



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Οπτικές επικοινωνίες – κυματοδηγοί

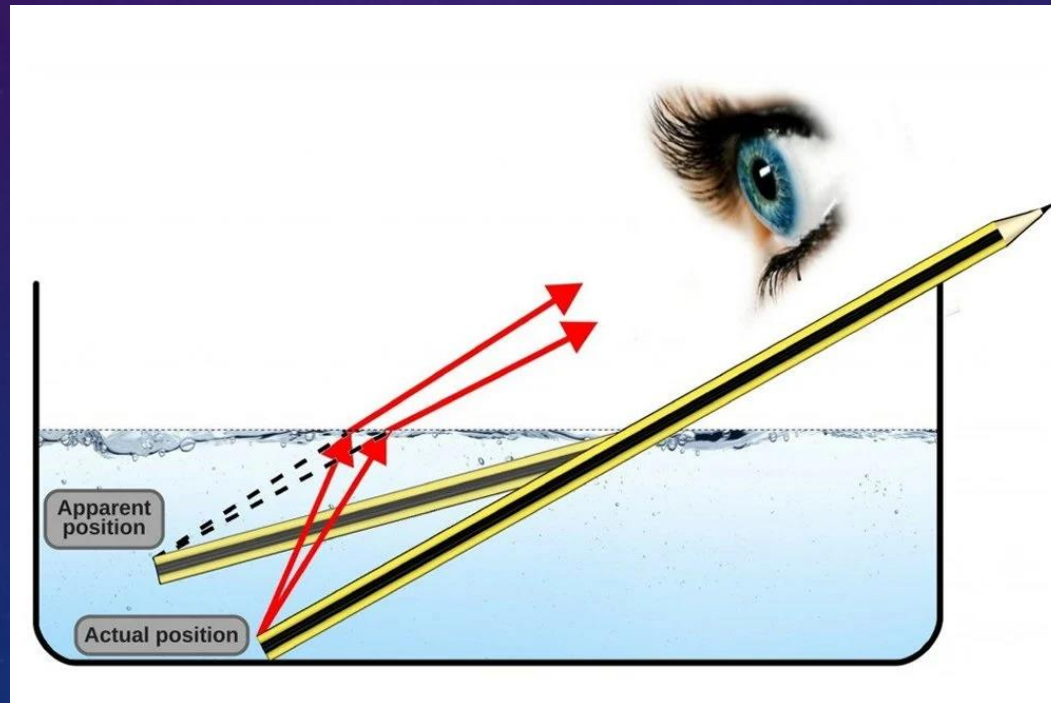
Διδάσκων: Τσορπατζόγλου Ανδρέας

Δείκτης διάθλασης

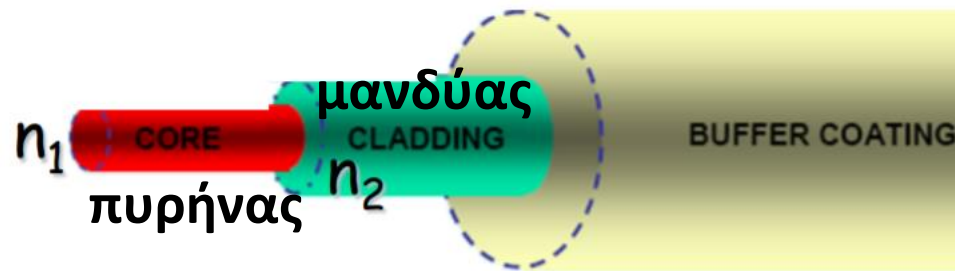
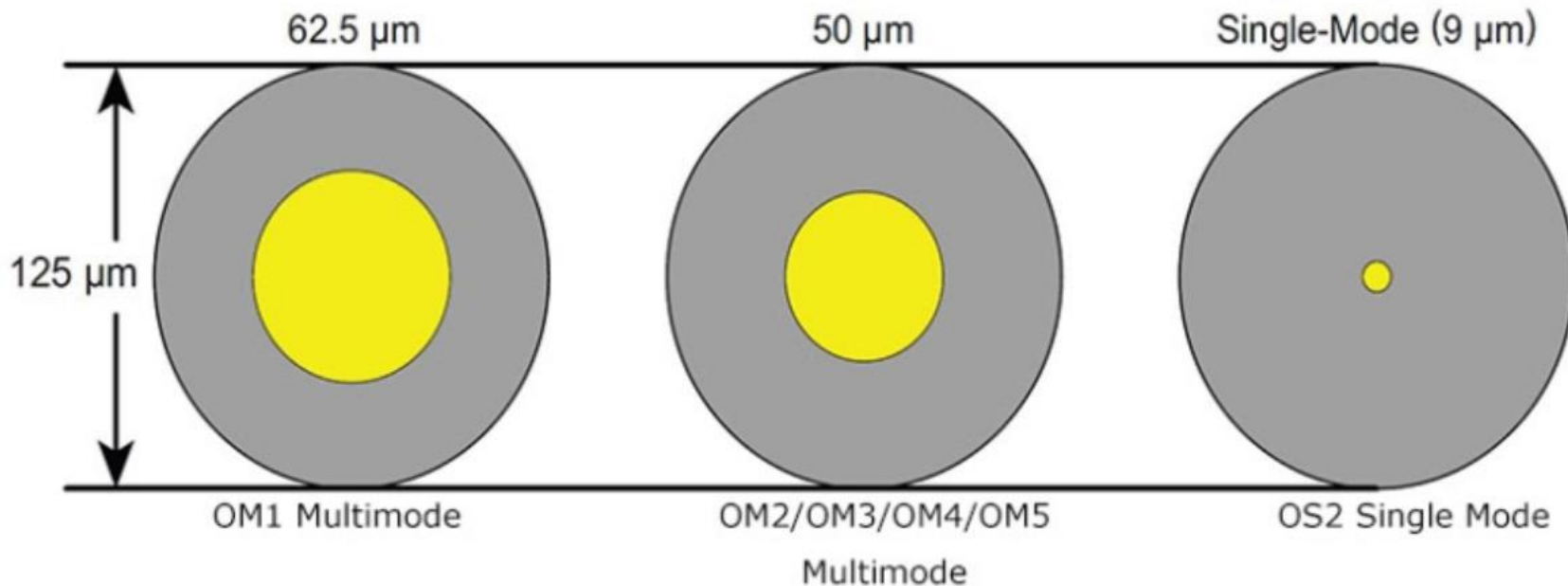
Κάθε υλικό επιτρέπει στο φως να το διαπερνά με διαφορετική ταχύτητα. Ορίζεται ως δείκτης διάθλασης n το μέγεθος που δίνεται από τη σχέση:

