

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΛΕΙΖΕΡ, ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**



**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΜΙΧΑΗΛ ΑΛΧΑΖΙΔΗΣ**

**Α.Γ.Μ: 3273**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΑΜΠΟΥΡΑ Σ.**

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΜΠΟΥΡΑ Σ.**

**ΘΕΜΑ: ΛΕΙΖΕΡ, ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΜΙΧΑΗΛ ΑΛΧΑΖΙΔΗΣ**

*A.G.M: 3273*

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:**

**Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

<b>A/A</b>	<b>Όνοματεπώνυμο</b>	<b>Ειδικότης</b>	<b>Αξιολόγηση</b>	<b>Υπογραφή</b>
<b>1</b>				
<b>2</b>				
<b>3</b>				
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</b>				

**Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΛΕΙΖΕΡ ΣΕΛ 5-19

- 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΕΙΖΕΡ
- 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΛΕΙΖΕΡ
- 1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
- 1.4 ΕΙΔΗ ΛΕΙΖΕΡ ΚΑΙ ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- 1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΕΙΖΕΡ
- 1.6 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΕΙΖΕΡ
- 1.7 ΘΕΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ
- 1.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΛΕΙΖΕΡ

### ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΣΕΛ 20-30

- 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ
- 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- 2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- 2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- 2.5 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ
- 2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ
- 2.7 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- 2.8 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
- 2.9 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
  - 2.9.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
  - 2.9.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
  - 2.9.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

## **ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΣΕΛ 31-46**

**3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ RADAR**

**3.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ RADAR**

**3.2.2 ΑΠΟ ΤΙ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΤΟ RADAR**

**3.2.3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ RADAR**

**3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

**3.3.1 ΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

**3.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

**3.3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

**3.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ GPS**

**3.4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ GPS**

**3.4.2 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GPS**

**3.5 ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ**

**3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ AIS**

**3.7 ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ AIS**

**3.8 INMARSAT**

**3.8.1 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ INMARSAT**

**3.8.2 ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΤΟΥ INMARSAT**

**3.8.3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ INMARSAT**

**3.8.4 ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ INMARSAT**

**3.9 ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO**

**4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ-ΑΡΘΡΑ-ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

# ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΕΙΖΕΡ

Ένα λέιζερ είναι μια συσκευή που ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο ενεργοποιημένα άτομα απελευθερώνουν φωτόνια. Η περιοχή μηκών κύματος ενός λέιζερ κυμαίνεται από την περιοχή των υπεριώθρων ως εκείνη των υπεριωδών. Το φως λέιζερ, μπορεί να γίνει εξαιρετικά έντονο, ιδιαίτερα κατευθυντικό, και πολύ καθαρό στο χρώμα (συχνότητα). Οι συσκευές λέιζερ επεκτείνονται τώρα στο φάσμα συχνότητας των ακτινών X και τα λέιζερ είναι παρόμοιες συσκευές για τα μικροκύματα. Όταν έντονες κόκκινες και πράσινες ακτίνες λέιζερ αερίου φωτός π.χ.(λέιζερ αργού και neodymium) διασχίζουν ένα δωμάτιο, οι πορείες τους κάμπτουν αισθητά, δεδομένου ότι χτυπούν στους καθρέφτες.

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τις μοναδικές ιδιότητες του φωτός λέιζερ για να εκτελέσουν τα πειράματα που ήταν προηγουμένως αδύνατα. Το φως λέιζερ δεν είναι πάντα ορατό. Είτε ορατό είτε όχι, η υψηλή ένταση ακόμη και του περιπλανώμενου φωτός μπορεί να είναι επικίνδυνη στο λεπτό ιστό των ματιών. Για αυτόν τον λόγο, καθένας που εργάζεται με τα λέιζερ πρέπει να φοράει προστατευτικό ματιών. Σήμερα τα λέιζερ μπορούν άνετα να χαρακτηριστούν σαν μια από τις πιο ενδιαφέρουσες τεχνολογικές επιτεύξεις των τελευταίων εβδομήντα χρόνων. Όμως παρά τις μοναδικές τους ιδιότητες τα λέιζερ δεν έλαβαν αμέσως μία ξεχωριστή θέση στον εργαστηριακό χώρο.

Και αυτό όπως ήταν φυσικό αν αναλογισθεί κανείς ότι οι εντυπωσιακές τους ιδιότητες, όπως λεπτότητα της φασματικής γραμμής, ένταση και γεωμετρική συνεκτικότητα, συμφωνία φωτός (coherent light), κλπ, ήταν τόσο σημαντικές ώστε να χρειασθεί ένα διάστημα προσαρμογής πριν γίνει γενικά παραδεκτή η υπεροχή που έδιναν αυτές οι ιδιότητες στις πηγές λέιζερ σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές φωτός.

Για να γίνουμε πιο σαφείς ας πάρουμε σαν παράδειγμα τη λεπτότητα της φασματικής γραμμής που παράγεται από ένα λέιζερ, και ας τη συγκρίνουμε με τη λεπτότητα της φασματικής γραμμής που παράγει μία παραδοσιακή πηγή. Προσπάθειες ερευνητών εβδομήντα χρόνων έκαναν τη λεπτότητα των φασματικών γραμμών των κλασικών φωτεινών πηγών μικρότερη κατά δέκα περίπου φορές, σε βάρος βέβαια της έντασης της φασματικής γραμμής. Ξαφνικά τότε εμφανίζονται τα λέιζερ με λεπτότητα φασματικής γραμμής κατά ένα εκατομμύριο φορές μικρότερη και με εξαιρετικά μεγάλη ένταση!

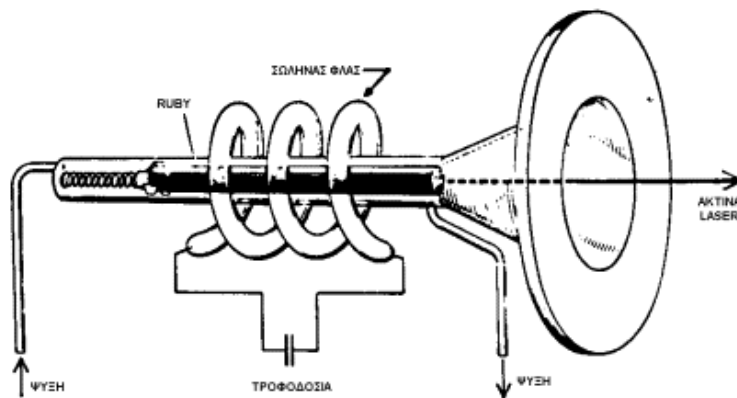
Μία τόσο εντυπωσιακή πρόοδος δημιουργεί πάντα κάποια δυσπιστία για τη νέα εφεύρεση. Βελτιώσεις αμέσως αποδεκτές είναι αυτές που βελτιώνουν την υπάρχουσα κατάσταση κατά μερικές φορές, (όπως υλικά διπλάσιας αντοχής από τα υπάρχοντα, computers μερικές φορές ταχύτερα κλπ), και όχι κατά εκατομμύρια φορές. Έτσι μετά την ανακάλυψη τους ακολούθησε μία περίοδος δυσπιστίας, ευτυχώς πολύ μικρή σε διάρκεια, που ύστερα αντικαταστάθηκε από μια περίοδο μεγάλης δραστηριότητας, που φθάνει ως τις μέρες μας.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΛΕΙΖΕΡ

Η λέξη λέιζερ δημιουργήθηκε από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων που περιγράφουν το φαινόμενο πανό στο οποίο βασίζεται η λειτουργία της συσκευής. Δηλαδή “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” που θα μπορούσε να αποδοθεί στα ελληνικά σαν “ένισχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας”. Έχουμε δηλαδή να κάνουμε με ένα ενισχυτή φωτός.

Είναι πολύ παράδοξο το γεγονός ότι τα λέιζερ δεν ανακαλύφθηκαν πολύ πριν το 1960. Τη χρονιά αυτή είχα περάσει ήδη 43 χρόνια από τότε που είχαν τεθεί τα θεωρητικά θεμέλια της κατασκευής ενός ενισχυτή φωτός, δηλαδή ενός λέιζερ. Ο Einstein το 1917 έδωσε την έννοια της εξαναγκασμένης εκπομπής, ότι δηλαδή μια δέσμη από φως μπορεί να εξαναγκάσει άτομα να δώσουν εκπομπή φωτός με χαρακτηριστικά όμοια με το αρχικό φως. Κανείς όμως δεν συνειδητοποίησε τότε ότι η έννοια αυτή θα οδηγούσε στην πραγματοποίηση μιας συσκευής ενίσχυσης του φωτός. Από το 1920 μέχρι το 1950 οι επιστήμονες ήταν απασχολημένοι με τις νέες ανακαλύψεις της κβαντομηχανικής, της φυσικής των σωματιδίων και της πυρηνικής φυσικής και η ιδέα της κατασκευής ενός λέιζερ έμενε παραμελημένη παρόλο που όχι μόνο η αρχή λειτουργίας των λέιζερ ήταν γνωστή αλλά και η τεχνολογία της κατασκευής τους ήταν απλούστατη.

Είναι πολύ πιθανό κάποιος που έκανε πειράματα με σωλήνες αίγλης παλαιότερα, να δημιούργησε συνθήκες ενίσχυσης φωτός. Δεν παρατήρησε όμως ακτινοβολία Laser είτε από έλλειψη οπτικού αντηχείου, που θα μετέτρεπε τον ενισχυτή φωτός, σε ταλαντωτή-πηγή φωτός, είτε γιατί τα πειράματα αυτά έγιναν σε γυάλινους σωλήνες που είναι σκοτεινοί στο υπέρυθρο, περιοχή όπου συναντάμε τα πιο ισχυρά λέιζερ αερίων. Το 1960 τελικά, έγινε ένα πολύ σημαντικό πείραμα στα Εργαστήρια Hughes Aircraft



Corporation στην Καλιφόρνια, που κατέληξε στην κατασκευή του πρώτου Laser. Το πείραμα αυτό ήταν πάρα πολύ απλό. Ένας συνθετικός κρύσταλλος Ruby (ρουβινίου), μήκους 2cm και διαμέτρου 9mm, με γυαλισμένες οπτικά τις δύο έδρες του και επιστρωμένες με άργυρο, τοποθετήθηκε μέσα σε ένα ελικοειδή σωλήνα φλας. όταν το φλας τεθηκε σε λειτουργία λούζοντα το φλας τέθηκε σε λειτουργία, λούζοντας τον κρύσταλλο με πολυχρωματικό φως, βγήκε μία πολύ λεπτή ακτίνα από κόκκινο μονοχρωματικό φως, βγήκε από το ένα άκρο του κρυστάλλου. Αυτή ήταν η πρώτη επιτυχής λειτουργία ενός λέιζερ, του πρώτου από μία σειρά εντυπωσιακών συσκευών, με μοναδικές ιδιότητες, που μεταμόρφωσαν ή δημιούργησαν ολόκληρες περιοχές έρευνας και τεχνολογίας

Το πόσο σημαντική ήταν η ανακάλυψη αυτή του Ruby λέιζερ από τον T.H.Maiman, φαίνεται και από το γεγονός ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια εμφανίστηκαν 5000 δημοσιεύσεις πάνω σε θέματα ανάπτυξης συστημάτων λέιζερ στον διεθνή επιστημονικό τύπο. Τα έξοδα για έρευνα στον ίδιο τομέα, στην ίδια χρονική περίοδο, ξεπέρασαν τα 500 εκατομμύρια λίρες Αγγλίας. Η επιβράβευση όλων αυτών που ασχολήθηκαν με την κατασκευή του λέιζερ ήρθε το 1969 όταν οι τρεις πρωτοπόροι C.H.Townes στις Ηνωμένες Πολιτείες και οι A.M.Prokhorov και N.Basov στη Σοβιετική Ένωση μοιράστηκαν το βραβείο Nobel φυσικής.

### 1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα λέιζερ αποτελούνται από το ενεργό υλικό και την οπτική κοιλότητα. Το ενεργό υλικό μετατρέπει την εξωτερική ενέργεια σε δέσμη φωτός. Συνήθως είναι υλικό με συγκεκριμένο μέγεθος, σύσταση, καθαρότητα και μορφή, που παράγει φως μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής, η οποία αποτελεί κβαντομηχανική διαδικασία που προτάθηκε από τον Αλβέρτο Αϊνστάιν για να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το ενεργό υλικό αντλεί ενέργεια από μία εξωτερική πηγή. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ηλεκτρικές ή φωτεινές, όπως η λυχνία έκλαμψης (flash lamp) ή κάποια άλλη πηγή λέιζερ.

Η ενέργεια που απορροφάται αποτίθεται στα σωματίδια του ενεργού υλικού, έτσι ώστε αυτά να οδηγηθούν σε μία διεγερμένη κβαντική κατάσταση. Όταν ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται στη διεγερμένη κατάσταση είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκεται στη βασική κατάσταση, επιτυγχάνεται αντιστροφή πληθυσμού. Τότε μία δέσμη φωτός που περνάει μέσα από το υλικό έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να οδηγήσει σε εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων από ότι σε εξαναγκασμένη απορρόφηση, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ενίσχυση της δέσμης. Ένα διεγερμένο ενεργό υλικό μπορεί να λειτουργήσει επίσης και ως οπτικός ενισχυτής.

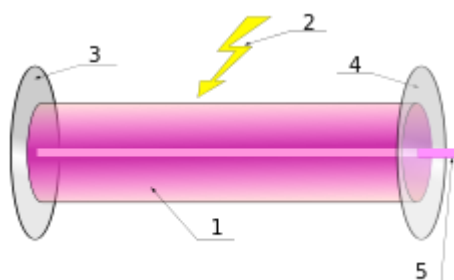
Τα χαρακτηριστικά του φωτός που παράγονται από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι παρόμοια με αυτά του αρχικού φωτός, ως προς το μήκος κύματος, την πόλωση και τη φάση. Το φως του λέιζερ που παράγεται είναι σύμφωνο, ενώ η σταθερότητα της πόλωσης και η μονοχρωματικότητα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της οπτικής κοιλότητας. Η οπτική κοιλότητα αποτελεί παράδειγμα κοιλότητας ταλάντωσης και περιέχει μια σύμφωνη δέσμη φωτός μεταξύ δύο ανακλαστικών επιφανειών, έτσι ώστε κάθε φωτόνιο να περνά τουλάχιστον δύο φορές από το ενεργό υλικό προτού φύγει από την οπή εξόδου της πηγής λέιζερ ή χαθεί λόγω απορρόφησης ή περίθλασης. Αν η ενίσχυση που προέρχεται από την επαναλαμβανόμενη διέλευση του φωτός μέσα από το ενεργό υλικό είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες της κοιλότητας, τότε εμφανίζεται εκθετική αύξηση της ισχύς του φωτός μέσα στην κοιλότητα.

Όμως, κάθε εξαναγκασμένη εκπομπή αναγκάζει ένα σωματίδιο να επιστρέψει από την διεγερμένη κατάσταση στην βασική, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του ενεργού υλικού για επιπλέον ενίσχυση. Όταν αυτό το φαινόμενο μεγιστοποιείται τότε λέμε ότι η ενίσχυση έχει φτάσει σε κορεσμό. Η συνθήκη όπου η ισχύς άντλησης γίνεται περίπου ίση με την τιμή κορεσμού της ενίσχυσης και με τις απώλειες της κοιλότητας οδηγεί σε κατάσταση ισορροπίας της ισχύς του λέιζερ μέσα στην κοιλότητα. Αυτή η τιμή ισορροπίας καθορίζει και το σημείο λειτουργίας του λέιζερ.

Αν η ισχύς άντλησης είναι πολύ μικρή, η ενίσχυση δεν είναι αρκετή ώστε να καλυφθούν οι απώλειες του ταλαντωτή, με αποτέλεσμα να εκπέμπεται πολύ μικρή

ένταση λέιζερ. Η ελάχιστη τιμή ισχύς άντλησης που απαιτείται για την παραγωγή λέιζερ ονομάζεται κατώφλι λέιζερ. Το ενεργό υλικό ενισχύει οποιοδήποτε φωτόνιο περάσει μέσα από αυτό, αλλά μόνο αυτά που είναι ευθυγραμμισμένα με την κοιλότητα μπορεί να περάσουν περισσότερο από μια φορά μέσα από το ενεργό υλικό για να επιτευχθεί σημαντική ενίσχυση.

Αν η δέσμη δημιουργείται και διαδίδεται σε ελεύθερο περιβάλλον και όχι μέσα σε κυματοδηγούς (όπως στην περίπτωση των οπτικών ινών), τότε η ένταση του φωτός εμφανίζει κανονική (Γκαουσιανή) κατανομή, κάθετα στην διεύθυνση διάδοσής της. Η δέσμη του λέιζερ είναι σχεδόν απόλυτα ευθυγραμμισμένη, δηλαδή δεν αποκλίνει. Παρόλα αυτά, τέλεια ευθυγραμμισμένη δέσμη δεν μπορεί να υπάρξει λόγω περίθλασης. Για παράδειγμα, μια δέσμη με αρχική διάμετρο 2 mm, που δημιουργείται από ένα μικρό εργαστηριακό λέιζερ (όπως ένα λέιζερ Ηλίου-Νέου), αποκλίνει αποκτώντας διάμετρο 1,6 χιλιόμετρα, όταν διανύσει απόσταση ίση με αυτή της γης-σελήνης.



