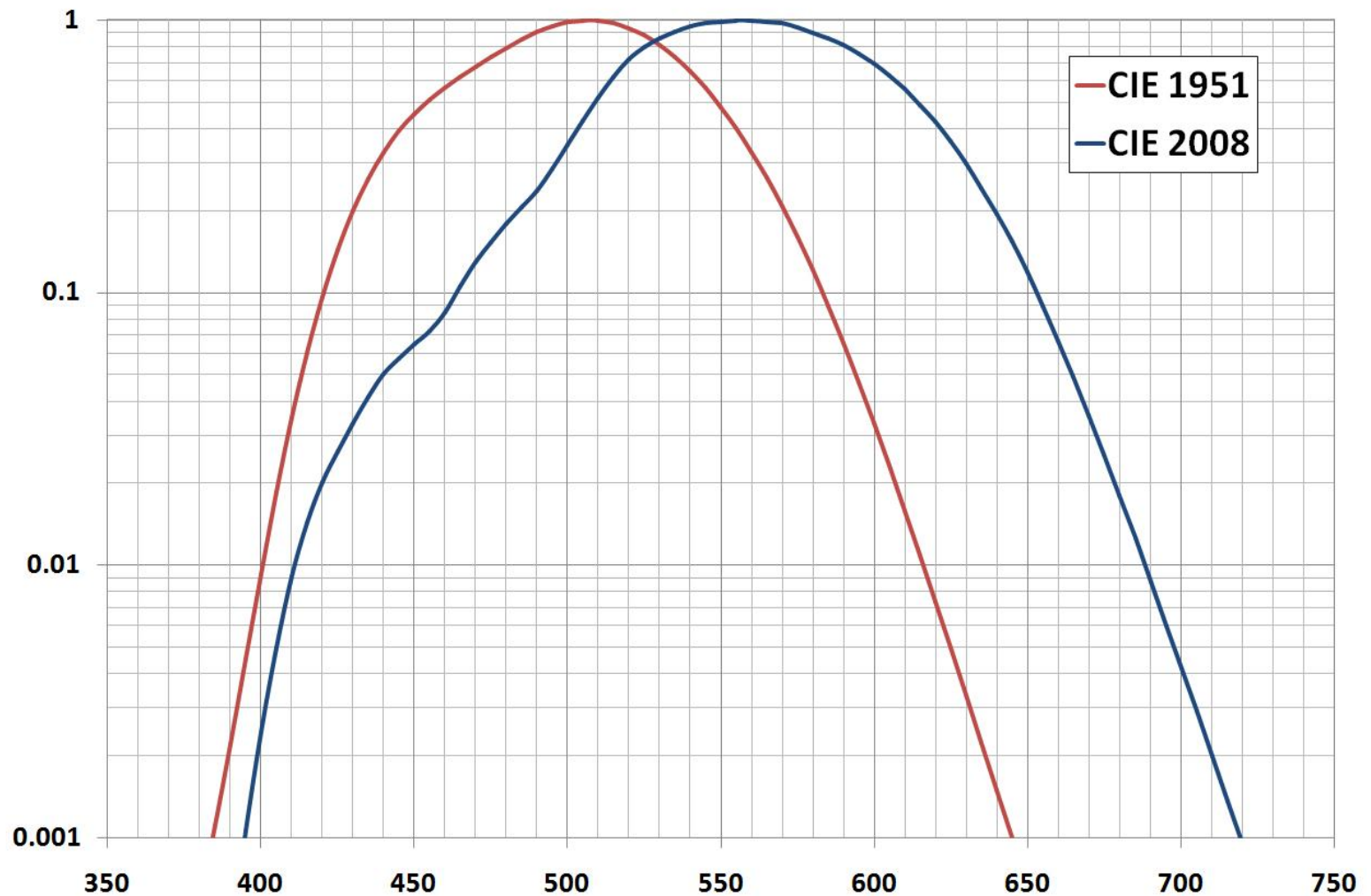


Figure 9. The scotopic and the photopic curves of spectral luminous efficacy (non-normalised values).

effect Purkinje

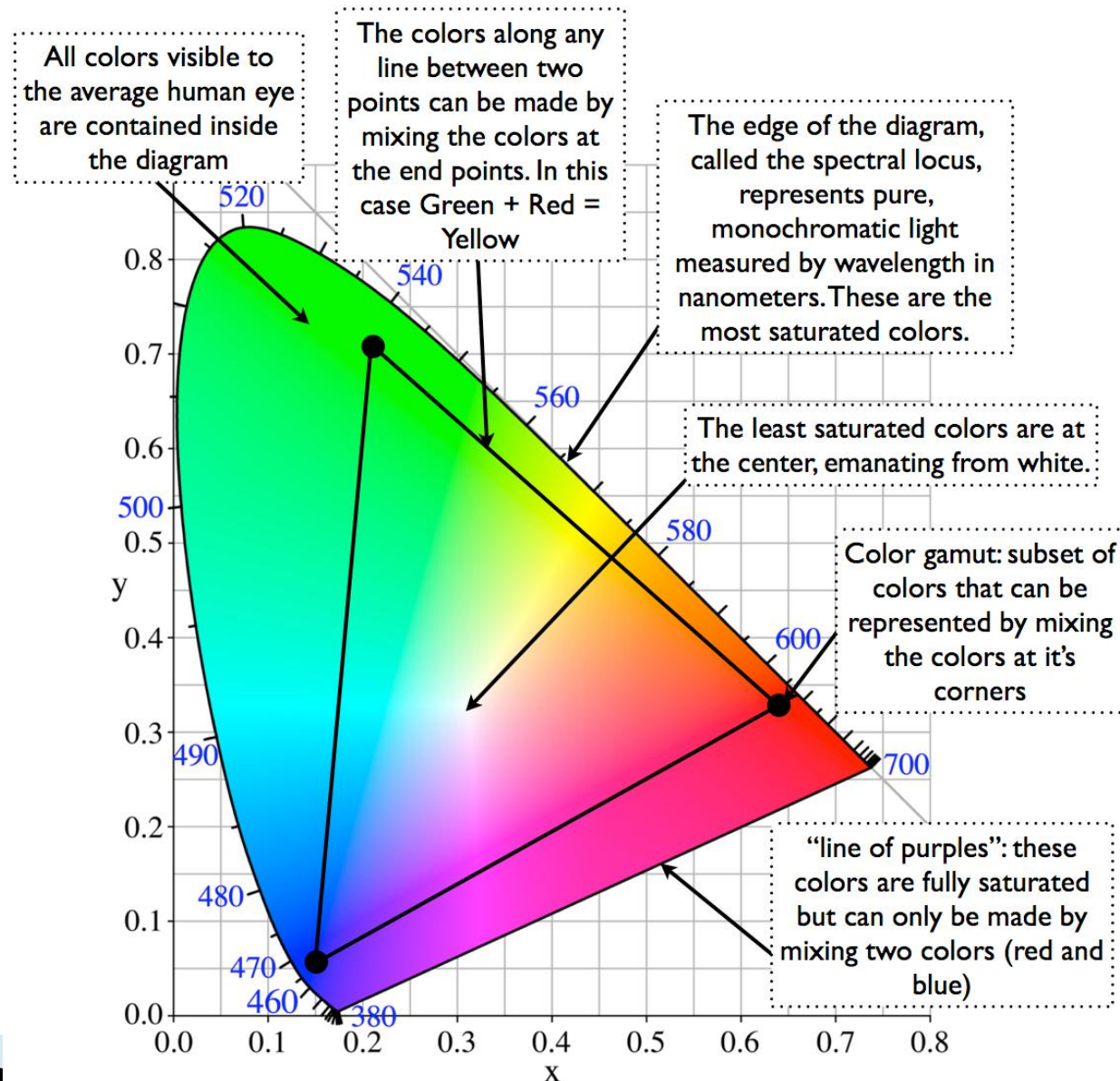


CIE $V(\lambda)$ fotopic / scotopic



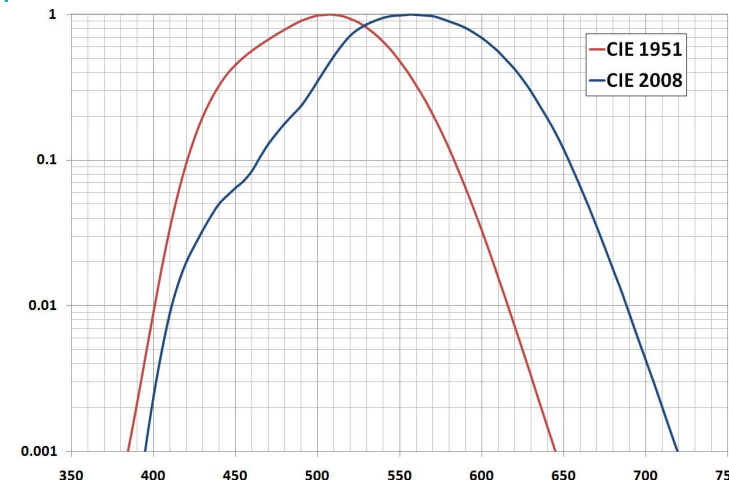
CIE xy 1931

► utilizzare



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:

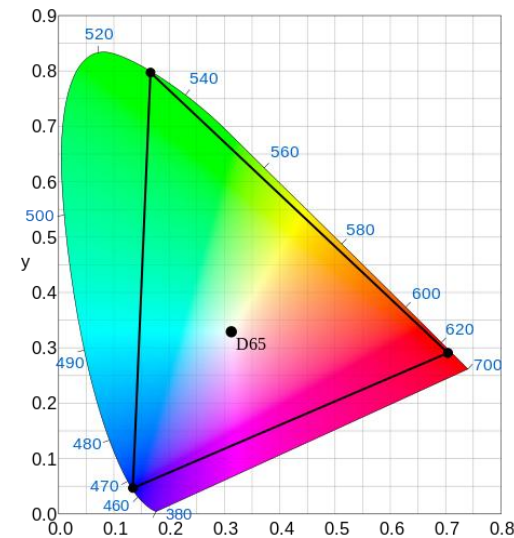
Nr.	Lungime de undă [nm]	Putere optică emisă [mW]	Preț
1	645	2.55	1.39
2	550	2.30	1.09
3	645	1.35	1.18
4	645	2.90	1.24

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?



Fibra optică

Capitolul 4

Aplicatii majore

▶ Comunicatii

- Infrarosu (InGaAsP)

▶ Vizibil

- Spectru vizibil (GaAlAs)

▶ Iluminare

- Putere ridicata, lumina alba (GaInN)