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

όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και u η ταχύτητα του φωτός στο μέσο διάδοσης



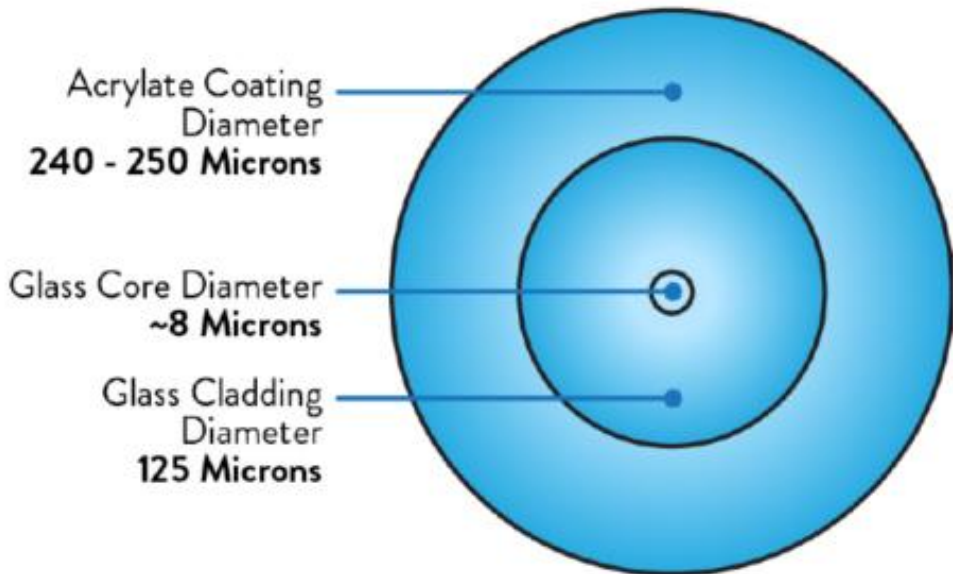
Είδη οπτικών ινών 1



Σε μεγάλες αποστάσεις όπως οι οπτικές ίνες που ποντίζονται στους ωκεανούς και αυτές που τοποθετούνται για ADSL VDSL χρησιμοποιούμε αποκλειστικά μονότροπες. Πολύτροπες χρησιμοποιούμε για μικρά τοπικά δίκτυα για τη σύνδεση διακομιστών, μεταγωγέων και δικτύων περιοχής αποθήκευσης εντός κέντρων δεδομένων.

Είδη οπτικών ινών 2

Μονότροπη οπτική ίνα



Διάμετρος πυρήνα ~ 8 μm
Διάμετρος μανδύα ~ 125 μm

Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ✓ Σημαντική εκμετάλλευση εύρους ζώνης
- ✓ Σημαντική μείωση διασποράς\
- ✓ Σύνδεση μόνο με μονοχρωματικές πηγές (Laser diodes)
- ✓ Κυματοδήγηση μόνο του HE₁₁ ρυθμού

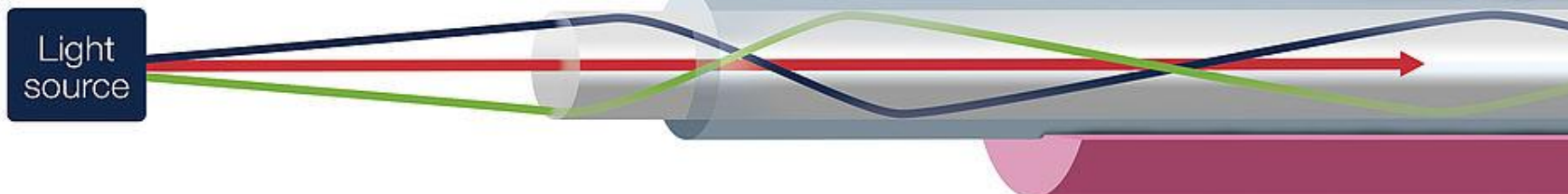
Είδη οπτικών ινών 3

singlemode, fiber core 9 μm



Ένας τρόπος
διάδοσης του
φωτός μέσα στην
οπτική ίνα

multimode, fiber core 50 | 62,5 μm



Πολλοί τρόποι
διάδοσης του
φωτός μέσα στην
οπτική ίνα

Είδη οπτικών ινών 4

Ίνα κλιμακωτού δείκτη
διάθλασης

$$V = 2 \cdot \pi \cdot NA \cdot a / \lambda$$

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

Γενικά στις πολύτροπες οπτικές ίνες απαιτείται μεγαλύτερη διαφορά στον δείκτη διάθλασης ανάμεσα στον πυρήνα και τον μανδύα

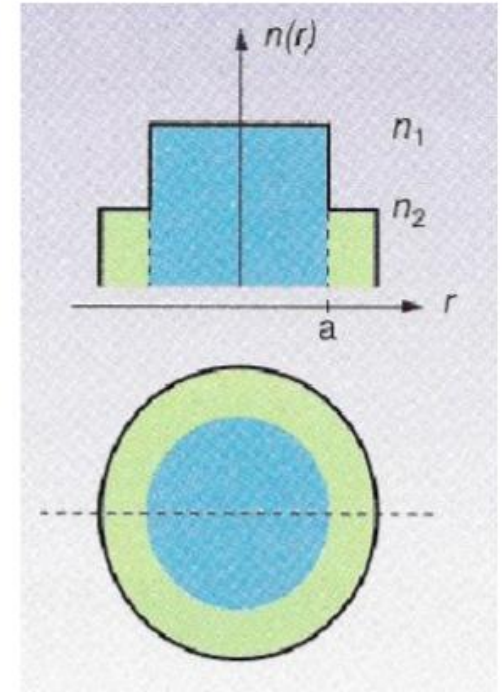
➤ Ακτινική μεταβολή δείκτη διάθλασης

$$n(\rho) = \begin{cases} n_1 & \rho < a \\ n_2 & \rho \geq a \end{cases} \quad \begin{matrix} n_1 = 1.45-1.48 \\ n_2 = 1.45 \end{matrix}$$