**Εικόνα 2 Αρχή λειτουργίας του λέιζερ:**

1. Ενεργό υλικό του λέιζερ
2. Προσφερόμενη ενέργεια άντλησης
3. Υψηλής ανακλαστικότητας κάτοπτρο
4. Διάταξη εξόδου δέσμης
5. Δέσμη Λέιζερ

## 1.4 ΕΙΔΗ ΛΕΙΖΕΡ ΚΑΙ ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τα laser διαιρούνται σε ομάδες σύμφωνα με:

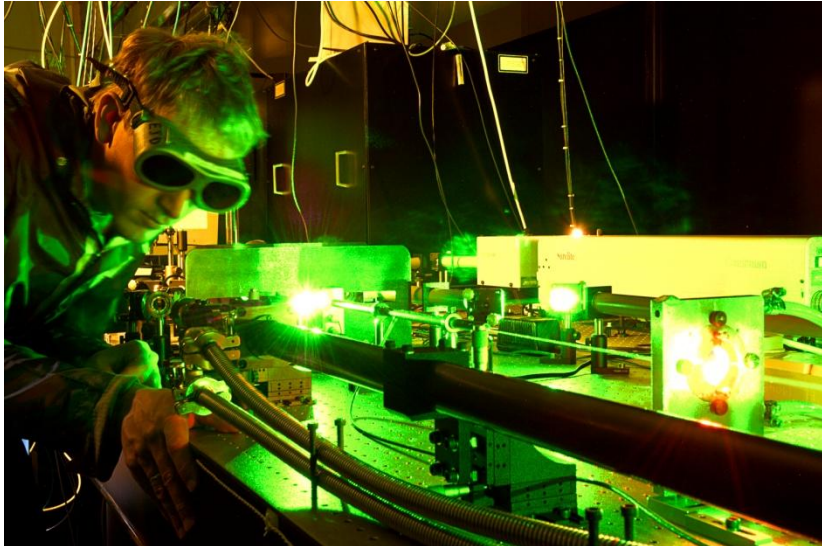
- (α) την κατάσταση του ενεργού υλικού (στερεό, υγρό, αέριο, πλάσμα)
- (β) την ζώνη μήκους κύματος (ορατό, υπέρυθρο, υπεριώδες...)
- (γ) τη μέθοδο διέγερσης του ενεργού υλικού (οπτική, ηλεκτρική,...)
- (δ) τα χαρακτηριστικά της εξερχόμενης ΗΜΑ laser
- (ε) τον αριθμό των ενεργειακών επιπέδων που παίρνουν μέρος στη διαδικασία.



Το ενεργό υλικό καθορίζει:

1. το μήκος κύματος της εξερχόμενης δέσμης
2. τη μέθοδο διέγερσης που ενδείκνυται
3. την τάξη μεγέθους της εξερχόμενης ισχύος
4. την αποδοτικότητα του συστήματος

Το ενεργό υλικό καθορίζει πολλές ιδιότητες του laser και επί πλέον πρέπει να είναι «διαφανές» στο μήκος κύματος που το ίδιο «παράγει». Θα δούμε, στα επόμενα κεφάλαια, τις κατηγορίες των laser ανάλογα με την κατάσταση και το είδος του ενεργού υλικού.



**Εικόνα 3 Πείραμα με χρήση laser**

A. Τα αέρια laser χωρίζονται σε τέσσερις υπό-ομάδες:

- (i) ατομικά (π.χ. He-Ne και He-Cd)
- (ii) ατμών μετάλλου (Cu, Au)
- (iii) μοριακά (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, χημικά, μακρινού υπέρυθρου, excimer)
- (iv) ιοντικά (Ar<sup>+</sup>, Kr<sup>+</sup>)

B. Τα υγρά laser είναι κυρίως χρωστικών dye

Γ. Τα στερεά laser χωρίζονται σε:

- (i) μονωτών (ρουβινίου, νεοδυμίου, αλεξανδρίτη, σαπφείρου)
- (ii) ημιαγωγών (διόδων)

Δ. Ειδικά laser

- (i) ακτίνων X
- (ii) ελεύθερου ηλεκτρονίου

### **Laser αέριας κατάστασης**

Τα περισσότερα αέρια (άτομα ή μόρια) μπορούν να οδηγηθούν σε κατάσταση κατάλληλη για εκπομπή HMA laser, κυρίως όταν βρίσκονται υπό χαμηλή πίεση.

Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους διευκολύνει η χαμηλή πίεση είναι:

- (α) για να είναι δυνατή η ηλεκτρική εκκένωση μακράς πορείας, κατά μήκος του σωλήνα με το ενεργό υλικό, στα δυο άκρα του οποίου εμβαπτίζονται τα δύο ηλεκτρόδια.
- (β) για να παραχθεί ΗΜ φάσμα πολύ μικρού εύρους, το οποίο ευρύνεται όταν παρεμβάλλονται συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων.

Το πρώτο αέριο Laser κατασκευάστηκε από τους Maiman TH και Javan A, το 1961, ήταν He-Ne, εξέπεμπε στο κοντινό υπέρυθρο (1152 nm). (Το πρώτο laser ήταν ρουβινίου και είχε κατασκευαστεί ένα χρόνο νωρίτερα).

Τα αέρια laser μπορούν να διεγερθούν με ηλεκτρική εκκένωση που προκαλείται με εφαρμογή υψηλού δυναμικού στα ηλεκτρόδια στα άκρα του σωλήνα. Ηλεκτρόνια αποσπώνται από την κάθοδο, επιταχύνονται προς την άνοδο, συγκρούονται με τα μόρια του αερίου και τους μεταδίδουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας διεγείροντάς τα (η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται στις λάμπες φθορισμού).

Η οπτική άντληση ως μέθοδος διέγερσης είναι δύσκολη για τα laser αερίου. Για να απορροφηθεί αρκετό ποσό ενέργειας απαιτείται το φάσμα απορρόφησης του υλικού να είναι παρόμοιο με το φάσμα εκπομπής της πηγής. Όμως οι κοινές πηγές φωτός έχουν ευρύ φάσμα εκπομπής, ενώ τα άτομα του αερίου απορροφούν σε «λεπτές γραμμές». Γενικά η οπτική άντληση δεν επιλέγεται για τη διέγερση του ενεργού υλικού αερίων laser. Εξαιρεση είναι η χρήση της δέσμης laser CO<sub>2</sub> για την οπτική άντληση του ενεργού υλικού του μακρινού υπέρυθρου αερίου laser.

### **Αέρια ατόμων**

Το ενεργό υλικό είναι ένα ευγενές αέριο σε ουδέτερη κατάσταση ή ατμοί μετάλλου. Το ενεργό αέριο είναι αναμειγμένο με δεύτερο αέριο, που βοηθά στην αύξηση της απόδοσης της διαδικασίας. Για μεγαλύτερη ενίσχυση απαιτείται μικρή διάμετρος του σωλήνα. Τα αέρια laser ατόμων συνήθως λειτουργούν με συνεχή τρόπο.

### **Laser He-Ne**

Ήταν το πιο διαδεδομένο laser μέχρι πριν λίγα χρόνια που εμφανίστηκε το laser διόδων. Το ενεργό υλικό είναι το νέον (Ne) που έχει τέσσερα ενεργειακά επίπεδα.

Δύο μετασταθερά ενεργειακά επίπεδα δρουν ως άνω επίπεδα, ενώ υπάρχουν άλλα δυο που δρουν ως κάτω επίπεδα. Δηλαδή έχουμε τρία εκπεμπόμενα μήκη κύματος:  $\lambda_{54}$ ,  $\lambda_{52}$ ,  $\lambda_{32}$ .

Η παρουσία του αερίου He βοηθά για δύο κύριους λόγους:

(α) η απευθείας διέγερση του Ne είναι πολύ λιγότερο αποδοτική σε σχέση με το He (περίπου 1:200)

(β) το ενεργειακό επίπεδο 5 του ηλίου είναι πολύ κοντά στο αντίστοιχο 5 του νέου. Επομένως από την ηλεκτρική εκκένωση (περίπου 2000 V) τα αποσπώμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται κυρίως με τα άτομα He τα οποία διεγείρονται και με συγκρούσεις διεγείρουν με τη σειρά τους τα άτομα του Ne (αναλογία: He ~ 85-90%, Ne ~ 10-15%).

Οι περισσότερες εφαρμογές του laser He-Ne βασίζονται στο ορατό κόκκινο  $\lambda_{52}$  που έχει και τη μεγαλύτερη ένταση, η οποία θα ήταν ακόμη εντονότερη αν δεν υπήρχε η αποδιέγερση  $\lambda_{54}$  που μειώνει και αυτή (παράλληλα) τον πληθυσμό του  $E_5$ . Ειδική επικάλυψη των καθρεφτών προμηθεύει την ανάκλαση των  $\lambda_{52}$  και απορροφά τα υπόλοιπα, έτσι ώστε να ενισχυθεί μόνο το επιλεγμένο μήκος κύματος. Στο laser He-Ne ο χρόνος ημιζωής του χαμηλού laser ενεργειακού επιπέδου δεν είναι αρκετά σύντομος, όμως βελτιώνεται με τις συγκρούσεις. Οι συγκρούσεις πολλαπλασιάζονται όταν τα τοιχώματα του σωλήνα πλησιάζουν, επομένως η απόδοση του laser αυξάνει όσο ο σωλήνας έχει μικρότερη διάμετρο (π.χ. 2 mm). Στο εργαστήριο έχει λειτουργήσει laser He-Ne με ισχύ εξόδου 100 mW, όμως τα He-Ne του εμπορίου έχουν έξοδο 0,5-50 mW.

### **Laser ατμών μετάλλου**

Διακρίνονται σε δύο είδη: (α) ουδέτερα (χαλκού Cu, χρυσού Au) και (β) ιοντισμένα (ηλίου-καδμίου He-Cd) και εκπέμπουν (με υψηλή απόδοση) ΗΜΑ ορατού με τη μορφή πυκνών παλμών. Στο laser ατμών μετάλλου ο σωλήνας είναι γεμάτος με ένα αδρανές αέριο (π.χ. νέον) και με μικρή ποσότητα του καθαρού μετάλλου, π.χ. χαλκού, που για να βρεθεί σε κατάσταση ατμών θα πρέπει να επικρατούν συνθήκες, πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από υλικό ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αυτές τις θερμοκρασίες (π.χ. αλουμίνια). Ένα κομμάτι καθαρού χαλκού εισάγεται στο μέσο του σωλήνα ο οποίος μετά γεμίζει με αέριο νέον. Εφαρμόζεται υψηλό δυναμικό στα ηλεκτρόδια στα άκρα του σωλήνα και η θερμοκρασία αυξάνει πολύ, ξεπερνώντας τους 1083 °C, σημείο τήξης του χαλκού, που αρχίζει να εξατμίζεται. Έξω από τον σωλήνα μετράται θερμοκρασία της τάξης του 1400-1500 °C.

Καθ' όλη τη διαδικασία, μικρό ποσοστό των ατόμων Cu ιοντίζεται και κινείται προς το αντίθετο ηλεκτρόδιο. Το σύνολο του ατμού ψύχεται και μετατρέπεται σε στερεό μέταλλο. Μετά από εκατοντάδες ώρες λειτουργίας το Laser πρέπει να ανανεωθεί με άλλο κομμάτι χαλκού. Στα ηλεκτρόδια εφαρμόζονται παλμοί υψηλού δυναμικού και τα επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του αερίου Cu (το ενεργό υλικό) που διεγείρονται στα (2) επιθυμητά ενεργειακά επίπεδα. Εκπέμπονται 2 ΗΜ κύματα, ένα πράσινο ( $\lambda=511$  nm) και ένα κίτρινο ( $\lambda=578$  nm). Το laser ατμών χαλκού λειτουργεί μόνον κατά παλμούς, επειδή τα δυο χαμηλά ενεργειακά επίπεδα (μετά την εκπομπή) είναι μετασταθερά, δηλαδή έχουν μακρύ χρόνο ημιζωής και λήγει πολύ σύντομα η συνθήκη της αντιστροφής πληθυσμών. Κάθε παλμός laser διαρκεί περί τα 100 ns.

Τα laser ατμών χαλκού βρίσκουν εφαρμογή:

(α) ως πηγή ενέργειας για laser χρωστικής

(β) για φωτισμό αντικειμένων στη φωτογράφιση μεγάλης ταχύτητας (π.χ. μιας σφαίρας όπλου)

(γ) στην ιατροδικαστική για ταυτοποίηση δακτυλικών αποτυπωμάτων και ανίχνευση ειδικών χημικών στοιχείων στον τόπο εγκλήματος: φωτίζεται ένα δείγμα και εξετάζεται ο φθορισμός του. Βοηθά ο ισχυρός παλμός laser

(δ) στη φωτοδυναμική θεραπεία: ειδικό φάρμακο χορηγείται στον καρκινοπαθή και το φως Laser καταστρέφει επιλεκτικά καρκινικά κύτταρα (όσα έχουν απορροφήσει το φάρμακο)

(ε) στο εμπλουτισμό ουρανίου ( $^{235}\text{U}$ ): το φυσικό ουράνιο περιέχει πολύ μικρή ποσότητα  $^{235}\text{U}$ . Με το laser χαλκού είναι δυνατός ο επιλεκτικός ιοντισμός μόνο του  $^{235}\text{U}$  και η συλλογή του σε ηλεκτρικά φορτισμένες πλάκες.

Στο εμπόριο η ισχύς των laser χαλκού φτάνει μέχρι 100 W, αλλά σε ειδικά εργαστήρια έχει φτάσει και 6000 W. Το laser ατμών χρυσού έχει πολλά στοιχεία και ιδιότητες κοινά με το laser χαλκού. Το laser χρυσού εκπέμπει στο κόκκινο ( $\lambda=628$  nm).

### **Ηλίου Καδμίου**

Το laser ηλίου-καδμίου περιέχει-βασίζεται στο μέταλλο κάδμιο, η λειτουργία του όμως είναι παρόμοια με τη λειτουργία του laser He-Ne. Τα ελαφρά ιοντισμένα άτομα καδμίου δίνουν πολλά εκπεμπόμενα μήκη κύματος laser στην περιοχή του ιώδους και του υπεριώδους. Η κύρια εφαρμογή τους είναι στην οπτική, ειδικότερα στην ολογραφία.

### **Αέρια Ιόντων**

Τα πιο κοινά είναι τα ιόντα των ευγενών αερίων αργόν ( $\text{Ar}^+$ ) και κρυπτόν ( $\text{Kr}^+$ ). Ο σωλήνας π.χ. του πρώτου περιέχει αέριο αργόν που μετατρέπεται σε πλάσμα όταν διεγερθεί. Πλάσμα είναι η κατάσταση της ύλης κατά την οποία τα ηλεκτρόνια είναι αποσπασμένα από τα άτομα ή τα μόρια και συμπεριφέρονται ως ελεύθερα. Το θεμελιώδες ενεργειακό επίπεδο του ιόντος Ar είναι ψηλότερο από το αντίστοιχο θεμελιώδες του ατόμου Ar. Η «χαμένη» αυτή ενέργεια που πρέπει να ξοδευτεί είναι η αιτία της μικρής απόδοσης του laser  $\text{Ar}^+$ . Τα βασικά μήκη κύματος του laser  $\text{Ar}^+$  είναι ένα μπλε ( $\lambda=0,488$   $\mu\text{m}$ ) και ένα πράσινο ( $\lambda=0,515$   $\mu\text{m}$ ), υπάρχουν όμως και δυο υπεριώδη. Από τις ελκυστικές εφαρμογές του laser  $\text{Ar}^+$  είναι η δημιουργία οπτικών εφέ για τέχνη και διασκέδαση, επειδή ήταν το μόνο laser με πολλά χρώματα με αξιόλογη ισχύ (μερικά W).

Η συσκευή laser  $\text{Ar}^+$  απαιτεί μεγάλη πυκνότητα ρεύματος (100-500 A/cm<sup>2</sup>), (επομένως και στενό σωλήνα) και συνεχές δυναμικό μερικών εκατοντάδων Volts. Παράγονται μεγάλα ποσά θερμότητας, που καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη συστημάτων ψύξης και ανθεκτικών υλικών κατασκευής (οξειδίο βυρηλλίου). Όποιος δουλεύει με laser αργού πρέπει να μην παραλείπει ειδικά μέτρα προστασίας (π.χ. ειδικά γυαλιά).

Τα laser  $\text{Ar}^+$  βρίσκουν εφαρμογή:

- (α) ως πηγή ενέργειας για laser χρωστικής
- (β) στη διασκέδαση (π.χ. δισκοτέκ)
- (γ) στη γενική χειρουργική (απορρόφηση ενέργειας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος)
- (δ) στην οφθαλμολογία (στην αποκόλληση του αμφιβληστροειδή)
- (ε) στην τοξικολογία – ιατροδικαστική (μετρήσεις με φθορισμό υλικών)

- (στ) στην ολογραφία (επειδή έχει αρκετή ισχύ στο ορατό μέρος του φάσματος)

Το laser  $Kr^+$  έχει παρόμοιο τρόπο δημιουργίας και ιδιότητες, αλλά ακόμη χαμηλότερη απόδοση και ισχύ εξόδου της τάξης των 100 mW.

Η κύρια εφαρμογή του είναι στη διασκέδαση (φανταστικά οπτικά εφέ στην περιοχή του κίτρινου-κόκκινου).

### **Αέρια μορίων**

Κατά την μέχρι τώρα ανάλυση των ειδών laser η δημιουργία της δέσμης laser βασιζόταν στη μεταπήδηση ηλεκτρονίων μεταξύ διαφορετικών κύριων ενεργειακών επιπέδων. Στα μόρια όμως, τα κύρια ενεργειακά επίπεδα υποδιαιρούνται και σε ενεργειακά επίπεδα ταλάντωσης-δόνησης, το καθένα των οποίων υποδιαιρείται και σε ενεργειακά επίπεδα περιστροφής. Τα επίπεδα ταλάντωσης-δόνησης σχετίζονται με την ταλάντωση των ατόμων γύρω από μια θέση ισορροπίας μέσα στο μόριο. Τα επίπεδα περιστροφής σχετίζονται με την περιστροφή του μορίου στο χώρο. Εφόσον πρόκειται για υποδιαιρέσεις, οι ενεργειακές διαφορές μεταξύ τους είναι πολύ μικρότερες και το laser που δημιουργούν έχει μεγάλο μήκος κύματος, συνήθως στην περιοχή του υπέρυθρου.

### **Laser CO<sub>2</sub>**

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το laser CO<sub>2</sub>. Το CO<sub>2</sub> είναι το ενεργό υλικό και δώ όμως προστίθενται, άλλα αέρια που αυξάνουν την αποδοτικότητα της συσκευής: N<sub>2</sub> (άζωτο) και He, η αναλογία των οποίων εξαρτάται από τον μηχανισμό διέγερσης και το είδος της λειτουργίας (π.χ. συνεχής).

