

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ-ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΘΕΜΑ:

Βασικές αρχές ραδιοεπικοινωνιών. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τρόποι διάδοσής τους. Ιονοσφαιρικά στρώματα. Διάδοση μεσαίων, υψηλών & υπερύψηλων συχνοτήτων

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κος Τσόκος Βασίλειος

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: Τριανταφυλλίδη Θεμιστοκλή

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: /05/2014

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: 02 /05/2015

Α.Γ.Μ.: 3255

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότης	Αξιολόγιση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ: κος Τσούλης Νικόλαος



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1) ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ΣΕΛ: 04
2) ΟΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΡΑΔΙΟΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ SOLAS	ΣΕΛ: 05
3) ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ	ΣΕΛ: 06
4) ΘΕΩΡΙΑ MAXWELL ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΣΕΛ: 07
5) ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΣΕΛ: 09
6) ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	ΣΕΛ: 11
7) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ	ΣΕΛ: 12
8) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΜ - ΠΟΜΠΟΣ ΑΜ - ΔΕΚΤΗΣ ΑΜ	ΣΕΛ: 14
9) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ FM– ΠΟΜΠΟΣ FM	ΣΕΛ: 17
10) ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΣΕΛ: 19
11) ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΣΕΛ: 22
12) ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΣΕΛ: 30
13) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΕΛ: 31
14) ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ	ΣΕΛ: 34
15) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	ΣΕΛ: 47
17) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΤΥΧΕΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΣΕΛ: 51

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΙΣΑΓΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η εξέλιξη του ανθρώπου στο κομμάτι των επιστημών, της τεχνολογίας, της οργάνωσης και του εμπορίου γέννησε ένα νέο τρόπο επικοινωνίας ο οποίος επιτυγχάνεται από απόσταση. Η ανακάλυψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το 1886 και η χρήση τους μετέπειτα στον τομέα της επικοινωνίας και όχι μόνο αποτέλεσε σημείο αναφοράς για την τεχνολογική πρόοδο του ανθρώπου. Σήμερα η εποχή μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «εποχή της πληροφορίας». Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία της ναυτικής ραδιοεπικοινωνίας, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ένα εμπορικό πλοίο καθώς και οι ραδιοκυματικές αρχές που διέπουν αυτές. Η εργασία αυτή αρχικά επικεντρώνεται στο κομμάτι των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και στην λειτουργία τους σε σχέση με την κινητή ναυτική υπηρεσία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην κατανόηση αυτού του φυσικού φαινομένου ώστε ο αναγνώστης να μπορέσει να κατανοήσει καλύτερα την συμπεριφορά και της ιδιότητες τους. Αυτό αποτελεί βασικό παράγοντα ώστε η σύνδεση τους με τους διάφορους τρόπους επικοινωνίας να γίνει ομαλά και αποτελεσματικά. Επιπλέον επεξηγεται το πώς επιτυγχάνεται η μετάδοση του σήματος για κάθε φάσμα συχνοτήτων αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την συμπεριφορά του σήματος. Μεγάλο μέρος της προσπάθειας δόθηκε για την ανάπτυξη και την λεπτομερή περιγραφή της ιονόσφαιρας, η οποία αποτελεί έναν μεγάλο σύμμαχο για τις ραδιοεπικοινωνίες. Συμπερασματικά, ο αναγνώστης θα γνωρίσει και θα κατανοήσει καλύτερα την φυσική και φαινόμενα που κρύβονται πίσω από τις πρακτικές μεθόδους και οδηγίες επικοινωνίας, πράγμα το οποίο θα επιτελέσει εφόδιο και γνώσεις.

## ΟΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΡΑΔΙΟΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ SOLAS

Οι γενικές αρχές που καθορίζουν το ραδιοεξοπλισμό κάθε πλοίου, καθώς και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι ραδιοσυσκευές καθορίζονται από τη Διεθνή Συνθήκη SOLAS 74/88 ως ακολούθως:

α) Κάθε πλοίο θα πρέπει να εφοδιάζεται με ραδιοεξοπλισμό ικανό να εκτελεί τις λειτουργίες του GMDSS, ανάλογα με την περιοχή πλόων του, κάνοντας χρήση τουλάχιστον μίας από τις υποδεικνυόμενες τεχνικές των ραδιοεπικοινωνιών.

β) Κάθε πλοίο θα πρέπει να εφοδιάζεται με δύο χωριστά και ανεξάρτητα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών για την εκπομπή του συναγερμού κινδύνου.

γ) Εκτός των ανωτέρω αναφερομένων, οι ραδιοσυσκευές που τοποθετούνται σ' ένα πλοίο πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν περισσότερες από μία λειτουργίες και επιπλέον να μπορούν να συσχετισθούν με περισσότερα από ένα συστήματα ραδιοεπικοινωνίας.

δ) Ο ραδιοεξοπλισμός με τον οποίο εφοδιάζονται τα πλοία πρέπει να είναι απλός στο χειρισμό του και όπου κρίνεται σκόπιμο να είναι σχεδιασμένος έτσι, ώστε η λειτουργία του να μην χρειάζεται παρακολούθηση και εποπτεία.

ε) Οι σωσίβιες λέμβοι (ή τα σωστικά μέσα) των πλοίων θα εφοδιάζονται με εξοπλισμό ικανό να εκτελεί τη λειτουργία των επιτοπίων επικοινωνιών στο διάυλο 16 του VHF με ραδιοτηλεφωνία.

στ) Τα σωστικά μέσα των πλοίων θα εφοδιάζονται με αναμεταδότες ραντάρ στη ζώνη συχνοτήτων των 9 GHz για την παραγωγή των σημάτων εντοπισμού.

ζ) Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εκπέμπει και να λαμβάνει συναγερμούς κινδύνου από το μέρος όπου το πλοίο κυβερνάται, δηλαδή από τη γέφυρα.

η) Την εξασφάλιση για επαρκή και κατάλληλη παροχή συντηρήσεως και λειτουργίας του ραδιοεξοπλισμού του GMDSS.

- Κάθε πλοίο αναλόγως με τα ταξίδια που κάνει οφείλει να είναι εφοδιασμένο με εγκεκριμένες, σύμφωνα με τους κανονισμούς, συσκευές. Οι συσκευές αυτές μπορούν να καλύψουν όλους τους τύπους επικοινωνιών που προβλέπονται για την κινητή ναυτική υπηρεσία. Παρακάτω γίνεται μια σύντομη αναφορά των συσκευών αυτών, καθώς αναφέρεται η χρήση τους, οι ζώνες συχνοτήτων και οι αρχές λειτουργίας τους που σχετίζονται άμεσα με τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι οποίες θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενες ενότητες της εργασίας αυτής.



## **ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΠΛΟΙΟ**

### **Ραδιοτηλέφωνο VHF**

Πρόκειται για ραδιοτηλεφωνικό πομποδέκτη ο οποίος λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων VHF (ζώνη μεταξύ 156 με 174 MHz) και ο οποίος εγκαταστάθηκε υποχρεωτικά στα πλοία 1984. Χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης κατά συχνότητα (FM).

Η ραδιοτηλεφωνία VHF χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις. Οι συχνότητες που έχουν εκχωρηθεί από την ΙΤU για την κινητή ναυτική υπηρεσία χρησιμοποιούνται για κλήση και ανταπόκριση κινδύνου, επείγοντος και ασφάλειας, καθώς και για επικοινωνία με Κέντρα Συντονισμού Έρευνας και Διασώσεως (ΚΣΕΔ), πλοηγικούς σταθμούς, σταθμούς ρυθμίσεως θαλάσσιας κυκλοφορίας, παραπλέοντα πλοία, καθώς και δημόσια ανταπόκριση, στα παράκτια κράτη με μεγάλους εμπορικούς λιμένες, καθώς επίσης σε στενούς διαύλους, σε θαλάσσιους δρόμους που έχουν αυξημένη κίνηση πλοίων, η επικοινωνία διεξάγεται με το ραδιοτηλέφωνο VHF.

### **Ραδιοτηλέφωνο (MF/HF).**

Πρόκειται για ραδιοτηλεφωνικό πομποδέκτη ο οποίος λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων MF/HF. Εξυπηρετεί την επικοινωνία πλοίων από μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις.

Στις συχνότητες που έχουν εκχωρηθεί για την κινητή ναυτική υπηρεσία τα πλοία μπορούν να επικοινωνούν ραδιοτηλεφωνικά αμφίδρομα με την ξηρά, χρησιμοποιώντας την προβλεπόμενη διαμόρφωση, ώστε να καλύπτουν μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις. Μηνύματα κλήσεων και ανταποκρίσεως κινδύνου, επείγοντος, ασφάλειας, MSI, METEO και δημόσια ανταπόκριση αποτελούν υπηρεσίες που δύνανται να πραγματοποιηθούν ραδιοτηλεφωνικά και να καλύψουν μεγάλο τμήμα των ωκεανών.

### **NBDP (narrow band direct printing) στενή ζώνη άμεσης εκτύπωσης.**

Πρόκειται για επικοινωνία με ραδιοτηλέτυπο (telex) για μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιείται για αποστολή και λήψη μηνυμάτων κινδύνου, ασφάλειας, MSI, METEO, PRESS και δημόσια ανταπόκριση. Οι συχνότητες που χρησιμοποιεί είναι μεταξύ 1070 και 1270 Hz

### **Δορυφορικές επικοινωνίες.**

Αποτελούν τον πλέον σύγχρονο τύπο επικοινωνίας, πλοίο με πλοίο, πλοίο με την ξηρά και αντιστρόφως. Οι δορυφορικές επικοινωνίες κυμαίνονται στις ζώνες συχνοτήτων HF-VHF-UHF Μηνύματα και συναγερμοί επείγοντος και ασφάλειας, με αμφίδρομη κατεύθυνση συνδέουν τα πλοία με κάθε κομμάτι της ξηράς. Πολύ σημαντική είναι η δυνατότητα των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς προσφέρουν ποιοτικές υπηρεσίες τηλεφώνου, telex, fax, e-mail, data, picture, video κ.λπ. με απόλυτη ευκρίνεια χωρίς παρεμβολές, υπερτερώντας από τις επίγειες επικοινωνίες.

## ΘΕΩΡΙΑ Maxwell ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Ο Maxwell, ίσως ο μεγαλύτερος θεωρητικός φυσικός του 19ου αιώνα, συνδυάζοντας τις τότε γνωστές θεωρίες για τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό πρότεινε μια ενιαία θεωρία, την θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, δίνοντας εξήγηση σε όλα τα μέχρι τότε γνωστά προβλήματα αυτού του τομέα της φυσικής. Αλλά η αξία της θεωρίας του δεν περιορίστηκε μόνο στην ερμηνεία των μέχρι τότε γνωστών φαινομένων. Προέβλεπε πριν ακόμη ανακαλυφθούν και την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παρήχθησαν και ανιχνεύθηκαν για πρώτη φορά το 1887 από τον Hertz, οκτώ χρόνια μετά τον θάνατο του Maxwell.

Το 1886 ο H. Hertz στο εργαστήριό του στην Καρλσρούη παρήγαγε τις πρώτες συχνότητες. Το 1897 ο G. Marconi υλοποίησε για πρώτη φορά ένα σύστημα ασύρματης μεταδόσεως (τηλέγραφος), βασιζόμενος στη θεωρία που είχαν διατυπώσει αρκετά χρόνια νωρίτερα ο Maxwell και ο Hertz.

**Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.**

Σε οποιοδήποτε άλλο μέσω διάδοσης η ταχύτητα του κύματος παρουσιάζει κάποια μείωση που εξαρτάται από την φύση του μέσου.

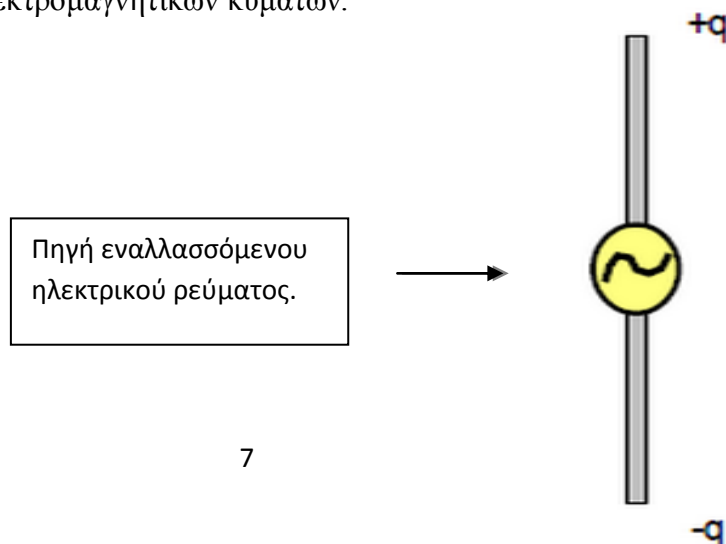
Με τον όρο κενό (ελεύθερο χώρο) εννοούμε έναν χώρο στον οποίον δεν υπάρχουν μαγνητικά πεδία και πεδία βαρύτητας, χωρίς συμπαγή σώματα και ιονισμένα σωματίδια. Γενικά λέγοντας ελεύθερο χώρο εννοούμε κάτι το ιδανικό, το οποίο δεν υπάρχει στην πραγματικότητα.

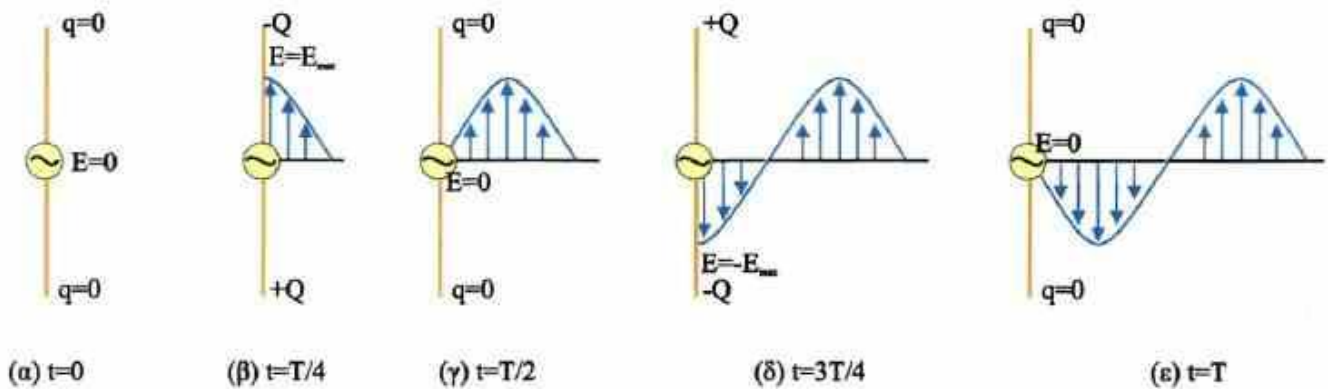
### Μηχανισμός παραγωγής του κύματος:

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από **μεταβαλλόμενα** ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο δεν παράγει κάποιο κύμα. Αυτό σημαίνει ότι ούτε τα ακίνητα φορτία, ούτε τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερό ρεύμα) μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

**Η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων είναι η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.**

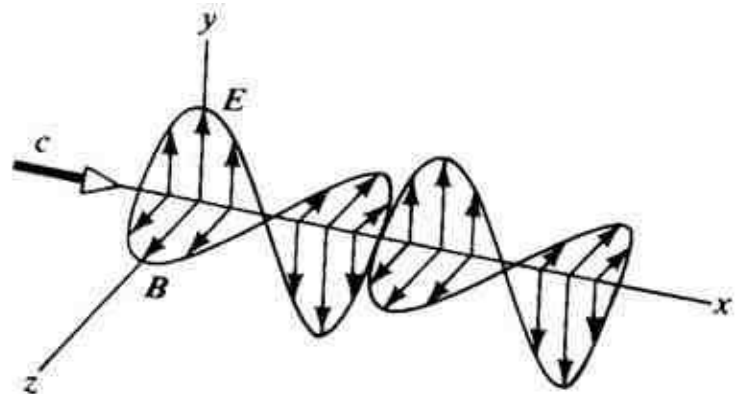
Μια απλή συσκευή παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο. Η συσκευή αυτή αποτελείται από δύο μεταλλικές ράβδους, οι οποίες συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης ηλεκτρικής τάσης. Λόγω της πηγής οι ράβδοι φορτίζονται εναλλάξ με θετικά και αρνητικά φορτία που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με τον χρόνο. Το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο αποτελεί κοινή μέθοδος παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.





Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρομαγνητικού κύματος από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο. Τη χρονική στιγμή μηδέν οι αγωγοί είναι αφόρτιστοι. Καθώς η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται αρνητικό φορτίο  $-q$ , ενώ στον άλλο εμφανίζεται θετικό φορτίο  $+q$ , με συνέπεια να δημιουργείται γύρω από αυτούς ηλεκτρικό πεδίο. Τη χρονική στιγμή  $t=T/4$  τα φορτία στους αγωγούς έχουν πάρει τη μέγιστη τιμή. Το ηλεκτρικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί από τη στιγμή μηδέν μέχρι τη στιγμή  $T/4$  έχει απομακρυνθεί από τους αγωγούς. Από τη στιγμή αυτή, τα φορτία στους αγωγούς μειώνονται. Αυτό συνεπάγεται μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργούν. Ένα τέταρτο της περιόδου αργότερα τα φορτία έχουν μηδενισθεί. Εν τω μεταξύ το ηλεκτρικό πεδίο που είχε δημιουργηθεί μέχρι τότε απομακρύνεται από τους αγωγούς, με ταχύτητα  $c$ . Στη συνέχεια, καθώς η πολικότητα της πηγής αλλάζει, στον επάνω αγωγό εμφανίζεται θετικό φορτίο και στον κάτω αρνητικό. Τα φορτία παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους τη στιγμή  $3T/4$ , και μηδενίζονται τη στιγμή  $T$ . Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται συνεχώς.

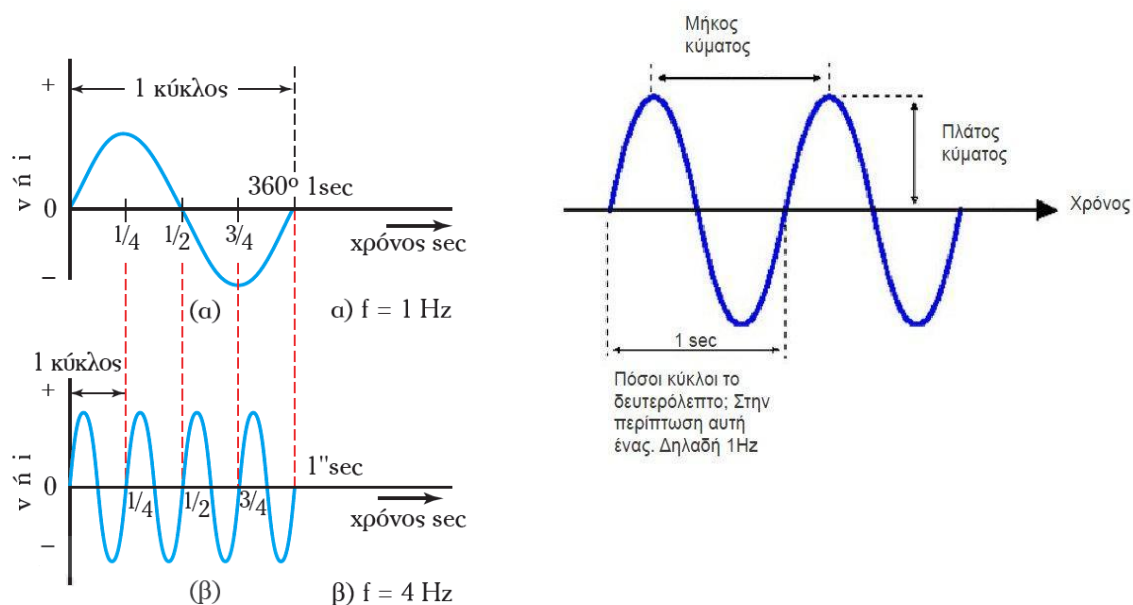
Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι έχουμε ένα επίπεδο ηλεκτρομαγνητικό κύμα βλέποντας το σχήμα δεξιά, το οποίο οδεύει με μία ταχύτητα  $v$  προς τον άξονα  $x$ . Το κύμα έχει το διάνυσμα της έντασης  $\mathbf{E}$  του ηλεκτρικού πεδίου να ταλαντώνεται κατά μήκος της διεύθυνσης  $y$  και το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής  $\mathbf{B}$  να ταλαντώνεται κατά την διεύθυνση του άξονα  $z$ .



- Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο, με τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου να είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως και τα μηχανικά υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας.
- Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις.



