

Τ.Ε.Ι - Πάτρας
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία

Αριθμός 386

«Φωτισμός με οπτικές ίνες»

Εισηγητής:

Θ. Κυριακόπουλος

Σπουδαστές:

Σκάρπας Κυριάκος

Κάβουρας Θεοφάνης

Πάτρα - Σ 99



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
2948



Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί μια εισαγωγή στον τομέα του φωτισμού με οπτικές ίνες. Η χρήση των οπτικών ινών είναι ευρύτατα διαδεδομένη στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, σαν μέσο μετάδοσης πληροφοριών αναλογικής και ψηφιακής μορφής.

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών είχε σαν αποτέλεσμα τον πειραματικό των τεχνικών με οπτικές ίνες και πέρα του χώρου των τηλεπικοινωνιών. Όπως θα αναλυθεί διεξοδικά στις σελίδες της εργασίας μας, τα οπτικά καλώδια μεταφέρουν φωτόνια δηλαδή φως σε μεγάλες αποστάσεις με τρομακτική απόδοση, χωρίς σοβαρές απώλειες ισχύος και καταναλώσεις ρεύματος και με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η χρήση των οπτικών ινών είναι η δημιουργία μας πηγής συγκεντρωμένων γνώσεων γύρω από αυτήν την καινοτομία. Δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα σε βασικά θέματα τεχνολογίας οπτικών ινών απαραίτητα για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας αυτών στις εγκαταστάσεις φωτισμού και έγινε προσπάθεια για πλήρη και σαφή επεξήγηση όλων των εξαρτημάτων που αποτελούν την καινούργια αυτή εφαρμογή.

Επειδή το αντικείμενο τουλάχιστον για τα δεδομένα της Ελλάδας είναι ακόμα σε νηπιακό στάδιο, προσπαθήσαμε να συλλέξουμε όσον το δυνατό περισσότερες πληροφορίες γύρω από το θέμα

αυτό, παρουσιάζοντας επίσημα μια συγκροτημένη μελέτη πιστεύοντας ότι θα μπορέσει να αποτελέσει πηγή γνώσεων και σημείο αναφοράς για μελλοντικές εργασίες. Η παντελής έλλειψη ελληνικής αλλά και ξένης βιβλιογραφίας όπως επίσης και η μη ανταπόκριση από όλους σε όσους απευθυνθήκαμε για βοήθεια αποτέλεσαν τροχοπέδη για μια αρτιότερα ενημερωμένη εργασία. Πιστεύουμε πάντως ότι η εργασία αυτή αποτελεί μια συγκροτημένη μελέτη γύρω από τον φωτισμό με οπτικές ίνες.

Η εργασία αυτή αποτελείται από τρία κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο επεξηγούνται βασικές έννοιες οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση της χρήσης αλλά και της λειτουργίας του συστήματος των οπτικών ινών. Αναφερόμαστε στο φως, στις ιδιότητές του αλλά και στα κάτοπτρα και τους φακούς που χρησιμοποιούνται στην γεννήτρια φωτός.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενή αναφορά στις οπτικές ίνες. Αναφερόμαστε αναλυτικά στην ιστορία, δομή και θεωρία των οπτικών ινών.

Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την εφαρμογή των οπτικών ινών στο φωτισμό μέσα από δύο διαφορετικά συστήματα.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	1
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1	8
Βασικές έννοιες	8
1.1 Φως	8
1.1.1 Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός	8
1.1.2 Φυσική οπτική	9
1.2 Γεωμετρική οπτική	17
1.2.1 Ανάκλαση του φωτός	17
1.2.2 Οπτικά υλικά και στοιχεία	22
1.2.3 Κάτοπτρα	25
1.2.4 Φακοί	29
1.3 Αρχές φωτομετρίας	36
1.3.1 Ορισμός φωτεινής ενέργειας	36
1.3.2 Στοιχεία φωτομετρίας	36
1.4 Λαμπτήρες	44
1.4.2 Είδη λαμπτήρων	44
Κεφάλαιο 2	49
Οπτικές ίνες	49
2.1 Ορισμός	49
2.1.1 Εξέλιξη των οπτικών ινών	51
2.1.2 Ιστορία των οπτικών ινών	52
2.2 Πλεονεκτήματα χρήσης	53

2.3 Δομή οπτικών ινών	59
2.4 Θεωρία διάδοσης	65
2.4.1 Ακτινική θεωρία	66
2.5 Οπτικές απώλειες	78
2.5.1 Σκέδαση	79
2.5.2 Απορρόφηση	81
2.5.3 Ανάκλαση Fresnel	86
2.6 Απώλεια κάμψης	86
2.6.1 Απώλεια μικροκάμψης	87
2.6.1 Απώλεια κύρτωσης	90
2.7 Κόπωση οπτικής ίνας	92
2.8 Αντοχή οπτικής ίνας	92
2.9 Ειδικές οπτικές ίνες	93
2.10 Πλαστικές οπτικές ίνες	93
2.11 Οπτικές ίνες για μεγάλο μήκος κύματος λειτουργίας	96
2.12 Ασφάλεια του οφθαλμού απέναντι στην οπτική ίνα	97
Κεφάλαιο 3	100
Συστήματα φωτισμού οπτικών ινών	100
3.1 Εισαγωγή	100
3.1.1 Οι ιδιότητες του φωτός στην εφαρμογή του στις οπτικές ίνες	100
3.1.2 Λειτουργία του συστήματος φωτισμού με οπτικές ίνες	102
3.1.3 Χαρακτηριστικά-προδιαγραφές του φωτισμού με οπτικές ίνες	105
3.1.4 Βασική λειτουργία	108

3.2 Αναφορά συστημάτων	118
3.2.1 Εφαρμογή Α	119
3.2.2 Εφαρμογή Β	126
3.3 Πεδία εφαρμογής	148
Βιβλιογραφία	169

Εισαγωγή

Ο πολλαπλασιασμός των αναγκών για ασφαλή φωτισμό ειδικών χώρων όπως για παράδειγμα του φωτισμού εκθεμάτων μουσείων, η δυνατότητα εφαρμογής φωτισμού χωρίς τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος, την εμφάνιση υπεριώδους ακτινοβολίας και την ανάπτυξη θερμότητας επέβαλαν τη χρήση των οπτικών ινών στο φωτισμό χώρων.

Η πρόοδος στη κατασκευή των οπτικών ινών περιόρισε ακόμη πολλά από τα προβλήματα που είχαν εμφανιστεί στην αρχή της εφαρμογής των οπτικών ινών στο φωτισμό. Στο ίδιο διάστημα αναπτύχθηκαν και τα άλλα υλικά που ήταν απαραίτητα για τη χρήση των οπτικών ινών στο φωτισμό. Ο περιορισμός των διαστάσεων των φωτιστικών σωμάτων και η ακρίβεια με την οποία μπορεί να φωτιστεί ένα αντικείμενο ή ένας πίνακας ζωγραφικής χωρίς φόβο να επηρεαστούν τα χρώματα του από υπεριώδη ακτινοβολία έδωσαν τη δυνατότητα του συνδυασμού του φωτισμού με οπτικές ίνες με ειδικές οπτικές διατάξεις αποδοτικής αξιοποίησης των φωτεινών ακτίνων. Η εφαρμογή τους κατέληξε να αποτελεί τυποποιημένη κατασκευή μια και άρχισε η βιομηχανική παραγωγή των απαραίτητων συσκευών και εξαρτημάτων σε μεγάλη ποικιλία και σε σχετικά λογικές τιμές.

Κάθε εγκατάσταση απαιτεί και μια ιδιαίτερη μελέτη. Οι δυνατότητες εφαρμογών όμως συνεχώς αυξάνονται.

Κεφάλαιο 1

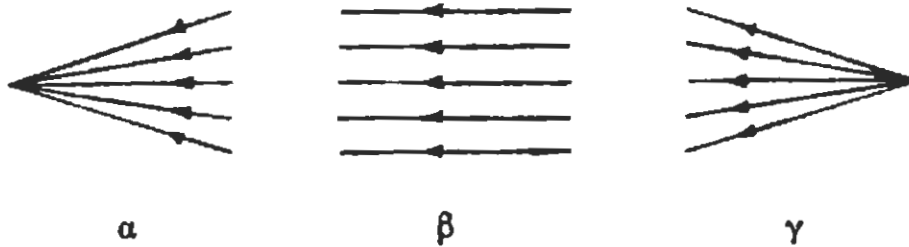
Βασικές έννοιες

1.1 Φως

Καλούμε φως, το αίτιο, το οποίο διεγείρει το αισθητήριο της όρασης. Το αίτιο αυτό καλείται ακτινοβολούμενη ενέργεια. Ο ήλιος αποτελεί μια φυσική πηγή ακτινοβολούμενης ενέργειας, οπότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι το φως είναι η μορφή της ακτινοβολούμενης ενέργειας, στην οποία το μάτι μας εμφανίζει ευαισθησία.

1.1.1 Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός

Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα εντός ομογενών και ισότροπου μέσου. Η ευθεία αυτή γραμμή καλείται φωτεινή ακτίνα. Οι φωτεινές ακτίνες πορεύονται από την φωτεινή πηγή ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Πολλές ακτίνες συγκροτούν την φωτεινή δέσμη. Μια φωτεινή δέσμη ονομάζεται συγκλίνουσα, αποκλίνουσα, παράλληλος (Σχήμα 1)

*Σχήμα 1*

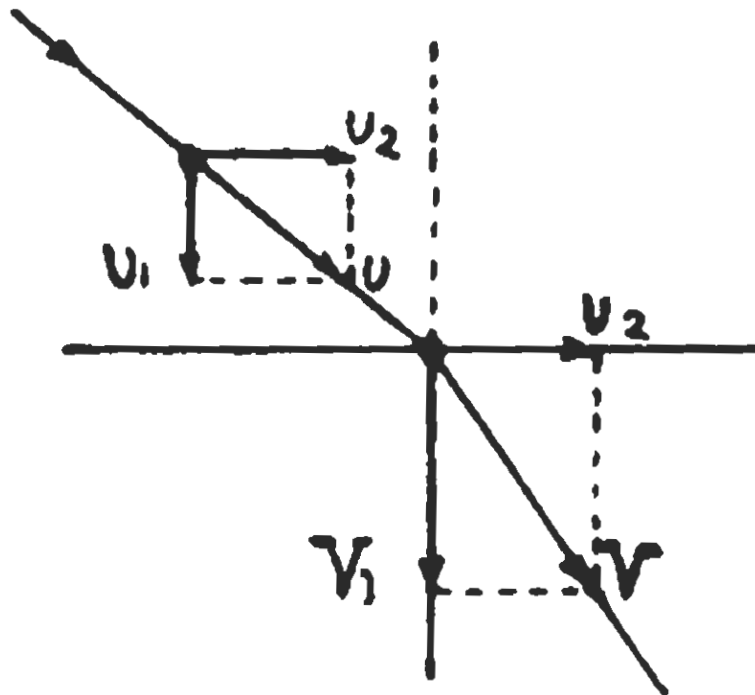
Πολλά οπτικά φαινόμενα εξαρτώνται από την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός και εξηγούνται με την βοήθεια της γεωμετρικής οπτικής. Υπάρχουν όμως και φαινόμενα οπτικά όπου ο νόμος της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός δεν ισχύει. Η έρευνα των φαινομένων αυτών γίνεται με την βοήθεια της φυσικής οπτικής. Παραθέτουμε παρακάτω τις κύριες αρχές της φυσικής και γεωμετρικής οπτικής για να καταστεί κατανοητό η λειτουργία της συσκευής.

1.1.2 Φυσική οπτική

Για την επεξήγηση πολλών οπτικών φαινομένων πρέπει να γίνει αναφορά στην φύση του φωτός. Αναπτύχθηκαν αρκετές θεωρίες που έδωσαν ερμηνείες για τα οπτικά φαινόμενα.

α) Θεωρία της εκπομπής

Η θεωρία της εκπομπής διατυπώθηκε από τον Νεύτωνα το 1669. Κατά τον Νεύτωνα το φως είναι ακτινοβολία μικρών σωματιδίων, τα οποία διαδίδονται ευθύγραμμα και επειδή είναι τελείως ελαστικά ανακλώνται στην προσπίπτουν σε λείες επιφάνειες (π.χ. ελαστική σφαίρα). Η διάθλαση του φωτός ερμηνεύεται από την θεωρία της εκπομπής ως εξής: Όταν ένα σωματίδιο φωτός πλησιάζει προς το πυκνότερο μέσο υφίσταται από αυτό έλξη. Αποτέλεσμα της έλξης είναι η αύξηση της ταχύτητας αυτού u_1 (κατακόρυφη συνιστώσα) της ταχύτητας του u , ενώ η u_2 μένει αμετάβλητη. Το σωματίδιο κινείται εκτός του πυκνότερου μέρους με ταχύτητα u άρα η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από την γωνία πρόσπτωσης. Άρα η ταχύτητα του φωτός είναι μεγαλύτερη στα πυκνότερα μέρη παρά στα αραιότερα. Ομοίως εξηγείται και η ανάλυση του λευκού φωτός. Το λευκό φως αποτελείται από σωματίδια τα οποία υφίστανται εκ μέρους του δεύτερου διάφανου μέσου διαφορετικές έλξεις. (Σχήμα 2)



Σχήμα 2

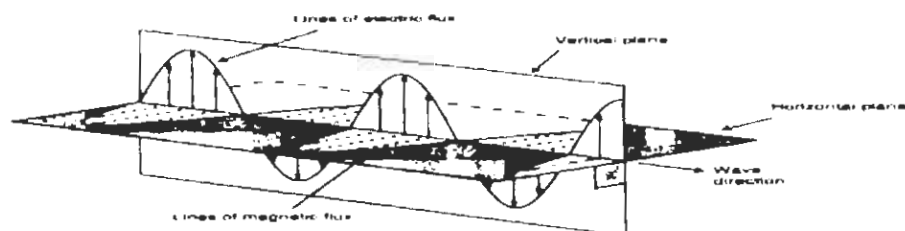
β) Θεωρία των κυμάνσεων

Η θεωρία των κυμάνσεων διευτυπώθη από τον Huygens το 1677. Κατά τον Huygens το φως είναι κυμάνσεις που διαδίδουν και στον αέρα κατά σφαιρικά κύματα λόγω του ότι ο αέρας είναι (θεωρείται) ομογενείς και ισότροπο μέσο διάδοσης. Η θεωρία αυτή εξηγεί τη ευθύγραμμη διάδοση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις όπως και την διάθλαση και ανάκλαση του φωτός. Όμως η θεωρία

αυτή υποστηρίζει ότι η ταχύτητα του φωτός στα πυκνότερα μέσα είναι μεγαλύτερη από αυτή στα αραιότερα και ότι η ανάλυση του λευκού φωτός εξαρτάται από την φύση του ελαστικού μέσου και όχι από την συχνότητα κύμανσης.

γ) Ηλεκτρομαγνητική θεωρία-θεωρία **Maxwell**

Το 1863 ο Maxwell με μία πειραματική διάταξη απέδειξε ότι τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία διαδίδονται στον χώρο με την μορφή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (σχήμα 3).



Σχήμα 3

Η ταχύτητα διάδοσης τους ευρέθη ότι είναι $c = 3 \cdot 10^8$ [m/s]. Η διάδοσή τους συνοδεύεται και από διάδοση ενέργειας η οποία ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ή ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η απόσταση που διαδίδεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε χρόνο T ονομάζεται μήκος κύματος

$$c = \frac{\lambda}{T} \text{ όπου } T = \frac{l}{V} \Leftrightarrow c = \lambda \cdot V$$

Ο τύπος αυτός είναι ο τύπος της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας με την βοήθεια της οποίας ερμηνεύονται τα φαινόμενα του φωτός.

δ) Θεωρία των κβάντα

Ο Maxwell διετύπωσε ότι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μεταδίδεται με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ενέργεια αυτή είναι το άθροισμα διακριτών ποσών ενέργειας που τα ονομάζουμε κβάντα ενέργειας ή φωτόνια. Τη θεωρία των κβάντα την διετύπωσε ο Max Planck το 1900. Σύμφωνα με τον Planck μία ακτινοβολία αποτελείται από κβάντα ή φωτόνια τα οποία έχουν καθορισμένη μάζα, ορμή και ενέργεια. Άρα το φως χαρακτηρίζεται από κυματικές και σωματιδιακές ιδιότητες οι οποίες εξηγούν την φύση του φωτός. Αν V η συχνότητα της ακτινοβολίας η ενέργεια κάθε φωτονίου δίνεται από την σχέση:

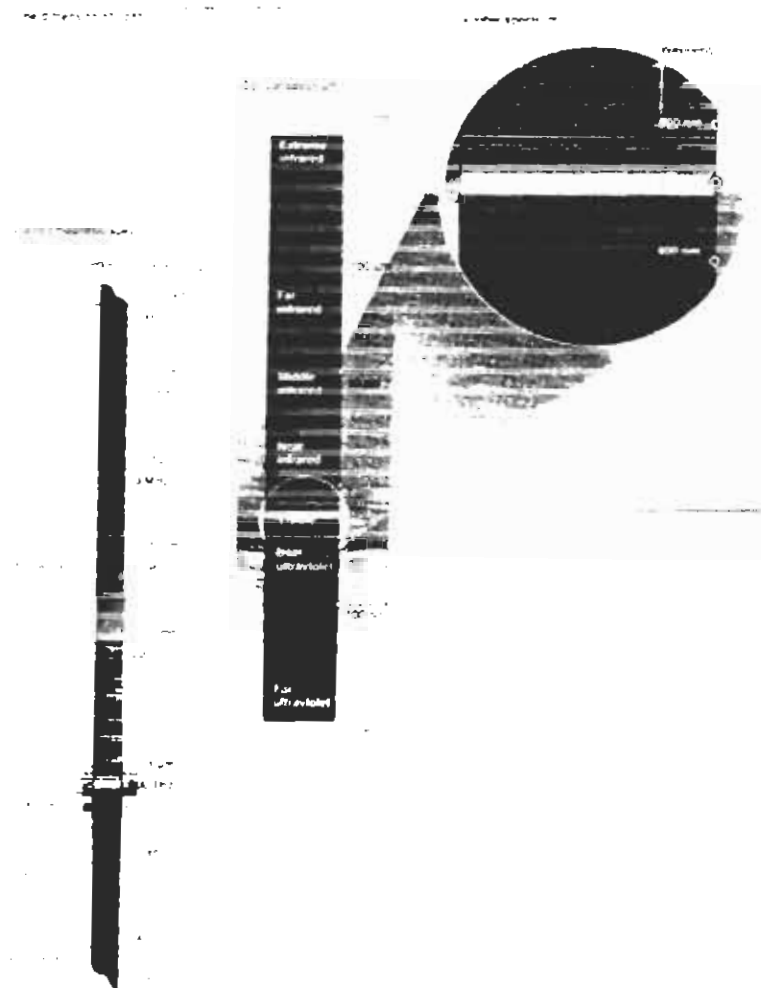
$$E = h \cdot V$$

όπου h = σταθερά του Planck και ισούνται με $h: 6,629 \cdot 10^{-34}$
[Joule sec] ισχύει και

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Φάσμα της ακτινοβολίας

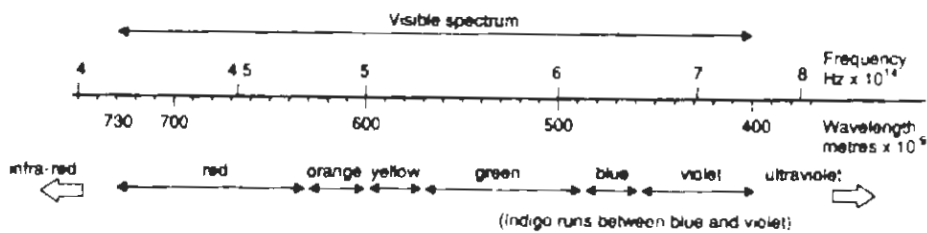
Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από τα οποία αποτελείται μία ακτινοβολία ονομάζεται φάσμα της ακτινοβολίας. Φωτογραφία από τεχνική εκλογή τ. 382 (σχήμα 4). Μετρώντας το μήκος κύματος του φάσματος καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ζώνη μηκών κύματος από 3500 [Å] έως 7500 [Å] γίνεται αντιληπτή από το μάτι και καλείται ορατή περιοχή του οφθαλμού.



Σχήμα 4. Στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το φως καλύπτει την περιοχή από 10 [nm] έως 1 [mm] και το ορατό φάσμα από 400 [nm] έως 700 [nm]

Το ορατό φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (σχήμα 5) που εκτείνεται σε μία περιοχή εύρους από 10^4 έως 10^{22} [Hz], δηλαδή έχει πλάτος 10^{18} [Hz]. Μέσα σε αυτό το φάσμα συχνοτήτων βρίσκεται τοποθετημένο το ορατό φάσμα δηλαδή η περιοχή συχνοτήτων στην οποία ο οφθαλμός του ανθρώπου έχει ευαισθησία. Η περιοχή αυτή εκτείνεται όπως παρατηρείται και στο σχήμα από $3,95 \cdot 10^{14}$ [Hz] (ιώδες). Το μήκος κύματος του ορατού φάσματος ακτινοβολιών εκτείνεται από τα 760 έως τα 380 [nm] ή από τα 7500 [Å] έως [Å]. Όπως παρατηρούμε, όλη η ορατή ακτινοβολούμενη ενέργεια εμπεριέχεται σε αυτήν την περιοχή και την ενέργεια αυτήν την ονομάζουμε φως.



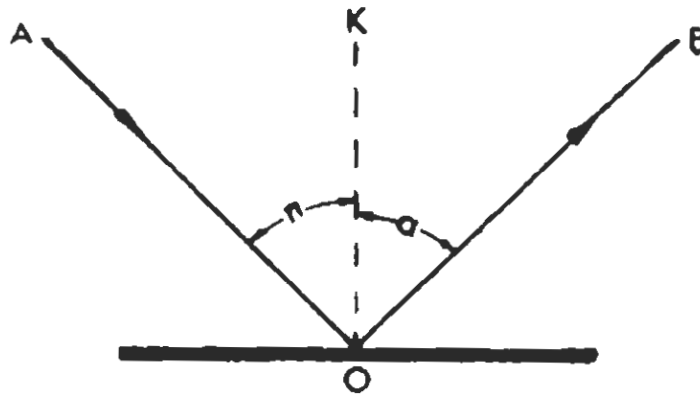
Σχήμα 5

1.2 Γεωμετρική οπτική

1.2.1 Ανάκλαση του φωτός

α) Ορισμός

Οι λείες και στιλπνές επιφάνειες που προκαλούν ανά κλάση του φωτός, καλούνται κάτοπτρα. Στο σχήμα 6 η ακτίνα ΑΟ καλείται προσπίπτουσα και η ΟΒ ανακλώμενη.



Σχήμα 6

Το σημείο Ο καλείται σημείο πρόσπτωσης, εάν στο Ο φέρουμε την ΚΟ κάθετη προς την ανακλαστική επιφάνεια, τότε σχηματίζονται: η γωνία πρόσπτωσης $\Pi = \text{AOK}$ και η γωνία

ανάκλασης $\alpha = \text{ΒΟΚ}$. Επίπεδο πρόσπτωσης καλείται το επίπεδο που σχηματίζεται από τις ακτίνες ΑΟ και ΚΟ.

β) Νόμοι ανακλάσεως

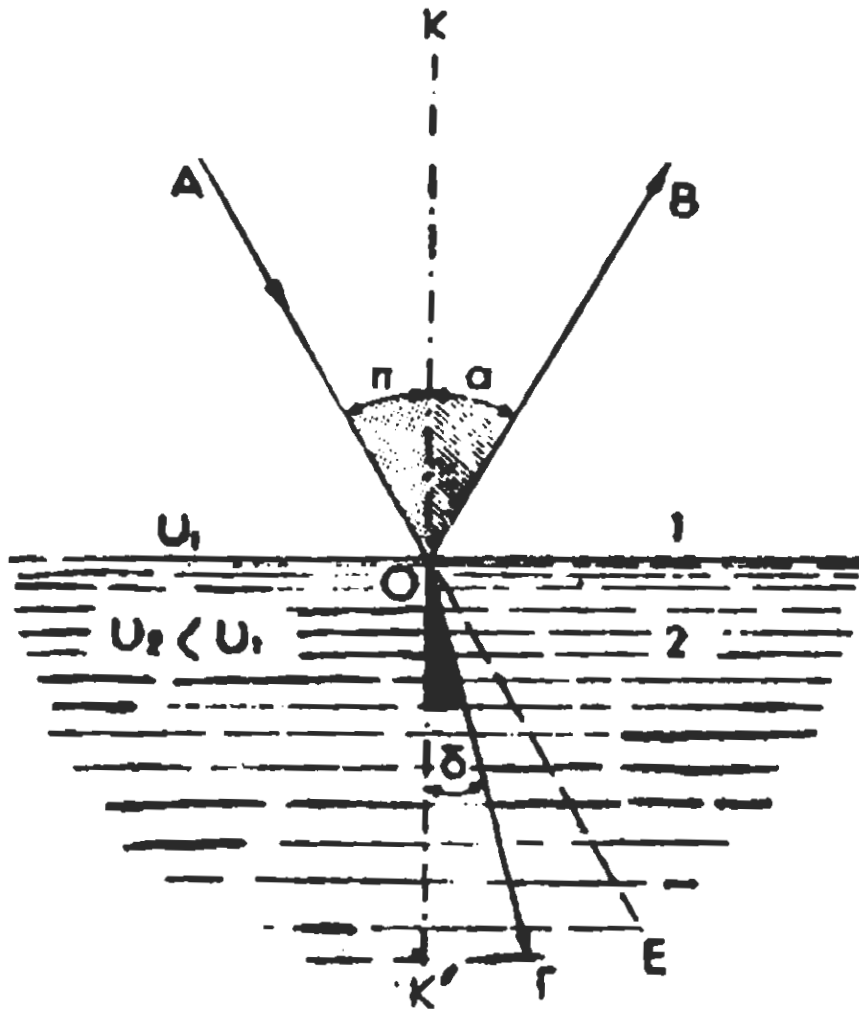
α) Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με τον κάθετο στο σημείο πρόσπτωσης.

β) Η γωνία ανάκλασης ισούται με την γωνία πρόσπτωσης

Διάθλαση του φωτός

α) Ορισμός

Όταν μία δέσμη φωτός πέσει πλάγια σε επιφάνεια διαχωρισμού δύο διαφορετικών μέσων, ένα μέρος του φωτός ανακλάται και ένα μέρος του εισέρχεται στο μέσον. Οι ακτίνες του φωτός που εισέρχονται από δεύτερο μέσο ακολουθούν την διεύθυνση των προσπιπτόντων ακτίνων (σχήμα 7). Το φαινόμενο αυτό καλείται διάθλαση του φωτός. Η γωνία $\Gamma\text{ΟΚ} = \delta$ καλείται γωνία διάθλασης.



Σχήμα 7

β) Νόμοι διάθλασης

α) Η προσπίπτουσα και η διαθλώμενη ακτίνα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο στο σημείο πρόσπτωσης.

β) Ονομάζουμε το λόγο της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c_1), προς την ταχύτητα στο συγκεκριμένο μέσο που γίνεται η διάθλαση (c_2) και συμβολίζεται με $n=c/c_μ$ (νόμος του Snell 1591-1626).

γ) Η γωνία διάθλασης δίνεται από τον τύπο

$$n_1 \eta \mu \pi = n_2 \eta \mu \delta$$

όπου n_1, n_2 δείκτης διάθλασης των υλικών.

Αόρατες ακτινοβολίες

Το μάτι είναι δυνατό να αποκαλύψει μία μικρή περιοχή μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που κλιμακώνεται από 3500 [Å] έως 7500 [Å]. διερευνώντας όμως το συνεχές φάσμα του λευκού φωτός που παίρνουμε σε μία οθόνη φασματογράφου με διατάξεις που προβάλλονται από ακτινοβολούμενη ενέργεια, αποκαλύπτουμε ακτινοβολίες του λευκού φωτός πέρα από την ερυθρή και πριν από την ιώδη περιοχή.

Έτσι για μήκος κύματος $\lambda > 7500$ [Å] σαρώνουμε την περιοχή αυτή με ένα θερμοστοιχείο. Κατά την σάρωση συμπεραίνουμε ότι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή λευκού φωτός περιλαμβάνει και αόρατες ακτινοβολίες που ονομάζονται υπέρυθρες. Εξάλλου αν τοποθετηθεί μία φθορίζουσα οθόνη πέρα από την ιώδη περιοχή αυτή φωτίζεται οπότε συμπεραίνουμε ότι για $\lambda > 3500$ [Å] αναπτύσσονται αόρατες ακτινοβολίες που ονομάζονται υπεριώδεις. Η υπεριώδης περιοχή του φάσματος κλιμακώνεται, από: 3500 [Å]-120 [Å] ενώ η υπέρυθη από 7500 [Å]-340000 [Å].

Απορρόφηση των υπέρυθρων ακτινοβολιών

Το γυαλί, ο χαλαζίας και το νερό απορροφούν εξ' ολοκλήρου τις υπέρυθρες ακτινοβολίες. Αντίθετα το ορυκτό χλωριούχο νάτριο είναι διαφανές για αυτές οπότε χρησιμοποιείται ευρέως για την μελέτη αυτών.

Απορρόφηση των υπεριώδων ακτινοβολιών

Το γυαλί, το νερό και γενικά τα περισσότερα διάφανα σώματα απορροφούν τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Αντίθετα ο χαλαζίας είναι αδιαφανής γι' αυτό κατασκευάζονται φακοί χαλαζία για την μελέτη των υπεριώδων ακτινοβολιών. Επίσης ο αέρας αποτελεί ένα καλό απορροφητικό μέσο των ακτινοβολιών αυτών.

Επομένως στα υψηλότερα στρώμα της ατμόσφαιρας το ηλιακό φως είναι πλουσιότερο σε υπεριώδεις ακτινοβολίες.

1.2.2 Οπτικά υλικά και στοιχεία

Τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα οπτικά στοιχεία είναι λίγο πολύ γνωστά. Όλοι ξέρουμε ότι το φως περνά μέσα από γυάλινες επιφάνειες και γι' αυτό το λόγο το γυαλί είναι το βασικό υλικό των οπτικών στοιχείων. Δεν πρόκειται όμως για απλό γυαλί... παραθύρων. Είναι ειδικής κατασκευής και πολύ μεγάλης καθαρότητας γυαλί που δεν έχει εσωτερικές τάσεις και μεταβολές ή ασυνέχειες στην δομή του ενώ παράλληλα έχει δείκτη διάθλασης που πλησιάζει αρκετά αυτόν του αέρα (1,4 έως 1,7 σε σχέση με τον αέρα που είναι 1). Η κατασκευή του «οπτικού γυαλιού» γίνεται από οξειδία πυριτίου δηλαδή άμμο. Το υλικό αυτό βρίσκεται σε αφθονία στη φύση αλλά επειδή απαιτείται άμμος πολύ μεγάλης καθαρότητας πρέπει να περάσουν πολλά στάδια μέχρι την προετοιμασία του μίγματος ώστε να είναι κατάλληλο. Αυτό θα μπει στους ειδικούς φούρνους υψηλής θερμοκρασίας για να φτάσει σε τήξη και μετά σε καλούπια για να πάρει μια αρχική μορφή (κυρίως σε διαστάσεις) του σχήματος που θέλουμε να έχουμε. Από εκεί και μετά ακολουθεί μια συνεχής λείανση πολλών σταδίων με ειδικές σμιριδαλειφές μέχρι του σημείου που η επιφάνεια του γυαλιού να γίνει λεία και παράλληλα να αποκτήσει την ανάλογη καμπυλότητα

που θέλουμε. Με την εξέλιξη των κατασκευαστικών τεχνικών το οπτικό γυαλί έχει πλέον πολύ καλά χαρακτηριστικά στο υπεριώδες φάσμα (πάνω από τα 290 [nm]) και το κοντινό υπέρυθρο μέχρι 3 [μm]. Ανάλογα με τη σύσταση χρησιμοποιούνται κωδικές ονομασίες όπως BK7, SF11 και LaSF9 τα οπτικά χαρακτηριστικά των οποίων μπορεί να βρει κανείς από τους κατασκευαστές τους.

Τις περισσότερες φορές βέβαια όταν χρειαστεί να σχεδιάσουμε ένα οπτικό σύστημα επιλέγουμε έτοιμα οπτικά στοιχεία. Με την ονομασία οπτικά στοιχεία ονομάζουμε τις διατάξεις που επιτυγχάνουν μια συγκεκριμένη λειτουργία. Όπως τα κάτοπτρα, οι φακοί, τα πρίσματα. Παρουσιάζουμε λεπτομέρειες των πιο συνηθισμένων αφού αυτά χρησιμοποιούνται σε όλες τις οπτικές διατάξεις.

Τα κάτοπτρα είναι επιφάνειες γυαλιού με επαργύρωση (στρώμα αργύρου) στην εμπρός επιφάνεια. Προσοχή ώστε να μην μπερδεύονται με τα «οπτικά κάτοπτρα» με τους κοινούς καθρέπτες που χρησιμοποιούμε στο σπίτι. Εκεί η επαργύρωση γίνεται στην πίσω επιφάνεια αλλά είναι κακής ποιότητας για τα οπτικά σάνταρ αφού στο φως ανακλάται και στην πρώτη επιφάνεια του γυαλιού πριν φτάσει στον άργυρο και πάλι ξαναανακλάται δεύτερη φορά στο γυαλί όταν βγαίνει. Χρησιμοποιούνται όμως έτσι για μεγαλύτερη προστασία του στρώματος αργύρου. Σημειώνουμε ότι στα κάτοπτρα πρώτης επιφάνειας η επαργύρωση δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με

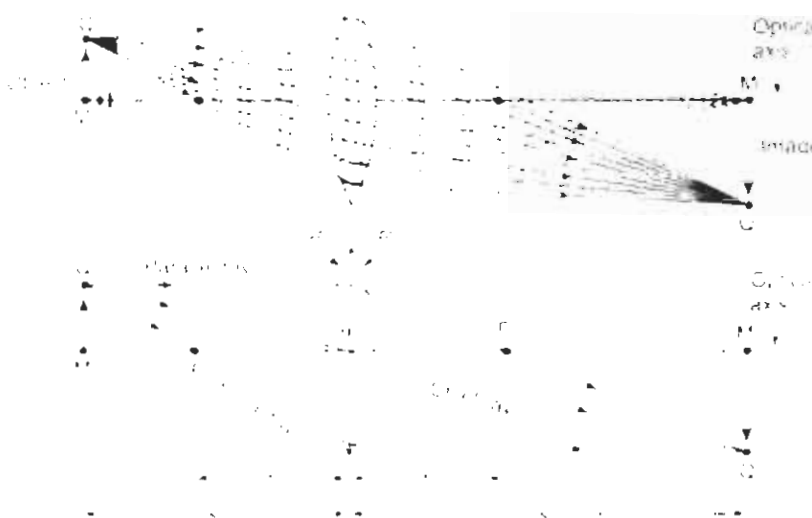
κανένα αντικείμενο ούτε να την ακουμπάνε με το χέρι γιατί φθείρεται. Η επιφάνεια δεν είναι τόσο λεία για να μην προκαλεί μεταβολές στις ακτίνες φωτός που η επιπεδότητα μετριέται με κλάσματα του μήκους κύματος του φωτός. Ένα καλό κάτοπτρο έχει επιπεδότητα $\lambda/10$ ή $\lambda/20$ που για κόκκινο χρώμα (633 [nm]) σημαίνει 0,03 μικρόμετρα.