Το μόριο του CO<sub>2</sub> παρουσιάζει τρεις δυνατούς τρόπους ταλάντωσης-δόνησης:

- (α) τον συμμετρικό (κατά μήκος του άξονα του επιμήκους μορίου) με συχνότητα  $\nu_1$
- (β) τον με κάμψη (σε διεύθυνση κάθετη ως προς τον άξονα) με συχνότητα  $\nu_2$
- (γ) τον ασύμμετρο (όπως ο πρώτος τρόπος αλλά με διαφορετική κατεύθυνση) με συχνότητα  $\nu_3$

Η αποδιέγερση που δημιουργεί την HMA laser, ξεκινά από υψηλό ενεργειακό επίπεδο του τρίτου τρόπου και καταλήγει σε έναν από τους άλλους δύο

Επειδή κάθε ενεργειακό επίπεδο ταλάντωσης-δόνησης υποδιαιρείται σε επίπεδα περιστροφής, οι μεταπηδήσεις είναι -κάθε φορά- πολλαπλές. Η ηλεκτρική εκκένωση στο σωλήνα του laser CO<sub>2</sub> επιταχύνει ηλεκτρόνια των οποίων η κινητική ενέργεια μεταφέρεται σε συγκρούσεις στα μόρια του N<sub>2</sub> και του CO<sub>2</sub>. Τα μόρια του N<sub>2</sub> βοηθούν τη διαδικασία διέγερσης των CO<sub>2</sub>. Τα μόρια/άτομα He βοηθούν κυρίως στην απομάκρυνση των «ενοχλητικών» ποσών θερμότητας (έχουν ειδική θερμότητα 5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του N<sub>2</sub>). Τυπική αναλογία αέριων όγκων: 10% CO<sub>2</sub>, 10 % N<sub>2</sub> και 80% He.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι laser CO<sub>2</sub>:

- (i) συνεχούς ροής/τροφοδοσίας, που επιλέγεται όταν απαιτείται ισχύς (μερικές εκατοντάδες Watts)
- (ii) σφραγισμένου αερίου, που απαιτεί την ύπαρξη καταλύτη, επειδή με το χρόνο το CO<sub>2</sub> διασπάται σε CO + O<sub>2</sub>. Ισχύς < 200 Watts. Σύγχρονα laser αυτής της κατηγορίας διεγείρονται με ραδιοκύματα και αποδεικνύονται φθηνά και αξιόπιστα.
- (iii) Έχουν κατασκευασθεί laser CO<sub>2</sub> με σωλήνα διαμέτρου 1 mm, ώστε το ΗΜ κύμα να κινείται κατά μήκος του με πολύ μικρές απώλειες.

Η ροή του αερίου και η διεύθυνση της εφαρμοζόμενης υψηλής τάσης μπορεί να είναι κάθετες στον άξονα του σωλήνα, οπότε η ψύξη του μίγματος είναι αποτελεσματικότερη και η εξερχόμενη ισχύς laser πολύ μεγαλύτερη (της τάξης των 10 kWatts), ακόμη και με μεγάλες πιέσεις των αερίων στο εσωτερικό. Η ακτινοβολία από το laser CO<sub>2</sub> συνήθως είναι συνεχής. Ενώ θεωρούμε ότι τα laser είναι αποτέλεσμα τεχνολογίας, επιστήμονες ανακάλυψαν CO<sub>2</sub> laser που υπάρχει στη φύση. Μπορεί να δημιουργηθεί αντιστροφή πληθυσμών κάτω από πολύ ειδικές συνθήκες, όπως στην καυτή ατμόσφαιρα (ενεργό υλικό) του πλανήτη Αφροδίτη. Το φως του ήλιου διεγείρει μόρια της ατμόσφαιρας που αποδιεγειρόμενα μπορεί να καταλήγουν σε μετασταθερά ενεργειακά επίπεδα. Αν τα μόρια αυτά διαθέτουν και κατάλληλο «χαμηλό» επίπεδο, το ποσό της εκπεμπόμενης ΗΜΑ θα είναι τεράστιο. Μόνο που η ακτινοβολία δεν θα έχει κατευθυντικότητα, αλλά θα διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο. Παρόμοιο στη λειτουργία και τις ιδιότητες είναι και το laser CO, με μόνη (τη σημαντική) διαφορά ότι το αέριό του είναι δηλητηριώδες και επικίνδυνο, ενώ το CO<sub>2</sub> δεν έχει καμία τοξικότητα.

### **Χημικό Laser**

Είναι παράδειγμα συσκευής laser της οποίας η ενέργεια για τη διέγερση του ενεργού υλικού προέρχεται από χημική αντίδραση μεταξύ δύο ατόμων. Ανήκει στην οικογένεια των δυναμικών laser με αέριο, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην ταχεία εκτόνωση θερμού αερίου υπό πίεση, καθώς περνά σε σχεδόν κενό θάλαμο μέσω ειδικής βελόνας. Η ταχεία εκτόνωση ψύχει το αέριο. Η εκτόνωση είναι ταχύτερη από την αποδιέγερση, επομένως μεσολαβεί κατάσταση διεγερμένων μορίων σε χαμηλή θερμοκρασία, δηλαδή συνθήκη αντιστροφής πληθυσμών. Το αέριο του σωλήνα μπορεί να περνά από πολλές βελόνες ταυτόχρονα προς τον κενό θάλαμο, αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση του laser. Οι βελόνες συνήθως τοποθετούνται στην παράπλευρη επιφάνεια του σωλήνα και με διεύθυνση κάθετη προς τον κύριο άξονα.

Το ενεργό υλικό είναι διατομικό μόριο και οι μεταπηδήσεις γίνονται μεταξύ ενεργειακών επιπέδων ταλάντωσης-δόνησης. Το πιο συνηθισμένο είναι το υδροφθόριο (HF) ή σπανιότερα το φθοριούχο δευτέριο (DF) και το υδροχλώριο (HCl). Εκπέμπουν στην υπέρυθρη ζώνη. Ως πηγή υδρογόνου χρησιμοποιούνται υδρογονάνθρακες. Φθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>) ή φθοριούχο άζωτο (NF<sub>3</sub>) χρησιμεύουν ως πηγή φθορίου. Στα χημικά laser του εμπορίου προστίθεται οξυγόνο για να αντιδράσει με το θείο και να δώσουν μόρια SO<sub>2</sub>. Στο μίγμα προστίθεται και ήλιον, ίσως και άλλα αέρια, ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο του laser. Παρόλα αυτά, η συνολική πίεση στο εσωτερικό του laser χαρακτηρίζεται χαμηλή. Το χημικό laser, έχει μεγάλη ισχύ

στην έξοδο και γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση στο laser DF (σε σχέση με το HF) επειδή η ατμόσφαιρα είναι πιο διαφανής στη συγκεκριμένη συχνότητα. Μειονεκτήματα είναι ότι το δευτέριο είναι ακριβό, το φθόριο αντιδρά πολύ εύκολα με άλλα μόρια και το υδρογόνο θέλει προσοχή για να μην εκραγεί.

Στα χημικά laser του εμπορίου εφαρμόζεται δυναμικό περίπου 8kV και σε μερικά προηγείται έκθεση του αερίου σε HMA υπεριώδους για να προ-ιοντιστεί και να αυξηθεί η απόδοση της συσκευής. Τα χημικά laser βρίσκουν εφαρμογή στο στρατιωτικό πεδίο, όπως το εξελιγμένο μέσο-υπέρυθρο (MIRACL, Mid Infra Red Advanced Chemical Laser) σχεδιασμένο να καταστρέφει εχθρικούς πυραύλους στον αέρα (συνεχές Laser ισχύος μέχρι 2 MW και διάρκειας της τάξης του λεπτού). Μπορεί να ακολουθήσει τα ίχνη τους (με τη βοήθεια υπολογιστών) ακόμη και για 50 km. Ακόμη μικρότερου μήκους κύματος (~1 μm) είναι το laser COIL Chemical Oxygen Iodine Laser) (χημικό laser ιωδίου οξυγόνου), που χρησιμοποιείται επίσης για στρατιωτικούς σκοπούς.

### **Laser στερεής κατάστασης**

Τα άτομα στη στερεά κατάσταση βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και αλληλοεπιδρούν. Γι' αυτό το εύρος των γραμμών στα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των αερίων. Ευρύ φάσμα απορρόφησης σημαίνει πως η προσφορά ενέργειας μπορεί να γίνει από πηγή φωτός και μάλιστα όχι απαραίτητα laser.

Το ενεργό υλικό στο laser στερεής κατάστασης είναι ένα συγκεκριμένο υλικό, όπου όμως έχει γίνει έγχυση άλλου υλικού με τη μορφή ιόντων. Τα ιόντα του υλικού πρόσμιξης αντικαθιστούν άτομα του υλικού βάσης και είναι αυτά που παρέχουν τα κατάλληλα ενεργειακά επίπεδα για τη μεταπήδηση laser. Το υλικό βάσης επηρεάζει λίγο το μήκος κύματος της HMA εκπομπής. Το ίδιο υλικό πρόσμιξης σε δύο διαφορετικά υλικά βάσης έχει ως αποτέλεσμα παρόμοια HMA laser. Το υλικό βάσης καθορίζει όμως τις φυσικές ιδιότητες του ενεργού υλικού, όπως θερμοχωρητικότητα, διαστολή και επομένως τη μέγιστη δυνατή εκπεμπόμενη ισχύ.

Το στερεό ενεργό υλικό που διεγείρεται με οπτική ακτινοβολία είναι κρύσταλλος ή γυαλί, συνήθως σε σχήμα κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο. Η ενέργεια εισέρχεται από την παράπλευρη επιφάνεια, ενώ η HMA laser εξέρχεται από μια από τις βάσεις. Η προσφερόμενη ενέργεια για εκπομπή laser με παλμούς είναι συνήθως από λάμπες ξένου ή κρυπτού χαμηλής πίεσης. Η προσφερόμενη ενέργεια για εκπομπή συνεχούς laser είναι συνήθως από λάμπες αλογόνου ή υδραργύρου υψηλής πίεσης. Τα τελευταία χρόνια εξελίχθηκε και η τεχνολογία των laser διόδων τα οποία έχουν εφαρμογή και στην προσφορά ενέργειας για laser στερεάς κατάστασης, επειδή το μήκος κύματος των laser διόδων μπορεί να προσαρμοστεί και να ταιριάζει στο φάσμα απορρόφησης του ενεργού (στερεού) υλικού.

### **Laser υγρού (dye-χρωστικών)**

Το laser χρωστικών μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική συσκευή μετατροπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ενός μήκους κύματος σε ένα άλλο και μάλιστα προσαρμόσιμο κατά το επιθυμητό. Η περιοχή συχνοτήτων μέσα στην οποία μπορεί να γίνει η προσαρμογή, εξαρτάται από τη χρωστική.

Μόρια χρωστικής (dye) συνήθως είναι οργανικά φθορίζοντα συμπλέγματα, που περιέχουν μεγάλο αριθμό κυκλικών δομών. Το ενεργό υλικό laser χρωστικής είναι τέτοια μόρια χρωστικής διαλυμένα συνήθως σε αλκοόλη. Από την αλληλεπίδραση των μορίων χρωστικής με το διαλύτη διευρύνεται η ζώνη των ενεργειακών επιπέδων ταλάντωσης-δόνησης και σχηματίζεται ευρεία ζώνη εκπεμπομένων (αλλά και απορροφούμενων) συχνοτήτων. Το διάγραμμα των ενεργειακών επιπέδων στα laser χρωστικών είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο.

Ο χρόνος ημιζωής του διεγερμένου επιπέδου είναι σύντομος, επειδή υπάρχουν πολλοί δρόμοι αποδιέγερσης και παράλληλα ο αριθμός συγκρούσεων μεταξύ των μορίων στην υγρή κατάσταση είναι μεγάλος. Με κάθε σύγκρουση διαρρέει ενέργεια από τη διεγερμένη κατάσταση. Στο laser χρωστικής η προσφορά ενέργειας γίνεται με οπτική άντληση: φωτισμός με ΗΜΑ κατάλληλου μήκους κύματος. Η προσφερόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη της εκπεμπόμενης επειδή υπάρχει απώλεια ενέργειας κατά τη διαδικασία της «μεταφοράς». Επομένως τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος είναι μεγαλύτερα των αντίστοιχων της απορρόφησης.

Είναι εφικτή σημαντική ισχύς της ΗΜΑ laser στην έξοδο επειδή υπάρχουν πολλά μόρια χρωστικής (ενεργό υλικό), σε σχέση με το μικρό ποσοστό των ιόντων στο ενεργό υλικό των laser στερεής κατάστασης. Απαραίτητες προϋποθέσεις λειτουργίας του laser υγρής κατάστασης είναι να απορροφά έντονα τα μήκη κύματος που προκαλούν τη διέγερσή του και να μην απορροφά τα μήκη κύματος που το ίδιο εκπέμπει. Ο φωτισμός του ενεργού υλικού μπορεί να γίνει εξωτερικά ή όλου του υγρού που βρίσκεται σε διαφανές δοχείο ή του μέρους του υγρού που κατά τη διάρκεια ροής του περνά από ειδικά διαμορφωμένο ακροφύσιο. Η επιλογή του επιθυμητού μήκους κύματος εξόδου γίνεται με κατάλληλη τοποθέτηση ενός πρίσματος ή ενός πλέγματος.

Πλεονεκτήματα του dye laser είναι η έμφυτη ομοιογένεια, η εύκολη επιλογή του επιθυμητού μήκους κύματος (καταρχήν με επιλογή του είδους του υγρού), η εύκολη απομάκρυνση του περισσού ποσού θερμότητας (με ροή του ίδιου του υγρού), η λεπτή ζώνη εξερχομένων συχνοτήτων και η πολύ μικρή διάρκεια των παραγόμενων παλμών laser.

Μειονεκτήματα του dye laser είναι η δύσκολη συντήρηση της συσκευής, η παρουσία-χρήση δεύτερου laser ως πηγή ενέργειας, ο μικρός χρόνος ζωής της χρωστικής, η χρήση, συχνά τοξικών χημικών και εξατμιζόμενων διαλυτών.

Νέα τεχνολογία οδηγεί προς laser χρωστικών στερεής κατάστασης. Χαρακτηριστικές εφαρμογές του laser χρωστικών είναι (α) η καταστροφή καρκινικών όγκων που απορροφούν εκλεκτικά συγκεκριμένα μήκη κύματος (β) η φωτοδυναμική θεραπεία (γ) η κονιορτοποίηση λίθων στους νεφρούς με κρουστικά κύματα που δημιουργούν οι βραχείς παλμοί του laser.

## **Laser ακτίνων X**

Θεωρητικά η ΗΜΑ laser μπορεί να έχει μήκος κύματος της περιοχής των ακτίνων X ή γ. Όμως το ΗΜΑ laser στο ορατό ή στο εγγύς υπέρυθρο δημιουργείται από μεταπηδήσεις ηλεκτρονίων μεταξύ «εξωτερικών» ενεργειακών επιπέδων στα άτομα ή στα μόρια.

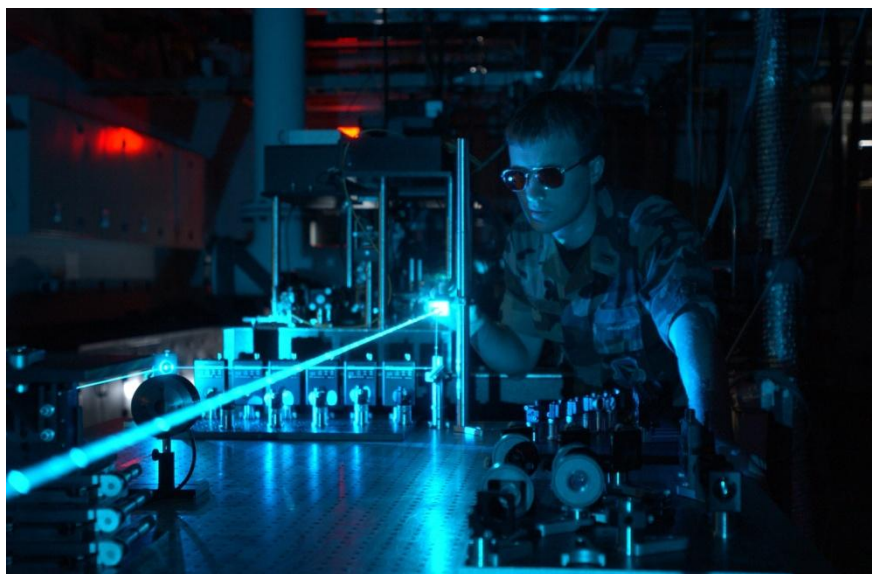


Για τη δημιουργία HMA στην περιοχή των ακτίνων X απαιτείται μεταπήδηση πολύ μεγαλύτερης ενεργειακής απόστασης, δηλαδή από τα «εξωτερικά» ενεργειακά επίπεδα προς τα «εσωτερικά».

Απαιτείται προσφορά πολύ μεγαλύτερης ενέργειας για τη διέγερση του ενεργού υλικού και μάλιστα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, ο

χρόνος ημιζωής

των διεγερμένων καταστάσεων, είναι πολύ μικρός. Τέτοια ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί από πυρηνική έκρηξη, η οποία θα ήταν ικανή να «οπλίσει» ταυτόχρονα πολλά laser ακτίνων X.



**Εικόνα 4 Πείραμα με χρήση laser**

Το τεράστιο ποσό ενέργειας εξατμίζει το ενεργό υλικό, το μετατρέπει σε πλάσμα (κατάσταση υλικού όπου ηλεκτρόνια και ιόντα παραμένουν χωριστά) και όταν μερικά από τα «ελεύθερα» ηλεκτρόνια «νιώσουν» την έλξη του θετικού πυρήνα και παγιδευτούν σε εσωτερικές τροχιές, απελευθερώνεται HMA ακτίνων X. Η κατάσταση πλάσματος είναι από «φύση της» κατάσταση αντιστροφής πληθυσμών. Η διαδικασία είναι σημαντικά αποδοτική και δεν χρειάζονται καθρέφτες για ενίσχυση. Από τη γεωμετρία του όγκου του πλάσματος στο χώρο εξαρτάται η τάση διασποράς της δημιουργούμενης δέσμης laser. Στο εργαστήριο laser ακτίνων X έδωσε HMA ισχύος Tera Watt ( $10^{12}$  W) με διάρκεια μικρότερα του nanosecond ( $10^{-9}$  s).