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

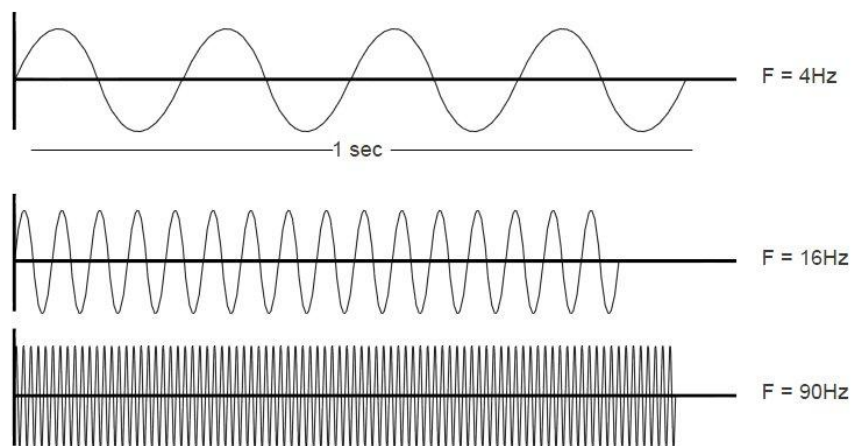


**Συχνότητα:** Καλείται ο αριθμός των κύκλων που πραγματοποιεί το ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε ένα δευτερόλεπτο και συμβολίζεται με το γράμμα  $f$  από τη λέξη frequency

Μονάδα μετρήσεως της συχνότητας είναι ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο,  $c/sec$  και είναι  $1 Hz = 1 c/sec$ .

Η περίοδος και η συχνότητα έχουν μια αμοιβαία

σχέση ως ακολούθως:  $T = 1/f$  ή  $f = 1/T$ . Από την σχέση αυτή συμπεραίνουμε ότι όσο υψηλότερη συχνότητα τόσο χαμηλότερη περίοδος.



Η μονάδα συχνότητας είναι ο κύκλος (Hz) και οι συχνότητες εκφράζονται:

σε **χιλιόκυκλους** (kHz) έως 3000 kHz,

σε **μεγάκυκλους** (MHz) πέραν των 3 MHz έως 3000 MHz και

σε **γιάκυκλους** (GHz) πέραν των 3 GHz έως 3000 GHz.

σε **τεράκυκλος** (THz) για ζώνες συχνοτήτων ανώτερες των 3000 GHz

Παγκοσμίως χρησιμοποιούμε τα πολλαπλάσια του κύκλου (Hertz) Hz που είναι:

$k = \text{kilo}$  ( $10^3$ ),  $M = \text{Mega}$  ( $10^6$ ),  $G = \text{Giga}$  ( $10^9$ ) και  $T = \text{Terra}$  ( $10^{12}$ ).

**Μήκος κύματος:** Καλείται η απόσταση που διανύεται από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου. Η κλίμακα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών ξεκινά από άπειρα μήκη κύματος ως μερικά εκατοντάκις χιλιοστά του χιλιοστού. Διαφορετικά το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) προσδιορίζει την απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά σημεία ίδιας έντασης και μετριέται σε μέτρα.

Η σχέση που συνδέει τα ανωτέρω είναι  $c = f \cdot \lambda$ .

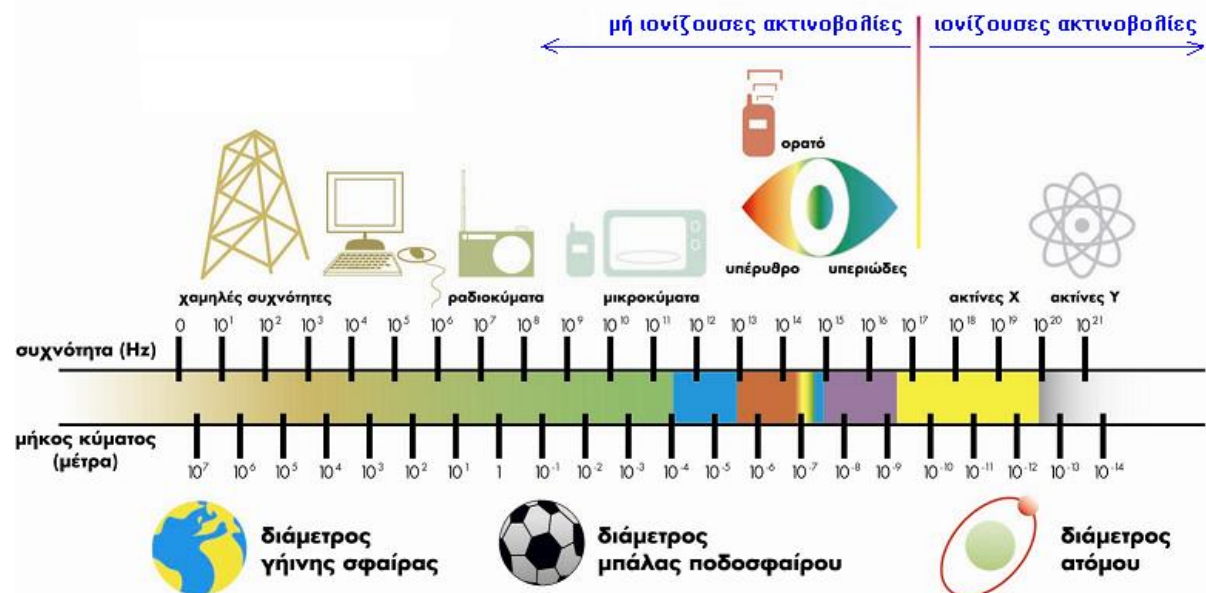
Άρα το μήκος κύματος που συμβολίζεται με το  $\lambda$  μπορεί να υπολογισθεί διαιρώντας την ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος διά της συχνότητας  $f$  σε μέτρα. Από αυτά προκύπτει ότι  $f = c/\lambda$ .

**Πλάτος:** Το πλάτος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σχετίζεται με την ένταση (ενέργεια) που έχει. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το πλάτος. Μονάδα μέτρησης είναι τα A (Ampere)

**Ταχύτητα:** Όπως είπαμε παραπάνω η ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι περίπου 300.000 km το δευτερόλεπτο. Βέβαια όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διασχίζει την ύλη, η ταχύτητά του περιορίζεται και εξαρτάται από τον συντελεστή διάδοσης (Velocity factor) που είναι συνήθως 0.66-0.90.

### Γενικό Φάσμα Συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ανάλογα την συχνότητα της ακτινοβολίας.  
Γενικό φάσμα:

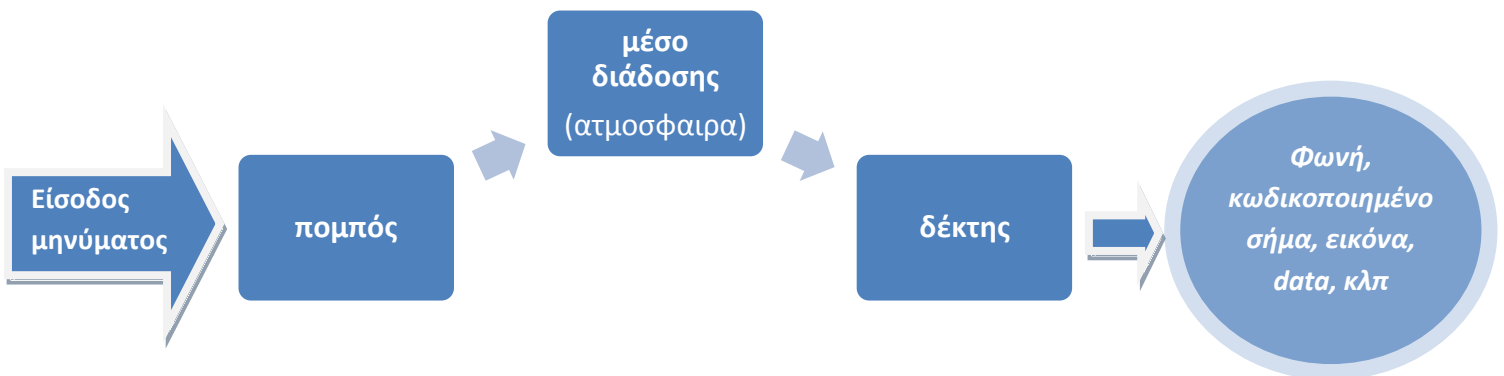


Φάσμα συχνοτήτων που αφορούν τις ραδιοεπικοινωνίες:

Ονοματολογία ζωνών που χρησιμοποιούνται στις ραδιοεπικοινωνίες.

Ζώνη συχνότητας (κατώτερο όριο μη περιλαμβανόμενο)	Μήκος κύματος	Ονομασία συχνότητας (κυμάτων)	Σύμβολα στην αγγλική	Χαρακτηρισμός κυμάτων	Υπηρεσία
3–30 kHz	100–10 km	Πολύ χαμηλή (μυριομετρικά)	V L F Very Low Frequency		Συστήματα πλοηγείσως, Sonar
30–300 kHz	10–1 km	Χαμηλή (χιλιομετρικά)	L F Low Frequency	Μακρά	Ραδιοφάροι, βοηθήματα πλοηγείσως
300–3000 kHz	1 km–100 m	Μέση (εκατομετρικά)	M F Medium Frequency	Μεσαία	Ραδιοφωνία AM, ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας
3–30 MHz	100–10 m	Υψηλή (δεκαμετρικά)	H F High Frequency	Βραχεία	Τηλεφωνία, τηλεγράφος, τηλεομοιοτυπία, ραδιοφωνία, επικοινωνίες μεταξύ πλοίων – αεροπλάνων και σταθμών εδάφους
30–300 MHz	10–1 m	Πολύ υψηλή (μετρικά)	V H F Very High Frequency	Υπερβραχεία	Τηλεόραση, ραδιοφωνία FM, συστήματα εναέριας κυκλοφορίας, CBS
300–3000 MHz	100–1 cm	Εξαιρετικά υψηλή (δεκατομετρικά)	U H F Ultra High Frequency	Μικροκύματα	Τηλεόραση, δορυφορικές επικοινωνίες, συστήματα ραντάρ, κινητές επικοινωνίες
3–30 GHz	10–1 cm	Υπερυψηλή (εκατοστομετρικά)	S H F Super High Frequency	Μικροκύματα	Ραντάρ, μικροκυματικές επικοινωνίες, δορυφορικές ζεύξεις, κινητές επικοινωνίες κοινού φέροντος
30–300 GHz	10–1 mm	Υπερβολικά υπερυψηλή (χιλιοστομετρικά)	E H F Extremely High Frequency		Ραντάρ, πειραματικές επικοινωνίες ευρείας ζώνης, μελλοντικά εμπορικά συστήματα ευρείας ζώνης
300–3000 GHz	0,7–10 mm	Δεκατοχιλιοστομετρικά	unamed		Υπό έρευνα

## ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ



Τα βασικά στοιχεία είναι ένας πομπός, ένα κανάλι (μέσο επικοινωνίας) και ένας δέκτης. Στα περισσότερα συστήματα ένας άνθρωπος παράγει ένα μήνυμα το οποίο εισέρχεται στον πομπό ο οποίος στη συνέχεια μεταδίδει το μήνυμα στο κανάλι επικοινωνίας. Το μήνυμα λαμβάνεται από το δέκτη και αναμεταδίδεται σ' έναν άλλον άνθρωπο. Στην πορεία προστίθεται ο θόρυβος (Θόρυβος είναι γενικός όρος και αναφέρεται σε οποιαδήποτε παρεμβολή που υποβαθμίζει την μεταδιδόμενη πληροφορία). Ο πομπός είναι ένα σύνολο ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και κυκλωμάτων σχεδιασμένα έτσι ώστε να μετατρέπουν την πληροφορία για μετάδοση σ' ένα συγκεκριμένο μέσο επικοινωνίας. Το κανάλι επικοινωνίας είναι το μέσο με το οποίο το ηλεκτρονικό σήμα μεταβιβάζεται από ένα τόπο σε άλλον.

Το μέσον μπορεί να είναι απλώς ένα ζεύγος συρμάτων ή ένα καλώδιο οπτικής ίνας. Από την άλλη μεριά, το μέσον μπορεί να είναι ένα ραδιοκύμα (radio wave).

Radio είναι ο ευρύς γενικός όρος που ισχύει για οποιοδήποτε τύπο ασύρματης επικοινωνίας από ένα σημείο σε ένα άλλο. Κατά τη ραδιοεπικοινωνία χρησιμοποιείται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα όπου τα σήματα μεταδίδονται από ένα σημείο σε ένα άλλο αφού μετατραπούν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις. Ο δέκτης είναι ένα άλλο σύνολο ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και κυκλωμάτων ο οποίος δέχεται το μεταδιδόμενο σήμα από το κανάλι και το μετατρέπει σε μορφή κατανοητή από ανθρώπους. Ο θόρυβος είναι ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα στις επικοινωνίες. Τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να εξαιρεθεί εντελώς αν και υπάρχουν πολλοί τρόποι καταστολής του.

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Τα σήματα πληροφορίας (φωνή, video, ψηφιακά δεδομένα) πολλές φορές μεταδίδονται κατ' ευθείαν από το ένα σημείο προς το άλλο μέσα σ' ένα επικοινωνιακό μέσο, πχ καλώδιο, για μακρινές αποστάσεις μετάδοσης όμως ή όταν ο πομπός ή ο δέκτης κινούνται (πχ πλοία) αυτό δεν μπορεί να γίνει.

Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι ραδιοεπικοινωνίες όπου, για να υπάρξει αξιόπιστη επικοινωνία σε μακρινή απόσταση, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα σήμα υψηλής συχνότητας που ονομάζεται **φέρων**, επειδή η μετατροπή του σήματος πληροφορίας κατ' ευθείαν σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι αδύνατη. Μια από τις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές επικοινωνίες είναι η διαμόρφωση.

**Διαμόρφωση είναι η επεξεργασία κατά την οποία η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί μεταβάλλει ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας με σκοπό τη μετάδοσή της.** Δηλαδή η μεταφοράς του βασικού σήματος σε συνδυασμό με το φέρον ονομάζεται διαμόρφωση του σήματος

Η επιλογή του φέροντος γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά του βασικού σήματος. Τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά είναι το πλάτος, η συχνότητα και η φάση.

Ο λόγος χρήσης του φέροντος σήματος είναι για να επιτευχθεί καλύτερη ποιοτικά εκπομπή σήματος. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνταν αυτά τα υψηλόσυχνα σήματα θα υπήρχε πρόβλημα παρεμβολών από τον ένα ραδιοφωνικό σταθμό στον άλλον. Μία ακόμη χρησιμότητα των φερόντων είναι η μικρότερη ευαισθησία που παρουσιάζεται στα υψηλόσυχνα σήματα απ' ότι στα χαμηλόσυχνα. Τέλος, εάν η μετάδοση του σήματος γινόταν με χαμηλή συχνότητα οι κεραίες εκπομπής θα 'πρεπε να έχουν τεράστια μεγέθη σύμφωνα πάντα με τον τύπο  $c = \lambda * f$ , όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος εκπομπής.

Η συχνότητα του φέροντος σήματος είναι ανάλογη με τις διακυμάνσεις του πλάτους ενός σήματος. Όσο αυξάνεται το πλάτος τόσο αυξάνεται και η συχνότητα του φέροντος και αντίστροφα.

Οι βασικοί τύποι διαμόρφωσης είναι:

- Η διαμόρφωση πλάτους (AM)
- Η διαμόρφωση συχνότητας (FM)
- Η διαμόρφωση φάσης (PM)
- Η ψηφιακή διαμόρφωση (DM)



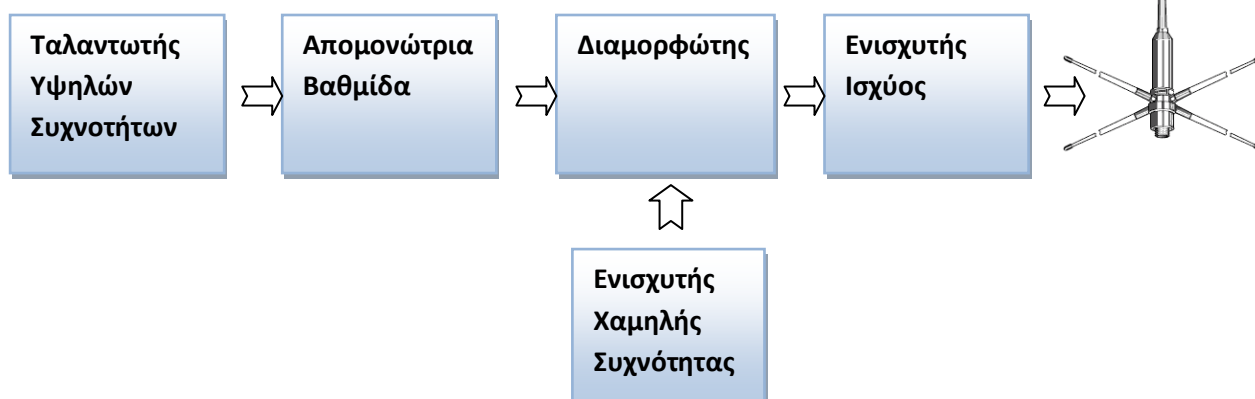
**Εύρος ζώνης:** (Bandwidth–BW) ονομάζεται το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που καταλαμβάνεται από ένα σήμα. Ονομάζεται επίσης η περιοχή συχνοτήτων, στην οποία ένα σήμα πληροφορίας μεταδίδεται ή λειτουργεί ένας δέκτης. Πιο απλά το εύρος μιας ζώνης (BW) είναι το πόσο διάστημα καταλαμβάνει η συχνότητα (δηλ. η διαφορά άνω και κάτω ορίου της συχνότητας του σήματος).

Ποίο αναλυτικά: Το εύρος ζώνης στην περιοχή συχνοτήτων της φωνής είναι 300–3000 Hz. Η άνω συχνότητα είναι  $f_2$  και η κάτω  $f_1$  το εύρος ζώνης θα είναι  $BW = f_2 - f_1 = 3000 - 300 = 2700$  Hz.

Η διαδικασία της διαμορφώσεως δημιουργεί άλλα σήματα που καλούνται πλευρικές ζώνες (sidebands), σε συχνότητες πάνω και κάτω από τη φέρουσα συχνότητα (RF). Παράδειγμα σε εκπομπές AM (διαμόρφωση πλάτους) μπορεί να μεταδίδονται ακουστικά σήματα έως τα 5 kHz, δηλαδή η πληροφορία καταλαμβάνει ένα εύρος έως 5 kHz. Εάν η φέρουσα συχνότητα που θα μεταφέρει την πληροφορία είναι 1000 kHz τότε οι πλευρικές ζώνες θα δημιουργηθούν στα  $1000 - 5 = 995$  kHz και στα  $1000 + 5 = 1005$  kHz. Η περιοχή αυτή των συχνοτήτων από το 995 έως το 1005 kHz, που περιέχει την πληροφορία όπως έχει αναφερθεί ονομάζεται **εύρος ζώνης**. Δηλαδή το εύρος ζώνης είναι 10 kHz και αυτός είναι ο χώρος που καταλαμβάνει στον φασματικό χώρο. Κάθε δίαυλος έχει ένα εύρος ζώνης.

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΜ - ΠΟΜΠΟΣ ΑΜ - ΔΕΚΤΗΣ ΑΜ

### Βασικές μονάδες πομπού ΑΜ



Ο ταλαντωτής υψηλών συχνοτήτων (oscillator) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που παράγει μια εναλλασσόμενη τάση υψηλής συχνότητας και σταθερού πλάτους, αυτή η εναλλασσόμενη τάση θα δημιουργήσει μια υψηλή συχνότητα η οποία θα μεταφέρει την πληροφορία. Η συχνότητα αυτή ονομάζεται φέρουσα συχνότητα ή φέρον κύμα.

Το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης είναι χαμηλό και πρέπει να ενισχυθεί πριν φθάσει στην κεραία, έτσι, μετά τον ταλαντωτή, υπάρχει η πρώτη ενισχυτική βαθμίδα (απομονώτρια), η οποία έχει σκοπό να ενισχύσει το σήμα του ταλαντωτή αλλά και ταυτόχρονα να τον απομονώσει και να τον προστατέψει από την επίδραση των ενισχυτών ισχύος για να μπορεί να παράγει συνεχώς μια σταθερή σε συχνότητα τάση. Από την απομονώτρια βαθμίδα (buffer), το σήμα οδηγείται στη βαθμίδα του διαμορφωτή, όπου εκεί διαμορφώνεται το φέρον σήμα με το βασικό σήμα που περιέχει την πληροφορία.

Αν θεωρήσουμε ότι θέλουμε να μεταδώσουμε πληροφορίες που αποτελούνται από ήχους, τότε πρέπει αυτές να μετατραπούν σε ηλεκτρικά σήματα.

Τις μετατροπές αυτές κάνει το μικρόφωνο, μετατρέπει δηλαδή τις παλμικές κινήσεις των μορίων του αέρα σε αντίστοιχη συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης.

(Μετατροπή της μηχανικής ταλάντωσης σε ηλεκτρικής.)

Επειδή το πλάτος είναι χαμηλό, ενισχύεται από τον ενισχυτή χαμηλών συχνοτήτων.

Οι ενισχυτές γενικά είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα που ενισχύουν το πλάτος μιας εναλλασσόμενης τάσης την οποία οδηγούμε στην είσοδό τους.

Η χαμηλή συχνότητα, ενισχυμένη κατά πλάτος, οδηγείται στο κύκλωμα του διαμορφωτή, όπως και η υψηλή.