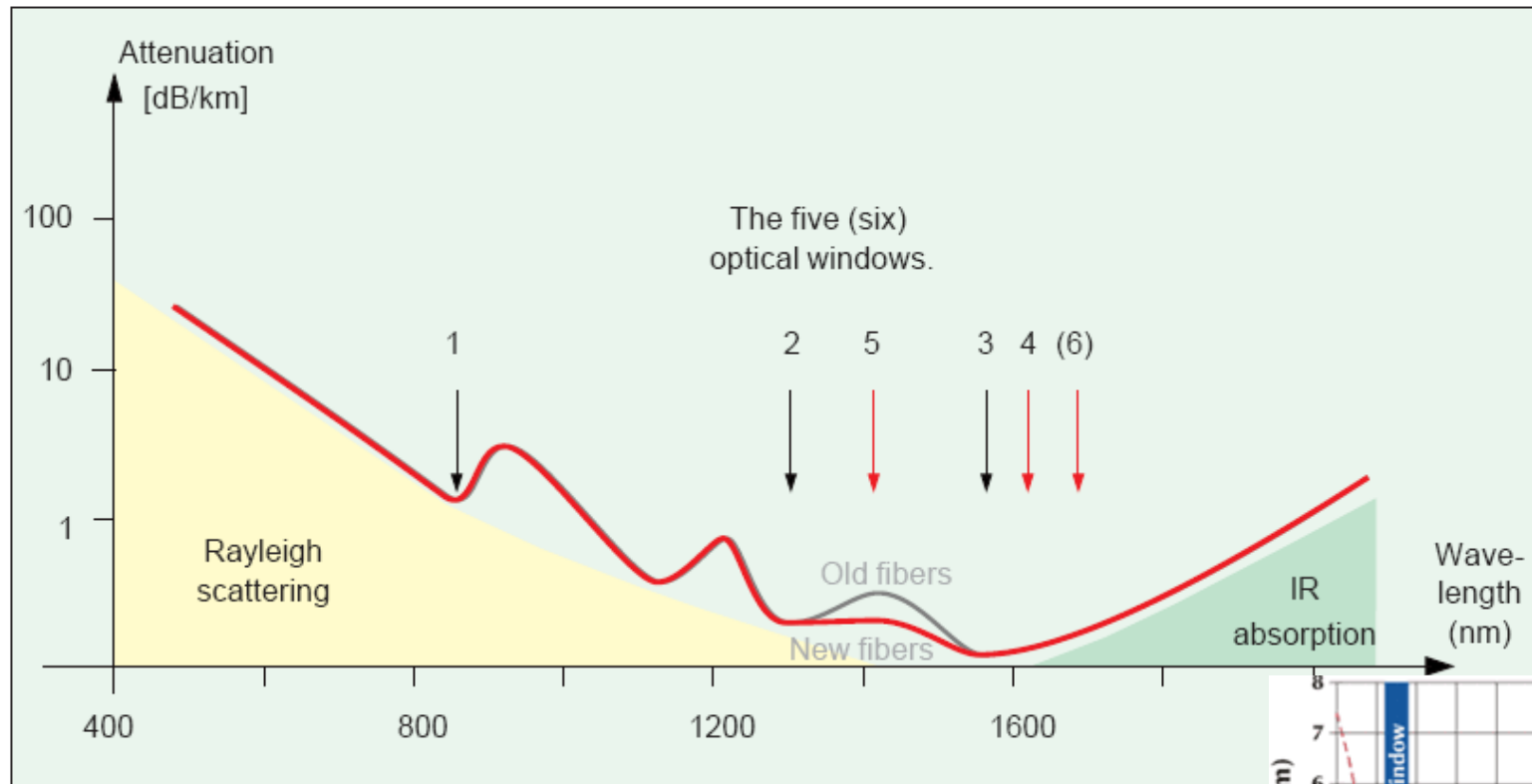
▶ Energie solara

- Efect fotovoltaic (Si)

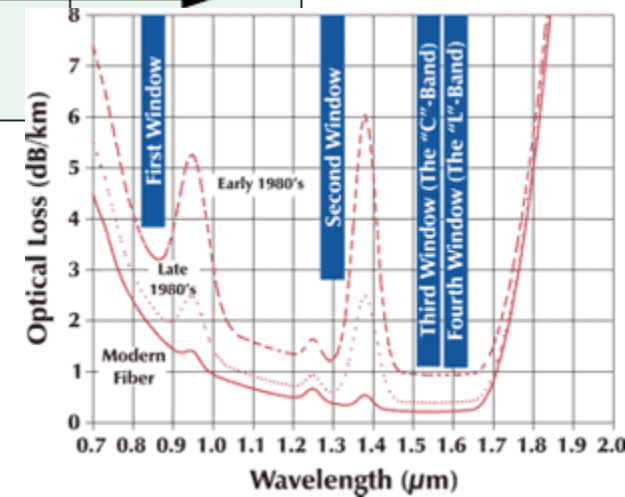
Cuprins

- ▶ **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)

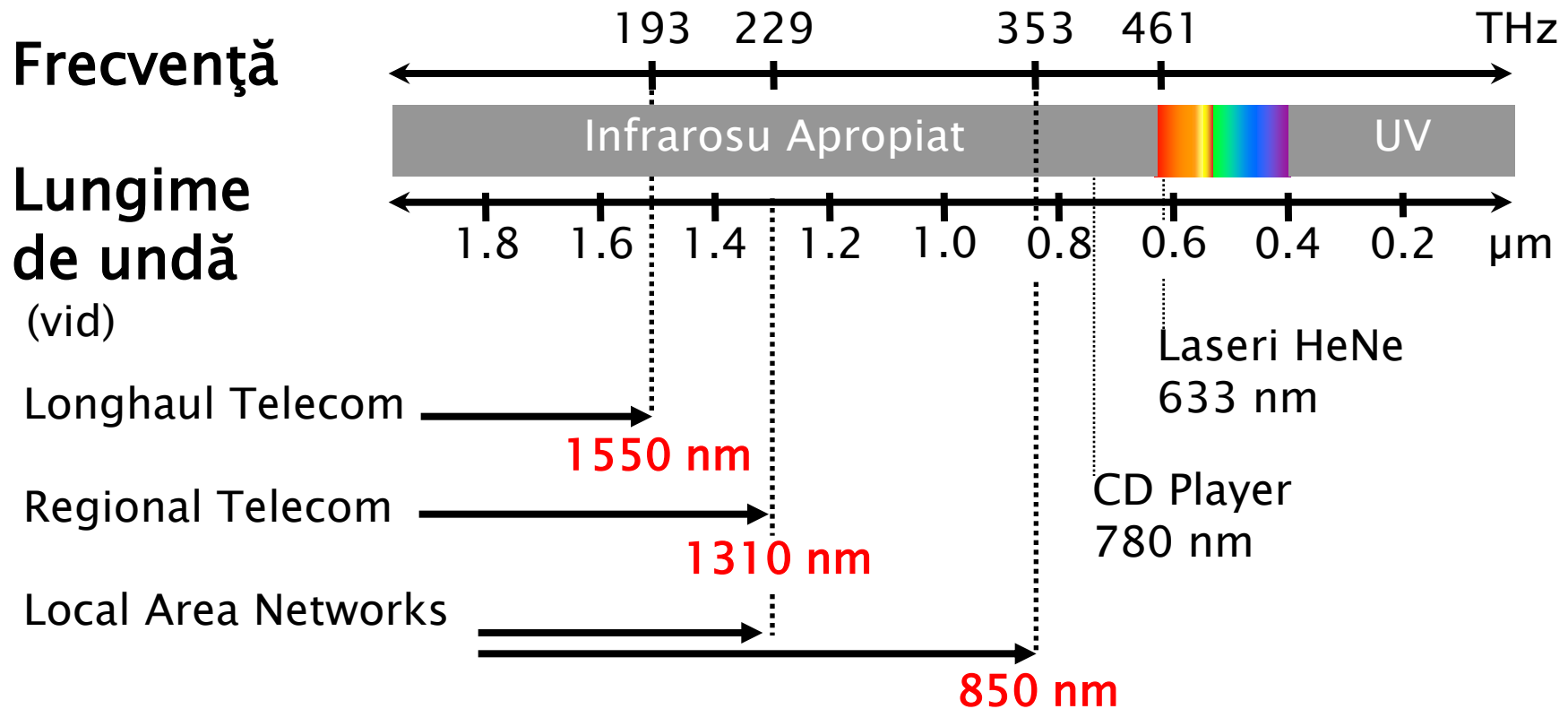
Atenuarea în fibra optică (SiO_2)



850nm, 1310nm, 1550nm

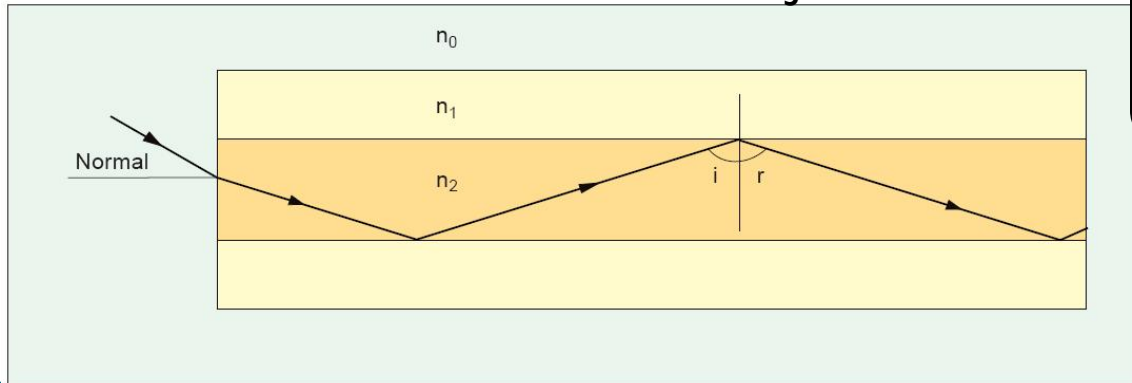
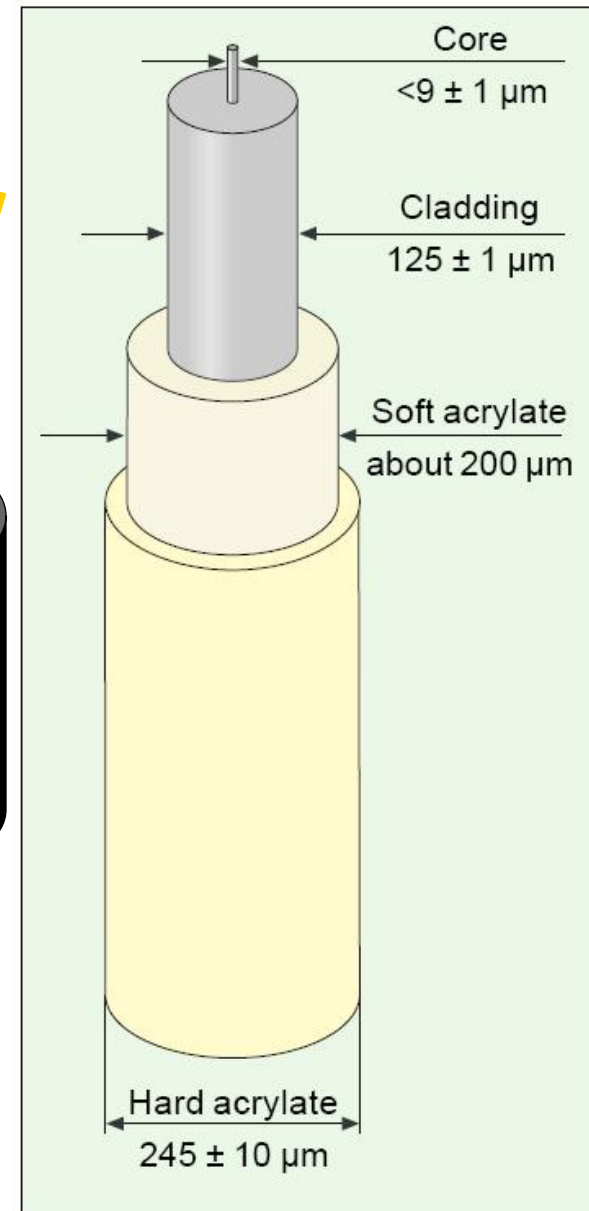
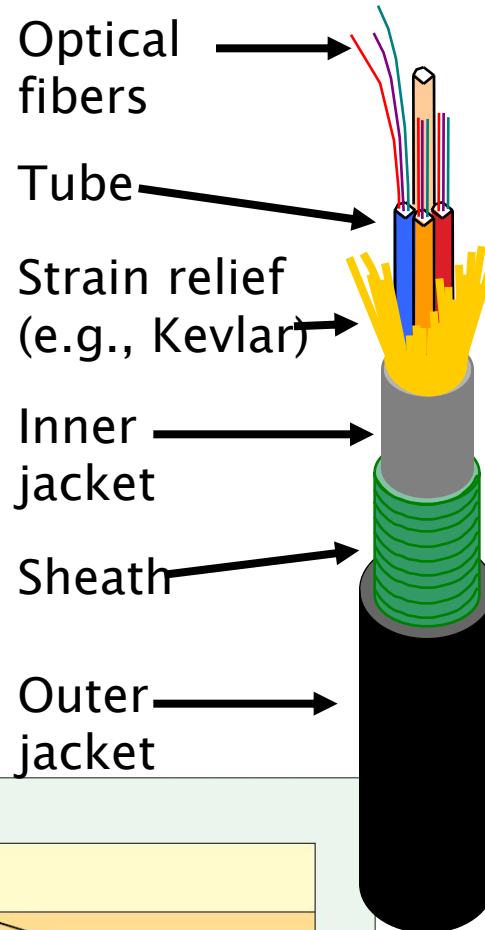