Διάμετρος πυρήνα $\sim 60 \mu\text{m}$
Διάμετρος μανδύα $\sim 125 \mu\text{m}$

Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ✓ Αριθμός τρόπων διάδοσης $M = \frac{V^2}{2}$
- ✓ Μεγάλο αριθμητικό άνοιγμα και μεγάλη διάμετρο πυρήνα
- ✓ Σύνδεση με πηγές με μεγάλο βαθμό ασυμφωνίας (LED)
- ✓ Δεν υπάρχει σύζευξη ισχύος
- ✓ Μεγάλη διασπορά τρόπων διάδοσης
- ✓ Μικρό διαθέσιμο εύρος ζώνης



Είδη οπτικών ινών 5

Ίνα βαθμιαίου δείκτη
διάθλασης

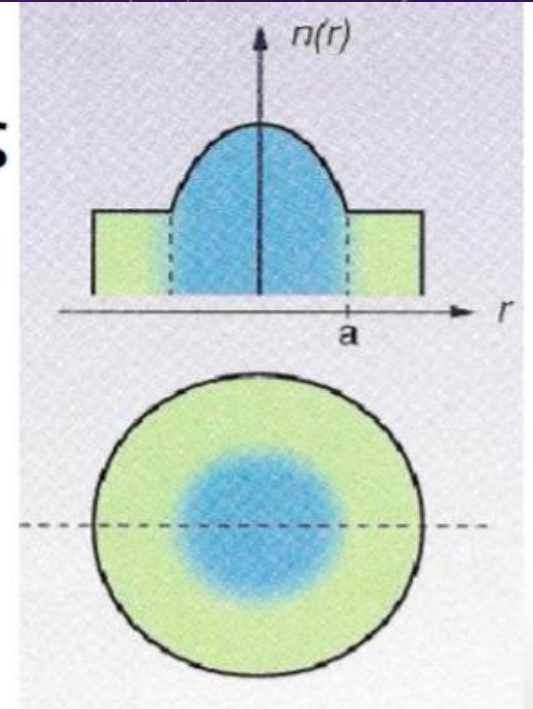
$$V = 2 \cdot \pi \cdot NA \cdot a / \lambda$$

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

Οι σύγχρονες οπτικές
ίνες έχουν τόσο μικρή
διαφορά στον δείκτη
διάθλασης που
μπορούν να
θεωρηθούν βαθμιαίου
δείκτη διάθλασης

➤ Βαθμιαία μεταβολή δείκτη διάθλασης

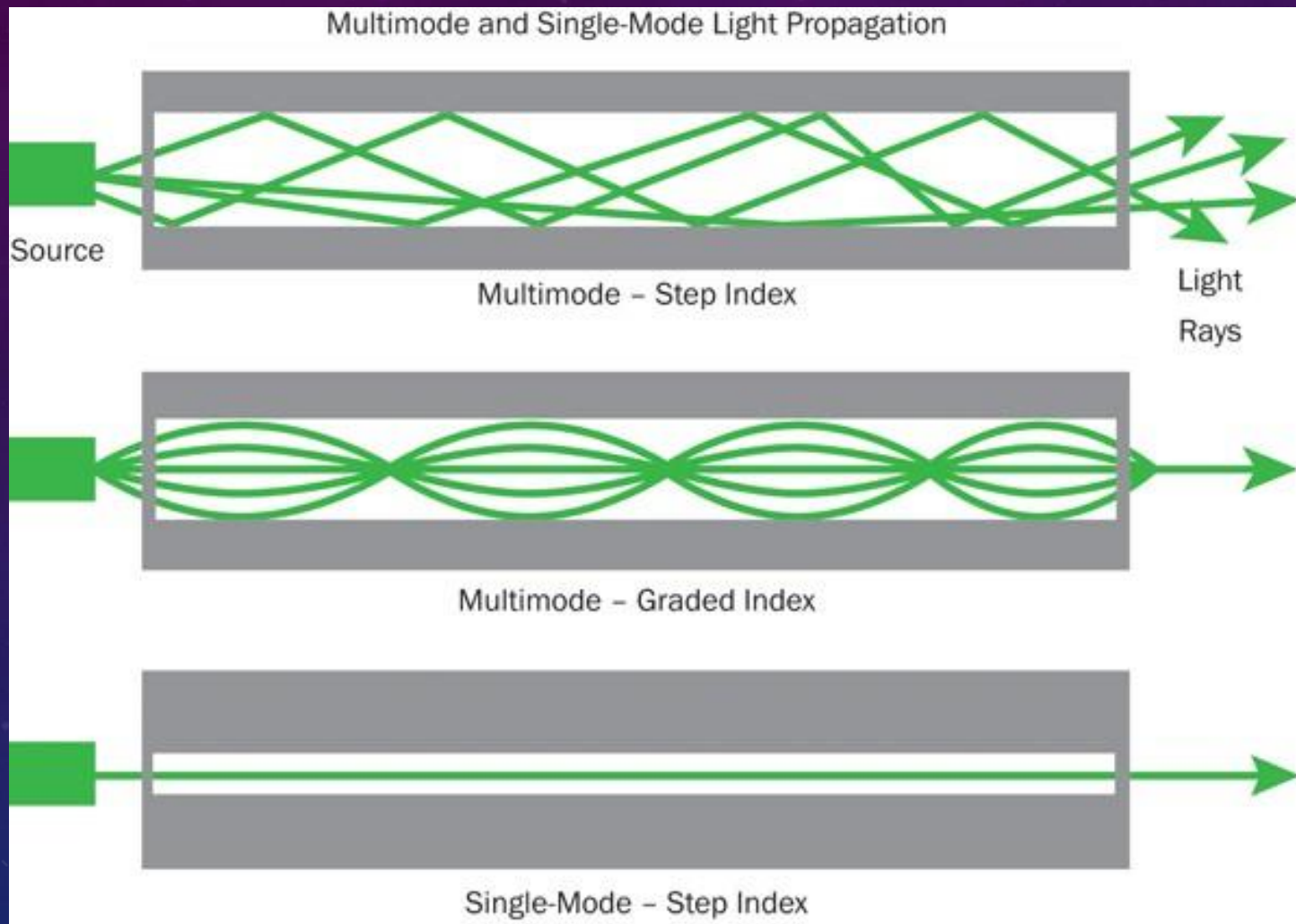
$$n(\rho) = \begin{cases} n_1 \left[1 - \Delta \left(\frac{\rho}{\alpha} \right)^x \right] & \rho < \alpha \\ n_2 & \rho \geq \alpha \end{cases}$$



Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ✓ Αριθμός τρόπων διάδοσης $M = \left(\frac{\alpha}{\alpha + 2} \right) \left(\frac{V^2}{2} \right)$
- ✓ Περιορισμός διατροπικής διασποράς
- ✓ Εκμετάλλευση εύρους ζώνης