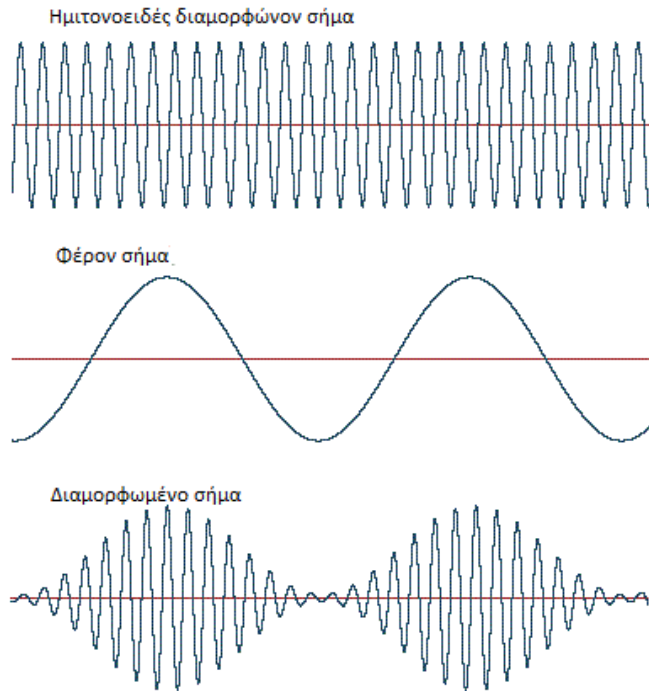
Σ' αυτό το κύκλωμα γίνεται η διαμόρφωση. Στην έξοδο του κυκλώματος έχουμε την εναλλασσόμενη τάση υψηλής συχνότητας της οποίας όμως το πλάτος δεν είναι πλέον σταθερό.

Όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης υψηλής συχνότητας (φέρουσα) μεταβάλλεται σύμφωνα με το ρυθμό μεταβολής του πλάτους της χαμηλής συχνότητας (πληροφορία).

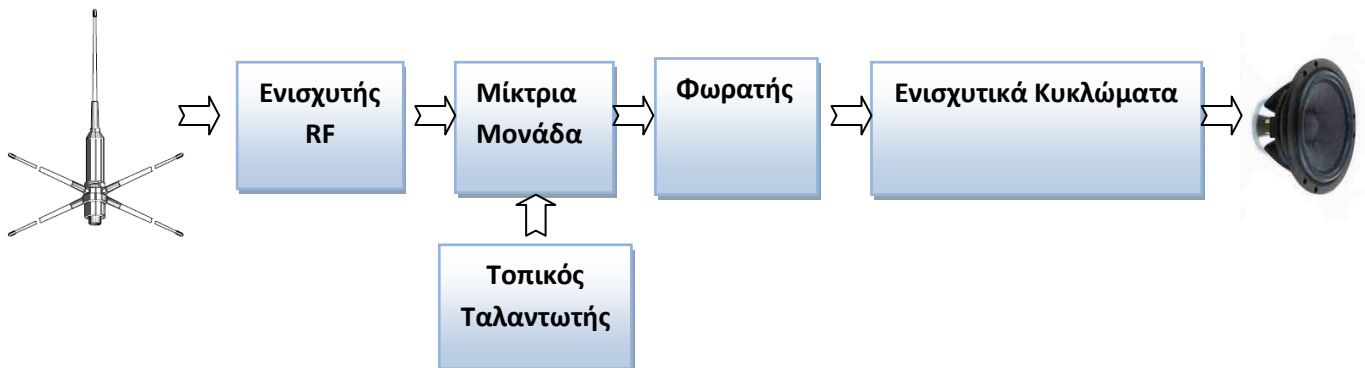
Αν ενώσουμε τις θετικές και τις αρνητικές κορυφές της κυματομορφής της φέρουσας με μια φανταστική γραμμή, τότε αναπαράγουμε το ακριβές σχήμα του διαμορφώνοντος σήματος πληροφορίας.

Αυτή η φανταστική γραμμή στην κυματομορφή της φέρουσας είναι γνωστή σαν περιβάλλουσα και συμπίπτει με την κυματομορφή του διαμορφώνοντος σήματος.

Η τελική βαθμίδα του πομπού είναι η βαθμίδα ισχύος που έχει σκοπό να δώσει στο σήμα την τελική απαιτούμενη ισχύ εκπομπής. Ενισχυμένη πλέον όσον αφορά στο πλάτος, η διαμορφωμένη τάση υψηλής συχνότητας οδηγείται στην κεραία, έτσι, η κεραία διαρρέεται από ρεύμα αντίστοιχης συχνότητας και είναι γνωστό ότι, όταν μια κεραία ή αγωγός διαρρέεται από ρεύμα υψηλής συχνότητας, τότε δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό κύμα αντίστοιχης συχνότητας το οποίο ακτινοβολείται στο χώρο. Ο τρόπος αυτός της διαμόρφωσης ονομάζεται διαμόρφωση κατά πλάτος (AM – AMPLITUDE MODULATION). Όταν διαμορφώνεται ένα φέρον κύμα από μια πληροφορία, παράγονται νέα σήματα σε διαφορετικές συχνότητες, σαν μέρος της επεξεργασίας. Αυτές οι νέες συχνότητες καλούνται πλευρικές συχνότητες ή πλευρικές ζώνες και βρίσκονται στο φάσμα συχνοτήτων πάνω και κάτω από τη συχνότητα της φέρουσας. Οι ραδιοφωνικοί πομποί AM έχουν ένα εύρος ζώνης περίπου 10 KHZ.



### ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΕΚΤΗ AM



Δέκτης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που έχει σκοπό να λάβει τα σήματα που θα στείλει ο πομπός, να τα αποκωδικοποιήσει και να τα αποδώσει με το μεγάφωνο ή τα ακουστικά. Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το τυπικό μπλοκ διάγραμμα ενός δέκτη AM.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που φθάνουν στην κεραία δημιουργούν μέσω επαγωγής τάσεις αντίστοιχης συχνότητας και κατά επέκταση, ρεύματα αντίστοιχης συχνότητας.

Οι επαγωγίμες τάσεις έχουν μικρές τιμές (της τάξης των  $\mu\text{V}$ ) και γι' αυτό το λόγο, αμέσως μετά την κεραία, τοποθετείται ο ενισχυτής υψηλών συχνοτήτων ή ενισχυτής RF. Αυτή η βαθμίδα έχει σκοπό να ενισχύσει το πλάτος και των πλέον ασθενών σημάτων ώστε να γίνει δυνατή η επεξεργασία τους από το δέκτη.

Στους δέκτες, το σήμα που επιλέγεται από την κεραία με τα συντονιζόμενα κυκλώματα, ενισχύεται από τη βαθμίδα ενίσχυσης υψηλής συχνότητας και στη συνέχεια υποβιβάζεται σε μια χαμηλότερη συχνότητα. Όποια συχνότητα κι αν λαμβάνει ο δέκτης στην είσοδό του, υποβιβάζεται στην ίδια χαμηλότερη συχνότητα η οποία ονομάζεται ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη (Intermediate frequency- IF). Ο υποβιβασμός της συχνότητας γίνεται στη μίκτρια βαθμίδα με τη μέθοδο της συμβολής συχνοτήτων. Η ενδιάμεση συχνότητα είναι σταθερή κι έτσι τα συντονιζόμενα κυκλώματα των ενισχυτών IF είναι σταθερά συντονισμένα σ' αυτή. Μ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ενίσχυση, δεν απαιτείται μεταβολή συντονισμού κι έχουμε καλύτερη και πιο σταθερή επιλεκτικότητα.

Η επόμενη βαθμίδα είναι η μίκτρια στην οποία θα γίνει μίξη και υποβιβασμός της υψηλής συχνότητας και θα εμφανισθεί η ενδιάμεση συχνότητα. Στη μίκτρια έρχεται και το σήμα υψηλής συχνότητας σταθερού πλάτους που παράγεται στον τοπικό ταλαντωτή (Local Oscillator) για τη συμβολή. Η δημιουργούμενη ενδιάμεση συχνότητα διατηρεί όλα τα χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης που έχει το σήμα που έλαβε ο δέκτης. Η ενδιάμεση συχνότητα θα ενισχυθεί από τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας και θα οδηγηθεί στον φωρατή όπου θα υποστεί φάραση (αποδιαμόρφωση) και θα εμφανισθεί το σήμα ακουστικής συχνότητας.

Αυτό θα ενισχυθεί από κατάλληλα ενισχυτικά κυκλώματα και θα αποδοθεί στο μεγάφωνο. Σ' αυτή τη βαθμίδα επεμβαίνουμε με το VOLUME και έτσι αυξομειώνουμε την ένταση του ήχου στο μεγάφωνο.



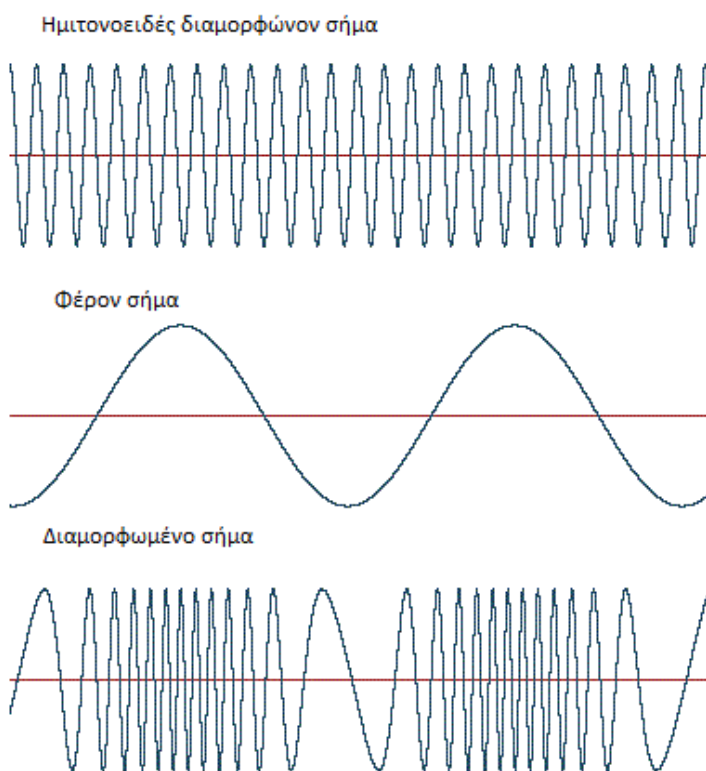
## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ FM (FREQUENCY MODULATION – FM) – ΠΟΜΠΟΣ FM

Ένας ακόμη βασικός τρόπος διαμόρφωσης είναι αυτός της διαμόρφωσης κατά συχνότητα (FM). Αυτή η διαμόρφωση υπερτερεί της διαμόρφωσης κατά πλάτος στο γεγονός ότι ο παραγόμενος ήχος στο μεγάφωνο του δέκτη έχει υψηλή πιστότητα και είναι απαλλαγμένος από τον εξωτερικό θόρυβο.

Ο πομπός FM αποτελείται βασικά από τις ίδιες βαθμίδες που υπάρχουν και στον πομπό AM, δηλαδή, υπάρχει ο κυρίως ταλαντωτής, ο απομονωτής, ο πολλαπλασιαστής συχνότητας, ο τελικός ενισχυτής, το μικρόφωνο, ο ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων και ο διαμορφωτής, η λειτουργία των οποίων έχει

ήδη αναφερθεί κατά την περιγραφή του πομπού AM.

Στο σχήμα διπλανό σχήμα η έξοδος του διαμορφωτή είναι μια εναλλασσόμενη τάση της οποίας το πλάτος είναι σταθερό, όχι όμως και η συχνότητά της. Αυτός ο τρόπος διαμόρφωσης κατά τον οποίον η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης υψηλής συχνότητας (φέρουσα) μεταβάλλεται σύμφωνα με το ρυθμό μεταβολής του πλάτους της χαμηλής συχνότητας (διαμορφούσα συχνότητα) καλείται διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation – FM). Πολλά FM ραδιόφωνα και δέκτες TV έχουν κυκλώματα AFC (κύκλωμα που κρατά σταθερά συντονισμένο το δέκτη στη συχνότητα του σήματος).



## ΔΕΚΤΗΣ ΣΗΜΑΤΩΝ FM

Ο δέκτης σημάτων FM έχει τις βασικές βαθμίδες που έχει και ο δέκτης AM, δηλαδή, ενισχυτή υψηλών συχνοτήτων, μίκτη, ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, περιοριστή, διευκρινιστή και ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων. Η λειτουργία των μονάδων είναι η ίδια με αυτή του δέκτη AM, εδώ όμως υπάρχει επιπλέον ο περιοριστής.

Αυτό το κύκλωμα έχει σκοπό να ψαλιδίσει το σήμα της ενδιάμεσης συχνότητας και να το φέρει σε κατάλληλη στάθμη με εντελώς σταθερό πλάτος για να λειτουργήσει ο διευκρινιστής (αποδιαμορφωτής).

Με τον ψαλιδισμό του σήματος αποκόπτεται κάθε παρασιτικός θόρυβος που προστέθηκε στο σήμα (οι παρασιτικοί θόρυβοι προστίθενται στο σήμα υψηλής συχνότητας κατά πλάτος), έτσι, η έξοδος του δέκτη FM είναι απαλλαγμένη από παράσιτα.

## ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΗΜΑΤΩΝ SSB (Single Side Band)

Ένας άλλος τρόπος εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι αυτός της εκπομπής μιας πλευρικής ζώνης (Single Side Band – SSB). Μ' αυτή τη μέθοδο προκαλείται διαμόρφωση πλάτους στο σήμα υψηλής συχνότητας αλλά εκπέμπεται μόνο η μια πλευρική ενώ το φέρον και η άλλη πλευρική αποκόπτονται. Μπορεί να εκπέμπεται η άνω πλευρική (Upper Side Band – USB) ή η κάτω πλευρική (Lower Side Band – LSB).

Οι πρώτες εφαρμογές ζεύξης με σύστημα SSB έγιναν με επιτυχία στη 10ετία του 1920, η μέθοδος όμως δεν εφαρμόστηκε αμέσως λόγω υψηλού κόστους των συσκευών. Με την εκπομπή SSB κάθε πομπός καλύπτει το μισό εύρος από το εύρος συχνοτήτων ενός πομπού AM, έτσι στο εύρος που λειτουργεί ένας σταθμός AM μπορούν να λειτουργήσουν δύο πομποί SSB.

Το φέρον κύμα καταναλώνει περίπου τα 2/3 της ισχύος ενός πομπού (διαμόρφωση 100%) ενώ δεν περιέχει καμία πληροφορία.

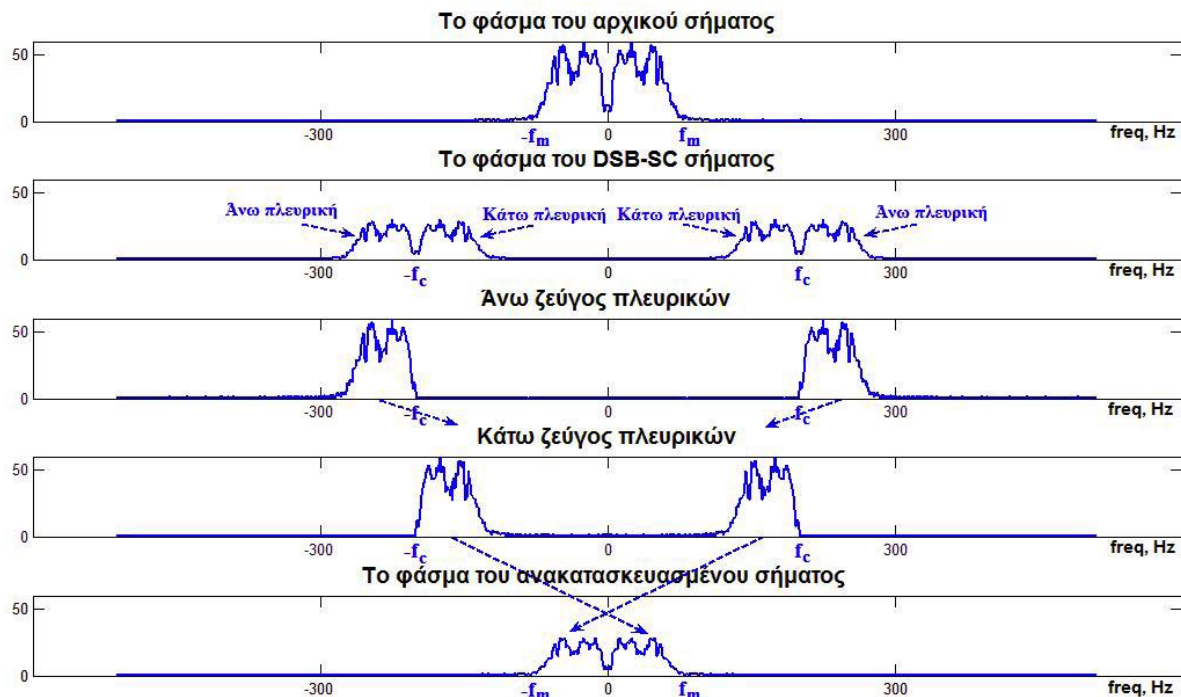
Το 1/3 της ολικής διαμορφωμένης ισχύος το έχουν οι δύο πλευρικές οι οποίες και περιέχουν τις πληροφορίες της ακουστικής συχνότητας, έτσι μπορούμε να πούμε ότι το 1/6 της ολικής ισχύος το έχει η μία πλευρική η οποία περιέχει και τις πληροφορίες, αν λοιπόν εκπεμφθεί η μια πλευρική μόνο, έχουμε μεγάλο κέρδος ισχύος αφού το φέρον που καταναλώνει τη μεγαλύτερη

ισχύ δεν εκπέμπεται. Στις ναυτικές επικοινωνίες αποκόπτεται η κάτω πλευρική ζώνη (LSB). Με άλλα λόγια, με ίδιας ισχύος πομπούς AM και SSB, με τους SSB καλύπτουμε μεγαλύτερες αποστάσεις. Επιπλέον, όταν οι καιρικές συνθήκες είναι κακές, κατά τη διάδοση των κυμάτων, το SSB πλεονεκτεί σε σύγκριση με το AM επειδή η επίδραση των καιρικών συνθηκών στο SSB είναι λιγότερο έντονη, δηλαδή, ο εξωτερικός θόρυβος επηρεάζει λιγότερο τα σήματα SSB.

Από την άλλη πλευρά, το SSB έχει μεγάλο κόστος κατασκευής λόγω υψηλής ποιότητας κατασκευής του πομποδέκτη. Στο σύστημα SSB η εκπομπή και η λήψη γίνεται στις παρακάτω μορφές:

<b>J3E</b>	Απλή πλευρική χωρίς φέρον
<b>R3E</b>	Απλή πλευρική με υποβιβασμένο φέρον
<b>H3E</b>	Απλή πλευρική με πλήρες φέρον
<b>A3E</b>	Δύο ανεξάρτητες πλευρικές χωρίς

Φάσμα SSB σημάτων:



## ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (DIGITAL MODULATION)

Το ραδιοφάσμα είναι περιορισμένο και χρησιμοποιείται από πολλές υπηρεσίες και χρήστες. Με την ψηφιακή διαμόρφωση είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα και να διεκπεραιωθεί μεγαλύτερος όγκος πληροφορίας απ' ό,τι με την αναλογική στο ίδιο εύρος διαύλου (bandwidth). Η ίδια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ ΗΥ στο internet (ενσύρματες επικοινωνίες), χρησιμοποιείται και στις ασύρματες επικοινωνίες.

Η πληροφορία οργανώνεται σε πακέτα (packets) τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τη διεύθυνση προορισμού, το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί, τους κώδικες ανίχνευσης σφάλματος, την ίδια τη πληροφορία και σήματα ελέγχου για την έναρξη και τον τερματισμό της ακολουθίας.

Τα μηνύματα, αντί να εκπέμπονται σε συνεχή ροή (continuous stream), χωρίζονται σε πακέτα ενώ στην πλευρά της λήψης τα διάφορα πακέτα επανασυνθέτονται για να σχηματίσουν το αρχικό μήνυμα. Αν κάτι δεν πάει καλά ο αποδέκτης μπορεί να ζητήσει επανεκπομπή του συγκεκριμένου πακέτου.

Τα πακέτα στον αποδέκτη φθάνουν χωρίς προκαθορισμένη σειρά. Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος PACKET χρησιμοποιείται για κείμενα εν τούτοις κάθε πληροφορία (φωνή, γραφικά, video) που μπορούν να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή, μπορούν να σταλούν σε πακέτα, απαιτούνται όμως πολύπλοκες συσκευές εκπομπής και λήψης. Το εύρος ζώνης συχνοτήτων που απαιτείται εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα εκπομπής, έτσι έχουμε μεγάλες ταχύτητες στο internet ενώ σε ραδιοεκπομπές η ταχύτητα είναι χαμηλή. Χρησιμοποιώντας συχνότητες κάτω από τους 30 MHz έχουμε πολύ χαμηλές ταχύτητες που μετά βίας αγγίζουν τα 300 bps!!! Αυτό δείχνει ότι είναι άσκοπο να χρησιμοποιηθούν τα HF για πρόσβαση στο Internet (web).

Στην περίπτωση του ψηφιακού καναλιού, bandwidth θεωρούμε τον μεγαλύτερο ρυθμό μεταφοράς της πληροφορίας (data transfer rate).

