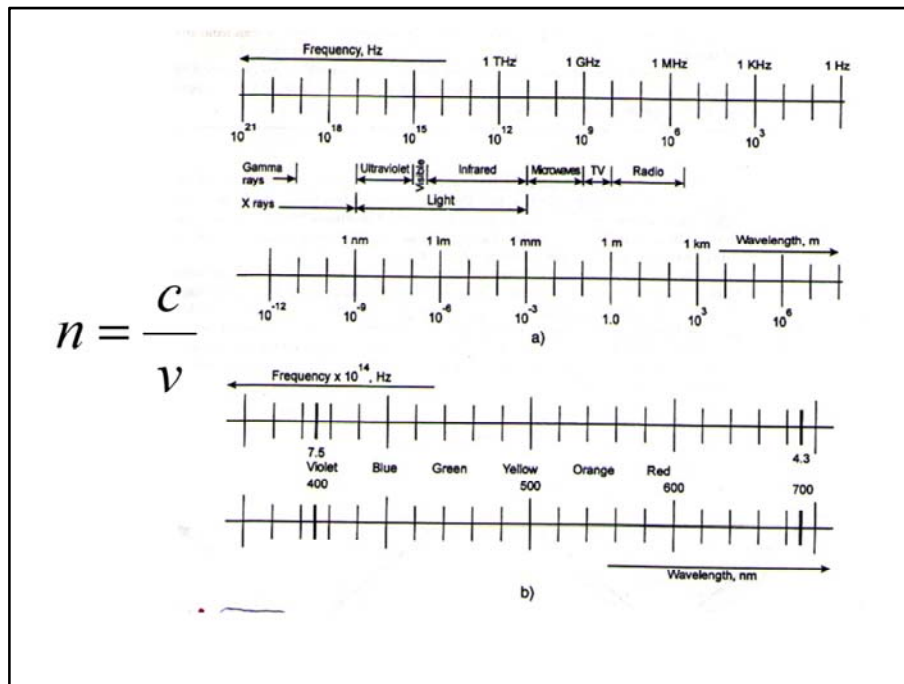
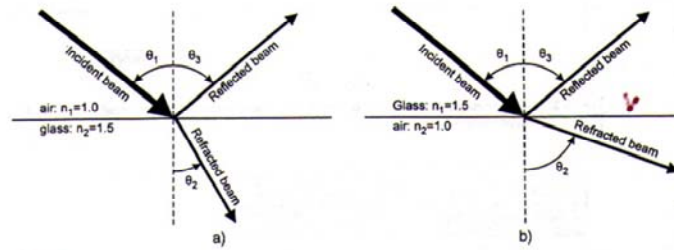


Fibra Optica

Raze de lumina



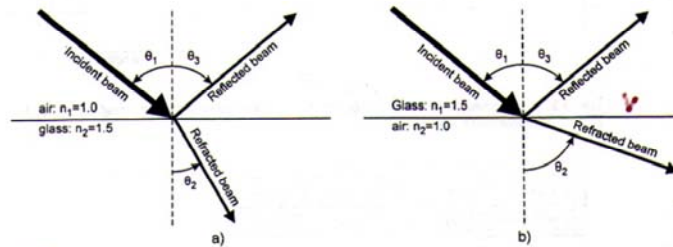


$$\theta_1 = \theta_3$$

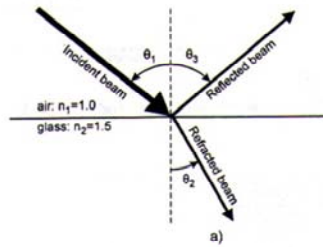
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Problema

- Fie $n_1=1$, $\theta_1=30^\circ$, $n_2=1.5$.
- Care este unghiul θ_2 pentru cele doua cazuri din fig1.

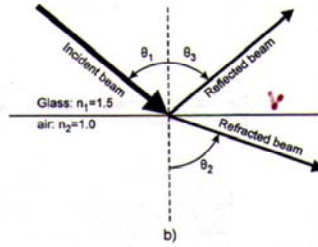


Solutie



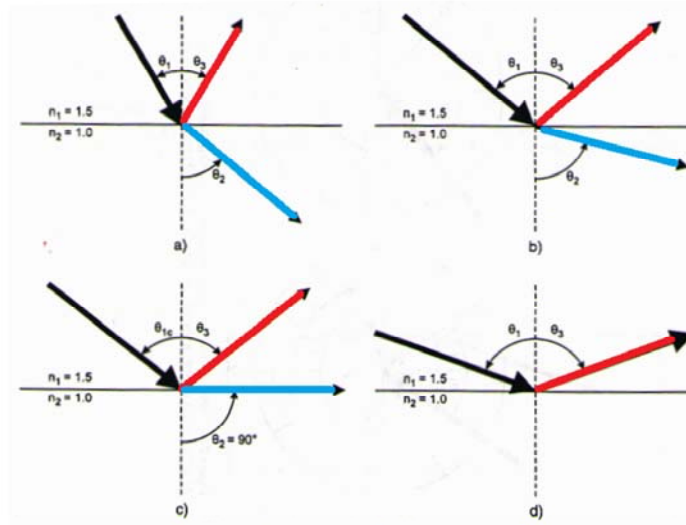
$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 = \frac{1}{1.5} \sin 30^\circ = 0.333$$