Με ανάλογο τρόπο μετράμε και την επιπεδότητα των επιφανειών των πρισμάτων τα οποία επιτρέπουν να έχουμε ανάλυση του λευκού φωτός στα χρώματα που το αποτελούν. Εκτός αυτού το πρίσμα επιτρέπει και την εκτροπή του φωτός σε επιθυμητή γωνία ή δημιουργεί αναστροφή του ειδώλου για να λάβει φορά ανάλογη με τις απαιτήσεις του οπτικού συστήματος.

Χρήσιμος για πολλές εφαρμογές είναι ο διαχωριστής δέσμης (beam splitter) που επιτρέπει να χωρίζουμε τη δέσμη φωτός σε δύο άλλες με ποσοστό φωτός σε δύο άλλες με ποσοστό έντασης 50/50, 70/30 ή 90/10 ώστε να δημιουργούμε δύο δέσμες επιθυμητής έντασης. Αποτελεί το βασικό στοιχείο για εφαρμογές συμβολομετρίας όπου χρειάζονται δύο δέσμες με μεγάλη συμφωνία μεταξύ τους και για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να προέρχονται από την ίδια πηγή.

Σημαντικά οπτικά στοιχεία είναι επίσης τα διάφορα φίλτρα που επιτρέπουν την διέλευση μόνο συγκεκριμένης περιοχής του φάσματος ή σε άλλες περιπτώσεις μόνο μιας συγκεκριμένης

φασματικής γραμμής. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα κατασκευής οπτικών συστημάτων που απεικονίζουν μόνο μικρή περιοχή του φάσματος ή μόνο μια γραμμή (μονοχρωματικά). (Σχήμα 8)



Σχήμα 8

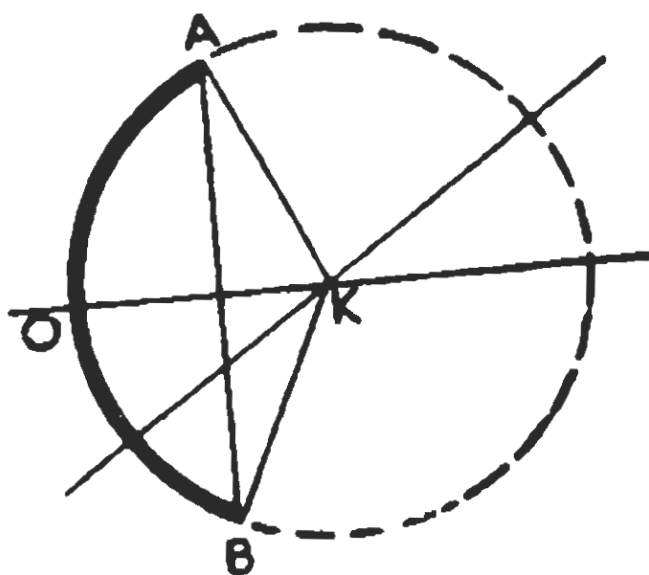
1.2.3 Κάτοπτρα

Τα κάτοπτρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Τα επίπεδα και
- β) τα σφαιρικά.

Στις γεννήτριες που παράγουν φως και το μεταφέρουν δια μέσω οπτικών ινών χρησιμοποιούνται τα σφαιρικά κάτοπτρα. Τα

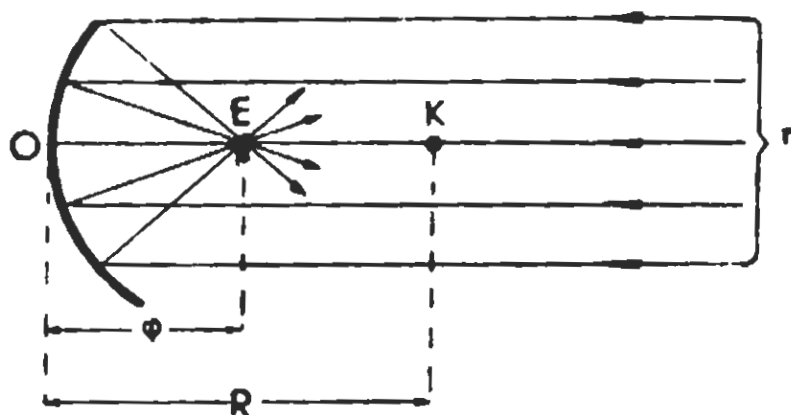
σφαιρικά κάτοπτρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα κοίλα και τα κυρτά ανάλογα με το σχήμα της ανακλώσας επιφάνειας. Όπως διακρίνουμε από το σχήμα 9 το μέσο O του κατόπτρου καλείται κορυφή και το κέντρο K της σφαίρας στην οποία ανήκει το κάτοπτρο καλείται κέντρο καμπυλότητας του κατόπτρου. Η ευθεία που διέρχεται από το κέντρο και την κορυφή καλείται κύριος ή οπτικός άξονας του κατόπτρου. Κάθε άλλη ευθεία που διέρχεται από το σημείο K ονομάζεται δευτερεύον άξονας.



Σχήμα 9

Για τον σχηματισμό ειδώλου πρέπει να πληρούνται οι εξής συνθήκες: α) Το κάτοπτρο να έχει μικρό άνοιγμα όπου άνοιγμα είναι η γωνία AKB όπου AB χορδή του κατόπτρου, β) το

αντικείμενο να είναι κάθετο και κοντά στον οπτικό άξονα του κατόπτρου.



Σχήμα 10

Στο σχήμα 10 παρατηρούμε το σημείο E που καλείται κύρια εστία του κατόπτρου, η απόσταση Φ του E από το O καλείται εστιακή απόσταση του κατόπτρου. Αποδεικνύεται ότι:

$$\Phi = \frac{R}{2}$$

όπου R= ακτίνα καμπυλότητας (οπτικός άξονας)

Πορεία ανακλώμενων ακτινών

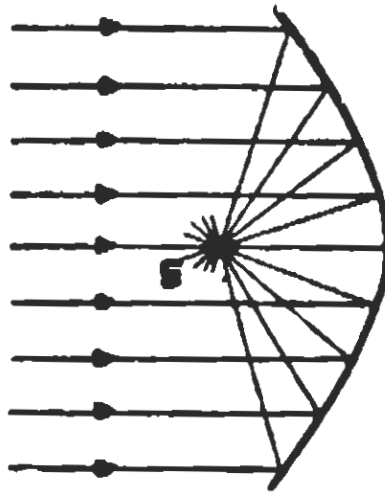
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την θεωρητική μελέτη των κατόπτρων μας βοηθούν να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας της γεννήτριας παραγωγής φωτός.

- α) Όταν μία ακτίνα που προσπίπτει στο κάτοπτρο διέρχεται από το κέντρο καμπυλότητας η ανακλώμενη ακτίνα ακολουθεί αντίστροφα ίδια πορεία.
- β) Όταν η προσπίπτουσα ακτίνα είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα η ανακλώμενη ακτίνα διέρχεται από την κύρια ακτίνα.
- γ) Όταν η προσπίπτουσα ακτίνα διέρχεται από την κύρια εστία η ανακλώμενη ακτίνα είναι παράλληλη προς τον κύριο άξονα.
- δ) Όταν το φωτεινό σημείο βρίσκεται επί τον κυρίως άξονα, το είδωλο του σχηματίζεται επί του κυρίου άξονα.

Απλανητικά κάτοπτρα

Τα κοίλα και τα παραβολικά κάτοπτρα ονομάζονται και απλανητικά γιατί όλες οι ακτίνες ενός φωτεινού σημείου (π.χ. λαμπτήρα) συγκεντρώνονται μετά την ανάκλασή τους σε ένα σημείο. Τα κοίλα κάτοπτρα είναι απλανητικά μόνο όταν το φωτεινό σημείο βρίσκεται στο κέντρο καμπυλότητάς τους, για κάθε άλλη θέση δεν θεωρείται απλανητικά. Ομοίως και τα παραβολικά με την

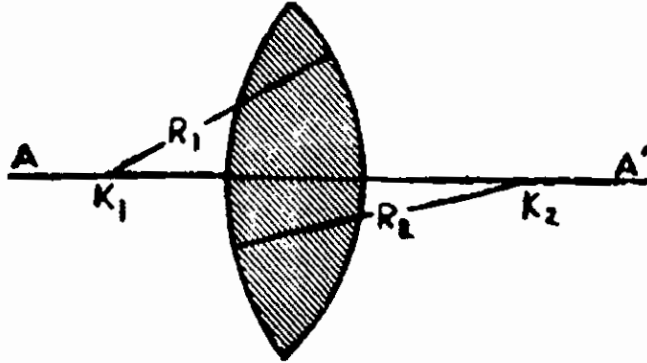
μόνη διαφορά ότι η φωτεινή πηγή πρέπει να βρίσκεται πιο μακριά. Τα κοίλα και τα παραβολικά κάτοπτρα χρησιμοποιούνται ευρέως σε γεννήτριες παραγωγής φωτός. (Σχήμα 11)



Σχήμα 11

1.2.4 Φακοί

Ως φακός καλείται ένα διαφανές μέσο το οποίο περιορίζεται, από δυο σφαιρικές επιφάνειες ή από μια σφαιρική και μια επίπεδη (σχήμα 12).



Σχήμα 12

Οι ακτίνες καμπυλότητας των σφαιρικών επιφανειών καλούνται ακτίνες καμπυλότητας και τα κέντρα αυτών, κέντρα καμπυλότητας του φακού. Η ευθεία που διέρχεται από τα δύο κέντρα των σφαιρικών επιφανειών καλείται κύριος άξονας. Για τους φακούς ισχύει:

- α) Ότι ο φακός ευρίσκεται στον αέρα ο οποίος έχει δείκτη διάθλασης ίσο με την μονάδα.
- β) Οι προσπίπτουσες ακτίνες επί του φακού ονομάζονται κεντρικές ακτίνες.
- γ) Το φως που προσπίπτει επί του φακού είναι λευκό.

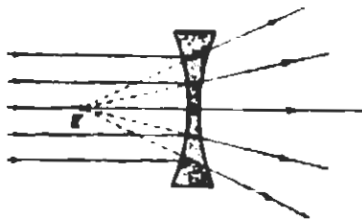
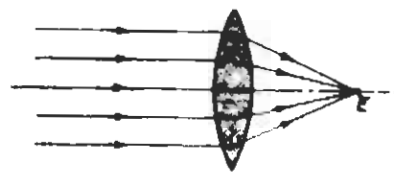
Είδη φακών

Οι φακοί κατασκευάζονται από καθαρό γυαλί. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Συγκλίνοντες φακοί: Έχουν την ιδιότητα να μεταβάλουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία δέσμης παράλληλων ακτίνων σε συγκλίνουσα δέσμη. Οι φακοί αυτοί είναι παχύς στο μέσον και λεπτοί στα άκρα.
- β) Αποκλίνοντες φακοί: Έχουν την ιδιότητα να μεταβάλουν την προσπίπτουσα δέσμη παράλληλων ακτίνων σε αποκλίνουσα δέσμη. Οι φακοί αυτοί είναι λεπτότεροι στο μέσον και παχύτεροι στα άκρα. (σχήμα 13)

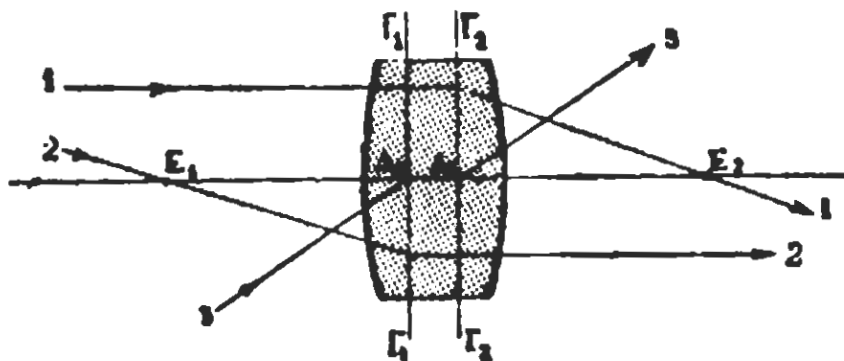


α, β, γ συγκλίνοντες φακοί (άμφικυρτος, επίπεδοκυρτος, συγκλίνων μηνίσκος).
δ, ε, ζ αποκλίνοντες φακοί (άμφικόκυλος, επίπεδοκοίλος, αποκλίνων μηνίσκος).



Σχήμα 13

- γ) Παχύς φακός (σχήμα 14)



Σχήμα 14

Φακοί και σφάλματα

Αναμφίβολα το σημαντικότερο οπτικό στοιχείο είναι ο φακός. Πρόκειται για ένα κομμάτι γυαλιού που με κατάλληλη λείανση στις δύο επιφάνειές του επιτυγχάνει την σύγκλιση (ή απόκλιση) των ακτίνων του φωτός ώστε να «εστιάζουν» σε ένα σημείο. Έτσι αν σκεφτούμε ότι η εικόνα ενός αντικειμένου είναι το σύνολο των ακτίνων από όλα τα σημεία του και ακολουθήσουμε την πορεία που διαγράφουν όλες αυτές μέσα στο φακό θα δούμε ότι καταλήγουν σε συγκεκριμένα σημεία που όλα μαζί πάλι συνδυάζονται και δημιουργούν το «είδωλο» (ή την εικόνα) του αντικειμένου. Συνδυασμός φακών επιτρέπει να έχουμε μεγέθυνση, σμίκρυνση, αλλαγή πορείας των ακτίνων για προβολή και γενικά ότι επιθυμούμε.

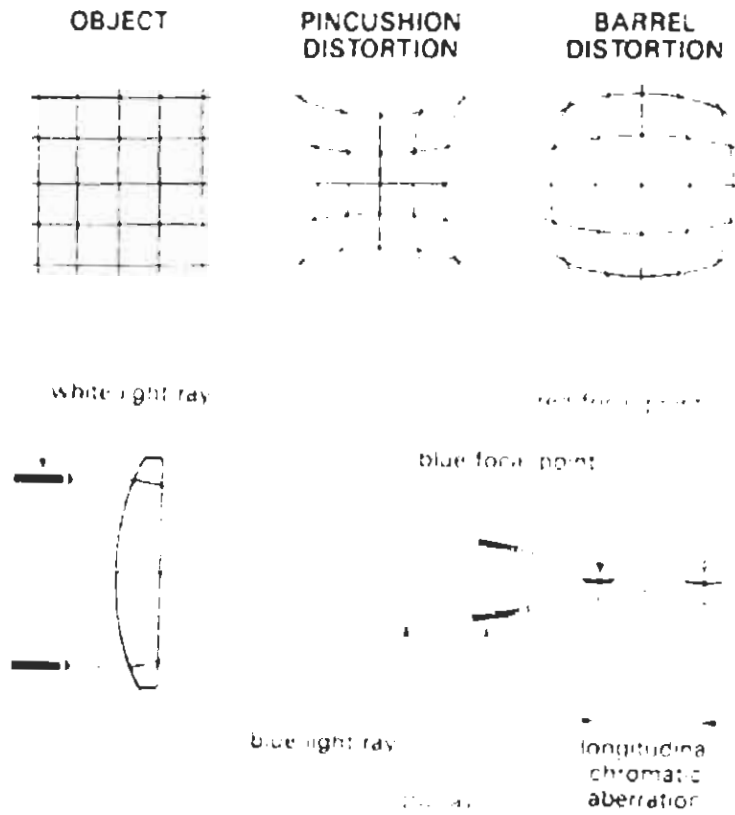
Στους φακούς διακρίνουμε δύο ειδών ακτίνες. Τις αξονικές που περνούν πολύ κοντά στο κέντρο του φακού και αυτές που περνούν από τα άκρα. Οι αξονικές κάνουν μικρότερη διαδρομή για να φτάσουν στο φακό αλλά μεγαλύτερη στο εσωτερικό του ενώ οι υπόλοιπες κάνουν μεγαλύτερη διαδρομή μέχρι τις άκρες αλλά μικρότερη στο εσωτερικό. Έτσι διατηρείται η αρχή του Fermat και με την γεωμετρική οπτική μπορούμε να σχεδιάσουμε τα οπτικά συστήματα συνδυάζοντας πολλούς φακούς και χρησιμοποιώντας το είδωλο κάθε φακού σαν αντικείμενο για τον επόμενο.

Και ενώ μέχρι αυτό το σημείο η γεωμετρική οπτική φαίνεται να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο αλλά μέχρι εδώ έχουμε θεωρήσει ότι οι ακτίνες φωτός είναι όλες ίδιες. Αυτό όμως δεν συμβαίνει. Γιατί οι φακοί παρουσιάζουν τα λεγόμενα σφάλματα. Τα πέντε κυριότερα σφάλματα που ονομάζονται Seidel από το όνομα του Γερμανού Φυσικού (1821-1896) είναι: Σφαιρικό, κόμη, αστιγματισμός, καμπυλότητα πεδίου και συστροφή (distortion). Το σφαιρικό οφείλεται στο ότι οι ακτίνες των άκρων του φακού εκτρέπονται περισσότερο από τις αξονικές και εστιάζουν σε διαφορετικό σημείο δημιουργώντας ένα ολόκληρο σφαιρικό είδωλο γύρω από την κανονική εστία. Η κόμη είναι σφάλμα που δημιουργείται από τις ακτίνες που φτάνουν στους φακούς υπό γωνία ως προς τον οπτικό άξονά του. Αυτό το εκτός άξονα σφάλμα δημιουργεί μια «ουρά» σαν κομήτη στο σημείο εστίασης.

Ο αστιγματισμός είναι σφάλμα που δημιουργεί γραμμή και όχι σημείο στην εστία και μάλιστα σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Όταν με κατάλληλες τεχνικές τα δύο επίπεδα συμπίπτουν ο αστιγματισμός εξαφανίζεται αλλά δημιουργείται η καμπυλότητα πεδίου που προκαλεί θόλωση στις άκρες του οπτικού πεδίου που απεικονίζεται από έναν φακό.

Το τελευταίο σφάλμα, η συστροφή, δημιουργεί συστροφή (προς τα μέσα ή προς τα έξω) των άκρων του οπτικού πεδίου λόγω διαφορετικής μεγέθυνσης στα άκρα.

Εδώ όμως δεν τελειώνουν τα... δύσκολα για τα οπτικά συστήματα καθώς τα πέντε σφάλματα Seidel αντιστοιχούν σε μονοχρωματικό φως όπως το φως από laser. Όταν απεικονίζεται λευκό φως τότε προστίθεται ένα ακόμα σφάλμα, το χρωματικό. Αυτό οφείλεται στο ότι ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού είναι διαφορετικός για κάθε μήκος κύματος (χρώμα) και άρα οι ακτίνες από κάθε χρώμα εστιάζουν σε διαφορετικό σημείο. Μια απλή τεχνική για τη μείωση αυτού του σφάλματος είναι η χρήση γυαλιών με διαφορετικό δείκτη διάθλασης τα οποία είναι κολλημένα μεταξύ τους με κατάλληλη κόλλα. Το σφάλμα από τον ένα είναι συμπληρωματικό του άλλου και έτσι εξαλείφεται. Η διάταξη ονομάζεται αχρωματικός φακός ή διπλός φακός (doublet). (Σχήμα 15)



Σχήμα 15. Τα πέντε σφάλματα φακών το σφαιρικό, η κόμη, ο αστιγματισμός, η καμπυλότητα πεδίου και η συστροφή. Υπάρχει όμως και το χρωματικό γιο δέσμες λευκού φωτός.

1.3 Αρχές φωτομετρίας

1.3.1 Ορισμός φωτεινής ενέργειας

Από την καθημερινή παρατήρηση των φωτεινών σωμάτων βεβαιωνόμαστε ότι οι φωτεινές πηγές είναι υλικά σώματα με υψηλές θερμοκρασίες. Άρα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το φως και η θερμότητα είναι αλληλένδετα. Αντίστροφα, αν ένα σώμα φωτισθεί αυτό θερμαίνεται. Οπότε εφόσον η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι και το φως είναι μια μορφή ενέργειας που καλείται φωτεινή ενέργεια.

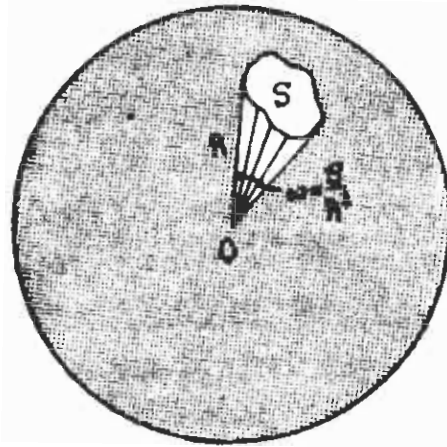
1.3.2 Στοιχεία φωτομετρίας

α) Στερεά γωνία

Θεωρούμε σφαίρα (Ο, r) και μια κωνική επιφάνεια με κορυφή το κέντρο της σφαίρας. Η τομή της κωνικής επιφάνειας και της επιφάνειας της σφαίρας, ορίζει σε αυτή μια επιφάνεια S. Σαν στερεά γωνία ορίζεται ο λόγος

$$\omega = \frac{S}{R^2}$$

για $S= 1 \text{ [m}^2\text{]}$ και $R= 1\text{[m]}$ λαμβάνουμε $\omega=1$. Λαμβάνουμε δηλαδή την μονάδα των στερεών γωνιών η οποία καλείται στερεακτίσιο (1 sterad). Ο χώρος ισούται με 4π στερεακτίσια (σχήμα 16)



Σχήμα 16

β) Φωτεινή ροή Φ

Οι ηλεκτρικές συσκευές χαρακτηρίζονται από την ηλεκτρική ισχύ και οι λαμπτήρες από την φωτεινή ισχύ (ροή) η οποία είναι, το ποσό της ενέργειας που ακτινοβολείται στην μονάδα του χρόνου

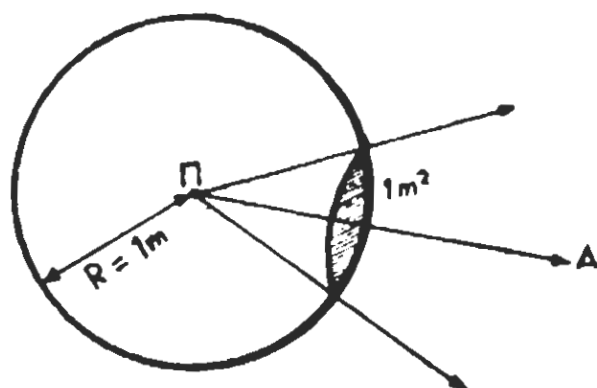
$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Μετριέται σε λούμεν [Lm] ως Q ορίζεται η ενέργεια που ακτινοβολείται από μία φωτεινή πηγή με μορφή φωτός. Μονάδα

είναι το $Lm\ h$ που αντιστοιχεί στο KWh της ηλεκτρικής ενέργειας. Συμβολίζεται με $Q=\Phi t$. Η απόδοση της φωτεινής πηγής εκφράζεται σε Lm/W και είναι το ποσό της φωτεινής ροής που καταναλώνεται για κάθε watt ηλεκτρικής ενέργειας.

β) Φωτεινή ένταση I

Έστω στοιχειώδης φωτεινή πηγή Π ευρισκόμενη σε κύκλο ακτίνας R (σχήμα 17).



Σχήμα 17

Το πηλίκο της στοιχειώδης φωτεινής ροής $d\Phi$ καλείται ένταση

$$I = \frac{d\Phi}{\omega}$$

για $R=1 [m]$ και $S= 1 [m^2]$ τότε

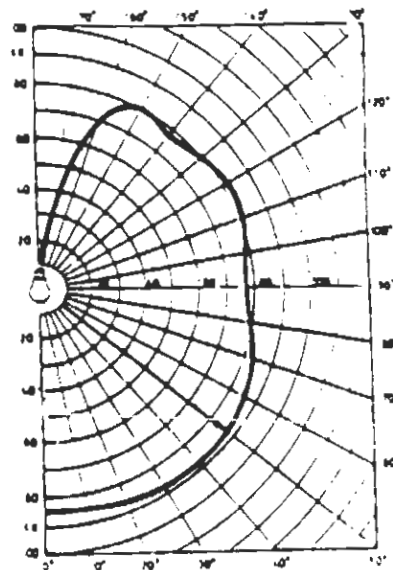
$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

Η ολική φωτεινή ροή για τον χώρο είναι $\Phi_{\text{ολ}}=4\pi I$. Μονάδα είναι η candela 1cd= όταν ακτινοβολείται φωτεινή ροή 1[Lm] μέσα σε στερεά γωνία 1st. Ισχύει ότι:

1 (cd)= 0,98 I.K. όπου I.K.= International candle και

1 (cd)= 1,16 H.K. όπου H.K.= Hetner

Πρακτικά η διανομή της φωτεινής ροής γίνεται με τα πολικά διαγράμματα συντεταγμένων υπό μορφή καμπύλης η οποία ονομάζεται καμπύλη φωτεινής έντασης. Τα πολικά διαγράμματα συνήθως δίνονται για λαμπτήρες 1000 [Lm]. (Σχήμα 18)



Σχήμα 18

δ) Φωτισμός επιφάνειας

Όταν η φωτεινή ροή η οποία εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή προσπίπτει σε μία επιφάνεια αυτή φωτίζεται. Άρα καλούμε φωτισμό (E) επιφάνειας (S) την φωτεινή ροή που προσπίπτει επί της μονάδος της επιφάνειας αυτής.

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ σε } [Lm/m^2] = lux$$

Άρα 1 [Lux]= Φωτισμός επιφάνειας 1 [m²] στην οποία προσπίπτει φωτεινή ροή Φ 1[Lm]

ε) Νόμος της φωτομετρίας

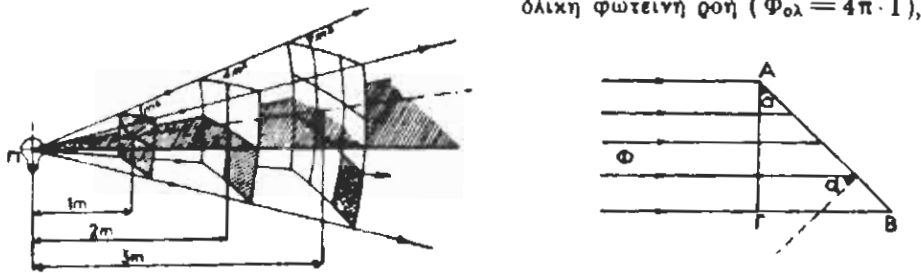
Στο σχήμα 19 εικονίζεται μία φωτεινή πηγή η ένταση της οποίας είναι $I = \Phi/\omega$ και $\Phi_{ολ} = 4\pi I$ η ολική ροή φωτεινή ροή την οποία εκπέμπει η φωτεινή πηγή που εξαπλώνεται στα σφαιρικά επίπεδα, οι ακτίνες των οποίων αυξάνουν. Άρα αυξάνει και το εμβαδόν τους ανάλογα με το τετράγωνο της ακτίνας τους.

Άρα ο φωτισμός E_k κάθε επιφάνειας είναι:

$$E_k = \frac{\Phi_{ολ}}{4\pi R^2} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} \quad \text{ή}$$

$$E_k = \frac{I}{R^2} \quad (1)$$

Η σχέση αυτή ισχύει μόνο για κάθετη πρόσπτωση του φωτός. Έστω ότι μια δέσμη παράλληλων φωτεινών ακτίνων προσπίπτει επί επιφάνειας $AB=S$ υπό γωνία α (σχήμα 19).



Σχήμα 19

Αν E ο φωτισμός τότε $\Phi = E S$. Αυτή η φωτεινή ροή προσπίπτοντας επί της $A\Gamma = S'$ προκαλεί κάθε το φωτισμό:

$$E_k = \frac{I}{R^2}$$

άρα

$$\Phi_k = E_k \cdot S'$$

Επειδή

$$S' = S \sigma \nu \alpha$$

τότε και

$$\Phi_K = E \cdot S' = E_K \cdot S \cdot \sigma \nu \alpha$$

και

$$E = E_K \sigma \nu \alpha$$

Άρα ο νόμος της φωτομετρίας έχει ως

$$E = \frac{I}{R^2} \cdot \sigma \nu \alpha$$

Στην πράξη σημαντικό ρόλο παίζει και το ύψος ανάρτησης της φωτεινής πηγής.

στ) Λαμπρότητα-Νόμος Lambert

α) Ένα βασικό στοιχείο της φωτοτεχνίας είναι και η λαμπρότητα γιατί προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι την αίσθηση της φωτεινότητας

των αντικειμένων. Προκύπτει ότι για δύο φωτεινές πηγές που έχουν την ίδια ένταση I αλλά διαφορετικές διαστάσεις, η μικρότερης επιφάνειας πηγή θα είναι λαμπρότερη από την άλλη. Έτσι καθορίζεται το μέγεθος της λαμπρότητας που είναι το πηλίκο της έντασης I προς την επιφάνεια.

$$L = \frac{I}{A}$$

Μονάδα= 1 stilb (1 sb) και είναι $1\text{sb} = [\text{cd}/\text{cm}^2]$

β) Νόμος Lambert

Έστω ότι I_0 η ένταση μιας φωτεινής πηγής σε διεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια. Ισχύει ότι:

$$I_\alpha = I_0 \sigma \nu \alpha \quad (\text{Νόμος Lambert})$$

Δηλαδή, αν μία φωτεινή πηγή έχει την ίδια λαμπρότητα προς όλες τις διευθύνσεις, τότε η ένταση της προς κάποια διεύθυνση που σχηματίζει γωνία α με την κατακόρυφο, ισούται με το γινόμενο της έντασης I_0 επί το συνημίτονο της γωνίας α .

1.4 Λαμπτήρες

1.4.1 Γενικά

Η δημιουργία τεχνητού φωτός με την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος κατατάσσεται σε δύο κατηγορίες που έχουν σχέση με τον τρόπο παραγωγής φωτεινής ακτινοβολίας.

- α) Πυράκτωση. Στην κατηγορία αυτή έχουμε εφαρμογή του νόμου του Joule με πυράκτωση νήματος.
- β) Εκκένωση. Στην κατηγορία αυτή η λειτουργία των λαμπτήρων βασίζεται στην ηλεκτρική εκκένωση. Στην συνέχεια παραθέτουμε ορισμένα είδη λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές οπτικών ινών.

1.4.2 *Είδη λαμπτήρων*

α) Λαμπτήρες πυράκτωσης (Τουνγκστενίου)

Η λειτουργία τους βασίζεται στον νόμο του Joule

$$Q = F (K, I^2, R, t)$$

Η ακτινοβολία ορατού φάσματος εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία του νήματος και αυξάνεται με αυτή. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία έχει το νήμα του λαμπτήρα τόσο καλύτερα αποδίδει. Η υψηλή θερμοκρασία του νήματος, προκαλεί εξάχνωση με αποτέλεσμα την φθορά και τελικά την καταστροφή του. Το νήμα είναι από τουγκστένιο το οποίο έχει υψηλό σημείο τήξης 3350 [°C]. Συνήθως ο κώδωνας πληρώνεται με αδρανές αέριο (άζωτο ή αργό) για ανασταλτική δράση της εξάχνωσής του.

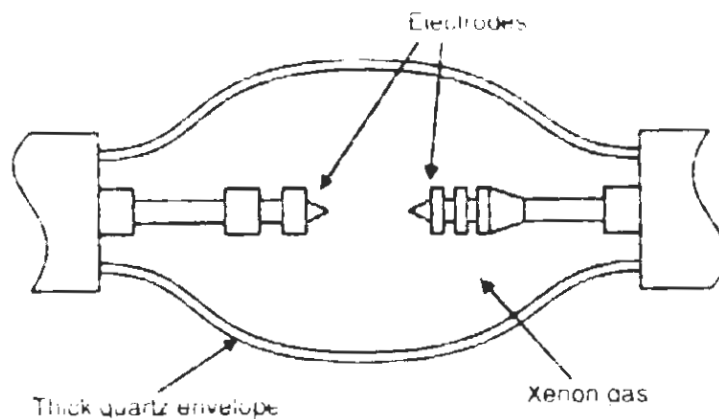
β) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

Περιέχουν ευγενές αέριο και μικρή ποσότητα υδραργύρου. Το φως του έχει έντονο λευκό χρώμα και περιέχει υψηλές ποσότητες υπεριώδων ακτινοβολιών που απορροφούνται από τον περιβάλλοντα κώδωνα. Έχουν τριπλάσια φωτεινή απόδοση από τους λαμπτήρες πυράκτωσης.

Λαμπτήρες ξένου

Μία ακόμα ειδική κατηγορία λαμπτήρων είναι και οι λαμπτήρες ξένου μικρού τοξου. Αποτελείται από ένα κάλυμμα από χαλαζία το οποίο πληρούται με αέριο ξένο υπό πίεση και δύο ηλεκτρόδια ανόδου-καθόδου. Το αέριο ξένο προτιμάται για το λευκό φως που βγάζει το οποίο είναι απαλλαγμένο από τις υπέρυθρες

ακτινοβολίες λόγω του καλυκα χαλαζία. Τα ηλεκτροδία είναι από τουγκστένιο και το ηλεκτρικό τόξο που αναπτύσσεται μεταξύ τους έχει μήκος 15 [mm]. (Σχήμα 20)

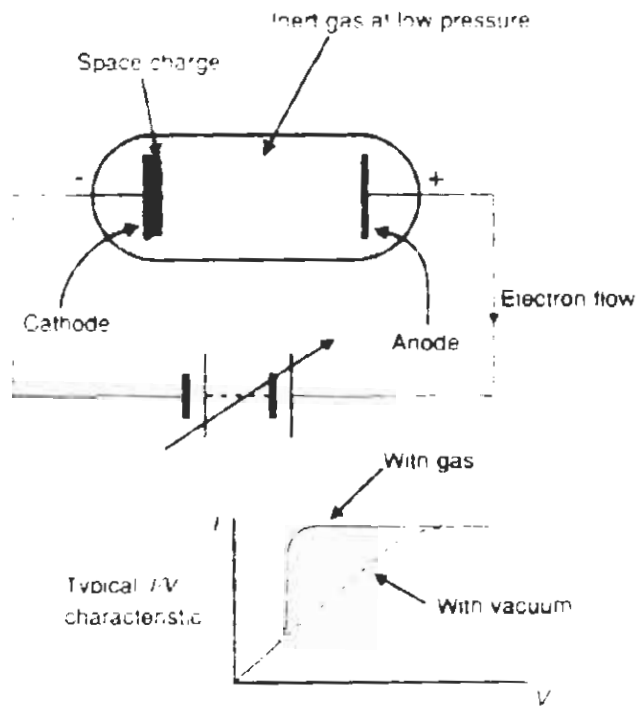


Σχήμα 20

Λάμπες ηλεκτρικής εκκένωσης

Σε αντίθεση με τις λάμπες πυράκτωσης, οι λαμπτήρες ηλεκτρικής εκκένωσης βασίζονται στην αρχή του ιονισμού για την λειτουργία τους. Τα αέρια άτομα έχουν την ικανότητα να απορροφούν και να εκπέμπουν φωτόνια. Όταν η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου είναι μικρή τότε έχουμε ένα μικρό ανοδικό ρεύμα. Με την αύξηση της τάσης ανόδου κάποια στιγμή (τάση έναυσης) το ρεύμα της λυχνίας αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα ηλεκτρόνια από την κάθοδο αποκτούν μεγαλύτερη κινητική

ενέργεια οπότε συγκρουόμενα με τα άτομα του αερίου τα τονίζουν, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό θετικών ιόντων και ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα θετικά ιόντα εξουδετερώνονται από τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από την κάθοδο με αποτέλεσμα την μέγιστη εκπομπή ηλεκτρονίων. Εδώ η λυχνία έχει και την μεγαλύτερη απόδοση. Το αέριο στο οποίο εμπεριέχεται στην λάμπα είναι αδρανές (αργό, νερό, ήλιο, κρυπτό, ξένο ή ατμοί υδραργύρου). Ο καυστήρας είναι κατασκευασμένος από χαλαζία. Οι καινούργιοι καυστήρες είναι από κεραμικό υλικό αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και άρα έχουμε καλλίτερη και υψηλότερη απόδοση του λαμπτήρα. Μάλιστα το εξωτερικό γυαλί έχει επίστρωση με υλικό UV-block για την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας. (Σχήμα 21)



Σχήμα 21

Κεφάλαιο 2

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

2.1 Ορισμός

Η οπτική ίνα (optical fiber) είναι μια κατασκευή που σχεδιάζεται για να οδηγεί το φως με ελάχιστες απώλειες, διαμέσου μιας απόστασης ή διαδρομής πολλών χιλιομέτρων που δεν είναι απαραίτητα ευθεία. Στις επικοινωνίες με οπτικές ίνες η βασική ιδέα είναι η χρήση της οπτικής ίνας ως μέσο μετάδοσης και του φωτός σαν φορέα της πληροφορίας, αντί για το ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιούμε στα ενσύρματα μέσα. Οι οπτικές ίνες είναι διαστάσεων δεκάτων του χιλιοστού του μέτρου, δηλαδή όσο περίπου και το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας.