## **1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΕΙΖΕΡ**

**1.Μήκος Κύματος** Μετριέται σε νανόμετρα(nm).  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

**2.Πυκνότης της ισχύος της ακτινοβολίας (ένταση φωτός εστιασμένου σε ένα σημείο).**

Στα laser συνεχούς εκπομπής μετριέται η ισχύς της ακτινοβολίας στη μονάδα επιφάνειας.

Watt / CM<sup>2</sup> (1 Watt = 1 AM. 1 volt)

**3.Καθολική διάρκεια παλμού (πυκνότης της ισχύος στη μονάδα του χρόνου).**

Στα laser που λειτουργούν κατά παλμούς μετριέται η διάρκεια της ριπής της

ενέργειας.

$\zeta / \text{cm}^2$  (1 Joule = 1 w.1 sec)

**4.Απόκλιση της δέσμης).** Θεωρητικά οι ακτίνες laser είναι κατευθυντικές, δηλ. παράλληλες σε μεγάλη απόσταση. Αλλά πρακτικά υπάρχει κάποια απόκλιση των ακτίνων από την απόλυτη παραλληλότητα.

**5.Είδος της ακτίνας.** Μπορεί να είναι απλή ή πολλαπλή.

## 1.6 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΛΕΙΖΕΡ

- **Είναι πολύ ισχυρή ακτινοβολία.**  
Τα laser μπορούν με την ίδια ευκολία να κόψουν ένα χοντρό ξύλο, να διεισδύσουν αρκετά χιλιοστά μέσα σε συμπαγείς ατσάλινες μάζες και να τμήσουν έναν ζώντα ιστό από απόσταση.
- **Είναι μονοχρωματική.**  
Δηλαδή κάθε εκπομπή έχει ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, ανάλογα με το ενεργό υλικό από το οποίο αποτελείται. Είναι ομοιογενές φως.
- **Είναι κατευθυντική.**  
Οι ακτίνες δεν αφίστανται μεταξύ τους και εξακολουθούν να είναι παράλληλες ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την πηγή εκπομπής. Σε μία κοινή φωτιστική εστία, π.χ. μια λάμπα, τα φωτόνια εκπέμπονται προς κάθε κατεύθυνση και ανήκουν σε όλα τα μήκη κύματος του ορατού κυρίως φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- **Είναι συμπυκνωμένη.**  
Η ακτίνα laser μπορεί να είναι πολύ λεπτή, τόσο ώστε να μπορεί να κάνει μια οπή κατά μήκος μιας ξυριστικής λεπίδας ή όπως λέγεται θα μπορούσε ένας χειρουργός να βάλει με την ακτίνα laser την υπογραφή του σε ένα κύτταρο.
- **Είναι ακτινοβολία σύμφωνη φωτός** με εξαιρετική λαμπρότητα.

## 1.7 ΘΕΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με τα πρότυπα EN 60825-1 και ANSI Z136.1, τα λέιζερ μπορούν τα καταταχθούν ανάλογα με τη βλαπτικότητα τους ως εξής:

Κλάση	Περιγραφή
I	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα.
IM	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα, όταν δεν παρεμβάλλεται συγκεντρωτικός φακός ή άλλα οπτικά είδη.
II	Η ακτίνα δεν βλάπτει τα μάτια ή το δέρμα, όταν η έκθεση δεν ξεπερνάει τα 0,25 sec. Η ακτίνα είναι ορατή στο γυμνό μάτι από τα 400 nm μέχρι τα 700 nm.
IIM	Όπως η Σειρά 2, όταν δεν παρεμβάλλεται συγκεντρωτικός φακός ή άλλα οπτικά είδη.
IIIR	Η ακτίνα βλάπτει τα μάτια.
IIIB	Η ακτίνα βλάπτει τα μάτια και μπορεί να βλάψει και το δέρμα.
IV	Η ακτίνα είναι πολύ επικίνδυνη για τα μάτια και για το δέρμα, ακόμη και έπειτα από διάχυση σε επιφάνειες.

## 1.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΛΕΙΖΕΡ

Οι τέσσερις ιδιότητες του φωτός λέιζερ που αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο το καθιστούν μοναδικό σε μια πληθώρα εφαρμογών, καθώς δίνουν τη δυνατότητα ελεγχόμενης συμβολής (λόγω της καθορισμένης φάσης) και μεγάλης συγκέντρωσης ενέργειας σε μικρό χώρο. Κάποιοι από τους τομείς όπου τα laser χρησιμοποιούνται σήμερα είναι

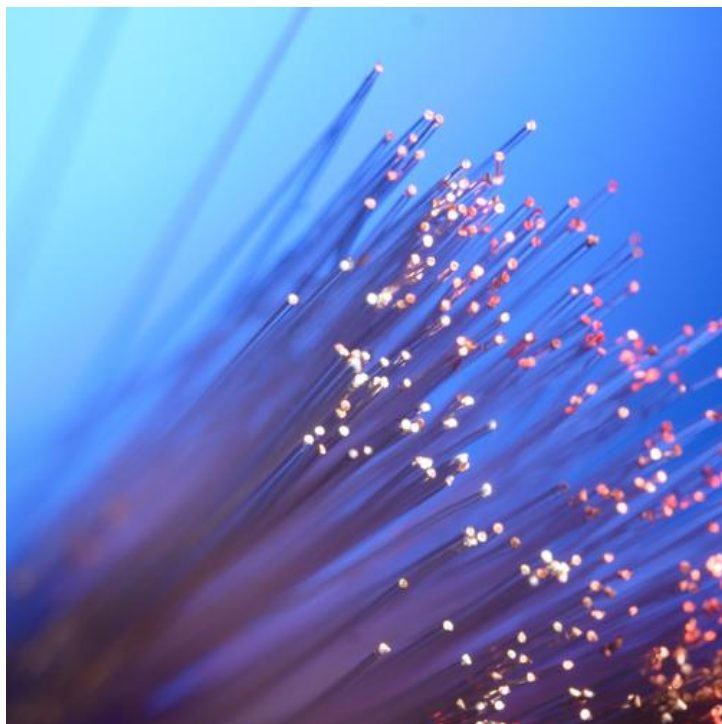
- Στην ιατρική (με εκμετάλλευση του γεγονότος ότι τα διαφορετικά μήκη κύματος απορροφώνται διαφορετικά από τους διάφορους ιστούς), για θεραπεία γλαυκώματος, κοπή και καυτηρίαση ιστών κοκ.
- Στη βιομηχανία, για κοπή με μεγάλη ακρίβεια υφασμάτων, μετάλλων κοκ.
- Στην τηλεμετρία (μέτρηση αποστάσεων από μακριά), όχι μόνο την επίγεια αλλά και της Σελήνης. Π.χ. μέτρηση αποστάσεων μεταξύ σημείων της Σελήνης και διαφόρων σημείων της Γης
- Στην καθημερινή ζωή (π.χ. ανάγνωση κωδικών προϊόντων στα ταμεία των super-markets, ανάγνωση CDs κοκ.)
- Για ολογραφία, δηλαδή τρισδιάστατη φωτογραφία. Το τρισδιάστατο είδωλο δημιουργείται με αποτύπωση σε φωτογραφικό φιλμ της συμβολής δέσμης laser που σκεδάζεται από το προς φωτογράφιση αντικείμενο με δέσμη αναφοράς (αυτό που δημιουργεί την εικόνα του τρισδιάστατου είναι η καταγραφή της φάσης).

## ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, με διάμετρο μικρότερη των 8μm όπου από μέσα τους, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός. Συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του δεκάδες ή και εκατοντάδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, με διάμετρο μικρότερη και από μία τρίχα. Με τις ακτίνες λέιζερ, ένα σήμα μπορεί να μεταδοθεί δια μέσου οπτικών ινών σε απόσταση μεγαλύτερη από 50 χλμ.

Υπάρχει ιδιαίτερος κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με έρευνα για της δυνατότητες και εφαρμογές τους. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως σε δίκτυα επικοινωνιών και επιτρέπουν τη μετάδοση φωτεινών σημάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις και σε υψηλότερο εύρος ζώνης (ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων) σε σχέση με άλλες μορφές μετάδοσης σημάτων, όπως ο χαλκός, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.



**Εικόνα 5 Κοντινή λήψη οπτικής ίνας**

Χρησιμοποιούνται αντί των μεταλλικών καλωδίων, διότι τα σήματα ταξιδεύουν μαζί τους με μικρότερη απώλεια και επίσης δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται επίσης για φωτισμό. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά εικόνων, επιτρέποντας έτσι την προβολή σε στενούς χώρους. Ειδικά σχεδιασμένες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται και για πολλές άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων λέιζερ.

### 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η ιδέα της χρήσης του φωτός για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις δεν είναι κάτι νέο, αλλά έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Οι αρχαίοι έλληνες άναβαν φωτιές σε ψηλά σημεία, όπως κορυφές βουνών, για να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ τους άμεσα, σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Ήταν τότε το ταχύτερο μέσο απομακρυσμένης οπτικής επικοινωνίας και τελικά φαίνεται ότι ακόμη και σήμερα

ισχύει το ίδιο, καθώς δεν υπάρχει τίποτα μέχρι στιγμής που να μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε το άναμμα των πυρσών για να φτάσει η πληροφορία κινδύνου από ένα τόπο στον άλλον. (Περιγραφή του Αισχύλου για την αναγγελία της νίκης στην Τροία).

Στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ειδικούς ισχυρούς φακούς τους οποίους αναβόσβηναν, σύμφωνα με τον Κώδικα Mors (ανακαλύφθηκε το 1854 από τον Samuel Morse), επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει και στην ξηρά, παρόλο που οι πρώτες συσκευές ενσύρματης επικοινωνίας είχαν κάνει την εμφάνιση τους την εποχή εκείνη.

Στα παραπάνω παραδείγματα έχουμε τρία κοινά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο είναι το μέσο μετάδοσης δηλ. ο αέρας και το τρίτο είναι ο παραλήπτης που το αποκωδικοποιούσε και το μετέτρεπε σε κατανοητή μορφή. Φυσικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι είχαν ως σημαντικότερο μειονέκτημα το πρόβλημα της ορατότητας. Το φως μιας φωτιάς ή ενός τεχνητού μέσου δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς δεν μπορούσε κανείς να το ξεχωρίσει από το πολύ ισχυρότερο ηλιακό φως. Ακόμη και τη νύχτα όμως, διάφορες συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία ή η ομίχλη, μπορούσαν να καταστήσουν ανέφικτη την παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση.

Το 1790 ο Γάλλος μηχανικός Claude παρουσίασε τον οπτικό τηλέγραφο με τον οποίο μπορούσε να στείλει μήνυμα χωρίς προσυννενόηση, που όμως δεν ευδοκίμησε με την επικράτηση του ηλεκτρικού τηλέγραφου τη συνέχεια όμως, γύρω στα 1880, ο Alexander Graham Bell παρουσίασε το οπτικό τηλεφωνικό σύστημα (το οποίο ονόμασε φωνόφωνο, στα αγγλικά Photo phone), αλλά η παλιότερη εφεύρεση του (το τηλέφωνο) αποδείχτηκε πιο πρακτική. Το όνειρο του μεγάλου εφευρέτη ήταν η μετάδοση των φωτεινών σημάτων, αλλά το πρόβλημα ήταν ότι η ατμόσφαιρα δεν μετέδιδε το φως όπως τα καλώδια τον ηλεκτρισμό.

## **2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

Κατά την επινόηση των καλωδίων οπτικών ινών, οι κατασκευαστές τους είχαν έναν σημαντικό στόχο: να μην υπάρχει διαρροή φωτός στο εξωτερικό ενός καλωδίου, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια δεδομένων και πολλά ακόμη προβλήματα. Για το λόγο αυτό έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος ώστε όλη η φωτεινή ενέργεια να παραμένει στο εσωτερικό του καλωδίου και να φτάνει δίχως εξασθένιση στον προορισμό της.

Η αρχή λειτουργίας ενός οπτικού καλωδίου είναι η ολική εσωτερική αντανάκλαση (TIR - Total Internal Reflection) και βασίζεται στο γεγονός ότι όταν το φως αντανάκλαται εξολοκλήρου σε έναν κλειστό εσωτερικό χώρο, μπορεί ταξιδεύσει σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς να μειωθεί η έντασή του.

Ως εκ τούτου, σε ένα οπτικό καλώδιο, η δεσμίδα των οπτικών ινών περικλείεται σε ειδικό υλικό που αντανακλά εσωτερικά όλο το φως, εξασφαλίζοντας έτσι δύο πράγματα: 1) Την ολική εσωτερική αντανάκλαση, που θα επιτρέψει στην πληροφορία να φθάσει αναλλοίωτη σε μεγάλες αποστάσεις 2) Την αποφυγή διαρροής φωτός στο εξωτερικό του καλωδίου. Για τον λόγο αυτό, το φως διοχετεύεται στο εσωτερικό της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένη γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση που θα αποτρέψει την διαρροή φωτεινής ενέργειας. Μέχρι να φθάσει στον προορισμό της, η φωτεινή δέσμη συνήθως πραγματοποιεί χιλιάδες ή και εκατομμύρια αντανακλάσεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας.

Πάντως οι απώλειες ισχύος της φωτεινής ενέργειας είναι σε κάθε περίπτωση αναπόφευκτες, ακόμη και κατά την ολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός και παρατηρούνται κυρίως κατά τη μετάδοση των δεδομένων σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Αυτό οφείλεται σε μικρές ατέλειες του μέσου μεταφοράς, που δεν είναι άλλο από το γυαλί. Η καθαρότητα του τελευταίου δεν φθάνει ποτέ το 100%, με αποτέλεσμα η ισχύς του φωτός να εξασθενεί. Ανάλογα με το πάχος του καλωδίου, οι απώλειες μπορούν να φθάσουν ακόμη και το 20% ανά χιλιόμετρο, ωστόσο με κάποια σύγχρονα καλώδια, έχουν μειωθεί στο 5-10%.

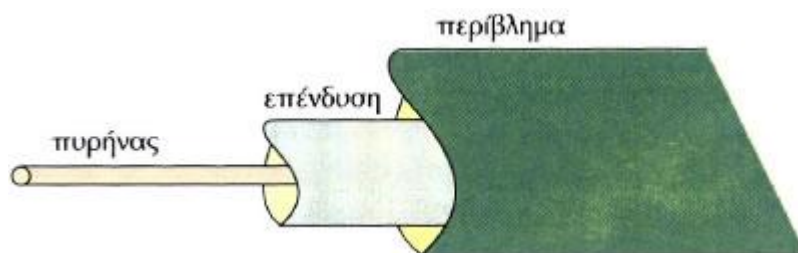
## 2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η τεχνολογία των μικροκυμάτων χρησιμοποιεί για τη μεταφορά της ηλεκτρομαγνητικής ενεργείας ομοαξονικά καλώδια και μικροταινίες.

Οι απώλειες ενέργειας στα μέσα αυτά αυξάνονται με το τετράγωνο της συχνότητας. Για το λόγο αυτό δε χρησιμοποιούνται σε συχνότητες μεγαλύτερες από 300 MHz. Ως εναλλακτική λύση χρησιμοποιήθηκαν οι διηλεκτρικοί κυματοδηγοί.

Η οπτική ίνα είναι ένας διηλεκτρικός κυματοδηγός ο οποίος αποτελείται από:

- Τον πυρήνα
- Την επένδυση
- Το περίβλημα



Ο πυρήνας μπορεί να είναι από γυαλί ή πλαστικό. Το γυαλί

### Εικόνα 6 Από τι αποτελείται η οπτική ίνα

έχει μικρότερη απόσβεση, είναι όμως ακριβότερο και πιο εύθραυστο. Η επένδυση κατασκευάζεται από καθαρό πυρίτιο και το περίβλημα προστατεύει την ίνα από μηχανικές καταπονήσεις και την κάνει εύχρηστη, δίνοντάς της όψη καλωδίου.

## 2.5 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Η εκπομπή του οπτικού σήματος μέσα σε οπτική ίνα γίνεται από πηγή :

- 1) LED (Light Emitting Diode) ή
- 2) LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Τα μήκη κύματος του φωτός, που η οπτική ίνα είναι σχεδιασμένη να μεταφέρει, κυμαίνονται στην περιοχή από 800nm μέχρι 1550nm.

Οι οπτικές ίνες διαφοροποιούνται, αρχικά, από τον τρόπο μετάδοσης του σήματος σε αυτές. Η πρώτη βασική διάκριση είναι:

- A) Οι πολύτροπες και
- B) Οι μονότροπες οπτικές ίνες.

A) Πολύτροπες οπτικές ίνες (Multimode fiber optics)

Ο τρόπος αναφοράς των μεγεθών για τις οπτικές ίνες είναι να αναφέρουμε πρώτα τη διάμετρο του πυρήνα (γυαλιού) και στη συνέχεια τη διάμετρο της επίστρωσης (περίβλημα, cladding). Οι μετρήσεις των παραπάνω μεγεθών γίνονται σε  $10^{-6}$  μέτρα ( $\mu\text{m}$ , μικρόμετρα).

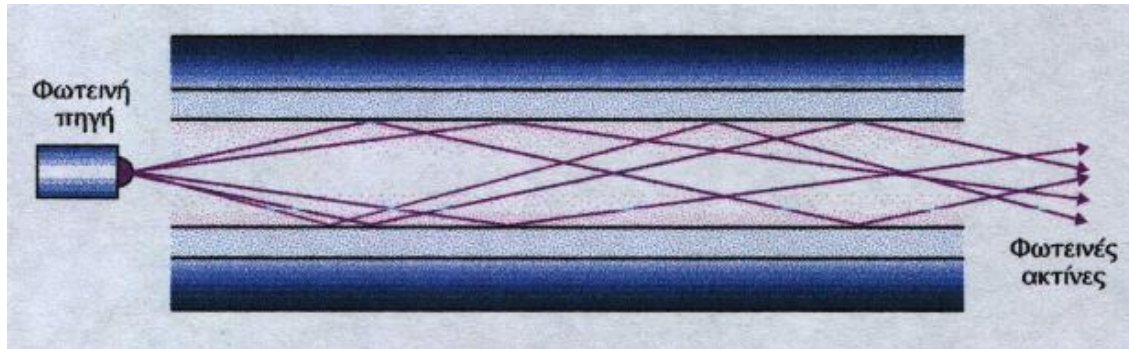
Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ , 62,5/125, 85/125 ή 100/140. Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί, είναι ο 62,5/125. Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900 $\mu\text{m}$ . Η αρχή μετάδοσης σε πολύτροπη οπτική ίνα είναι ότι οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδο τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες, όπως φαίνεται στα σχήματα 2 και 3.

Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος (multimode) ή πολυρυθμικός, επειδή έχουμε πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες ανάκλασης. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: τις **βηματικού δείκτη διάθλασης (step index)** και τις **διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (graded index)**.

- **Οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης (step index fiber)**

Στις ίνες αυτές συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης (περίβλημα). Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η πορεία των ακτινών για τις ίνες αυτές.



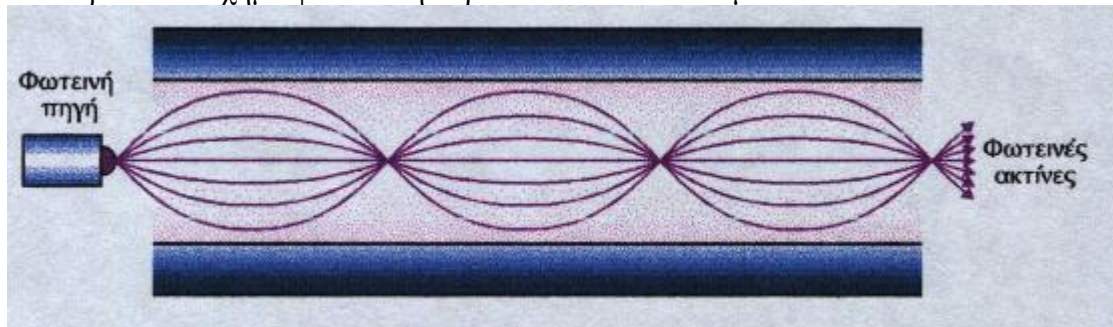


Εικόνα 7 Οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης

- Οπτική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (graded index fiber)

Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού συμβαίνει βαθμιαία μείωση.

Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η πορεία των ακτίνων σε μια τέτοια ίνα.



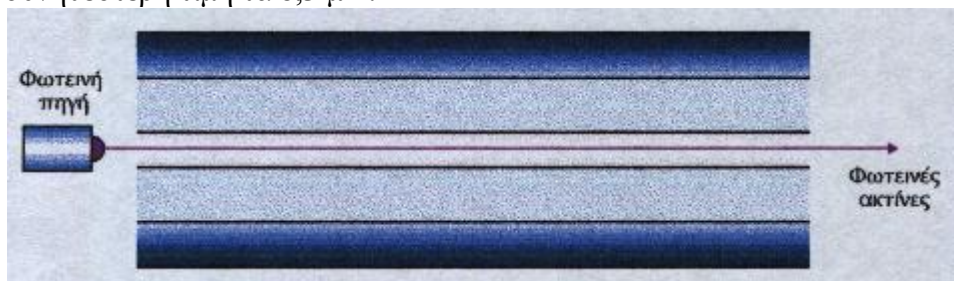
Εικόνα 8 Οπτική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης

### B) Μονότροπες οπτικές ίνες (single mode fiber optics).

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος του πυρήνα της οπτικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου μερικά μήκη κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος (αξονικός τρόπος ή αξονικός ρυθμός μετάδοσης).

Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται η πορεία των ακτίνων σε μια τέτοια οπτική ίνα.

Ο πυρήνας στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3 μm.



Εικόνα 9 Μονότροπη οπτική ίνα

## 2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ

Οι επιδόσεις μιας οπτικής ίνας εξαρτώνται :



- από τον τρόπο μετάδοσης του σήματος στην ίνα, με το αν, δηλαδή, η ίνα είναι πολύτροπη ή μονότροπη και
- από το μήκος κύματος του φωτός, που εκπέμπεται από την πηγή.

Στις μονότροπες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται μήκη κύματος  $1310 \text{ nm} < \lambda < 1550 \text{ nm}$ .

Στις πολύτροπες οπτικές ίνες έχουμε μήκη κύματος  $850 \text{ nm} < \lambda < 1300 \text{ nm}$ .

Πρέπει να τονισθεί, ότι για δεδομένη εγκατάσταση, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο ένας τρόπος μετάδοσης και μόνο ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος από τις πηγές σε όλη την έκταση της εγκατάστασης. Οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή εξασθένηση του σήματος. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστάσεις, που υπερβαίνουν τα 3Km, ενώ οι μονότροπες οπτικές ίνες μπορούν να υπερβούν τα 10 Km.

Υπάρχουν, όμως, και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι περιορίζουν τις παραπάνω αποστάσεις μετάδοσης. Τέτοιοι παράγοντες είναι :

1. Το εύρος ζώνης της πηγής και του δέκτη των σημάτων
2. Η χρωματική διασπορά του μεταδιδόμενου σήματος μέσα στην οπτική ίνα, η οποία διασπορά αυξάνεται με την απόσταση και εξασθενίζει το σήμα.
3. Η χρήση συνδετήρων και διακλαδωτών στην πορεία των οπτικών ινών.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι στις πολύτροπες οπτικές ίνες είναι πιο ανεκτό να χρησιμοποιήσουμε συνδετήρες και διακλαδωτές από τι στις μονότροπες.

Επίσης, στις πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους πηγές LED, ενώ οι μονότροπες οδηγούνται συνήθως από πηγή LASER.

Τυπική τιμή εξασθένησης σήματος για μια 62,5/125 πολύτροπη οπτική ίνα είναι 3,5 dB/Km για σήμα με μήκος κύματος  $\lambda=850 \text{ nm}$  και 1.0 dB/Km για μήκος κύματος  $\lambda=1300 \text{ nm}$ .

Τυπική τιμή εξασθένησης σήματος για μονότροπη οπτική ίνα είναι 0,5 dB/Km για  $\lambda=1310 \text{ nm}$  και 0,4 dB/Km για  $\lambda=1550 \text{ nm}$ .

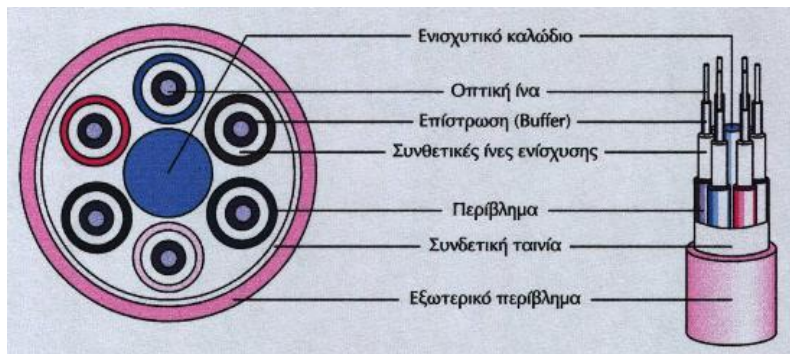
## 2.7 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Τα καλώδια οπτικών ινών περιέχουν από 1 έως 36 οπτικές ίνες. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα **καλώδια με ζυγό αριθμό οπτικών ινών** για την επικοινωνία των **full-duplex** κυκλωμάτων.

Θα ξεχωρίσουμε δυο τύπους οπτικών ινών ως προς την κατασκευή τους.

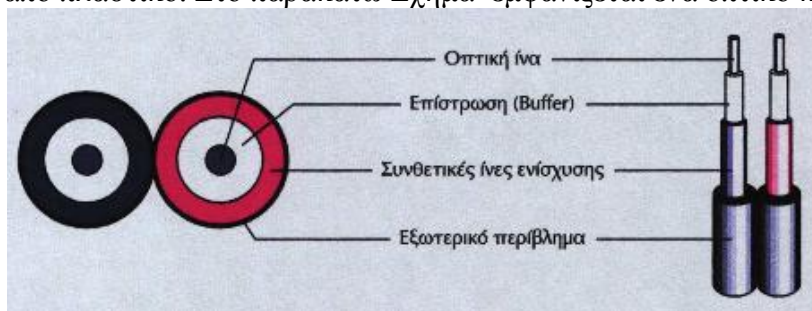
Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επίστρωση συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν πολλές τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος. Όλα αυτά τα καλώδια, τέλος, περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Tight Buffer.

Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται η ανωτέρω κατασκευή καλωδίου οπτικών ινών.



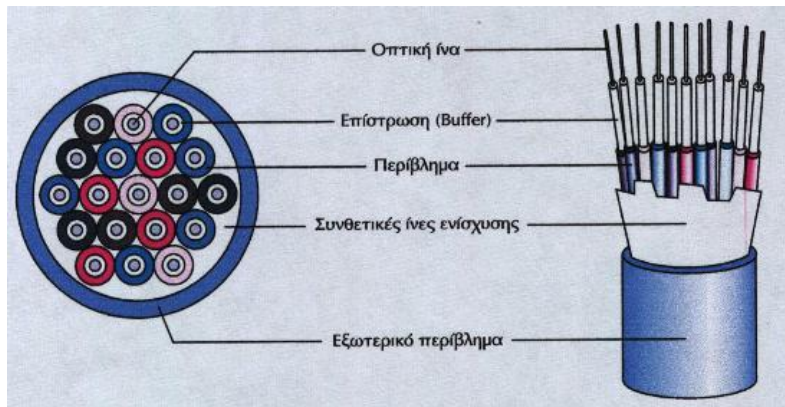
**Εικόνα 10 Καλώδιο οπτικών ινών ( Tight Buffer )**

Παρόμοιας κατασκευής είναι τα εύκαμπτα καλώδια, που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση με τον ενεργό εξοπλισμό (Optical patch cords). Αυτά αποτελούνται από δυο καλώδια ενωμένα στο εξωτερικό τους, το κάθε ένα από τα οποία περιέχει οπτική ίνα από πλαστικό. Στο παρακάτω Σχήμα εμφανίζεται ένα οπτικό καλώδιο σύνδεσης.



**Εικόνα 11 Οπτικό ( Patch cord )**

Στην δεύτερη περίπτωση, έχουμε τις οπτικές ίνες με την επίστρωση τους να είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο και περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα, αφού πρώτα τοποθετηθεί μέσα στο καλώδιο επίστρωση από συνθετικές ίνες για την ανθεκτικότητα του καλωδίου. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Loose Buffer. Στο παρακάτω Σχήμα εμφανίζεται η προαναφερθείσα κατασκευή καλωδίου οπτικών ινών.



**Εικόνα 12 Καλώδιο οπτικών ινών ( Loose Buffer )**

## 2.8 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Με την πάροδο των ετών έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι οπτικών ινών που ο κάθε ένας υποστηρίζει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις διάφορων τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών.

Για όλους τους τύπους των οπτικών ινών υπάρχουν διεθνή πρότυπα στα οποία προδιαγράφονται τα χαρακτηριστικά μετάδοσης καθώς και τα γεωμετρικά, μηχανικά και άλλα χαρακτηριστικά αυτών. Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες<sup>1</sup> ανάλογα με το αν υποστηρίζουν έναν ή πολλούς ρυθμούς μετάδοσης: στις οπτικές ίνες απλού τύπου και στις οπτικές ίνες πολλαπλού τύπου αντίστοιχα.

### **Απλού τύπου (Single mode)**

Οι οπτικές ίνες απλού τύπου ή μονοτροπικές ίνες έχουν διαστάσεις μέχρι 10μm. Τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. Η μικρή αυτή διάμετρος του πυρήνα επιτρέπει τη διέλευση σε ένα περιορισμένο πλήθος ακτίνων, ουσιαστικά μόνο σε ακτίνες που προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια της διατομής των οπτικών ινών. Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται συνήθως ως ίνες με βηματική κατανομή.

### **Πολλαπλού τύπου (Multi mode)**

Οι οπτικές ίνες πολλαπλού τύπου ή πολυτροπικές ίνες έχουν διαστάσεις από 50 – 100 μm, είναι πιο "χοντρές" από τις απλού τύπου, αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα, σε ξεχωριστό μονοπάτι, πολλά κύματα φωτός. Το κάθε κύμα φωτός, εισέρχεται στην οπτική ίνα υπό ελαφρώς διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα, και ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα της, μέσω των διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα. Αυτό συμβαίνει παράλληλα με πολλά κύματα φωτός (όλα σε διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα) κι έτσι μπορούμε να στείλουμε παράλληλα, τεράστιο όγκο δεδομένων.

## **2.9 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

Η δομή ενός δικτύου οπτικών ινών είναι χωρίς αμφιβολία αρκετά απλή. Συγκεκριμένα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Πομπός, ο οποίος πραγματοποιεί την μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε φωτεινή πληροφορία και πραγματοποιεί την εκπομπή της. Βρίσκεται σε επαφή με το οπτικό καλώδιο και διαθέτει κατάλληλο φακό, ώστε να διοχετεύει το φως στο εσωτερικό του.
- Μέσο μεταφοράς, που δεν είναι άλλο από το καλώδιο οπτικών ινών
- Ενισχυτής σήματος, ο οποίος για είναι απαραίτητος μόνο σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων και αναλαμβάνει την ενίσχυση του σήματος σε τακτικά διαστήματα. Επειδή, όπως ήδη αναφέρθηκε προηγουμένως, σε μεγάλες αποστάσεις παρατηρείται εξασθένιση του σήματος, η παρουσία ενός ενισχυτή.

Διαθέτει ειδικά κυκλώματα, τα οποία όταν λάβουν την εξασθενημένη φωτεινή πληροφορία, εκπέμπουν το σήμα εκ νέου, με πλήρη ισχύ.

- Δέκτης, ο οποίος λαμβάνει το φωτεινό σήμα και το μετατρέπει ξανά στην αρχική του μορφή, δηλαδή σε ψηφιακά δεδομένα. Όπως και ο πομπός, βρίσκεται σε άμεση επαφή με το καλώδιο οπτικών ινών και χρησιμοποιεί φωτοδιόδους για ανιχνεύσει το λαμβανόμενο σήμα.

Πόσο μακριά μπορεί να φτάσει το φως μέσα σε μία οπτική ίνα

Το φως κατά το «ταξίδι» του σε μία οπτική ίνα εξασθενεί. Αυτό γίνεται λόγω:

**α.** Λόγω απορρόφησης, που οφείλεται στις ξένες προσμείξεις που υπάρχουν στο γυαλί.

**β.** Λόγω σκέδασης το φως διεισδύει στο μανδύα και διασκορπίζεται. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εντονότερα, αν στην οπτική ίνα υπάρχουν συνδέσεις

**γ.** Λόγω κακής κατασκευής υπάρχουν στη διάμετρο του πυρήνα, για παράδειγμα, μικροδιακυμάνσεις.

**δ.** Λόγω μεγάλης καμπής της οπτικής ίνας.

Αν ο πυρήνας ήταν κατασκευασμένος από κοινό γυαλί, όπως αυτό των τζαμιών των σπιτιών μας, τότε το φως θα «ταξίδευε» μέσα στην ίνα το πολύ ένα μέτρο. Για το λόγο αυτό το γυαλί που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πυρήνα είναι μεγάλης καθαρότητας. Έτσι το φως μεταφέρεται σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων με πολύ μικρές απώλειες. Η καθαρότητα του γυαλιού είναι τέτοια, ώστε, αν θέλαμε να αντικαταστήσουμε το κοινό τζάμι ενός παραθύρου με τζάμι κατασκευασμένο από υλικό ίδιο με αυτό των οπτικών ινών, τότε αυτό, για να έχει την ίδια απορρόφηση φωτός, θα έπρεπε να έχει πάχος 1km περίπου.

### **2.9.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

- 1) Μεγαλύτερο εύρος ζώνης, το οποίο καθορίζει την ταχύτητα διάδοσης της πληροφορίας. Αυτό δείχνει μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς πληροφοριών.
- 2) Μικρές διαστάσεις και βάρος. Μεγάλο πλεονέκτημα για εταιρείες με χιλιάδες καλώδια και για τα αεροσκάφη όπου το βάρος είναι υπολογίσιμος παράγοντας.
- 3) Ηλεκτρική μόνωση, επομένως αντοχή στους ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους. Γι'αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικό περιβάλλον. Δεν ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές πηγές του περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει ότι δεν προκαλούν παρεμβολές και δεν παρεμβάλλονται.
- 4) Μικρότερο κόστος κατασκευής.
- 5) Μεγάλη δυσκολία υποκλοπής, γιατί δεν ακτινοβολούν.
- 6) Μηχανική και χημική αντοχή. Δεν προσβάλλεται από διαβρωτικά, τον αέρα, κλπ.
- 7) Δεν έχουν τους γνωστούς κινδύνους του ηλεκτρικού ρεύματος.
- 8) Μικρότερη απώλεια ενέργειας από τα χάλκινα καλώδια.

### **2.9.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ**

- 1) Νέα τεχνολογία, άγνωστη στους τεχνικούς δικτύων.
- 2) Δύσκολη συγκόλληση και διακλάδωση. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί και πλεονέκτημα, γιατί δυσκολεύει την υποκλοπή του σήματος.
- 3) Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι μονόδρομα και οι διασυνδέσεις τους είναι ακριβότερες από τις αντίστοιχες ηλεκτρικές.

Προοπτικές των οπτικών ινών

- α) Βελτίωση της τεχνολογίας για τη μείωση του κόστους παραγωγής.
- β) Έρευνα των ιδιοτήτων και των δυνατοτήτων των οπτικοηλεκτρονικών συστημάτων.
- γ) Χρήση στις υπεραστικές και υποβρύχιες συνδέσεις χωρίς ενδιάμεση ενίσχυση.
- δ) Χρήση στα συνδρομητικά δίκτυα. Συνδρομητικά κέντρα ονομάζονται τα κέντρα που τοποθετούνται σε μεγάλες μονάδες όπως εργοστάσια, νοσοκομεία, ξενοδοχεία.
- ε) Δυνατότητα μεταγωγής (Switching), απ'ευθείας ενίσχυση, μείωση κατανάλωσης, αύξηση αξιοπιστίας.