Benzi de lucru in comunicațiile optice



Fibra optica

- ▶ un ghid de unda dielectric
 - miez
 - teaca



Unghi de acceptanta, apertura numerica

► Unghi de acceptanta

$$n_0 \cdot \sin \theta_{ACC} = n_2 \cdot \sin \phi_2$$

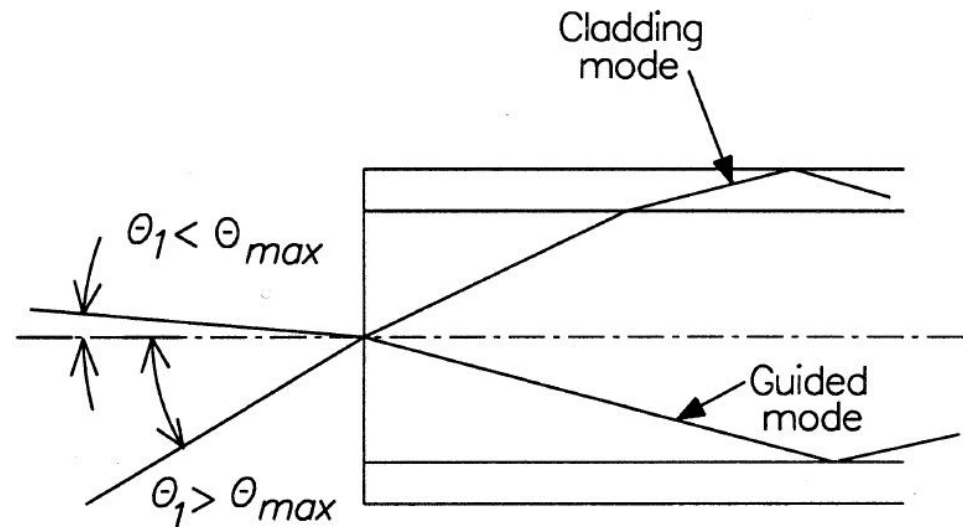
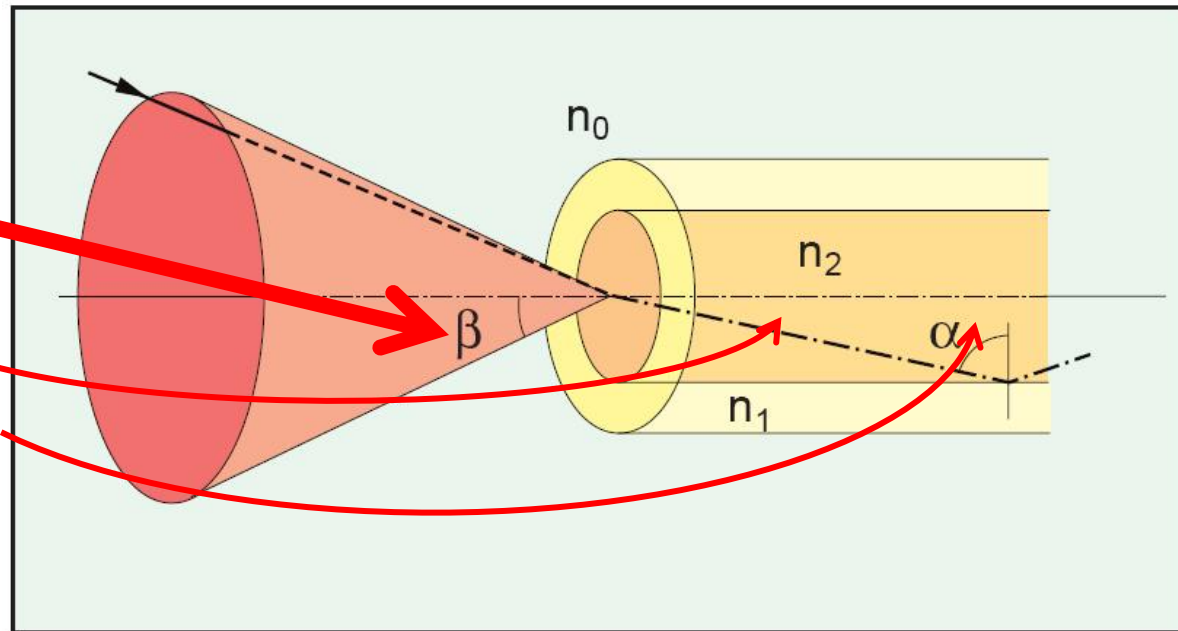
$$n_0 \cdot \sin \theta_{ACC} = n_2 \cdot \cos \phi_c$$

► Apertura numerica

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

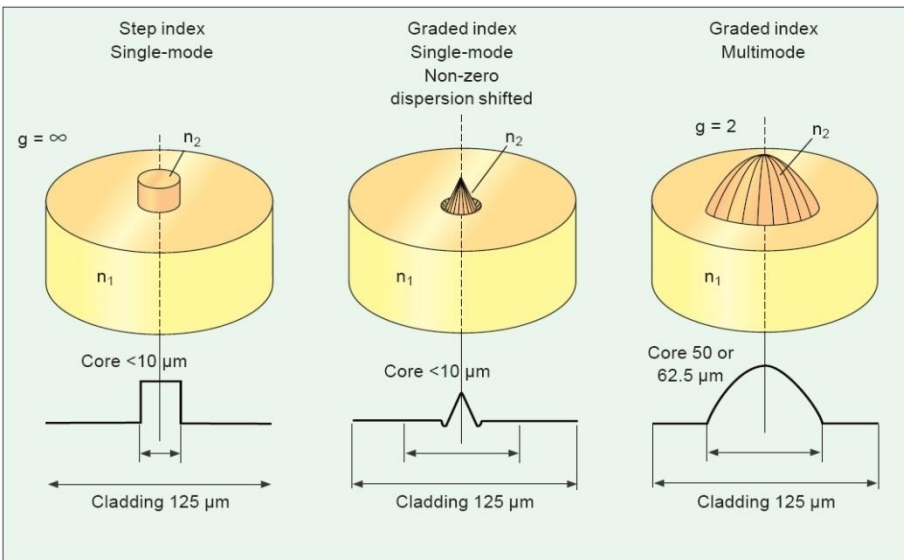
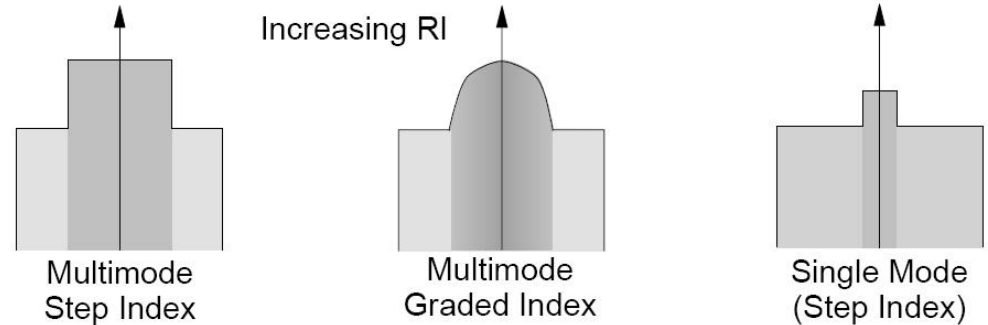
$$NA = n_2 \sqrt{\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2}} = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$$

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

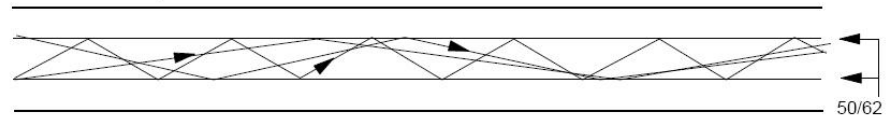


Tipuri de fibra

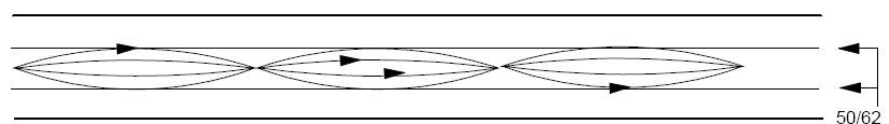
- ▶ Monomod
- ▶ Multimod
 - cu salt de indice
 - cu indice gradat



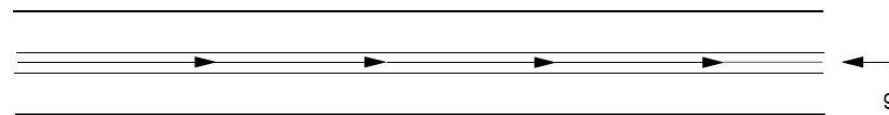
Multimode Step Index



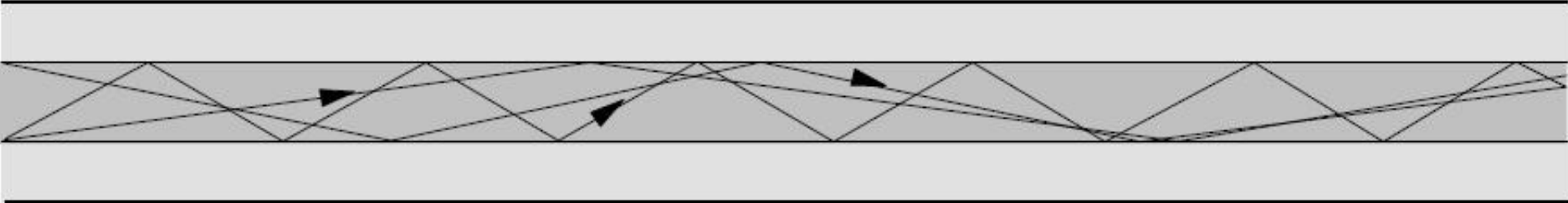
Multimode Graded Index



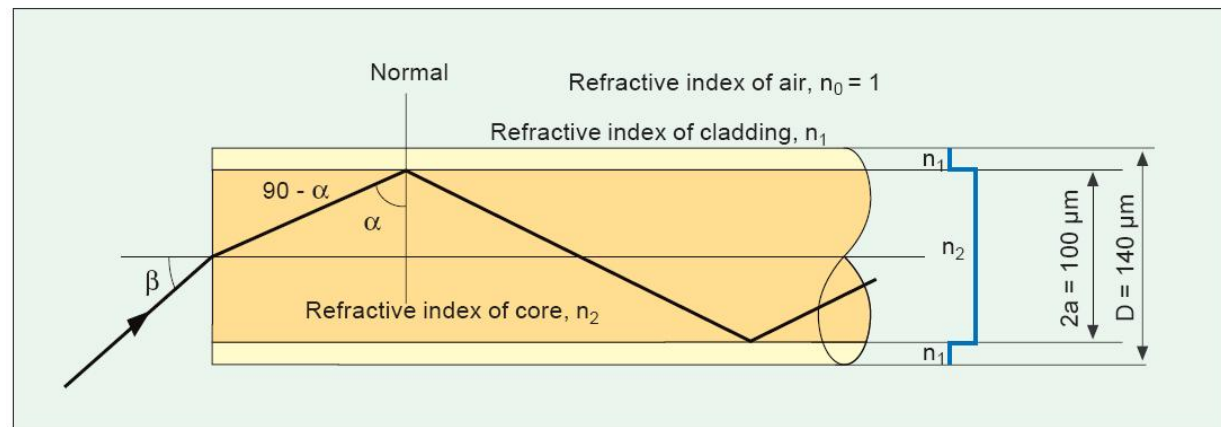
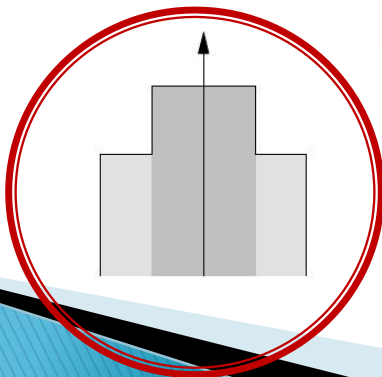
Single Mode