Είδη οπτικών ινών 6

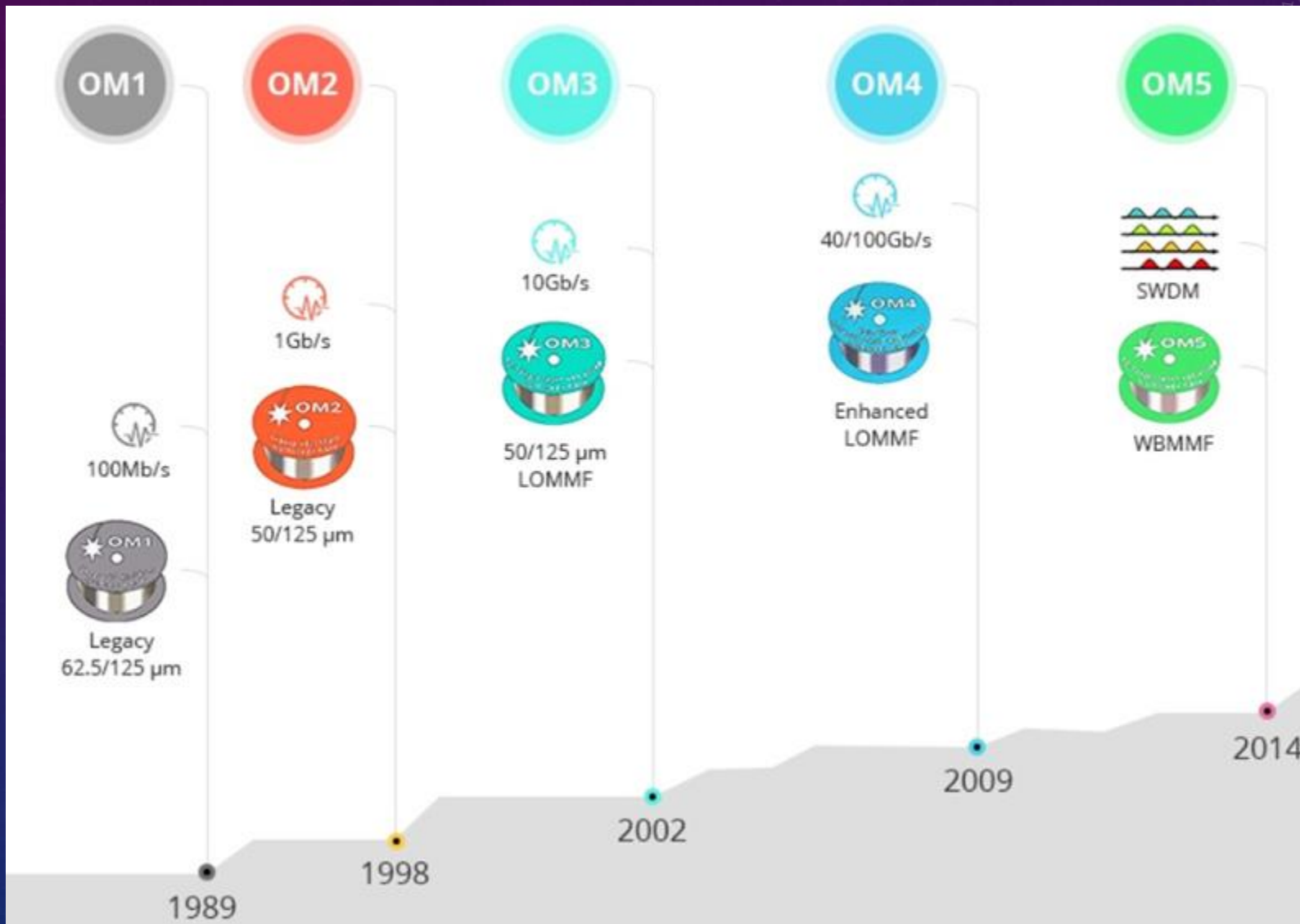


Ίνα κλιμακωτού δείκτη
διάθλασης

Ίνα βαθμιαίου δείκτη
διάθλασης

Μονότροπη

Είδη οπτικών ινών 7

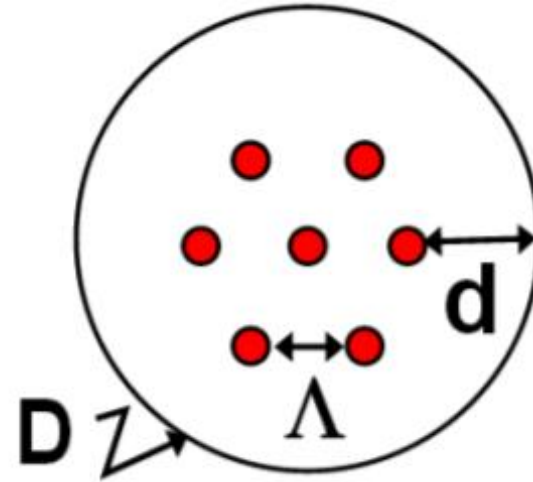


Είδη οπτικών ινών 8

Πολλαπλοί πυρήνες, καθένας από τους οποίους μπορεί να μεταφέρει δεδομένα σε υψηλή χωρητικότητα.

Σχεδιαστικές παράμετροι

- Απόσταση Πυρήνων: Λ
- Διάμετρος Περιβλήματος: D
- Απόσταση πυρήνα περιβλήματος: d
- Ισχυρός εγκλωβισμός πεδίου σε κάθε πυρήνα

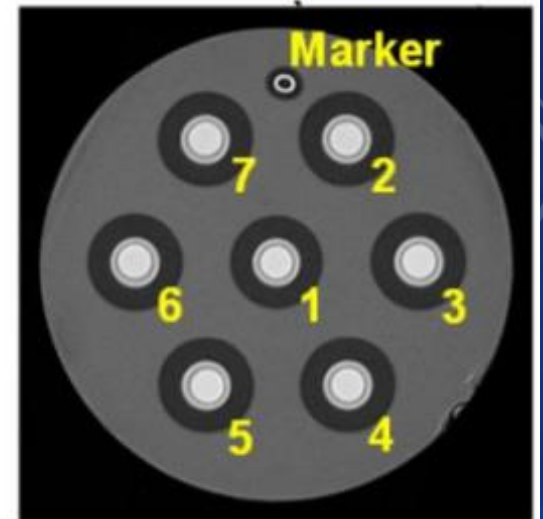


Πρόκληση τεχνολογίας multicore

Εξάλειψη πεδιακής επικάλυψης μεταξύ γειτονικών πυρήνων

Προσεγγίσεις

- Αύξηση του παράγοντα εγκλωβισμού ρυθμών σε κάθε πυρήνα
- Αύξηση της παραμέτρου Λ ($>35 \mu\text{m}$)