### 2.9.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι οπτικές ίνες έχουν πάρα πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας. Χρησιμοποιούνται ευρέως για την φωταγωγή καταστημάτων αλλά και έργων τέχνης, για τον φωτισμό πισινών, σε συστήματα αρχιτεκτονικού φωτισμού καθώς επίσης και για βιομηχανικό έλεγχο. Μεγάλη εφαρμογή επίσης βρίσκουν και σε συστήματα οικονομικών υπηρεσιών, σε τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα, αλλά κυρίως στην ιατρική και στις τηλεπικοινωνίες.

#### Ιατρική

Οι οπτικές ίνες εκτός από τις τηλεπικοινωνίες βρίσκουν εφαρμογές και στην ιατρική

- Υιοθέτηση ταυτόχρονα με τη χρήση των λέιζερ.
- Εφαρμογές λέιζερ στις εγχειρήσεις, καυτηριασμούς φυσιοθεραπείες κ.ά.
- Οι οπτικές ίνες δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς της φωτεινής δέσμης λέιζερ από την πηγή μέχρι τη λαβή, που πρέπει να χειρίζεται ο γιατρός δίπλα στον ασθενή.
- Στην ιατρική, οι οπτικές ίνες ονομάζονται και φωταγωγοί, όπου χρησιμοποιούνται ευρύτητα και ειδικότερα σε ενδοσκοπήσεις δίνοντας οπτική εικόνα από τον περιορισμένο χώρο των εσωτερικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος.
- Οι γιατροί μπορούν να δουν την εσωτερική επιφάνεια μέρους του στομάχου ή άλλου οργάνου χρησιμοποιώντας ζεύγος οπτικών ινών.
- Η μικρή διάσταση του πυρήνα παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης εικόνας ακόμα και χωρίς τη χρήση άλλων οπτικών συστημάτων ( π.χ. φακών ).

#### Τηλεπικοινωνίες

Η χρήση των οπτικών ινών στον τομέα των τηλεπικοινωνιών έφερε την επανάσταση στις επικοινωνίες για πολλούς λόγους:

- Με την βοήθεια μιας ίνας μπορούμε να μεταφέρουμε ταυτόχρονα και χωρίς παρεμβολές χιλιάδες τηλεφωνήματα και δεκάδες εκπομπές τηλεοπτικών καναλιών.
- Ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να αντικαταστήσει χάλκινο καλώδιο δεκαπλάσιας διαμέτρου και τριακονταπλάσιου βάρους.
- Κατά την διάρκεια μετάδοσης της πληροφορίας δεν υπάρχουν παράσιτα.
- Είναι δύσκολη η υποκλοπή των δεδομένων (τοποθέτηση κοριών).
- Δυνατότητα παραγωγής από κάθε χώρα με αποτέλεσμα η απεξάρτηση από τις χώρες που παράγουν χαλκό.

## **ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

Θα αναφερθώ και θα αναλύσω τις βασικές αρχές των ναυτικών ηλεκτρονικών οργάνων, τα χαρακτηριστικά τους, τις μεθόδους τους αλλά και τι αλλοιώνουν τη λειτουργία τους και τους τρόπους χρησιμοποίησής τους στη ναυσιπλοΐα. Στη συνέχεια θα αναφερθούν και θα αναλυθούν οι ηλεκτρονικές εφαρμογές υποστήριξης των ναυτιλιακών υπηρεσιών, των εφαρμοσμένων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων καθώς και αναφορά στις μελλοντικές εξελίξεις

### **3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ RADAR**

Ο ραδιοεντοπιστής ή γνωστότερο με το διεθνές όνομα ραντάρ που προέρχεται από σύντμηση των αγγλικών λέξεων "RAdio Detection And Ranging" και σημαίνει "ανίχνευση με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μέτρηση αποστάσεως". Αποτελεί ένα βασικό ηλεκτρονικό σύστημα ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού, παρακολούθησης ακίνητων και κινητών στόχων, σε αποστάσεις και συνθήκες φωτισμού απαγορευτικές για τον απευθείας οπτικό εντοπισμό, δηλαδή με το ανθρώπινο μάτι ή και οπτικά όργανα. Η μεγάλη αξία του ραντάρ οφείλεται στις σημαντικές δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης στόχων σε μεγάλες αποστάσεις και με μεγάλη ακρίβεια.

Το πρώτο ραντάρ που τέθηκε σε λειτουργία με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα ήταν κατασκευή του Εθνικού Εργαστηρίου Φυσικής (National Physical Laboratory, NPL) της Μ. Βρετανίας και ειδικότερα του προϊσταμένου του Ρόμπερτ Ουάτσον-Ουάτ. Όταν το Υπουργείο Άμυνας τον ρώτησε για την "ακτίνα θανάτου", που διέδιδαν οι Γερμανοί ναζιστές ότι διέθεταν, ο Ουάτ απάντησε ότι δεν υπήρχε τέτοια δυνατότητα, ωστόσο ήταν δυνατός ο ραδιοεντοπισμός ιπτάμενων αντικειμένων σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Το Υπουργείο ενθάρρυνε τις προσπάθειές του, αρχικά για ένα σύστημα που αποκλήθηκε "Radio Direction Finding" ή "RDF") και στη συνέχεια μετονομάστηκε σε ραντάρ. Χωρίς το σύστημα ραντάρ που διέθετε αποκλειστικά εκείνη την εποχή η Μ. Βρετανία, δε θα ήταν δυνατή η επιτυχής έκβαση της "μάχης της Αγγλίας" (Battle of Britain), όπως αποκλήθηκε η απόπειρα καταστροφής της RAF από τη Λουφτβάφε το 1940. Σήμερα, το ραντάρ δεν έχει μόνο βελτιωθεί, αλλά χρησιμοποιείται και για διάφορους άλλους σκοπούς.

#### **3.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ RADAR**

Με απλά λόγια το radar είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που μας επιτρέπει να «βλέπουμε» τον γύρω μας χώρο στο σκοτάδι ή σε ομίχλη. Στην πραγματικότητα, είναι ένας πομποδέκτης ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που με κατάλληλες ηλεκτρονικές βαθμίδες μας βοηθά να παρατηρήσουμε πάνω στην οθόνη του τον περιβάλλοντα χώρο μας, ακτές, πλοία κ.λπ. Μας δίνει ακόμη τη δυνατότητα να υπολογίζουμε αποστάσεις και διοπτεύσεις μεταξύ «στόχων» και του σκάφους μας. Ανάλογα με τη χρήση τους (π.χ. για προσέγγιση αεροσκαφών κ.λπ.) τα radar διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Η συσκευή που μας ενδιαφέρει στο συγκεκριμένο θέμα είναι το radar επιφανείας ή ναυσιπλοΐας, όπως αλλιώς λέγεται.

### 3.2.2 ΑΠΟ ΤΙ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΤΟ RADAR

Τα σύγχρονα radar βασικά αποτελούνται από δύο κυρίως μέρη, την κεραία και τον ενδείκτη. Μέσα στη μονάδα της κεραίας βρίσκονται, ο πομπός, το T/R switch (διακόπτης εναλλαγής πομπού-δέκτη) και η κυρίως κεραία. Στη μονάδα ένδειξης (οθόνη) βρίσκονται, ο δέκτης και η κυρίως οθόνη τύπου λυχνίας TV ή υγρού κρυστάλλου (LCD). Ο πομπός παράγει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η κεραία εκπέμπει τα σήματα από τον πομπό και λαμβάνει αυτά, που επιστρέφουν από τις διάφορες ανακλάσεις σε στόχο. Ο δέκτης είναι εκείνος στον οποίο οδηγούνται τα κύματα, που λαμβάνονται από την κεραία, για να ενισχυθούν. Ο ενδείκτης παρέχει τι τελικές πληροφορίες για το στόχο στο χειριστή και τέλος ο διακόπτης εκπομπής - λήψης συνδέει ηλεκτρονικά την κεραία, είτε με τον πομπό, είτε με το δέκτη κατά περίπτωση.

### 3.2.3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ RADAR

Τα σημερινά radar διαθέτουν ηλεκτρονικά κυκλώματα υψηλής τεχνολογίας, που επιτρέπουν το χειρισμό και σε άτομα μη εκπαιδευμένα. Για μια άριστη λήψη/εικόνα, βεβαίως, χρειάζεται πάντα και η εμπειρία του χειριστή. Η εκκίνηση της συσκευής είναι πολύ απλή: Ανοίγουμε τη συσκευή από το διακόπτη Power ή Mains ή Radar στη θέση On ή Start. Περιμένουμε 1 – 6 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, ώστε να ζεσταθούν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα της εκπομπής/λήψης. Μετά από το απαιτούμενο χρονικό διάστημα εμφανίζεται στην οθόνη η ένδειξη Stand by και η συσκευή μας είναι έτοιμη να εκπέμψει. Με την ενεργοποίηση της εντολής transmit, στην οθόνη μας εμφανίζεται η γραμμή σάρωσης, η οποία κυκλικά κινούμενη σχηματίζει την εικόνα του περιβάλλοντα χώρου. Το κέντρο της οθόνης είναι η αρχή της γραμμής σάρωσης και υποδηλώνει το σημείο όπου βρίσκεται η συσκευή του radar, δηλαδή το σκάφος μας.

Προσοχή χρειάζεται να δίνουμε στις εξής ρυθμίσεις:

**Tune:** «Συντονίζει» τον πομποδέκτη για να δώσει τις σωστές εντολές, ώστε να πάρουμε καθαρή εικόνα. Συνήθως είναι αυτόματη η ρύθμιση αυτή. Αν όχι, τότε ο λανθασμένος χειρισμός αφαιρεί στόχους από την εικόνα.  
**Gain (ευαισθησία):** Έχει άμεση σχέση με την ρύθμιση tune και την κλίμακα εμφάνισης. Υπερβολικό gain δίνει εικόνα με έντονες σκιάσεις ή και επικαλύψεις στόχων. Ελάχιστο gain αφαιρεί ευαισθησία και στόχους.  
**Rain clutter:** Φίλτρο, που το χρησιμοποιούμε όταν έχουμε ραγδαία βροχόπτωση και στην οθόνη εμφανίζονται πολλαπλά στίγματα.

**Sea clutter:** Φίλτρο, που το ενεργοποιούμε, όταν έχουμε πολύ έντονο κυματισμό και αέρα, που προξενούν το ίδιο φαινόμενο με τη βροχόπτωση.

## 3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ

**Γυροσκοπική πυξίδα**, ή *γυροπυξίδα*, (εκ του αγγλικού όρου Gyrocompass, προφέρεται τζάιρο-κόμπας), ονομάζεται η πυξίδα της οποίας η λειτουργία βασίζεται στην κίνηση του γυροσκοπίου αντί της μαγνητικής βελόνας που φέρουν οι



μαγνητικές πυξίδες. Η κατασκευή της γυροσκοπικής πυξίδας βασίστηκε στις ιδιότητες του γυροσκοπίου που επινόησε και κατασκεύασε ο **Λέων Φουκό** (1816-1869), ο οποίος το 1851 ασχολούμενος με την απόδειξη περιστροφής της Γης περί τον άξονά της χρησιμοποίησε την ιδιότητα του εκκρεμούς που διατηρούσε το επίπεδο αιώρησής του, (στο χώρο), σταθερό, με το γνωστό πείραμα που έκανε στο Πάνθεον των Παρισίων.

Επειδή όμως το πείραμα εκείνο δεν θεωρήθηκε απόλυτα ικανοποιητικό, λόγω της συνύπαρξης της βαρύτητας, τον επόμενο χρόνο, το 1852 χρησιμοποιώντας το παιγνίδι "σβούρα", (spinning top), κατασκεύασε το γυροσκόπιο όπου με τη βασική ιδιότητα που παρατηρείται σ' αυτό, της λεγόμενης **γυροσκοπικής αδράνειας**, κατάφερε ν' αποδείξει εκ νέου την περιστροφή της Γης, χωρίς αυτή τη φορά τη συμμετοχή της βαρύτητας στο πείραμα του.

Από τότε παρήλθε σχεδόν μισός αιώνας όταν η ηλεκτρική ενέργεια κατέστησε δυνατή την περιστροφή του γυροσκοπίου και την παρακολούθησή του από τους επιστήμονες για την τεχνική εφαρμογή του σε διάφορους τομείς, σημαντικότερη των οποίων και ήταν η κατασκευή της γυροσκοπικής πυξίδας.

Για να κατασκευαστεί μια τέτοια πυξίδα θα πρέπει το χρησιμοποιούμενο μέσον να διατηρεί σταθερή κατεύθυνση ως προς το επίπεδο του ορίζοντα και η κατεύθυνση αυτή να είναι γνωστή. Επίσης ο άξονας περιστροφής του γυροσφονδύλου των γυροσκοπικών πυξίδων μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας διατηρεί σταθερή κατεύθυνση στο χώρο διατηρώντας σταθερή θέση προς τον Γήινο Μαγνητικό Πόλο όπου και στην πραγματικότητα καθίσταται παράλληλος με τον μεσημβρινό του τόπου που βρίσκεται. Με βάση τα παραπάνω πρώτος ο Γερμανός φυσικός **Χέρμαν Άνσουτς** (Herman Anschütz - Karfe) κατασκεύασε το 1908 την πρώτη γυροσκοπική πυξίδα. Αυτόν ακολούθησε ο Αμερικανός επιστήμονας **Έλμερ Σπέρρυ** (Elmer Sperry) το 1911. Και οι δύο επιστήμονες εργαζόμενοι ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο κατασκεύασαν γυροσκοπικές πυξίδες βασιζόμενοι σε διαφορετικό τρόπο στήριξης του γυροσκοπίου και σταθεροποίησης του άξονα περιστροφής στον μεσημβρινό.

Έτσι όλοι οι μέχρι σήμερα τύποι γυροσκοπικών πυξίδων που έχουν εξελιχθεί, εκτός των τύπων Sperry και Anschütz, βασίζονται στα συστήματα των δύο αυτών αρχικών τύπων με ορισμένες παραλλαγές.

### **3.3.1 ΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

Τα σφάλματα τα οποία παρουσιάζει η γυροσκοπική πυξίδα είναι:

1. το σφάλμα πλάτους, πορείας και ταχύτητας
2. το σφάλμα αποσβέσεως
3. το σφάλμα βαλλιστικής εκτροπής
4. το σφάλμα διατοιχισμού του πλοίου

### **3.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

Κύριο και βασικό πλεονέκτημα των γυροσκοπικών πυξίδων έναντι των μαγνητικών είναι ακριβώς ότι ο άξονας περιστροφής του γυροσκοπίου τους στρέφεται προς την κατεύθυνση του αληθιού Βορρά - Νότου και παραμένει σταθερά εκεί, (μετά πάροδο λίγων ωρών από την εκκίνησή τους), χωρίς να επηρεάζεται από μαγνητική απόκλιση ή και παρεκτροπή που αντίθετα απαντώνται στις μαγνητικές πυξίδες και που

προέρχονται τόσο από το γήινο μαγνητικό πεδίο, από τόπου εις τόπο, όσο και από επίδραση του περίξ μαγνητικού πεδίου (εξ αιτίας φορτίου και διερχομένων ηλεκτροφόρων καλωδίων), με συνέπεια να θεωρούνται αμφιβόλου ακριβείας αφού δεν υφίσταται δυνατότητα έγκαιρου ελέγχου των ενδείξεών τους με παρατήρηση. Γεγονός που σημαίνει ότι όλες οι ενδείξεις των γυροσκοπικών πυξίδων είναι πάντα αληθείς και συνεπώς δεν χρήζουν διορθώσεων.

Σ' αυτό το βασικό πλεονέκτημα αν προστεθούν και οι δυνατότητες που παρέχουν οι γυροσκοπικές πυξίδες όπως η σύνδεσή τους με άλλα βασικά ναυτιλιακά όργανα, που δεν παρέχουν οι μαγνητικές, όπως π.χ. με ραντάρ, με ραδιογωνιόμετρα, με τα αυτόματα συστήματα πηδαλιουχίας (αυτόματους πιλότους πλοίων), ή ακόμα και με ηλεκτρική μετάδοση των ενδείξεών τους σε διάφορους επαναλήπτες (repeaters) που μπορεί να βρίσκονται και εκτός της Γέφυρας του Πλοίου, ακόμα και στην καμπίνα του Πλοιάρχου, καθίσταται καταφανές η μεγάλη σημασία τους στην εξέλιξη της ναυσιπλοΐας και την απαραίτητη χρήση τους απ' όλους τους τύπους των πλοίων, τόσο των πάσης φύσεως εμπορικών, όσο και των μεγάλων πολεμικών πλοίων.

### **3.3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΥΞΙΔΩΝ**

Στο βασικό ερώτημα, και τι γίνεται αν σημειωθεί διακοπή ηλεκτρικής παροχής, κοινώς Μπλάκ-άουτ; Η ρεαλιστική απάντηση είναι "απολύτως τίποτα", αφού το πλοίο θα διακόψει την πορεία του μέχρι την επανεκκίνηση των μηχανών του. Παρά ταύτα εικάζεται ότι οι μαγνητικές πυξίδες θα εξακολουθούν να παραμένουν κύρια όργανα ναυτιλίας - κατεύθυνσης και προσανατολισμού των πλοίων ως υποκείμενα ελάχιστα, και μόνο, σε μηχανικές βλάβες, υπό οποιεσδήποτε συνθήκες πλόων.

Αντίθετα οι γυροσκοπικές πυξίδες αποτελούν περίπλοκους ηλεκτρικούς μηχανισμούς που υπόκεινται, όπως είναι φυσικό, σε ειδική διαδικασία, κατά τύπο, συντήρησης και ποικιλία βλαβών. Για το λόγο αυτό και απαιτούν κατάλληλα και ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό τουλάχιστον για την παρακολούθηση της καλής λειτουργίας τους και για την επιβαλλόμενη συντήρησή τους, βάσει των τεχνικών εγχειριδίων που συνοδεύουν αυτές, για την ανίχνευση και αποκατάσταση των πιθανότερων παρουσιαζομένων βλαβών. Ένα μέρος των παραπάνω εργασιών επιδιώκεται να γίνεται από το ανώτερο προσωπικό πλοίου, εφόσον έχει υποστεί βέβαια ανάλογη εκπαίδευση. Ενώ για βλάβες που απαιτούν ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις θα πρέπει να καλούνται οι κατά τόπους τεχνικοί, (service engineers), του πρώτου λιμένα προσέγγισης που υφίστανται.