Fibre multimod cu salt de indice



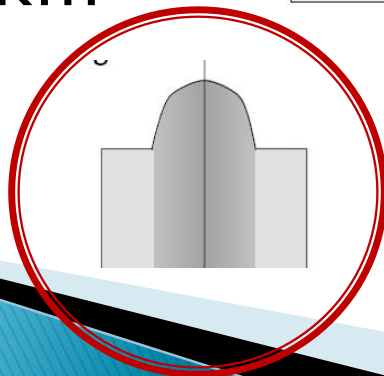
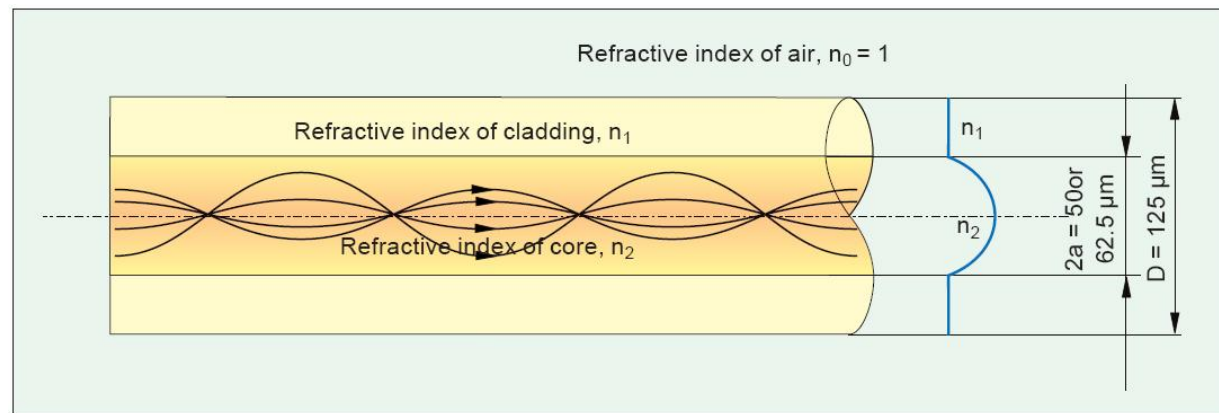
- ▶ 50/125 sau 62.5/125 (μm)
- ▶ 15–50 MHz · km



	glass	plastic
core diameter $2a$	62.5 100 μm	980 μm
cladding diameter D	125 140 μm	1000 μm
core refractive index n_2	1.48	
cladding refractive index n_1	1.45	

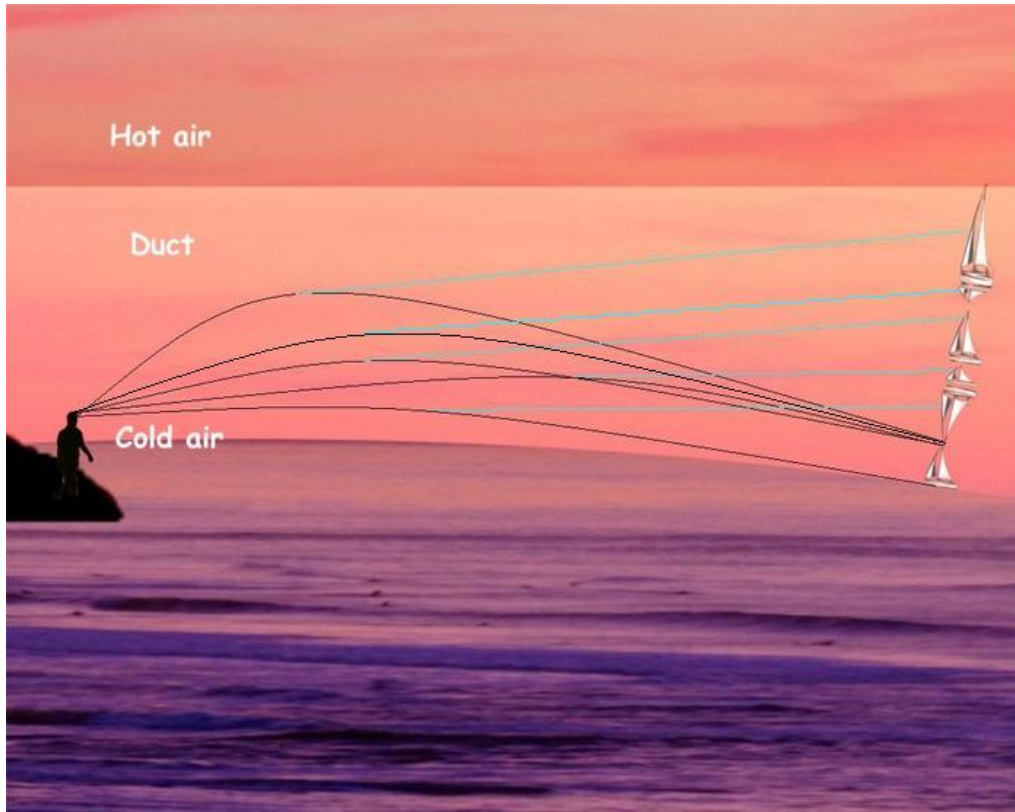
Fibre multimod cu indice gradat

- ▶ 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

Fata Morgana



Fibre multimod cu indice gradat

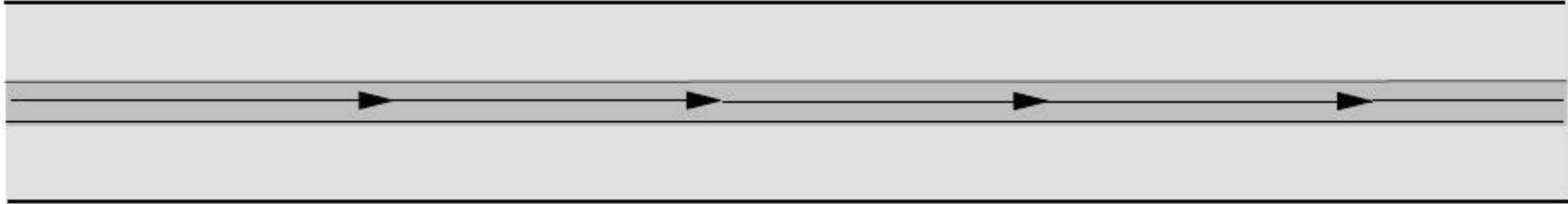


$$n(r) = n_2 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right]$$

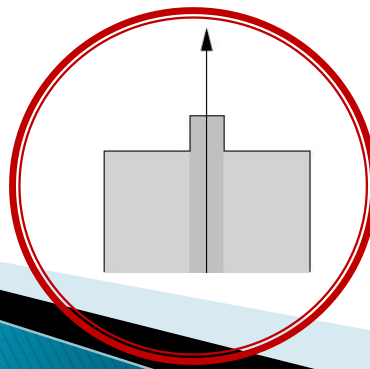
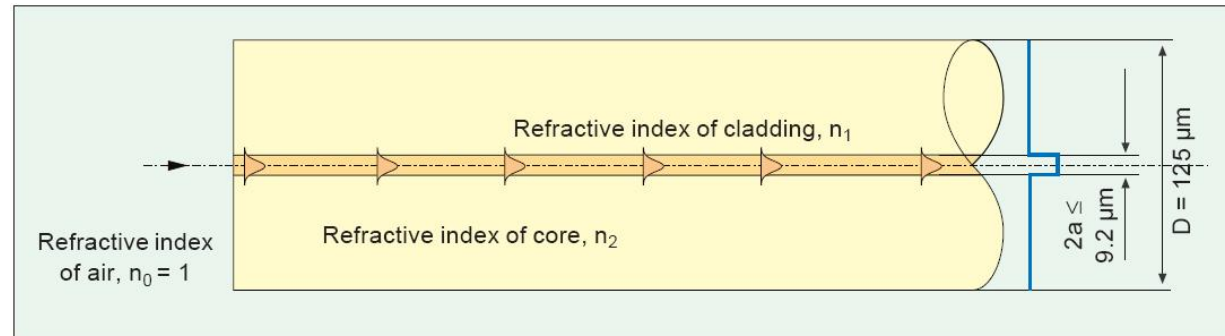
$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_2^2} = \frac{n_2^2 - n_1^2}{2n_2^2} \approx \frac{n_2 - n_1}{n_2} \approx \frac{\Delta n}{n} \quad \text{for } \Delta \ll 1$$

- ▶ $g = 1$ – 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%

Ghid cilindric dielectric

► Ecuatiile lui Maxwell in coordonate cilindrice

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_o^2 U = 0$$

a – raza miezului
U – E(r) sau H(r)

$$U(r, \phi, z) = u(r) e^{-jl\phi} e^{-j\beta z}, \quad l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} + \left(n^2(r) k_o^2 - \beta^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0$$

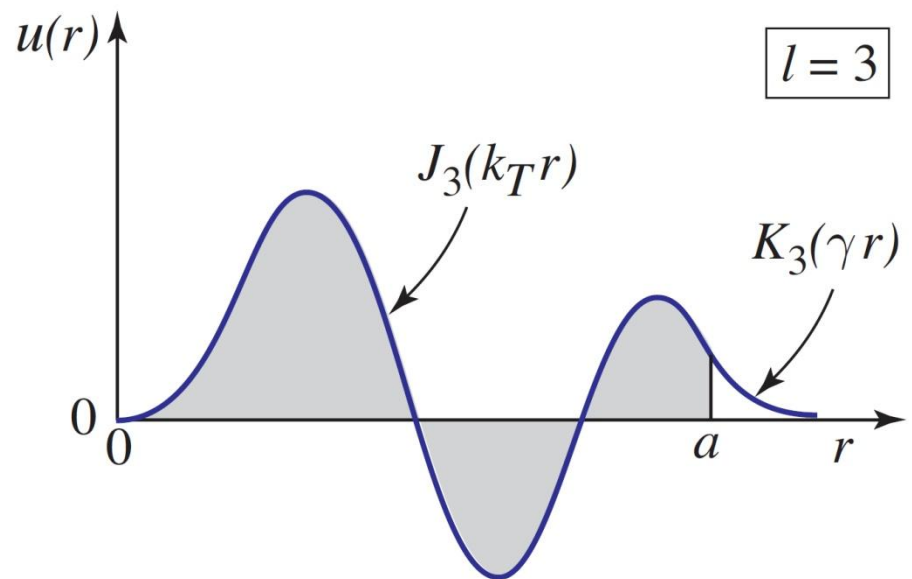
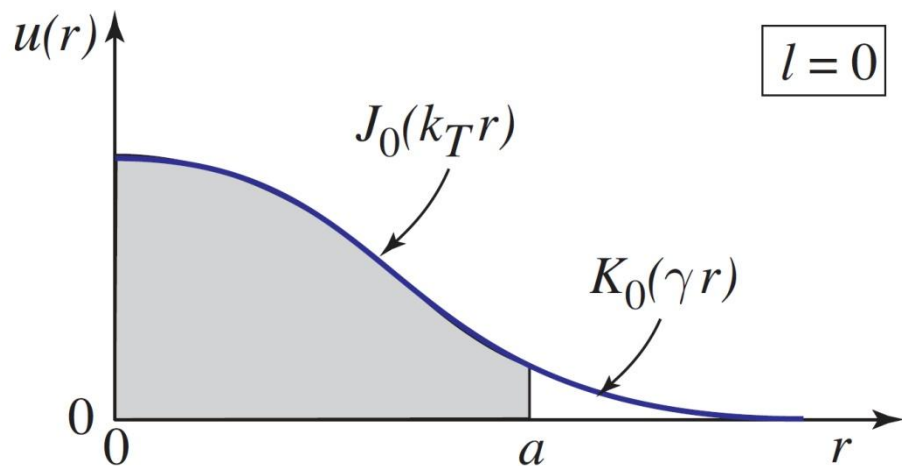
$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} + \left(k_T^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r < a$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \left(\gamma^2 + \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r > a$$

Ghid cilindric dielectric

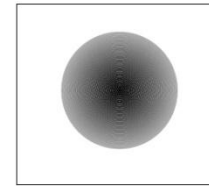
- ▶ solutii proportionale cu functii Bessel

$$u(r) \propto \begin{cases} J_l(k_T r), & r < a \quad (\text{core}) \\ K_l(\gamma r), & r > a \quad (\text{cladding}) \end{cases}$$