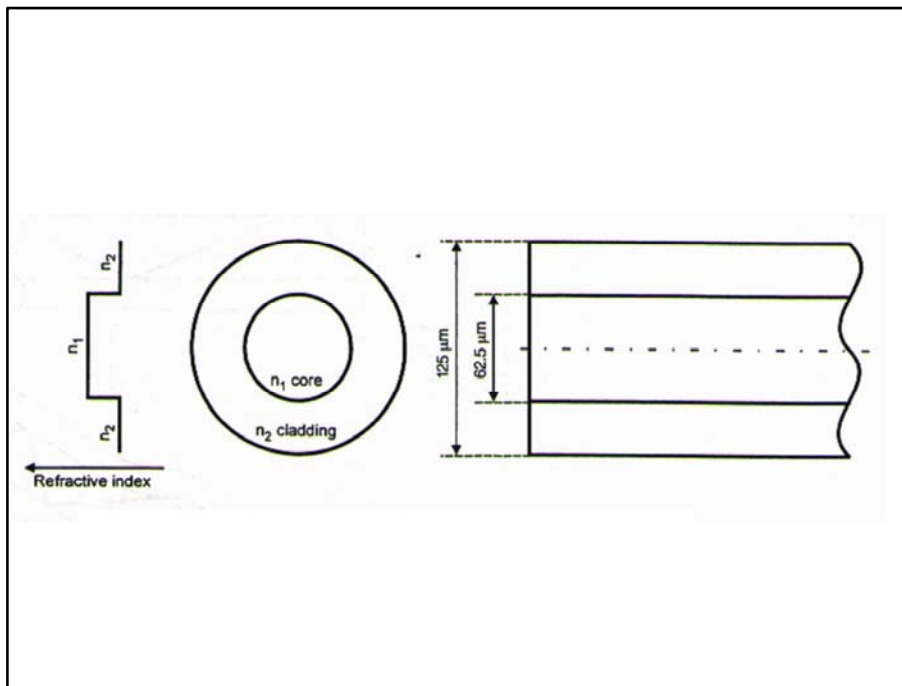
$$\theta_2 = \arcsin(0.333) = 19.5^\circ$$

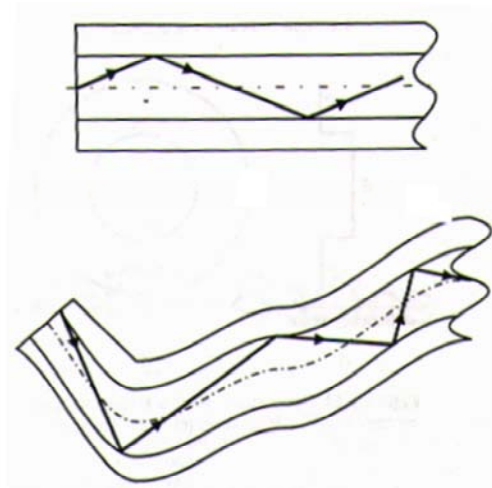


$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 = \frac{1.5}{1} \sin 30^\circ = 0.75$$

$$\theta_2 = \arcsin(0.75) = 48.6^\circ$$

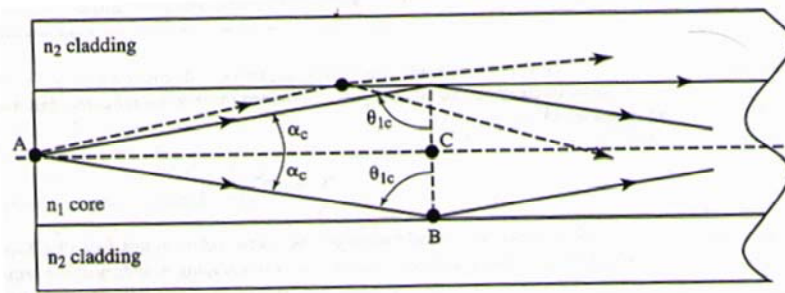






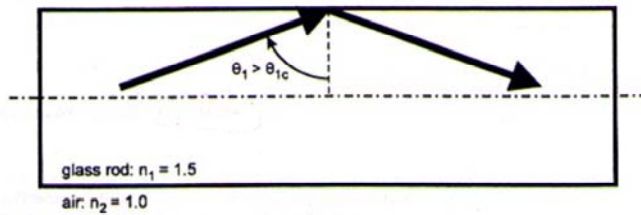
Unghiul critic de incidenta si unghiul critic de propagare

$$\alpha_C = \arcsin \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$



Problema

Presupunem ca avem o bara de sticla inconjurata de aer, ca in figura. Calculati unghiul critic de incidenta



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1.5 \sin \theta_{1c} = \sin 90^\circ$$

$$\theta_{1c} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{1}{1.5} = 41.8^\circ$$

Exercitiu

Indicele de refracție al miezului este 1.48 iar indicele de refracție al tecii este 1.46. În ce condiții lumina va fi captată în interiorul miezului?

Solutie

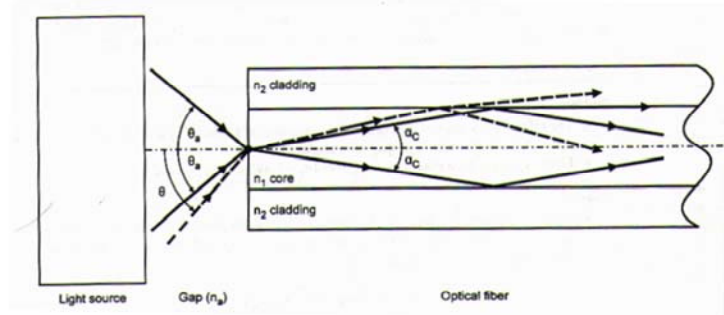
$$\theta_{1C} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{1.46}{1.48} = \arcsin 0.986 = 80.40^\circ$$

$$\alpha_C = 90^\circ - \theta_{1C} = 90^\circ - 80.40^\circ = 9.60^\circ$$

$$\sin \theta_{1C} = \sin(90 - \alpha_c) = \cos \alpha_C = n_2/n_1 = 0.986$$

$$\alpha_C = \arccos(0.986) = 9.43^\circ !!$$

Apertura numerica



$$n_a \sin \theta_a = n_1 \sin \alpha$$

$$\sin \theta_{ac} = n_1 \sin \alpha_c$$

Exercitiu

Indicele de refracție al miezului este 1.48 iar indicele de refracție al tecii este 1.46. Care este unghiul de acceptanță al fibrei?