Ενώ οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται σήμερα στις τηλεπικοινωνίες έχουν κυκλική γεωμετρία και κατασκευάζονται από υψηλής καθαρότητας γυαλί, οπτικές ίνες για άλλες χρήσεις μπορούν ακόμα να κατασκευαστούν από πλαστικά, από απλά κρύσταλλα τραβώντας τα σε ίνες ή από κοίλους σωλήνες γεμισμένους με κατάλληλο ρευστό. Επίσης η οπτική ίνα δεν

χρειάζεται να είναι απαραίτητα κυκλική στη γεωμετρία. Επίπεδοι οπτικοί κυματοδηγοί χρησιμοποιούνται στο εμπόριο για μια ποικιλία εφαρμογών, όπως διαχωρισμός ενός σήματος φωτός σε πολλαπλά σήματα ή σε συγκεκριμένες στάθμες ισχύος, δηλαδή, στους οπτικούς συζεύκτες. Εάν θέλαμε να δώσουμε ένα πιο αυστηρό από επιστημονικής απόψεως ορισμό, θα λέγαμε ότι οι οπτικές ίνες είναι κυματοδηγοί διηλεκτρικών ή ημιαγωγικών υλικών που αποτελούν το μέσο διάδοσης του οπτικού φάσματος, της ορατής, υπέρυθρης ή υπεριώδους ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Το φως διοχετευόμενο μέσα σε μια οπτική ίνα από γυαλί μπορεί να μεταφέρει πληροφορίες με ρυθμούς μετάδοσης που φθάνουν τα 10.000 εκατομμύρια bit το δευτερόλεπτο. Αυτό ισχύει με την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία, αλλά καθημερινά σημειώνεται αλματώδης πρόοδος στην ποσότητα και στο ρυθμό μετάδοσης των πληροφοριών. Κατά τους υπολογισμούς που δημοσιεύθηκαν το 1985 στο επιστημονικό περιοδικό Science, το τότε πειραματικού επιπέδου όριο έφθανε τα 4.000 εκατομμύρια bit το δευτερόλεπτο και για να καταστήσει πιο κατανοητό στον αναγνώστη το τι σημαίνει αυτός ο αριθμός των bit, αναφέρει πως αντιστοιχεί περίπου με το σύνολο των πληροφοριών που περιλαμβάνονται σε μια εγκυκλοπαίδεια Britannica. Σήμερα μέσα από μία οπτική ίνα μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα τόσες τηλεφωνικές συνδιαλέξεις όσες μπορούν να καλύψουν 30.000

γραμμές τηλεφώνου και μάλιστα με πολύ μεγαλύτερη ευκρίνεια, ή να μεταδοθούν εκατοντάδες έγχρωμα τηλεοπτικά προγράμματα.

2.1.1 Εξέλιξη των οπτικών ινών

Από την αρχαιότητα οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν το φως για την μετάδοση μηνυμάτων και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους. Παραδείγματα που μπορούν να αναφερθούν ήταν οι φωτιές στις κορυφές των βουνών και η χρήση καθρεπτών για την ανάκλαση του ηλιακού φωτός. Στις ημέρες μας, γνωστή και σαν «Εποχή του φωτός», το φως χρησιμοποιείται και πάλι για τη μετάδοση πληροφοριών σε υπερσύγχρονα συστήματα επικοινωνιών. Η ανάπτυξη των οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων και των οπτικών ινών τα τελευταία χρόνια ήταν ραγδαία και η χρήση τους σε συστήματα επικοινωνιών εντυπωσιακή. Σήμερα παρατηρείται παγκόσμια μια συνεχώς αυξανόμενη τάση αντικατάστασης των κοινών χάλκινων καλωδίων με καλώδια που αντί για χάλκινα σύρματα φέρουν οπτικές ίνες, ένεκα των σημαντικών οικονομικών και τεχνολογικών πλεονεκτημάτων των τελευταίων.



2.1.2 Ιστορία των οπτικών ινών

Η ιδέα της μεταφοράς φωτός με ελεγχόμενο τρόπο μας μεταφέρει στα τέλη του 19^{ου} αιώνα όταν ο John Tyndell παρουσίασε στην βασιλική αυλή ότι το φως μπορεί να μεταδοθεί δια μέσω καμπύλων ροής, νερού. Το 1880 ο A.G.Bell εφεύρε το φωτόφωνο, το οποίο ήταν η μεγαλύτερη εφεύρεση και ουσιαστικά και η απαρχή για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών σαν μέσο μεταφοράς.

Την ίδια χρονιά οι προσπάθειες του T. Edison για την κατασκευή λαμπτήρων πυράκτωσης και λαμπτήρων τόξου (εκκένωσης) έδωσαν τα απαραίτητα κίνητρα στον William Wheeler να κατασκευάσει ένα μηχανισμό για μεταφορά φωτός μέσω σωλήνων υψηλής αντανάκλαστικής ικανότητας. Παρ' ότι η μεταφορά φωτός μέσω «οπτικών οδηγών» χρησιμοποιείται στην ιατρική από την δεκαετία του 1930 ήταν αδιανόητη η χρήση οπτικών ινών μέχρι το 1950, όπου επιτεύχθηκε η κάλυψη του γυαλιού με υλικά χαμηλού δείκτη διάθλασης οπότε τα οπτικά κύματα οδηγούνταν μέσα από το κέντρο του γυαλιού χωρίς πλευρικές απώλειες.

Η μεγαλύτερη επανάσταση στην εμπορική επιβίωση των οπτικών ινών πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή γυάλινων οπτικών ινών υψηλής καθαρότητας με το μικρότερο δείκτη απωλειών. Το 1964 ο Δρ. C.K.Kao όρισε, ύστερα από μετρήσεις τις θεωρητικές τιμές για την μελέτη και κατασκευή μεγάλου εύρους τηλεπικοινωνιακών

δικτύων. Ένα στοιχείο είναι η απώλεια 20 [dB/km] το οποίο αναφέρεται σε 99% απώλειες πάνω του 1[km].

Στα 1970 ο Corning Glass τελειοποίησε την κατασκευή μιας ίνας με απώλειες 20 [dB/km]. Η εφαρμογή του αυτή εκμεταλλεύτηκε εμπορικά από το 1973. Στα μέσα της δεκαετίας του '70 οι οπτικές ίνες άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές και η εξέλιξή τους συνεχίστηκε στην εταιρεία Duropi ανακοίνωσε την κατασκευή μιας ακρυλικής ίνας με πού μικρή διάμετρο. Η πατέντα αυτή αποτέλεσε το εφαλτήριο για την καταξίωση των οπτικών ινών σε πολλές εφαρμογές.

Σήμερα οι επιστήμονες έχουν καταφέρει να επιτύχουν την εξασθένηση 150 [dBkm] στα 850 [nm] (data transmissions). Το κόστος των οπτικών ινών αρχικά ήταν υψηλό. Η αλματώδης ανάπτυξή τους και η χρήση τους σε μία ευρεία γκάμα εφαρμογών συνέβαλε στη μείωση των τιμών και πρώτων υλών με αποτέλεσμα να αποκτήσουν ακόμα περισσότερα αναγνώριση.

2.2 Πλεονεκτήματα χρήσης

Στην απλούστερη μορφή τους οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα μέσο σύνδεσης μεταξύ δύο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που είναι απαραίτητα για τη σύνδεση μεταξύ δυο υπολογιστών, δύο τηλεφωνικών κέντρων, μεταξύ μιας κάμερας και μιας οθόνης ή

μιας μηχανής και του χειριστηρίου της σε βιομηχανικό περιβάλλον. Η προφανής ερώτηση για το κατά πόσο αξίζει αυτή η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε φωτεινό και πάλι σε ηλεκτρικό, αφού η μετάδοση του μπορεί να γίνει μέσω ενός ενσύρματου μέσου, έχει σαν απάντηση τα ακόλουθα βασικά πλεονεκτήματα των οπτικών ινών έναντι των άλλων μέσων μετάδοσης:

- Μεγάλο εύρος ζώνης
- Χαμηλή απόσβεση σήματος
- Ηλεκτρομαγνητική αναισθησία
- Ασφάλεια υποκλοπής
- Μικρό βάρος, μικρό μέγεθος
- Ηλεκτρική ασφάλεια
- «Διάχυση» τεχνολογίας
- Άφθονη πρώτη ύλη

Το εύρος ζώνης συχνοτήτων προσδιορίζει το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διέλθουν ανεμπόδιστα από το μέσο, ή με άλλα λόγια, τον πιο υψηλό αριθμό φωτεινών παλμών ανά μονάδα χρόνου που μπορούν να διακριθούν στο άκρο λήψης της οπτικής ίνας. Το εύρος ζώνης (bandwidth) εκφράζεται σε [Hz]. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bit rate data) είναι ο ρυθμός με τον οποίο εκπέμπονται οι πληροφορίες από τον πομπό και εκφράζεται σε bit per second [bps]. Εδώ πρέπει να διευκρινίσουμε

ότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων δεν έχει καμία απολύτως σχέση τόσο με την ταχύτητα μεταφοράς των πληροφοριών μέσα στην ίνα όσο και με το χρόνο που χρειάζονται αυτές για να διανύσουν από άκρη σε άκρη μια οπτική ίνα. Τέλος, ένα άλλο μέγεθος που θεωρούμε σκόπιμο να ορίσουμε τη δεδομένη χρονική στιγμή και πριν προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των παραπάνω πλεονεκτημάτων, είναι η χωρητικότητα μετάδοσης πληροφορίας (information-transmission capacity) ή μεταδοτικότητα ενός μέσου. Αυτή ορίζεται σαν ο μέγιστος αριθμός πληροφοριών που μεταφέρονται από ένα μέσο μετάδοσης στη μονάδα του χρόνου και εκφράζεται επίσης σε bps. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ρυθμός μετάδοσης και κατά συνέπεια η χωρητικότητα μετάδοσης εξαρτώνται άμεσα από το εύρος ζώνης του μέσου.

Οι οπτικές ίνες διαθέτουν ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Έτσι σε αυτές το διαθέσιμο εύρος ζώνης ξεπερνά το THz -την ίδια στιγμή που στα άλλα μέσα μετάδοσης φθάνει τα 400 [MHz]- και περιορίζεται μονάχα από τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Σήμερα υπάρχουν εγκαταστημένες οπτικές ίνες με ρυθμούς μετάδοσης που φθάνουν τα 10 [Gbps], αφού μέχρι εκεί βρίσκονται οι

δυνατότητες των οπτοηλεκτρονικών διατάξεων (laser, φωτοδίοδοι, κλπ.), ενώ ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης πλησιάζει το 1 [Tbps].

Η ελάχιστη εξασθένιση (απόσβεση) του οπτικού σήματος σε συγκεκριμένες συχνότητες μετάδοσης οπτικών σημάτων επιτρέπει ζεύξεις αρκετών χιλιομέτρων χωρίς την ανάγκη ενισχυτή ή αναμεταδότη. Είναι χαρακτηριστικό ότι η απόσβεση των οπτικών σημάτων μετριέται σε [decibel/Km] (τυπική τιμή τηλεπικοινωνιακής ίνας 0,18 [dB/Km]) ενώ των ενσύρματων μέσων σε [dB/100m] (συνήθης τιμή 12 [dB/100m]).

Οι πληροφορίες που μεταδίδονται με τη μορφή φωτός μέσα από τις οπτικές ίνες, δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις που προέρχονται από κεραυνούς, γειτονικά δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης κλπ. Παρουσιάζουν όπως λέμε, ανοσία και αναισθησία σε κάθε είδος ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής.

Υποκλοπή σήματος ή παράλληλη σύνδεση οπτικής ίνας σε ήδη εγκατεστημένο σύστημα είναι ιδιαίτερα δύσκολη και αν επιτευχθεί είναι ανιχνεύσιμη λόγω της μείωσης οπτικής ισχύος που θα φθάσει στο δέκτη.

Το βάρος και το μέγεθος των οπτικών ινών είναι ελάχιστο. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μια οπτική ίνα μήκους 1 [Km] έχει βάρος 0,7 [Kg].

Η έλλειψη μεταλλικών τμημάτων στις οπτικές ίνες μειώνει στο ελάχιστο τις απαιτήσεις γείωσης κατά τη χρήση τους και παρέχει ηλεκτρική ασφάλεια.

Μέχρι στιγμής δεν έχουν δημιουργηθεί τεχνολογικά μονοπώλια και υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής οπτικών ινών από πολλές πηγές («Διάχυση» τεχνολογίας). Στο μέλλον δεν προβλέπεται για την τεχνολογία των Fibers μονοπωλιακή εξέλιξη, εκτός και περάσουμε από την τεχνολογία των οπτικών ινών στην ολοκληρωμένη οπτική, αυτό που ονομάζεται Integrated Optics, το οποίο είναι το αντίστοιχο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων της μικροηλεκτρονικής, όπου τότε διαφαίνεται μια αντιστοιχία των μονοπωλίων που υπάρχουν σήμερα στη μικροηλεκτρονική.

Οι τυπικές οπτικές ίνες έχουν ως πρώτη ύλη το γυαλί. Δηλαδή κατασκευάζονται από υλικό ανεξάντλητο το οποίο βρίσκεται παντού, σε αντίθεση με τα ενσύρματα μέσα που υπόκεινται στις συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις του χαλκού. Άλλωστε ο χαλκός σε αντίθεση με το γυαλί είναι στρατηγικά ελεγχόμενη ύλη.

Όσον αναφορά τώρα τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών ειδικά στην εφαρμογή τους στο φωτισμό αναφέρουμε τα εξής:

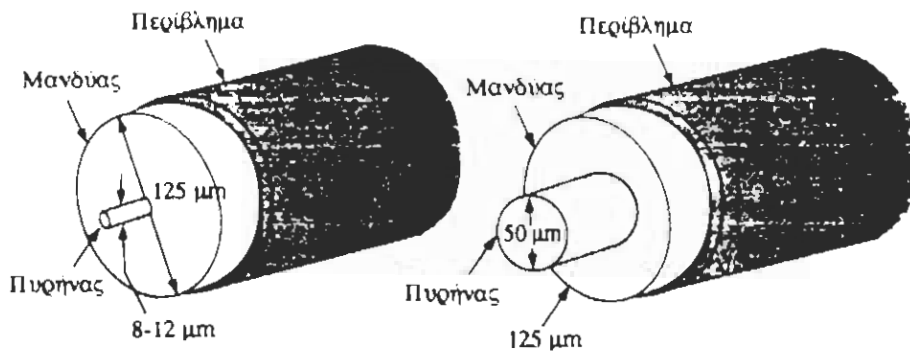
- 1) 50% περισσότερη ενεργητική απόδοση από τις λάμπες νέον.
- 2) Παρέχουν ασφάλεια διότι το μόνο ηλεκτροδοτούμενο σώμα είναι η γεννήτρια. Τα καλώδια είναι ασφαλή για χρήση ακόμα και μέσα στο νερό ή και στο ύπαιθρο χωρίς τον κίνδυνο

βραχυκυκλώματος ή ηλεκτροπληξίας. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιοχές που υφίστανται δονήσεις, υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς, ηλεκτρονικών παρεμβολών, διαβρώσεις, εκρηκτικές ύλες, χώρος μολύνσεις. Μπορούν να εστιαστούν επακριβώς και να φωτίσουν αντικείμενα από πολύ κοντά χωρίς τον κίνδυνο φθοράς ή ακόμα και ανάφλεξης καθιστώντας αυτές ιδανικές για φωτισμό έργων τέχνης και πινάκων ζωγραφικής.

- 3) Δεν απαιτούν συντήρηση (π.χ. αλλαγή λαμπτήρα).
- 4) Το φως των οπτικών ινών είναι φυσικό. Οι οπτικές ίνες δεν μεταφέρουν ηλεκτρισμό και σχεδόν καθόλου θερμότητα, γι' αυτό είναι ιδανικές για καταστήματα και προθήκες μουσείων όπου η θερμότητα και η υπεριώδης ακτινοβολία βλάπτουν τα ευπαθή εκθέματα. Υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς και κατ' επιλογή αλλαγή χρώματος φωτός όπως και η δημιουργία εντυπωσιακών οπτικών εφέ. Τα συστήματα αυτά είναι ιδανικά για φωτισμό κέντρων διασκέδασης, πισινών, σιντριβανιών, περιγραμμάτων, λογοτύπων, εταιριών, σήμανσης δρόμων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα φωτισμού κατά μήκος της ίνας (παράπλευρος φωτισμός) ή σημειακός φωτισμός από την άκρη της ίνας καταλήγοντας σε κατάλληλο σποτ.
- 5) Έχουν ελάχιστη κατανάλωση ρεύματος 130 [W] αρκούν για να φωτίσουν 10 σποτ ή 300 σημεία σε διάταξη έναστρου ουρανού.

Οι οπτικές ίνες δεν εκπέμπουν υπεριώδη (IR) και UV ακτινοβολίες. Σχεδόν όλα τα υλικά εκπέμπουν UV ακτινοβολία (χρώματα, ξύλο, υφάσματα) η οποία είναι επιβλαβής γι αυτά και για το περιβάλλον. Με την χρήση συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με τις UV και IR ακτινοβολίες.

2.3 Δομή οπτικών ινών



Σχήμα 22. Γεωμετρία τυπικών μονότροπων και πολύτροπων οπτικών ινών

Το σχήμα 22 δείχνει τη δομή της οπτικής ίνας, τόσο της μονότροπης όσο και της πολύτροπης. Υπάρχει ένας κεντρικός πυρήνας (core), (μέσα στον οποίο πρέπει να περιοριστεί το οπτικό πεδίο), ο οποίος περιβάλλεται από μανδύα (cladding) που με τη σειρά του περιβάλλεται από ένα προστατευτικό περίβλημα

(jacket), ενδεχομένως δε και από ένα ή περισσότερα στρώματα προστατευτικών θηκών, ή μονωτικού (buffer). Ο πυρήνας και ο μανδύας είναι κατασκευασμένοι από γυαλί, ενώ το περίβλημα και το μονωτικό είναι κατασκευασμένα από πλαστικό. Εάν το μονωτικό εξωτερικό στρώμα είναι χρώματος πορτοκαλί πρόκειται για πολύτροπη (multimode) ίνα, ενώ εάν είναι κίτρινο πρόκειται για μονότροπη (single-mode) ίνα. Αυτό που λέμε ένας τρόπος (mode) (πιο σωστά «ένας τρόπος διάδοσης») μπορεί να θεωρηθεί ως μια τοπολογία (pattern) στασίμων κυμάτων που την σχηματίζει η διαμόρφωση του πεδίου στην διατομή της ίνας και φυσικά τρέχει κατά τον άξονα της ίνας με την ταχύτητα του φωτός. Εάν υπάρχουν πολλές ημιπερίοδοι τέτοιων στασίμων κυμάτων κατά μήκος της διαμέτρου του πυρήνα μιας ίνας, η ίνα συμπεριφέρεται ως πολύτροπη εάν υπάρχει μόνο μία, συμπεριφέρεται ως μονότροπη.

Θα πρέπει κανείς να είναι προσεκτικός και να διακρίνει τους τρόπους της ίνας από τους τρόπους του laser.

Είναι πραγματικά εντελώς εκπληκτικό αν αναλογιστεί κανείς ότι, από φυσική άποψη, το μέσο αυτό της ίνας η οποία προκάλεσε μια τέτοια επανάσταση στις επικοινωνίες, είναι κάθε άλλο παρά θελκτικό. Ουσιαστικά η ίνα είναι φτιαγμένη από άμμο (διοξείδιο του πυριτίου, ή silica) και σε καθαρή κατάσταση είναι σχεδόν αόρατο γυαλί. (Βέβαια, είναι μια αρκετά «εξωτική» άμμος, αφού έχει καταβληθεί κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να μειωθούν σε

εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα μερικές «νοθεύσεις»). Όπως υποδεικνύουν οι αριθμοί στο σχήμα, μια μονότροπη ίνα έχει διάμετρο πυρήνα 8-10 [μm], τιμή που είναι αρκετές φορές μικρότερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας, περίπου 50 [μm]. Η τελευταία όμως αυτή τιμή είναι η τυπική διάμετρος για πολύτροπη ίνα.

Ο περιορισμός μέσα στον πυρήνα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που διαδίδεται κατά τον άξονα, (κυματοδότηση) επιτυγχάνεται κάνοντας το δείκτη διάθλασης του πυρήνα μόλις περί το ένα τοις εκατό μεγαλύτερο από αυτόν τον μανδύα, πράγμα που χρησιμεύει στο να επαναφέρει προς τον πυρήνα το φως που αλλιώς θα διέφευγε προς το μανδύα. Είναι φανερό ότι ευκολότερα μπορεί κανείς να κατασκευάσει ίνα μεγαλύτερης διαμέτρου πυρήνα από ό,τι ίνα μικρότερης διαμέτρου πυρήνα. Αλλά για τα μήκη κύματος που είναι τα πιο χρήσιμα, γιατί σ' αυτά η εξασθένηση είναι αρκετά χαμηλή (~1,3 ή ~1,5 [μm]), η αύξηση της διαμέτρου επιτρέπει την ταυτόχρονη ύπαρξη περισσότερων του ενός τρόπου διάδοσης. Επειδή οι διάφοροι αυτοί τρόποι έχουν ελαφρά διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης μεταξύ τους, όσο μεγαλύτερο μήκος έχει η ίνα τόσο και η χρονική διασπορά της άφιξής τους στο τέλος, θα μεγαλώσει τη χρονική παραμόρφωση που θα υποστεί η κυματομορφή του σήματος (λ.χ. την διαπλάτυνση ενός χρονικού παλμού). Σε πολλές εφαρμογές όπου οι αποστάσεις που καλύπτει

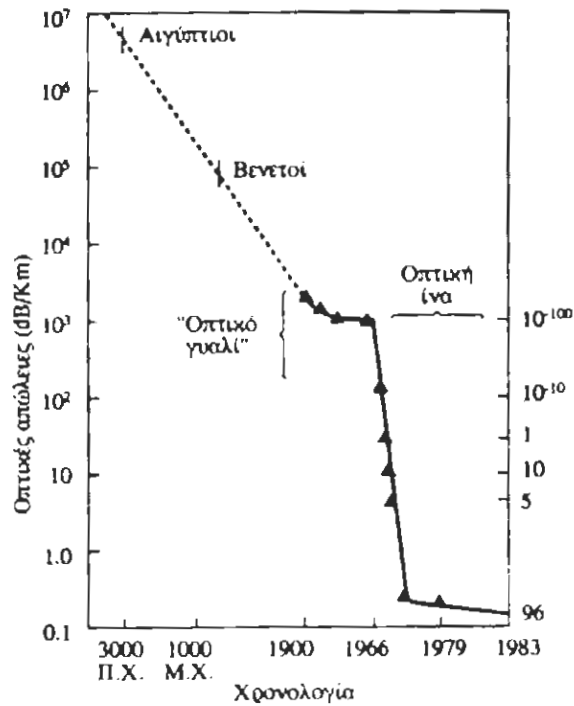
η ίνα και ο ρυθμός των bit (bitrate) είναι μέτρια, η παραμόρφωση αυτή μπορεί να μην δημιουργεί προβλήματα.

Για την πολύτροπη ίνα, λόγω της πολύ μεγαλύτερης διαμέτρου του πυρήνα της, είναι πολύ πιο εύκολο να την συγκολλήσουμε (splice), ή να συζεύξουμε με χαμηλές απώλειες διαδοχικά τμήματά της και να εκτελέσουμε άλλες μηχανικές διεργασίες. Οι τεχνικές βέβαια για την επιτυχία των διεργασιών αυτών, τόσο για τον ένα όσο και για τον άλλο τύπο ίνας, βελτιώνονται προοδευτικά, παραμένει όμως το γεγονός ότι η μονότροπη ίνα είναι σχετικά πιο δύσχρηστη στο χειρισμό της. Παρ' όλα αυτά, όπως θα δούμε, η ιδιότητα μικρής χρονικής διασποράς μέσα στην μονότροπη ίνα, την καθιστά επιβεβλημένη για δίκτυα τα οποία επεκτείνονται σε αποστάσεις μεγαλύτερες από ένα περίπου χιλιόμετρο και επιδιώκουν διακίνηση πληροφορίας με σχετικά αυξημένους ρυθμούς bit.

Τρεις είναι οι ιδιότητες των ινών που τους δίνουν την μοναδική τους θέση ως τεχνολογία επικοινωνιών: το μεγάλο εύρος ζώνης τους, η χαμηλή τους εξασθένηση, και το μικρό τους μέγεθος. Πιθανόν θα έπρεπε να προστεθεί μια τέταρτη: το κόστος. Καθώς οι όγκοι της παραγωγής αυξάνουν, το κόστος θα έπρεπε να συνεχίσει να πέφτει, εφ' όσον οι οπτικές ίνες είναι φτιαγμένες από ένα από τα πλέον άφθονα υλικά στη γη. Σε αντίθεση με το χαλκό, το πυρίτιο θα βρίσκεται σε άφθονο αποθεματικό μονίμως, και η

αναζήτηση πηγών γι' αυτήν την πρώτη ύλη θα είναι χαμηλού κόστους και αμελητέας επίπτωσης στο περιβάλλον.

Στο σχήμα 23 φαίνεται παραστατικά η πρόοδος που επιτελέστηκε κατά την διάρκεια της ιστορίας που γνωρίζουμε σχετικά με τη μείωση της εξασθένησης διαφόρων ειδών γυαλιού. Το γυαλί που κατασκευαζόταν κατά τον αρχαίο Αιγυπτιακό πολιτισμό ήταν αρκετά διαφανές στα ορατά μήκη κύματος ώστε η παρουσία ή η απουσία φωτός μπορούσε να γίνει αντιληπτή στην άλλη πλευρά (περί τα 20 [dB] εξασθένηση) αλλά μόνο εάν το γυαλί ήταν λεπτότερο από 1 [mm], ενώ σήμερα ο αριθμός αυτός είναι περί τα 100 χιλιόμετρα για ίνα πυριτίου που φωτίζεται σε $\lambda = 1,5[\mu\text{m}]$ δηλαδή κοντά στο υπέρυθρο.



Σχήμα 23

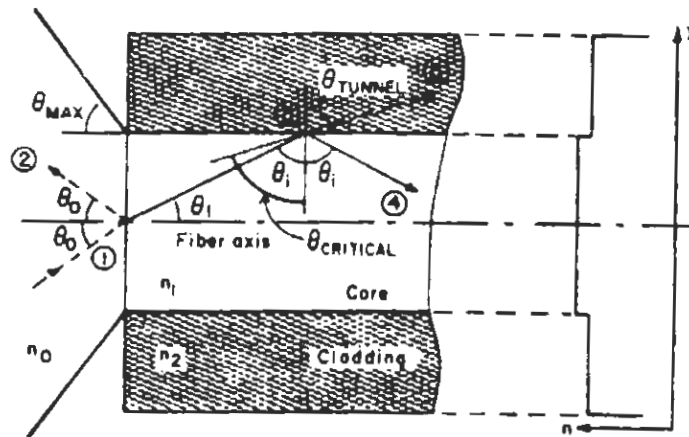
Το σχήμα 23 δείχνει λεπτομερέστερα, για τις διάφορες περιοχές του φάσματος, το ιστορικό των σχετικά πρόσφατων προσπαθειών να μειωθεί η εξασθένηση της ίνας πυριτίου από την αρχή της εποχής των οπτικών ινών. Παράλληλα, υπάρχει τρέχουσα εργαστηριακή έρευνα σε εξωτικά υλικά τα οποία θα μπορούσαν να παρουσιάσουν εξασθένηση μικρότερη από 0,01 [dB/Km]. Αν ποτέ καταφέρναμε να τα χρησιμοποιήσουμε στην πράξη θα ήταν κανείς ικανός να κοιτάζει σε ένα άκρο της ίνας στη μια μεριά του Ατλαντικού και να βλέπει να του αναβοσβήνει κάποιος ένα φακό στο άλλο άκρο της αντίπερα όχθης.

2.4 Θεωρία διάδοσης

Η ιδέα της διάδοσης του φωτός μέσα σε μία οπτική ίνα μπορεί να μελετηθεί από δύο διαφορετικές προοπτικές, συνεπείς με την αντίληψη ότι το φως έχει διπλή υπόσταση: το φως είναι ένα διακεκριμένο σωματίδιο καθώς και ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο επηρεάζεται από το μέσο διάδοσης. Αυτές οι δύο έννοιες της συμπεριφοράς του φωτός επιτρέπουν στον καθένα να εξετάσει δύο διαφορετικές προσεγγίσεις της διάδοσης του φωτός μέσα σε μια οπτική ίνα. Η πρώτη προσέγγιση -αυτή της ακτινικής θεωρίας- μπορεί να μας δώσει μια πρώτη αντίληψη για τη χρησιμοποίηση των οπτικών ινών, από την άποψη της συγκράτησης του φωτός και της παλμικής διάδοσής του. Αυτή η προοπτική βασίζεται πάνω στην ιδέα ότι ένα σωματίδιο φωτός έχει μια διακεκριμένη, ορισμένη τροχιά. Η δεύτερη άποψη -αυτή της κυματικής θεωρίας- είναι περισσότερο ρεαλιστική και χρησιμοποιεί την συμπεριφορά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος για να εξηγήσει τη συμπεριφορά του φωτός μέσα σε μια οπτική ίνα. Η κυματική θεωρία είναι χρήσιμη στον ορισμό φαινομένων όπως είναι η απορρόφηση και η διασπορά. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και οι δύο προσεγγίσεις και παραθέτονται αξιοσημείωτες διαφορές τους.

2.4.1 Ακτινική θεωρία

Εσωτερική ανάκλαση. Οι τυπικές οπτικές ίνες είναι συμπαγείς κύλινδροι. Μια απλοποιημένη διδιάστατη περιγραφή, που εφαρμόζεται και στους επίπεδους κυματοδηγούς, επαρκεί για να εξηγήσει την διάδοση του φωτός μέσα στις οπτικές ίνες. Το σχήμα 24 δείχνει πιθανές ακτινικές διαδρομές μέσα σε μια οπτική ίνα, στην οποία η περιοχή του πυρήνα έχει ένα δείκτη διάθλασης n_1 , και η περιοχή του περιβλήματος ένα δείκτη διάθλασης n_2 μικρότερο από τον n_1 . Ο αέρας έχει ένα δείκτη διάθλασης n_0 μικρότερο από αυτόν του πυρήνα και του περιβλήματος.



Σχήμα 24. Ακτινικές διαδρομές μέσα σε μια οπτική ίνα

Η εισερχόμενη ακτίνα κτυπά στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ αέρα και πυρήνα με μια γωνία θ_0 ως προς τον άξονα της ίνας. Η ακτίνα αυτή ανακλάται επάνω στη διαχωριστική επιφάνεια, αλλά

συγχρόνως διαθλάται και μεταφέρεται μέσα στον πυρήνα όπου συνεχίζει με μια γωνία θ_1 , ως προς την κεντρική γραμμή της ίνας. Η μεταφερόμενη ακτίνα κτυπά στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περιβλήματος στο σημείο 3 και είναι ολικά εσωτερικά ανακλώμενη στο σημείο 4, με την προϋπόθεση βέβαια ότι η γωνία θ_1 είναι μεγαλύτερη από την οριακή γωνία $\theta_{critical}$. Οι παχιές γραμμές στα αριστερά του σχήματος 24 αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη γωνία θ_{max} για την οποία οι εισερχόμενες ακτίνες υφίστανται ολική εσωτερική ανάκλαση στα τοιχώματα της ίνας. Αν μια εισερχόμενη ακτίνα κτυπήσει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος με μια γωνία μικρότερη από την $\theta_{critical}$ τότε θα είναι κατά ένα μέρος μονάχα ανακλώμενη στην περιοχή του πυρήνα δίνοντας ταυτόχρονα μια διαθλώμενη ακτίνα μέσα στο περίβλημα. Η διαθλώμενη ακτίνα αρχικά διαδίδεται με μια γωνία θ_{tunnel} , μέσα στο περίβλημα. Αυτή η ακτίνα είναι χαλαρά περιορισμένη μέσα στη δομή της ίνας και τελικά διαφεύγει από την ίνα. Οι γωνίες των ακτίνων στο σχήμα 24 συνδέονται με τους νόμους της ανάκλασης και της διάθλασης. Εφαρμόζοντας δύο φορές το νόμο της διάθλασης έχουμε:

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_{tunnel}$$

Για την οριακή περίπτωση ολικής εσωτερικής ανάκλασης θα είναι $\theta_{\text{tunnel}} = \pi/2$ και $\theta_0 = \theta_{\text{max}}$. Δεδομένου επίσης ότι για τον αέρα είναι $n_0 = 1$, οι προηγούμενες σχέσεις τώρα γράφονται:

$$\sin\theta_{\text{max}} = n_1 \sin\theta_1$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2$$

Επειδή $\theta_1 + \theta_i = 90^\circ$ είναι $\sin\theta_1 = \cos\theta_i$, οπότε:

$$\sin\theta_{\text{max}} = n_1 \sin\theta_1$$

$$\cos\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{ή}$$

$$\sin\theta_{\text{max}} = n_1 \sin\theta_1 \quad \text{ή}$$

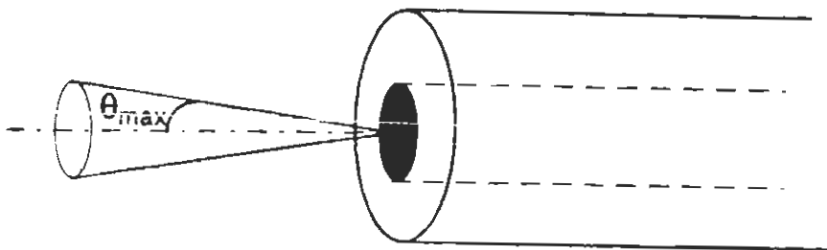
$$\sin\theta_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad \text{ή}$$

$$\sin \theta_{max} = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad \text{ή}$$

$$\sin \theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{ή}$$

$$\sin \theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \text{N.A.} \quad (1)$$

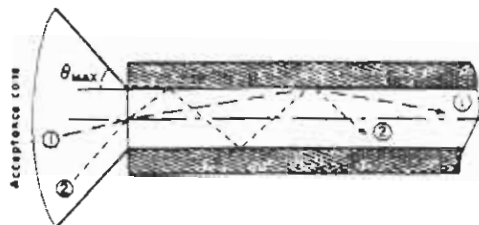
Το αριθμητικό άνοιγμα (numerical aperture) μιας οπτικής ίνας ορίζεται ως το ημίτονο της μέγιστης γωνίας εισόδου στην ίνα, μιας ακτίνας φωτός ώστε αυτή να διαδοθεί μέσα στην οπτική ίνα με διαδοχικές ολικές ανακλάσεις. Αριθμητικά δίνεται από τη σχέση (1). Το αριθμητικό άνοιγμα (N.A.) καθορίζει ένα κώνο αποδοχής (acceptance cone) που φαίνεται στο σχήμα 25 μέσα στον οποίο περιέχονται όλες οι περιορισμένες στον πυρήνα ακτίνες φωτός.