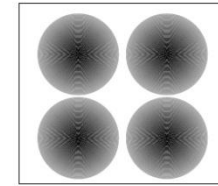


Moduri in fibra

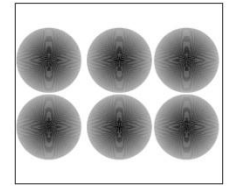
- ▶ Moduri in ghid rectangular



TEM₀₀

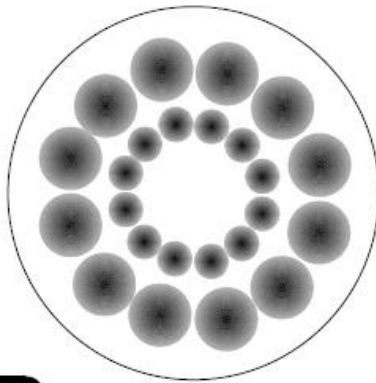


TEM₁₁

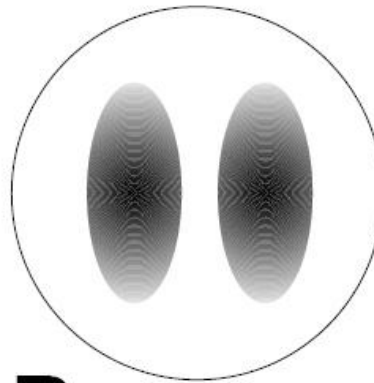


TEM₂₁

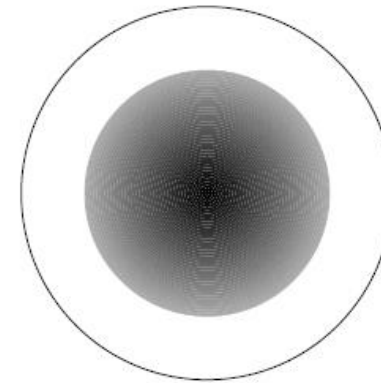
- ▶ Moduri linear polarizate in fibra



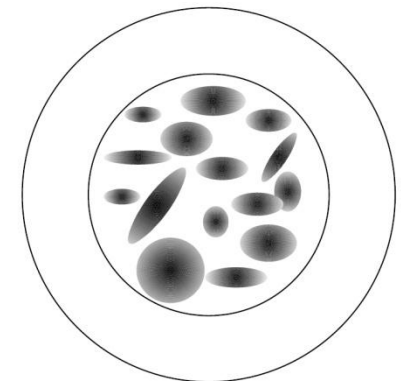
LP₆₂



LP₁₁



LP₀₁



“Sparkle” pattern

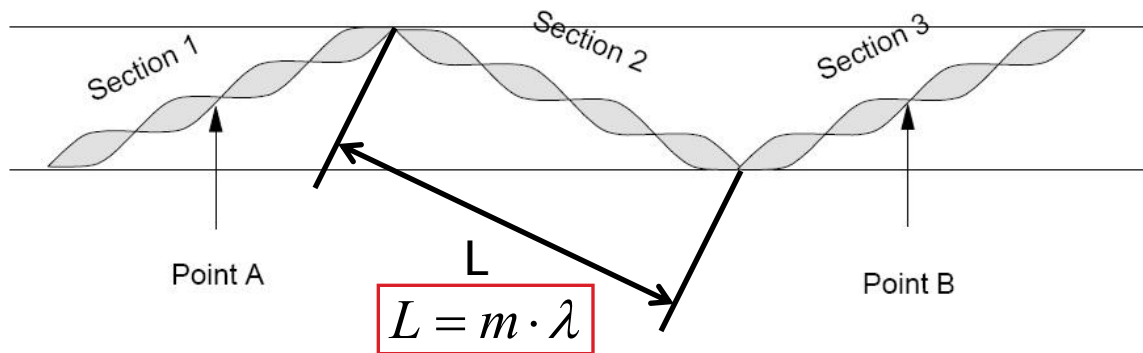
Frecventa normalizata

► Frecventa normalizata

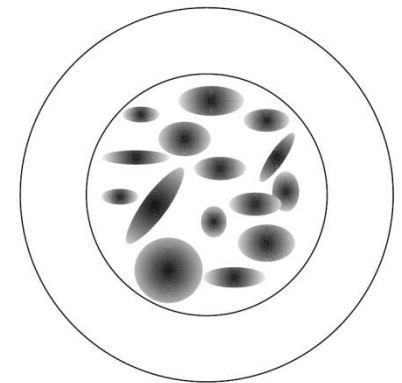
$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = k \cdot a \cdot NA \quad a - \text{raza miezului}$$

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

► Numar de moduri

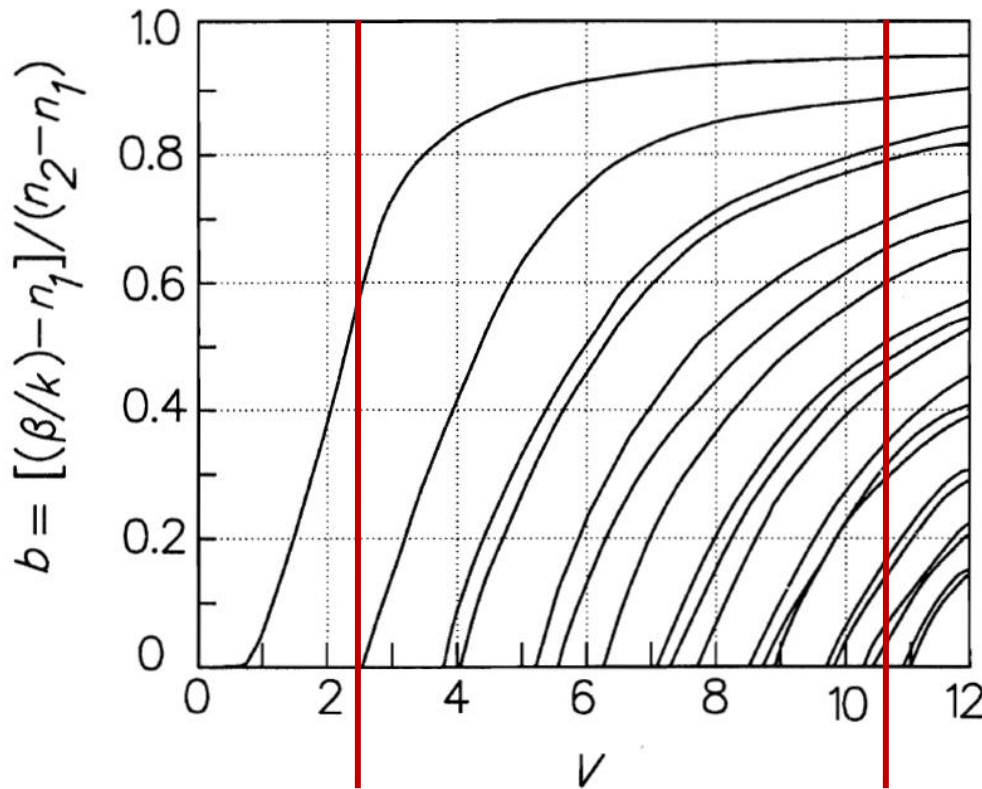


$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$



Frecventa normalizata – monomod

► Fibre monomod



b – coeficient de propagare modal relativ

$$V \leq V_c = 2.405$$

exista un **singur** mod (solutii fc. Bessel)

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = k \cdot a \cdot NA$$

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

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

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

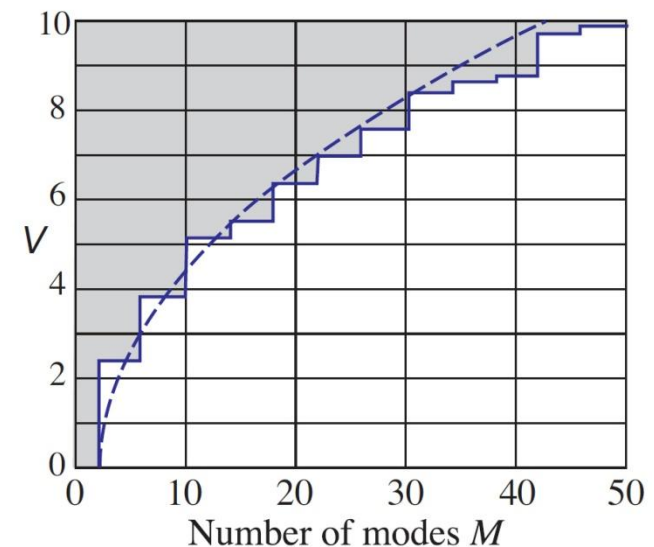
- Multimod cu indice gradat

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

- Monomod

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

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

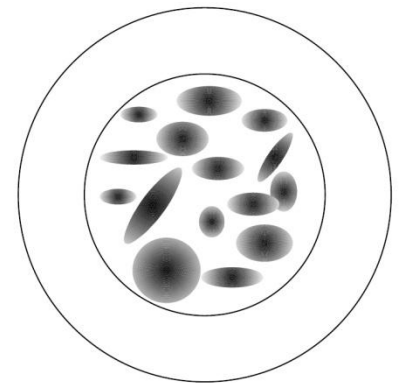


Exemplu

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

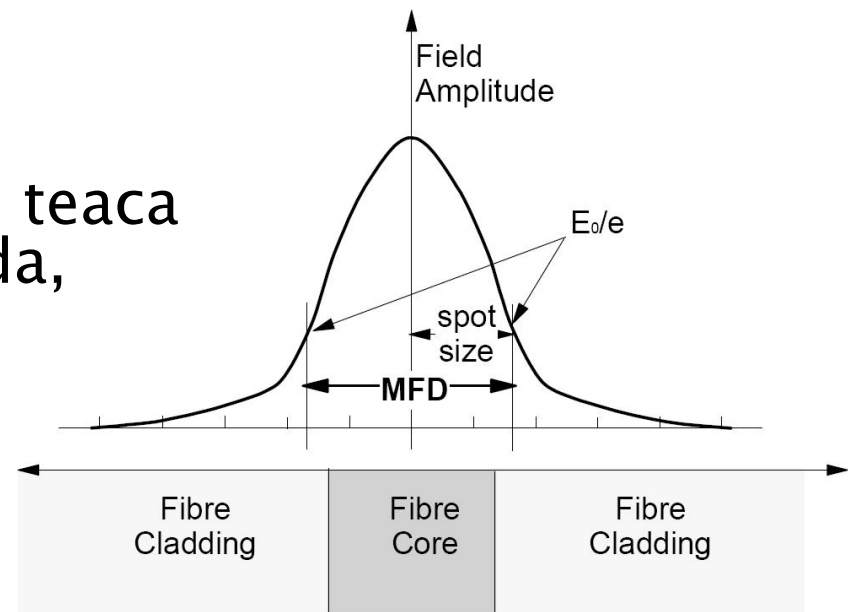
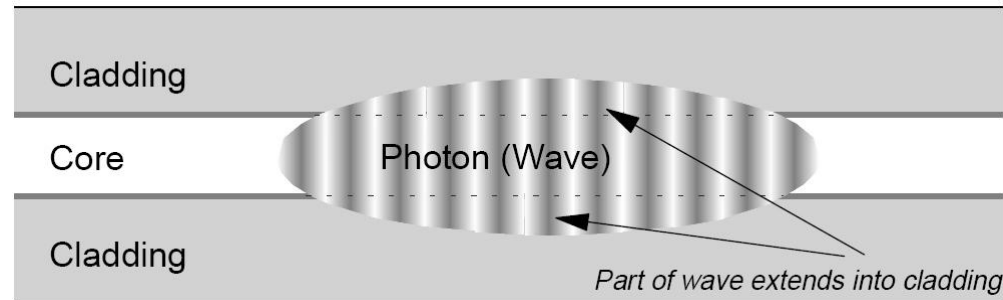
$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = 2\pi \frac{25}{1} 0.2 = 2 \cdot \pi \cdot 5 \approx 31.4$$