- Σε όλες τις ελληνικές "Ναυτικές Ακαδημίες" καθώς και στη Σχολή Ναυτικών Δοκίμων υφίσταται ιδιαίτερο μάθημα διδασκαλίας επί των γυροσκοπικών πυξίδων. Επίσης σε όλους τους μεγάλους λιμένες της Ελλάδας, εκτός των κυρίων αντιπροσώπων των κατασκευαστικών εταιριών υφίστανται ειδικευμένα συνεργεία αποκατάστασης βλαβών γυροσκοπικών πυξίδων.

Επίσης το μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι γυροσκοπικές πυξίδες ως προς το χρόνο που απαιτείται από την εκκίνηση τους μέχρι να καταστούν ναυτιλιακά χρησιμοποιήσιμες, που είναι περίπου 4 - 5 ώρες, αντιπαρέρχεται, είτε με την έγκαιρη εκκίνηση τους πριν τον προβλεπόμενο χρόνο απόπλου, είτε με ειδικό τρόπο, κατά τύπο, βάση των τεχνικών εγχειριδίων που τις συνοδεύουν.

### 3.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ GPS

Το **GPS (Global Positioning System)**, **Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης**, ή **Θεσιθεσίας** είναι παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης, (στίγματος), ακίνητου ή κινούμενου χρήστη, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται "πομποδέκτες GPS". Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές.

Το σύστημα ξεκίνησε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και ονομάστηκε NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Το δορυφορικό αυτό σύστημα ρυθμίζεται καθημερινά από τη Βάση Πολεμικής Αεροπορίας Σρίβερ (Schriever) με κόστος 400 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο.

Τα σημεία του ορίζοντα, ή ακόμη και τα αστέρια, χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα για τον προσανατολισμό των ανθρώπων. Ένα σταθερό άστρο στον ουρανό, με γνωστή γεωγραφική θέση ως προς το σημείο παρατήρησης, αποτελούσε σημείο αναφοράς και βοηθούσε τους ανθρώπους στο να βρουν τη σωστή πορεία τους. Στον προσανατολισμό συνέβαλαν αργότερα και άλλα μέσα, όπως η πυξίδα και ο εξάντας. Ωστόσο ο εξάντας είναι εύχρηστος μόνο για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους, ενώ η χρήση του για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού μήκους είναι δύσκολη και εξαιρετικά σύνθετη, πράγμα που αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα για προσδιορισμό του στίγματος στην θάλασσα. Ως αποτέλεσμα, τον 17ο αιώνα, το Ηνωμένο Βασίλειο συνέστησε ένα συμβούλιο επιστημόνων, το οποίο θα επιβράβευε χρηματικά όποιον θα μπορούσε να εφεύρει ένα όργανο, το οποίο θα επέτρεπε τον ακριβή υπολογισμό και των δύο γεωγραφικών συντεταγμένων, δηλαδή μήκους και πλάτους.

Το 1761, ο Άγγλος ωρολογοποιός Τζον Χάρισσον (John Harrison), ύστερα από προσπάθειες δώδεκα ετών, κατασκεύασε ένα όργανο, το οποίο δεν ήταν άλλο από το γνωστό σημερινό χρονόμετρο. Σε συνδυασμό με τον εξάντα, το χρονόμετρο επέτρεπε τον υπολογισμό του στίγματος των πλοίων με εξαιρετική ακρίβεια (για τα δεδομένα της εποχής). Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι να δημιουργηθούν τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονταν σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραντάρ, στα μέσα του 20ού αιώνα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου (και χρησιμοποιούνται ακόμη). Τα συστήματα εντοπισμού θέσης της εποχής αποτελούνταν από ένα δίκτυο σταθμών βάσης και κατάλληλους δέκτες.

Ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λάμβανε κάθε δέκτης από σταθμούς γνωστής γεωγραφικής θέσης, σχηματίζονταν δύο ή περισσότερες συντεταγμένες, μέσω των οποίων προσδιοριζόταν η θέση των σημείων ενδιαφέροντος επάνω σε ένα χάρτη. Στην περίπτωση αυτή, όμως, συνέβαιναν υπήρχαν δύο διαφορετικά προβλήματα: Στην πρώτη περίπτωση η χρήση σταθμών βάσης, που θα εξέπεμπαν σήμα σε υψηλή συχνότητα, διέθεταν μεν υψηλή ακρίβεια εντοπισμού, αλλά είχαν μικρή εμβέλεια. Στη δεύτερη περίπτωση συνέβαινε το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή ο σταθμός βάσης

χρησιμοποιούσε μεν χαμηλή συχνότητα εκπομπής σήματος, προσφέροντας έτσι υψηλότερη εμβέλεια, αλλά και η ακρίβεια που παρείχε ήταν χαμηλή.

Έστω και με αυτά τα προβλήματα, η αρχή της χρήσης ραδιοκυμάτων για τον εντοπισμό της θέσης ενός σημείου είχε ήδη γίνει. Το Global Positioning System στη σημερινή του μορφή βασίζεται σε παρεμφερή τεχνολογία. Συνδυάζει όλες τις μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί στον ουρανό, δηλαδή την τεχνολογία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και την παρατήρηση ενός –τεχνητού αυτή τη φορά- ουράνιου σώματος. Οι σταθμοί βάσης που λαμβάνουν και δέχονται τα απαραίτητα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν είναι πλέον επίγειοι, αλλά εδρεύουν σε δορυφόρους.

Ένα δίκτυο πολυάριθμων (24 - 32) δορυφόρων που βρίσκεται σε σταθερή θέση γύρω από τον πλανήτη μας, βοηθά τους δέκτες GPS να παράξουν το ακριβές στίγμα ενός σημείου οπουδήποτε στον κόσμο. Όταν, το 1957, πραγματοποιήθηκε η εκτόξευση του δορυφόρου Σπούτνικ, οι άνθρωποι είχαν ήδη αντιληφθεί ότι ένα τεχνητό ουράνιο σώμα κοντά στη Γη είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου πάνω στον πλανήτη. Αμέσως μετά την εκτόξευσή του, οι ερευνητές του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) διαπίστωσαν ότι το σήμα που λαμβανόταν από τον δορυφόρο αυξανόταν καθώς αυτός πλησίαζε προς το επίγειο σημείο παρατήρησης και μειωνόταν όταν ο δορυφόρος απομακρυνόταν από αυτό. Αυτό ήταν και το πρώτο βήμα για την υλοποίηση της τεχνολογίας που σήμερα αποκαλείται Global Positioning System. Με τον ίδιο τρόπο που η θέση ενός δορυφόρου μπορούσε να εντοπιστεί ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται από αυτόν, υπήρχε και η δυνατότητα να συμβεί το ακριβώς αντίθετο: Ο δορυφόρος να εντοπίσει την ενός σημείου θέση με ιδιαίτερη ακρίβεια. Στην πραγματικότητα ένας δορυφόρος δεν είναι αρκετός για να υπάρξουν ακριβή αποτελέσματα, αλλά απαιτούνται τουλάχιστον τρεις, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Το GPS αρχικά δημιουργήθηκε αποκλειστικά για στρατιωτική χρήση και ανήκε στη δικαιοδοσία του αμερικανικού Υπουργείου Εθνικής Άμυνας. Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 το σύστημα δορυφορικής πλοήγησης, γνωστό τότε με την ονομασία Transit System, χρησιμοποιήθηκε ευρέως από το αμερικανικό ναυτικό. Απαιτήθηκαν αρκετές δεκαετίες, μέχρι δηλαδή τα μέσα της δεκαετίας του 1990, ώστε το σύστημα GPS να εξελιχθεί, να γίνει ιδιαίτερα ακριβές και να αρχίσει να διατίθεται για ελεύθερη χρήση από το ευρύ κοινό.

### **3.4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ GPS**

Το σύστημα GPS αποτελείται:

- Από τους δορυφόρους: είναι 18 βασικοί και 3 εφεδρικοί ενώ από εφέτος αυξήθηκαν σε 21 βασικούς και 3 αναπληρωματικούς με διάρκεια ζωής 7,5 χρόνια. Λόγω της διάταξης τους και των τροχιών τους θα υπάρχει ομοιόμορφη παγκόσμια κάλυψη πράγμα που σημαίνει ότι σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή 4 τουλάχιστον δορυφόροι θα είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο της γης. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε δυο συχνότητες ( $L_1=1227$  MHz,  $L_2=1575$  MHz) ένα ναυτιλιακό σημείο που περιέχει διάφορες παραμέτρους της τροχιάς του ακριβή διορθωμένο U.T.C πληροφορίες για διορθώσεις στην διάδοση των σημάτων του δορυφόρου στην ιονόσφαιρα και στοιχεία καταστάσεώς του.

- Επίγειους σταθμούς ελέγχου του συστήματος GPS ελέγχεται από δίκτυο 5 γήινων σταθμών παρακολουθήσεως και ελέγχου. Οι σταθμοί αυτοί λαμβάνουν τα σήματα των δορυφόρων τα οποία στέλνονται στον κεντρικό σταθμό του Colorado Springs όπου επεξεργάζονται και αναλύονται και εκπέμπονται διορθώσεις που αφορούν την τροχιά και τον ακριβή χρόνο.

- Από τους δέκτες GPS των οποίων οι βασικές μονάδες είναι οι εξής:

A) Κεραία που είναι πάντοτε πολυκατευθυντήρια (κάλυψη όλων των σημείων του ορίζοντα)

Ανάλογα με τον προσδιορισμό του δέκτη GPS χρησιμοποιούνται οι κάτωθι τύποι κεραιών:

A) Μονοπολική, τετράφυλλη, Επίπεδη, Σπειροειδής

Οι δυο πρώτες λαμβάνουν σήματα της μιας μόνο συχνότητας (L1) ενώ οι άλλες δυο λαμβάνουν σήματα και των δυο συχνοτήτων.

B) Προενισχυτής ο οποίος χρησιμοποιείται για τη ενίσχυση των λαμβανομένων δορυφορικών σημάτων και ελάττωση των θορύβων.

Γ) Μονάδες λήψεως δορυφορικών σημάτων «κανάλια» τα οποία ανάλογα με τον προσδιορισμό των δεκτών κυμαίνονται από 1-8

Δ) Μονάδες επεξεργασίας δορυφορικών σημάτων ενός δέκτη GPS: όπως τα κανάλια μπορεί να είναι μια ή και περισσότερες

E) Ο υπολογιστής: που ελέγχει και συντονίζει όλες τις λειτουργίες του δέκτη επιλέγει τους καταλληλότερους δορυφόρους, εφαρμόζει διορθώσεις, υπολογίζει το στίγμα και ταχύτητα του πλοίου καθώς και ακολουθητέα πορεία για άφιξη σ' ένα σημείο προορισμού, διόπτευση και απόσταση προς δεδομένο σημείο κ.λ.π

### 3.4.2 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GPS

Τα σφάλματα του συστήματος GPS είναι ένας συνδυασμός θορύβου, βίας και αποτυχιών. Τα λάθη του θορύβου προέρχονται από το RPN κωδικού θορύβου (περίπου 1 μέτρο) και τον θόρυβο του δέκτη θορύβου. Τα λάθη βίας προέρχονται από την επιλεκτική διαθεσιμότητα και άλλους παράγοντες. Τα μη διορθωμένα δορυφορικά ρολόγια μπορούν να επιφέρουν ενός μέτρου λάθους όπως επίσης και η τροποσφαιρική καθυστέρηση το οποίο είναι το χαμηλότερο σημείο της ατμόσφαιρας που υφίσταται τις αλλαγές της θερμοκρασίας, πίεσης και ασφυκτικότητας σε σχέση με τις αλλαγές του καιρού. Τα σφάλματα των χειριστών προκαλούν λάθη από 1 έως εκατοντάδες μέτρα. Ο θόρυβος και τα λάθη συνδυάζονται με αποτέλεσμα τα λάθη να μετριούνται σε 15 μέτρα για κάθε δορυφόρο που χρησιμοποιείται σε θέση λύσης.

### 3.5 ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

Το **Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισεως**, ευρύτερα γνωστό ως **σύστημα AIS**, (αγγλικά: *Automatic Identification System - AIS*) είναι ένα σύστημα αυτόματης ανταλλαγής ψηφιακών σημάτων μεταξύ πλοίων, αλλά και παράκτιων συστημάτων κυκλοφορίας πλοίων, στη συχνότητα των υπερβραχέων κυμάτων (VHF). Μέσω του συστήματος αυτού επιτυγχάνεται η αμοιβαία ενημέρωση όλων των πλοίων, της ταυτότητάς τους, του φορτίου τους, του λιμένα απόπλου και κατάπλου, καθώς και άλλων χρήσιμων πληροφοριών. Οι πληροφορίες του συστήματος εμφανίζονται σε σύγχρονο απεικονιστικό μέσο (οθόνη), ενώ ενσωματώνονται επίσης και στις

πληροφορίες των Συστημάτων Απεικόνισης Ηλεκτρονικού Χάρτη και Πληροφοριών (ECDIS).

Σύμφωνα με το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό ο αντικειμενικός σκοπός της ανάπτυξης του συστήματος AIS είναι η βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας κατά τον πλου, η δυνατότητα εκτελέσεως ασφαλέστερης και αποτελεσματικότερης ναυτιλίας, η αναγνώριση των στόχων, η υποβοήθηση της παρακολούθησης των στόχων, η απλούστευση της επικοινωνίας/ ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ πλοίων και η παροχή επιπρόσθετης πληροφορίας για ορθή εκτίμηση του ναυτιλιακού περιβάλλοντος.

### 3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ AIS

Κάθε πομποδέκτης AIS επικοινωνεί χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα δύο συχνότητες υπερβραχέων κυμάτων (161,975 MHz και 162,025 MHz). Η δεύτερη συχνότητα έχει υιοθετηθεί για την αποφυγή προβλημάτων παρεμβολών, καθώς και για λόγους που εξυπηρετούν την απρόσκοπτη συμμετοχή του μέγιστου δυνατού αριθμού πλοίων στο δίκτυο. Η εμβέλεια του συστήματος είναι ίδια με εκείνη των υπερβραχέων σημάτων, η οποία συνήθως υπερβαίνει την αντίστοιχη του ραντάρ. Πρακτικά ανέρχεται στα 40 ναυτικά μίλια για μεγάλα πλοία (μεγάλο ύψος κεραίας) και στα 20 ναυτικά μίλια για μικρά πλοία (μικρό ύψος κεραίας). Η εμβέλεια αυτή αυξάνεται κατακόρυφα, κατά την παράκτια ναυσιπλοΐα, όταν το παράκτιο κράτος διαθέτει σύστημα αναμεταδοτών ξηράς του συστήματος AIS.

Το εκπεμπόμενο σήμα χρησιμοποιεί την τεχνολογία των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Το σήμα, δηλαδή, υποδιαιρείται σε στοιχειώδεις κυματομορφές, οι οποίες μεταφράζονται σε δυαδικά σύμβολα (0 ή 1). Το σύστημα AIS χρησιμοποιεί την μέθοδο **Αυτοδιαχειριζόμενη Πολλαπλή Πρόσβαση διά Καταμερισμού του Χρόνου** (*Self-Organized Time Division Multiple Access - SOTDMA*) μέσω της οποίας τα πλοία, πριν την εκπομπή των πληροφοριών του AIS, ανταλλάσσουν τυποποιημένα σήματα ελέγχου, οδηγώντας έτσι σε αποδοτική διευθέτηση θεμάτων, όπως η είσοδος στο σύστημα νέων χρηστών, η απαλοιφή παλαιών και η προτεραιότητα στην απεικόνιση των πλέον επικίνδυνων στόχων.

Το τηλεπικοινωνιακό πρωτόκολλο του AIS είναι ενδεικτικό της δυναμικής των σύγχρονων ασυρμάτων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, που χρησιμοποιούν τεχνικές δικτυοκεντρικής οργάνωσης. Αυτό το πρωτόκολλο υποδιαιρείται σε τέσσερις φάσεις:

1. Φάση έναρξης
2. Φάση ένταξης στο δίκτυο
3. Φάση της πρώτης περιόδου λειτουργίας
4. Φάση της συνεχούς λειτουργίας

#### 3.6.1 ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ AIS

Οι πληροφορίες του Αυτόματου Συστήματος Αναγνώρισεως περιλαμβάνει τρία επιμέρους είδη παραμέτρων:

- **Στατικές παραμέτρους**, δηλαδή:
  1. τη ναυτιλιακή κινητή δορυφορική ταυτότητα (MMSI)
  2. τον αριθμό αναγνώρισης IMO
  3. το όνομα του πλοίου (έως 20 χαρακτήρες) και το διακριτικό κλήσεως
  4. τις διαστάσεις του πλοίου στρογγυλοποιημένες σε ακέραιο αριθμό μέτρων
  5. ο τύπος του πλοίου (δεξαμενόπλοιο, κρουαζιερόπλοιο κλπ)
  6. η θέση επί του πλοίου, που αναφέρεται το στίγμα
  7. ο τύπος ηλεκτρονικής συσκευής προσδιορισμού στίγματος (απλό ή διαφορικό GPS)
  
- **Δυναμικές παραμέτρους**, δηλαδή:
  1. η θέση του πλοίου (με ενδείκτη ακρίβειας)
  2. ο συγχρονισμένος παγκόσμιος χρόνος
  3. η αληθής πορεία από 0° έως 359°, όπως αυτή εισάγεται από τη γυροπυξίδα
  4. η πορεία ως προς το βυθό
  5. η ταχύτητα ως προς το βυθό
  6. η ναυτιλιακή κατάσταση του πλοίου (εν πλω, αγκυροβολημένο, ακυβέρνητο κλπ)
  7. ο ρυθμός στροφής, δεξιά (+) ή αριστερά (-)
  8. ο ρυθμός ανανέωσης αναφοράς
  
- **Παραμέτρους ταξιδιού**, δηλαδή:
  1. το βύθισμα του πλοίου
  2. ο τύπος του φορτίου
  3. ο προορισμός
  4. ο εκτιμώμενος χρόνος κατάπλου (μήνας, ημέρα, ώρα και λεπτό σε συγχρονισμένο παγκόσμιο χρόνο)

### 3.7 INMARSAT

Inmarsat (International Maritime Satellite Organization) είναι διεθνής οργανισμός με έδρα το Λονδίνο, και ως σκοπό έχει την παροχή παγκόσμιων δορυφορικών επικοινωνιών στον τομέα της Ναυτιλίας. Ιδρύθηκε το 1979 και χρηματοδοτές του είναι 86 κράτη - μέλη μεταξύ αυτών και η Ελλάδα.