Σχήμα 25. Αποδοχή κώνου

Το N.A. είναι ένα κατάλληλο μέτρο της ικανότητας μιας οπτικής ίνας να συλλαμβάνει το φως από μια πηγή της οποίας οι ακτίνες εκπέμπονται σε μια μεγάλη γωνία, όπως είναι μια δίοδος εκπομπής φωτός (LED). Γενικά ένα υψηλότερο N.A. υποδηλώνει μια υψηλότερης ικανότητας σύζευξη πηγής-ίνας. Για μια διαφορά της τάξεως του 1% στο δείκτη διάθλασης μεταξύ πυρήνα και περιβλήματος, επιτυγχάνεται μια γωνία αποδοχής $\theta_{\max}=12^\circ$. Το αριθμητικό άνοιγμα μιας τέτοιας ίνας είναι 0,2. Το ανώτερο όριο του N.A. για εμπορικά διαθέσιμες γυάλινες οπτικές ίνες είναι 0,29. Οι πλαστικές ίνες μπορούν να έχουν ένα N.A. μεγαλύτερο από 0,5.

Μήκος οπτικού δρόμου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 26 ένα σοβαρό πρόβλημα μέσα σε μια οπτική ίνα μπορεί να προκύψει από την πολλαπλότητα των γωνιών αποδοχής των ακτίνων. Ακτίνες που εισέρχονται με μικρές γωνίες ως προς τον άξονα της ίνας, παίρνουν περισσότερο ευθείς δρόμους από ότι αυτές μεγαλύτερων γωνιών, ενώ ο πιο σύντομος δρόμος είναι η κεντρική γραμμή.



Σχήμα 26. Διασπορά τρόπων

Αυτή η διαφορά στο μήκος του δρόμου οδηγεί σε διαφορετικούς χρόνους αφίξεως για διαφορετικές ακτίνες στο τέλος της ίνας. Στο σχήμα 26 η ακτίνα 1 φθάνει πριν από την ακτίνα 2. Η διαφορά στους χρόνους αφίξεως για διάφορες ακτίνες, έχει σαν συνέπεια ο παλμός του φωτός να διαπλάτνεται σε χρονική διάρκεια.

Μια οπτική πηγή εκπέμπει ακτίνες σε διάφορες γωνίες, οι οποίες θα γίνουν αποδεκτές μέσα σε μια κυκλικής διατομής ίνα μονάχα εάν είναι ακριβώς ορισμένες μέσα στο αριθμητικό άνοιγμα της ίνας. Αφού το φως εισέρχεται με διάφορες γωνίες ακτίνων, διαφορετικές ακτίνες θα έχουν διαφορετικά μήκη δρόμων μέσα στην οπτική ίνα. Αν υποθέσουμε ότι όλες οι ακτίνες διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα στο παράδειγμα του σχήματος 26, τότε μερικές ακτίνες, αυτές με το πιο σύντομο μήκος δρόμου ή όπως λέμε αυτές που είναι κάθετα αποδεκτές στην είσοδο της οπτικής ίνας, θα φθάσουν στο άλλο άκρο της πρώτες. Αυτές που εισάγονται με ελαφρώς μεγαλύτερες γωνίες ως προς την άξονα της ίνας θα φθάσουν μεταγενέστερα κλπ., μέχρις ότου αυτές που είναι αποδεκτές με μια γωνία ελαφρώς κάτω από την θ_{\max} οι οποίες θα βγουν από το άκρο της ίνας τελευταίες.

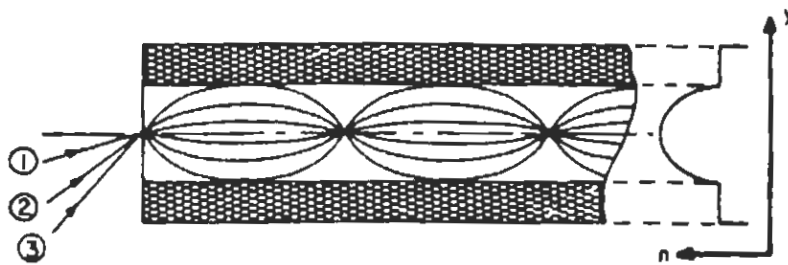
Έτσι η στιγμιαία εισαγωγή ενός φωτεινού παλμού στο ένα άκρο της ίνας δίνει μια πολλαπλότητα χρόνων αφίξεως των ακτίνων στο άκρο εξόδου, οδηγώντας σε παλμική διαπλάτυνση, η οποία αυξάνει καθώς αυξάνει το μήκος της ίνας.

Εάν το σήμα εισόδου υποβιβάζεται αρκετά μακριά, μπορεί να πέσει ακόμα και κάτω από τα όρια ανίχνευσης του δέκτη. Επίσης εάν τα οπτικά σήματα διασχίζουν ένα ικανοποιητικό μήκος δρόμου, οι διαδοχικοί παλμοί αλληλοεπικαλύπτονται κατά την άφιξή τους στο άκρο λήψης της ίνας και δεν είναι δυνατό να διακριθούν μεταξύ τους, με συνέπεια τη δημιουργία σφαλμάτων στη μετάδοση πληροφοριών. Αυτό το φαινόμενο της παλμικής διαπλάτυνσης λόγω διαφορετικού μήκους οπτικών δρόμων, όταν αναφερόμαστε στην ηλεκτρομαγνητική-κυματική φύση του φωτός καλείται διασπορά τρόπων (modal dispersion) και μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας το δείκτη διάθλασης του πυρήνα.

Η κατατομή (profile) του δείκτη διάθλασης του πυρήνα σχηματίζεται έτσι ώστε αυτός να έχει μέγιστη τιμή στο κέντρο του πυρήνα και να μειώνεται παραβολικά σε συνάρτηση της ακτίνας του, καθώς απομακρυνόμαστε από το κέντρο. Αυτή η μεταβολή ή τροποποίηση του δείκτη διάθλασης του πυρήνα επιτυγχάνεται με νόθευση του (doping)

Μέσα λοιπόν σε ένα πυρήνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης η ακτίνα αυξάνει σε ταχύτητα καθώς κινείται μακρύτερα από το κέντρο της ίνας, εξαιτίας του προοδευτικά χαμηλότερου δείκτη διάθλασης. Έτσι μικρής γωνίας ακτίνες όπως η 1 στο σχήμα 27 έχουν μικρότερο γεωμετρικό μήκος δρόμου αλλά κινούνται πιο αργά διαμέσου του υψηλότερου δείκτη διάθλασης, σε σχέση με τις ακτίνες που διαδίδονται με μεγάλη γωνία ως προς τον άξονα της

ίνας, όπως η 3. Η παραβολική κατατομή του δείκτη διάθλασης τείνει να αντισταθμίσει τα διάφορα μήκη οπτικών δρόμων για διάφορες ακτίνες, επιβάλλοντας στις ακτίνες να διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Άρα οι ακτίνες ανεξάρτητα από το μήκος του δρόμου διαδίδονται περίπου με την ίδια καθαρή ταχύτητα.



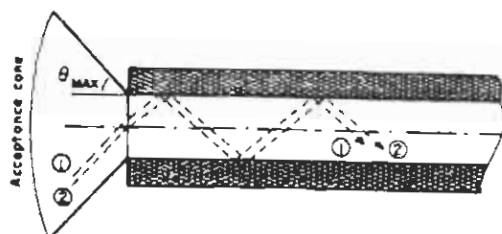
Σχήμα 27. Διάδοση σε ίνα βαθμιαίας κατανομής

Αυτή η ισορροπία ελαττώνει την παλμική διεύρυνση που οφείλεται στη διασπορά τρόπων (κάθε τροχιά θεωρείται σαν ένας τρόπος διάδοσης), δίνοντας έτσι οπτική ίνα μεγαλύτερης χωρητικότητας μεταφοράς πληροφορίας.

Οι πηγές φωτός δεν παράγουν μόνο ακτίνες που είναι εκτός μιας συγκεκριμένης περιοχής γωνιών αλλά και ακτίνες που είναι εκτός μιας συγκεκριμένης περιοχής μηκών κύματος. Καθώς ο δείκτης διάθλασης μιας γυάλινης ίνας μεταβάλλεται με το μήκος κύματος, ο φωτεινός παλμός διαπλάτυνεται δηλ. διαστέλλεται ως προς το χρόνο, γιατί διαφορετικά μήκη κύματος που συνθέτουν τον παλμό

διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες ακόμα και αν ακολουθούν την ίδια οπτική διαδρομή. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως χρωματική διασπορά (chromatic dispersion) ή διασπορά υλικού (material dispersion) και φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ίνες που χρησιμοποιούνται στην οπτική μετάδοση είναι τρισδιάστατες με αποτέλεσμα να επέρχεται ανάκλαση σε μια καμπύλη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-πυρήνα και όχι σε επίπεδη. Η πολυπλοκότητα που προκύπτει στην ανάκλαση, εξαιτίας αυτής της καμπύλης επιφάνειας, προκαλεί την απώλεια μερικών ακτίνων που σύμφωνα με τα προηγούμενα θα αναμενόταν να είναι ολικά εσωτερικά ανακλώμενες ή σφιχτά περιορισμένες μέσα στον πυρήνα της ίνας.

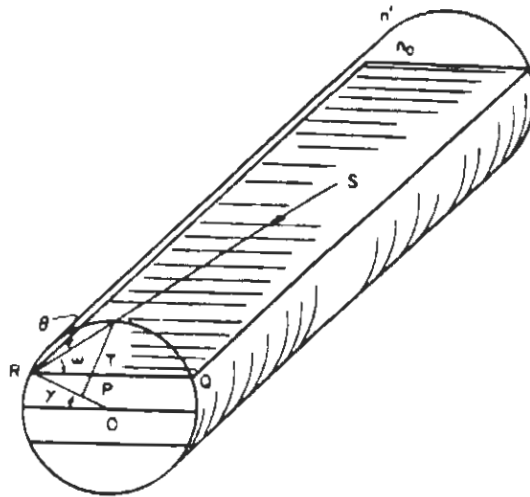


Σχήμα 28. Χρωματική διασπορά

Στις τρεις διαστάσεις το φως δεν εισάγεται μόνο με μια γωνία θ αλλά επίσης και με μια γωνία φ , προκαλώντας τη διάδοση ελικοειδών ή λοξών ακτίνων που οδεύουν εκτός του κεντρικού

άξονα της ίνας. Οι διαφορές μήκους δρόμου των λοξών ακτίνων μπορούν να αντισταθμιστούν από την διαβάθμιση της κατατομής του δείκτη διάθλασης του πυρήνα.

Από απλές γεωμετρικές μελέτες προκύπτει ότι αυτή η λοξή ή γενικά ακτινική διάδοση, είναι όμοια με την ακτινική διάδοση στη δισδιάστατη κατάσταση. Από την εργασία του Karary προκύπτει ότι η μετάβαση από την διδιάστατη στην τρισδιάστατη κατάσταση κάνει πάλι χρήση της διακεκριμένης σωματιακής αντίληψης του φωτός.



Σχήμα 29. Λοξή διάδοση σε οπτική ίνα

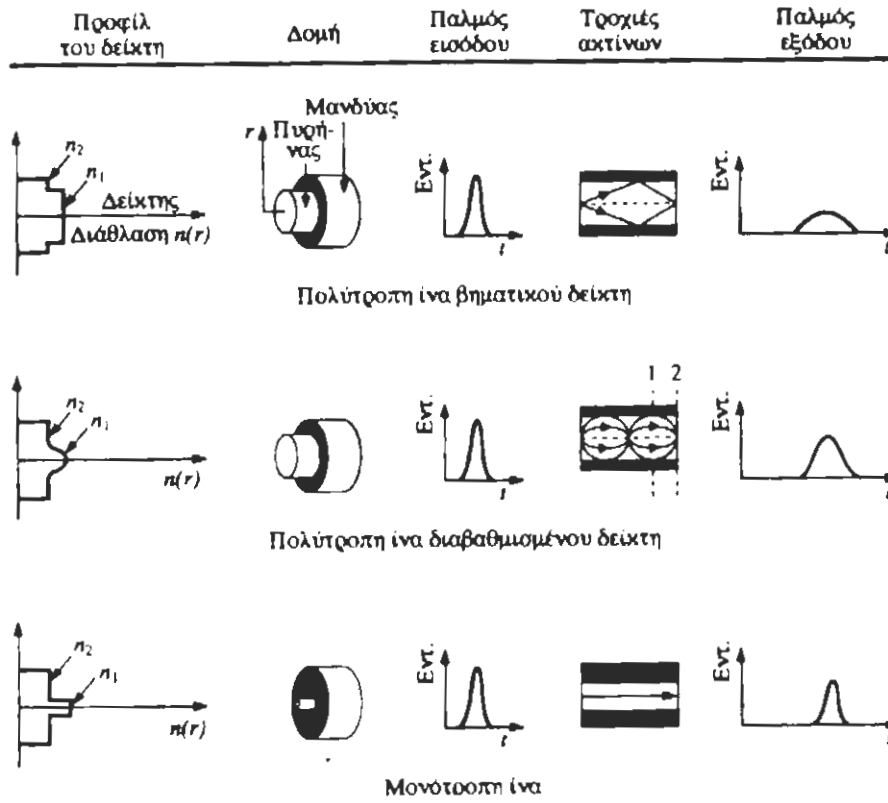
Στο σχήμα 29 φαίνεται η τροχιά μιας λοξής ακτίνας SR, που εισέρχεται από τα δεξιά μέσα στην οπτική ίνα. Η ακτίνα εισέρχεται

με κάποια λοξή γωνία και τέμνει το τοίχωμα του κυλίνδρου στο R. Για μια τέτοια ακτίνα SR, που τέμνει το τοίχωμα του κυλίνδρου σε αυτό το σημείο, ορίζεται ένα επίπεδο που περιλαμβάνει την ακτίνα και μια γραμμή παράλληλη στον άξονα του κυλίνδρου. Η RO ορίζει την κάθετη στην επιφάνεια σε αυτό το σημείο της διατομής. Η γωνία ω που σχηματίζεται από τις SR και RO καθορίζει την «παγίδευση» της ακτίνας μέσα στον κύλινδρο. Δεδομένου ότι η RT είναι η προβολή της μονάδας του μήκους της ακτίνας επάνω στην κάθετη και η $RP=RT\cos\gamma$ είναι η προβολή της RT πάνω στην κάθετη, έχουμε:

$$\cos\omega = \sin\theta\cos\gamma \quad (2)$$

Οι τιμές των γ και θ είναι μοναδικές για κάθε ακτίνα σε κάθε σημείο μέσα στον κύλινδρο. Τότε το αριθμητικό άνοιγμα για κάθε οπτική ίνα γίνεται:

$$N.A. = n\sin\theta\cos\gamma \leq \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$



Σχήμα 30. Ταξινόμηση των ινών με βάση το προφίλ του δείκτη διάθλασης συναρτήσει της ακτίνας. Υποδεικνύονται οι επιπτώσεις στη μορφή των παλμών

2.5 Οπτικές απώλειες

Σε όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, έχει γίνει αναφορά για την απώλεια ισχύος τόσο από εσωτερικά αίτια όπως το επίπεδο νοθείας, όσο και από εξωτερικά όπως η κάμψη της ίνας. Η απώλεια ευρύτερα μπορεί να αναλυθεί στα παρακάτω στοιχεία:

$$A_{\lambda} + R_{\lambda} + T_{\lambda} = I$$

όπου A_{λ} , R_{λ} και T_{λ} είναι τα κλάσματα της απορροφούμενης, ανακλώμενης και μεταδιδόμενης ισχύος αντίστοιχα. Το μεταδιδόμενο στοιχείο της προσπίπτουσας φωτεινής ισχύος μπορεί να χαρακτηριστεί περαιτέρω σαν συνάρτηση του μήκους και του συντελεστή απορρόφησης του υλικού:

$$T = T_0 e^{-\alpha x}$$

όπου T = η μεταδιδόμενη ισχύς σε μια ίνα μήκους x .

T_0 = η αρχική συζευγμένη οπτική ισχύς.

α = ο συντελεστής απορρόφησης του υλικού.

x = το μήκος ή η απόσταση που διασχίζεται μέσα στο υλικό

Αυτή η σχέση είναι γνωστή σαν ο νόμος του Lambert.

Η απώλεια της ισχύος του φωτός όταν αυτό διαδίδεται μέσα σε μια οπτική ίνα, λόγω απορρόφησης, σκέδασης, ανάκλασης Fresnel κλπ., αναφέρεται σαν απόσβεση ή εξασθένιση της ίνας και εξαρτάται από το μήκος κύματος λειτουργίας. Η απόσβεση στις οπτικές ίνες εκφράζεται σε [dB/Km].

Πράγματι είναι:

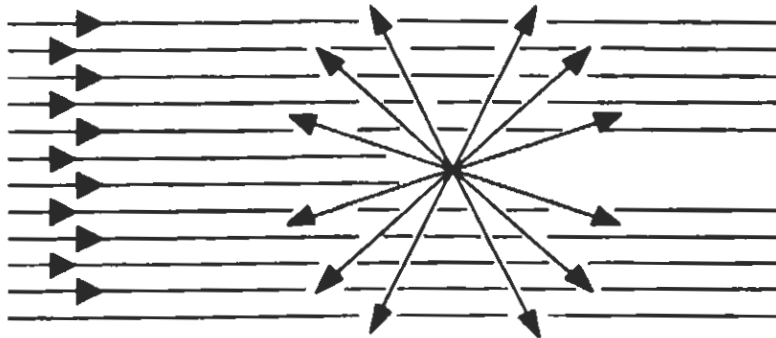
$$\text{Απόσβεση (Attenuation)} = - \left(\frac{10}{L} \right) \log_{10} \left(\frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εισόδου}} \right)$$

όπου εάν το L μετρείται σε [Km] τότε η απώλεια ισχύος ορίζεται σε μονάδες decibels ανά χιλιόμετρο [dB/Km]. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι εάν η ισχύς εξόδου είναι το 90% της ισχύος εισόδου, το σήμα έχει απόσβεση 0,5 [dB/Km] και εάν η ισχύς εξόδου είναι 10% της ισχύος εισόδου, τότε η απώλεια είναι 10 [dB/Km].

2.5.1 Σκέδαση

Η σκέδαση (scattering) είναι ένας μηχανισμός απώλειας που επιδρά σημαντικά στην εξασθένιση του οπτικού σήματος. Όταν το φως διαδίδεται μέσα σε ένα υλικό, μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες π.χ. ατέλειες στη δομή του υλικού, ανομοιογένειες κλπ. να γίνει ορατό και σε άλλες κατευθύνσεις εκτός από τη διεύθυνση

διαδόσεως. Τότε λέμε ότι η φωτεινή ακτινοβολία σκεδάζεται, δηλ. διαχέεται προς κάθε κατεύθυνση. Η σκέδαση του φωτός, η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων.



Σχήμα 31. Σκέδαση του φωτός

Οι κυριότεροι παράγοντες που συντελούν στη σκέδαση του φωτός είναι οι εξής:

Σκέδαση Rayleigh. Γενικά σαν απώλεια σκέδασης ορίζεται η απώλεια που σχετίζεται με την αλληλοεπίδραση του φωτός και των διακυμάνσεων της πυκνότητας μέσα στην οπτική ίνα. Εάν το μέγεθος της ατέλειας είναι μικρότερο από το $1/10$ του μήκους κύματος του φωτός το φαινόμενο καλείται σκέδαση Rayleigh.

Σκέδαση Mie. Όταν το μέγεθος των ατελειών είναι μεγαλύτερο από το $1/10$ του μήκους κύματος (αλλά στην τάξη μεγέθους του λ) ο μηχανισμός σκέδασης αναφέρεται ως σκέδαση Mie.

Σκεδάσεις Raman, Brillouin. Η προς τα εμπρός σκέδαση Raman και η προς τα πίσω σκέδαση Brillouin, είναι δύο πρόσθετα φαινόμενα σκεδάσεως του φωτός που είναι δυνατό να εμφανιστούν στα οπτικά υλικά.

Σκέδαση κυματοδηγού. Οι μεταβολές στις γεωμετρικές διαστάσεις του πυρήνα μιας οπτικής ίνας, π.χ. μεταβολές στη διάμετρο, είναι ένα παράθυρο αίτιο σκεδάσεως. Για το λόγο αυτό απαιτείται προσεκτικός έλεγχος των διαστάσεων κατά την κατασκευή της ίνας.

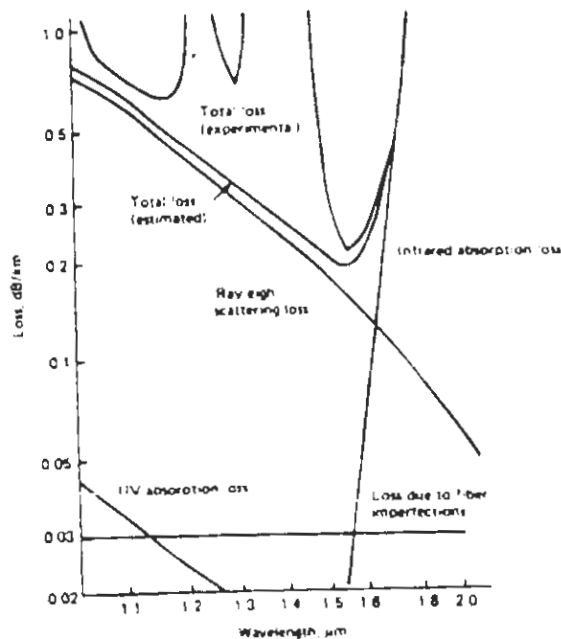
2.5.2 Απορρόφηση

Η απορρόφηση (absorption) είναι ένας δεύτερος σημαντικός μηχανισμός απώλειας μέσα στις οπτικές ίνες. Η απορρόφηση μπορεί να είναι εσωτερική στο υλικό κατασκευής ή μπορεί να επάγεται από την παρουσία εξωτερικών ακαθαρσιών που ενσωματώνονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Για γυάλινες οπτικές ίνες πυριτικού άλατος οι μεγαλύτερες απορροφήσεις προσδιορίζονται κοντά στη ζώνη δομής του γυαλιού. Στο καθαρό διοξείδιο του πυριτίου η απορρόφηση λαμβάνει χώρα όταν τα ηλεκτρόνια σθένους διεγείρονται και μεταβαίνουν από τη ζώνη

σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτή η υψηλής ενεργητικότητας μετάπτωση προέρχεται από το προσπίπτον φως σε μικρά μήκη κύματος δηλ. μέσα στην υπεριώδη περιοχή.

Εσωτερική απορρόφηση. Η χαμηλή εσωτερική υλική απορρόφηση του συστήματος γυαλιού πυριτικού άλατος, είναι ο βασικός λόγος για τη χρησιμοποίησή του στην εμπορική κατασκευή των χαμηλής απώλειας γυάλινων οπτικών ινών.

Το σχήμα 32 δείχνει τις αποσβέσεις στις οπτικές ίνες οι οποίες προέρχονται από τους μηχανισμούς σκέδασης και απορρόφησης που μόλις αναφέρθηκαν.



Σχήμα 32. Απώλειες σε οπτικές ίνες

Απορρόφηση πρόσμιξης. Όπως οι απορροφήσεις της δομής και των δεσμών που συνδέονται με τα υλικά κατασκευής μπορούν να μεταβάλουν τη φασματική εξασθένιση μιας οπτικής ίνας, το ίδιο μπορούν να κάνουν και οι διάφορες προσμίξεις.

Ίχνη μεταλλικών προσμίξεων που εισάγονται μέσα στην οπτική ίνα σε οποιοδήποτε στάδιο της κατασκευής, μεταβάλλουν τη ζώνη δομής του γυαλιού και έτσι αλλάζουν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης. Στα μέταλλα μετάπτωσης η απορρόφηση προέρχεται από την προώθηση των 3d ηλεκτρονίων στις μερικά συμπληρωμένες εσωτερικές στοιβάδες ηλεκτρονίων.

Συνεπώς αυτή η απορρόφηση είναι μια ηλεκτρονική και όχι μια παλμική απορρόφηση. Η ακριβής μορφή της απορρόφησης καθορίζεται από την τοπική διάσπαση ή ένωση με δεσμούς των συγκεκριμένων ειδών πρόσμιξης.

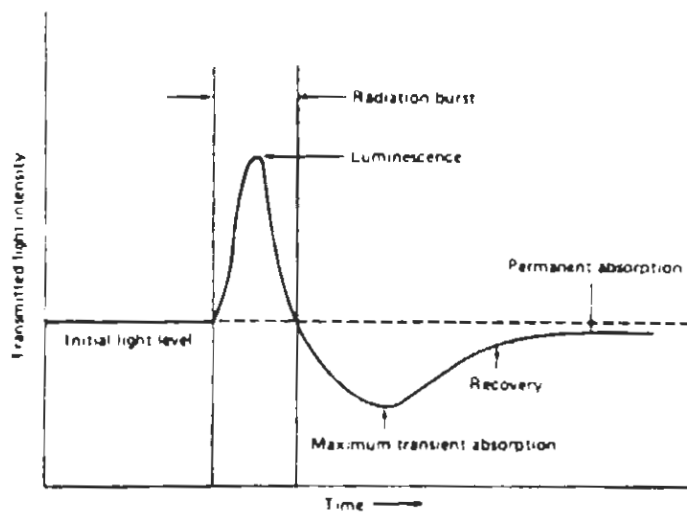
Επαγωγική απορρόφηση. Η απορρόφηση στις γυάλινες οπτικές ίνες μερικές φορές είναι επαγόμενη από το περιβάλλον. Οι δύο κύριες περιβαλλοντικά επαγωγικές ατέλειες του σύγχρονου ενδιαφέροντος είναι αυτές που προκαλούνται από τη μεταβολή της δομής του δεσμού κατά τη διάρκεια της κατασκευής (με τρόπους διαφορετικούς από αυτούς των ακαθαρσιών) και αυτές που προκαλούνται από την ιονίζουσα ακτινοβολία. Αρχικά θα αναφερθούμε στο πρώτο είδος ατέλειας που ονομάζεται

επαγωγική ατέλεια έλξης, δηλ. στην ατέλεια που επάγεται από το «τράβηγμα» της έλξης της ίνας.

Οι περισσότερες γυάλινες οπτικές ίνες παράγονται με τη θέρμανση ενός γυάλινου προπλάσματος σε θερμοκρασίες στην περιοχή των 2000 [°C], ενώ ταυτόχρονα η άκρη του έλκεται με συνθήκες ελεγχόμενης τάσης και διαμέτρου, ώστε να σχηματιστεί η λεπτή γυάλινη ίνα. Δηλαδή το λιωμένο γυαλί υποβάλλεται σε μια τάση εφελκυσμού. Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή διάμετρος, η ίνα ψύχεται γρήγορα έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί μια επικάλυψη, η οποία θα διευκολύνει στη μεταχείριση της οπτικής ίνας χωρίς θραύση. Σαν ατέλεια έλξης χαρακτηρίζεται ένας σπασμένος δεσμός πυριτίου-οξυγόνου που δημιουργείται στην υψηλή θερμοκρασία και παγώνει μέσα στην ίνα καθώς αυτή ψύχεται αμέσως μετά την τετηγμένη κατάσταση.

Αν και έχουν διεξαχθεί εκτεταμένες δοκιμές, ωστόσο δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο πρότυπο ατέλειας που να εξηγεί την απόκριση των οπτικών ινών στην ακτινοβολία. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην ποικιλία των χαρακτηριστικών που δοκιμάστηκαν: μέγιστη απώλεια, ρυθμός επαναφοράς μετά την αρχική έκθεση και απώλεια σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας. Έχει αποδειχθεί ότι οι μεταβλητές ποσότητες στη σύνθεση της οπτικής ίνας, το μήκος κύματος δοκιμής και ο τύπος της ακτινοβολίας παίζουν σημαντικό ρόλο.

Γενικά, η έκθεση ενός γυάλινου σώματος σε ακτινοβολία που εκπέμπεται από υψηλής ενέργειας σωματίδια έχει δύο επιδράσεις: 1) τον ιονισμό ορισμένων δομών μέσα στο σώμα από την ηλεκτρονική διέγερση και 2) την άμεση μετατόπιση της ατομικής δομής, λόγω της ελαστικής σκέδασής της.



Σχήμα 33. Η απώλεια που επάγεται από την ακτινοβολία στις οποίες ίνες σαν συνάρτηση του χρόνου

2.5.3 Ανάκλαση Frensel



Σχήμα 34. Ανάκλαση Frensel

Το φως ακόμα και στην περίπτωση που πέφτει κάθετα επάνω σε μια επιφάνεια δεν την διαπερνά πλήρως και ένα μικρό μέρος του υφίσταται ανάκλαση (σχήμα 34). Το ανακλώμενο αυτό φως καλείται ανάκλαση Frensel και εκφράζει την απώλεια στη μετάδοση, η οποία πλησιάζει το 4% σε κάθε μεταβίβαση.

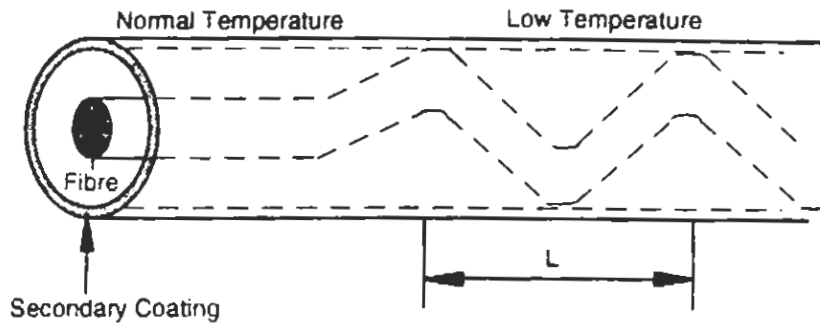
2.6 Απώλεια κάμψης

Απώλεια φωτός από μια οπτική ίνα μπορεί επίσης να προκληθεί από την κάμψη της ίνας. Αυτός ο μηχανισμός απώλειας είναι πολύ σημαντικός αφού η ύπαρξή του καθορίζεται από το χρήστη της ίνας. Μια μη σωστή καλωδίωση ίσως παράγει μικρές συστηματικές διαταραχές στην ίνα, προκαλώντας έτσι μια αύξηση

της αρχικής απώλειας. Οι απώλειες που προκαλούνται από διαταραχές μικρού πλάτους [nm] και υψηλής συχνότητας χώρου [mm], καλούνται απώλειες μικροκάμψεων (microbending losses). Ακόμα όμως και αν καλωδιωθεί σωστά μια οπτική ίνα, μπορεί να εγκατασταθεί με περιορισμένη διάμετρο κάμψης (π.χ. με ακτίνα σε [cm]) που θα επιφέρει αύξηση της απόσβεσης. Αυτή η απώλεια είναι γνωστή σαν απώλεια κύρτωσης (bowing loss) ή απλά σαν απώλεια κάμψης (macro-bend loss).

2.6.1 Απώλεια μικροκάμψης

Οι απώλειες μικροκάμψεων σχετίζονται με μικρές διαταραχές της ίνας που προκαλούνται από παράγοντες όπως είναι η κακή εφαρμογή της επικάλυψης της ίνας ή οι τάσεις που αναπτύσσονται μέσα στα καλώδια και οι θερμοκρασιακές μεταβολές, κυρίως όταν τα υλικά της οπτικής ίνας και της επικάλυψης έχουν διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής (σχήμα 35). Αυτές οι μικροκάμψεις είναι ιδιαίτερα δυσμενείς όταν το γεωμετρικό μήκος κύματος L αυτών είναι μικρότερο από 1 [mm].



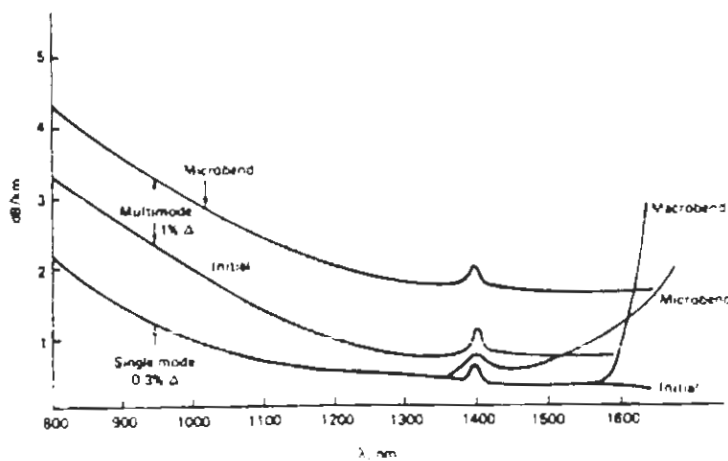
Σχήμα 35

Οι διαταραχές προκαλούν τη σύζευξη των διαδιδόμενων τρόπων στην οπτική ίνα με το να αλλάζουν το μήκος του οπτικού δρόμου. Αυτή η αποσταθεροποίηση της κατανομής των τρόπων συμβάλλει ώστε οι χαμηλότερης τάξης διαδιδόμενοι τρόποι να συζεύκονται με τους υψηλότερης τάξης τρόπους, οι οποίοι είναι από τη φύση τους χαλαρά περιορισμένοι στην ίνα.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η αύξηση του δείκτη διάθλασης του πυρήνα μειώνει την ευαισθησία της ίνας στην απώλεια κάμψης. Αυξάνοντας τη διάμετρο της οπτικής ίνας επίσης μειώνεται η ευαισθησία στην απώλεια κάμψης ενώ αυξάνοντας τη διάμετρο του πυρήνα αυτή η ευαισθησία αυξάνει, αφού η ίνα θα έχει ένα μεγαλύτερο όγκο τρόπων και κατά συνέπεια περισσότερους χαλαρά περιορισμένους τρόπους. Η φυσική αιτία για την απώλεια μέσα στην ίνα, είναι ότι μια κάμψη θα αλλάξει το μήκος του οπτικού δρόμου της ίνας. Το φως που διαδίδεται εσωτερικά του

καμπτόμενου πυρήνα θα διαγράψει μια μικρότερη απόσταση από αυτό που διαδίδεται εξωτερικά του καμπτόμενου πυρήνα. Για να διατηρηθεί συνοχή, πρέπει να αυξηθεί η τροπική φασική ταχύτητα. Αλλά όταν μια ίνα καμφθεί κάτω από μία οριακή τιμή της ακτίνας, αυτή η τροπική φασική ταχύτητα διάδοσης αυξανόμενη θα ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός και ένα μέρος της φωτεινής ισχύος μέσα στην ίνα μετατρέπεται σε υψηλότερης τάξης τρόπους και γίνεται ακτινοβολούμενη. Η απώλεια αυτών των υψηλότερης τάξης τρόπων προκαλεί μια βαθμιαία αύξηση στην απόσβεση.

Το σχήμα 36 δείχνει τη φύση της απώλειας που επάγεται από κάμψη. Από το σχήμα αυτό βλέπουμε ότι στην πολύτροπη οπτική ίνα η συνολική εξασθένιση είναι μεγαλύτερη (σε σχέση με τη μονότροπη) επειδή χάνονται οι υψηλότερης τάξης τρόποι.