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

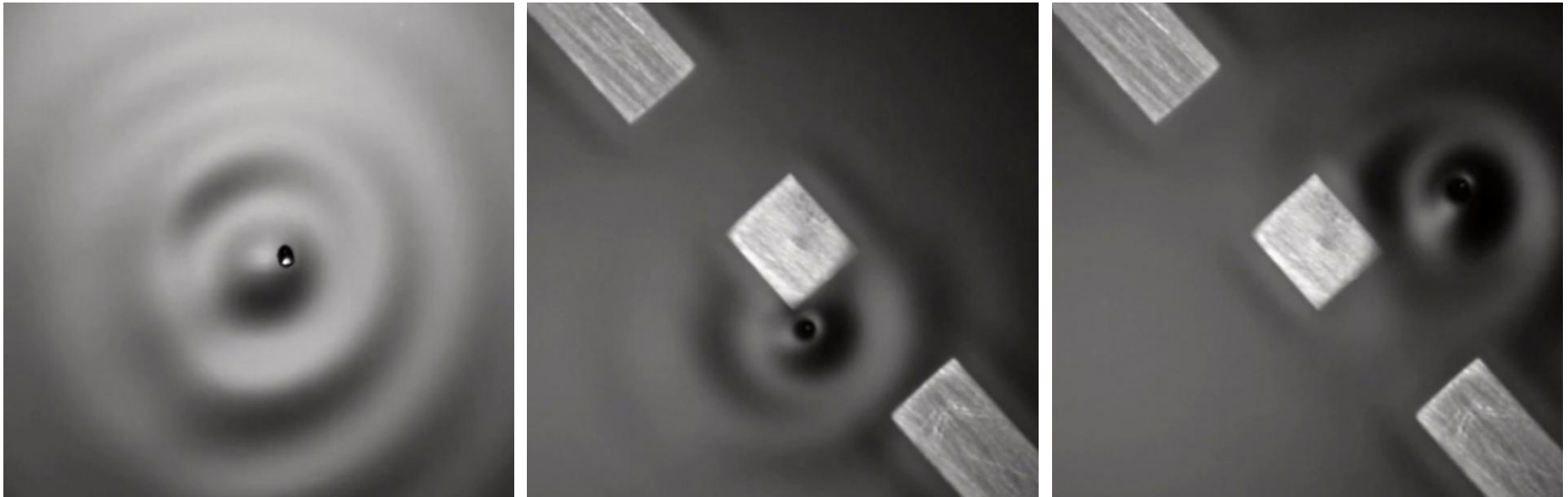


Propagarea in fibra monomod

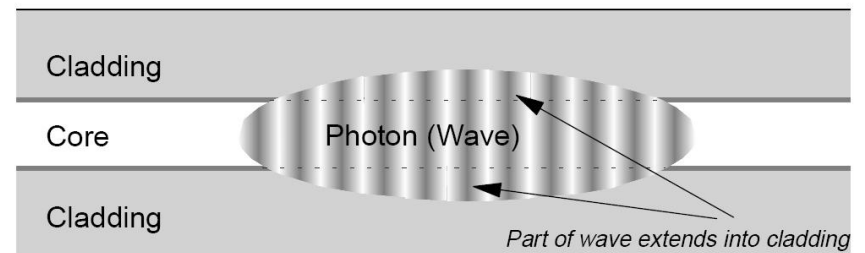
- ▶ Propagarea luminii poate fi explicata doar prin teoria electromagnetica
- ▶ Energia campului se extinde in teaca (diametrul efectiv al spotului luminos – MFD, Mode Field Diameter)
- ▶ $MFD > 2a$
- ▶ Adancimea de patrundere in teaca depinde de lungimea de unda, generand dispersia de ghid



Modelare



Through the Wormhole
S02E07 How Does the Universe Work



Fenomene de interes

- ▶ Cat de departe pot transmite semnalul luminos pe fibra
 - **atenuare**
- ▶ Cat de rapid pot transmite informația
 - dispersie

Atenuare

$$E_y(z_1) = Ct \cdot e^{-\alpha \cdot z_1} \cdot e^{j(\omega t - \beta \cdot z_1)}$$

$$E_y(z_2) = Ct \cdot e^{-\alpha \cdot z_2} \cdot e^{j(\omega t - \beta \cdot z_2)}$$

$$W, P \sim \int E^2$$

$$A = \frac{P_2}{P_1} = \frac{Ct^2 \cdot e^{-2\alpha \cdot z_2}}{Ct^2 \cdot e^{-2\alpha \cdot z_1}} = e^{-2\alpha \cdot (z_2 - z_1)}$$

$$A[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \left[e^{-2\alpha \cdot (z_2 - z_1)} \right]$$

$$A[dB] = -20 \cdot \alpha \cdot (z_2 - z_1) \log_{10} e = -8.686 \cdot \alpha \cdot (z_2 - z_1)$$

$$A / L [dB / km] = -8.686 \cdot \alpha < 0$$

- ▶ Atenuarea se exprima de obicei in **dB/km**
 - ▶ de obicei valori pozitive
 - ▶ semnul = **implicit**

Reprezentare logaritmică

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

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Calculul atenuarii

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

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

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

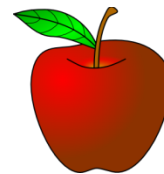
$$\text{Pierderi[dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-

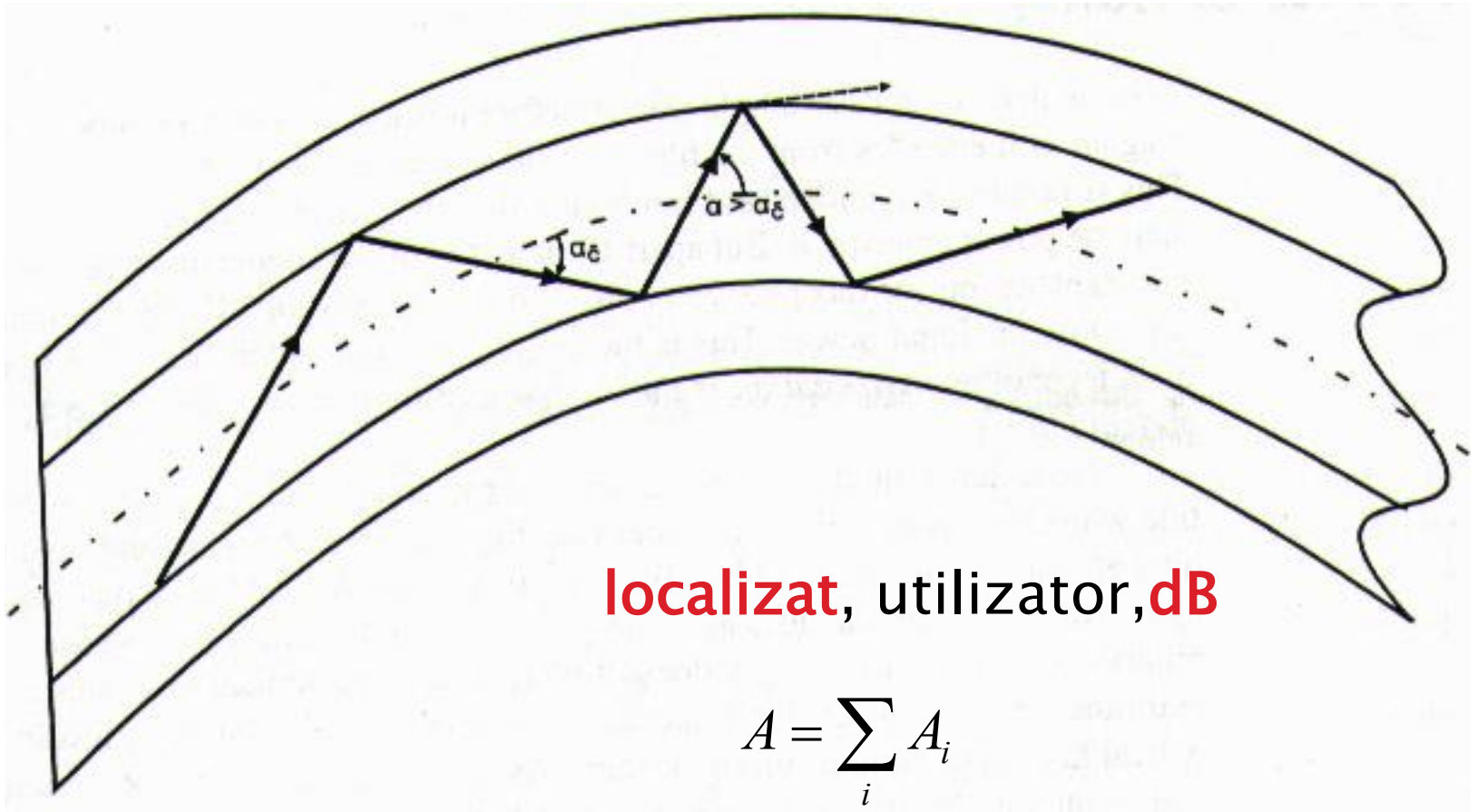


$$\text{Atenuare[dB/km]} = \frac{\text{Pierderi[dB]}}{\text{lungime[km]}}$$

Atenuare

- ▶ Macrocurburi
 - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Discontinuitate in fibra
 - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Microcurburi
 - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Imprastiere
 - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Absorbție
 - **distribuit**, material, dB/km

Macrocurburi



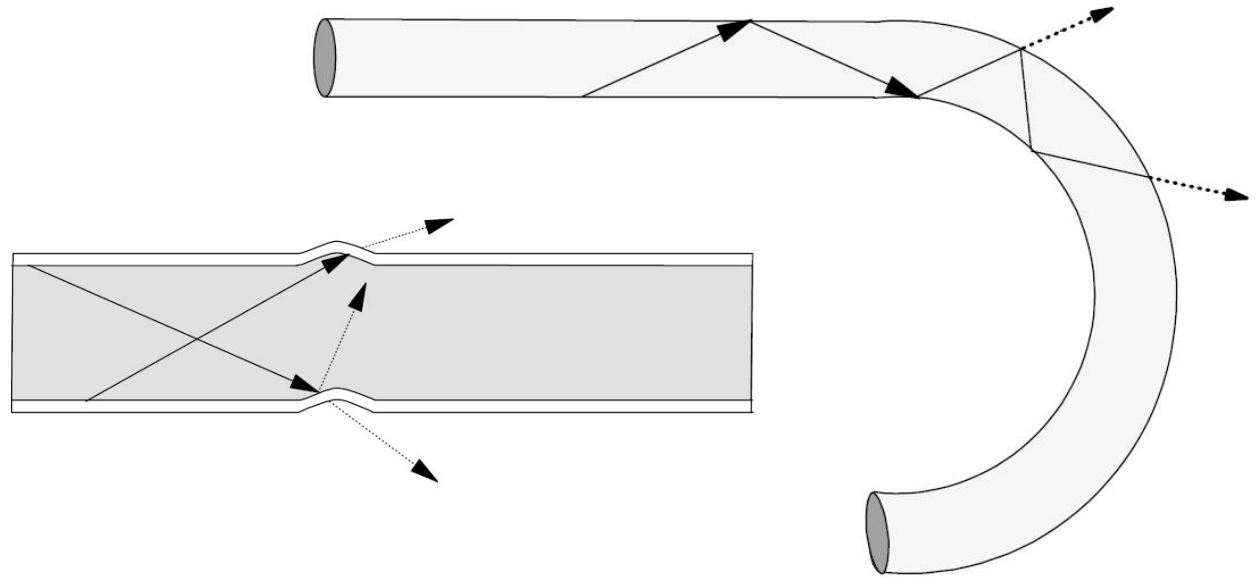
localizat, utilizator, dB

$$A = \sum_i A_i$$

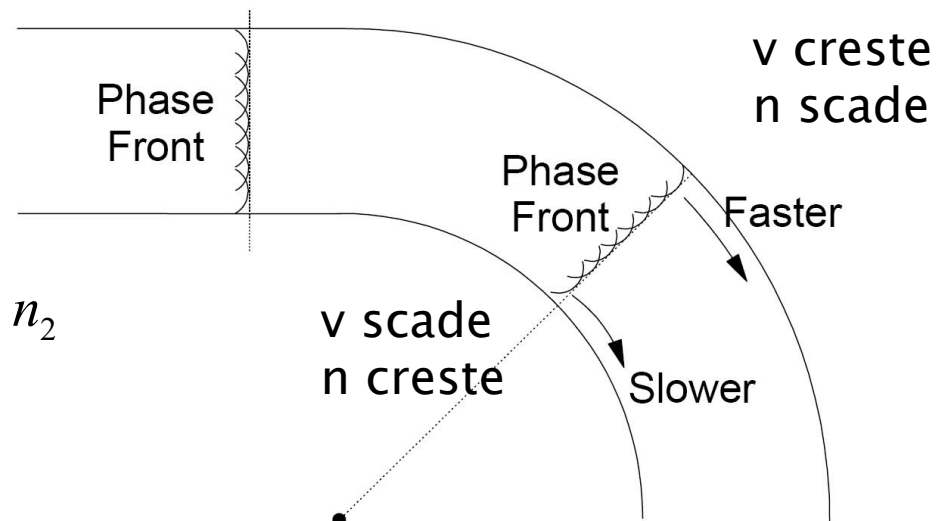
$$A = N \cdot A_i$$

Efectul curburilor

► Multimod



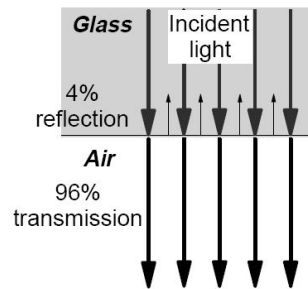
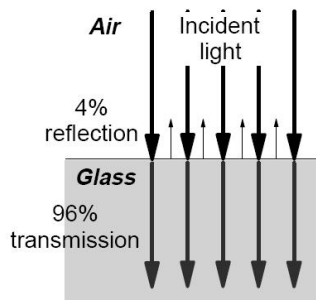
► Monomod