Ίνες
πολλαπλών
πυρήνων

Είδη οπτικών ινών 7



Φαινόμενα διάδοσης σε οπτικές ίνες

Τα φαινόμενα διάδοσης διακρίνονται σε γραμμικά και μη γραμμικά

Γραμμικά

- ❖ Εξασθένιση κατά τη διάδοση σε οπτικές ίνες
- ❖ Διασπορά κατά τη διάδοση
 - Τρόπων διάδοσης
 - Τρόπων πόλωσης
 - Διασπορά κυματοδηγού
 - Διασπορά υλικού

Μη γραμμικά

- ❖ Φαινόμενα Kerr (Αυτοδιαμόρφωση Φάσης, Ετεροδιαμόρφωση Φάση, Μίξη 4 φωτονίων)
- ❖ Φαινόμενα σκέδασης (Σκέδαση Raman, Σκέδαση Brillouin)

Παράγοντες εξασθένησης 1

Η εξασθένιση μετράται ανά μονάδα μήκους της ίνας. Όσο μεγαλύτερο το μήκος της ίνας τόσο μεγαλύτερη είναι η συνολική απώλεια.

Η εξασθένιση δεν παραμορφώνει το σήμα αλλά προκαλεί εκθετική μείωση της ισχύος του φωτός κατά τη διάδοσή του

$$P(z) = P(0) \cdot e^{-Az}$$

$P(z)$: ισχύς σε μήκος z της ίνας

$P(0)$: ισχύς σήματος στην είσοδο της ίνας

A : συντελεστής εξασθένησης της ίνας (μονάδα 1/m)

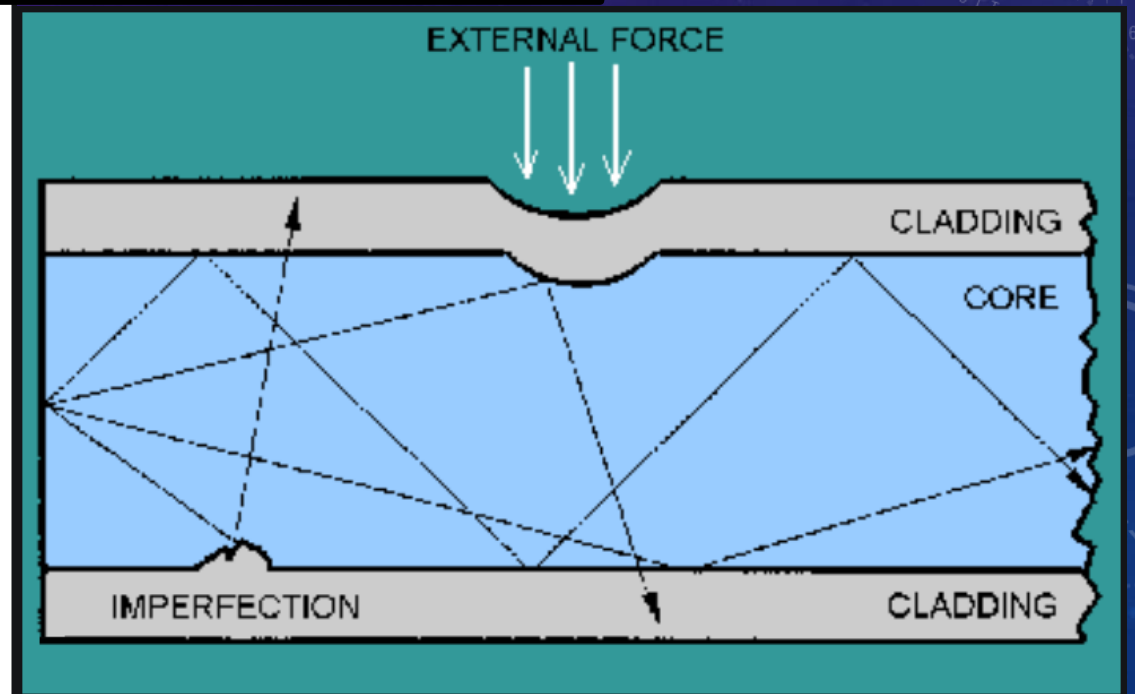
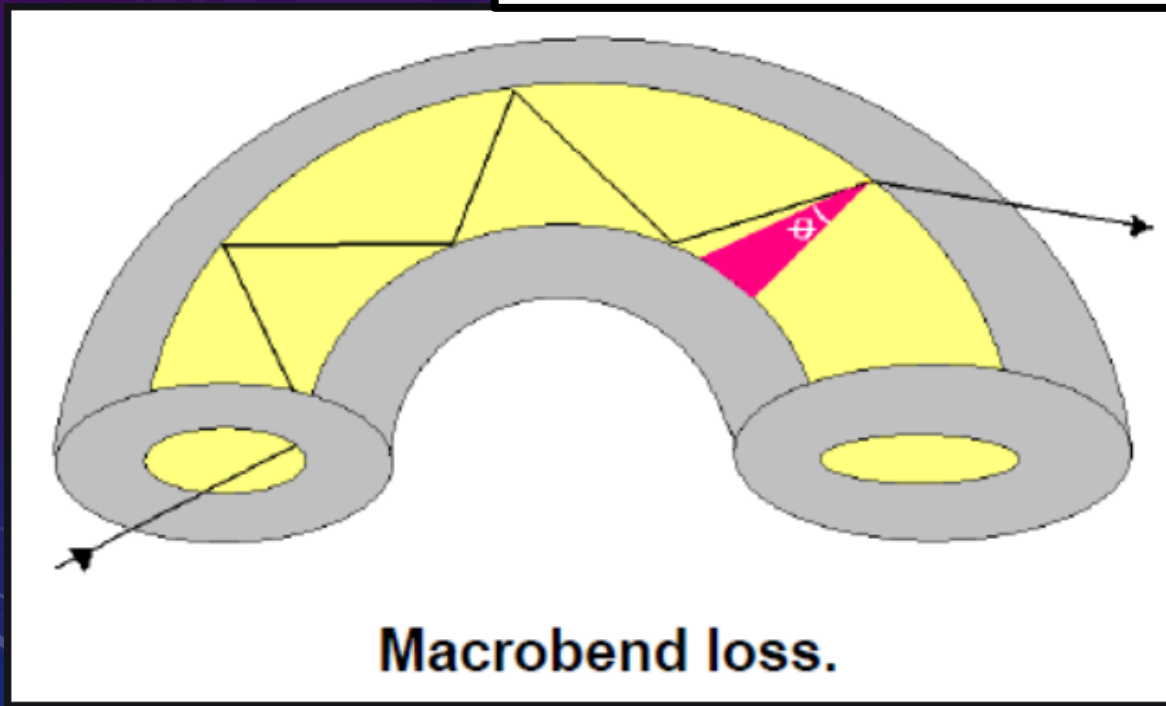
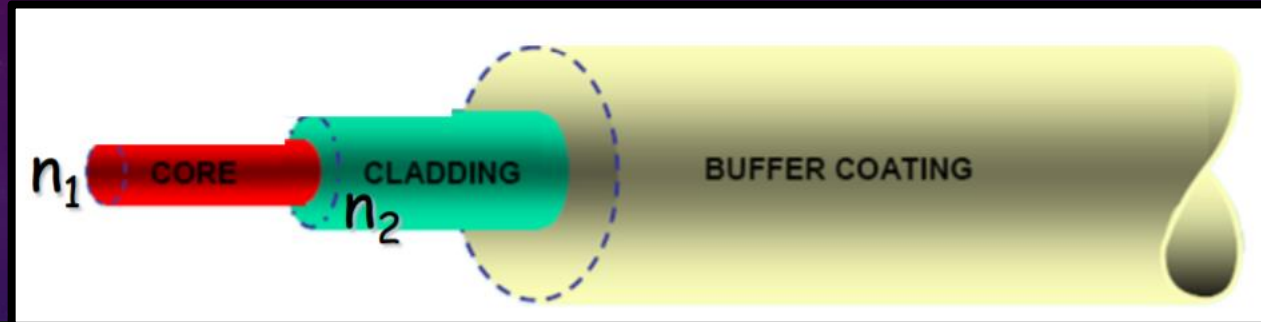