Solutie

$$\sin \theta_a = 1.48 \sin 9.43^\circ = 0.2425$$

$$\theta_a = \arcsin(0.2425) = 14.033^\circ$$

$$\mathbf{Unghi\ Acceptanta} = 2\theta_a = 28.07^\circ$$

APERTURA NUMERICA

$$NA \stackrel{\text{def}}{=} \sin \theta_a$$

$$\begin{aligned} NA = \sin \theta_a &= n_1 \sin \alpha_C = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \\ &= \sqrt{n_{\text{miez}}^2 - n_{\text{teaca}}^2} \end{aligned}$$

Exercitiu

Indicele de refracție al miezului este 1.48 iar indicele de refracție al tecii este 1.46. Care este apertura numerică a fibrei?

Solutie

$$\text{NA} = \sqrt{1.48^2 - 1.46^2} = 0.2425$$

Expresia tehnologica a aperturii numerice

$$n = (n_1 + n_2) / 2$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n}$$

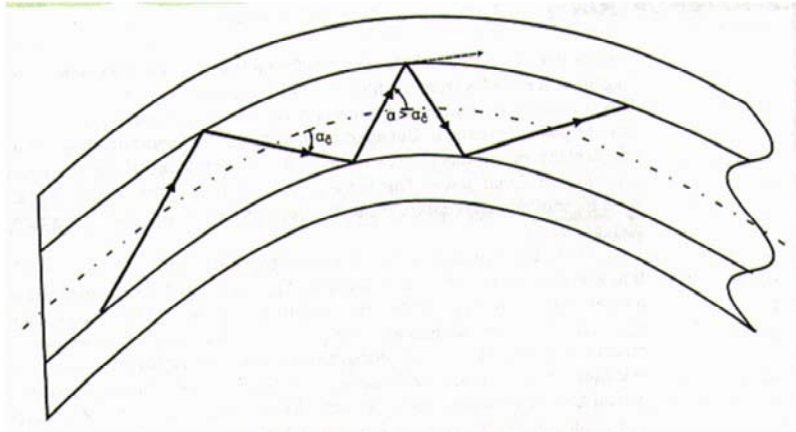
$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(n_1 - n_2)(n_1 + n_2)} = \sqrt{(\Delta n)(2n)} = \sqrt{2\Delta n^2}$$

$$NA = n\sqrt{2\Delta}$$

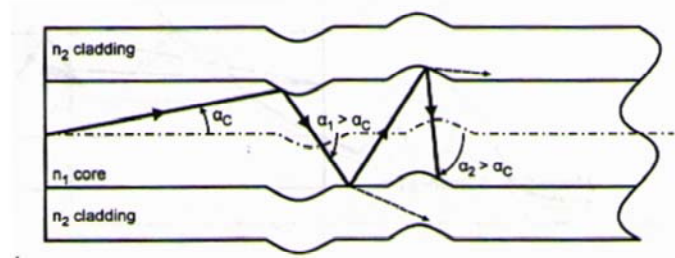
ATENUAREA

- Macrocurburi
- Microcurburi
- Imprastiere
- Absorbție

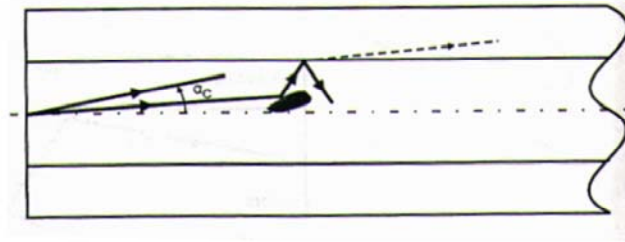
Macrocurburi



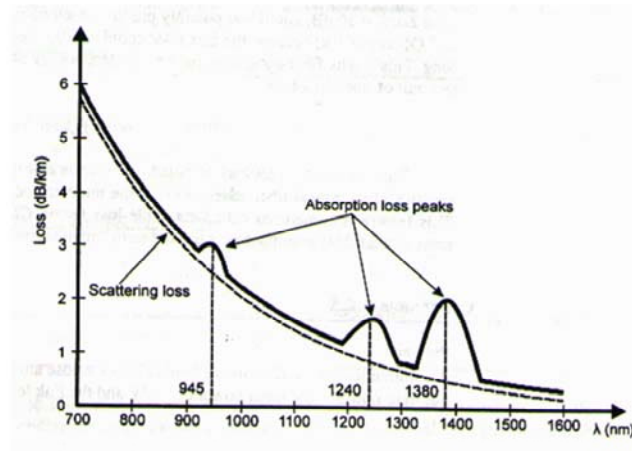
Microcurburi



Imprastiere



Absorbtie



Calculul atenuarii

$$P_{\text{deri}} = P_{\text{ies}} / P_{\text{in}}$$

$$P_{\text{deri}}(\text{dB}) = -10 \log_{10} (P_{\text{ies}} / P_{\text{in}})$$

$$A (\text{dB/km}) = P_{\text{deri}} (\text{dB}) / \text{lungimea fibrei (km)}$$

Exercitiu

Un sistem de comunicații utilizează o fibră optică a cărei atenuare, A , este 0.5 dB/km. Calculați puterea luminii la ieșirea fibrei dacă puterea la intrare este de 1 mW, iar lungimea legăturii este de 15 km.