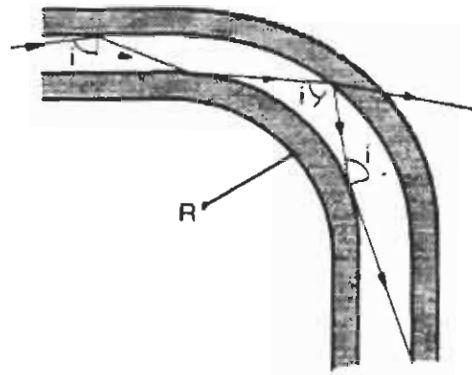


Σχήμα 36

2.6.1 Απώλεια κύρτωσης

Οι απώλειες κύρτωσης είναι οι απώλειες που παρατηρούνται όταν μια ίνα ή ένα καλώδιο κυρτώνεται σε μια ακτίνα της τάξεως των 5-10 [cm]. Αυτές οι «αυστηρές» κάμψεις μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, για παράδειγμα όταν το καλώδιο τοποθετείται σε κιβώτια συνδεσμολογίας ή σε δίσκους συγκόλλησης.

Η τάση του να μειώνεται η ευαισθησία σε κάμψη με τη μείωση των διαστάσεων του πυρήνα και με την αύξηση του επίπεδου νοθείας, θα προέκυπτε από μια πιο αυστηρή θεώρηση της κύρτωσης από αυτή που δίνεται εδώ. Για πολλούς τρόπους διάδοσης η γωνία πρόσπτωσης i μειώνεται σημαντικά σε μια κύρτωση (σχήματος 37). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται ολική εσωτερική ανάκλαση και οι τρόποι να εγκαταλείπουν την ίνα. Η απώλεια κύρτωσης γίνεται αισθητή όταν η ακτίνα κάμψης R είναι μικρότερη από 5-10 [cm].



Σχήμα 37. Κύρτωση

Στην μονότροπη οπτική ίνα διακρίνεται εύκολα η παρουσία της απώλειας που οφείλεται σε κύρτωση. Η κατάσταση στην οποία ο θεμελιώδης τρόπος γίνεται ακτινοβολούμενος, δηλαδή εγκαταλείπει την μονότροπη οπτική ίνα, οδηγεί σε μία άκρη απόσβεσης όπου η ίνα δεν μεταβιβάζει πλέον φως (σχήμα 37). Αυτή η άκρη είναι πιο γνωστή σαν άκρη κάμψης. Το παραπάνω εξηγείται από το γεγονός ότι όταν στην ίνα διαδίδεται μόνο ο θεμελιώδης τρόπος, το πεδίο διάδοσης του τρόπου αυτού επεκτείνεται σε μέγεθος με την αύξηση του μήκους κύματος με μία μέθοδο που είναι δυνατό να προβλεφθεί. Μειώνοντας την ακτίνα της κάμψης φθάνουμε σε μια τιμή της στην οποία ο θεμελιώδης τρόπος χάνεται σε ένα ορισμένο μήκος κύματος. Επιπλέον μείωση της ακτίνας κάμψης έχει σαν αποτέλεσμα η άκρη της κάμψης να μετατοπίζεται σε ακόμη μικρότερα μήκη κύματος. Έτσι στις μονότροπες οπτικές ίνες η απώλεια είναι συνάρτηση του μήκους κύματος.

2.7 Κόπωση οπτικής ίνας

Εκτός από τη μηχανική αστοχία που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της δυναμικής φόρτισης, είναι επίσης γνωστό ότι οι γυάλινες οπτικές ίνες μπορεί να παρουσιάσουν μια αστοχία με χρονική καθυστέρηση όταν βρίσκονται υπό τάση μέσα σε υγρό περιβάλλον. Η αστοχία σε αυτές τις συνθήκες προέρχεται από την μεγέθυνση των μικρών ατελειών στην επιφάνεια της ίνας, οι οποίες τελικά βάνουν τις κρίσιμες διαστάσεις για αστοχία. Το φαινόμενο αυτό της μεγέθυνσης υποκρίσιμης ρωγμής αναφέρεται κοινά σαν κόπωση (*fatigue*).

2.8 Αντοχή οπτικής ίνας

Η εφαρμογή για την οποία προορίζεται κάθε οπτική ίνα καθορίζει και την αντοχή που απαιτούμε από αυτήν. Το πεδίο χρήσης κάθε οπτικής ίνας απαιτεί αυτή να διατίθεται σε ενισχυμένη μορφή καλωδίου.

Η κρίσιμη περιοχή στον προσδιορισμό της αντοχής της ίνας είναι η εξωτερική επιφάνεια. Αυτή είναι συνήθως μια γυάλινη επιφάνεια που φέρει μικρές ατέλειες οι οποίες καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά της ίνας. Η ύπαρξη και η ανάπτυξη αυτών των

ατελειών καθορίζουν το επίπεδο της τάσης στο οποίο η ίνα αστοχεί.

Μηχανισμοί βελτίωσης της αντοχής. Η αντοχή της ίνας μπορεί να (βελτιωθεί ελαττώνοντας το μέτρο ελαστικότητας ώστε να μειωθεί η τάση στην επιφάνεια, ή αντισταθμίζοντας ένα μέρος της τάσης με την εφαρμογή στην επιφάνεια ενός θλιπτικού στρώματος γυαλιού εναλλακτικής σύνθεσης ή τέλος εφαρμόζοντας ένα λεπτό στρώμα άνθρακα στη γυάλινη επιφάνεια για να περιοριστεί η ποσότητα του νερού το οποίο φθάνει την άκρη της ρωγμής.

2.9 Ειδικές οπτικές ίνες

Λόγω των πολλαπλών εφαρμογών των οπτικών ινών είναι σκόπιμο να παρεκκλίνουμε από την υψηλής ποιότητας γυάλινη ίνα κυκλικής διατομής που αναφέρθηκε μέχρι τώρα. Για να επιτευχθεί μια ιδιαίτερη λειτουργικότητα για ειδικές εφαρμογές κατασκευάζονται οπτικές ίνες από διάφορα υλικά, μερικές φορές με πολύ ειδικές δομές.

2.10 Πλαστικές οπτικές ίνες

Οι ίνες που κατασκευάζονται από πλαστικό χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις γυάλινες. Αυτή η εμπορική χρήση προέκυψε

από τη δυνατότητα να παράγονται πλαστικές ίνες μεγάλου αριθμητικού ανοίγματος (0,5 ή μεγαλύτερο), με μεγάλα μεγέθη πυρήνων (μεγαλύτερα από 1000 [μm]) και με χαμηλό κόστος, αν και τέτοιες φθηνές πλαστικές ίνες έχουν υψηλή απώλεια (χιλιάδες decibels ανά χιλιόμετρο). Οι περιορισμοί στις οπτικές ίνες πλαστικού περιβλήματος και πλαστικού πυρήνα είναι πολυάριθμοι. Αν και αυτές μπορούν να κατασκευαστούν με υψηλά αριθμητικά ανοίγματα, η διαδικασία κατασκευής συνήθως δεν εξασφαλίζει τη βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα. Επομένως αυτές οι ίνες παρουσιάζουν υψηλή διασπορά τρόπων, δίνοντας χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (μερικά megabits ανά δευτερόλεπτο για μερικές εκατοντάδες μέτρα). Η υψηλή διασπορά τρόπων αποτελεί τον κυρίαρχο περιοριστικό παράγοντα στο ρυθμό μετάδοσης ακόμα και στη περίπτωση που τα πλαστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ίνα έχουν υψηλή διασπορά υλικού (300 έως 700 [ns/Km]). Επίσης η υψηλή απόσβεση που σχετίζεται με τις πλαστικές ίνες περιορίζει τις τυπικές αποστάσεις λειτουργίας σε λιγότερο από 1 [Km]. Μεγάλες ζώνες απορρόφησης παρουσιάζονται από την ταλάντωση του δεσμού άνθρακα-υδρογόνου (C-H) με πολλές ανώτερες αρμονικές στα φάσματα. Τα παράθυρα λειτουργίας βρίσκονται στην περιοχή μικρότερου μήκους κύματος, από 500 μέχρι 700 [nm], όπου είναι διαθέσιμες οπτικές πηγές όπως τα LED. Συνεπώς, τα συστήματα πλαστικών ινών μπορούν να κατασκευασθούν από εξαρτήματα χαμηλού κόστους. Το να

χαρακτηρίσουμε την απόκριση των πλαστικών ινών στην ακτινοβολία είναι περισσότερο πολύπλοκο από ότι για τις γυάλινες οπτικές ίνες, εξαιτίας του μεγαλύτερου αριθμού των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστούν πλαστικές ίνες. Η γενική τάση των πλαστικών ινών είναι να απελευθερώνουν υδρογόνο σπάζοντας δεσμούς C-H. Το υδρογόνο που απελευθερώνεται έπειτα επανασυνδέεται μέσα στην πολυμερή δομή για να σχηματίσει συνθέσεις διαφορετικές από την αρχική. Επίσης το ίδιο είδος επανασύνδεσης παρατηρείται συχνά όταν σπάζει ένας δεσμός C-C. Αφού οι νέες συνθέσεις διαφέρουν δραστικά στις ιδιότητες από το υλικό επιλογής, οι διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης συνήθως αυξάνουν, δίνοντας υψηλή απώλεια σκέδασης. Ενδιαφέρον έχουν επίσης οι θερμικές μεταβολές μιας πλαστικής ίνας. Αλλαγές στην πολυμερή δομή μπορούν να συμβούν στα περισσότερα κοινώς χρησιμοποιούμενα πλαστικά, σε θερμοκρασίες από 80 [°C] έως 100 [°C], τέτοιες που η μηχανική αξιοπιστία καθώς και η οπτική απώλεια ίσως παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Ωστόσο, εφαρμογές που απαιτούν ίνες μικρού μήκους κύματος λειτουργίας, υψηλού N.A., ή φθηνά παρελκόμενα εξαρτήματα συστήματος (όπως συνδετήρες), προτρέπουν στη χρησιμοποίηση πλαστικών ινών. Οι οπτικές ίνες διοξειδίου του πυριτίου πλαστικού περιβλήματος είναι μια εναλλακτική λύση σε εξ' ολοκλήρου γυάλινες ίνες ή πλαστικές ίνες. Οι αποσβέσεις των οπτικών ινών διοξειδίου του πυριτίου με πλαστικό περίβλημα είναι τυπικά από 5 έως 10 [dB/Km] στο

παράθυρο μετάδοσης των 800 έως 1310 [nm]. Αυτή η απώλεια είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των γυάλινων οπτικών ινών και προκαλείται από το υψηλής απώλειας πλαστικό περίβλημα, στο οποίο μεταφέρεται τμήμα της οπτικής ισχύος. Οι απορροφήσεις σε μια ίνα διοξειδίου του πυριτίου πλαστικού περιβλήματος είναι παρόμοιες με εκείνες στη γυάλινη ίνα (από OH^- , Fe^{2+} κλπ.), αν και στις ίνες διοξειδίου του πυριτίου πλαστικού περιβλήματος ένα υψηλότερο αριθμητικό άνοιγμα είναι δυνατό όταν το υλικό του περιβλήματος είναι πλαστικό χαμηλού δείκτη διάθλασης. Όμως η σχεδίαση οπτικής ίνας διοξειδίου του πυριτίου πλαστικού περιβλήματος, περιορίζεται σε μια κλιμακωτή κατατομή δείκτη διάθλασης, που οδηγεί σε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

2.11 Οπτικές ίνες για μεγάλο μήκος κύματος λειτουργίας

Οι οπτικές ίνες μπορούν επίσης να κατασκευαστούν ώστε να λειτουργούν ικανοποιητικά πέρα από τα μήκη κύματος του σύγχρονου εμπορικού ενδιαφέροντος. Αυτές φτιάχνονται από συνθέσεις γυαλιών των οποίων τα χαρακτηριστικά των χημικών δεσμών και οι ζώνες των δομών επιτρέπουν, τη χρήση μέσα στο υπέρυθρο φάσμα όπου οι απώλειες μπορούν θεωρητικά να είναι τόσο χαμηλές όσο 0.001 [dB/Km]. Συνθέσεις γυαλιών και τεχνικές

κατασκευής ικανές για να επιτευχθεί αυτή η πάρα πολύ χαμηλή απώλεια σε ένα χρησιμοποιούμενο παράθυρο λειτουργίας -για παράδειγμα στο laser CO₂ μήκους κύματος 10,6 [μm]- αποτελούν σήμερα κυρίαρχο αντικείμενο έρευνας.

Ακρυλική ίνα

Αποτελείται από ένα ακριλικό εσωτερικό τμήμα, το οποίο διαθέτει λεπτή επικάλυψη από φθοριούχο ρητίνη. Το υλικό αυτό είναι ελαφρύ, ανθεκτικό, έχει μεγαλύτερο δείκτη ευλυγισίας από την γυάλινη και τοποθετείται ευκολότερα.

2.12 Ασφάλεια του οφθαλμού απέναντι στην οπτική ίνα

Τα μη γραμμικά φαινόμενα που μπορούν να παρατηρηθούν σε υψηλές ισχύεις, δεν είναι τα μόνα φαινόμενα που θέτουν άνω όρια στην οπτική ισχύ που μπορεί να φέρει μια ίνα. Υπάρχει επίσης ένα άνω όριο ισχύος πέρα από το οποίο είναι δυνατό να μεταφέρει η ίνα επιβλαβείς στάθμες, αν σ' αυτές εκτεθούν οι οφθαλμοί των ανθρώπων που είτε χρησιμοποιούν είτε συντηρούν το σύστημα, αν π.χ. παίξουν με τα ελεύθερα άκρα των επικοινωνιακών ζεύξεων οπτικών ινών που έχουν από ατύχημα κοπεί.

Οποιοδήποτε επικοινωνιακό σύστημα οπτικών ινών μπορεί κανονικά να θεωρείται εντελώς ακίνδυνο, ακόμα και στο προσωπικό υπηρεσίας, λόγω του ότι η φωτεινή ροή είναι συγκεντρωμένη στο εσωτερικό ενός καλωδίου με προστατευτικό περίβλημα τόσο στην ίδια τη ζεύξη όσο και στην πηγή, που συνήθως είναι μια δίοδος laser ή LED με ίνα στο άκρο (pigtailed).

Υπάρχουν επίσης ειδικές περιπτώσεις υψηλού-κινδύνου, και αυτές θεωρούνται αρκετά σημαντικές ώστε να επιβάλλονται εκπληκτικά χαμηλές στάθμες ισχύος ως το μέγιστο που θα γίνει επιτρεπτό στον εξοπλισμό και τα συστήματα του εμπορίου.

Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί ότι οι περιπτώσεις υψηλού-κινδύνου περιλαμβάνουν την έκθεση στην οπτική ακτινοβολία των μη χρηστών, όπως το παιδί που σηκώνει το άκρο ενός κομμένου καλωδίου οπτικών ινών, και έχοντας ενδιαφέρον για τις οπτικές ίνες, αρχίζει να κοιτάζει επίμονα στο άκρο της ίνας, ψάχνοντας για τον πυρήνα. Στην ουσία οι κανόνες απευθύνονται στο προσωπικό υπηρεσίας. Ο κανονισμός προτύπων θεώρησε επίσης δυνατόν ότι η χρονική διάρκεια κατά την οποία κάποιο άτομο σε υπηρεσία μπορεί από απροσεξία να κοιτάξει επίμονα στο εσωτερικό της φωτιζόμενης ίνας, μπορεί να διαρκεί έως 100 [sec]. Ευτυχώς για την «αδελφότητα» των επικοινωνιακών, τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, 1,3 και 1,5 [μm] απορροφώνται αρκετά στα εξωτερικά στρώματα του φακού του οφθαλμού, αλλά καθώς προχωρούμε προς τα ορατά μήκη κύματος (400 ως 700 [nm]), ο φακός γίνεται

περισσότερο διαφανής και η βλάβη στον αμφιβληστροειδή, για μια δοσμένη στάθμη ισχύος, αυξάνει. Το σχήμα 3 συνοψίζει τα ανώτερα όρια της CW οπτικής ισχύος. Υποθέτουμε μια διάρκεια έκθεσης 100 [sec]. Τα συστήματα που προσαρμόζονται στην «Ομάδα Υπηρεσίας 1» (Service Group 1) είναι «απαλλαγμένα από όλα τα μέτρα ελέγχου και από οποιαδήποτε μορφή επιτήρησης». Πάνω από τα όρια της SG1 είναι η επόμενη κατηγορία, «Ομάδα Υπηρεσίας 3α», και εδώ εισέρχονται σημαντικές περιπλοκές για τη διαχείριση του δικτύου. Μπορεί να απαιτούνται ειδικοί συνδετήρες που αποπροσανατολίζουν το φως όταν ελευθερωθεί η σύνδεση. Το προσωπικό που δεν είναι ειδικά εκπαιδευμένο μπορεί να χρειαστεί να εξαιρεθεί από τον χώρο στον οποίο γίνεται συντήρηση, και ούτω καθ' εξής. Εάν η στάθμη ισχύος υπερβεί τα όρια της SG3a (Ομάδα Υπηρεσίας 3b, η υψηλότερη), το φως που ακτινοβολείται από το άκρο της ίνας θεωρείται ικανό να προκαλέσει βλάβη στον γυμνό οφθαλμό. Ανάλογα με το τι είδους δίκτυο κατασκευάζεται, οι θεωρήσεις αυτές μπορούν εύκολα να επιβάλλουν πιο αυστηρά όρια ισχύος κατά τη σχεδίαση του συστήματος, από αυτά που ήδη θέτει από μόνη της είτε η μη ύπαρξη στο εμπόριο διαθέσιμων δομικών στοιχείων τόσο υψηλής ισχύος, είτε η εκδήλωση των ανεπιθύμητων μη γραμμικών φαινομένων που εξετάσαμε σε προηγούμενη παράγραφο με αφορμή τη διαφωνία.

Κεφάλαιο 3

Συστήματα φωτισμού οπτικών ινών

3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Οι ιδιότητες του φωτός στην εφαρμογή του στις οπτικές ίνες

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία των οπτικών ινών στη μεταφορά φωτός είναι αναγκαία η γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του φωτός. Το φως είναι ενέργεια. Είναι ο τύπος της ενέργειας που ονομάζεται ενέργεια ακτινοβολίας και ταξιδεύει ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Η υπεριώδης, η υπέρυθρη και η ακτινοβολία του ορατού φωτός είναι τύποι ακτινοβολίας που χαρακτηρίζονται ως φως. Οι διάφορες μορφές της ενέργειας αυτού του είδους ταξιδεύουν με μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος ή συχνότητες.

Μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ομοιόθετων κορυφών της ημιτονοειδούς καμπύλης του κύματος ενώ συχνότητα είναι το μέτρο του αριθμού των κύκλων κύματος που εμφανίζονται στο χώρο σε ένα δευτερόλεπτο. Ανάλογα με το

χρώμα που έχει το φως έχει και διαφορετικό μήκος κύματος. Για παράδειγμα το πράσινο χρώμα έχει ονομαστικό μήκος κύματος 540 [nm], ενώ το ερυθρό έχει μήκος κύματος 660 [nm].

Βασικές ιδιότητες του φωτός είναι η κίνησή του σε ευθεία γραμμή και οι δυνατότητες που έχει να αλλάζει κατεύθυνση με ανάκλαση και διάθλαση. Ο τρόπος με τον οποίο το φως ταξιδεύει σε καμπύλες οδούς μέσα στις οπτικές ίνες οφείλεται στην αρχή της ανάκλασης. Το φως στις οπτικές ίνες κινείται όπως κινείται το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στους ηλεκτρικούς αγωγούς. Όταν η ακτίνα του φωτός κινείται στον αέρα, στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, χτυπά στη γυάλινη επιφάνεια από όπου ένα μέρος της ανακλάται πολλαπλώς στην εσωτερική επιφάνεια ενώ ένα άλλο μέρος της διαθλάται και διέρχεται μέσα από το γυαλί οπότε απομακρύνεται από την επιφάνεια.

Η ειδική κατασκευή της οπτικής ίνας περιορίζει εξαιρετικά την έξοδο του φωτός με διάθλαση. Αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι να γίνεται ανάκλασή του σε μεγάλο βαθμό και να κινείται το φως κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας της οπτικής ίνας μέχρις ότου φτάσει στο άκρο της από όπου κινείται στον αέρα.

Το φως ταξιδεύει με διάφορες ταχύτητες στα διάφορα υλικά. Για παράδειγμα στον αέρα η ταχύτητα του πλησιάζει τα 299706 [km/s], ενώ στο διαφανές γυαλί περιορίζεται στα 185055 [km/s]. Η ταχύτητα του φωτός σε ένα υλικό εξαρτάται από το υλικό και το

χρώμα που έχει το φως. Στα πιο πολλά υλικά φως με κόκκινο χρώμα ταξιδεύει ταχύτερα από το φως με μπλε χρώμα.

Για να ξεπεραστεί το θέμα της διάθλασης του φωτός μέσα από τις οπτικές ίνες χρησιμοποιείται ένα περίβλημα με πολύ περιορισμένο δείκτη διάθλασης. Το ποσοστό του φωτός που διαθλάται χάνεται από τις οπτικές ίνες από διάθλαση κυμαίνεται από 4 έως 11%.

3.1.2 Λειτουργία του συστήματος φωτισμού με οπτικές ίνες

Οι εγκαταστάσεις φωτισμού με οπτικές ίνες αποτελούνται από τρία βασικά στοιχεία: τη γεννήτρια φωτισμού, το σύστημα μετάδοσης του φωτισμού με τις οπτικές ίνες και τα φωτιστικά σώματα.

Η γεννήτρια φωτισμού αερίζεται συνήθως με ανεμιστήρα ή είναι στεγανή, εξωτερικού τύπου και ψύχεται με πτερύγια που έχει το κωτίο αλουμινίου που την περικλείει. Τροφοδοτείται με τάση 230 [V]-50/60 [Hz] και μπορεί να παρέχει, αν απαιτείται, πολύ χαμηλή τάση. Τροφοδοτεί λυχνίες αλογόνου 50, 75 ή 100 [W], που μπορεί να λειτουργούν σε κανονική ή σε πολύ χαμηλή τάση για εγκαταστάσεις απλού εσωτερικού φωτισμού, λυχνίες αλογόνου 100 [W] σε εγκαταστάσεις στις οποίες είναι επιθυμητή η διαβάθμιση της φωτεινής έντασης. Τέλος μπορεί να τροφοδοτεί λυχνίες με μεταλλικά αλογονίδια 150 ή 200 [W] που η απόδοσή

τους ανταποκρίνεται σε εξωτερικές εφαρμογές όπως είναι οι φωτισμοί όψεων, ο τονισμός ενός κτιρίου ή γενικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλές στάθμες φωτισμού. Η γεννήτρια φωτισμού είναι εξοπλισμένη επίσης με σύστημα φακών που συγκεντρώνουν τη φωτεινή ροή της λυχνίας προκειμένου να τη διαβιβάσουν στις οπτικές ίνες. Χρησιμοποιούνται κυρίως δυο συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες. Το καταδιοπτρικό και το διοπτρικό σύστημα. Το πρώτο χρησιμοποιεί οπτικές ίνες από γυαλί και θεωρείται ως πλέον αποδοτικό γιατί μπορεί να λειτουργήσει υπό σημαντική οπτική γωνία. Έχει μειωμένο κόστος επειδή περιλαμβάνει περιορισμένο αριθμό στοιχείων. Το σύστημα αυτό έχει το μειονέκτημα να απαιτεί συγκεκριμένη θέση της λυχνίας, γεγονός που αναγκάζει σε ρύθμισή της σε κάθε αντικατάστασή της. Το διοπτρικό σύστημα χρησιμοποιεί πλαστικές οπτικές ίνες. Εξασφαλίζει καλύτερη ομοιογένεια του φωτός που συλλέγεται από τις οπτικές ίνες. Περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία και έχει πιο περιορισμένη φωτεινή απόδοση.

Οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις φωτισμού αποτελούνται από πυρήνα από γυαλί ή πλαστικό υλικό που συνήθως είναι μετακρυλικό (PMMA). Αμφότεροι οι τύποι οπτικών ινών περιβάλλονται από οπτική επικάλυψη. Οι δείκτες ανάκλασης του πυρήνα και της οπτικής επικάλυψης είναι έτσι ώστε η οπτική ακτίνα να βρίσκεται σε συνθήκες ολικής ανάκλασης και το φως να διαδίδεται κατά μήκος της οπτικής ακτίνας μέχρις

ότου εξέλθει από το άκρο της. Οι οπτικές ίνες φωτισμού περιλαμβάνονται σε δέσμη. Κάθε μια από αυτές αποτελείται συνήθως από 3, 6, 9 ή 12 βραχίονες, δηλαδή καλώδια, ωφέλιμης διαμέτρου 4 [mm] και μήκους 3, 6 ή 9 [m]. Κάθε βραχίονας μπορεί να περιλαμβάνει 200-8000 οπτικές ίνες από γυαλί μοναδιαίας διαμέτρου 70 microns ή 10 ως 100 οπτικές ίνες από PMMA. Η συνηθισμένη διάταξη βραχίονα ωφέλιμης διαμέτρου 4 [mm] από οπτικές ίνες γυαλιού περιλαμβάνει περισσότερες από 3000 οπτικές ίνες διαμέτρου 70 microns. Οι ίνες αυτές προστατεύονται από επικάλυψη με πλαστικό υλικό megalon. Οι οπτικές ίνες από πλαστικό PMMA μοναδιαίας διαμέτρου 1[mm] είναι συνήθως σε βραχίονες ωφέλιμης διαμέτρου 4,3 [mm] που μπορεί να περιλαμβάνει 25 ίνες.

Τα τερματικά φωτιστικά δέχονται τα άκρα των οπτικών ινών και μεταδίδουν το φως που φτάνει στο άκρο κάθε οπτικής ίνας. Ανάλογα με τη θέση χρήση τους ανταποκρίνονται σε κάθε σχετική εφαρμογή. Εφαρμοσμένα σε ψευδοροφές με τη μορφή φωτιστικών σωμάτων περιορισμένων διαστάσεων με σταθερή ή κινητή κατεύθυνση, χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους κάθε είδους. Ειδικές κατασκευές φωτιστικών που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους παρέχουν φωτεινή εκπομπή ημισφαιρικής ή συγκεκριμένης κατεύθυνσης εξασφαλίζοντας τη δυνατότητα σήμανσης των διαβάσεων για τους πεζούς. Ακόμη, η δυνατότητα ασφαλούς εφαρμογής τους σε σιντριβάνια ή πηγές εξασφαλίζει

τον κατάλληλο φωτισμό χωρίς τον κίνδυνο βραχυκυκλώματος ή ηλεκτροπληξίας. Τέλος, με φωτιστικά σώματα εξαιρετικά μικρών διαστάσεων χρησιμοποιούνται σε διακοσμητικές κατασκευές οροφών, επιφανειών τοίχων ή συνδυάζονται με έγχρωμους διακοσμητικούς δίσκους.

3.1.3 Χαρακτηριστικά-προδιαγραφές του φωτισμού με οπτικές ίνες

Σημασία για την γεννήτρια φωτισμού έχει η διάρκεια ζωής των λυχνιών, η απόδοσή τους, η θερμοκρασία του χρώματός τους και ιδιαίτερα το μέγεθος του τόξου τους. Στους τομείς αυτούς γίνονται συστηματικές έρευνες ενώ παράλληλα υπάρχουν πολλές ευρεσιτεχνίες κατάλληλης αξιοποίησης του φωτός που παρέχουν για τη δημιουργία διαφόρων οπτικών εφέ με τη χρήση διακοσμητικών κρυστάλλινων πανό κτλ. Η φωτιστική απόδοση των συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες κυμαίνεται γύρω στο 50% της φωτεινής ροής εισόδου σε οπτικές ίνες μήκους 30 μέτρων.

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες με την πάροδο του χρόνου εμφανίζουν χρωματική διαφοροποίηση του φωτός που εκπέμπουν. Μπορεί, πραγματικά, το φως να είναι πολύ λευκό στο κέντρο και στην περιφέρεια να έχει χρώμα από ελαφρά ρόδινο ως πράσινο. Οι ιδιότητες αυτές λαμβάνονται υπόψη σε διακοσμητικές

εγκαταστάσεις φωτισμού με οπτικές ίνες με τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται κατά περίπτωση οι κατάλληλες χρωματικές διακυμάνσεις.

Προκειμένου να μελετηθεί μια εγκατάσταση φωτισμού με οπτικές ίνες είναι απαραίτητο να τηρηθούν ορισμένες αρχιτεκτονικές προδιαγραφές οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι εξής:

- Υπολογισμός επιφάνειας-εμβαδόν χώρου που προβλέπεται να φωτιστεί (παίρνετε υπόψιν και το ύψος από το δάπεδο έως το ταβάνι).
- Σε τι απόσταση βρίσκεται το φωτιστικό σώμα από το αντικείμενο.
- Δίνεται προσοχή στην διαδρομή των οπτικών ινών (όχι απότομες, οξείες γωνίες).
- Υπάρχει απαίτηση συγκεκριμένης έντασης φωτισμού στην επιφάνεια που θα φωτίζεται.
- Υπάρχουν διακοσμητικές απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα φωτοχυσία σε τοίχο.
- Τα φωτιστικά σώματα θα είναι ορατά ή κρυμμένα.
- Τι χρώμα θα έχει ο φωτισμός. Θα μπορούσε το χρώμα φωτισμού να εξασφαλίζεται με κλασικό φωτισμό αντί για οπτικές ίνες.

- Τι μήκος οπτικών ινών θα απαιτηθεί ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες συντήρησης και χαμηλού κόστους.
- Μήπως τα καλώδια οπτικών ινών θα επηρεάζονται από υγρασία ή θα είναι σε νερό.
- Είναι έμπειρος ο εγκαταστάτης του φωτισμού στα καλώδια οπτικών ινών;

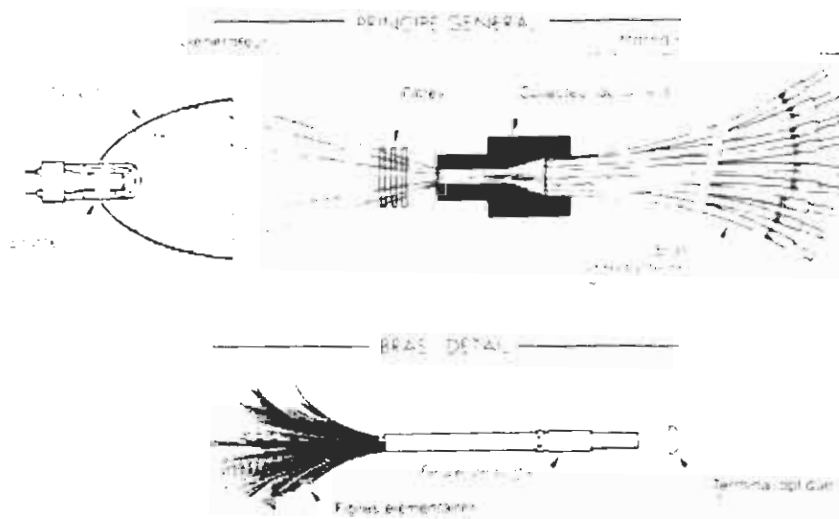
Οι κυριότερες παράμετροι που σχετίζονται που σχετίζονται με τις πηγές φωτισμού οπτικών ινών περιλαμβάνουν:

- Τη διαθέσιμη φωτεινή ροή στην άκρη κάθε οπτικής ίνας.
- Τη χρωματική θερμοκρασία.
- Τη χρήση λυχνιών εκκένωσης ή αλογονιδίων.
- Την απόδοση χρώματος φωτισμού.
- Τη διάρκεια ζωής της λυχνίας.
- Το κόστος αντικατάστασης της λυχνίας.
- Την τάση και την ευστάθεια της ηλεκτρικής παροχής.
- Την ανάγκη χρήσης ροοστατών ή την ανάγκη αλλαγών χρώματος.
- Την ψύξη με αερισμό ή με ανεμιστήρες.

Οι εγκαταστάσεις φωτισμού με οπτικές ίνες αποτελούν για την ώρα εγκαταστάσεις σχετικά αυξημένου κόστους. Για παράδειγμα μια γεννήτρια φωτισμού με λυχνία μεταλλικών αλογονιδίων 150

[W] κοστίζει γύρω στις 250.000 δραχμές, το αντίστοιχο σύστημα φίλτρου με το συλλέκτη και 12 οπτικές ίνες μήκους 9 μέτρων γύρω στις 800.000 και τα 12 φωτιστικά που θα συνδεθούν γύρω στις 300.000 δραχμές. Ακόμη, επειδή η κατασκευή μιας εγκατάστασης φωτισμού απαιτεί εξαιρετικά ειδικευμένο προσωπικό επιβάλλεται να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος κατασκευαστής που υπεύθυνα θα αναλάβει με εγγυήσεις τη μελέτη και την κατασκευή ώστε να εξασφαλίζεται το τελικό τέλει επιθυμητό αποτέλεσμα.

3.1.4 Βασική λειτουργία



Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια πηγή φωτός που λέγεται γεννήτρια, η οποία συγκεντρώνει την ενέργεια μέσα στον αγωγό του φωτός: έτσι η ενέργεια που βρίσκεται σε κυκλοφορία

επιστρέφει στην έξοδο με μια επάρκεια μικρότερης ή μεγαλύτερης σημασίας ανάλογα με το μήκος του υλικού που έχει επιλεγεί.

Οι αγωγοί του φωτός αποτελούνται από υαλώδεις (γυάλινες) ίνες, μέσα από τις οποίες οι ακτίνες φωτεινότητας εκτείνονται με ολική ανάκλαση. Οι αγωγοί αυτοί μπορούν να είναι μονοί ή πολλαπλοί: στην τελευταία περίπτωση έχουν σύνθεση μίας δέσμης.



ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΕΣΜΗΣ

Το εξαγόμενο φως από κάθε αγωγό είναι αφομοιώσιμο από μια πηγή φωτεινότητας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια ή να ενσωματωθεί μέσα σε ένα οπτικό ακροδέκτη. Ποιοτική συσκευή φωτισμού σμίκρυνσης με δυνατότητα να μεταβάλλει όψη σε σφηνοειδή ή κυκλική προβολή και χρησιμεύοντας στην ρύθμιση για το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Σμίκρυνση και πολλαπλασιασμός των σημείων φωτισμού

Η μικρή διάμετρος των αγωγών επιτρέπει μια πολύ μεγάλη κυριαρχία οπτικών διατάξεων σε έξοδο και ως εκ τούτου μια εξαιρετική επάρκεια, αλλά ειδικότερα την χρήση των Spots σε σμίκρυνση αποφεύγοντας μέσα στο οπτικό πεδίο την παρουσία εμποδιστικών και ενοχλητικών φωτισμών.

Η χρήση της προστατευτική ζώνης σε πολλαπλές εξόδους επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό των σημείων φωτισμού (ξεκινώντας από μία μόνη πηγή) και τον ορισμό της δόσης φωτός, σύμφωνα με τις ανάγκες.