Παράγοντες εξασθένισης 2

- ❖ **Απορρόφηση:** εξαρτάται από το υλικό και την καθαρότητά του
 - ενδογενής απορρόφηση από άτομα υλικού της ίνας
 - εξωγενής απορρόφηση από άτομα ανεπιθύμητων προσμίξεων
 - απορρόφηση από ατέλειες ατόμων γυαλιού
- ❖ **Σκέδαση:** λόγω ανομοιογένειας υλικού
 - σκέδαση Rayleigh (σκέδαση σε σωματίδια μικρού μεγέθους ως προς το μήκος κύματος του φωτός που προκαλεί διασπορά του φωτός)
 - σκέδαση Mie (σκέδαση σε σωματίδια μεγάλου μεγέθους ως προς το μήκος κύματος του φωτός που επίσης προκαλεί διασπορά του φωτός)
- ❖ **Ακτινοβολία:** λόγω ασυνεχειών, π.χ. καμπύλωση ίνας, ή κατασκευαστικών ατελειών
 - καμπυλότητα αυξάνει το ποσοστό διαφυγόντος πεδίου

Παράγοντες εξασθένησης 3

Απώλειες κατά τη μηχανική επιβάρυνση της οπτικής ίνας

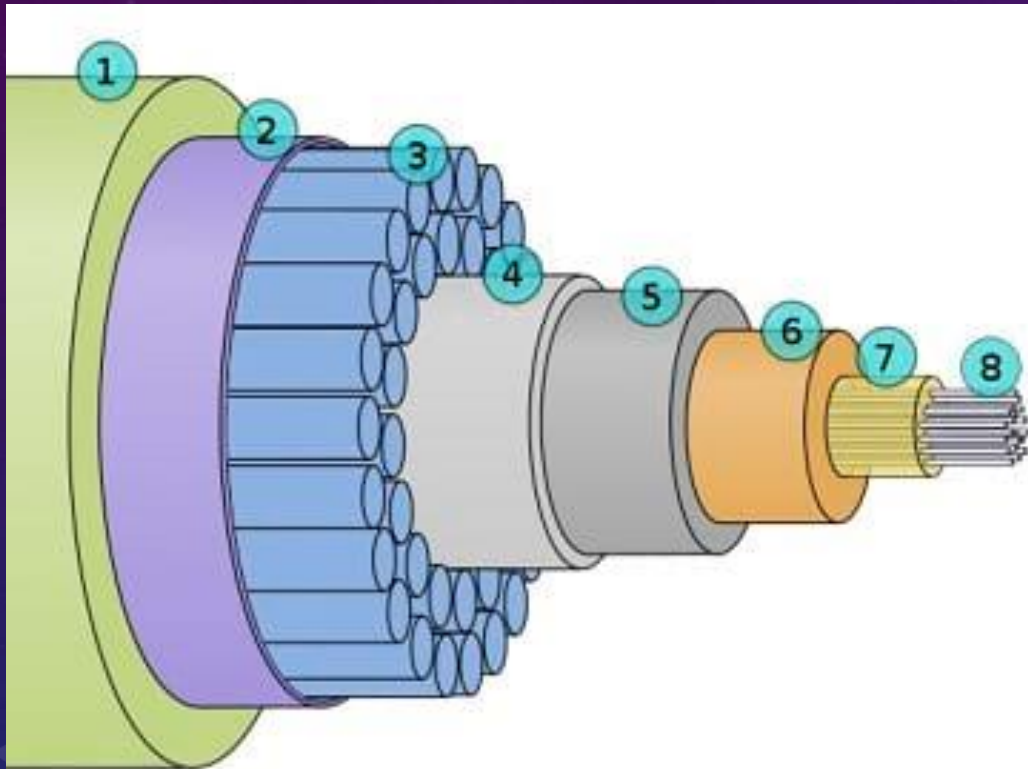


Παράγοντες εξασθένησης 4



Παράγοντες εξασθένισης 4

Προστασία της οπτικής ίνας



A cross section of the shore-end of a modern submarine communications cable.