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

Discontinuitate in fibra

- ▶ Apare cand nu putem considera fibra un singur ghid dielectric
 - defectiuni
 - conectori

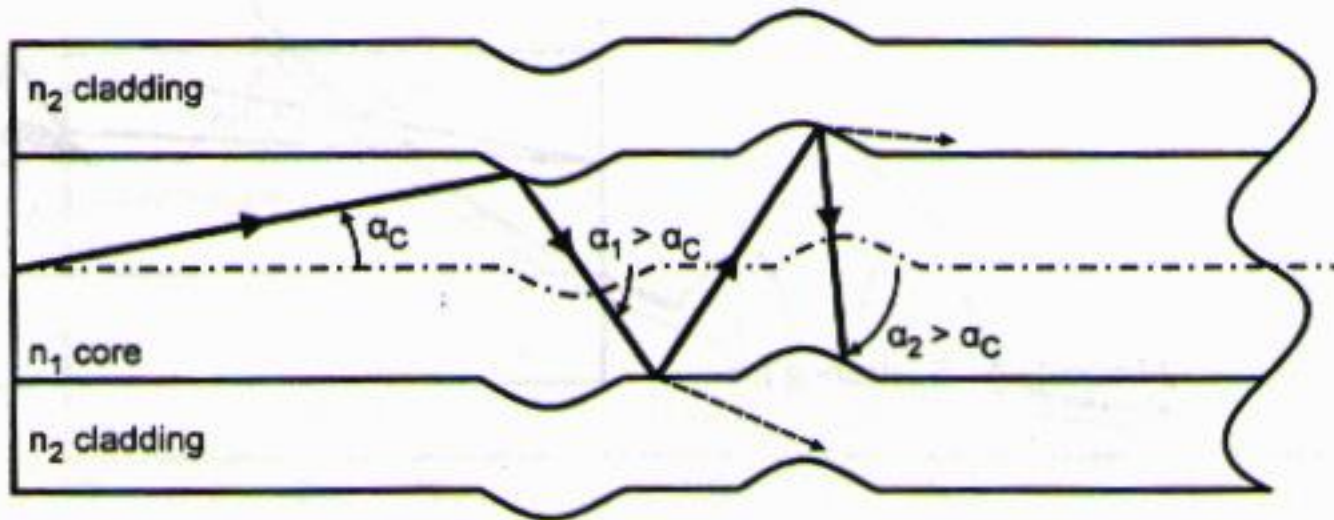


localizat, utilizator, **dB**

$$A = \sum_i A_i$$

$$A = N \cdot A_i$$

Microcurburi

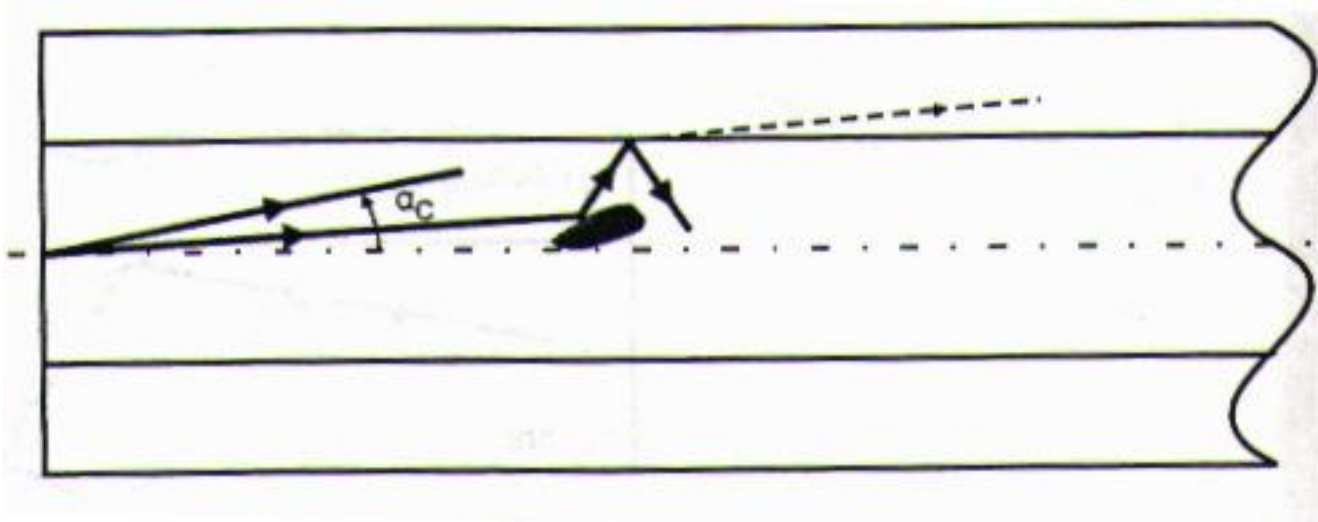


distribuit, tehnologie, **dB/km**

$$A = A_i \cdot L$$

$$A[dB] = A_i[dB / km] \cdot L[km]$$

Imprastiere

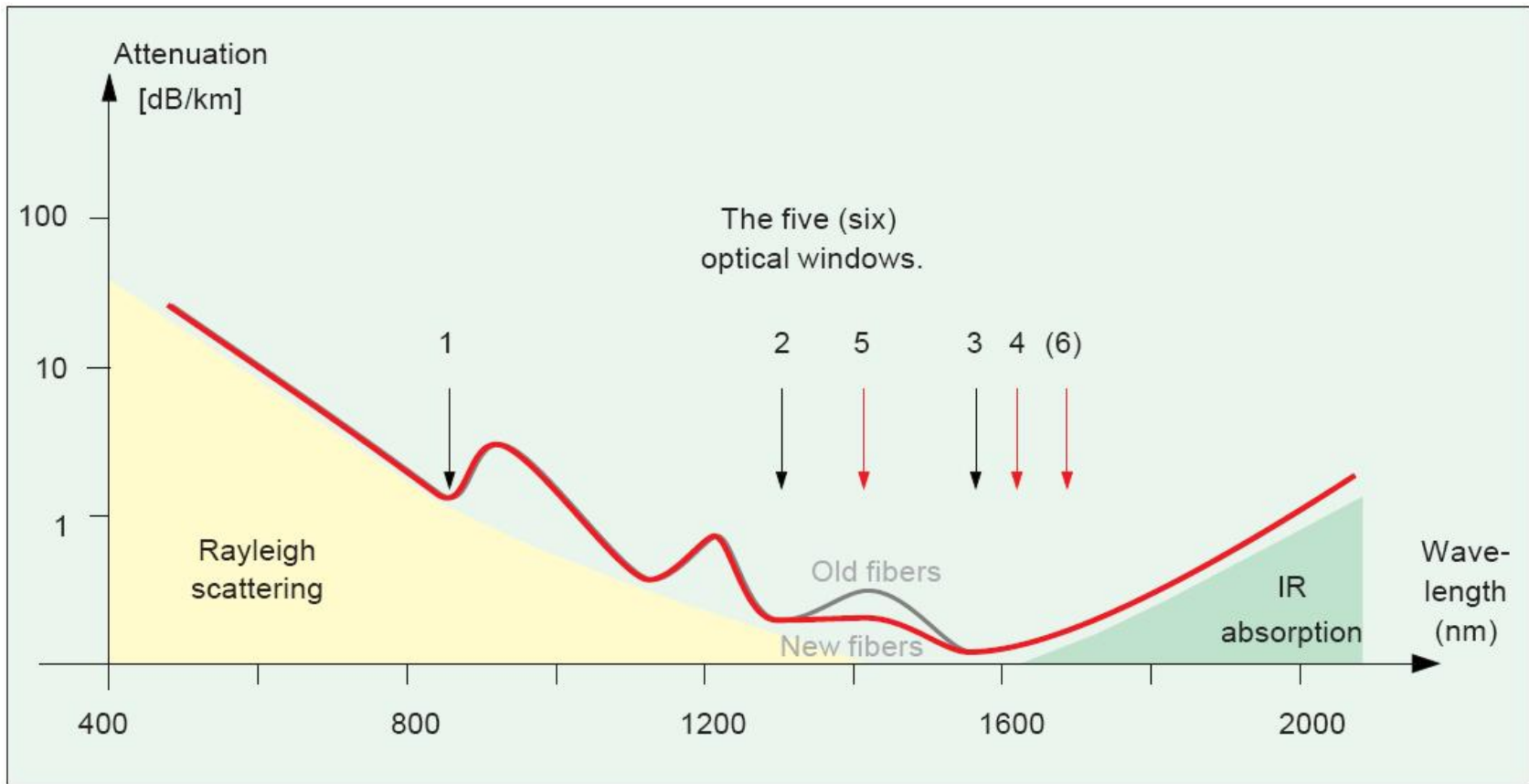


distribuit, tehnologie, **dB/km**

$$A = A_i \cdot L$$

$$A[dB] = A_i[dB / km] \cdot L[km]$$

Absorbtie

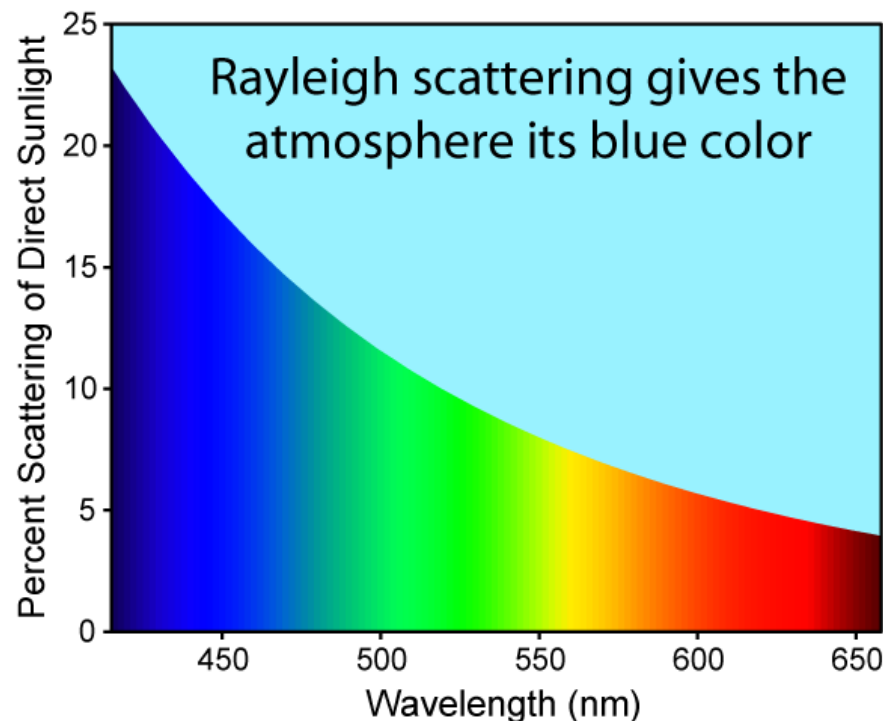


distribuit, material, dB/km

$$A[dB] = A_i[dB / km] \cdot L[km]$$

Difractie Rayleigh

- ▶ imprastierea luminii (si a altor radiatii electromagnetice) de particule (molecule) mult mai mici decat lungimea de unda