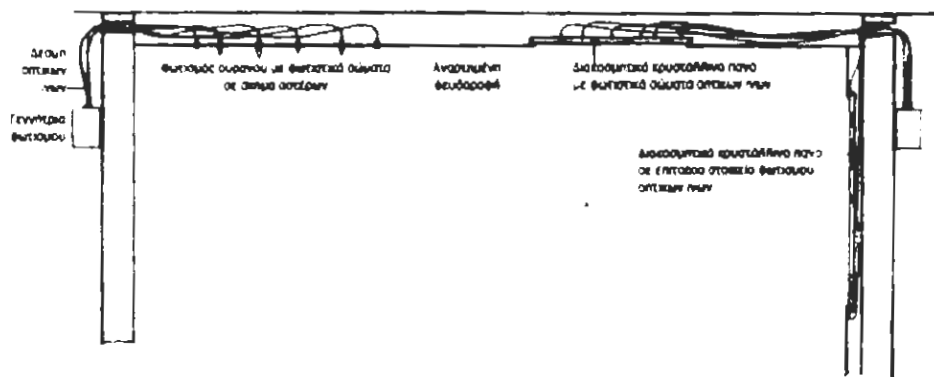
Τελικά η διάσταση των αγωγών και των Spots επιτρέπει τον φωτισμό σε χώρους εμποδιστικούς ή μέρη δύσκολης προσέγγισης, εισχωρώντας σε όγκους και στενότητες που απαιτούν περισσότερη καταλληλότητα φωτισμού.

Πηγή σε απόσταση-απλουστευμένη συντήρηση

Η γεννήτρια μπορεί να εγκατασταθεί μακριά από την ζώνη φωτισμού (από κάποια μέτρα έως και 15 μέτρα) και σχετικά με τις παραδοσιακές λύσεις, δεν είναι αναγκαίο να αερίζεται αυτή η

ζώνη, ούτε να χαλάνε οι φωτισμοί ακόμη και στην αντικατάσταση των πηγών.

Αυτή η αντικατάσταση είναι ευρέως απλουστευμένη αφού με μια λάμπα μπορεί να τροφοδοτηθεί μερικές δωδεκάδες σημείων φωτισμού.



Εγκατάσταση φωτισμού ψευδοροφής με φωτιστικά σώματα οπτικών ινών

Αποτροπή ανεπιθύμητων ακτινοβολιών

Μετά από κάποιες δωδεκάδες εκατοστών, το γυαλί μπλοκάρει φυσιολογικά το μεγαλύτερο μέρος των υπεριωδών, ειδικότερα βλαβερές για τις έγχρωμες ύλες των έργων τέχνης, ενώ παράλληλα η θερμοκρασία απελευθερώνεται από την πηγή που βρίσκεται απομονωμένη μέσα σε ένα τεχνικό μέρος ή σε μια απόσταση τέτοια που δεν μπορεί να ενοχλεί τη συντήρηση έργων

τέχνης ή αρχαιοτήτων: όταν η ακτινοβολία ερυθιάζει μπορεί εύκολα να μειωθεί χρησιμοποιώντας σε επίπεδο γεννήτριας ένα αντιθερμικό φίλτρο. Τελικά το χρώμα του εκπεμπόμενου σε όλες τις ίνες φωτός, μπορεί να εναρμονιστεί από τα φίλτρα ή αντίστροφα μεταβάλλοντας τα αποτελέσμα του χρώματος με τις διάφορες ζελατίνες τοποθετημένες μέσα στους οπτικούς ακροδέκτες.

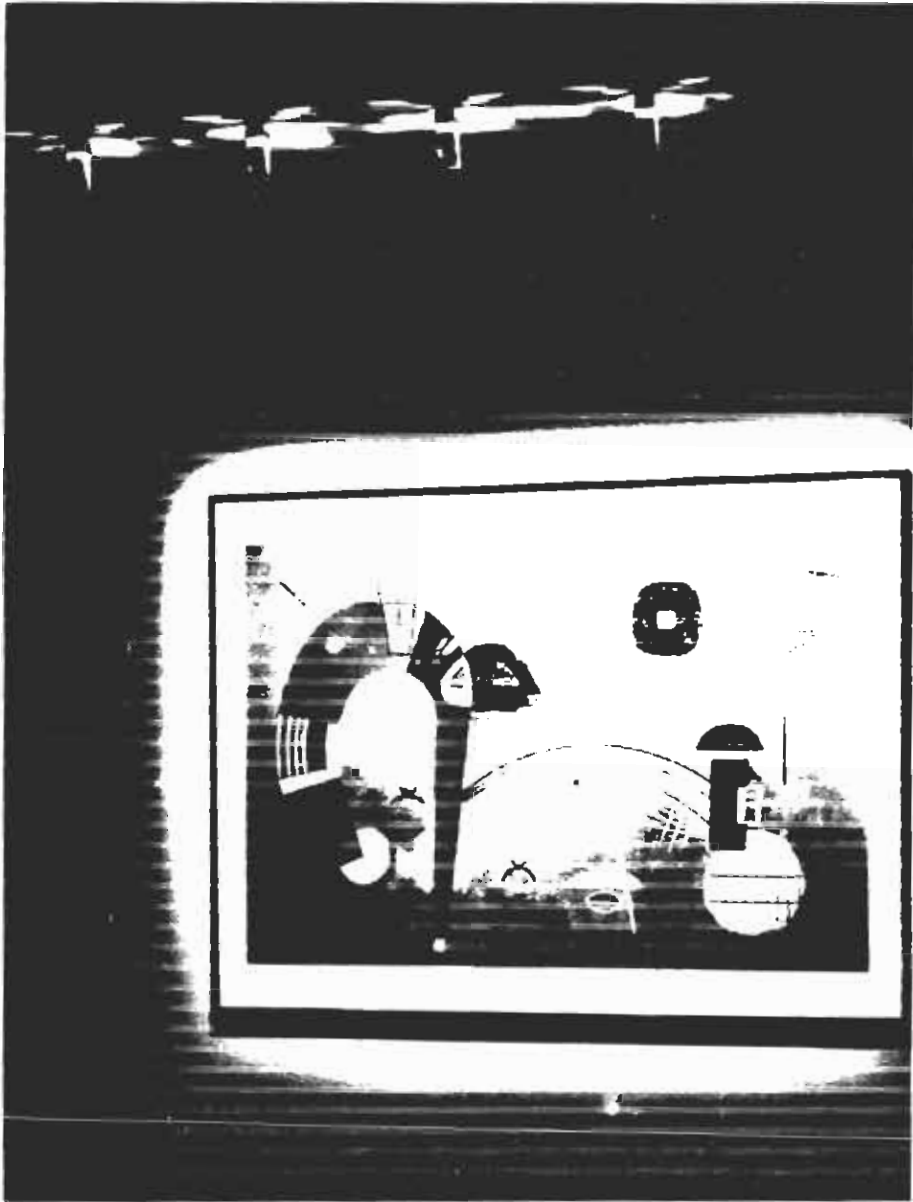
Κριτήρια απόδοσης

Είναι αυστηρώς συνδεδεμένα με την ακρίβεια των οπτικών συστημάτων και τις ενδιάμεσες συναρμολογήσεις: λάμπα/ανακλαστήρας/συλλέκτης-ίνες/ακροδέκτης και ποιότητα της ίνας.

Εφαρμογές

Είναι πολλές και διάφορες. Ανάλογα με την περίπτωση, ένας φωτισμός με οπτικές ίνες μπορεί να είναι επαρκής από μόνος του ή να συμπληρώσει ένα φωτισμό περισσότερο παραδοσιακό, έχοντας ένα ρόλο καθαρά διακοσμητικό ή αντίστροφα λειτουργικό ή ακόμη και αρχιτεκτονικό. Ενσωματώνεται σε κινητές εγκαταστάσεις αστικών περιοχών ή παρεμφερείς, συμμετέχει σε βιομηχανικές εφαρμογές (φωτισμός μηχανικών εγκαταστάσεων, ασφάλεια και έλεγχο κατασκευών).

Η οπτική ίνα μπορεί να πληροφορεί (μέσω σηματοδότησης), μπορεί να προειδοποιεί, να καθυστεράζει (διάβαση πεζών, φωτισμό σηματοδότησης), να δημιουργεί φανταζι εικόνες (σιντριβάνια φωτισμένα, φωτισμό γλυπτών, φωτισμό ουρανού και διάφορες εκδηλώσεις), ελκυστικές εικόνες (νυχτερινό φωτισμό καταστημάτων), συμμετοχή στην νυχτερινή ασφάλεια των καταστημάτων (και με οικονομικό τρόπο), αξιοποιώντας (χωρίς ζημιές), παρουσιάσεις, εκθέσεις, μουσεία.



Γεννήτριες

Περιλαμβάνουν μια πηγή φωτισμού τοποθετημένη μέσα σε ένα ανακλαστήρα, όπου έχει τον ρόλο να συγκεντρώνει το μέγιστο της ενέργειας μέσα στην είσοδο των ινών, που λέγεται συλλέκτης. Τρεις γεννήτριες χρησιμοποιούν μία λάμπα των 150 [W] αλογόνο μεταλλική, κατασκευασμένη ειδικά για τις εφαρμογές των οπτικών ινών.

Γεννήτριες στεγανές

Επινοήθηκε για εσωτερικές και εξωτερικές εφαρμογές, αποτελείται από δύο ξεχωριστά σώματα κατασκευασμένα από έλασμα αλουμινίου. Ένα σώμα που συγκεντρώνει τις ηλεκτρικές συνδέσεις και ένα άλλο που περιλαμβάνει λάμπα, ελλειψοειδή ανακλαστήρα των 35° (BL 2) ή 60° (BL4), με αποδέκτη τον συλλέκτη της δέσμης ινών. Μία διάταξη οπτικής ρύθμισης επιτρέπει την τοποθέτηση με ακρίβεια του τόξου της λάμπας στην εστία του συλλέκτη της δέσμης ινών. Ένα κάλυμμα (Etalon G.F.O.) μπορεί να προμηθευτεί κατόπιν παραγγελίας.

Γεννήτρια φωτισμού αεριζόμενη-GL

Προορίζεται για εσωτερικές εφαρμογές. Αυτή η γεννήτρια αποτελείται από ένα πλαίσιο λαμαρίνας αλουμινο-ανθρακίτη αεριζόμενη (λόγω αέρα+24 [m³/h], περιέχοντας την οπτική διάταξη και την ηλεκτρική σύνδεση. Η λάμπα είναι τοποθετημένη σε ένα στήριγμα μικρομετρικής ρύθμισης, επιτρέποντας έτσι την επικέντρωσή της μέσα σε ένα ελλειψοειδή ανακλαστήρα των 350 (ρύθμιση από το εργοστάσιο).

Οπτικοί ακροδέκτες

Η λειτουργία τους είναι διπλή.

- Η εξασφάλιση της γεωμετρικής διανομής της ροής εξόδου των ινών μέσα στον χώρο.
- Η εξασφάλιση της σταθερότητας των ινών μέσα σε ένα στήριγμα και της αισθητικής τους ενσωμάτωσης μέσα στην περιστοίχιση.

Ανάλογα με τις εφαρμογές μπορεί να χρειαστεί να συγκεντρωθεί, να κατευθυνθεί ή να εγχρωτιστεί το φως μέσω μιας μινιατούρας φωτός, η οποία θα έχει όψη ενός Spot, μιας σφήνας ή ενός προϊόντος ειδικά προοριζομένου για τέτοιο σκοπό.

Spots

Επιτρέπει τη δυνατότητα κατεύθυνσης του φωτός (χωρίς καμιά μηχανική δυσκολία για την ίνα) και την εστίαση της δέσμης ανάλογα με την διάσταση του αντικειμένου φωτισμού.

Η αρχή (το στοιχείο) αυτού του Spot είναι πολύ απλή: 2 πρίσματα, όπου η μεσολαβούσα απόσταση είναι διάφορος (αποτέλεσμα «Zoom») επαναφέροντας το φως στους 45° : κάθε ένα μπορεί να κάνει μια περιστροφή σε 360° το ένα σε οριζόντιο σχέδιο, το άλλο σε κάθετο, το φως έτσι μπορεί να κατευθύνεται χωρίς σημασία της διεύθυνσης και χωρίς καμία αδρανή γωνία.

Επίσης μπορούν να δεχθούν ένα φίλτρο ή ζελατίνες.

Οι αποδόσεις αυτών των Spots πλεονεκτούν από την γεννήτρια μέχρι τον ανακλαστήρα 35° .

Αγωγοί του φωτός

Οι πλέον γνωστές και εύχρηστες δέσμες ινών.

Είναι κατασκευασμένοι ξεκινώντας από πολλαπλά οπτικά στοιχεία μεγάλης ευλυγισίας.

Μία δέσμη ινών αποτελούμενη από ένα αριθμό οπτικών ινών. Μέσα σε κάθε ίνα (μιας εύχρηστης διαμέτρου σάνταρ των 3 [χιλ.]), βρίσκονται σε συμπαγή διάταξη λίγο λιγότερα από 3.000

στοιχεία ινών (προστατευόμενα από θήκη αυτόματης σβέσης πυρός σε Megolon, είναι συναρμολογημένα μέσα σε μια στιλπνή ράβδο κατάληξης, ώστε να επιτυγχάνεται τέλεια οπτική επιφάνεια.

Στην άλλη κατάληξη, οι οπτικές ίνες είναι συγκεντρωμένες σε ένα κοινό σημείο (επίσης στιλπνό) σταθερά επί της γεννήτριας από όπου εισάγεται το φως.

Το εξάρτημα αυτό είναι κατασκευασμένο από ανθεκτικό υλικό και λέγεται συλλέκτης. Μέσα σε αυτόν τον συλλέκτη, όλα τα στοιχεία των ινών είναι σε ανάμειξη με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη ομοιογένεια εξαγωγής του φωτός από κάθε ίνα (δυνατότητα εναλλακτικών λύσεων +/- 10%).

3.2 Αναφορά συστημάτων

Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε δυο διαφορετικά συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες. Και στις δύο περιπτώσεις παρατίθενται επεξηγηματικά γραφήματα που βοηθούν την κατανόηση αλλά και κάνουν πιο εύκολη την ανάλυση λειτουργίας των δύο γεννητριών.

3.2.1 Εφαρμογή Α

Η συσκευή περιέχει μια μεγάλης διάρκειας ηλεκτρική λυχνία η οποία φωτοβολεί με τόξο, μεταξύ δύο άκρων (συνήθως άνθρακα) σε μια σωληνοειδή δεξαμενή απαγωγής θερμότητας. Τουλάχιστον ένα αλύγιστο (άκαμπτο) διαυγές επιμηκυμένο, κατά προτίμηση, κυλινδρικό στέλεχος που έχει γείωση και στιλβωμένα άκρα συνδέεται με ένα άνοιγμα στην δεξαμενή απαγωγής θερμότητας έχοντας απέναντί του την λάμπα. Το φως εκπέμπεται από τη λάμπα περνώντας μέσα από το διαφανή στέλεχος αυτό. Το εσωτερικό στιλβωμένο τοίχωμα του διαφανούς στελέχους περιέχει ένα διηλεκτρικό στρώμα απλωμένο το οποίο φιλτράρει και αντανakλά πίσω στην δεξαμενή την υπέρυθρη ακτινοβολία του φωτός. Η περισσότερη αν όχι όλη η υπεριώδης ακτινοβολία φιλτράρεται από αυτό. Το φως που εκπέμπεται από την απόλιξη αυτού του στελέχους είναι καθαρό από υπεριώδεις και υπέρυθρες ακτινοβολίες για παραπέρα εκπομπή από τις οπτικές ίνες. Μια αδιαφανής περιτύλιξη, ένας ανεμιστήρας για την διασπορά της θερμότητας και άλλα στοιχεία περιέχονται.

Ο πρωταρχικός στόχος, είναι η προετοιμασία της ίνας (της πλαστικής) από ζημιά. Η συσκευή περιέχει ανακλαστήρα για το σκοπό αυτό. Υπάρχει υπερβολική ανάπτυξη θερμότητας η οποία μειώνει την διάρκεια ζωής της λάμπας. Άλλες συσκευές χρησιμοποιούν λάμπες αλογόνου σε συνεργασία με πολλές ίνες.

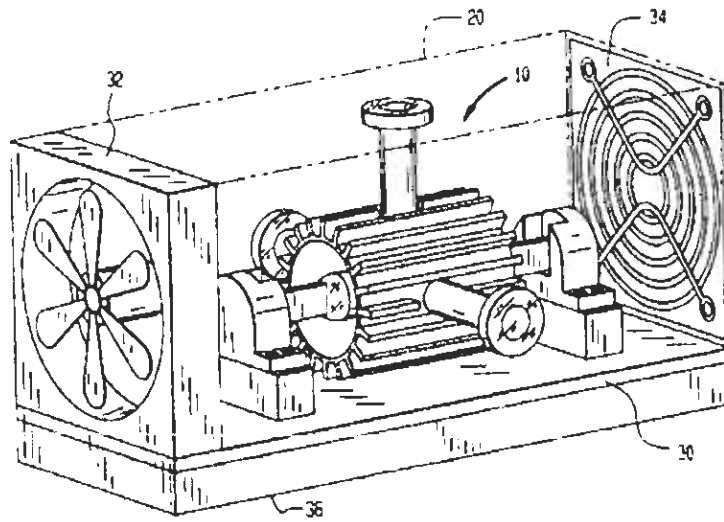
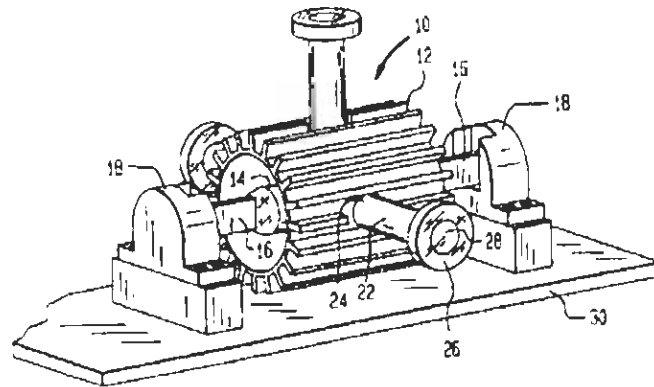
Οι λάμπες αυτές όμως έχουν σχετική μικρή διάρκεια ζωής, ενώ οι λάμπες εκκένωσης έχουν διάρκεια ζωής γύρω στις 12.000 ώρες σε ένα κατάλληλα ψυχρό περιβάλλον. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιεί την μακροζωία του τύπου αυτού. Τουλάχιστον ένα άκαμπτο διαυγές κυλινδρικό στέλεχος υπάρχει για το φιλτράρισμα των ακτινοβολιών. Δηλαδή αυτό απορροφά τις UV και αντανακλά πίσω την IR ακτινοβολία.

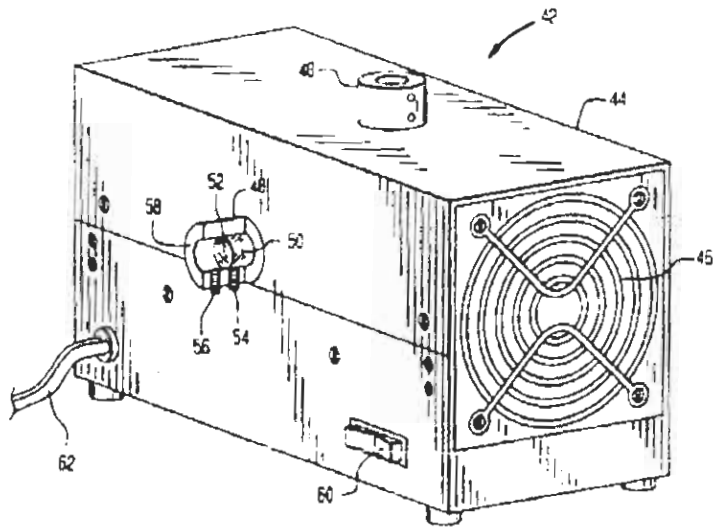
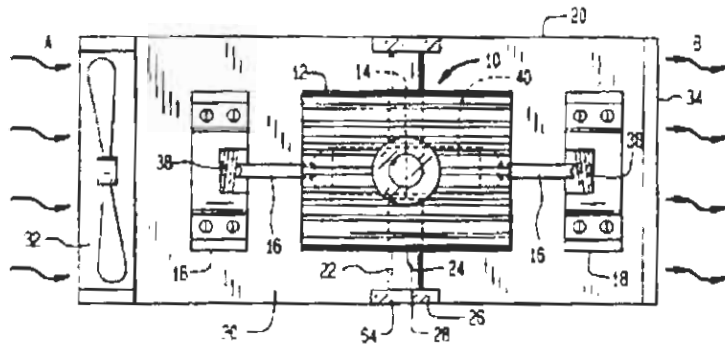
Στο γράφημα 1 μπορούμε να δούμε την καρδιά της συσκευής φωτισμού με οπτικές ίνες, η οποία χαρακτηρίζεται γενικώς με το νούμερο 10. Περιλαμβάνει ένα κυλινδρικό αλουμινένιο με εξωτερικά πτερύγια (ψύκτρες) δοχείο απαγωγής θερμότητας (νούμερο 12) η οποία είναι οριζόντια τοποθετημένη στη βασική πλατφόρμα (νούμερο 30). Στο κέντρο του εσωτερικού του δοχείου απαγωγής θερμότητας και κατά μήκος του είναι μια λάμπα -δύο ακροδεκτών- αερίου στην οποία παράγεται φως με τονισμό του αερίου μεταξύ δυο ηλεκτροδίων (νούμερο 14) η οποία έχει τα μεταλλικά άκρα στήριξής της (νούμερο 16) λειτουργικά συνδεδεμένα σε υποδοχές ακροδεκτών (νούμερο 18). Οι ακροδέκτες αυτοί είναι επίσης τοποθετημένοι πάνω στην πλατφόρμα (νούμερο 30). Η συσκευή (νούμερο 10) επίσης περιλαμβάνει τρεις άκαμπτες διαφανείς ράβδους (νούμερο 22) οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι παρακείμενα με το εσωτερικό τους μέσω οπών (νούμερο 24) με το δοχείο απαγωγής θερμότητας (νούμερο 12). Κάθε ένας από τους διαφανείς ράβδους είναι

τοποθετημένος παράλληλα με το έδαφος και έχει υποστεί κατάλληλο γυάλισμα. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3 το εσωτερικό των άκρων (νούμερο 40) κάθε διαφανή ράβδου (νούμερο 22) είναι τοποθετημένη κοντά στην ηλεκτρική λυχνία. Το εσωτερικό κάθε ράβδου είναι επιστρωμένο με διηλεκτρικό υλικό, έτσι όπως ένας καθρέπτης έχει 0° μοίρες πρόσπτωση η οποία επιλέγεται για να αντανακλά την IR ακτινοβολία σε μήκος κύματος γύρω στα 750 με 1200 [nm]. Το εκπεμπόμενο φως από την ηλεκτρική λυχνία περιλαμβάνει υπέρυθρα αλλά και υπεριώδη ακτινοβολία σε μήκος κύματος λιγότερο από 450 [nm] και μεγαλύτερο από 750 [nm] αντίστοιχα όπως και το φως υπό ορατό φάσμα. Ένα μέρος της μη επιθυμητής υπέρυθρης είναι αρχικά αντανακλώμενη πίσω αλλά αποτρέπεται από το να μεταδοθεί μέσω των διαφανών ράβδων (νούμερο 22) από το διηλεκτρικό στρώμα. Με αυτό τον τρόπο η υπέρυθρη ακτινοβολία διασκορπίζεται μέσα στο δοχείο απαγωγής θερμότητας και ακολούθως διαχέεται στον αέρα. Τα πτερύγια του δοχείου απαγωγής θερμότητας βοηθούν στην διάχυση της θερμότητας. Οι διαφανείς ράβδοι (νούμερο 22) είναι ειδικά κατασκευασμένοι από γυαλί ανθεκτικό στην υψηλή θερμοκρασία, γνωστό σαν Pyrex. Επίσης και ο φυσικός ή ο τεχνητός χαλαζίας θα ικανοποιούσε τις συγκεκριμένες ανάγκες χρήσης του στην ειδική αυτή εφαρμογή. Οπότε η ορατή εκπομπή φωτός από το εξωτερικό άκρο (νούμερο 48) του διαφανή σωλήνα (νούμερο 22) είναι απελευθερωμένη από την υπέρυθρη αλλά και υπεριώδη

ακτινοβολία μέχρι το φάσμα των 1500 [nm]. Με σκοπό όμως να μειώσουμε δραστικά την υπέρυθρη ακτινοβολία ένας διαφανής δίσκος (νούμερο 26) προστίθεται ο οποίος έχει την ίδια επεξεργασία αλλά και επίστρωση όπως οι διαφανείς ράβδοι πάνω στα άκρα των οποίων τοποθετείται. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία να φιλτράρεται ξανά εκμηδενίζοντας έτσι το ποσοστό το οποίο απελευθερώνεται. Το κάλυμμα της συσκευής (νούμερο 20) αποτελείται από αδιαφανή τοιχώματα με σκοπό την μείωση της λάμψης από την λυχνία πυράκτωσης. Στο ένα άκρο του περιβλήματος υπάρχει ένας αξονικός ανεμιστήρας (νούμερο 32) ο οποίος χρησιμοποιείται για να ψύχει το εσωτερικό της συσκευής. Ο διάφανος δίσκος (νούμερο 26) είναι συνδεδεμένος στο εσωτερικό τοίχωμα του εξωτερικού καλύμματος τη συσκευής και ευθυγραμμισμένος με την οπή (νούμερο 64). Το μάτσο με τις οπτικές ίνες τοποθετείται από την εξωτερική μεριά του περιβλήματος στο εσωτερικό της οπής εισερχόμενο στο εσωτερικό της διαφανής ράβδου. Για να βελτιστοποιήσουμε την οπτική επαφή κάθε διαφανής ράβδου με το μάτσο των οπτικών ινών ένα λεπτό αλουμινένιο περίβλημα τοποθετείται κατά μήκος της κυλινδρικής επιφάνειας. Στο γράφημα 4 διακρίνουμε όπως ένα αδιαφανή εξωτερικό κάλυμμα (νούμερο 44) το οποίο στη μια μεριά του υπάρχουν γρίλιες (νούμερο 46) έτσι ώστε να μπορεί να δουλεύει αποτελεσματικά ο εσωτερικό ανεμιστήρας. Το μάτσο με τις οπτικές ίνες μπορεί να

εισέλθει στο εσωτερικό της σωληνοειδούς υποδοχής (νούμερο 58) όπου εκεί ευθυγραμμίζεται και συγκρατείται στη σωστή θέση μέσω της ρύθμισης των βιδών (νούμερο 56, 54). Επίσης υπάρχει ο διακόπτης παροχής (νούμερο 60) ο οποίος προμηθεύει ρεύμα τη συσκευή μέσω του καλωδίου (νούμερο 62).





3.2.2 Εφαρμογή Β

Θα αναλύσουμε ακολούθως ένα σύστημα φωτισμού που αποτελείται από ένα μεταλλικό κουτί που περιέχει λάμπα, ανακλαστήρα, φίλτρο φωτισμού και ανεμιστήρα απαγωγής θερμότητας. Στην έξοδό του έχει πολυπληθείς οπτικές ίνες.

Η περιφερειακή κατά μήκος εκπομπή φωτός της οπτικής ίνας είναι χρήσιμη για φωτισμό περιοχής όπως γύρω από κολυμβητικές δεξαμενές, πεζοδρομων και για άλλες διακοσμητικές πλην όμως ασφαλείς εφαρμογές. Σε μια τέτοια τυπική εφαρμογή περισσότερες από μια οπτικές ίνες ξεκινούν από τη συσκευή ώστε να καταστεί δυνατόν να καλύψουν όλη την περιοχή. Οι εφαρμογές αυτές είναι σε εξωτερικούς χώρους με αποτέλεσμα την έκθεση στα στοιχεία της φύσης. Η συσκευή φυσικά βρίσκεται σε στεγασμένο χώρο. Η συσκευή αποτελείται από μια μεγάλης ευαισθησίας λυχνία εκκένωσης αερίου στην οποία παράγεται φως με ιονισμό του αερίου μεταξύ δυο ηλεκτροδίων. Επίσης, υπάρχει ένας εσωτερικός ανακλαστήρας ο οποίος προσαρμόζεται να συγκεντρώνει το φως από την λάμπα στην οπτική ίνα. Υπάρχει μηχανισμός ακόμα η δυνατότητα τοποθέτησης ενός τροχού με χρώματα ή κάποιου είδους χρωματικού φίλτρου ο οποίος μπορεί να τοποθετηθεί ανάμεσα στη λάμπα και στο καλώδιο της οπτικής ίνας. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να ελεγχθεί το χρώμα του προσπίπτοντος φωτός. Τέτοιες συσκευές υποφέρουν από

συγκεκριμένα μειονεκτήματα. Η λάμπα είναι κύρια πηγή υψηλών θερμοκρασιών.

Το πρόβλημα είναι αρκετά οξύ γιατί οι ανακλαστήρες των τυπικών πηγών ψυχρού φωτός οδηγούν το φως σε ένα εστιακό σημείο που συμπίπτει με τις απολήξεις των οπτικών ινών. Το φως που συγκεντρώνεται (όπως και η θερμότητα) στις εισόδους των οπτικών ινών μπορεί να λιώσει και να διαστρέψει τις ίνες. Για να αποφευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται πλάκες (integral face plates) και κυλινδρικό φιλτράρισμα του ανακλαστήρα. Ένας τρόπος απαγωγής της θερμότητας είναι επίσης οι ανεμιστήρες για την κυκλοφορία αέρα στο εσωτερικό του κουτιού, αλλά και οι ψύκτρες. Όπου ψύκτρες εννοούμε ένα ανάγωγο θερμότητας με μορφή σκληρής μεταλλικής επιφάνειας που μπορεί να φέρει πτερύγια.

Συνήθως η τοποθέτηση της λάμπας σε σχέση με τις ρυθμίσεις του ανακλαστήρα γίνεται είτε ολοκληρωτικά κατά την ώρα της κατασκευής είτε εποχικά ή με κάποια άλλη μόνιμη τοποθέτηση κατά την διάρκεια της αρχικής συναρμολόγησης. Η γνωστή χρωματική διάταξη χρειάζεται για την πλειονότητα των διχρωμικών γυαλιών τα οποία αντανακλούν φως από ένα χρώμα και εκπέμπουν άλλο. Τα διχρωμικά αυτά γυαλιά είναι τοποθετημένα στη μετακινούμενη πλατφόρμα για διαχωρισμό ανάμεσα στη λάμπα και στις απολήξεις των οπτικών ινών. Συνήθως χρειαζόμαστε ένα χρωματικό τροχό ο οποίος λειτουργεί με τη βοήθεια ενός βηματικού κινητήρα. Εποχική κόλλα ή κάποιο

παρόμοιο είδος χρησιμοποιείται για να σταθεροποιήσει τα φίλτρα περιμετρικά στα ανοίγματα του χρωματικού τροχού. Εναλλακτικός τρόπος θα ήταν η τοποθέτηση των φίλτρων πάνω στο τροχό με βίδες, με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή και η εναλλαγή τους οποτεδήποτε το θελήσουμε, αν και η ενέργεια αυτή καθίσταται αρκετά δύσκολη.

Είναι μια σύγχρονη συσκευή φωτισμού η οποία χρησιμοποιεί τις οπτικές ίνες για σημειακό αλλά και κατά μήκος φωτισμού.

Η πηγή φωτός αποτελείται από μια λάμπα υψηλής ευαισθησίας η οποία σε συνεργασία με ένα ελλειψοειδή ανακλαστήρα (κάτοπτρο) κατευθύνουν το φως από τη λάμπα στην οπτική ίνα.

Η σύνδεση μεταξύ της λάμπας και των ινών επηρεάζεται γιατί η λάμπα είναι τοποθετημένη κατά τον ανακλαστήρα και οι απολήξεις των οπτικών ινών απέναντι από αυτή. Η τοποθέτηση αυτή σε μια μη εστιακή ζώνη διαιρεί την είσοδο του φωτός και εμποδίζει την έντονη συγκέντρωση εστιασμένου φωτός στο σύστημα αέρα-εισόδου των ινών. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε μια πλατφόρμα που εμπεριέχεται στην συσκευή η οποία καθιστά ικανή την ρύθμιση τριών μοιρών ελευθερίας στην σχέση εγκατάστασης ανάμεσα στην λάμπα και τον ανακλαστήρα. Το κάλυμμα αποτελείται από δυο μέρη ενωμένα με μεντεσέδες. Υπάρχουν επίσης κινητές γρίλιες που μπορούν να περιστραφούν κατά 90

μοίρες και αποτελούν μέρος του συστήματος ψύξεως και εξαερισμού.

Επιπλέον το πλαίσιο στήριξης μεταξύ των καλωδίων και του κουτιού χρησιμοποιεί μία απλή κατασκευή ράβδου που περιέχει ένα συμπίεζον κολάρο για να κρατάει τις ίνες εντός της ράβδου. Η εναλλαγή των χρωμάτων γίνεται με την βοήθεια ενός τροχού χρωμάτων ο οποίος κινείται με την βοήθεια βηματικού κινητήρα και που περιέχει ανοίγματα με οριακά διαστήματα για περιμετρική εξασφάλιση του χρωματικού φίλτρου. Μία άλλη εφαρμογή της ίδιας συσκευής είναι με μια κατά μήκος φωτιζόμενη οπτική ίνα. Μια τουλάχιστον οπτική ίνα είναι τοποθετημένη ελικοειδώς σε μια διαφανή προστατευτική θήκη.

Για καλύτερη κατανόηση της συσκευής παρακάτω επεξηγούνται τα 22 βασικά γραφήματα.

Στο γράφημα 1 παρατηρούμε την σχηματική τρισδιάστατη έκφραση της συσκευής.

Το γράφημα 2 είναι μια αναγνωριστική, εξερευνητική άποψη των περιεχομένων εξαρτημάτων της συσκευής.

Στο γράφημα 3 παρατηρούμε αναλυτικά την εσωτερική δομή αλλά και την κατασκευή του προστατευτικού κελύφους της συσκευής.

Στα γραφήματα 4,5,6 εικονίζεται αναλυτικά ο χρωματικός τροχός. Παρουσιάζεται στο γράφημα 4 η μπροστινή του όψη ενώ στο

γράφημα 6 η πίσω όψη. Ενώ στο γράφημα 5 εικονίζεται η επιμέρους τομή του χρωματικού τροχού στο σημείο 5-5.

Στο γράφημα 7 βλέπουμε μια κατά μήκος του συστήματος ανακλαστήρας-λάμπα-οπτική ίνα.

Στο γράφημα 8 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση της διάδοσης του φωτός μέσω του ανακλαστήρα.

Στο γράφημα 9 έχουμε μια οπίσθια τρισδιάστατη κατά κάποιο τρόπο σχεδίαση του ανακλαστήρα.

Στο γράφημα 10 παρατηρούμε την κάτοψη του συστήματος ανακλαστήρας-λάμπα.

Ομοίως στο γράφημα 11 έχουμε άλλη μια επεξηγηματική όψη του ανακλαστήρα μαζί με κάποια από τα εξαρτήματα στήριξής του.

Στα γραφήματα 12 έως 22 έχουμε διαφορετικές παρουσιάσεις κατασκευής της οπτικής ίνας.

Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή φωτισμού με οπτικές ίνες αποτελείται από το προστατευτικό της κάλυμμα κατασκευασμένο από αλουμίνιο (νούμερο 14) το οποίο χωρίζεται στο άνω και κάτω μέρος (νούμερα 15,16) τα οποία ενώνονται με τη βοήθεια των αρμών ένωσης (νούμερο 17). Τα νούμερα 19,20,24,45 αποτελούν τα πλευρικά τοιχώματα του προστατευτικού καλύμματος της

συσσκευής ενώ το νούμερο 22 είναι η ορθογώνια βάση του συστήματος. Τα νούμερα 26a,26b αντιπροσωπεύουν εσωτερικές κοιλότητες που υπάρχουν μέσα στην συσκευή.