Solutie

$$-A \text{ (dB/km)} = (10 \log(P_{\text{ies}}/P_{\text{in}})) \text{ (dB)} / L \text{ (km)}$$

$$10 \log(P_{\text{ies}}/P_{\text{in}}) = [-A \text{ (dB/km)} \times L \text{ (km)}] / 10$$

$$P_{\text{ies}}/P_{\text{in}} = 10^{-A \text{ (dB/km)} * L \text{ (km)} / 10}$$

$$P_{\text{ies}} = P_{\text{in}} \times 10^{-A \text{ (dB/km)} * L \text{ (km)} / 10}$$

$$P_{\text{ies}} = 1\text{mW} \times 10^{-(0.5 \times 15)/10} = 1\text{mW} \times 10^{-0.75} = 1\text{mW} \times 0.178 = 0.178\text{mW}$$

$$-A \text{ (dB/km)} = (10 \log(P_{\text{ies}}/P_{\text{in}})) \text{ (dB)} / L \text{ (km)}$$

$$L = (10/A \text{ (dB)}) \log(P_{\text{in}}/P_{\text{ies}})$$

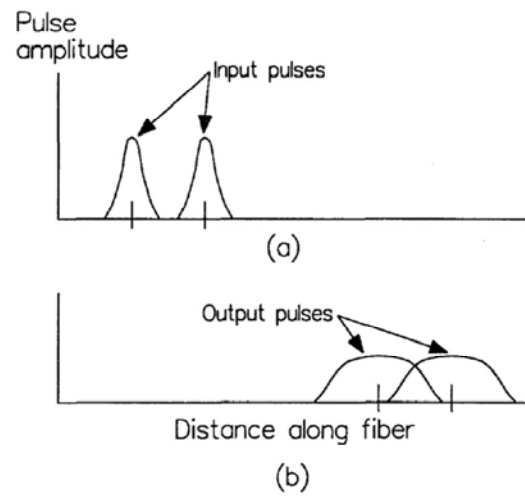
Exercitiu

Calculați distanța maximă de transmisie pentru o fibră avînd o atenuare de 0.5 dB/km, dacă puterea lansată în fibră este de 1 mW, iar sensibilitatea receptorului este de 50 μ W.

Solutie

$$L_{\max}(\text{km}) = (10/A) \log(P_{\text{in}}/P_{\text{ics}}) = (10/0.5) \log \left(\frac{1\text{mW}}{\frac{50\mu\text{W}}{20}} \right) = 26\text{km}$$

DISPERSIA



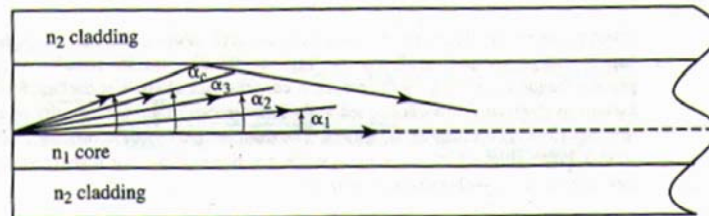
Dispersia fibrei se manifesta prin latirea unui impuls de lumina pe masura ce el se propaga pe fibra.

TIPURI DE DISPERSIE

- Dispersia modala in fibrele multimod
- Dispersi cromatica in fibrele monomod

$$\Delta T_{\text{modal}} \gg \Delta T_{\text{cromatic}}$$

Dispersia fibrei multimod Numarul de moduri



$$V = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$V = \frac{\pi d}{\lambda} NA$$

$$V = \frac{\pi d n}{\lambda} \sqrt{2\Delta}$$

Fibra cu salt de indice

$$N = V^2/2$$

Fibra cu indice gradat

$$N = V^2/4$$

Exercitiu

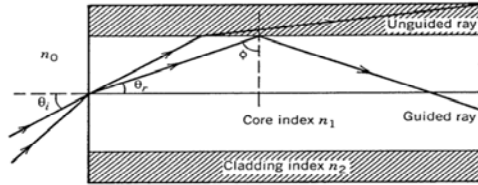
Calculați numărul de moduri dintr-o fibră cu indice gradat dacă diametrul miezului este $62.5\mu\text{m}$, apertura numerică 0.275, iar lungimea de undă de funcționare 1300nm .

Solutie

$$V = \frac{\pi d N \lambda}{\lambda} = \frac{(3.14 \times 62.5 \times 10^{-6} \times 0.275) \text{ m}}{1300 \times 10^{-9} \text{ m}} = 41.5$$

$$N = \frac{V^2}{4} = 431$$

Dispersia modala a fibrei cu salt de indice



$$\Delta T = \frac{n_1}{c} \left(\frac{L}{\sin \phi_c} - L \right) = \frac{L n_1^2}{c n_2} \Delta \quad (65) \qquad \Delta T < T_B \approx \frac{1}{BR} \quad (66) \qquad \frac{L n_1^2}{c n_2} \Delta < \frac{1}{BR} \quad (67)$$

$$(BR_{SI})L < \frac{n_2}{n_1^2} \frac{c}{\Delta} \quad (68)$$

37

Dispersia multimodala poate fi inteleasa prin faptul ca diversele moduri de propagare din miez calatoresc pe drumuri de lungimi diferite. Ca urmare, aceste moduri (raze in modelul opto-geometric) ajung la capatul fibrei la momente diferite, chiar daca au calatorit toate cu aceeasi viteza. Ca urmare, un impuls ar fi largit ca urmare a acestor lungimi de drum diferite.

Putem estima largirea impulsului, considerind drumul de lungimea cea mai mica si pe cel de lungimea cea mai mare. Cel mai scurt drum apare pentru $\theta_i = 0$, si are o lungime egala cu cea a fibrei, sa spunem L . Cel mai lung drum apare pentru θ_i dat de ecuatia (64), si are lungimea $L/\sin(\phi_c)$. Considerind ca viteza de propagare este aceeaasi pentru ambele cazuri, c/n_1 , diferenta de timp este data de relatia (65).

Potem lega ΔT de capacitatea fibrei de transport a informatiei, masurata prin viteza de bit B . Aceasta legatura depinde de multe detalii, cum ar fi, de exemplu, forma impulsului. Este insa evident intuitive ca ΔT trebuie sa fie mai mic decit intervalul de timp alocat unui bit, T_B (vezi ec.66). Deci, utilizind relatia (65) rezulta (67), respective (68).

Relatia (68) este o estimare grosiera a limitarii fundamentale a fibrei cu salt de indice.

EXEMPLU

$$(BR)L < \frac{n_2}{n_1^2} \frac{c}{\Delta}$$

Fibra fara teaca: $n_1=1.5$ si $n_2=1$.

$(BR)L < 0.4$ (Mb/s)*km.