Πχ ένα κανάλι με ικανότητα μεταφοράς 1544 Mbps, έχει bandwidth 1544 Mbps.

## ΤΥΠΟΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Κατά την ψηφιακή εκπομπή η πληροφορία εκπέμπεται σαν ακολουθία στοιχείων που αντιπροσωπεύουν τις δύο και μοναδικές καταστάσεις, το Bit 0 και το Bit 1.

Ο διαμορφωτής μετατρέπει αυτή την ακολουθία των λογικών 1 και 0 σε αναλογικά σήματα, κατάλληλα για εκπομπή σε κανάλι του ραδιοφάσματος. Η διαμόρφωση ενός φέροντος με ψηφιακά σήματα πραγματοποιείται με ολίσθηση (shift keying) επειδή υπάρχει διακριτή αλλαγή στις παραμέτρους του φέροντος.

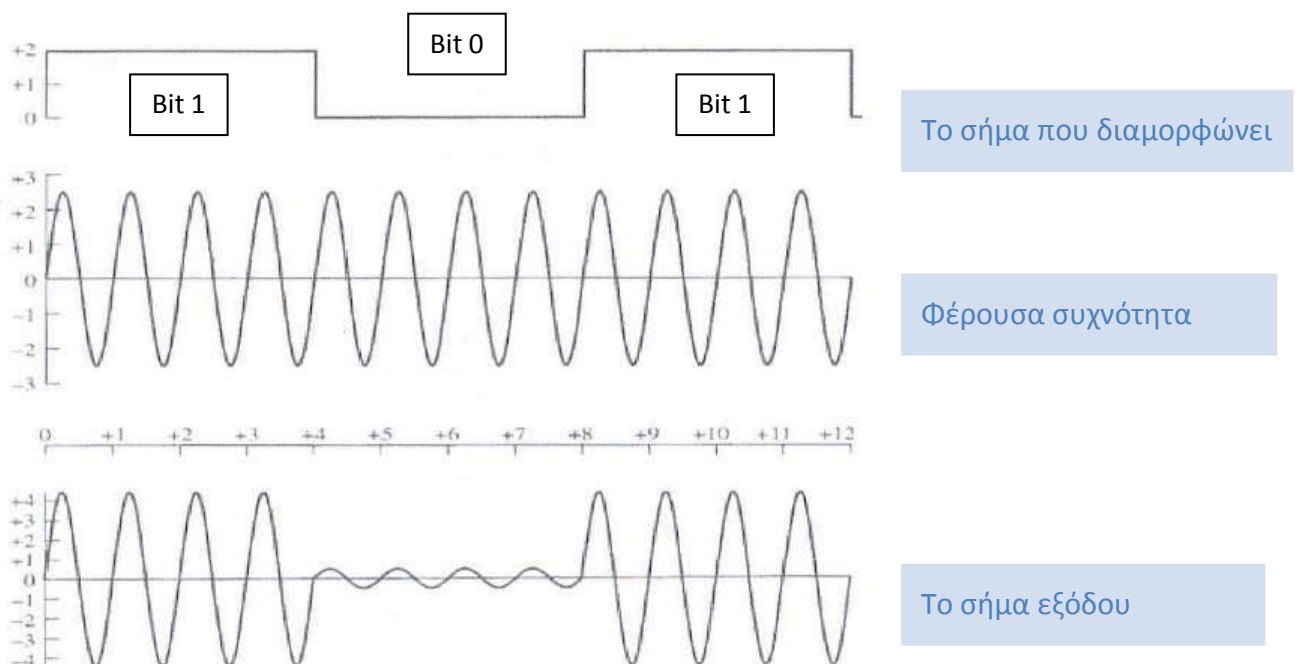
Υπάρχουν πολλά είδη ψηφιακής διαμόρφωσης από τα οποία τα περισσότερο γνωστά είναι τα:

- **ASK (Amplitude Shift Keying)**
- **FSK (Frequency Shift Keying)**
- **PSK (Phase Shift Keying)**

### ASK

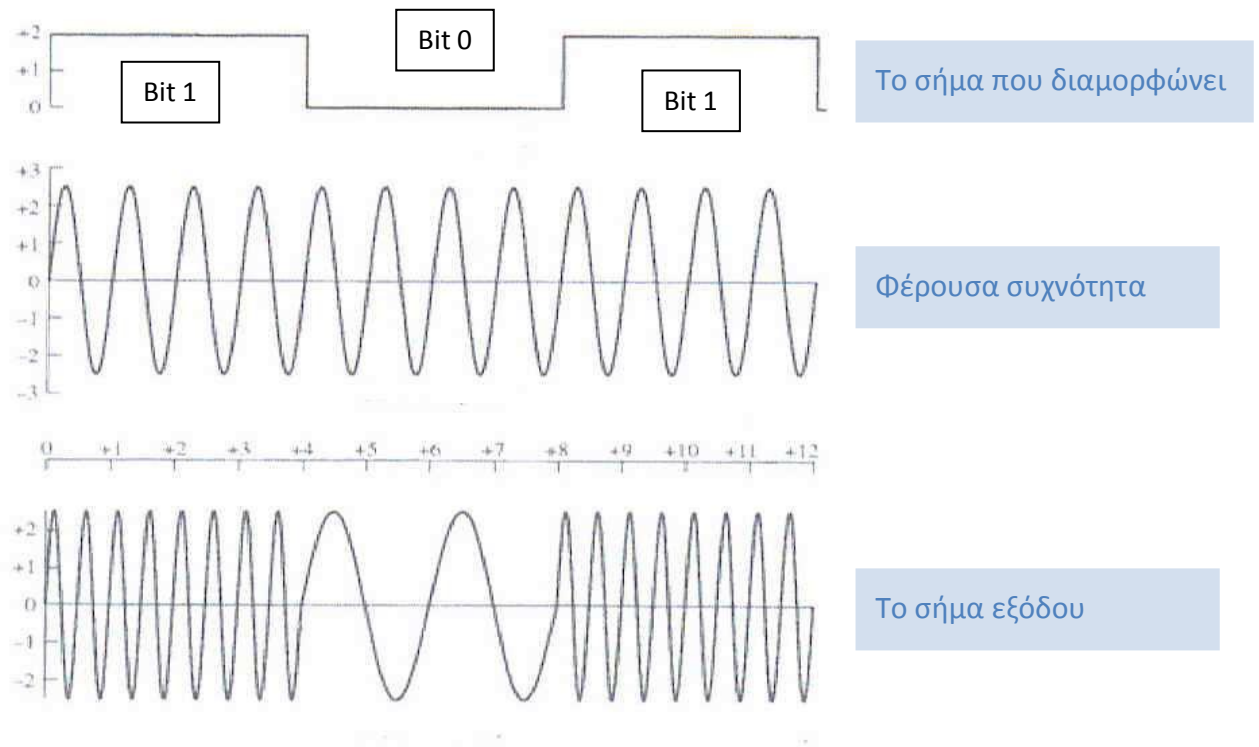
Μ' αυτή τη μέθοδο το πλάτος του φέροντος παίρνει μόνο δύο τιμές ανάλογα με τη λογική κατάσταση της ακολουθίας των bits.

### Μέθοδος ASK



## FSK

Και η μέθοδος FSK είναι διαμόρφωση κατά συχνότητα (FM), σε αντίθεση όμως με τα FM που η συχνότητα μεταβάλλεται στον ρυθμό πλήθους συχνοτήτων μέσα στα όρια απόκλισης, στο FSK η συχνότητα του φέροντος μεταβάλλεται μόνο μεταξύ δύο συχνοτήτων που την υψηλότερη την λέμε MARK (bit 1) και τη χαμηλότερη SPACE (bit 0).

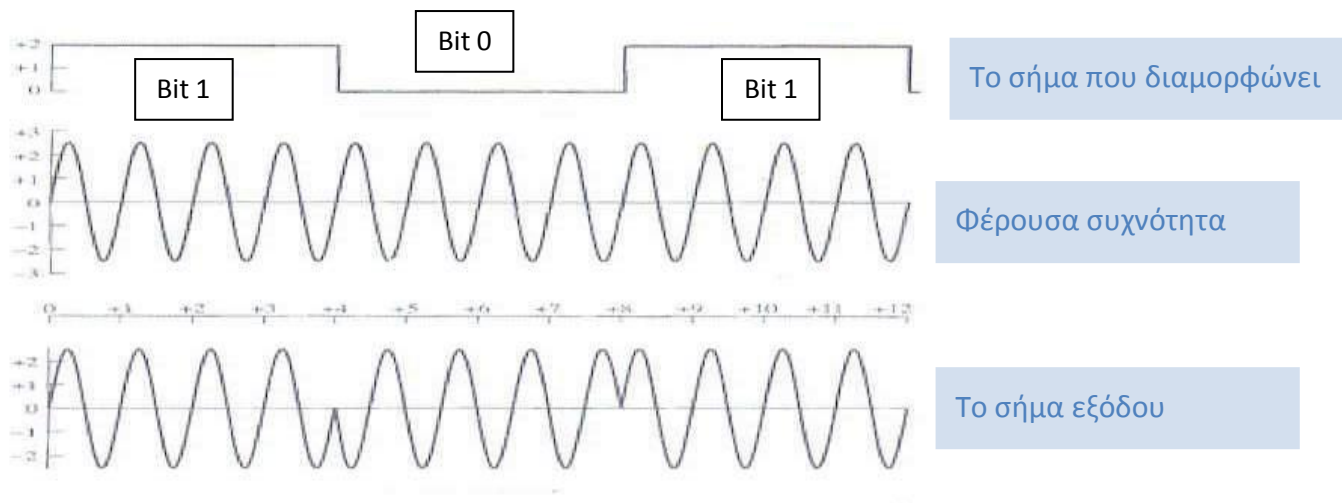


Όπως και κατά τη μέθοδο ASK κινούμαστε μέσα σε δύο καταστάσεις, έτσι κι εδώ: Η συχνότητα (και όχι το πλάτος) παίρνει μόνο δύο τιμές ανάλογα με τη Λογική κατάσταση 1 ή 0. Το Λογικό 1 προκαλεί αύξηση της κεντρικής συχνότητας (carrier) και το Λογικό 0 μείωση.

## PSK

Η φάση του φέροντος αλλάζει επίσης μεταξύ δύο καταστάσεων: Του Λογικού 1 και του Λογικού 0. Το Λογικό 1 δε δημιουργεί διαφορά φάσης ενώ το Λογικό 0 δημιουργεί διαφορά φάσης 180 μοιρών.

Χρησιμοποιείται στις δορυφορικές επικοινωνίες και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.



## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

**Εκπομπή και λήψη** Οι κεραιές εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή διαφορετικά ένα κύκλωμα όταν διαρρέετε από ρεύμα υψηλής συχνότητας ακτινοβολεί. Τυχαία το φαινόμενο αυτό είχε αποδειχθεί μαθηματικά από τις εξισώσεις του Maxwell από τις οποίες προκύπτει ότι όταν ένα καλώδιο διαρρέετε από ρεύμα γύρο από αυτό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Επιπρόσθετα αν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται, μεταβάλλοντας το ρεύμα, δημιουργείται και ένα ηλεκτρικό πεδίο επίσης.

**Πόλωση (Polarization)** Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο και το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους. Το μαγνητικό πεδίο όπως αναφέρθηκε, περιβάλλει το καλώδιο και είναι κάθετο σε αυτό, το οποίο σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο θα είναι παράλληλο στο καλώδιο. Αυτό ισχύει μετά την εκπομπή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από την κεραιά.

Η πόλωση αναφέρεται στον φυσικό προσανατολισμό του εκπεμπόμενου κύματος στον χώρο. Τα κύματα ονομάζονται πολωμένα (γραμμικά πολωμένα) αν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στον χώρο. Είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων κεραιών ότι η ακτινοβολία που εκπέμπουν είναι γραμμικά πολωμένη. Για παράδειγμα, μια κάθετη κεραιά ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα των οποίων τα διανύσματα των ηλεκτρικών τους πεδίων είναι κάθετα και παραμένουν κάθετα κατά την διάδοσή τους στον ελεύθερο χώρο. Από την άλλη πλευρά το φως ακτινοβολείται από μη συμφασικές πηγές (όπως το φως που ακτινοβολείται από τον ήλιο) και έχει τα διανύσματα των ηλεκτρικών πεδίων των ακτινών τυχαία κατανεμημένα, αυτό το είδος της πόλωσης ονομάζεται τυχαία πόλωση.

**Λήψη** Όπως ένα καλώδιο που μεταφέρει υψίσυχνα ρεύματα περιβάλλεται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία έτσι και ένα καλώδιο που εισέρχεται μέσα σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο διαρρέετε από ηλεκτρικό ρεύμα που επάγει σε αυτό το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει ότι το καλώδιο λαμβάνει μέρος τις ακτινοβολίας του πεδίου και συμπεριφέρεται σαν μια κεραιά λήψης.

Με βάση το γεγονός ότι η διαδικασία της λήψης είναι αντίθετη της διαδικασίας της εκπομπής, οι κεραιές λήψης και εκπομπής χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο.

Εκτός από τον τρόπο που διαχειρίζονται την ισχύ οι κεραιές εκπομπής και λήψης είναι ίδιες. Στην πραγματικότητα ισχύει το θεώρημα της αμοιβαιότητας. Με βάση το θεώρημα αυτό τα χαρακτηριστικά των κεραιών όπως αντίσταση ακτινοβολίας και

διάγραμμα ακτινοβολίας παραμένουν ίδια, ανεξάρτητα από την χρήση της κεραίας σαν κεραία εκπομπής ή λήψης.

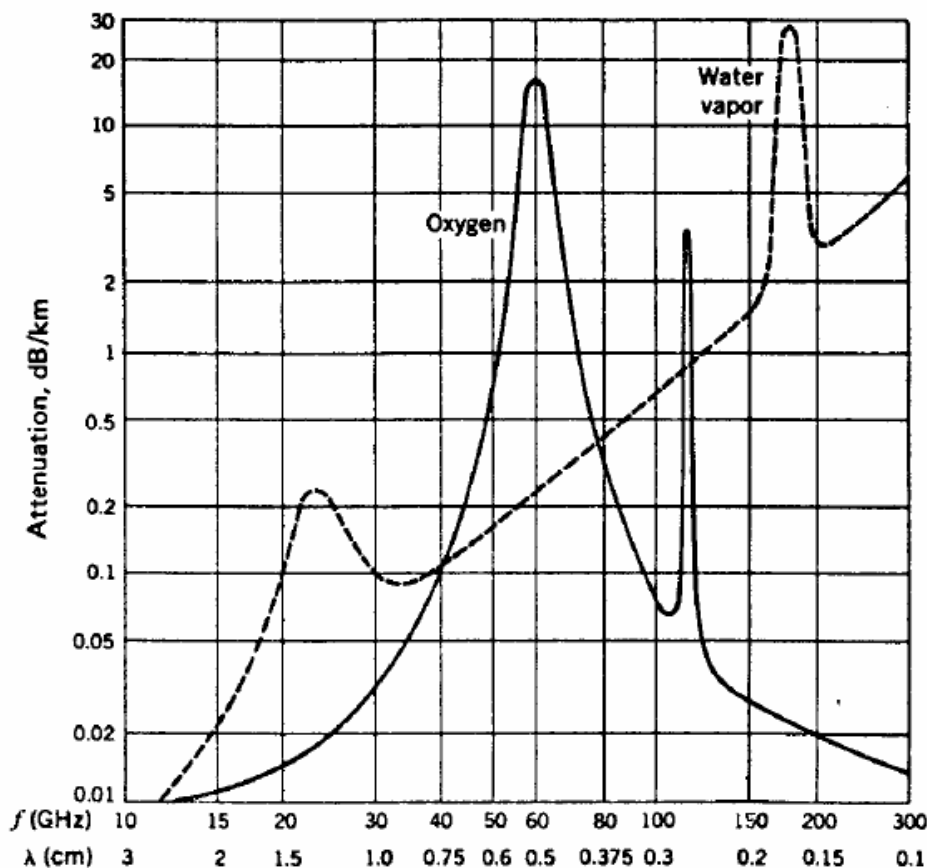
**Εξασθένηση (attenuation) και απορρόφηση (absorption)** Ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου δείχνει ότι η πυκνότητα ισχύος ελαττώνεται σημαντικά με την αύξηση της απόστασης από την πηγή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Με άλλα λόγια τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξασθενούνε καθώς απομακρύνονται από την πηγή και η εξασθένηση είναι ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης που διένυσαν.

Η εξασθένηση μετριέται σε dB και συμβαίνει να είναι ίδια αριθμητικά τόσο για την ένταση του πεδίου όσο και για την πυκνότητα ισχύος.

Στο κενό η έννοια της απορρόφησης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δεν υφίσταται μιας και δεν υπάρχει τίποτα που να εμποδίζει την διάδοσή τους. Ωστόσο το σχήμα είναι διαφορετικό στην ατμόσφαιρα της γης. Η ατμόσφαιρα απορροφά μέρος της ενέργειας των ραδιοκυμάτων καθώς μέρος της ενέργειας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων απορροφάται από τα άτομα και μόρια της ατμόσφαιρας.

Η ανταλλαγή αυτή της ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα τα άτομα και τα μόρια της ατμόσφαιρας που απορρόφησαν την ενέργεια να ταλαντώνονται και η ατμόσφαιρα στο σημείο εκείνο να θερμαίνεται.

Στην πραγματικότητα, η απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών από την ατμόσφαιρα για συχνότητες κάτω των 10GHz είναι ασήμαντη. Όπως δείχνει και το σχήμα 8-3 η απορρόφηση από το οξυγόνο και τους υδρατμούς(συστατικών της ατμόσφαιρας) σε αυτή τη συχνότητα γίνεται σημαντική και αυξάνει σταδιακά για μεγαλύτερες συχνότητες. Εξαιτίας των διαφορετικών μοριακών συντονισμών στο σχήμα υπάρχουν πολλές κορυφές και η εξασθένηση εμφανίζει πολλά τοπικά μέγιστα. Όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα οι συχνότητες των 60 και 120 GHz δεν συνίστανται για διάδοση σε μεγάλες αποστάσεις στην ατμόσφαιρα. Επίσης το ίδιο ισχύει και για τις συχνότητες των 23 και 180 GHz εκτός από περιόδους όπου η ατμόσφαιρα είναι ξηρή. Από την άλλη πλευρά το παράθυρο στο οποίο η εξασθένηση είναι μικρή είναι για συχνότητες όπως 33 και 110 GHz.



Η απορρόφηση, όπως δείχνει και το σχήμα στην προηγούμενη σελίδα χωρίζεται σε δύο βασικές συνιστώσες με την απορρόφηση εξαιτίας των υδρατμών να λαμβάνεται για μια συγκεκριμένη τιμή της υγρασίας. Αν η υγρασία αυξηθεί ή αν υπάρχει ομίχλη, βροχή ή χιόνι η απορρόφηση αυξάνεται σημαντικά και ταυτόχρονα υπάρχει το ενδεχόμενο της ανάκλασης (reflection) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από το νερό της βροχής. Για παράδειγμα, ένα radar στα 10 GHz καλύπτει μια περιοχή 75 Km σε ξηρό αέρα, 68 Km για μικρή ψιγάλα, 55 km για σιγανή βροχή, 22Km για μέτρια βροχή και 8 Km για δυνατή βροχή. Επαναλαμβάνεται ότι η εξασθένηση αυτή είναι ασήμαντη για χαμηλές συχνότητες εκτός αν η απόσταση διάδοσης είναι πολύ μεγάλη.

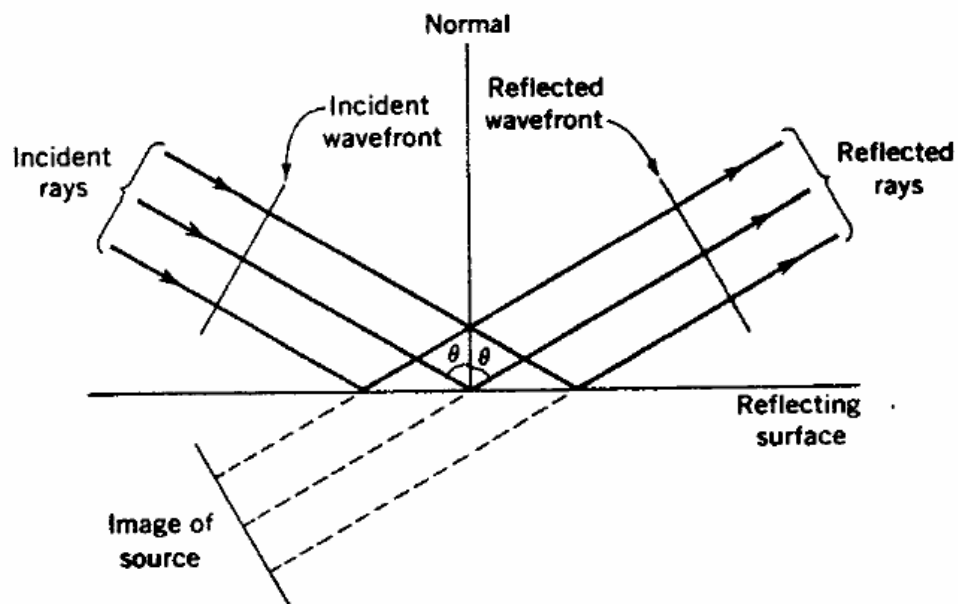
### **Επίδραση του περιβάλλοντος**

Για διάδοση ραδιοκυμάτων κοντά στην επιφάνεια της γης πρέπει να εξεταστούν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι αμελούνται για διάδοση στο κενό. Για παράδειγμα πρέπει να ληφθεί υπ όψιν η ανάκλαση(reflection) των κυμάτων από το έδαφος, τα βουνά και τα κτίρια. Επιπρόσθετα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα υφίστανται διάθλαση(refraction)καθώς διαπερνούν διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας, τα οποία έχουν διαφορετική πυκνότητα ή διαφορετικό βαθμό ιονισμού. Επίσης, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα περιθλώνται (diffraction) γύρω από αιχμηρά ογκώδη αντικείμενα. Κύματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές αφού διανύσουν διαφορετικές διαδρομές είναι δυνατόν να ενωθούν. Τέλος κύματα είναι δυνατόν να διαδίδονται σε διαφορετικά μέσα.