Γενικά όμως όλα τα παραπάνω δεν είναι τίποτα περισσότερο αλλά το προστατευτικό κέλυφος για την καρδιά του συστήματος, το οπτικό σύμπλεγμα (νούμερο 30). Το οπτικό αυτό σύμπλεγμα περιλαμβάνει μια υψηλής ευαισθησίας λάμπα εκκένωσης αερίου στην οποία παράγεται φως με ιονισμό του αερίου μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων. Η λάμπα αυτή τοποθετείται ανάμεσα σε ένα ανακλαστήρα (νούμερο 32) και στερεώνεται από το κολάρο, σφικτήρα του ιδίου (νούμερο 33). Ο ανακλαστήρας στερεώνεται πάνω σε μια V βάση (νούμερο 34) η οποία βιδώνεται αυτή όπως και όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα πάνω στην κύρια πλατφόρμα του συστήματος (νούμερο 37). Ένας σωλήνας (νούμερο 38) στηρίζεται μέσω ενός άλλου σφικτήρα (νούμερο 39) και μιας ίδιας σαν την προηγούμενη V βάση (νούμερο 41) πάνω στην ίδια φυσικά πλατφόρμα (νούμερο 37). Η οποία με τη σειρά της βιδώνεται πάνω στην κεντρική βάση, πλατφόρμα (νούμερο 22). Ο σωλήνας, άξονας (νούμερο 38) προσπαθούμε να τον τοποθετήσουμε σε τέτοια θέση ώστε να περνά από το κέντρο του ο οπτικός άξονας εκπομπής του κέντρου του ανακλαστήρα. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε την καλύτερη διάδοση του φωτός μεν αλλά και την εκπομπή όσο περισσότερης φωτεινής δέσμης είναι δυνατόν. Το προστατευτικό κάλυμμα της συσκευής (νούμερο

14) έχει ένα άνοιγμα (νούμερο 45) έτσι ώστε να μπορεί να εξέλθει ο άξονας (νούμερο 38).

Το οπτικό σύμπλεγμα (νούμερο 30) περιέχει επίσης ένα απορροφητικό γυαλί (νούμερο 48) το οποίο τοποθετείται ανάμεσα στον ανακλαστήρα (νούμερο 32) και τον σωλήνα (νούμερο 38) με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το κέντρο του γυαλιού να διαπερνάται από τον οπτικό άξονα εκπομπής. Το απορροφητικό γυαλί είναι στερεωμένο μέσω ενός συστήματος βάσης (νούμερα 51,52,53) πάνω στην κύρια πλατφόρμα (νούμερο 37).

Επίσης υπάρχει ένα σύστημα ενός χρωματικού τροχού (νούμερο 55) το οποίο αποτελείται από το χρωματικό δίσκο (νούμερο 56) και τον άφαλο, κέντρο στήριξης και περιστροφής του τροχού (νούμερο 57). Η κίνηση γίνεται περί του άξονα (νούμερο 58) διαμέσου ενός βηματικού κινητήρα (νούμερο 60). Ο χρωματικός δίσκος αποτελείται από διαδοχικά κυκλικά ανοίγματα (νούμερο 61) κατά μήκος της περιφέρειας του δίσκου όπου τοποθετούνται σε κάθε ένα από αυτά διχρωμικά κρύσταλλα τα οποία φιλτράρουν την εκπομπή φωτός με τη μοναδική ικανότητά τους να αντανακλούν διαφορετικό χρώμα από αυτό που προσπίπτει σε αυτούς (νούμερο 64). Οι διχρωμοί κρύσταλλοι επίσης είναι έτσι τοποθετημένα στα ανοίγματα ώστε να ευθυγραμμίζονται απολύτως με κάθε θέση που προσδίδει στον δίσκο ο βηματικός κινητήρας. Συνηθίζεται οι διχρωμικοί κρύσταλλοι να είναι

διαφορετικής εκπεμπόμενης απόχρωσης μεταξύ τους για την πραγματοποίηση του επιθυμητού οπτικού αποτελέσματος.

Ρεύμα για την λάμπα αλλά και για τον βηματικό κινητήρα παίρνουμε από την ηλεκτρική παροχή (νούμερο 68) η οποία είναι βιδωμένη στην κεντρική βάση, πλατφόρμα (νούμερο 22).

Παρακείμενα της εξωτερικής άκρης του χρωματικού δίσκου είναι τοποθετημένος ένας σένσορας θέσης (νούμερο 70) ο οποίος προσδίδει την μηδενική γωνιακή θέση αναφοράς για τον βηματικό κινητήρα.

Στα γραφήματα 5,6 υπάρχουν εκτενείς κατασκευαστικές λεπτομέρειες του χρωματικού δίσκου.

Ο αερισμός της συσκευής γίνεται μέσω των πλαϊνών ανοιγμάτων (νούμερο 89). Τα ανοίγματα αυτά τα οποία αποτελούνται από γρίλιες (νούμερο 90,91) βρίσκεται το ένα απέναντι από το άλλο. Εσωτερικά του ενός ανοίγματος υπάρχει ένας ανεμιστήρας ο οποίος ρουφά αέρα από το άνοιγμα όπισθεν του και τον κατευθύνει στο απέναντι άνοιγμα. Ανάμεσα όμως στα δύο ανοίγματα υπάρχει το σύστημα ανακλαστήρας-λάμπα-οπτική ίνα, φυσικό επακόλουθο είναι λοιπόν η ψύξη του συστήματος αυτού μέσω της κυκλοφορίας του αέρα μέσα στη συσκευή. Οι γρίλιες (νούμερο 94,95) είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο που όχι μόνο να διευκολύνεται η κυκλοφορία του αέρα αλλά και να

προστατεύουν το εσωτερικό της συσκευής από εξωγενείς παράγοντες (σκόνη, βροχή κτλ.)

Στα γράφημα 7 βλέπουμε μια αρκετά αναλυτική εικόνα του άξονα (νούμερο 38). Ο άξονας αυτός χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις απολήξεις των οπτικών ινών (νούμερο 100) μέσα στο προστατευτικό κάλυμμα της συσκευής (νούμερο 14). Με την κατάλληλη αυτή σύνδεση οι οπτικές ίνες δέχονται την εκπομπή φωτός από την λάμπα (νούμερο 31) και τον ανακλαστήρα (νούμερο 32). Ο άξονας (νούμερο 38) είναι σχετικά απλής κατασκευής και αποτελείται από ένα κολάρο συμπίεσης με την μορφή ελαστομερούς ροδέλας (νούμερο 101) και από δύο κυλινδρικούς δακτύλιους (νούμερα 102,103) οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να στερεώσουν την οπτική ίνα με τον άξονα (νούμερο 38). Ο δακτύλιος (νούμερο 103) βιδώνει στο εσωτερικό του δακτυλίου (νούμερο 102) ασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την οπτική ίνα.

Στα γραφήματα 12,13 έχουμε ένα σχηματικό παράδειγμα συναρμολόγησης του άξονα (νούμερο 38). Έχουμε λοιπόν κυλινδρικά προστατευτικά τμήματα νούμερα (202,203). Το τμήμα (νούμερο 202) είναι ακριβώς ίδιο με το (νούμερο 102) που είχαμε αναφέρει προηγούμενα. Υπάρχει επίσης μια ελαστομερής αδιάβροχη φλάντζα (νούμερο 204) η οποία περιορίζει το πίσω μέρος του εξαρτήματος (νούμερο 110) και μπορεί να

χρησιμοποιηθεί όταν η συσκευή χρησιμοποιείται σε περιβάλλον με υγρασία.

Ο συνδετικός δακτύλιος (νούμερο 209) έχει ένα εσωτερικό λεπτότερο δακτύλιο με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορά διαμέτρου μεταξύ της εισόδου και εξόδου. Η μείωση αυτή της διαμέτρου έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση των απολήξεων του εξαρτήματος (νούμερο 208) έτσι ώστε να αγκαλιαστεί όλη η οπτική ίνα περιφερειακά. Είναι φυσικά αυτονόητο ότι η τοποθέτηση αυτή της οπτικής ίνας φέρνει να περνά από το κέντρο ο οπτικός άξονας εκπομπής.

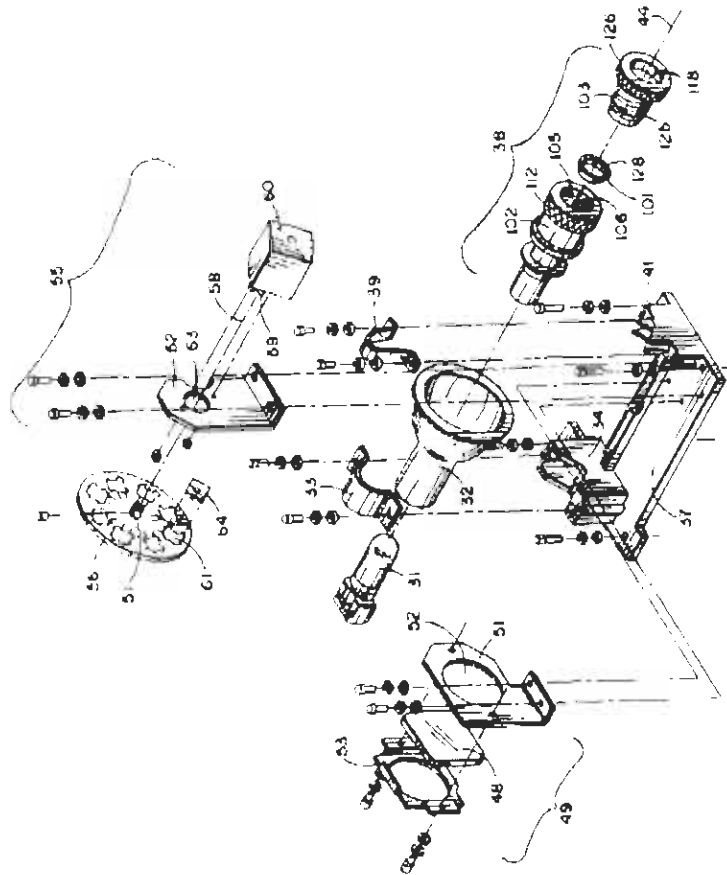
Γύρω επίσης από τις απολήξεις του εξαρτήματος (νούμερο 208) τοποθετείται μια συμπιεστική ελαστική ροδέλα (νούμερο 214) ώστε να προστατέψει το καλώδιο από υπερβολική πίεση που μπορεί να του ασκηθεί μέσω των απολήξεων και να το τραυματίσει.

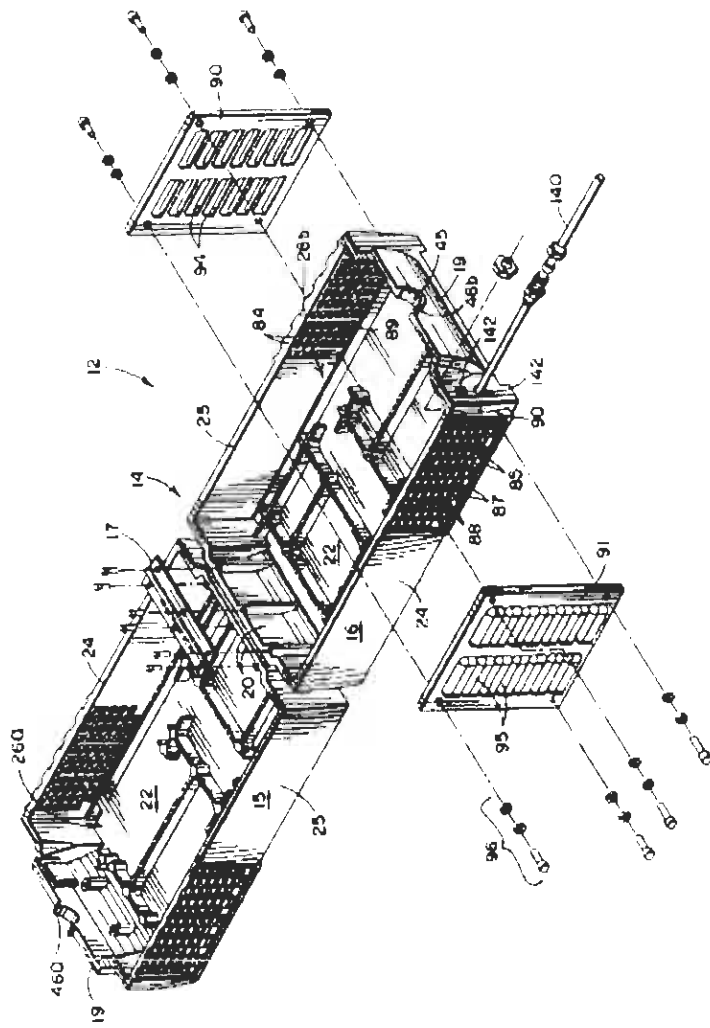
Όπως φαίνεται στο γραφήματα 7,8 ο ανακλαστήρας (νούμερο 32) είναι διαμορφωμένος με ένα κούφιο κυλινδρικό πίσω εξάρτημα (νούμερο 144) προσαρμοσμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δεχθεί την βάση (νούμερο 145) της λάμπας (νούμερο 31) σε αυστηρή αξονική ευθυγράμμιση με τον οπτικό άξονα εκπομπής (νούμερο 44). Η λάμπα είναι κατά τέτοιο τρόπο τοποθετημένη ώστε το ηλεκτρόδιο εκκένωσης (νούμερο 147) να είναι κεντραρισμένο με το κεντρικό εστιακό σημείο (νούμερο 148) της ελλειψοειδούς

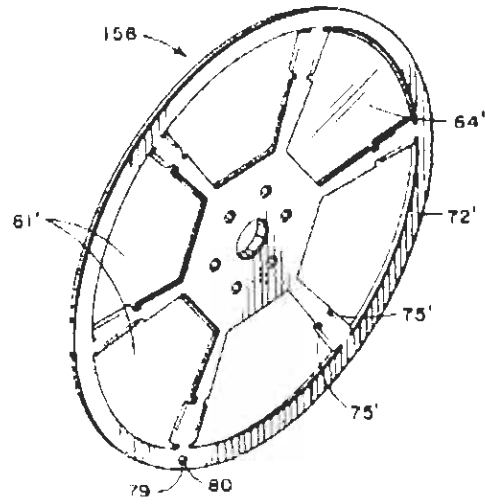
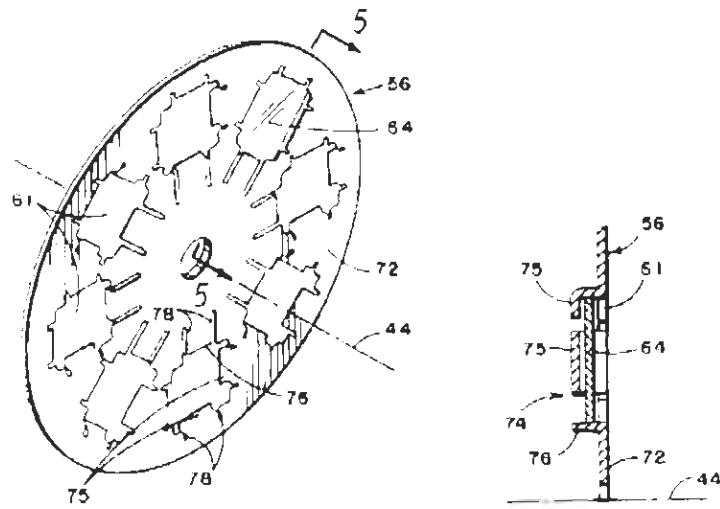
επιφάνειας του ανακλαστήρα (νούμερο 145). Με αυτό τον τρόπο το εκπεμπόμενο φως από την λάμπα (νούμερο 31) μέσω του κεντρικού σημείου (νούμερο 148) εστιάζεται στο κεντρικό εστιακό σημείο (νούμερο 149) στην αρχή οπτικής ίνας. Οι ακριβείς θέσεις, αποστάσεις προκύπτουν μέσω των κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων που βοηθούν στον προσδιορισμό του κεντρικού εστιακού σημείου.

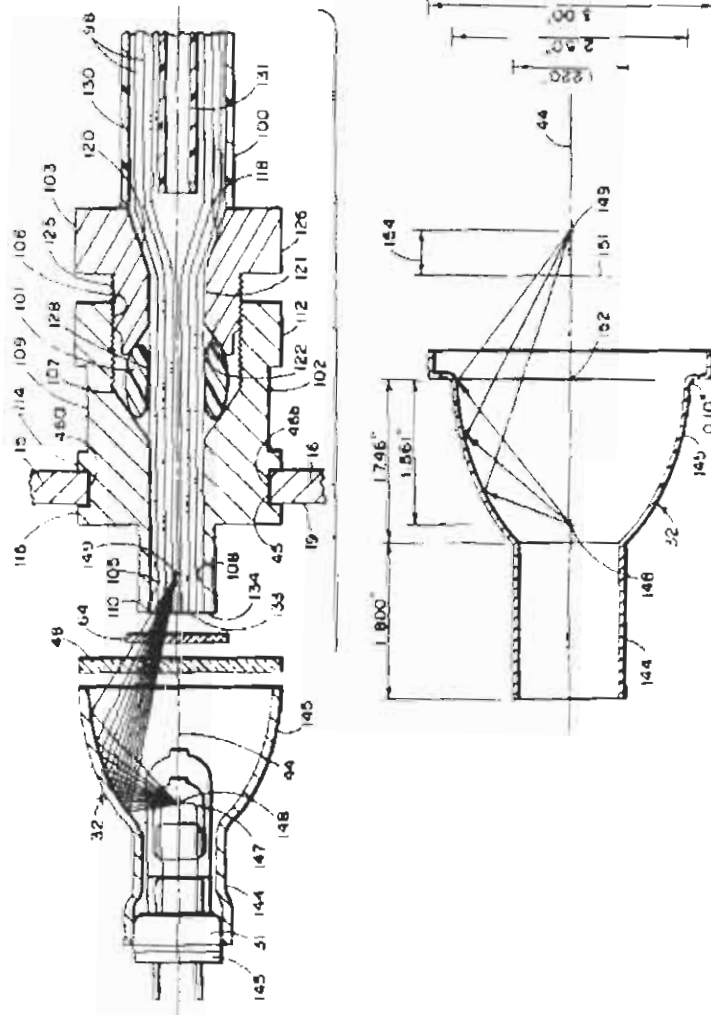
Όσον αναφορά τώρα το γράφημα 14, 14A βλέπουμε καλώδιο ινών πλαγίου φωτισμού. Δηλαδή εκτός από το φως που εκπέμπει στην απόληξή της η οπτική ίνα εκπέμπει φως και σε όλο το μήκος της.

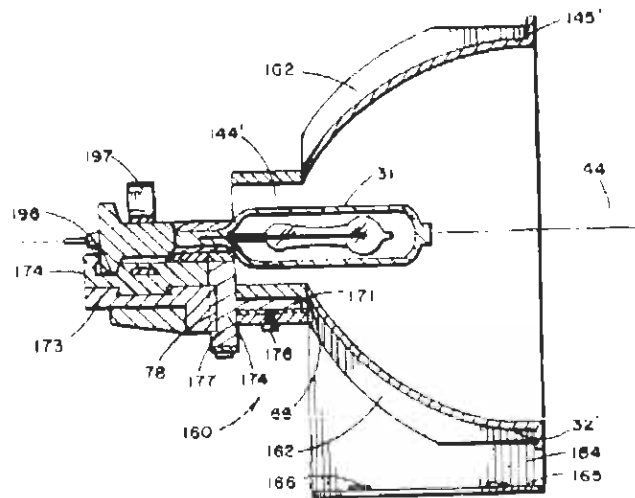
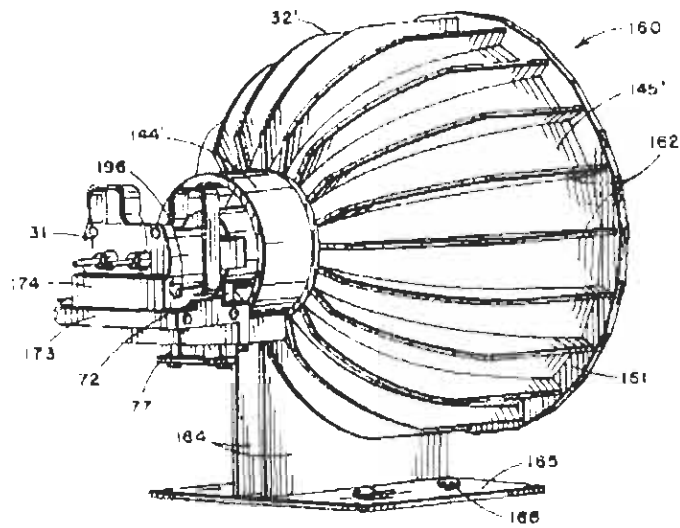
Η οπτική αυτή ίνα (νούμερο 220) έχει τον κεντρικό πυρήνα (νούμερο 222) και αποτελείται από ένα διαμήκη κοίλο σωλήνα από εύκαμπτο σταθερό υλικό. Ο πυρήνας είναι προτιμότερο να έχει κυκλικό σχήμα ενώ μπορεί να είναι και οβάλ. Ο πυρήνας είναι φτιαγμένος από ανακλαστικό υλικό ή είναι καλυμμένος από ανακλαστικό υλικό έτσι ώστε να εκπέμπει προς τα έξω το διαδεδομένο φως.

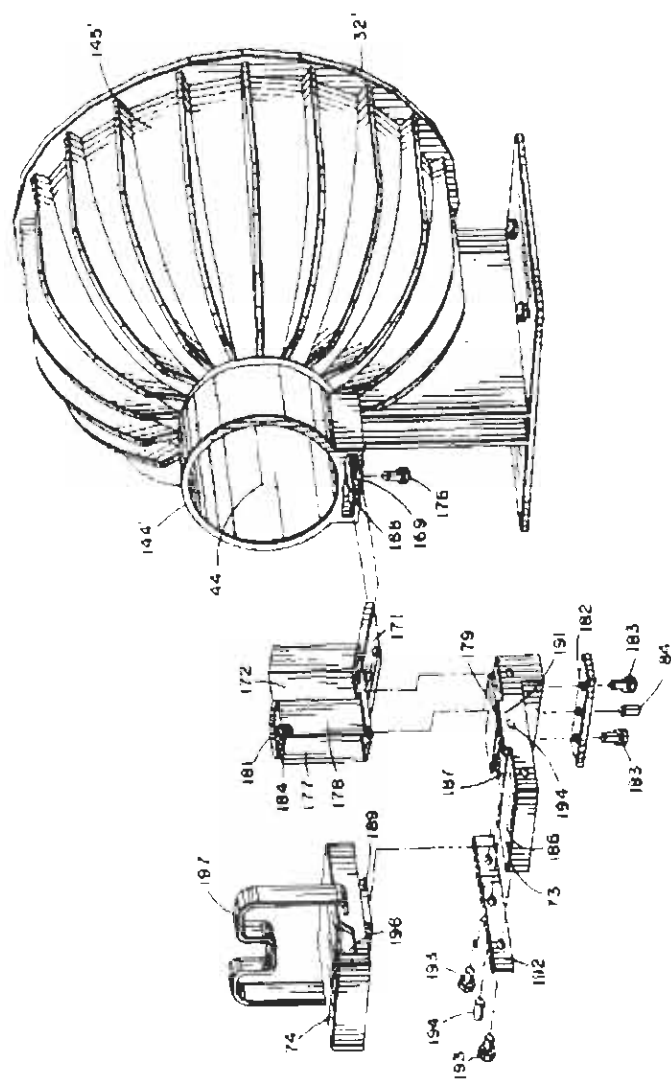


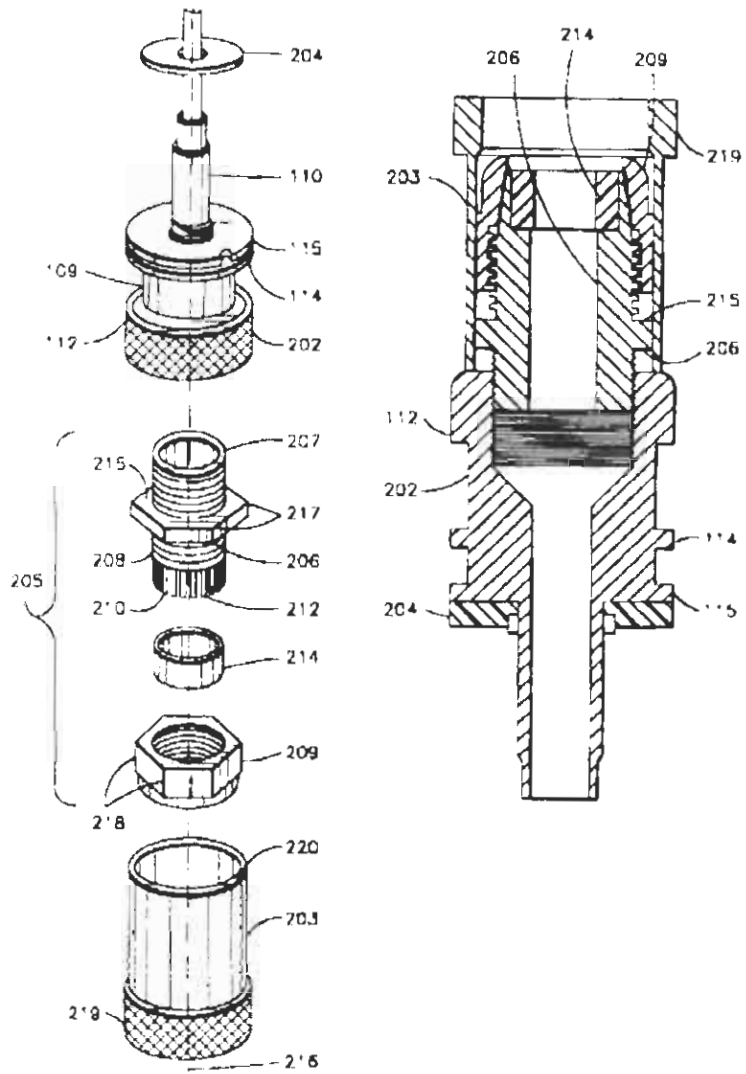


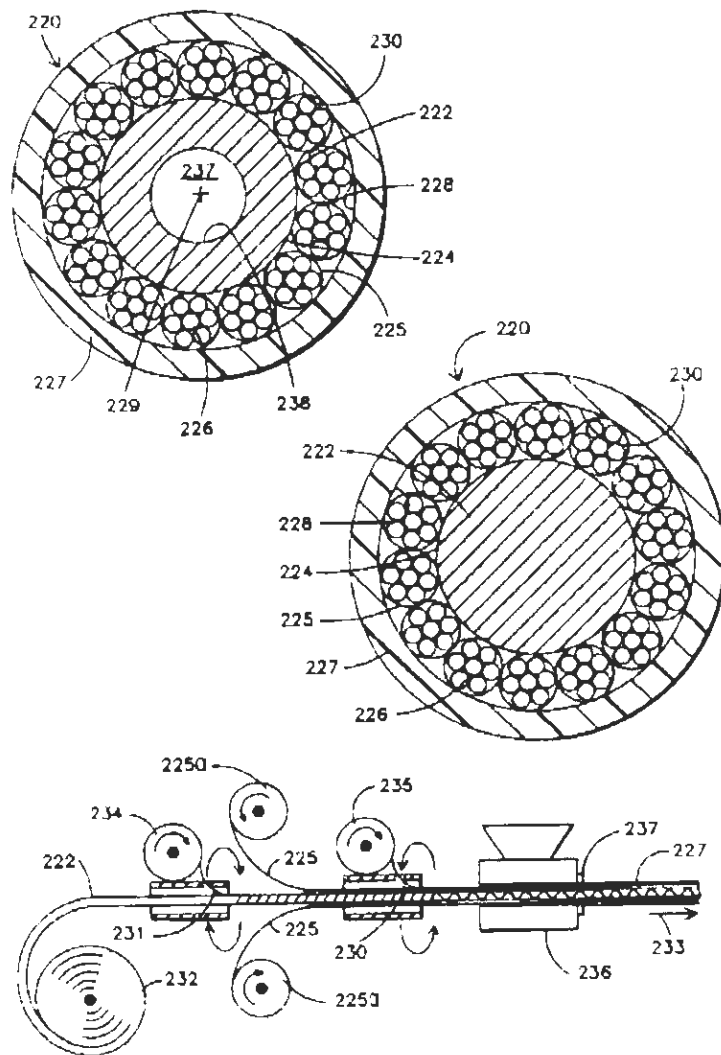


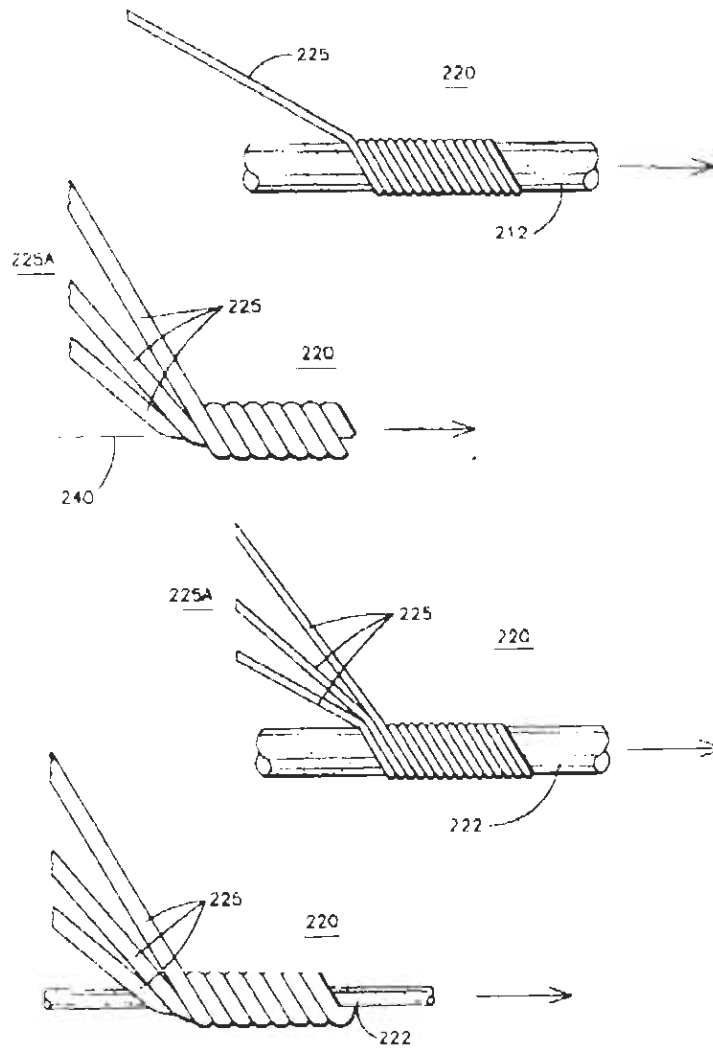


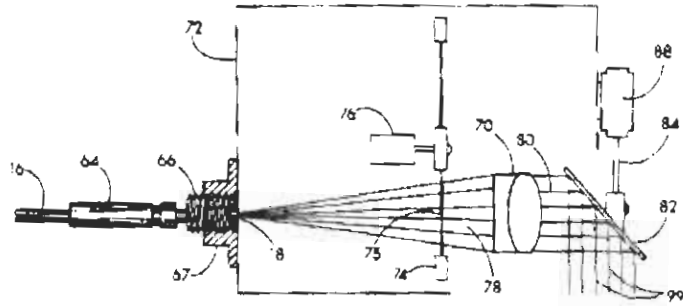
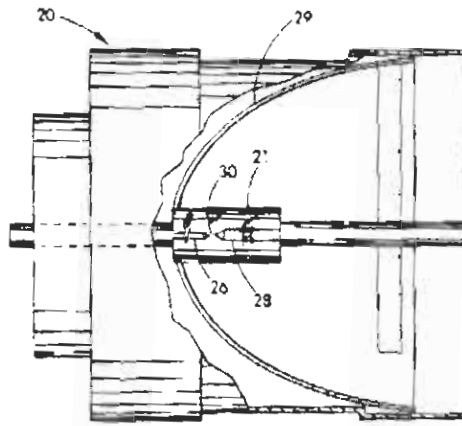










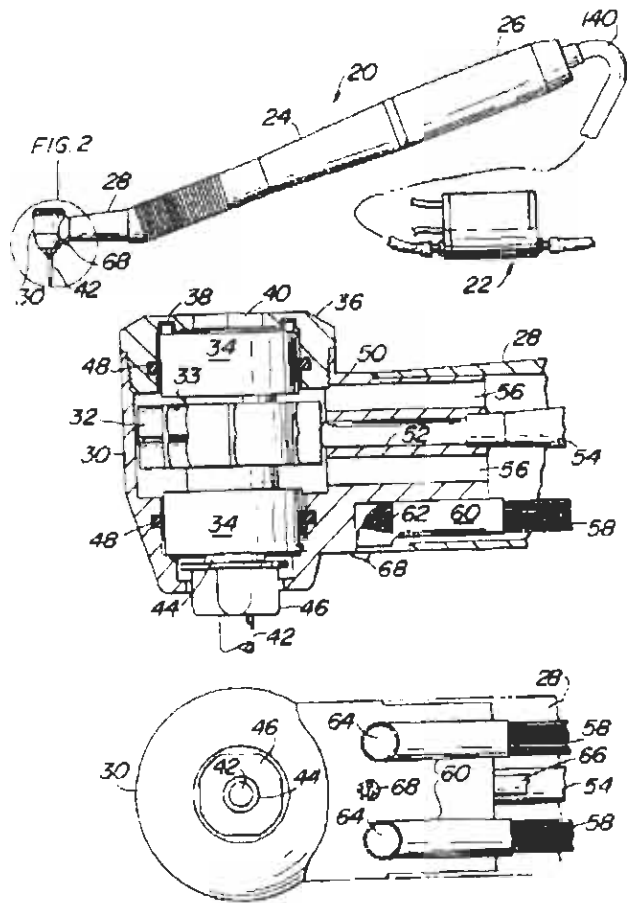


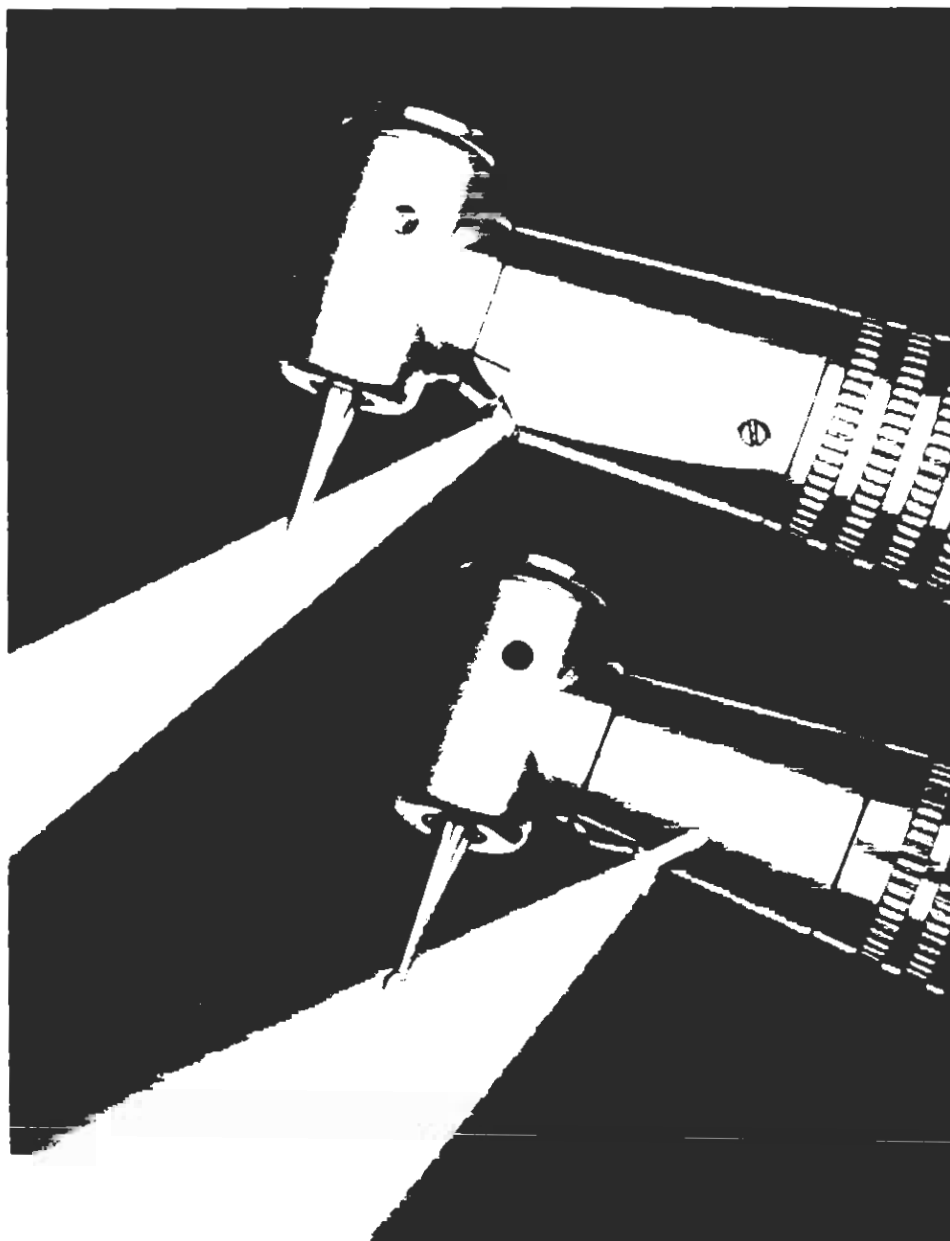
3.3 Πεδία εφαρμογής

Οι οπτικές ίνες στο φωτισμό έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πάρα πολλές εφαρμογές. Παρακάτω αναλύουμε ορισμένες από αυτές.