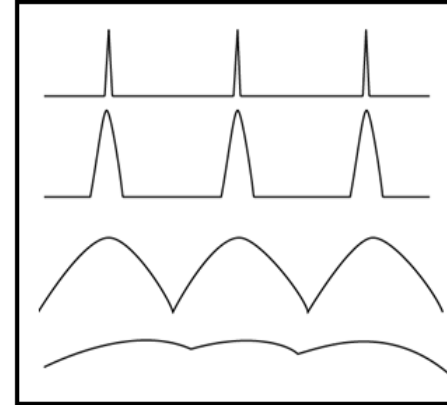
- 1  – Polyethylene
- 2  – Mylar tape
- 3  – Stranded steel wires
- 4  – Aluminium water barrier
- 5  – Polycarbonate
- 6  – Copper or aluminium tube
- 7  – Petroleum jelly
- 8  – Optical fibers

- Πλαστικό
- Μονωτική
- Καλώδια χάλυβα
- Αλουμίνιο
- Πολυανθρακικό
- Χαλκός-Αλουμίνιο
- Ζελέ πετρελαιο
- Οπτικές ίνες

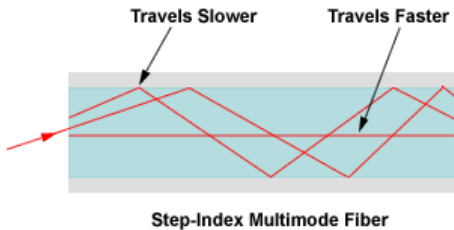
Φαινόμενα διασποράς 1

Η διασπορά είναι γραμμικό φαινόμενο το οποίο ευθύνεται για τη μεταβολή του χρονικού εύρους του παλμού.

Στις περισσότερες (και πιο επιζήμιες) περιπτώσεις το εύρος του παλμού διευρύνεται (διασπείρεται)



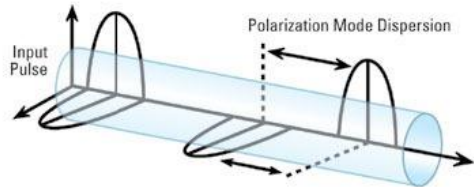
Είδη διασποράς



Μόνο για πολυρρυθμικές ίνες
Διασπορά τρόπων διάδοσης

Διασπορά τρόπων πόλωσης

Και για μονοχρωματικό κύμα

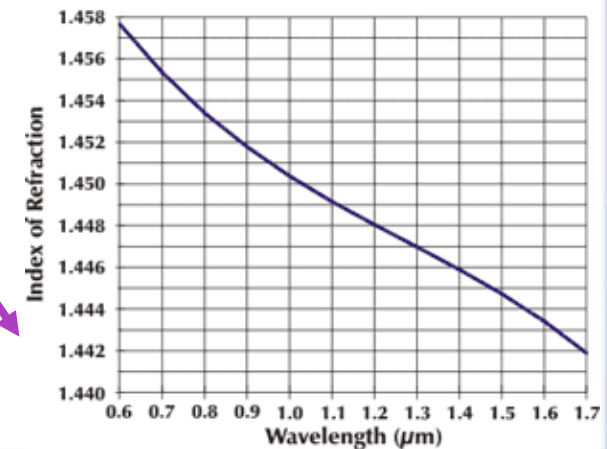
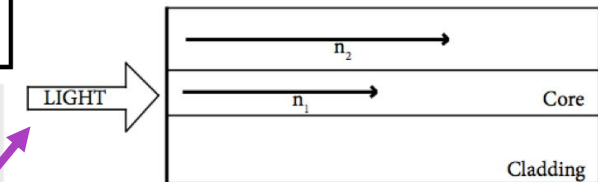