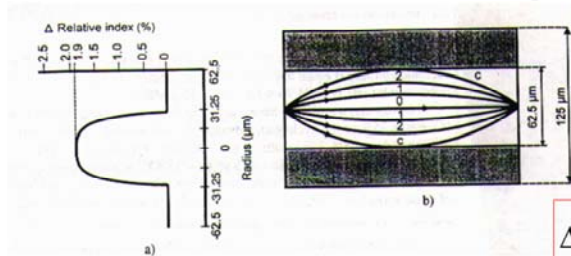
Fibra cu teaca are $\Delta < 0.01$.

De exemplu, pentru $\Delta = 2 \cdot 10^{-3}$ avem $(BR)L < 100$
(Mb/s)*km

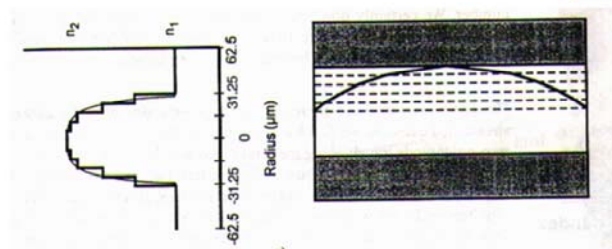
Aceasta fibra poate comunica cu 10 Mb/s pe o distanta de 10 km.

θ_i

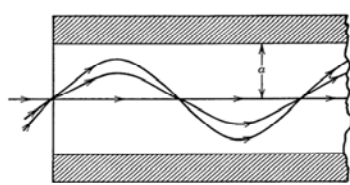
Fibra cu indice gradat



$$\Delta T_{GI} = \left(L n_1 \Delta^2 \right) / 2c$$



Fibre multimod cu indice gradat



$$n(\rho) = \begin{cases} n_1 \left[1 - \Delta (\rho/a)^\alpha \right]; & \rho < a \\ n_1 (1 - \Delta) = n_2; & \rho \geq a \end{cases} \quad (69)$$

$$\frac{d^2 \rho}{dz^2} = \frac{1}{n} \frac{dn}{d\rho} \quad (70)$$

$$\rho(z) = \rho_0 \cos(pz) + (\rho'_0/p) \sin(pz) \quad (71)$$

$$p = (2\Delta/a^2)^{1/2}$$

40

În fibrele multimode cu indice gradat, indicele de refractive al miezului nu este constant ci descrește gradual de la o valoare maximă n_1 , în centrul fibrei, la o valoare minimă n_2 , la interfața miez – teacă. Cele mai multe fibre sunt construite pentru a avea o descreștere parabolică și sunt caracterizate utilizând așa numitul "profil α ", definit în relația (69). Profilul "salt de indice" este atins pentru $\alpha = \infty$, iar profilul parabolic pentru $\alpha = 2$.

În acest caz, folosind optica geometrică și *aproximația paraxială*, se demonstrează că traiectoria razei în fibra parabolică este dată de ecuația (70), unde ρ este distanța radială a razei de la axa fibrei. În cazul profilului parabolic, folosind relația (69) pentru $\rho < a$, ecuația traiectoriei se reduce la ecuația oscilatorului armonic, a cărei soluție generală este (71), iar ρ_0 și ρ'_0 sunt poziția și direcția razei la intrarea în fibră. Relația arată că toate razele recuperează poziția și direcția inițială la distanța $z = 2m\pi/p$, unde m este un întreg. Deci, **fibrele cu indice gradat ideale nu au dispersie intermodală.**

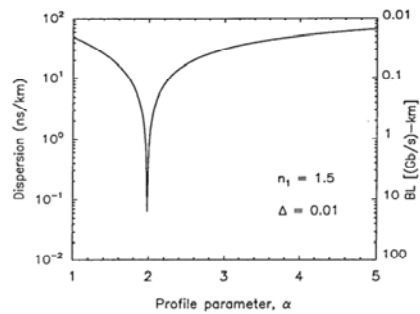
Dispersia modala a fibrei cu indice gradat

$$\alpha = 2(1 - \Delta)$$

$$\Delta T_{GI} = L \frac{n_1}{2c} \Delta^2 \quad (72)$$

$$\Delta T_{GI} < T_B = \frac{1}{BR} \quad (73)$$

$$(BR_{GI})L < \frac{2c}{n_1 \Delta^2} \quad (74)$$



41

În cazul fibrelor practice, modelul opto-geometric și aproximația paraxială trebuie abandonate. Singura metodă valabilă fiind analiza propagării unde electromagnetice. Cantitatea ($\Delta T / L$) se deduce că depinde puternic de α . În figura avem variația acestui parametru pentru $n_1 = 1.5$ și $\Delta = 0.01$. Minimul dispersiei se obține pentru $\alpha = 2(1 - \Delta)$ și este dat de relația (72).

Valoarea limită pentru produsul viteză de bit – distanță se obține utilizând același criteriu (73) și este dată de relația (74).

Fibrele cu indice gradat, cu un indice al profilului optimizat, poate susține viteze de 100 Mb/s la distanțe de 100 km.

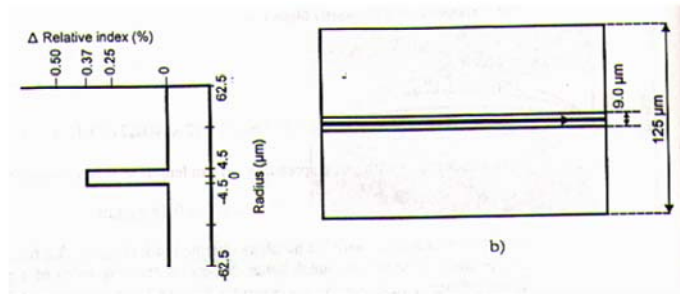
Exercitiu

O fibră cu indice gradat are apertură numerică 0.275 și $n_1=1.487$. Care este viteza de bit restricționată de dispersia modală, pentru 1 km de fibră ?