### **Ανάκλαση των κυμάτων**

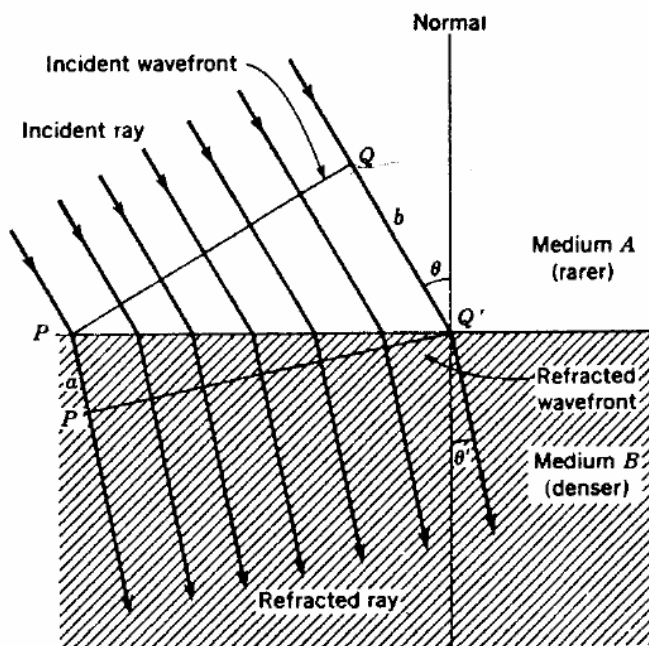
Υπάρχει ομοιότητα μεταξύ της ανάκλασης του φωτός σε ένα καθρέφτη και της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα αγωγίμο μέσο. Και στις δύο περιπτώσεις η γωνία ανάκλασης είναι ίδια με την γωνία πρόσπτωσης όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Στο παράδειγμα της ανάκλασης του φωτός η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη στο επίπεδο πρόσπτωσης είναι στο ίδιο επίπεδο.



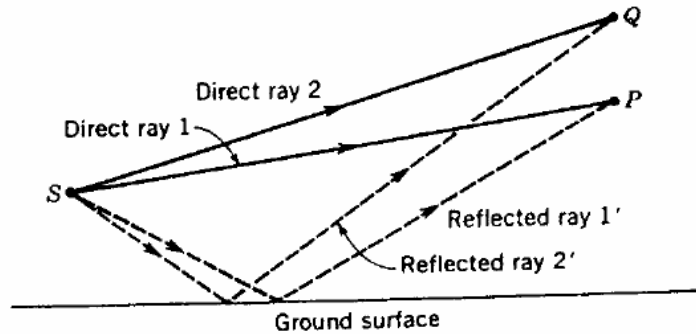


Η απόδειξη της ισότητας των γωνιών ανάκλασης και πρόσπτωσης ακολουθεί τον νόμο που είναι γνωστός ως δεύτερος νόμος της ανάκλασης του φωτός. Και οι δύο αποδείξεις βασίζονται στο γεγονός ότι το προσπίπτον και το ανακλώμενο κύμα έχουν την ίδια ταχύτητα. Υπάρχει και άλλη μια ομοιότητα της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και της ανάκλασης του φωτός. Οποιοσδήποτε έχει βρεθεί ανάμεσα σε δύο καθρέφτες θα έχει παρατηρήσει ένα μεγάλο αριθμό από εικόνες είδωλα του εαυτού του, και ακόμη ότι η φωτεινότητα τους ελαττώνεται βαθμιαία. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση του φωτός σε κάθε ανάκλαση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ο συντελεστής ανάκλασης  $\rho$  ορίζεται ως ο λόγος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου του ανακλώμενου κύματος προς την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του προσπίπτοντος κύματος. Είναι μονάδα, για τέλειους αγωγούς και μικρότερος από τη μονάδα για πρακτικές αγώγιμες επιφάνειες. Η διαφορά αυτή είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης της ενέργειας του προσπίπτοντος κύματος από την μη τέλεια αγώγιμη επιφάνεια.

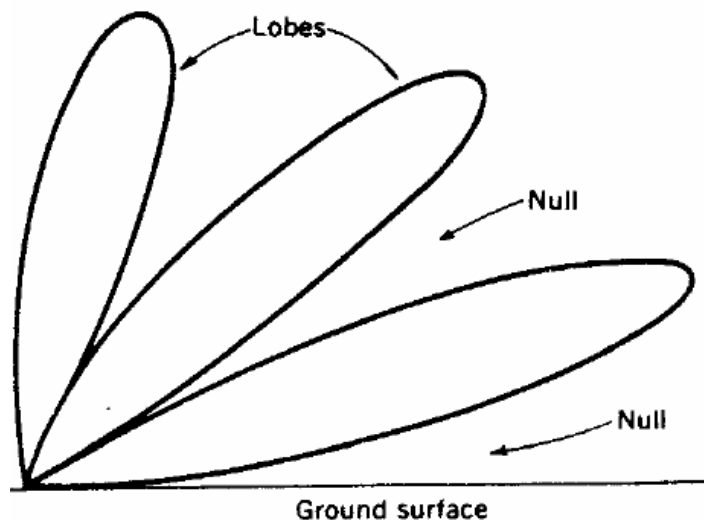
**Διάθλαση** Όπως και στην περίπτωση του φωτός, η διάθλαση λαμβάνει χώρα όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα περάσει από ένα μέσο διάδοσης σε ένα άλλο με διαφορετική πυκνότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κύμα να ακολουθεί μια άλλη κατεύθυνση στο δεύτερο μέσο και ταυτόχρονα η ταχύτητα του μεταβάλλεται. Η πιο απλή περίπτωση διάθλασης εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα όπου στο επίπεδο υπάρχουν δύο μέσα διάδοσης. Η ιδιότητα της διάθλασης χρησιμοποιείται στην διάδοση κυμάτων HF, όπου το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαθλάται στα διαφορετικής πυκνότητας στρώματα της ιονόσφαιρας, φαινόμενο το οποίο θα επεξηγηθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας αυτής. Στο διπλανό σχήμα ένα κύμα περνά από το μέσο A στο μέσο B με το προσπίπτον κύμα να σχηματίζει γωνία με το διαχωριστικό όριο διαφορετική από 90 μοίρες. Στο σχήμα το μέτωπο του κύματος P-Q φαίνεται σε ένα στιγμιότυπο όταν διεισδύει στο μέσο B και το μέτωπο του κύματος P'-Q' όταν πλέον έχει ολοκληρωθεί η είσοδός του στο δεύτερο μέσο. Η ακτίνα b διάνυσε απόσταση Q-Q', ανάλογη της ταχύτητάς της στο αραιό μέσο διάδοσης. Όμοια η ακτίνα a διάνυσε απόσταση P-P', ανάλογη της ταχύτητάς της στο πυκνό μέσο διάδοσης. Η απόσταση P-P' είναι μικρότερη της απόστασης Q-Q' διότι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος είναι μικρότερη στο πυκνό μέσο. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει στην ατμόσφαιρα όπου η πυκνότητά της μεταβάλλεται με το ύψος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα μια ασθενής διάθλαση και έτσι τα κύματα αντί να ακολουθούν ευθείες τροχιές καμπυλώνουν σημαντικά. Με αυτό τον τρόπο ο ραδιοορίζοντας αυξάνεται, αλλά τα αποτελέσματα είναι παρατηρήσιμα μόνο για ακτίνες που διαδίδονται οριζόντια. Στην πραγματικότητα αυτό που συμβαίνει είναι ότι η κορυφή του μετώπου του κύματος ταξιδεύει σε πιο αραιή περιοχή της ατμόσφαιρας από ότι η κάτω άκρη του και για αυτό το λόγο ταξιδεύει πιο γρήγορα. Ένα παρόμοιο φαινόμενο συναντάται όταν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα συναντάνε την ιονόσφαιρα.



**ΣΥΜΒΟΛΗ(interference) των** Συνεχίζοντας τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων θα εξετάσουμε το φαινόμενο της συμβολής τους. Συμβολή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έχουμε όταν δύο κύματα φθάνουν στο ίδιο σημείο, διανύοντας διαφορετικές διαδρομές από την πηγή εκπομπής μέχρι το σημείο αυτό. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται συνεχώς σε διαδόσεις κυμάτων υψηλής συχνότητας στην ατμόσφαιρα και σε διαδόσεις κυμάτων μικροκυματικής συχνότητας. Έστω ότι έχουμε τοποθετημένη μια μικροκυματική κεραία κοντά στο έδαφος. Τα κύματα τα οποία εκπέμπει φθάνουν στην κεραία λήψης ακολουθώντας όχι μόνο την απευθείας διάδοση αλλά και τις ανακλάσεις από το έδαφος. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα που ακολουθεί.



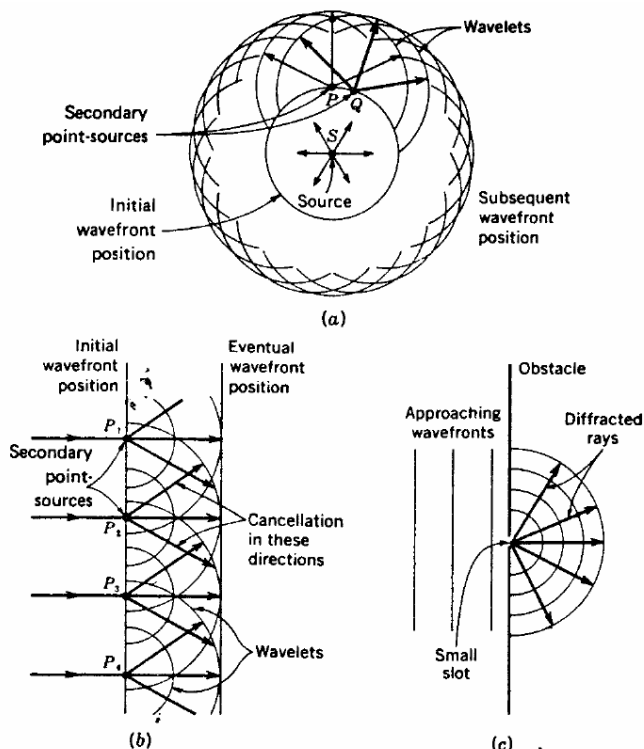
Είναι προφανές ότι το μήκος της απευθείας διαδρομής είναι μικρότερο από το μήκος της διαδρομής του ανακλώμενου κύματος. Για ένα συνδυασμό της συχνότητας και του ύψους της κεραίας από το έδαφος, η διαφορά μεταξύ των διαδρομών 1 και 1' είναι ακριβώς μισό μήκος κύματος. Έτσι αν το έδαφος είναι τέλειος ανακλαστήρας τότε στο σημείο P θα έχουμε πλήρη εξουδετέρωσή του συνιστάμενου κύματος, ενώ αν το έδαφος έχει μη τέλειες ανακλαστικές ιδιότητες τότε στο σημείο λήψης θα έχουμε μερική εξουδετέρωση. Αν πάρουμε ένα άλλο σημείο λήψης Q ώστε η διαφορά στις διαδρομές 2 και 2' να είναι ένα μήκος κύματος τότε, θα έχουμε ενίσχυση των λαμβανόμενων κυμάτων μερική ή ολική ανάλογα με την ανακλαστική ικανότητα του εδάφους. Η εναλλαγή τέτοιων σημείων δημιουργεί ένα διάγραμμα συμβολής, αποτελούμενο από εναλλασσόμενες ενισχύσεις (reinforcements) και εξουδετερώσεις (cancellations) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το διάγραμμα αυτό εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Η καμπύλη στο προηγούμενο σχήμα ενώνει σημεία τα οποία έχουν την ίδια ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται σε μια κεραία σε απόσταση από το έδαφος ενός μήκους κύματος, με τις ανακλάσεις από το έδαφος να δημιουργούν συμβολή. Διαγράμματα σαν το παραπάνω μπορούν να σχεδιαστούν για διάφορες τιμές της έντασης του πεδίου. Στο σχήμα 8-8 οι καμπύλες που μοιάζουν με πέταλα λουλουδιού ονομάζονται λοβοί. Οι λοβοί αντιστοιχούν σε σημεία ενίσχυσης όπως το Q στο σχήμα 8-7 και τα μηδενικά (nulls) αντιστοιχούν σε σημεία εξουδετέρωσης P.

Για συχνότητες στην περιοχή VHF η συμβολή των κυμάτων είναι ασήμαντη, επειδή στις συχνότητες αυτές τα μήκη κύματος είναι πολύ μεγάλα. Στις UHF και άνω συχνότητες, η συμβολή των κυμάτων είναι αρκετά σημαντική και πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα radar και σε άλλα μικροκυματικά συστήματα. Για παράδειγμα αν ο στόχος βρίσκεται σε μια κατεύθυνση ενός null, τότε όσο και να αυξηθεί η ισχύς του radar δεν μπορεί να ανιχνευτεί ο στόχος. Επίσης σημαντικό στοιχείο για τα full range radars είναι η γωνία που σχηματίζει ο πρώτος λοβός με το έδαφος. Στο παράδειγμα αυτό η κεραία εκπομπής είναι οριζόντια και η περιοχή ανίχνευσης από το radar περιορίζεται όχι από την ισχύ εκπομπής και την ευαισθησία του δέκτη αλλά από το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη κατεύθυνση υπάρχει null σημείο. Λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δοθεί ανυψώνοντας την κεραία και στρέφοντάς την προς τα κάτω.

**ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων** Η περίθλαση είναι μια άλλη ιδιότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και προέρχεται από την ύπαρξη σχισμών σε ένα αγωγίμο επίπεδο ή την ύπαρξη αιχμηρών εμποδίων. Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφτηκε τον δέκατο έβδομο αιώνα και απετέλεσε την βάση για την ανάπτυξη της θεωρίας του Huygens. Σύμφωνα με το θεώρημα του Huygens κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί σαν μια πηγή κυμάτων, η οποία ακτινοβολεί προς την εξωτερική πλευρά όπως φαίνεται και στο σχήμα . Το συνολικό πεδίο σε σημεία μακριά από την πηγή είναι ίσο με το διάνυσμα του αθροίσματος των δευτερευόντων αυτών κυματιδίων. Για κανονική διάδοση, το θεώρημα του Huygens δεν λαμβάνεται υπ όψιν αλλά σε περιπτώσεις που ο υπολογισμός της περίθλασης κυμάτων είναι ζητούμενος πρέπει να λαμβάνεται υπ όψιν. Η θεωρία του Huygens μπορεί να αποδειχτεί επίσης και με βάση τις εξισώσεις του Maxwell.



Περίθλαση. (α) Σφαιρικό κύμα (β) Επίπεδο κύμα (γ) Δια μέσου μιας μικρής οπής

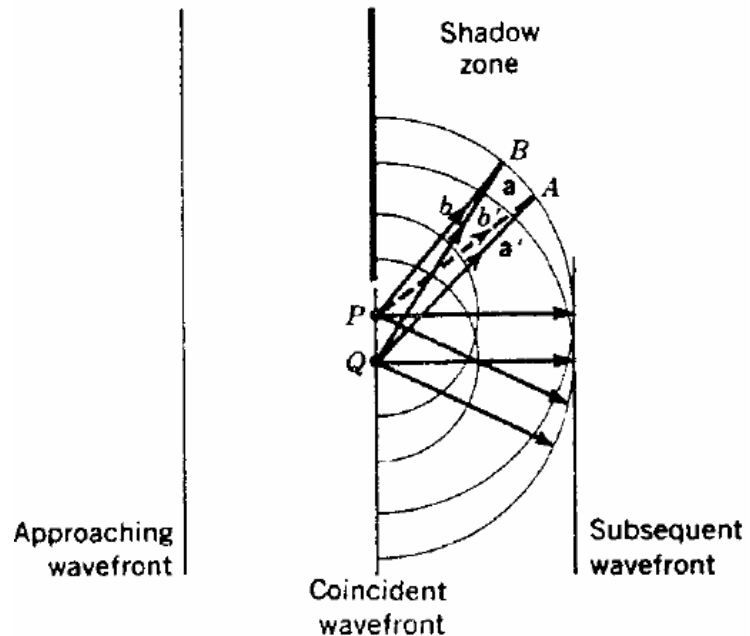
Ας θεωρήσουμε ένα επίπεδο κύμα, σχήμα b. Το ερώτημα που γεννάται είναι, γιατί το μέτωπο του κύματος κατά την διάδοσή του συνεχίζει να είναι επίπεδο και δεν απλώνεται προ όλες τις κατευθύνσεις; Η απάντηση είναι ότι αν θεωρήσουμε ένα άπειρο επίπεδο κύμα τότε μαθηματικά αποδεικνύεται ότι σε όλες τις κατευθύνσεις εκτός από την πραγματική του κύματος τα δευτερεύοντα κυματίδια εξουδετερώνονται. Έτσι το μέτωπο του κύματος συνεχίζει να είναι επίπεδο. Από τη άλλη πλευρά αν θεωρήσουμε ένα πεπερασμένο κύμα, η εξουδετέρωση των δευτερευόντων κυματιδίων δεν είναι πλήρης και λαμβάνουν χώρα φαινόμενα απόκλισης(diverge) ή σκέδασης(scattering). Πιο αναλυτικά, θεωρούμε ένα μικρό κύμα ώστε να μπορεί να διέλθει από μια μικρή οπή ενός αγωγίμου επιπέδου όπως του σχήματος 8-9c. Το κύμα στην περίπτωση αυτή παραμένει επίπεδο μέχρι να διέλθει την οπή οπότε απλώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην περίπτωση αυτή η οπή δρα σαν μια σημειακή πηγή κυμάτων και ακτινοβολεί προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ακτινοβολία είναι μέγιστη μπροστά από την οπή και στην συνέχεια εξασθενεί σταδιακά.

Το σχήμα αυτό δείχνει τι συμβαίνει σε ένα επίπεδο κύμα όταν συναντά μια ακμή ενός εμποδίου. Παρατηρούμε ότι το φαινόμενο της περίθλασης λαμβάνει χώρα και στην περίπτωση αυτή για τους ίδιους λόγους όπως και προηγουμένως.

Ας θεωρήσουμε δύο σημεία P και Q όπως δείχνει το σχήμα 8-10, τα οποία όπως και προηγουμένως θεωρούνται πηγές κυματιδίων. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ακτινοβολία και σε κατευθύνσεις εκτός της κύριας κατεύθυνσης διάδοσης. Αν η ακμή του εμποδίου δε υπήρχε τότε ακτινοβολία εκτός της κύριας διεύθυνσης διάδοσης του κύματος δεν θα είχαμε εξαιτίας της δημιουργίας και άλλων σημειακών πηγών και της αμοιβαίας εξουδετέρωσης μεταξύ τους.

Η ακτινοβολία σε μεγάλες αποστάσεις από την ακμή ελαττώνεται αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό όπως στην περίπτωση της οπής διότι λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της συμβολής. Για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, οι ακτίνες a και a' που προέρχονται από τα P, Q αντίστοιχα, έχουν διαφορά διαδρομής μισό μήκος κύματος και για αυτόν το λόγο εξουδετερώνονται. Με παρόμοιο τρόπο, οι ακτίνες b και b' έχουν διαφορά διαδρομής ένα μήκος κύματος και στην περίπτωση αυτή έχουμε το φαινόμενο της ενίσχυσης προς την κατεύθυνση αυτή.

Ο τύπος αυτός της περίθλασης λαμβάνεται υπ όψιν σε δύο πρακτικές περιπτώσεις. Πρώτον, ορισμένες φορές σήματα είναι δυνατόν να λαμβάνονται πίσω από ψηλά κτίρια ή πίσω από βουνά και άλλα παρόμοια εμπόδια σαν αποτέλεσμα της περίθλασης. Δεύτερον, στην σχεδίαση των μικροκυματικών κεραιών.



## ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ο πομπός διά μέσου της κεραίας, που είναι το μεταβατικό στοιχείο χώρου και κυκλώματος, εκπέμπει το ραδιοκύμα στο χώρο προς όλες τις διευθύνσεις. Όταν μία κεραία εκπέμπει δημιουργούνται κύματα όλων των ειδών προς όλες τις διευθύνσεις, όπως κύματα εδάφους, χώρου, ιονοσφαιρικά. Ανάλογα όμως με τη συχνότητά του ακολουθεί το δρόμο και τον τρόπο που απαιτείται, ώστε να φθάσει στο δέκτη που αναμένει την πληροφορία που μεταφέρει.

Ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την πορεία του ραδιοκύματος (δηλαδή αν θα είναι κύμα επιφάνειας, απ' ευθείας κύμα χώρου, ιονοσφαιρικό κ.λπ.) είναι η ραδιοσυχνότητα ή το μήκος κύματος. Τα ραδιοκύματα πρέπει να μεταφέρουν την πληροφορία του σήματος με αποτελεσματικότητα και χωρίς παραμόρφωση.

Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες αυτές καθ' αυτές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά και από τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας.

Τα κύματα διαδίδονται σε ευθείες τροχιές εκτός αν η ατμόσφαιρα με τα χαρακτηριστικά της αλλάξει την πορεία τους. Εκτός ελαχίστων περιπτώσεων κύματα σε συχνότητες άνω της περιοχής HF διαδίδονται σε ευθείες τροχιές. Τα κύματα αυτά ονομάζονται μερικές φορές τροποσφαιρικά κύματα επειδή διαδίδονται στην τροπόσφαιρα, το στρώμα της ατμόσφαιρας πιο κοντά στο έδαφος. Για συχνότητες κάτω από την ζώνη HF τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται γύρω από την γη, ορισμένες φορές κάνοντας πλήρη περιστροφή. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι δημιουργείται ένα είδος κυματοδηγού μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου της ιονόσφαιρας και της επιφάνειας της γης. Τα κύματα αυτά ονομάζονται κύματα επιφανείας και χρησιμοποιούνται για διαδόσεις χωρίς οπτική επαφή.

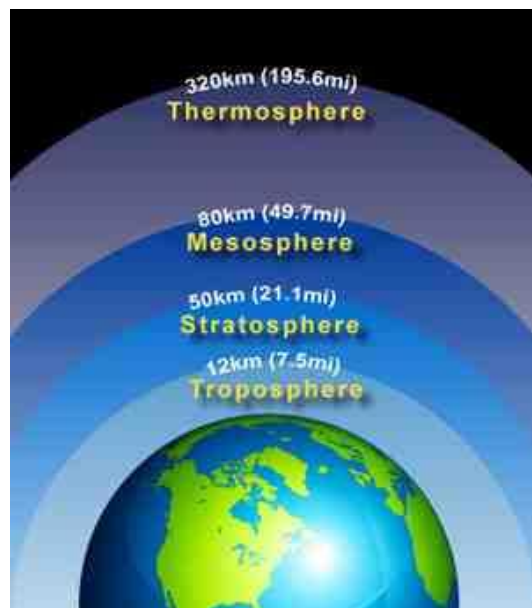
Ηλεκτρομαγνητικά κύματα στις συχνότητες της ζώνης HF ανακλώνται από την ιονόσφαιρα και ονομάζονται ουράνια ή ιονοσφαιρικά κύματα. Τέτοιου είδους κύματα εκπέμπονται προς τον ουρανό ανακλώνται από την ιονόσφαιρα και επιστρέφουν στο έδαφος πολύ πέρα από τον ορίζοντα. Για να φθάσουν τα κύματα αυτά σε δέκτες που βρίσκονται στο άλλο ημισφαίριο της γης πρέπει να ανακλαστούν μεταξύ της γης και τη ιονόσφαιρας αρκετές φορές.

### ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ο χώρος της ατμόσφαιρας που διαδίδονται τα κύματα πάνω από τη γήινη επιφάνεια και σε ύψος περί που 10 km ονομάζεται **τροπόσφαιρα**. Από τα 10-12 έως τα 50 km ύψους ονομάζεται **στρατόσφαιρα**, από τα 50 έως τα 80-100 km ονομάζεται **μεσόσφαιρα** και από τα 100 έως τα 1000 km **θερμόσφαιρα**.

Η περιοχή μεταξύ μεσόσφαιρας και θερμόσφαιρας ονομάζεται **ιονόσφαιρα**.

Η **ιονόσφαιρα** είναι η περιοχή που θα αναλύσουμε κατά κύριο λόγο, διότι είναι πολύ σπουδαία και κρίσιμη για τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και για την ναυτική επικοινωνία.



## ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

- ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ
- ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ή (ελευθέρου διαστήματος)
- ΚΥΜΑΤΑ ΧΩΡΟΥ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΕΩΣ

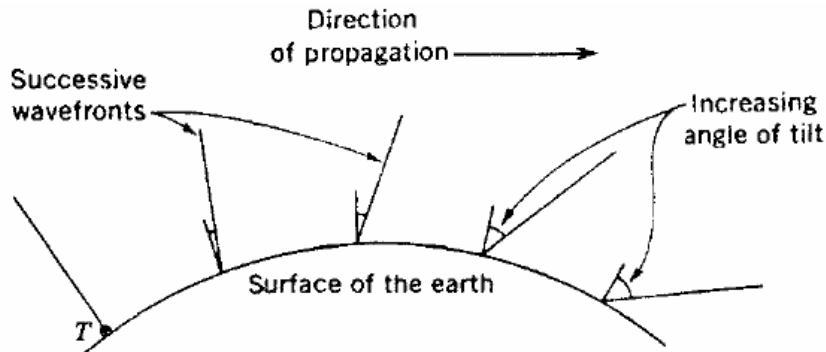
### ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα κύματα εδάφους (ground waves) μεταδίδονται κοντά στο έδαφος και διαχωρίζονται ως κύματα επιφανείας (surface waves) και κύματα χώρου (space waves).

#### Κύματα επιφανείας (surface waves)

Τα επίπεδα κύματα κινούνται κατά μήκος της επιφάνειας της γης ακολουθώντας την καμπυλότητα της. Πρέπει να πολωθούν κατακόρυφα προς αποφυγή short circuiting της ηλεκτρικής συνιστώσας. Το κύμα επιφανείας δεν ορίζεται μόνο έρχοντας επί της επιφάνειας της Γης, αλλά εκτείνεται σε μικρό ύψος πάνω από το έδαφος. Κατά την διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος κοντά στην επιφάνεια της γης επάγεται ρεύμα στο έδαφος και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μέρος της ενέργειάς του να απορροφάται από αυτό. Η απόσταση κατά την οποία μπορεί να επιτευχθεί μία αξιόπιστη επικοινωνία εξαρτάται από τη συχνότητα, την μορφολογία και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (όπως αγωγιμότητα και διηλεκτρική σταθερά) κατά μήκος της πορείας του κύματος.

Υπάρχει κι άλλος τρόπος εξασθένισης του σήματος. Το κύμα λόγω διάθλασης σταδιακά αποκτά κλίση (tilt), όπως φαίνεται στο σχήμα.



Όσο το κύμα μεταδίδεται επάνω από τη γη αποκτά όλο και μεγαλύτερη κλίση έτσι ώστε να προκαλείται μεγαλύτερο short circuiting της ηλεκτρικής συνιστώσας. Τελικά και σε απόσταση ορισμένων μηκών κύματος μακριά από την κεραία το κύμα «οριζοντιώνεται & πεθαίνει» (lies down and dies). Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία αφού δείχνει ότι η μέγιστη εμβέλεια ενός τέτοιου πομπού εξαρτάται τόσο από τη συχνότητα όσο και από την ισχύ μετάδοσης. Έτσι στην LF μάλιστα η ανεπαρκής εμβέλεια μετάδοσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με αύξηση της ισχύος μετάδοσης. Από την άλλη αυτή η μέθοδος δεν δουλεύει κοντά στην κορυφή της MF κλίμακας αφού η μετάδοση εδώ εξαρτάται άμεσα από την κλίση.

### **Ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση**

Κατά την εκπομπή ενός κύματος επιφανείας από μια κεραία εκπομπής αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε μια απόσταση από την πηγή, η οποία υπολογίζεται με χρήση των εξισώσεων του Maxwell. Εάν η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών είναι αρκετά μεγάλη η μείωση της ισχύος του πεδίου, που οφείλεται στο έδαφος και την ατμοσφαιρική απορρόφηση, συνεπάγεται μείωση της τιμής των Volts. Ο υπολογισμός της μείωσης της ισχύος του κύματος όταν αυτό φθάνει στην κεραία λήψης είναι εφικτός. Η φυσιολογική διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό της ισχύος του σήματος με τη βοήθεια εμπειρικών γραφημάτων και πινάκων.

Η γωνία κλίσης είναι ο κύριος και καθοριστικός παράγοντας σε διαδόσεις μεγάλων αποστάσεων τέτοιων σημάτων. Ο βαθμός κλίσης εξαρτάται από την απόσταση από την κεραία σε μήκη κύματος και συνεπώς έχουμε πρόωμη εξαφάνιση του κύματος επιφάνειας στην HF μετάδοση. Αντίστροφα και λόγω των μεγάλων μηκών κύματος των LF σημάτων, τα κύματα σε αυτό το εύρος μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις πριν εξαφανιστούν (γύρω από την Γη αν εκπέμφθηκαν με επαρκή ισχύ).

Σε αποστάσεις άνω των 1000 km το κύμα εδάφους (ground or surface wave) είναι εξαιρετικά σταθερό δείχνοντας ασήμαντη ημερήσια, εποχιακή ή ετήσια μεταβολή. Η διάδοση σε τόσο μεγάλες αποστάσεις στην LF μάλιστα γίνονται συνήθως εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο του τροποσφαιρικού κυματοδηγού ο οποίος και θα αναπτυχθεί παρακάτω. Επίσης, στις συχνότητες αυτές λαμβάνουν χώρα φαινόμενα (μεγάλης ή μικρής διάρκειας) μεταβολής της ισχύος του κύματος με τα πρώτα να περιλαμβάνουν και τον 11-ετή ηλιακό κύκλο. Η ισχύς των σημάτων χαμηλής συχνότητας μεταβάλλεται βαθμιαία τόσο που δεν παρατηρείται απότομη εξασθένιση. Η μετάδοση σε αυτά τα μήκη κύματος επιτυγχάνει αξιόπιστη επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

Η διάδοση στην μάλιστα LF χρησιμοποιείται κυρίως στις ναυτικές επικοινωνίες αλλά και σε διαδόσεις χρόνου και συχνότητας. Τα πλοία χρησιμοποιούν τις συχνότητες που τους έχουν παραχωρηθεί (10 έως 110 kHz) για ραδιοναυσιπλοΐα και θαλάσσια ασύρματη επικοινωνία. Οι μεταδόσεις χρόνου και συχνότητας γίνονται σε συχνότητες όπως 16 kHz και τα 17.8 kHz. Παρέχουν έτσι μία παγκόσμια ωριαία μετάδοση σταθερών ραδιοσυχνοτήτων, σταθερές χρονικές αποστάσεις, ανακοινώσεις χρόνου, σταθερό μουσικό τόνο, σταθερές ακουστικές συχνότητες και πληροφορίες ραδιομετάδοσης. Αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται επίσης και στα HF, τυχαία, από σταθμούς όπως ο WWV (Ft.Collins,Colorado) και ο WWVH(Hawaii) που λειτουργούν στα 2.5 MHz και τις πέντε πρώτες αρμονικές των 5 MHz.

Αφού οι LF κεραίες είναι σίγουρα αναποτελεσματικές, χρησιμοποιούνται υψηλές ισχύς εκπομπής και πολύ μεγάλα μήκη κεραιών. Έτσι συναντάμε τις περισσότερες φορές ισχύς εκπομπής μεγαλύτερες από 1 MW στην LF μάλιστα. Για παράδειγμα οι αμερικάνικοι ναυτιλιακοί σταθμοί έχουν συστοιχία κεραιών που αποτελείται από 13 πολύ ψηλά στοιχεία, το ψηλότερο από τα οποία έχει ύψος 387 m, με χαμηλότερη συχνότητα μετάδοσης στα 15 kHz.



## Κύματα χώρου ή Ουράνια κύματα (Sky waves)

Στα κύματα χώρου διακρίνουμε το **απευθείας κύμα** και το **ανακλώμενο από το έδαφος**. Στα κύματα χώρου ανήκουν επίσης αυτά που φθάνουν στο δέκτη μετά από **διάθλαση στην ατμόσφαιρα**.

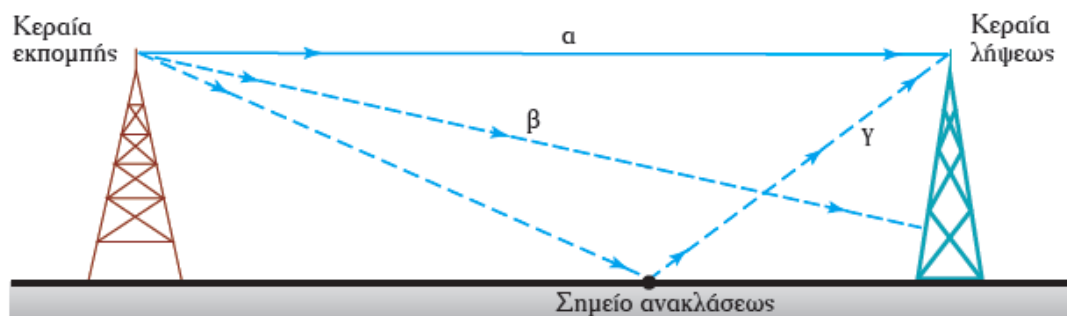
### Διάδοση με απευθείας κύμα (direct wave) και ανακλώμενο από το έδαφος.

Υπερβαίνοντας τα 50 MHz η διάδοση γίνεται κυρίως με απ' ευθείας κύμα ή κύμα οπτικής ευθείας. Στην περίπτωση αυτή η επικοινωνία πραγματοποιείται στο χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας (την τροπόσφαιρα).

Στο απ' ευθείας κύμα για να ξεπεράσουμε όσο είναι δυνατόν την καμπυλότητα της Γης και να έχουμε κέρδος στην απόσταση επικοινωνίας πρέπει να τοποθετήσουμε τις κεραίες εκπομπής και λήψεως σε μεγαλύτερο ύψος.

Όσο υψηλότερα βρίσκονται οι κεραίες, τόσο μεγαλύτερη απόδοση επιτυγχάνουμε. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως θεωρητικά ανεβάζοντας τις κεραίες απεριόριστα η απόσταση που μπορεί να καλύψει ένα απευθείας κύμα είναι απεριόριστη.

Αντιθέτως, είναι γνωστό ότι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εξασθενεί και αποσβένει με την απόσταση. Παράλληλα, το ταξίδι του ραδιοκύματος μέσα στην τροπόσφαιρα έχει να αντιμετωπίσει και όλες τις μετεωρολογικές συνθήκες (ρύπους, υγρασία, βροχή, χιόνι, χαλάζι, ανέμους κ.λπ.), που μερικές φορές το βοηθούν, ενώ σε άλλες περιπτώσεις το εμποδίζουν, το απορροφούν, το εξασθενίζουν και το αποσβένουν.



Το σχήμα απεικονίζει μία τυπική επικοινωνία.

Γενικά το λαμβανόμενο σήμα είναι το άθροισμα ενός απευθείας σήματος κατά μήκος της πορείας (α) μακριά από το έδαφος και διαφόρων ανακλωμένων σημάτων κατά μήκος πορειών όπως στο (β) ή (γ). Επειδή ένα ραδιοκύμα υφίσταται μία αντιστροφή φάσεως στο σημείο ανακλάσεως, η θεωρητική κατάσταση είναι ότι το απ' ευθείας και τα ανακλώμενα κύματα, τα οποία φθάνουν στο δέκτη από διαφορετικές διαδρομές και με διαφορά χρόνου προκαλούν μια αλληλεπίδραση με έντονες διαλείψεις, ιδιαίτερα όταν η κεραία βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους. Οι διαλείψεις αυτές μπορεί να αλληλεξουδετερωθούν ή να αλληλενισχυθούν. Σε αυτήν την περίπτωση είναι δυνατόν επίσης το απευθείας κύμα και το ανακλώμενο από το έδαφος να απαλειφούν τελείως και τότε η διάδοση πραγματοποιείται αποκλειστικά από κύμα επιφάνειας, όπου παίζει ρόλο η αγωγιμότητα του εδάφους.

Ο πλέον συνηθισμένος τρόπος για την υπερνίκηση της ενοχλητικής διαλείψεως στο δέκτη επιτυγχάνεται με το κομβίο αυτόματου ελέγχου εντάσεως τόνου (Automatic Gain Control-AGC), το οποίο εξουδετερώνει τις μικρότερες μεταβολές της εντάσεως του σήματος και το κρατάει σταθερό στην έξοδο.

Η διάδοση του κύματος εδάφους υπερτερεί στα MF, LF, VLF.

Στα πλοία θα πρέπει να τοποθετούνται οι κεραιές του VHF αρκετά πιο ψηλά από την επιφάνεια της θάλασσας, έτσι ώστε να αποφεύγονται ισχυρά φαινόμενα αλληλεπιδράσεως λόγω της υψηλής ανακλάσεως και της αγωγιμότητάς της.

### **Τροποσφαιρικά κύματα ή ελεύθερου διαστήματος.**

Τροποσφαιρικά ονομάζονται τα κύματα που ανακλώνται στην τροπόσφαιρα και με αυτόν τον τρόπο γίνεται συνήθως η διάδοση των κυμάτων στη ζώνη των 30–300 MHz, όπως τα VHF. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως στα UHF, η επίδραση της επιφάνειας της Γης είναι αδιάφορη και έχουμε **ελεύθερη διάδοση του κύματος** στην ατμόσφαιρα. Οι συνθήκες αυτές εμφανίζονται όταν η εκπομπή και η λήψη είναι κατευθυνόμενες. Η εκπομπή των κυμάτων με κατευθυντικότητα πραγματοποιείται με κεραιές μικρού ανοίγματος και το κύμα διαδίδεται μεταξύ πομπού και σημείου παρατηρήσεως, για παράδειγμα με δορυφόρο χωρίς ο λοβός του κύματος να αγγίζει την επιφάνεια της Γης.

## **ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ**

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑΣ-ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ**

Δεν είναι δυνατόν να εξηγηθεί η διάδοση και η συμπεριφορά των ιονοσφαιρικών κυμάτων ή κύματα χώρου ιονοσφαιρικής διαδόσεως εάν δεν περιγραφεί η δομή και οι μεταβολές που συμβαίνουν στην ιονόσφαιρα και οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τη διάδοση. Η σημασία της ιονόσφαιρας στις επικοινωνίες είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν της τροπόσφαιρας. Τα όριά της δεν είναι σαφή, συνήθως περιγράφεται ως το τμήμα της ατμόσφαιρας που οριοθετείται στα 50 km πάνω από την επιφάνεια της Γης και το ανώτερο ύψος της είναι περίπου 1000 km. Μέσα στην περιοχή αυτή κινούνται ελεύθερα μόρια και συστατικά αέρα, αλλού πυκνότερα και αλλού αραιότερα, ανάλογα με το ύψος.

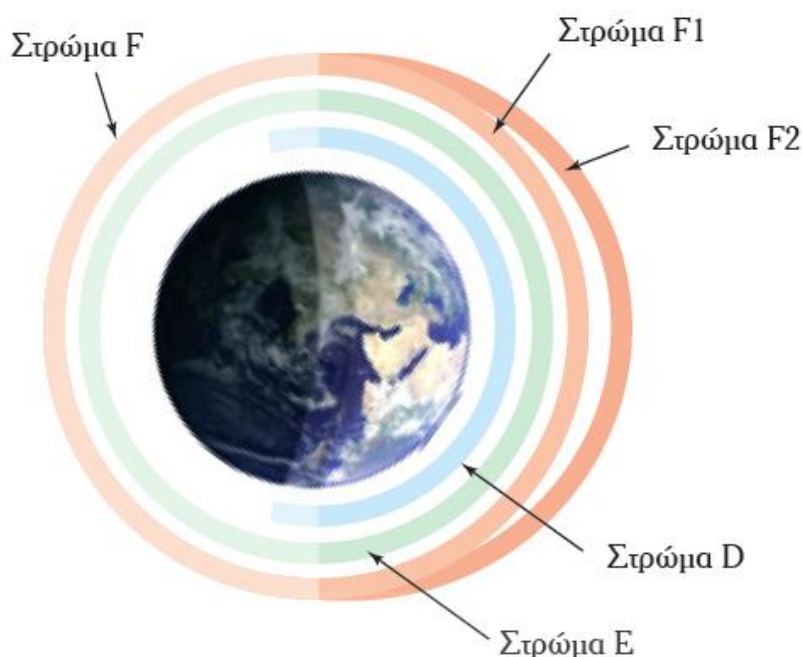
Πριν ακόμα το 1925, υπήρχε η υποψία ότι ο ιονισμός των ανωτέρων στρωμάτων της γήινης ατμόσφαιρας παίζει ένα ρόλο στη διάδοση των ραδιοκυμάτων, ειδικά στις υψηλές συχνότητες. Η πειραματική δουλειά του Appleton έδειξε πως η ατμόσφαιρα λαμβάνει επαρκή ενέργεια από τον ήλιο ώστε τα μόριά της να χωρίζονται σε θετικά και αρνητικά ιόντα, τα οποία και παραμένουν ιονισμένα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ο ιονισμός αυτών των μορίων προκαλείται εξαιτίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου που δημιουργείται με την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία περιλαμβάνει υπεριώδεις ακτίνες υπό μορφή ενός μήκους κύματος και ακτίνες X μεγάλου μήκους. Η διεργασία αυτή γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου τα ελεύθερα μόρια, τα οποία δέχονται τον ιονισμό, μετατρέπονται σε πλάσμα ιόντων και ελευθέρων ηλεκτρονίων. Έδειξε επίσης πως διάφορα επίπεδα ιονισμού σε διαφορετικά ύψη της ατμόσφαιρας (υπό ορισμένες συνθήκες) αντανακλούν πίσω στη γη τα κύματα με υψηλές συχνότητες που διαφορετικά θα χάνονταν στο διάστημα. Αυτά τα επίπεδα έχουν συγκεκριμένη επίδραση στη μετάδοση των ραδιοκυμάτων και χρήζουν λεπτομερειακής μελέτης.