Οδοντικός τροχός

Ο οδοντικός τροχός λειτουργεί μέσω της πίεσεως του αέρα. Αποτελείται από μια κούφια λαβή και από το θύλακα του στροβίλου στο ένα του άκρο. Στον θύλακο περιλαμβάνεται ένας ρότορας (στροφέας) ο οποίος αποτελείται από πτερύγια των οποίων η μορφή και οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι σχεδιασμένες με εξαιρετική ακρίβεια. Η παροχή αέρα πραγματοποιείται μέσω της λαβής και από δύο κενούς σωλήνες διασκευασμένοι έτσι ώστε να εγχέουν αέρα υπό πίεση στο θύλακα του στροβίλου και ιδιαίτερα εναντίον των περιορισμένων πτερυγίων του. Το σύστημα με τις οπτικές ίνες είναι και αυτό ενσωματωμένο στη λαβή και κατά τέτοιο τρόπο προσαρμοσμένο έτσι ώστε να δίνει απευθείας φωτισμό στο σημείο όπου δουλεύει ο τροχός.



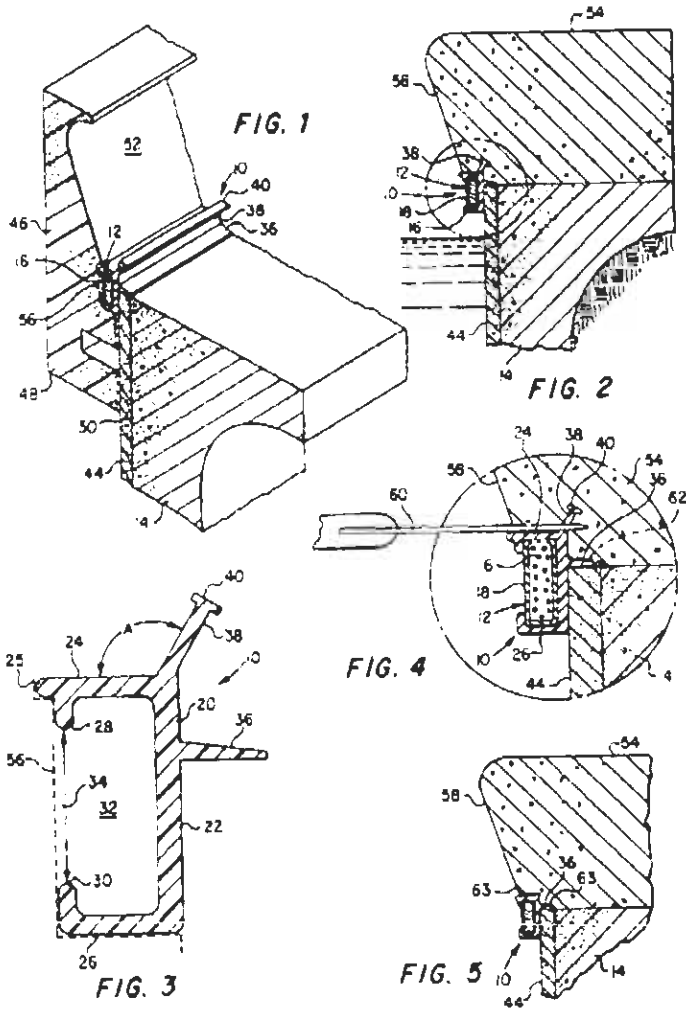


Κολυμβητική δεξαμενή

Ένα κανάλι καθορίζει το τμήμα της διαδρομής που θα στερεώσει το σύστημα των οπτικών ινών γύρω από την εσωτερική περίμετρο του τοιχώματος μιας κολυμβητικής δεξαμενής. Το κανάλι αποτελείται από σύνθεση πολυμερούς υλικού. Σε αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιούμε οπτική ίνα η οποία εκτός από το φως που εκπέμπει στην απόληξή της, εκπέμπει και φως πλάγια σ' όλο της το μήκος.

Μπιλιάρδο

Κάτω από το τραπέζι του μπιλιάρδου εγκαταστούμαι τη γεννήτρια φωτός των οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες τοποθετούνται περιμετρικά του τραπεζιού και ανάμεσα στην εσοχή που υπάρχει μεταξύ του δαπέδου του τραπεζιού των πλαϊνών δοκών

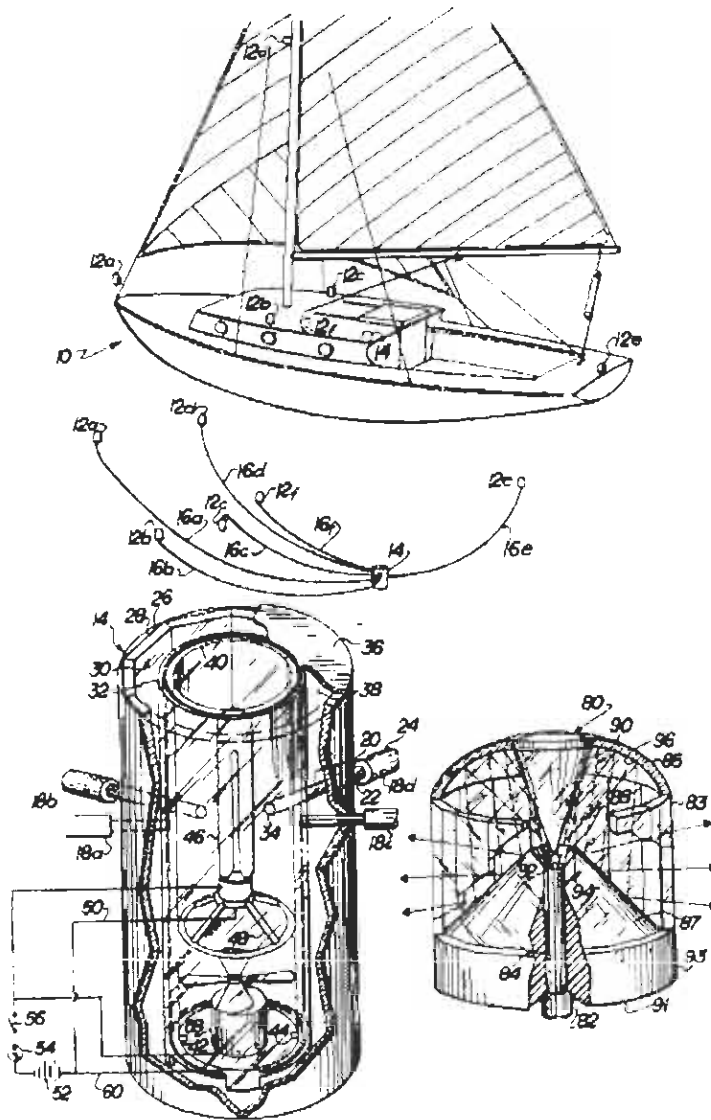


Σηματοδότηση ιστιοφόρου

Το σύστημα φωτισμού με οπτικές ίνες περιλαμβάνει την κεντρική γεννήτρια παροχής φωτός και μια πλειάδα καλωδίων οπτικών ινών τα οποία διατρέχουν το ιστιοφόρο για να καταλήξουν το κάθε ένα στην αντίστοιχη θέση του. Η γεννήτρια είναι τοποθετημένη μέσα σε ένα διαφανή σωλήνα ο οποίος έχει στρογγυλά ανοίγματα.

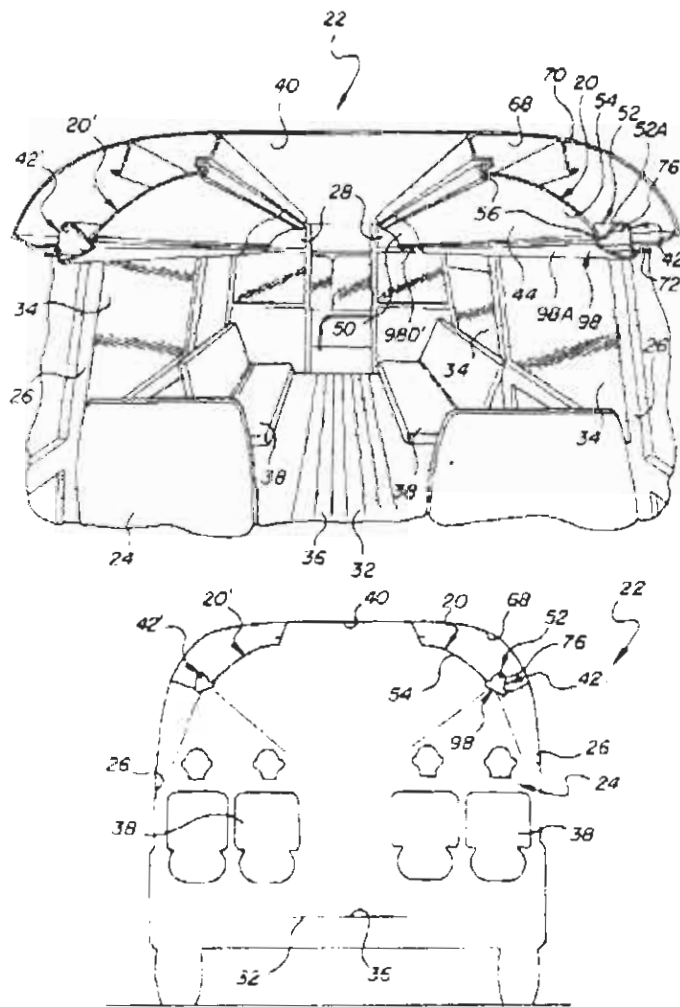
Ένας δεύτερος διαφανής σωλήνας είναι ομοκεντρικά τοποθετημένος σε κοντινή απόσταση από τον πρώτο διαφανή σωλήνα.

Μια εσωτερικά καθρεπτιζουσα θαλάμη περιβάλλει περιφερειακά τον πρώτο και τον δεύτερο διαφανή σωλήνα. Τα καλώδια των οπτικών ινών που διανέμουν το φως στο ιστιοφόρο παίρνουν μέσα από τα στρογγυλά ανοίγματα του δεύτερου αλλά και του πρώτου διαφανή σωλήνα. Με αυτόν τον τρόπο καταλήγουν στην καθρεπτιζουσα θαλάμη από τη οποία παίρνουν πλέον το εκπεμπόμενο φως.



Φωτισμός σηματοδότησης οχημάτων

Η εφαρμογή αυτή έχει όμοια σημεία με την σηματοδότηση ιστιοφόρου αλλά και τις γενικές αρχές του φωτισμού αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή η γεννήτρια παίρνει ρεύμα από το ηλεκτρικό σύστημα του φορτηγού ενώ υπάρχει στην καμπίνα οδήγησης ο διακόπτης έναρξης, παύσης λειτουργίας. Τα καλώδια των οπτικών ινών ξεκινούν από την γεννήτρια φωτός και μεταφέρουν το φως σε κάθε γωνία του οχήματος αλλά και εσωτερικά στο χώρο των αποσκευών σηματοδότησης το όχημα. Κατά τον ίδιο τρόπο γίνεται και ο φωτισμός πλέον της καμπίνας των επιβατών ενός λεωφορείου.

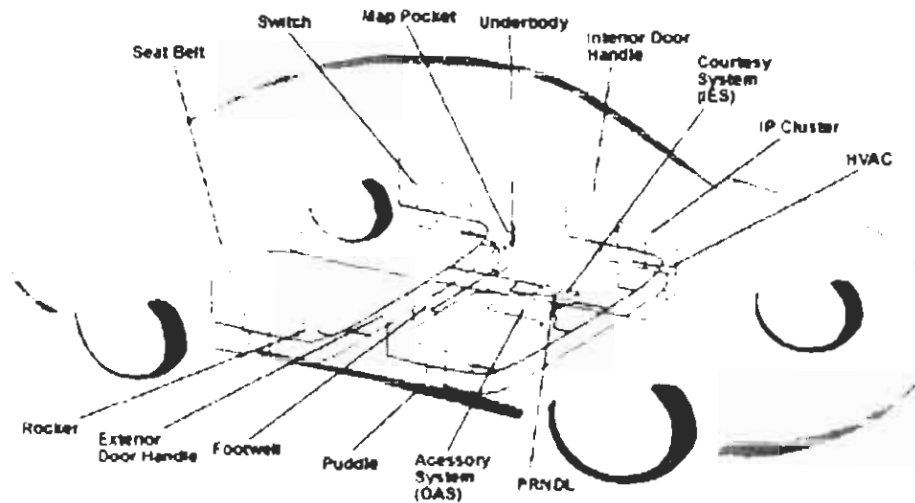


Φωτισμός αυτοκινήτου

Το 1963 για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν κάποιες πού απλές διατάξεις οπτικών ινών από την General Motors. Δεν ήταν τίποτα περισσότερο από μία λυχνία πυρακτώσεως (κοινό λαμπάκι) που με την προσαρμογή σε κοντινή απόσταση μιας δέσμης οπτικών ινών (fiber optic bundle) «ήλπιζε» να συγκεντρώσει αρκετό φως ώστε να το μεταφέρει σε μικρή απόσταση για να φωτίσει το ταχύμετρο...

Σήμερα η μοντέρνα σχεδίαση και οι βελτιώσεις στις πηγές φωτισμού, τις πλαστικές οπτικές ίνες, τους συνδετήρες και τα οπτικοηλεκτρικά συστήματα επιτρέπουν να γίνουν πραγματικότητα πρωτοποριακά συστήματα φωτισμού, αισθητήρες και συστήματα μετάδοσης πληροφορίας.

Τα πλεονεκτήματα όλων αυτών των συστημάτων δεν είναι άλλα από το μικρό βάρος και την αναισθησία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε σχέση με τα αντίστοιχα καλώδια χαλκού που απαιτούνται και που για να κάνουν την ίδια δουλειά χρειάζονται ειδική θωράκιση και τοποθέτηση σε συγκεκριμένους χώρους του αυτοκινήτου. Η μικρότερη κατανάλωση ρεύματος που επιτυγχάνεται με την χρήση πηγών ψυχρού φωτισμού στο αυτοκίνητο είναι επίσης σημαντική αφού μέχρι σήμερα πρέπει να χρησιμοποιούνται πολλές διαφορετικές μεταξύ τους λυχνίες που χρειάζονται μεγαλύτερη ενέργεια.



Με τις οπτικές ίνες επίσης έχουμε τη δυνατότητα ομοιόμορφου φωτισμού αφού από μια και μόνο πηγή μπορούμε να φωτίσουμε σε πολλαπλά σημεία επιτυγχάνοντας την ομοιομορφία φωτισμού που είναι σχεδόν αδύνατη με παραδοσιακές λυχνίες. Οι βελτιώσεις των οπτικών βρίσκονται κυρίως σε κατασκευαστικό επίπεδο. Μετά την έκρηξη των τηλεπικοινωνιών οπτικών ινών τη δεκαετία του 1980 οι κατασκευάσαν πλαστικές οπτικές ίνες με μεγάλη καθαρότητα και με μικρές απώλειες. Έτσι σήμερα οι συνηθισμένες οπτικές ίνες είναι διαμέτρου 1 χιλιοστού χωρίς μεταβολές στη διάμετρο, χαμηλή εξασθένηση και μεγάλη αντοχή σε περιβαλλοντικές αλλαγές συνθηκών αλλά και επαφή με χημικά, νερό λάδια που μπορεί να διαρρεύσουν από τα υδραυλικά συστήματα ενός αυτοκινήτου.

Ανάγκες και λύσεις

Οι σχεδιαστές των νέων συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες δεν προσπαθούν απλά να παρουσιάσουν κάτι νέο ή κάτι διαφορετικό. Οι αναλύσεις των αναγκών των επιβατών στα καθημερινά επιβατικά αυτοκίνητα τους επιτρέπουν να γνωρίσουν ότι οι περισσότεροι οδηγοί θεωρούν ελλιπή αν και όχι τόσο απαραίτητο τον εσωτερικό φωτισμό του αυτοκινήτου. Κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες όταν η κόπωση από την οδήγηση μπορεί να κάνει πολύ δύσκολη ακόμα και την απλή κίνηση τοποθέτησης της ζώνης ασφαλείας, ή της πόρτας ή την ανεύρεση ενός πεσμένου στο πάτωμα κλειδιού.

Οι σχεδιαστές εσωτερικού φωτισμού της εταιρείας Hella σκέφθηκαν να χωρίσουν το χώρο σε λειτουργικές ζώνες. Σε κάθε μια από αυτές χρησιμοποιούνται μία ή δύο λυχνίες αλογόνου ή ξένου για να αντικατασταθούν περίπου 30 συμβατικές «παραδοσιακές» θα λέγαμε, λάμπες πυρακτώσεως. Ο νέος φωτισμός καλύπτει τα όργανα, τους διακόπτες, το στερεοφωνικό. Άλλα σημεία περιλαμβάνουν επίσης τα εσωτερικά φώτα, τα εξωτερικά κάτω από τις πόρτες για να βλέπει που πατά ο οδηγός όταν βγαίνει από το αυτοκίνητο, τα πόμολα στις πόρτες, τις κλειδαριές κλπ.

Συνολικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα συστήματα οπτικών ινών με νέες πηγές επιτυγχάνουν φωτισμό σε πολλά περισσότερα

σημεία και ταυτόχρονα καταναλώνουν 25% λιγότερη ενέργεια. Τα πλεονεκτήματα όπως αναφέρονται από τους κατασκευαστές είναι τα εξής:

Μία λυχνία αλογόνου 20 [W] επιτυγχάνει περισσότερο φωτισμό από 30 λάμπες πυρακτώσεως συνολικής κατανάλωσης 80 [W], κερδίζοντας ενέργεια για άλλα υποσυστήματα.

Ο μικρότερος αριθμός λυχνιών σημαίνει και μικρότερες ανάγκες συντήρησης και χαμηλότερο κόστος επισκευαστών.

Το μικρότερο μέγεθος των εξαρτημάτων αυτών επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία και ευκολία στη σχεδίαση.

Οι καλωδιώσεις των οπτικών ινών και οι συνδετήρες τους δεν επιδρούν καθόλου ούτε επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές των υπολοίπων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων.

Ποικιλία πηγών

Η εταιρεία Philips επίσης ερευνά το ιδιαίτερα σημαντικό θέμα της ανάπτυξης νέων πηγών και συστημάτων οπτικών ινών για εσωτερικό φωτισμό αυτοκινήτων. Αυτό που χρειάζεται να κατασκευαστεί είναι μια μικρών διαστάσεων πηγή που δεν παράγει μεγάλα ποσά θερμότητας και έχει μικρό αριθμητικό άνοιγμα για να ταιριάζει με αυτό των οπτικών ινών. Μέχρι σήμερα

έχουν χρησιμοποιηθεί τρία είδη λυχνιών, πυρακτώσεως αλογόνου και ξένου. Οι λάμπες πυρακτώσεως αν και είναι οι φτηνότερες είναι ογκώδεις και έχουν την μικρότερη απόδοση φωτισμού προς κατανάλωση ([Lm/W]). Παράγουν επίσης θερμότητα που με το χρόνο μπορεί να προκαλέσει ακόμα και λιώσιμο της άκρης της πλαστικής οπτικής ίνας (ειδικά σε σημεία που εκτίθεται στον ήλιο και σε ζεστές χώρες). Γι' αυτούς τους λόγους δεν προτείνονται για μοντέλα μαζικής παραγωγής. Οι λυχνίες αλογόνου και ξένου έχουν μικρές διαστάσεις, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καλύτερη εστίαση του φωτός και υψηλότερη απόδοση, οι λυχνίες ξένου προσφέρουν περισσότερο φωτισμό γιατί αντί νήματος πυρακτώσεως λειτουργούν με τόξο μεταξύ ηλεκτροδίων σε ένα θάλαμο ειδικών αερίων. Η τροφοδοσία τους όμως είναι πιο απαιτητική από αυτή των λυχνιών αλογόνου.

Η General Electric διαθέτει ένα σύστημα φωτισμού με λυχνίες ξένου για τα εμπρός φωτιστικά σώματα των αυτοκινήτων επείγουσας μεταφοράς (όπως τα ασθενοφόρα). Χρησιμοποιεί μια μόνο λυχνία και μια «χοντρή δέσμη» πλαστικών οπτικών ινών (διαμέτρου 12 χιλιοστών) για να διαχωρίσει τη δέσμη φωτισμού σε πολλές ανεξάρτητες μεταξύ τους διαδρομές και να τις εκμεταλλευτεί φωτίζοντας πολλά σημεία. Δημιουργεί τέσσερις φορές δυνατότερο φωτισμό από τις συνηθισμένες λάμπες αλογόνου ισχύος 35 [Lm/W] των φαναριών αυτοκινήτων. Η General Electric έλυσε και το πρόβλημα της υψηλής ακτινοβολίας

UV που παράγεται και επηρεάζει τις πλαστικές ίνες. Η ειδική σχεδίαση επέτρεψε μείωση κατά 99% της ακτινοβολίας UV σε επίπεδα 0,01 [Lm/W] του υπεριώδους φάσματος. Οι προοπτικές για αυτό το σύστημα είναι πολύ θετικές και αναμένεται το 2000 να χρησιμοποιηθεί στα αυτοκίνητα παραγωγής.

Εκτός από την χαμηλότερη θερμοκρασία και την υψηλότερη φωτεινότητα, οι λυχνίες ξένου διαθέτουν ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα. Έχουν πολύ μικρές διαστάσεις. Οι μεγάλων διαστάσεων πηγές χρειάζονται επίσης μεγάλων διαστάσεων κάτοπτρα και φακούς για την εστίαση του φωτός. Η φωτεινότητα μιας πηγής είναι σημαντικός παράγοντας αλλά το ίδιο ισχύει και για την δυνατότητα εστίασης του φωτός στη σωστή κατεύθυνση. Κάτι που στις μικρών διαστάσεων πηγές είναι πολύ πιο εύκολο και αποδοτικό.

Λίγο πριν την εφαρμογή

Οι μηχανικοί της εταιρείας Hella έχουν δοκιμάσει ένα σύστημα εστίασης με rod lenses. Πρόκειται για μικρών διαστάσεων συμπαγής κυλινδρικούς φακούς που επιτυγχάνουν εσωτερικά εστίαση του φωτός που δέχονται από τη μία έδρα του κυλίνδρου. Έτσι στην άλλη έδρα το φως είναι παράλληλο και μπορεί να περάσει ευκολότερα μέσα στην οπτική ίνα.

Η διάταξη περιλαμβάνει λυχνία αλογόνου, το rod lens τοποθετημένο σε δύο εστιακές αποστάσεις από την λυχνία και τον κονέκτορα της οπτικής ίνας. Έτσι ώστε να δημιουργείται ένα ελλειψοειδές κάτοπτρο που περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα. Ο φακός κάνει παράλληλα τη δέσμη αλλά λειτουργεί και σαν μονωτής θερμότητας μεταξύ λυχνίας και οπτικής ίνας. Στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας χρησιμοποιούνται απλούστερες διατάξεις οπτικών στοιχείων για να φωτίσουν το μέγεθος και το σχήμα του κάθε χώρου.

Με πρίσματα για παράδειγμα γίνεται αλλαγή κατεύθυνσης με φακούς Fresnel αλλαγή της διάχυσης του φωτός κλπ. Έτσι οι μηχανικοί της εταιρείας πιστεύουν ότι θα μπορούν σύντομα να φωτίζουν τον εσωτερικό χώρο του αυτοκινήτου, το χώρο κάτω από το ταμπλό, τις μπάρες στις πόρτες, τα πόμολα, τις κλειδαριές κλπ.

Πριν όμως εφαρμοστούν όλα αυτά θα πρέπει οι κατασκευαστές αυτοκινήτων και κυρίως οι διεθνείς επιτροπές ασφαλείας να πεισθούν για την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία τους ώστε να επιτρέψουν να χρησιμοποιηθούν σε μαζική παραγωγή. Τότε θα είναι πολύ πιθανόν όλες οι φωτεινές πηγές ενός αυτοκινήτου να αντικατασταθούν από μια και μόνο λυχνία που με οπτικές ίνες θα φωτίζει τόσο τον εσωτερικό όσο και τον εξωτερικό χώρο.

Όπως αναφέρουν οι ειδικοί οι νέες αυτές πηγές θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και για τα φανάρια των αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα για έξυπνα συστήματα φωτισμού που θα στρίβουν μαζί με τις ρόδες ώστε να κατευθύνουν τη δέσμη ακριβώς στην περιοχή που κατευθύνεται το σχήμα. Συστήματα που χρησιμοποιώντας scanner θα μπορούν να ανυψώνουν τη δέσμη στις ανηφόρες και να την κατεβάζουν χαμηλότερα στις κατηφόρες καθώς επίσης και να προσαρμόζονται στην ταχύτητα του αυτοκινήτου. Είναι γνωστό άλλωστε στους οδηγούς ότι όταν ένα αυτοκίνητο κινείται με μικρή ταχύτητα ο οδηγός χρειάζεται να βλέπει το δρόμο σε μικρή απόσταση περίπου 5-20 μέτρα εμπρός του ενώ με μεγάλη ταχύτητα η απόσταση αυτή αυξάνεται στα 50 με 100 μέτρα.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει σε κακές συνθήκες ορατότητας, ομίχλη ή βροχή όπου η δέσμη των φαναριών πρέπει να φωτίζει χαμηλά και προς τα άκρα του δρόμου ώστε ο οδηγός να μπορεί να δει καθαρά τα όρια του δρόμου.

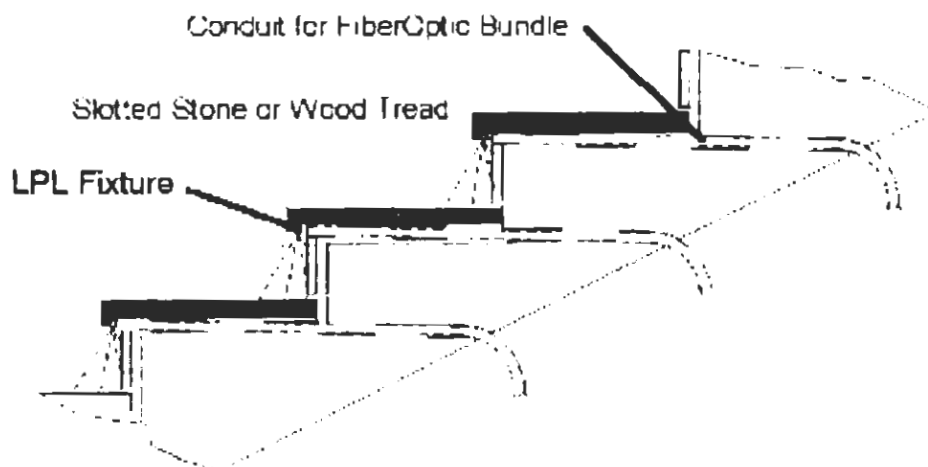
Μία υψηλής φωτεινότητας λυχνία ξένου χρησιμοποιείται για το φωτισμό ενός ασθενοφόρου. Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν το φως στα φανάρια. Η εκπομπή στο UV είναι μειωμένη επιτρέποντας στις πλαστικές ίνες να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα.

Όλα αυτά βέβαια αποτελούν την ερευνητική δουλειά των μηχανικών, ηλεκτρονικών και οπτικοηλεκτρικών εταιρειών όπως η General Electric, Sylvania, Philips, Delphi, Yazaki, Hella στους

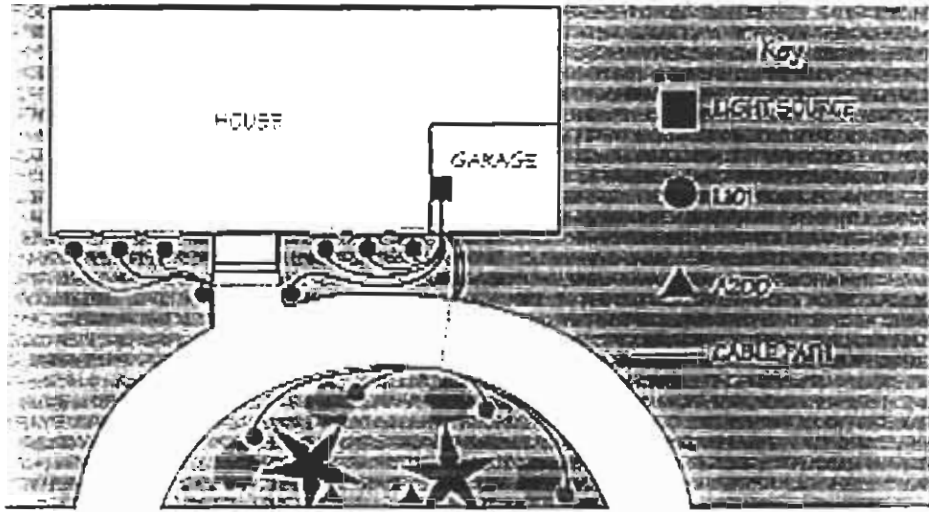
οποίους θα οφείλονται τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες που θα διαθέτουν σύντομα τα «έξυπνα» αυτοκίνητα.

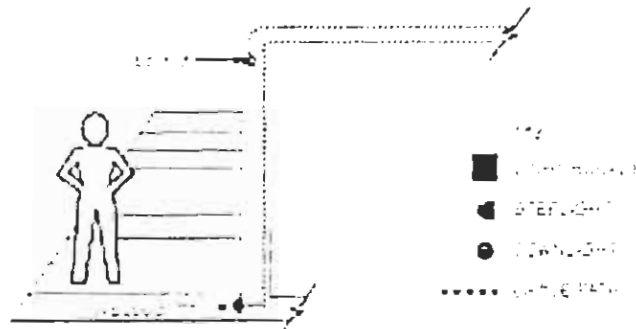
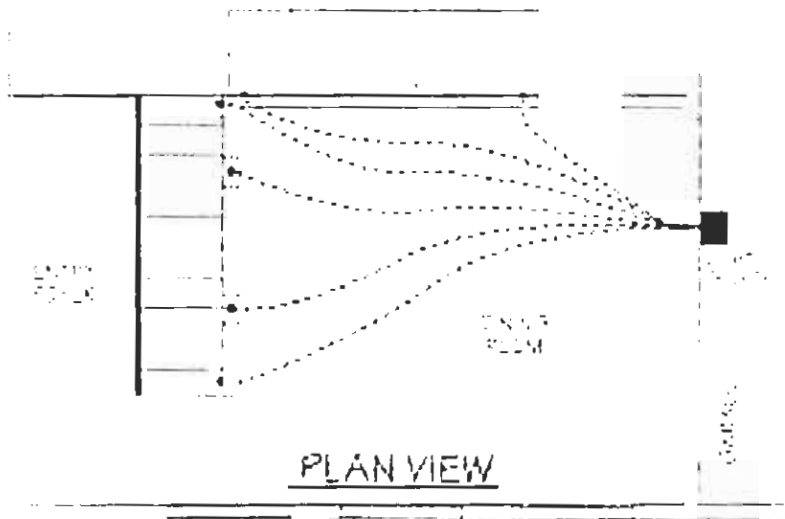
Επίσης φωτίζονται με οπτικές ίνες οι:

- Χώροι με αρχιτεκτονικά συστήματα φωτισμού, ιδιαίτερα είσοδοι, lobbies και διάδρομοι ξενοδοχείων, αίθουσες θεάτρων και κινηματογράφων, χώροι διασκέψεων επιχειρήσεων, τράπεζες κτλ.
- Πισίνες, jacuzzis, σάουνες, χώροι αναψυχής και συγκέντρωσης ξενοδοχείων, μπαρ, αίθουσες κέντρων πολυτελείας κτλ.
- Πινακίδες με τα ονόματα επιχειρήσεων κτλ.
- Διακοσμητικές θύρες και παράθυρα.



- Γυάλινες προσόψεις για προστασία από τα πουλιά κτλ.
- Βιτρίνες όπου εξασφαλίζονται αυξημένη ασφάλεια χωρίς προσθήκη θερμικού φορτίου, ιδιαίτερα κοσμηματοπωλεία, βιτρίνες φαρτών υλικών ή ευπαθών τροφίμων καθώς και ειδών τέχνης.
- Σήματα οδικής ασφάλειας, διαβάσεις πεζών και διαφημιστικές πινακίδες.
- Μουσεία και εκθέσεις ζωγραφικής για το φωτισμό φωτοευαίσθητων πινακίδων ζωγραφικής ή άλλων εκθεμάτων.
- Χειρουργεία ή άλλοι αποστειρωμένοι νοσοκομειακοί χώροι όπως χώροι εντατικής εποπτείας ασθενών ή ακόμη ο φωτισμός του εσωτερικού του οργανισμού ασθενών σε ιατρικές εξετάσεις με τα ενδοσκόπια.
- Ευπαθείς χώροι ηλεκτρομηχανολογικών βιομηχανικών εγκαταστάσεων ή η αυτόματη λειτουργία μηχανημάτων.





Βιβλιογραφία

1. Δίκτυα οπτικών ινών, Green
2. Φυσική, Α. Μαζη
3. Φυσική Κυματική, Η. Κουγιουμτζόγλου
4. Τεχνολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, Δ. Ρητα
5. Σημειώσεις Φωτοτεχνίας, Γ. Κονταρίνη
6. Introduction to light in Electronics, F.A. Wilson
7. Περιοδικό «Κτίριο», Τεύχος 100
8. Τεχνική εκλογή, Τεύχη 377, 382, 374
9. Τεχνικό φυλλάδιο Swaronski
10. Τεχνικό φυλλάδιο Tronics Ext.
11. Τεχνικό φυλλάδιο Thorn Co.
12. Τεχνικό φυλλάδιο Philips
13. Τεχνικό φυλλάδιο Fiberstar
14. Πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου (Internet)