Solutie

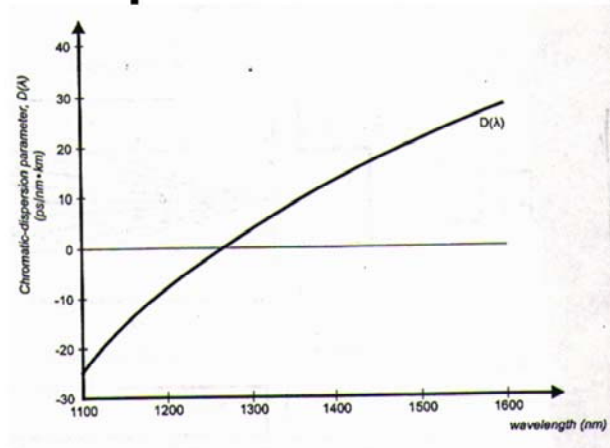
$$\text{BR}_{\text{GI}} = \left(8cn_1^3\right) / \left(L(\text{NA})^4\right) = 1.38 \times 10^9 \text{ bit/s} = 1.38 \text{ Gbit/s}$$

Fibra monomod



$$V \leq 2.405$$

Dispersia cromatică



$$\Delta T_{\text{crom}} = D(\lambda) L \Delta \lambda$$

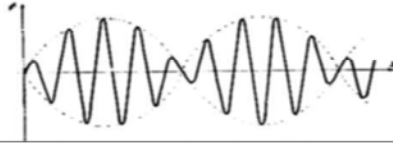
Dispersia totală

$$\Delta T_{\text{total}} = \sqrt{\left(\Delta T_{\text{modal}}^2 + \Delta T_{\text{crom}}^2 \right)}$$

DISPERSIA IN FIBRELE MONOMOD GRUP DE UNDE

$$v - v' = \Delta v$$

$$u - u' = \Delta u$$



$$\begin{aligned} \phi &= a \sin 2\pi v \left(t - \frac{x}{u} \right) + a \sin 2\pi v' \left(t - \frac{x}{u'} \right) = \\ &= 2a \sin \pi \left[t(v + v') - x \left(\frac{v}{u} + \frac{v'}{u'} \right) \right] \cos \pi \left[t(v - v') - x \left(\frac{v}{u} - \frac{v'}{u'} \right) \right] \end{aligned}$$

$$v + v' \approx 2v \quad \frac{v}{u} + \frac{v'}{u'} \approx 2 \frac{v}{u} \quad \frac{v}{u} - \frac{v'}{u'} \triangleq \Delta \left(\frac{v}{u} \right)$$

$$\phi \approx 2a \sin 2\pi v \left(t - \frac{x}{u} \right) \cos \pi \left[t\Delta v - x\Delta \left(\frac{v}{u} \right) \right] = A \sin 2\pi v \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

47

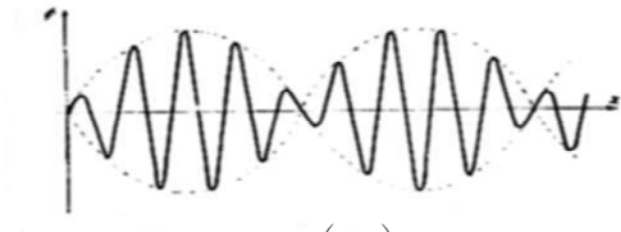
Am vazut ca dispersia intermodala in fibrele multimod conduce la o largire considerabila a impulsurilor optice (~ 10 ns/km). In descrierea modala a propagarii, acest fenomen se datoreste faptului ca fiecare mod are o viteza de grup diferita.

In fibrele monomod, dispersia intermodala dispare deoarece energia este transportata de un singur mod.

Totusi, latirea impulsului nu dispare. Viteza de grup asociata cu modul fundamental de propagare este dependenta de frecventa din cauza dispersiei cromatice. Prin urmare, diferite componente spectrale ale impulsului se propaga cu viteze de grup diferite, fenomen numit dispersie intramodala sau dispersie de viteza de grup (GVD).

Aceasta dispersie are doua componente: dispersia de material si dispersia de ghid.

GRUP DE UNDE - 2



$$t \Delta v - x \Delta \left(\frac{v}{u} \right) = 0$$

$$\frac{1}{v_g} = \frac{t}{x} = \frac{\Delta \left(\frac{v}{u} \right)}{\Delta v} \xrightarrow{\Delta v \rightarrow 0} \frac{d}{dv} \left(\frac{v}{u} \right) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\beta(v)}{dv}$$

DISPERSIA CROMATICA

$$v_g = \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)^{-1} \quad (75) \quad v_g = \frac{c}{n_g}, \beta = \bar{n}k_0 = \bar{n} \frac{\omega}{c} \quad (76)$$

$$n_g = \bar{n} + \omega \frac{d\bar{n}}{d\omega} \quad (77)$$

$$\Delta T_{cr} = \frac{dT}{d\omega} \Delta\omega = \frac{d}{d\omega} \left(\frac{L}{v_g} \right) \Delta\omega = L \frac{d}{d\omega} \left(\frac{1}{v_g} \right) \Delta\omega = L \frac{d}{d\omega} \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right) \Delta\omega = L \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \Delta\omega = L \beta_2 \Delta\omega \quad (78)$$

$$\beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \quad \Delta T_{cr} = \frac{dT}{d\lambda} \Delta\lambda = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{L}{v_g} \right) \Delta\lambda = L D \Delta\lambda$$

$$D = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{v_g} \right) = - \frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad (79)$$

49

Consideram o fibra de lungime L. O componenta spectrala de frecventa ω ar ajunge la iesirea fibrei dupa un timp $T = L/v_g$, unde v_g este viteza de grup definita prin (75). Folosind (76) obtinem n_g , relatia (77).

Dependenta de frecventa a vitezei de grup conduce la latirea pulsului din cauza faptului ca diferite componente spectrale se deplaseaza cu viteze diferite. Daca $\Delta\omega$ este latimea spectrului pulsului, latirea impulsului pentru o fibra de lungime L este data de relatia (78). β_2 este dispersia cromatica sau GVD.