Υπάρχει πληθώρα φυσικών ιδιοτήτων της ιονόσφαιρας, όπως θερμοκρασία, πυκνότητα και σύνθεση. Το άθροισμα πολλών παραγόντων ορίζει το βαθμό ιονισμού ανάλογα με το ύψος· έτσι δημιουργούνται «μέγιστα ιονισμού» ή περιοχές λιγότερο ιονισμένες. Όταν δηλαδή, η ηλιακή ενέργεια συναντά τα πρώτα αραιά στρώματα με πολύ λίγα μόρια αέρα λόγω του ύψους, ο ιονισμός που θα δημιουργηθεί σ' αυτό το σημείο θα είναι ελάχιστος. Εισερχόμενη όμως βαθύτερα στα στρώματα η

ακτινοβολία σε κάποιο σημείο θα συναντήσει μία κρίσιμη πυκνότητα αερίων μορίων που είναι ικανή να απορροφήσει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας του ήλιου στη διαδικασία του ιονισμού. Σε αυτό το ύψος από το έδαφος στο οποίο πραγματοποιείται αυτή η διεργασία δημιουργείται το μέγιστο του ιονισμού για μια συχνότητα ( $\alpha$ ). Οι ακτίνες του ήλιου όμως δεν σταματούν στο ύψος που έγινε το μέγιστο του ιονισμού, αλλά εισέρχονται ακόμη πιο βαθιά στα στρώματα. Ενώ μπορεί να συναντήσουν και πάλι ιδανικές συνθήκες για ιονισμό, η ενέργειά τους, όπως προαναφέρθηκε, έχει απορροφηθεί σε μεγάλο ποσοστό κι έτσι με μειωμένη ενέργεια ένας τυχόν νέος ιονισμός θα είναι ακατάλληλος και μικρός για ανάκλαση του κύματος. Για μια άλλη συχνότητα ( $\beta$ ) με μικρότερο μήκος κύματος από το παράδειγμα που προαναφέραμε γίνεται διείσδυση της υπεριώδους ακτινοβολίας σε μεγαλύτερα βάθη, όπου σε κάποιο σημείο θα επιτευχθεί το μέγιστο του ιονισμού. **Συμπερασματικά για κάθε συχνότητα υπάρχει ένα διαφορετικό κρίσιμο σημείο όπου επιτυγχάνεται το μέγιστο του ιονισμού.**

Εξαιτίας αυτών αλλά και των διαφορετικών τύπων ακτινοβολίας που απορροφά, η ιονόσφαιρα τείνει να διαστρωματώνεται δημιουργώντας έτσι περιοχές με διαφορετικά επίπεδα ιονισμού. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες ιονισμού είναι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ , όπως επίσης η κοσμική ακτινοβολία και οι μετεωρίτες. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8-13 στην ιονόσφαιρα να σχηματίζονται τέσσερα βασικά επίπεδα D, E, F1, F2 με αύξουσα σειρά.

Τα δύο τελευταία συνδυάζονται τη νύχτα για να σχηματίσουν ένα μόνο επίπεδο.



Το **στρώμα D** είναι το χαμηλότερο στρώμα της ιονόσφαιρας. Υπάρχει σε ένα μέσο ύψος 70 χλμ, με μέσο πάχος 10 χλμ. Ο βαθμός ιονισμού του εξαρτάται από τη θέση του ήλιου ως προς τον ορίζοντα και για αυτό τον λόγο εξαφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Είναι το λιγότερο σημαντικό επίπεδο για την HF διάδοση. Αντανακλά κύματα στις συχνότητες VLF και LF και απορροφά κάποια στις MF και HF συχνότητες. Το στρώμα D ακολουθεί το ύψος του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα και γι' αυτό τις μεσημβρινές ώρες είναι μέγιστο. Το στρώμα D όπως και το στρώμα E που θα αναφερθεί παρακάτω εξαφανίζεται τη νύχτα. Ο λόγος είναι ο επανασχηματισμός των ιόντων σε μόρια, λόγω της απουσίας του ήλιου, όταν

ακτινοβολία δε λαμβάνεται πλέον. Εξαιτίας αυτών σήματα υψηλών συχνοτήτων είναι ισχυρότερα τη νύχτα διότι δεν παρεμβάλλονται από το στρώμα αυτό. Παρόλα αυτά το στρώμα D είναι αρκετά ανακλαστικό σε συχνότητες VLF και LF ώστε να οδηγεί τα ραδιοκύματα ανάμεσα στο έδαφος και στο κατώτερο στρώμα της ιονόσφαιρας διαδοχικά.

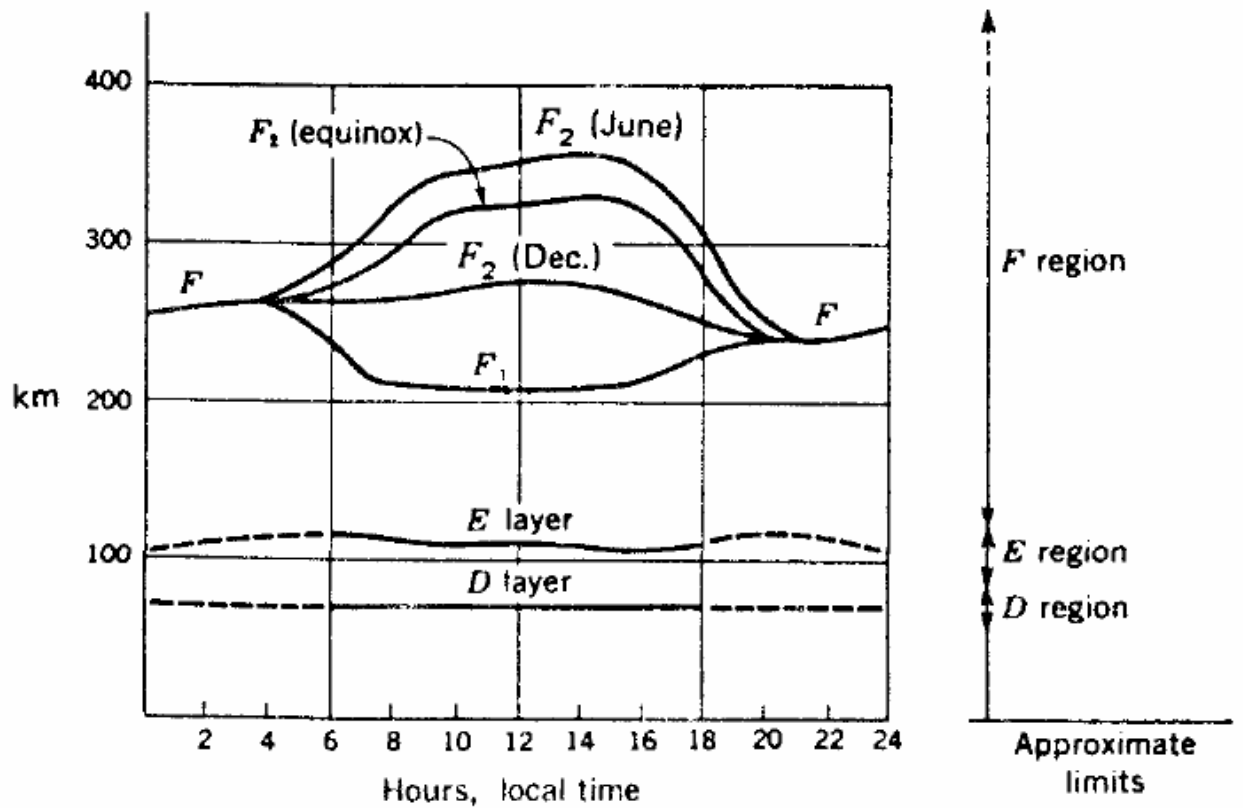
Το **στρώμα E** έχει μέγιστο ύψος 120-130 km και μέσο πάχος 15-120 km. Δεν προσφέρεται για επικοινωνίες άνω των 20 MHz, καθώς και για αποστάσεις μεγαλύτερες των 1500 nm.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του επιπέδου E είναι η μικρή βοήθεια στην MF (surface wave) διάδοση και η αντανάκλαση των HF κυμάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το στρώμα Es είναι ένα λεπτό στρώμα πολύ υψηλού βαθμού ιονισμού και μερικές φορές εμφανίζεται μαζί με το στρώμα E. Καλείται αλλιώς και σποραδικό στρώμα E (sporadic layer E). Όταν εμφανίζεται διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα και παραμένει ακόμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Δεν επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στις διαδόσεις μεγάλων αποστάσεων αλλά μερικές φορές επιτρέπει ανέλπιστα καλή λήψη. Οι αιτίες που το δημιουργούν δεν έχουν αποσαφηνισθεί πλήρως.

Το **στρώμα F1**, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα βρίσκεται σε ύψος 180 km την ημέρα, ενώ την νύχτα ενώνεται με το στρώμα F2. Το πάχος του την ημέρα είναι περίπου 20 km. Αν και μερικά HF κύματα ανακλώνται από αυτό, τα περισσότερα το διαπερνούν για να ανακλαστούν στο F2 στρώμα. Η κύρια ιδιότητα του είναι λοιπόν ότι εξασθενεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τα HF κύματα μέχρι που χάνονται.

Το **στρώμα F2** είναι το πιο σημαντικό ανακλαστικό μέσο για τα ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων. Το πάχος του, κατά προσέγγιση, μπορεί να ανέλθει στα 2000 km και το εύρος ύψους του από τα 250 ως τα 400 km την ημέρα. Τη νύχτα πέφτει σε ένα ύψος 300 km, όπου ενώνεται με το F1 στρώμα. Το ύψος του αλλά και βαθμός ιονισμού του ποικίλουν εξαιρετικά,. Εξαρτώνται από τη ώρα της ημέρας, τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος και τον ηλιακό κύκλο. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι το στρώμα F διατηρείται και την νύχτα σε αντίθεση με τα άλλα στρώματα της ιονόσφαιρας. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό. Ο πρώτος λόγος, είναι το γεγονός ότι είναι το πιο υψηλό στρώμα της ιονόσφαιρας και του μεγαλύτερου βαθμού ιονισμένο κατά συνέπεια υπάρχει η πιθανότητα ο ιονισμός να παραμείνει το βράδυ, σε κάποιο βαθμό τουλάχιστον. Ο δεύτερος κύριος λόγος είναι ότι αν και ο βαθμός ιονισμού είναι υψηλός, δεν συμβαίνει το ίδιο και με την πυκνότητα του αέρα και έτσι τα περισσότερα μόρια σε αυτό είναι ιονισμένα. Επιπλέον αυτή η χαμηλή πυκνότητα δίνει στα μόρια ένα μεγάλο μέσο ελεύθερο μονοπάτι (mean free path) ( είναι η στατιστική μέση απόσταση κατά την οποία ένα μόριο ταξιδεύει πριν συγκρουστεί με ένα άλλο μόριο). Αυτή η χαμηλή συχνότητα συγκρούσεων των μορίων σημαίνει πως σε αυτό το επίπεδο ο ιονισμός δεν εξαφανίζεται όταν ο ήλιος ανατέλλει επειδή ο ιονισμός χάνεται με την επαφή ενός ιονισμένου σωματιδίου με ένα ουδέτερο.

Τελικά πρέπει να σημειωθεί πως ο λόγος για την καλύτερη HF λήψη κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ο συνδυασμός των F1 και F2 στρωμάτων σε ένα στρώμα F καθώς επίσης και η εικονική εξαφάνιση των άλλων δύο επιπέδων, που προκαλούσε σημαντική απορρόφηση κατά τη διάρκεια της ημέρας.



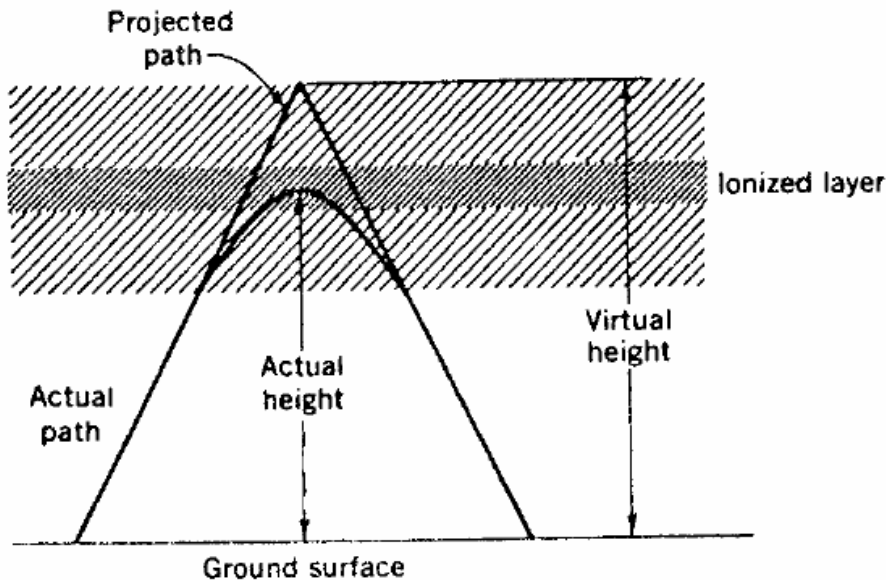
**Μηχανισμός Ανάκλασης** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επιστρέφουν στη Γη αφού ανακλαστούν σε ένα από τα στρώματα της ιονόσφαιρας. Για την ακρίβεια ο μηχανισμός που επιδρά είναι η διάθλαση, ιδιότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας αυτής. Όσο ο βαθμός ιονισμού αυξάνει, για ένα κύμα που πλησιάζει το δεδομένο στρώμα της ιονόσφαιρας υπό μία γωνία τόσο μειώνεται ο δείκτης διάθλασης του στρώματος. Το προσπίπτων κύμα λοιπόν κυρτώνει όλο και περισσότερο από το κανονικό.

Αν η συχνότητα μεταβολής του δείκτη διάθλασης ανά μονάδα ύψους (μετρούμενη σε μήκη κύματος) είναι επαρκής, η διαθλώμενη ακτίνα τελικά θα γίνει παράλληλη με το στρώμα. Θα κυρτώσει τότε προς τα κάτω, για να ανακλαστεί τελικά από το ιονισμένο στρώμα υπό γωνία ίση με τη γωνία προσπτώσεώς της. Βέβαια στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι λαμβάνει χώρα και κάποια απορρόφηση από το δεδομένο στρώμα της ιονόσφαιρας.

### Ορολογία και ορισμοί Ιονόσφαιρας

Η ορολογία που έχει αναπτυχθεί γύρω από την ιονόσφαιρα και τη sky-wave διάδοση περιλαμβάνει διάφορες εκφράσεις και ονομασίες, των οποίων το νόημα δεν είναι εμφανές πάντα.

Το **εικονικό ύψος** (virtual height) ενός ιονοσφαιρικού επιπέδου γίνεται καλύτερα κατανοητό από το σχήμα.



Πραγματικό και εικονικό ύψος για ένα στρώμα της ατμόσφαιρας

Το σχήμα δείχνει πως όσο το κύμα διαθλάται, κυρτώνει σταδιακά παρά απότομα. Ωστόσο κάτω από το επίπεδο ιονισμού οι διαθλώμενες ακτίνες ακολουθούν μονοπάτια που είναι τα ίδια με αυτά που θα υπήρχαν αν η διάθλαση είχε προκληθεί από επιφάνεια που θα βρισκόταν σε μεγαλύτερο ύψος το οποίο και καλείται εικονικό ύψος του συγκεκριμένου στρώματος. Αν το εικονικό ύψος είναι γνωστό είναι εύκολο να υπολογιστεί η γωνία προσπτώσεως που απαιτείται ώστε το κύμα να επιστρέψει στο έδαφος και σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Η **κρίσιμη συχνότητα** (critical frequency)  $f_c$ , για δεδομένο στρώμα, είναι η υψηλότερη συχνότητα ενός κύματος το οποίο θα επιστρέψει στη γη αφού ανακλαστεί από την ιονόσφαιρα. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι υπάρχει μέγιστο και απαραίτητο να γνωρίζουμε την τιμή του υπό συγκεκριμένες συνθήκες, δεδομένου ότι αυτή η τιμή μεταβάλλεται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Ένα κύμα κυρτώνει προς τα κάτω όταν η συχνότητα αλλαγής του βαθμού ιονισμού της ιονόσφαιρας είναι τέτοια ώστε να το αναγκάσει να ανακλαστεί σε αυτήν. Επίσης προκύπτει πως όσο πιο κάθετη είναι η προσπίπτουσα σε ένα στρώμα της ιονόσφαιρας ακτίνα τόσο πιο πολύ πρέπει να κυρτώσει για να επιστρέψει πίσω στη Γη. Το αποτέλεσμα αυτών των δύο ιδιοτήτων είναι διπλό.

Αρχικά όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα τόσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος έτσι είναι λιγότερο πιθανή είναι η αλλαγή κατεύθυνσης στον συγκεκριμένο βαθμό ιονισμού της ιονόσφαιρας ώστε να είναι δυνατή η διάθλαση του κύματος και στην συνέχεια η ανάκλασή του και η επιστροφή του στη γη.

Δεύτερον, όσο πιο κάθετη είναι μια δεδομένη προσπίπτουσα ακτίνα τόσο λιγότερο πιθανό είναι να επιστρέψει στο έδαφος. Όταν η γωνία προσπτώσεως είναι κάθετη η συχνότητα αυτή ονομάζεται κρίσιμη συχνότητα. Οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 5 και 12 MHz για το  $F_2$  στρώμα.

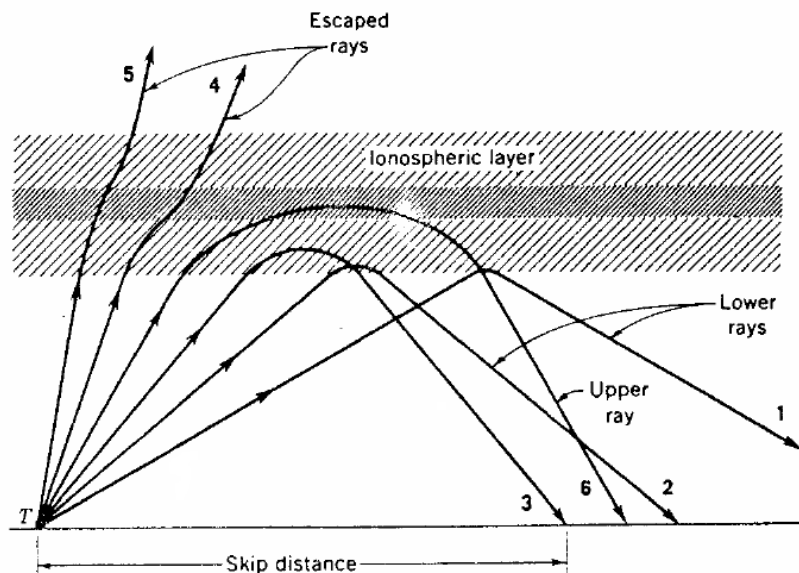
Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι διαφορετική από 90 μοίρες η παραπάνω συχνότητα ονομάζεται **μέγιστη χρησιμοποιούμενη συχνότητα (Maximum usable frequency) MUF**. Έτσι για γωνία πρόσπτωσης  $\theta$ :

$$MUF = \text{critical frequency} / \cos \theta = fc \sec \theta$$

Η παραπάνω σχέση αποτελεί τον ονομαζόμενο secant law και είναι πολύ χρήσιμη για αρχικούς προσεγγιστικούς υπολογισμούς για συγκεκριμένο MUF. Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για επίπεδη γη και επίπεδη ανακλώμενη επιφάνεια. Παρόλα αυτά η γωνία πρόσπτωσης δεν είναι πρωτεύουσας σημασίας αφού καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των σημείων που θα συνδεθούν για μια sky-wave μετάδοση. Η MUF καθορίζεται από αυτά τα δύο σημεία παρά από τη γωνία πρόσπτωσης στην ιονόσφαιρα. Ορίζεται ως η υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για sky-wave επικοινωνία μεταξύ δύο δεδομένων σημείων στη γη. Υπάρχουν διαφορετικές τιμές MUF για κάθε ζευγάρι σημείων στη γη. Συνήθεις τιμές για το MUF είναι από 8 έως 35 MHz, αλλά μετά από ασυνήθιστη ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να αυξηθούν μέχρι τα 50 MHz. Η υψηλότερη συχνότητα για μια δεδομένη ζεύξη στην πράξη είναι πάντα μικρότερη από την MUF, αλλά όχι πολύ μικρότερη για λόγους που θα αναφερθούν στη συνέχεια.