Διασπορά κυματοδηγού

Διασπορά υλικού

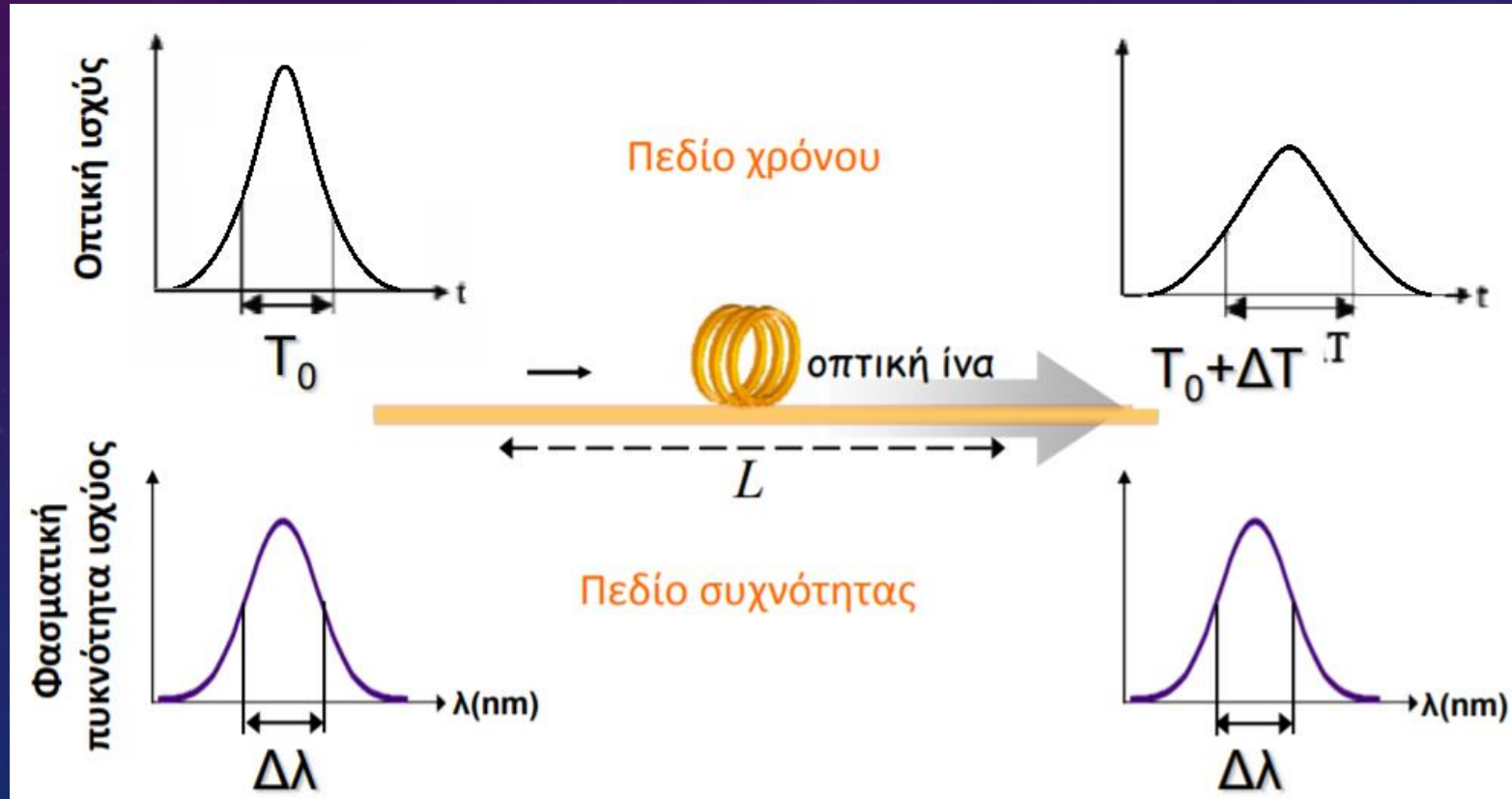
Χρωματική διασπορά

Waveguide Dispersion



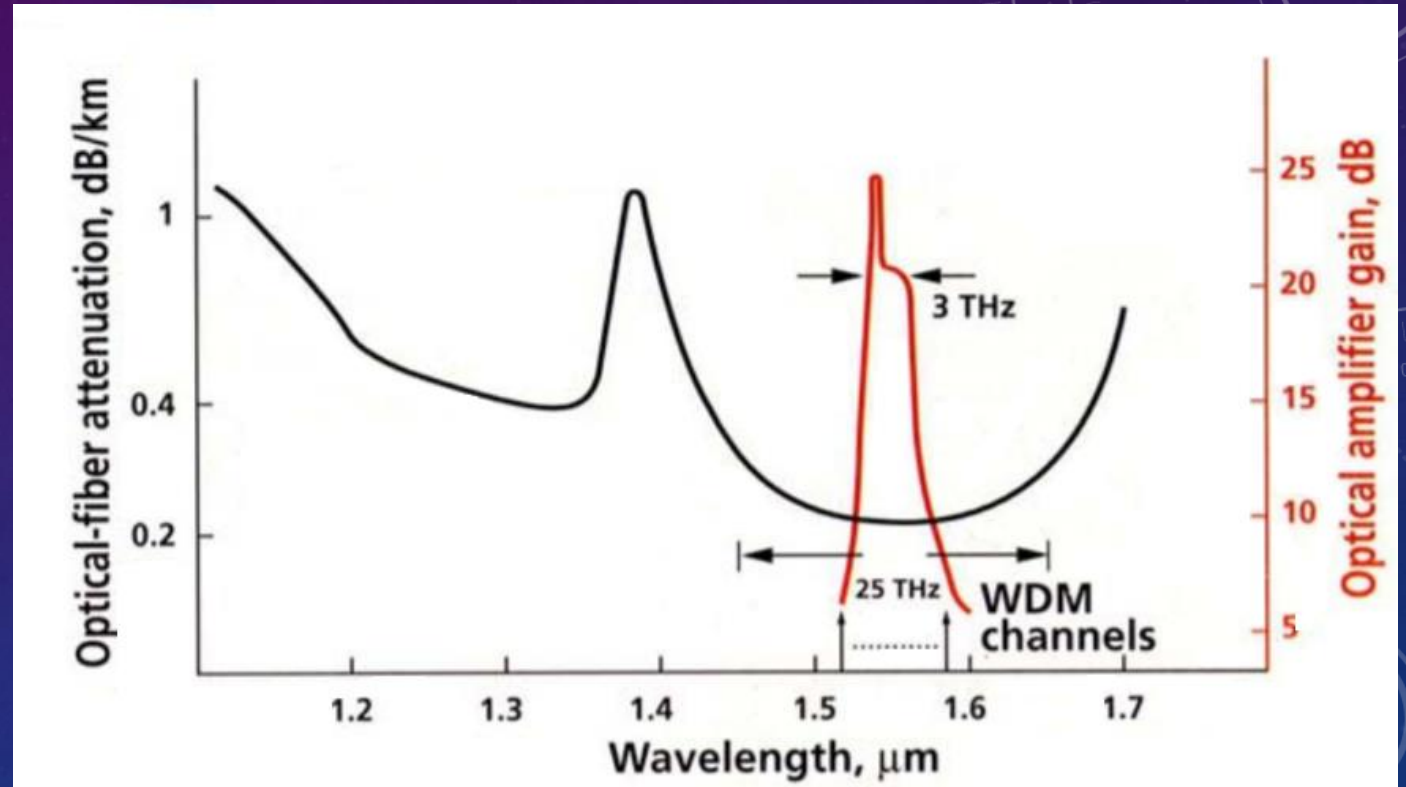
Φαινόμενα διασποράς 2

Η γραμμική φύση της διασποράς δηλώνει ότι ως φαινόμενο δεν εξαρτάται από την ισχύ του σήματος. Επίσης δεν επιφέρει αλλαγή στη φασματική κατανομή του. Επιδρά στον ρυθμό μετάδοσης ή/και την εμβέλεια.



Οπτικές επικοινωνίες... γιατί;

- ❖ Τα φασματικά παράθυρα των οπτικών ινών προσφέρουν μεγάλο εύρος συχνοτήτων
- ❖ Μόνο 0,2 dB/km απώλεια μεταξύ 1500-1600 nm
- ❖ Χρήση πολλαπλών καναλιών με ≥ 50 GHz φασματική απόσταση
- ❖ Ταχύτητες >10 Gbit/s ανά κανάλι



Ερωτήσεις

- Τι ορίζεται ως δείκτης διάθλασης;
- Ποια η βασική διαφορά πολύτροπων και μονότροπων οπτικών ινών όσο αφορά τη διάμετρό τους;
- Ποιο είδος οπτικών ινών μειώνει τη διασπορά;
- Τι είναι οι ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης;
- Τι είναι οι ίνες κλιμακωτού δείκτη διάθλασης;
- Σε ποιες πολύτροπες οπτικές ίνες υπάρχουν περισσότεροι τρόποι διάδοσης;
- Ποια είναι βασική διάκριση των φαινομένων διάδοσης;
- Ποια είναι τα βασικά είδη γραμμικών φαινομένων διάδοσης;
- Ποια είναι τα βασικά είδη μη γραμμικών φαινομένων διάδοσης;
- Ποια είναι τα βασικά φαινόμενα διασποράς;
- Τι δηλώνει η γραμμική φύση των φαινομένων διασποράς;