In sistemele optice de comunicatii, $\Delta\omega$ este determinat de domeniul de lungimi de unda emise de sursa optica.

D se numeste **parametrul de dispersie** si se masoara in ps/(nm*km), vezi relatia (79).

DISPERSIA CROMATICA

$$\Delta T_{cr} = \frac{dT}{d\lambda} \Delta\lambda = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{L}{v_g} \right) \Delta\lambda = L D \Delta\lambda$$

$$D = - \frac{2\pi c}{\lambda^2} \frac{d}{d\omega} \left(\frac{1}{v_g} \right) = - \frac{2\pi}{\lambda^2} \left(2 \frac{d\bar{n}}{d\omega} + \omega \frac{d^2 \bar{n}}{d\omega^2} \right) \quad (81)$$

$$D = D_M + D_W$$

$$D_M = - \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{d\bar{n}}{d\omega} = \text{dispersia de material}$$

$$D_W = - \frac{2\pi}{\lambda^2} \omega \frac{d^2 \bar{n}}{d\omega^2} = \text{dispersia de ghid}$$

50

Efectul dispersiei este reducerea vitezei de bit B. Aceasta poate fi estimat prin conditia (80).

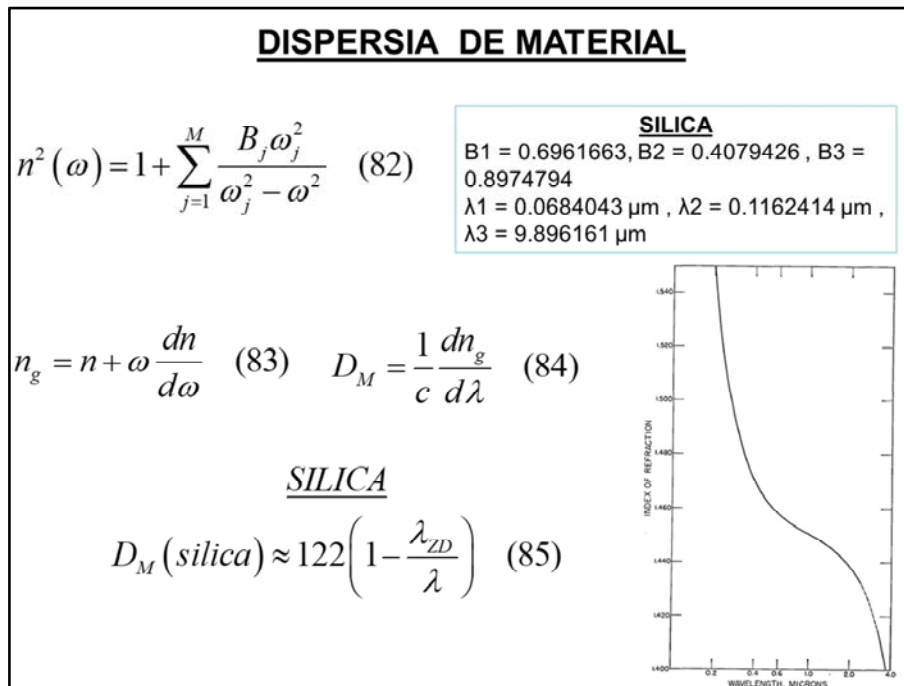
Pentru fibrele standard din silica, D este relativ mic in jurul lungimii de unde de 1.3 microni. ($D \sim 1\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm})$).

Pentru o dioda laser, latimea spectrala $\Delta\lambda$ este de 2-4 nm. Produsul BL depaseste 100 (Gb/s)*km. Astfel, sistemele de comunicatii optice pe 1.3 microni functioneaza tipic la viteze de 2 Gb/s cu un interval intre repetoare de 40-50 km.

Produsul BL a fibrelor monomod poate depasi 1 (Tb/s)*km cind laserul are o latime spectrala sub 1 nm.

Parametrul de dispersie D poate varia considerabil cind lungimea de unda de functionare difera considerabil de 1.3 μm .

Dependenta de lungimea de unda a lui D este guvernata de dependenta de frecventa a indicelui de refractie n_{barat} . Din relatia (79), D poate fi scris sub forma (81), in care apare suma a doi termeni: D_M , dispersia de material, si D_W , dispersia de ghid.



Dispersia de material apare deoarece indicele de refractive al miezului se modifica cu frecventa optica ω .

Originea dispersiei de material este legata de frecventele caracteristice de rezonanta la care materialul absoarbe radiatia electromagnetica. La frecvente departe de rezonantele mediului, indicele de refractive $n(\omega)$ poate fi aproximat prin *ecuatia lui Sellmeier* (82) [I.H. Malitson, Interspecimen Comparison of the Refractive Index of Fused Silica, Journal Of the Optical Society of America, 55(10), 1205 – 1209, 1965], unde ω_j este frecventa de rezonanta si B_j este intensitatea oscilatiilor. N poate fi n_1 sau n_2 , dupa zona de interes. Suma din Eq.(82) se face dupa toate frecventele de rezonanta care contribuie la domeniul de interes. In cazul fibrelor optice, B_j si ω_j sunt obtinute empiric prin fitarea curbelor de dispersie masurate la Eq.(82) cu $M = 3$.

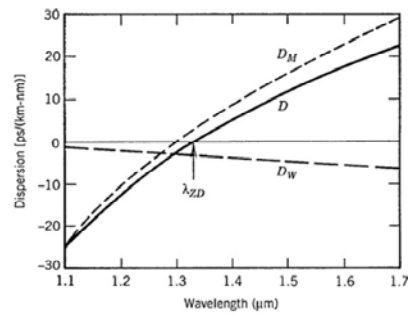
Indicele de grup, n_g , poate fi obtinut cu relatia (83).