Κάποια από αυτά τα κράτη μέλη είναι (40 από τα 86):

Αργεντινή, Λευκορωσία, Βέλγιο, Βραζιλία, Καμερούν, Βουλγαρία, Καναδάς, Χιλή, Κίνα, Κούβα, Κύπρος, Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γκαμπόν, Γερμανία, Ελλάδα, Ισλανδία, Ινδία, Ινδονησία, Ιράκ, Ιταλία, Κουβέιτ, Λετονία, Λιβερία, Μαρόκο, Ολλανδία, Νορβηγία, Ομάν, Πολωνία, Πορτογαλία, Κατάρ, Ρουμανία, Ρωσία, Σαουδική Αραβία, Ισπανία, Σρι Λάνκα, Σουηδία, Ελβετία, Ουκρανία.

Οι λόγοι εισαγωγής των ναυτιλιακών δορυφορικών επικοινωνιών είναι οι παρακάτω:

- Παγκόσμια γεωγραφική κάλυψη - εκτός των πολικών περιοχών
- Αξιοπιστία
- Υψηλή απόδοση - Οι ταχύτητες δεδομένων μπορούν να συγκριθούν με αυτές της στεριάς

- Εξυπηρέτηση όλο το 24ωρο
- Εύκολη ολοκλήρωση - Γρήγορη ανάπτυξη
- Εισαγωγή νέων υπηρεσιών (DATA)
- Βελτίωση της υπηρεσίας ασφάλειας και κινδύνου
- Ασφάλεια στις επικοινωνίες

Η δομή του συστήματος αποτελείται από τον δορυφορικό τομέα, τον επίγειο και τους σταθμούς πλοίων.

### 3.7.1 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ INMARSAT

- Τηλετυπικές
- Τηλεφωνικές
- Τηλεγραφικές
- Φαξ
- Εικόνα αργής σάρωσης
- Κίνδυνος και ασφάλεια

**Και μια σειρά από σύγχρονες υπηρεσίες:**

- Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο
- Πληροφορίες καιρού σε πραγματικό χρόνο
- Ασφάλεια GMDSS
- Απομακρυσμένη πρόσβαση στο διαδίκτυο
- Ασφαλείς επικοινωνίες
- Μεταφορά μεγάλων αρχείων
- Επικοινωνίες για το πλήρωμα
- Τηλεμετρία σκάφους/μηχανής
- Αποστολή SMS και άμεσων μηνυμάτων
- Βιντεοκλήσεις
- Βίντεο αποθήκευσης και προώθησης

### 3.7.2 ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΤΟΥ INMARSAT

Οι δορυφόροι του συστήματος είναι γεωστατικοί (σταθεροί ως προς την επιφάνεια της Γης). Αυτοί ανήκουν εξολοκλήρου στον InmarSAT και είναι 5 τύπου INMARSAT-3, 4 εφεδρικοί τύπου INMARSAT-2 και από το 2005 μπήκαν σε τροχιά και 3 νέοι δορυφόροι νέας γενιάς INMARSAT-4 που είναι 60 φορές πιο δυνατοί από τους INMARSAT-3. Βρίσκονται όλοι στο ισημερινό πλάτος (0) και είναι σε απόσταση 35.786 χλμ από την επιφάνεια της Γης.

Αυτή την στιγμή ο InmarSAT είναι σε συμφωνία με την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency) για την εμπορική διαχείριση του νέου δορυφόρου AlphaSAT που θα είναι έτοιμος το 2012 και θα είναι συμπλήρωμα στους I-4 δορυφόρους. Θα παρέχει κάλυψη στην Ευρώπη, στη Μέση Ανατολή και στην Αφρική. Ο σκοπός των δορυφόρων είναι η λήψη σημάτων από επίγειους σταθμούς, η ενίσχυση και η επανεκπομπή τους.



## **Κωδικοί Προορισμού (Χώρας)**

- **870** SNAC - Single Network Access Code - Δεν χρειάζεται να γνωρίζει κανείς σε ποιον δορυφόρο είναι συνδεδεμένο το τερματικό του Inmarsat, το 870 χρησιμοποιείται από όλες τις υπηρεσίες Inmarsat.
- **871** AOR-E, Περιοχή Ανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού.
- **872** POR, Περιοχή Ειρηνικού Ωκεανού.
- **873** IOR, Περιοχή Ινδικού Ωκεανού.
- **874** AOR-W, Περιοχή Δυτικού Ατλαντικού Ωκεανού.

## **3.7.3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ INMARSAT**

### **Επίγειοι Σταθμοί Ξηράς (LES-CES)**

Στο σύστημα Inmarsat οι επίγειοι σταθμοί ξηράς (Land Earth Stations) παρέχουν την σύνδεση μεταξύ των δορυφόρων και των διεθνών και τοπικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η εγκατάστασή τους είναι μια παραβολική κεραία διαμέτρου 10-13 μέτρα για να επικοινωνούν με τον δορυφόρο της ωκεάνιας περιοχής τους (NAVAREA) και να κάνουν ταυτόχρονα πολλές επικοινωνίες. Ένας επίγειος σταθμός ξηράς μπορεί να βλέπει δύο ή και τρεις δορυφόρους με σκοπό να εξυπηρετεί πλοία και σε άλλες ωκεάνιες περιοχές.

### **Σταθμοί Συντονιστές Δικτύου (NCS)**

Σε κάθε ωκεάνια περιοχή ο Inmarsat καθορίζει έναν επίγειο σταθμό σαν συντονιστή δικτύου. Το σύνολο των Network Coordination Centers είναι τέσσερις, ένας σε κάθε ωκεάνια περιοχή. Το κάθε σύστημα (Inmarsat - A, B/M, C) έχει τους δικούς του NCS.

Η υπηρεσίες των NCS είναι:

- Στην τηλετυπία στέλνει το κανάλι εργασίας που ορίζει ο παράκτιος.
- Στην τηλεφωνία ορίζει και εκπέμπει το τηλεφωνικό κανάλι εργασίας.
- Στέλνει μηνύματα Broadcast.
- Βρίσκεται σε επαφή με το Κέντρο Επίγειων Δικτύων.

### **Κέντρο Ελέγχου Δορυφόρων (Satellite Control Center)**

Το SCC βρίσκεται στην έδρα του Inmarsat και ως αρμοδιότητα έχει την διόρθωση της τροχιάς των δορυφόρων. Έχει σταθμούς παρακολούθησης (tracking) των δορυφόρων σε όλο τον κόσμο.

### 3.7.4 ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ INMARSAT

#### **InmarSAT-A**

Ξεκίνησε την λειτουργία του το 1982 ως αναλογική συσκευή και κράτησε ως την 31η Δεκεμβρίου 2007 μετά από 25 χρόνια προσφοράς στον τομέα των ναυτιλιακών δορυφορικών επικοινωνιών του Inmarsat.

Η δορυφορική συσκευή Inmarsat-A χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Στο **ADE** - Above Deck Equipment
- Στο **BDE** - Below Deck Equipment

Η κεραία του είναι παραβολικού κατόπτρου που του οποίου η διάμετρος κυμαίνεται στα 0.8 - 1.3 μέτρα.

Οι υπηρεσίες που προσφέρει το Inmarsat-A είναι TELEX (Τηλετυπία), PHONE (Τηλεφωνία), FAX (Φαξ) και DATA (Μεταφορά δεδομένων). Οι επικοινωνίες με αυτή την συσκευή γίνονται σε real time (πραγματικό χρόνο).

Το ID του σταθμού είναι επταψήφιο στο οκταδικό σύστημα και το πρώτο νούμερο είναι ο αριθμός (1). Οι χρεώσεις του συστήματος είναι σε χρόνο (λεπτά - δευτερόλεπτα).

#### **InmarSAT-B**

Το τερματικό B είναι απόγονος του A αλλά με την διαφορά ότι είναι ψηφιακής τεχνολογίας και η κεραία του είναι παραβολή του κατόπτρου του A. Παρέχει τις ίδιες υπηρεσίες όπως το A, δηλαδή τηλεφωνία, τηλετυπία, φαξ και μεταβίβαση δεδομένων. Το ID είναι εννιαψήφιο στο δεκαδικό σύστημα και το πρώτο του ψηφίο είναι το (3). Τα ID των παράκτιων σταθμών είναι 3ψήφια και οι χρεώσεις του όπως και στο A γίνονται σε χρόνο.

#### **InmarSAT-C**

Το Inmarsat C είναι και αυτό τερματικό ψηφιακής τεχνολογίας. Με το σύστημα αυτό γίνονται επικοινωνίες με την διαδικασία store & forward και όχι σε πραγματικό χρόνο (real time). Η κεραία του είναι πανκατευθυντική. Παρέχει τηλετυπία (TELEX) και φαξ (FAX) και τα πιο σύγχρονα προσφέρουν τηλεμετρία και ανίχνευση, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (E-mail) και ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ συσκευών C. Το τερματικό περιέχει ενσωματωμένη την συσκευή EGC (Enhanced Group Call) για την λήψη μηνυμάτων FleetNET και SafetyNET. Κάθε συσκευή Inmarsat-C είναι συνδεδεμένη με έναν επίγειο σταθμό RCC (Rescue Center) και σε περίπτωση κινδύνου επικοινωνεί άμεσα με αυτόν. Θεωρείται το καλύτερο σύστημα αποθήκευσης και προώθησης μηνυμάτων. Το ID του C είναι 9ψήφιο στο δεκαδικό σύστημα και οι χρεώσεις του γίνονται σε όγκο.

## **InmarSAT-M**

Η εισαγωγή του συστήματος M στις δορυφορικές επικοινωνίες έγινε το 1993 και βασίζεται στην ψηφιακή τεχνολογία για υπηρεσίες τηλεφωνίας, φαξ, κινδύνου και υπηρεσίες δεδομένων σε χαμηλές τιμές. Χρησιμοποιεί κεραία παραβολικού τύπου και οι επικοινωνίες του είναι σε πραγματικό χρόνο. Το ID του είναι 9 ψήφιο και αρχίζει από τον αριθμό 6. Οι χρεώσεις του γίνονται σε χρόνο.

## **3.8 ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO**

Το Galileo είναι ένα σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης (GNSS) υπό κατασκευή από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος. Το εγχείρημα των 5 δισεκατομμυρίων ευρώ έχει πάρει την ονομασία του από τον Ιταλό αστρονόμο Γαλιλαίο Γαλιλέι. Ένας από τους στόχους του Galileo είναι η παροχή ενός συστήματος εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας στο οποίο μπορούν να βασιστούν τα ευρωπαϊκά κράτη, ανεξαρτητοποιώντας τα έτσι από τα αντίστοιχα συστήματα GLONASS (Ρωσία), GPS (ΗΠΑ) και Compass (Κίνα), τα οποία μπορούν να απενεργοποιηθούν εν καιρώ πολέμου ή συρράξεων.

Όταν μπει σε λειτουργία, θα χρησιμοποιεί δύο κέντρα επιχειρήσεων εδάφους, κοντά στο Μόναχο της Γερμανίας και στο Φουτσίνο της Ιταλίας. Τον Δεκέμβριο του 2010 η Πράγα αναδείχτηκε ως η πόλη στην οποία θα στεγάζεται το αρχηγείο του εγχειρήματος Galileo, μετά από ψηφοφορία στις Βρυξέλλες από υπουργούς της Ευρώπης.

Στις 21 Οκτωβρίου 2011, οι πρώτοι δύο από τους τέσσερις εν λειτουργία δορυφόρους εκτοξεύθηκαν ώστε να επικυρωθεί το σύστημα. Οι επόμενοι δύο ακολούθησαν στις 12 Οκτωβρίου 2012, καθιστώντας «δυνατό να δοκιμαστεί το Galileo από άκρη σε άκρη». Μόλις αυτή η φάση Επικύρωσης Σε Τροχιά (In-Orbit Validation, IOV) θα ολοκληρωθεί, επιπρόσθετοι δορυφόροι θα εκτοξευθούν ώστε να επιτευχθεί Αρχική Δυνατότητα Λειτουργικότητας (Initial Operational Capability, IOC) στα μέσα της δεκαετίας. Η πλήρης ολοκλήρωση του συστήματος 30 δορυφόρων Galileo (27 υπό λειτουργία και τρεις ενεργοί ανταλλακτικοί) προβλέπεται ως το 2019. Οι βασικές υπηρεσίες πλοήγησης θα είναι δωρεάν. Το Galileo προορίζεται να παρέχει μετρήσεις οριζόντιας και κάθετης θέσης με ακρίβεια 1 μέτρου και καλύτερες υπηρεσίες εντοπισμού θέσης σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη από ότι άλλα συστήματα εντοπισμού θέσης.

Ως ένα ακόμη χαρακτηριστικό, το Galileo θα παρέχει μια μοναδική λειτουργία αναζήτησης και διάσωσης (search and rescue, SAR). Οι δορυφόροι θα είναι εξοπλισμένοι με έναν αναμεταδότη ο οποίος θα μεταδίδει το σήματα κινδύνου από τον πομπό του χρήστη στο Κέντρο Συντονισμού Διάσωσης, το οποίο έπειτα θα κινήσει την επιχείρηση διάσωσης. Την ίδια στιγμή, το σύστημα θα παρέχει ένα σήμα στους χρήστες, πληροφορώντας τους ότι η κατάστασή τους έχει ανιχνευθεί και ότι βοήθεια είναι καθοδόν. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι καινούργιο και θεωρείται ένα μεγάλο βήμα μπροστά σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα πλοήγησης GPS και GLONASS, τα οποία δεν παρέχουν ανάδραση στον χρήστη.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ-ΑΡΘΡΑ-ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

<http://www.e-club.gr/technologika-nea/epistimi-texnologia/609-optikes-ines.html>  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%AF%CE%BD%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%AF%CE%BD%CE%B1)  
<http://www.hep.upatras.gr/>  
[http://users.uoi.gr/mbenis/index\\_files/Classes/LASER\\_ALL.pdf](http://users.uoi.gr/mbenis/index_files/Classes/LASER_ALL.pdf) Μ. ΜΠΙΕΝΗΣ  
<http://phys.org/>  
[http://physics.teiath.gr/physics/opto\\_lab/pdf%20files/LASER%201.pdf](http://physics.teiath.gr/physics/opto_lab/pdf%20files/LASER%201.pdf)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AD%CE%B9%CE%B6%CE%B5%CF%81>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Laser>  
<http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=908> Σοφία Κόττου, Επίκουρη Καθηγήτρια Ιατρικής Φυσικής/Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών  
<http://med-vetacupuncture.org/greek/laser.htm>  
<http://coolweb.gr/ti-einai-optikes-ines-pos-leitourgoun/>  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CF%80%CF%85%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%80%CF%85%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B1)  
<http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%A0%CF%85%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B1>  
[https://docs.google.com/document/d/1v\\_a2lXScnOsgY3oNYIaNwEmuCk\\_GbKce5hGzA0VMMb4/edit](https://docs.google.com/document/d/1v_a2lXScnOsgY3oNYIaNwEmuCk_GbKce5hGzA0VMMb4/edit)  
<http://www.sailing-info.gr/articles/sailing/150-piksida>  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B1>  
[http://captain-christos.blogspot.gr/2013/03/blog-post\\_29.html#.VwvvenpA07g](http://captain-christos.blogspot.gr/2013/03/blog-post_29.html#.VwvvenpA07g)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81>  
<http://www.radartutorial.eu/>  
<http://science.howstuffworks.com/radar.htm>  
<http://www.eugenfound.edu.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=resource&cresrc=2516&cnode=308&cuser=e235c84b-b59c-42d3-90f5-2bc2c9df81db>

<https://sptechnologikaepitevgmata1.wikispaces.com/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82++%CE%AF%CE%BD%CE%B5%CF%82>  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%AF%CE%BD%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%AF%CE%BD%CE%B1)  
<http://www.adslgr.com/forum/threads/15224-%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BE%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%9F%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%94%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1>  
[http://www.citytec.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=82&Itemid=55](http://www.citytec.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=55)  
<http://med-vetacupuncture.org/greek/laser.htm>  
<http://www.howstuffworks.com/>  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ Θεόδωρος Δεληγιάννης 2004  
[http://www.laserfantasy.com/Laser\\_Fantasy/Home.html](http://www.laserfantasy.com/Laser_Fantasy/Home.html)  
<http://www.physics4u.gr/news/2000/scnews120.html>  
Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια: Encarta 2002  
[http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern\\_physics6.html](http://gate.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics6.html)  
<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12889/>  
<http://www.ortsa.gr/%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CF%89%CE%BD/radar-%CF%8C%CE%BB%CE%B1-%CF%8C%CF%83%CE%B1-%CF%80%CF%81%CE%AD%CF%80%CE%B5%CE%B9-%CE%BD%CE%B1-%CE%BE%CE%AD%CF%81%CE%B5%CF%84%CE%B5-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7-%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B7/>  
<http://www.nautilia.gr/forum/showthread.php?14266-%CD%E1%F5%F4%E9%EA%DC-%BC%F1%E3%E1%ED%E1-%28Nautical-Instruments%29/page4>  
<http://www.vithometro.gr/ti-einai-to-buthometro/>  
<http://www.yen.gr/wide/home.html>  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/Inmarsat>

<http://coolweb.gr/ti-einai-optikes-ines-pos-leitourgoun/>  
<http://www.e-club.gr/tehnologika-nea/epistimi-tehnologia/609-optikes-ines.html>  
<http://www.hep.upatras.gr/>  
[http://www.lovefortechology.net/2012/05/blog-post\\_27.html#axzz45TuVs5x0](http://www.lovefortechology.net/2012/05/blog-post_27.html#axzz45TuVs5x0)  
<http://www.conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/seminaria/thlematikes/Optical/optical%20fiber.htm>  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF\\_%CE%A3%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1\\_%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CF%8E%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF_%CE%A3%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1_%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CF%8E%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/Galileo>