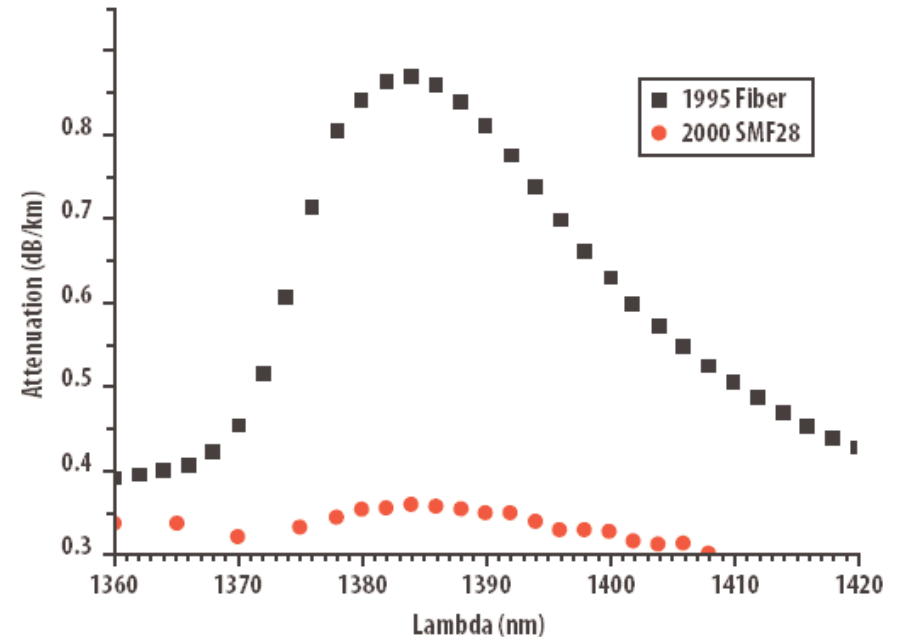
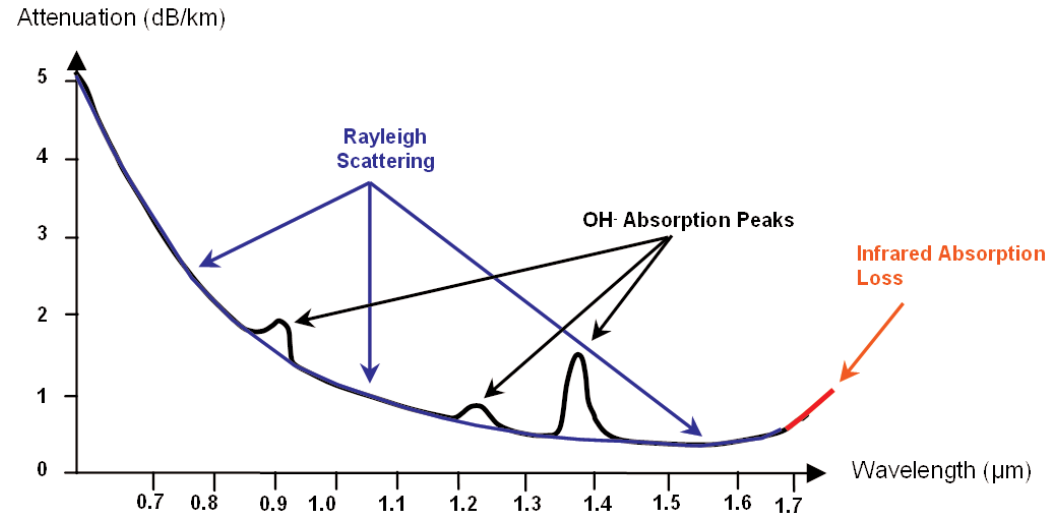
$$A \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

Absorbtie OH

► Absorbtie

- 950nm
- 1244nm
- 1383nm

► Apa!



Fiber Attenuation Comparison

Calculul atenuarii

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

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

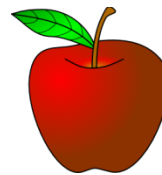
$$\text{Pierderi[dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-



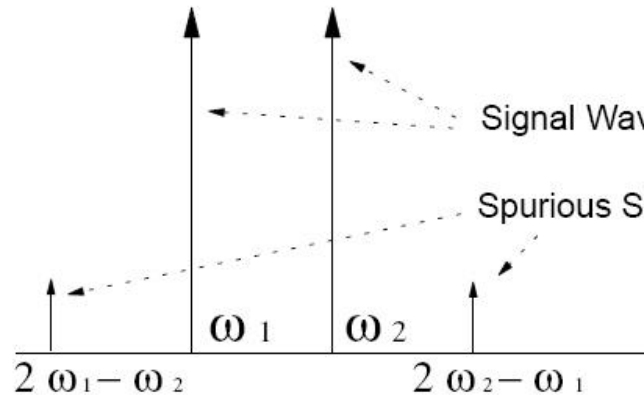
$$\text{Atenuare[dB/km]} = \frac{\text{Pierderi[dB]}}{\text{lungime[km]}}$$

Efecte neliniare in fibra

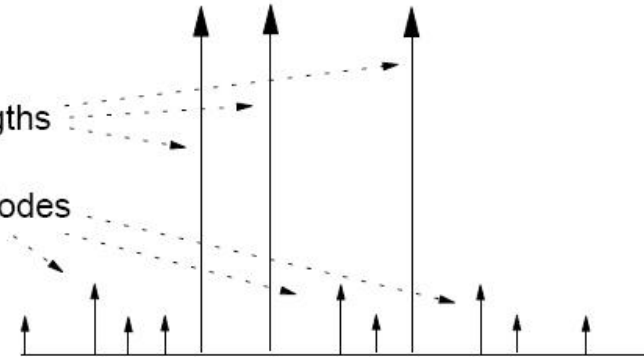
- ▶ Stimulated Brillouin Scattering, SBC
 - difractia luminii inspre emitator datorita undelor mecano-acustice generate in fibra
 - 6–10 dBm
- ▶ Stimulated Raman Scattering, SRS
 - interactiunea luminii cu vibratiile moleculare
 - 27 dBm (~1W)
- ▶ Self Phase Modulation, SPM
 - Frontiera impulsului implica indice de refractie variabil in timp moduland faza impulsului
 - 5 dBm
 - Cross Phase Modulation, CPM
- ▶ Four-Wave Mixing, FWM
 - 0 dBm

Four-Wave Mixing, FWM

Two Channels



Three Channels

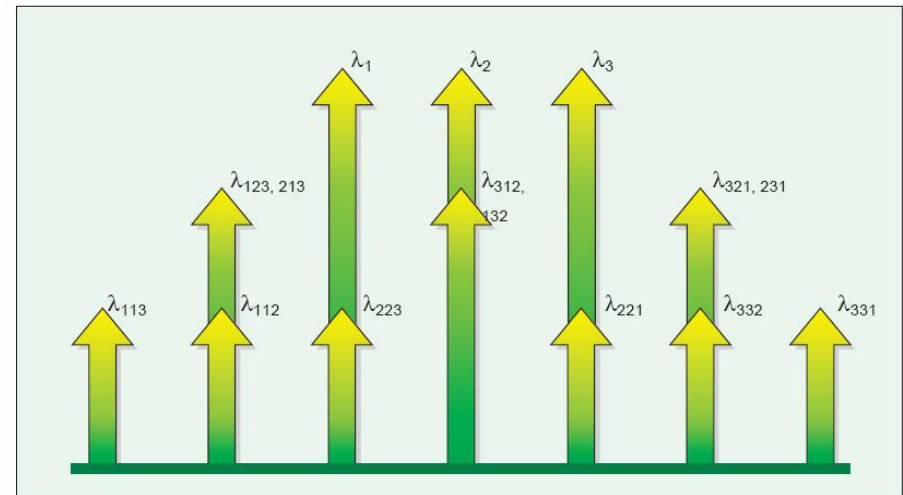


$$NL = \frac{1}{2}(N^3 - N^2)$$

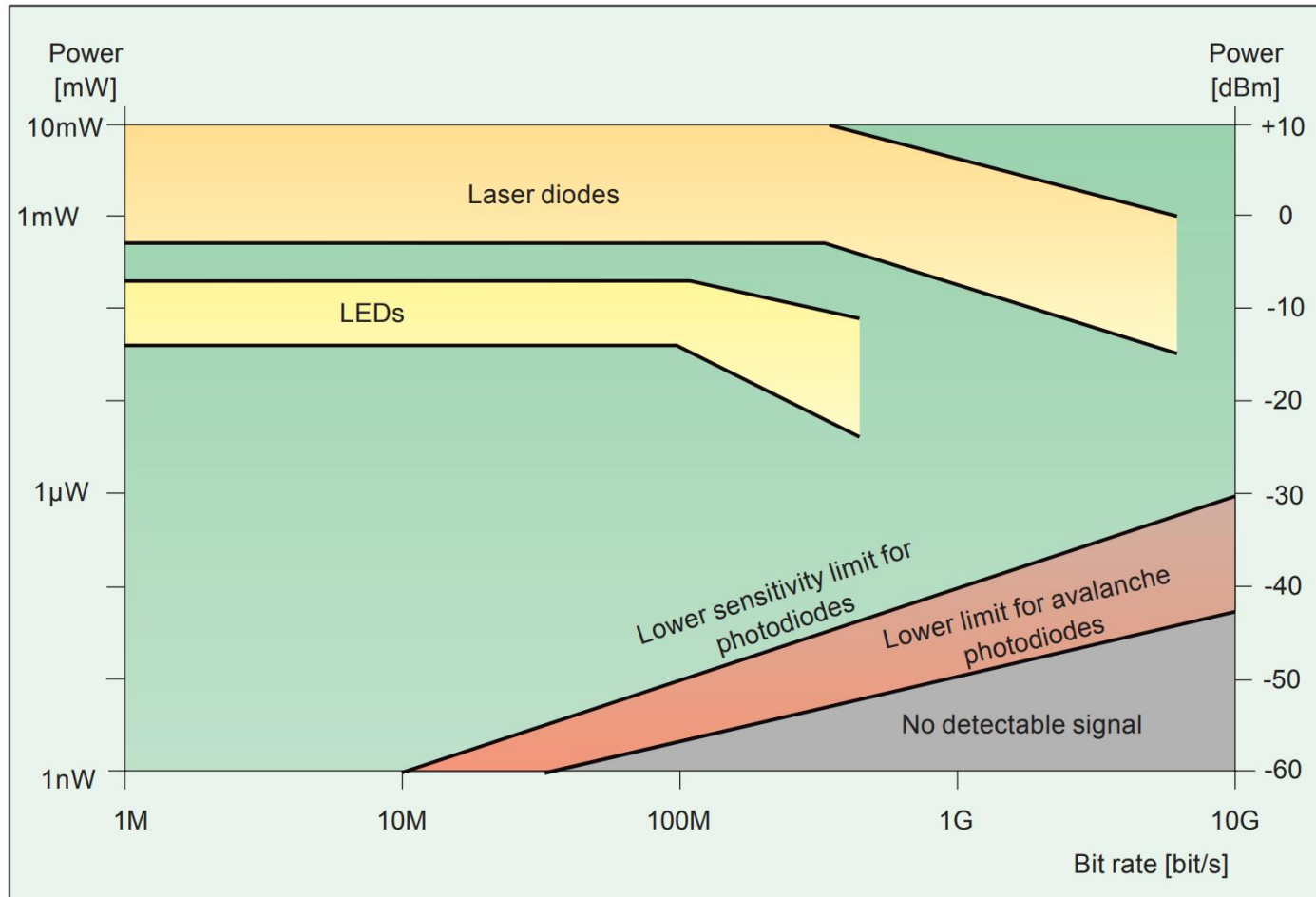
$$N = 2, NL = 4$$

$$N = 3, NL = 9$$

$$N = 16, NL = 1920$$



Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice



Contact

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