Dispersia de material, D_M , este legata de panta indicelui de grup prin relatia (84). Pentru silica, derivate se anuleaza la $\lambda_{ZD} = 1.276 \mu\text{m}$. Aceasta lungime de unda se numeste lungime de unda la zero dispersie, λ_{ZD} . Dispersia de material este negativa sub aceasta λ_{ZD} si devine pozitiva peste aceasta.

In domeniul de lungimi de unda $1.25 - 1.66 \mu\text{m}$, dispersia de material poate fi aproximata empiric prin relatia (85).

Lungimea de unda de disperse zero depinde si de diametrul miezului si parametrul Δ .

DISPERSIA DE GHID



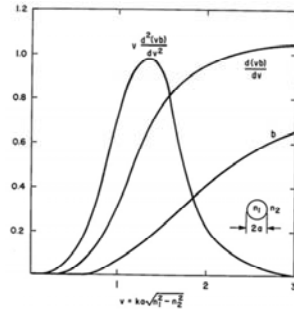
52

Deoarece $D_W < 0$ iar D_M este negativ pentru lungimi de unda mai mici decit λ_{ZD} si pozitiv pentru lungimi de unda mai mari decit λ_{ZD} , in figura observam ca suma lor $D = D_W + D_M$ este nula la o lungime de unda deplasata cu 30 – 40 nm, astfel incit , la silica, valoarea zero pentru D se obtine la 1.31 μm.

D_W reduce, deasemenea, din D_M pe tot intervalul 1.3 – 1.6 μm, ceea ce este de interes pentru sistemele de comunicatii optice.

DISPERSIA DE GHID

$$D_W = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \omega \frac{d^2 \bar{n}}{d\omega^2} = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \omega \frac{d^2}{d\omega^2} [n_2 (1 + b(V) \Delta)] \quad (86)$$



$$V = \omega a \sqrt{(\mu_1 \epsilon_1 - \mu_2 \epsilon_2)} \quad (17)$$

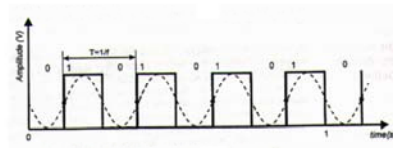
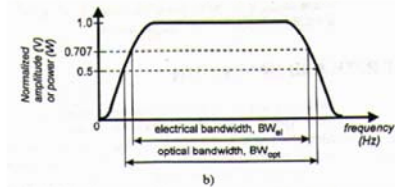
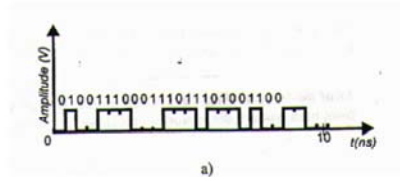
$$b = \frac{\beta/k_0 - n_2}{n_1 - n_2} = \frac{\bar{n} - n_2}{n_1 - n_2} \quad (17')$$

$$D_W = -\frac{2\pi\Delta}{\lambda^2} \left[\frac{n_{2g}^2}{n_2 \omega} \frac{V d^2(Vb)}{dV^2} + \frac{n_{2g}}{d\omega} \frac{d(Vb)}{dV} \right] \quad (87)$$

53

Contributia dispersiei de ghid DW la dispersia totala este data de relatia (86), unde $b(V)$ este constanta de propagare normalizata . Folosind relatia (17) pentru V in (86) obtinem relatia (87). In figura [D. Gloge, Dispersion in Weakly Guiding Fibers, Applied Optics, 10(11), 2442-2445, 1971] se prezinta modificarea cu v a derivatelor de ordinal 1 si 2 ale lui bV . Deoarece ambele derivate sunt pozitive, DW este negativa pe tot intervalul de interes $0 - 1.6 \mu\text{m}$.

Viteza de bit și banda de frecvențe



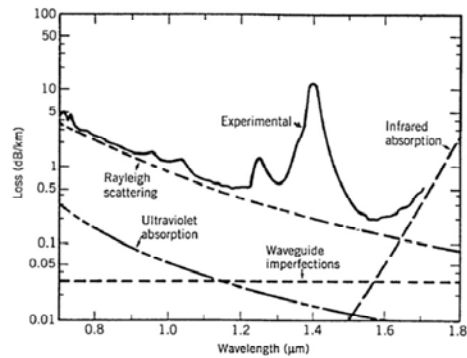
$$BW = BR/2$$

PIERDERILE In FIBRA

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \quad (92)$$

$$P_{ies} = P_m e^{-\alpha L} \quad (93)$$

$$\alpha [dB/km] = -\frac{10}{L} \log \left(\frac{P_{ies}}{P_m} \right) \quad (94)$$



55

În general, modificările în puterea optică medie P a unui sir de biti care se propagă în interiorul unei fibre optice sunt guvernate de **legea lui Beer**, (92), unde α este *coeficientul de atenuare*. Acesta include atât absorbția de material cât și alte surse de atenuare cum ar fi imperfecțiunile miezului, împrăștierea Rayleigh, absorbția în ultraviolet sau cea în infraroșu.

Dacă P_{in} este puterea lansată în fibra de lungime L , puterea la ieșire va fi dată de relația (93).

De obicei, coeficientul de atenuare α se exprimă în dB / km, folosind relația (94). În acest caz, el se numește *parametrul de pierdere al fibrei*.

Pierderile în fibra depind de lungimea de undă a luminii transmise.

În figura este prezentată dependența pierderilor de lungimea de undă pentru o fibră monomod având un diametru al miezului de $9.4 \mu m$, $\Delta = 1.9 \cdot 10^{-3}$ și lungimea de undă la tăiere de $1.1 \mu m$. Această fibră are pierderi de 0.2 dB/km în regiunea de lungimi de undă între 1.1 și $1.55 \mu m$. Această valoare este foarte aproape de limita fundamentală de 0.16 dB/km a unei fibre cu miez de silica.

Un al doilea minim este între 1.3 și $1.4 \mu m$, unde pierderile sunt sub 0.5 dB/km .

Pentru lungimi de undă mai mici, pierderile sunt considerabil mai mari, depășind 5 dB/km în domeniul vizibil.