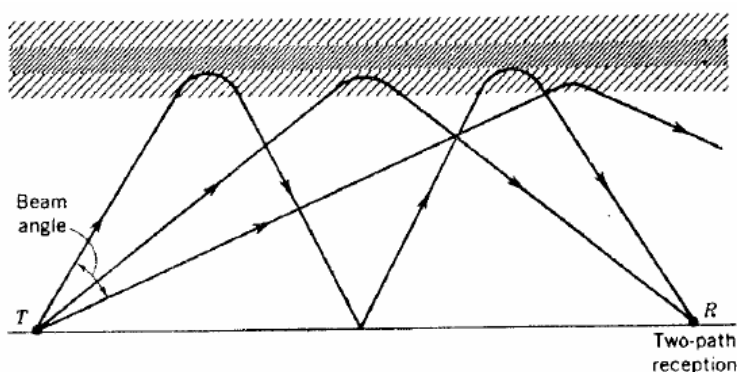
Η **απόσταση υπερπήδησης ή ζώνη σιγής (skip distance)** είναι η μικρότερη απόσταση από τον πομπό, μετρούμενη στην επιφάνεια της γης, στην οποία ένα sky-wave κύμα συγκεκριμένης συχνότητας (μεγαλύτερη από  $fc$ ) θα επιστρέψει στη γη. (βλέπε σχήμα στην επόμενη σελίδα)

Όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνεται πολύ μεγάλη το κύμα επιστρέφει στο έδαφος σε μία μεγάλη απόσταση από τον πομπό. Όσο αυτή η απόσταση μειώνεται φυσιολογικά το κύμα επιστρέφει όλο και πιο κοντά στον πομπό (ακτίνα 2 και 3). Αν η γωνία γίνει πολύ μικρότερη από αυτή της ακτίνας 3 η ακτίνα θα είναι σχεδόν κατακόρυφη με αποτέλεσμα να μην επιστρέψει στη γη (ακτίνες 4 και 5). Και στις δύο περιπτώσεις η κύρτωση δεν επαρκεί για την επιστροφή του κύματος, εκτός κι αν η συχνότητα που χρησιμοποιείται για επικοινωνία είναι μικρότερη από την κρίσιμη συχνότητα (το πιο συχνό φαινόμενο). Σε αυτή την περίπτωση όλα τα κύματα επιστρέφουν στη γη. Τελικά αν η γωνία πρόσπτωσης είναι λίγο μικρότερη από αυτή της ακτίνας 3, το κύμα μπορεί να επιστρέψει, αλλά η απόσταση θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του σημείου επιστροφής της ακτίνας 3 (ακτίνα 6). Η ψηλότερη αυτή ακτίνα κυρτώνει σταδιακά, διότι η πυκνότητα των ιόντων μεταβάλλεται πολύ αργά σε αυτή τη γωνία. Τέλος επιστρέφει στη γη σε μία αξιοσημείωτη απόσταση από τον πομπό και είναι σημαντικά εξασθενημένη.



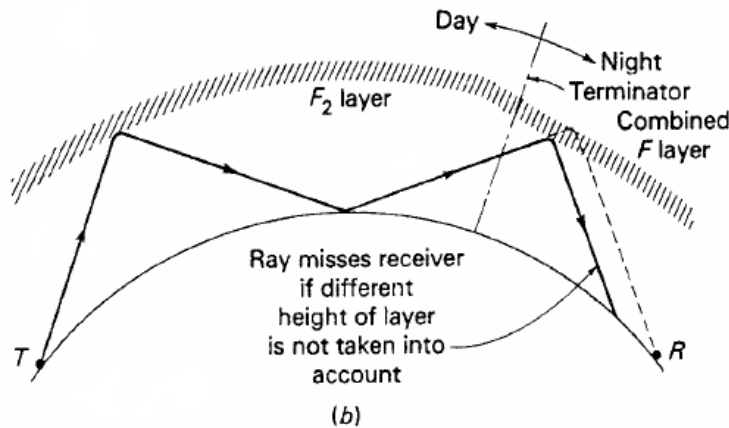
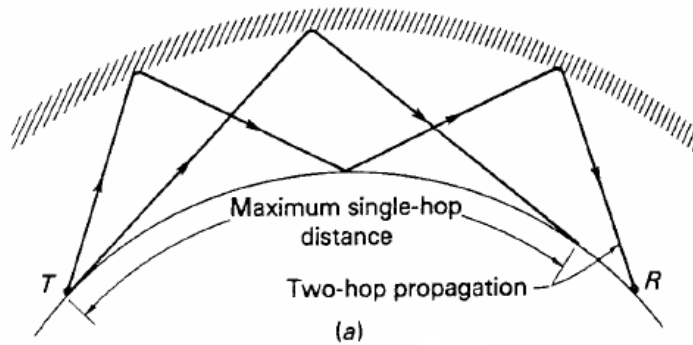
Η ακτίνα 3 προσπίπτει στο στρώμα της ιονόσφαιρας με μια γωνία τέτοια, που έχει σαν συνέπεια την επιστροφή της κοντά στον πομπό. **Η απόσταση αυτή είναι η απόσταση υπερπήδησης (skip distance)**. Έτσι λοιπόν προκύπτει το συμπέρασμα ότι κάθε ακτίνα που εκπέμπεται με συχνότητα μεγαλύτερη της συχνότητας της ακτίνας 3 και με γωνία ίση με την γωνία εκπομπής της ακτίνας 3 δεν θα επιστρέφει στην γη. Έτσι λοιπόν για δύο δοσμένα σημεία στη επιφάνεια της γης η απόσταση υπερπήδησης (skip distance) είναι ίση με την πραγματική τους απόσταση όταν η συχνότητα εκπομπής είναι ίση με την MUF.

Σε αποστάσεις από τον πομπό ίσες με την skip distance μόνο η κανονική ή η μικρότερης γωνίας εκπομπής ακτίνες μπορούν να φτάσουν τον προορισμό, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις μπορεί να ληφθεί επίσης και η μεγαλύτερης γωνίας εκπομπής ακτίνα προκαλώντας βέβαια παρεμβολή. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις συχνότητες πολύ μικρότερες της MUF. Ένας άλλος λόγος είναι η έλλειψη κατευθυντικότητας των κεραιών υψηλής συχνότητας. Αν η χρησιμοποιούμενη συχνότητα είναι αρκετά χαμηλή, είναι πιθανό να λάβουμε χαμηλότερες ακτίνες από δύο διαφορετικά μονοπάτια μετά από ένα ή δύο αναπηδήσεις, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, προκαλώντας παρεμβολή.



Το μονοπάτι μετάδοσης (transmission path) περιορίζεται από την απόσταση υπερπήδησης (skip distance) από τη μια και από την καμπυλότητα της γης από την άλλη. Η μακρύτερη απόσταση κατά την οποία η ακτίνα δεν ανακλάται στην επιφάνεια της γης (single hop distance) λαμβάνεται όταν η ακτίνα μεταδίδεται ασυμπτωτικά της επιφάνεια της γης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.





Διάδοση ηλ.μαγν.  
κυμάτων σε  
μεγάλες  
αποστάσεις.  
A) από τον βορρά  
προς νότο  
B) Από ανατολή  
προς δύση

Για το στρώμα F2 της ιονόσφαιρας αυτό αντιστοιχεί σε μία μέγιστη απόσταση περίπου 4000 χλμ. Δεδομένου ότι η περίμετρος της γης είναι 20000 km, multi hop διαδρομές συχνά απαιτούνται για point to point communication (επάνω σχήμα). Στο σημείο αυτό πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η διαφορά ώρας σε διάφορες περιοχές της γης μιας και αυτό επιδρά στην σύνθεση της ιονόσφαιρας. Για παράδειγμα αν ζητούμε point to point communications με τον πομπό στην ανατολή και τον δέκτη στη δύση τότε πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι κατά την διάρκεια της μετάδοσης στην πλευρά του πομπού θα είναι μέρα και στην πλευρά του δέκτη νύχτα ή το αντίστροφο με αποτέλεσμα το F2 στρώμα της ιονόσφαιρας την νύχτα να μην υφίσταται και να γίνεται F (A). Το παραπάνω δεν ισχύει για north-south point to point communication.(B)

Με τον όρο εξασθένιση (fading) εννοούμε τη διακύμανση στην ισχύ ενός σήματος στο δέκτη. Η εξασθένιση (fading) μπορεί να είναι γρήγορη (fast fading) ή αργή (slow fading), γενική ή επιλεκτική-συχνότητας (frequency selective fading). Σε κάθε περίπτωση οφείλεται στην παρεμβολή μεταξύ δύο κυμάτων που φεύγουν από την ίδια πηγή αλλά φτάνουν στον προορισμό τους από διαφορετικά μονοπάτια. Επειδή το σήμα που λαμβάνεται κάθε χρονική στιγμή είναι το διανυσματικό άθροισμα όλων των κυμάτων που λαμβάνονται, εξουδετερώσεις και ενισχύσεις θα λάβουν χώρα μεταξύ των κυμάτων (κάθε χρονική στιγμή) των οποίων η διαφορά των διαδρομών από τον πομπό στον δέκτη θα είναι μεγαλύτερη από μισό μήκος κύματος. Αυτό σημαίνει ότι η εξασθένιση (fading) είναι πιο πιθανή με μικρότερα μήκη κύματος δηλαδή σε υψηλότερες συχνότητες.

Η εξασθένιση (fading) μπορεί να παρουσιαστεί λόγω παρεμβολής μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων ακτινών ενός ουράνιου κύματος (sky wave), μεταξύ κυμάτων που φθάνουν από διαφορετικά μονοπάτια και μετά από διαφορετικό αριθμό αναπηδήσεων ή ακόμα μεταξύ ενός επίγειου και ενός εναέριου κύματος ειδικά στο χαμηλότερο άκρο της HF μπάντας. Μπορεί επίσης να παρουσιαστεί αν ένα απλό sky

wave κύμα λαμβάνεται λόγω των διακυμάνσεων του ύψους ή της πυκνότητας του επιπέδου που αντανακλά το κύμα. Ένας από τους πιο πετυχημένους τρόπους αντιμετώπισης της εξασθένησης (fading) είναι τεχνική space or frequency diversity..

Επειδή η εξασθένηση είναι συχνοτικά επιλεκτική (frequency selective fading) διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου κύματος εξασθενούν με διαφορετικό τρόπο. Αυτό είναι πιο πιθανό να συμβεί στις υψηλότερες συχνότητες. Τα AM κύματα υποφέρουν περισσότερο από το φαινόμενο της συχνοτικά επιλεκτικής εξασθένησης. Αντίθετα τα SSB σήματα έχουν καλύτερη συμπεριφορά. Σε κάθε περίπτωση το φαινόμενο της συχνοτικά επιλεκτικής εξασθένησης αντιμετωπίζεται με τεχνικές diversity.

**Ιονοσφαιρικές Αποκλίσεις** Η Ιονόσφαιρα εξαρτάται πολύ από τον ήλιο και για αυτό οι συνθήκες της και η σύνθεσή της ποικίλουν συνεχώς. Υπάρχουν δύο είδη αποκλίσεων. Οι κανονικές έχουν ήδη περιγραφεί ως ημερήσιες και εποχιακές αλλαγές ύψους και πάχους. Οι ασυνήθιστες αποκλίσεις οφείλονται κύρια στο γεγονός ότι ο ήλιος είναι ένα μεταβλητό αστέρι.

Ο ήλιος έχει ένα 11-ετή κύκλο όπου η ακτινοβολία του παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Το γεγονός αυτό δεν είναι ευρέως γνωστό διότι οι αποκλίσεις στη ένταση του φωτός είναι μικρές. Το εύρος της ηλιακής διαταραχής μετράται με μία μέθοδο η οποία ονομάζεται μέτρηση της ηλιακής κηλίδας (sunspot counting) και αναπτύχθηκε από τον Wolf τον δέκατο όγδοο αιώνα.. Σύμφωνα με αυτή, κάθε 11(±1) χρόνια εμφανίζεται ένας κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας και ίσως κάθε 90 χρόνια ένας υπέρ-κύκλος. Οι υψηλότερες μετρούμενες δραστηριότητες καταγράφηκαν το 1778, 1871 και το 1957 (υψηλότερη).

Οι κύριες διαταραχές που προκαλούνται στην ιονόσφαιρα είναι τα SIDs (sudden ionospheric disturbances) και οι ιονοσφαιρικές καταιγίδες. Τα SIDs προκαλούνται από ηλιακές εκρήξεις, που είναι γιγαντιαίες εκπομπές υδρογόνου από τον ήλιο. Αυτές οι εκρήξεις είναι ξαφνικές και απρόβλεπτες, αλλά πιο πιθανές κατά τη διάρκεια έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Η ακτινοβολία-x που συνοδεύει της ηλιακές εκρήξεις αυξάνει δραματικά την πυκνότητα ιονισμού στο στρώμα D. Στην περίπτωση αυτή το στρώμα D απορροφά σήματα που κανονικά θα το διαπερνούσαν και θα ανακλώνταν από το επίπεδο F. Έτσι οι επικοινωνίες μακράς απόστασης εξαφανίζονται εντελώς για περιόδους άνω της μίας ώρας κάθε φορά. Από μελέτες με επίγειους ραδιοηλιογράφους και δορυφόρους προέκυψε μεγάλο ποσό πληροφορίας σχετικά με τις ηλιακές εκρήξεις έτσι που οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις έγιναν πιθανές. Δύο άλλα στοιχεία πρέπει να σημειωθούν σχετικά με τα SIDs. Πρώτον ότι μόνο η ηλιοφώτιστη πλευρά της γης επηρεάζεται και δεύτερον ότι η VLF διάδοση βελτιώνεται.

Οι ιονοσφαιρικές καταιγίδες προκαλούνται από εκπομπές σωματιδίων από τον ήλιο, γενικότερα ακτίνες α και β. Δεδομένου ότι οι εκπομπές αυτές κάνουν περίπου 36 ώρες για να φτάσουν στη γη, κάποια προειδοποίηση είναι πιθανή ιδιαίτερα μετά από μεγάλες ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις. Η ισχύς των σημάτων τότε μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο η χρήση χαμηλών συχνοτήτων συχνά βοηθά, αφού οι υψηλότερες επηρεάζονται περισσότερο.

Τέλος, το σποραδικό στρώμα E συχνά παρουσιάζεται ως ασυνήθιστη ιονοσφαιρική διαταραχή. Όταν εμφανίζεται προκαλεί το διπλό φαινόμενο της εμπόδισης μακράς-απόστασης HF επικοινωνιών και της διευκόλυνσης VHF επάνω από τον ορίζοντα επικοινωνιών. Τα πραγματικά και φαινομενικά ύψη για επικοινωνίες σε αυτό το στρώμα εμφανίζονται να είναι ίδια. Εδραιώνεται έτσι η

αντίληψη ότι το στρώμα αυτό είναι λεπτό και πυκνό, έτσι ώστε να παρατηρείται πραγματική ανάκλαση των κυμάτων.

### **Κύματα Χώρου**

Ο μηχανισμός διάδοσης τους είναι απλός μιάς και μεταδίδονται γενικά σε ευθείες γραμμές. Ωστόσο αφού εξαρτώνται από συνθήκες line-of-sight περιορίζονται στη μετάδοσή τους από την καμπυλότητα της γης, εκτός από πολύ ασυνήθιστες περιπτώσεις. Μεταδίδονται σαν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στον ελεύθερο χώρο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 8-1.1. Αυτή η συμπεριφορά τους επιβάλλεται διότι τα μήκη κύματός τους είναι πολύ μικρά για ανάκλαση στην ιονόσφαιρα και διότι τα κύματα εδάφους εξαφανίζονται πολύ κοντά στον πομπό.

**Ραδιοηλεκτρικός Ορίζοντας** Ο ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας για κύματα χώρου είναι περίπου τα  $4/3$  σε μήκος του οπτικού ορίζοντα. Αυτή η ιδιότητα είναι πολύ σημαντική και προκαλείται από την σύσταση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει την καμπύλη γη. Προσεγγιστικά, δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$dt = 4 \sqrt{ht}$$

όπου  $dt$  = απόσταση από την κεραία μετάδοσης σε km

$ht$  = ύψος κεραίας μετάδοσης επάνω από τη γη σε m

Ο ίδιος τύπος εφαρμόζεται στις κεραίες λήψης. Η συνολική απόσταση δίνεται από τη σχέση:

$$d = dt + dr = 4 \sqrt{ht} + 4\sqrt{hr}$$

Ένα απλός υπολογισμός δείχνει ότι για μία κεραία μετάδοσης ύψους 255m επάνω από την επιφάνεια της γης, ο ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας είναι 60km. Αν τώρα η κεραία εκπομπής δεν είναι στο έδαφος αλλά σε ύψος 16m από αυτό τότε η απόσταση αυξάνεται στα 76km. Μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ κεραιών επιτυγχάνεται με τοποθέτηση των κεραιών σε κορυφές βουνών. Ραδιοζεύξεις μεγαλύτερες των 1000km σπάνια χρησιμοποιούνται για εμπορικές επικοινωνίες.

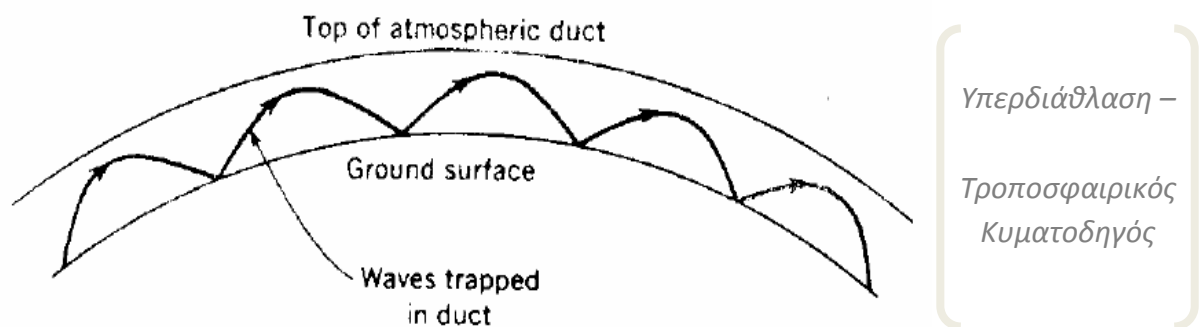
Γενικές Θεωρήσεις, κάθε ψηλό και ογκώδες αντικείμενο εμποδίζει τα κύματα χώρου που διαδίδονται κοντά στο έδαφος. Προκύπτουν έτσι ζώνες σκίασης και διάθλασης. Γι αυτό χρειάζονται σε ορισμένες περιοχές ψηλότερες κεραίες από αυτές που η θεωρία υποδεικνύει. Από την άλλη κάποιες περιοχές λαμβάνουν τέτοια σήματα από ανακλάσεις των κυμάτων από ογκώδη εμπόδια.. Έτσι σε περιοχές έμπροσθεν του εμποδίου μια μορφή παρεμβολής γνωστή ως «ghosting» μπορεί να παρατηρηθεί πχ στην οθόνη ενός δέκτη τηλεόρασης. Προκαλείται από τη διαφορά διαδρομών (άρα και στη φάση) μεταξύ του απευθείας και του ανακλώμενου εκ του εμποδίου κύματος.. Η κατάσταση χειροτερεύει κοντά σε ένα πομπό παρά σε απόσταση από αυτόν, λόγω του ότι οι ανακλώμενες ακτίνες είναι ισχυρότερες εκεί κοντά. Τελικά ισχυρή παρεμβολή υπάρχει σε μια αρκετά μεγάλη απόσταση από τον πομπό μιας και είναι σχεδόν αδύνατο να ληφθούν στο δέκτη ταυτόχρονα τόσο το απευθείας κύμα όσο και το ανακλώμενο.

### **Μικροκυματική διάδοση κυμάτων Χώρου**

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά των κυμάτων για τις χαμηλές και μέσες συχνότητες ισχύουν και για τις μικροκυματικές συχνότητες με κάποιες μικρές παραλλαγές. Στις μικροκυματικές συχνότητες η ατμοσφαιρική απορρόφηση λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Έτσι προκύπτει το γεγονός ότι σε αυτά τα μικρά μήκη

κύματος όλα έχουν την τάση να συμβαίνουν πολύ γρήγορα. Η ανάκλαση, η παρεμβολή και η απορρόφηση τείνουν να οξυνθούν. Ένα νέο φαινόμενο που εμφανίζεται στις υψηλές συχνότητες είναι η υπερδιάθλαση (superrefraction) γνωστή και ως κυματοδότηση (ducting).

Η πυκνότητα του αέρα μειώνεται και ο δείκτης διάθλασης αυξάνεται με το ύψος από το έδαφος. Η αύξηση στο δείκτη διάθλασης είναι κανονικά γραμμική και σταδιακή αλλά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ένα επίπεδο ζεστού αέρα μπορεί να παγιδευτεί επάνω από ψυχρότερο στρώμα αέρα, συχνά επάνω από την επιφάνεια του νερού. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του δείκτη διάθλασης πολύ πιο γρήγορα με το ύψος από ό,τι συνήθως. Αυτό συμβαίνει κοντά στο έδαφος, συχνά μέσα στα 30m από αυτό. Η γρήγορη μείωση του δείκτη διάθλασης (και της διηλεκτρικής σταθεράς) προκαλούν στα μικροκύματα, ότι ακριβώς προκαλεί η ιονόσφαιρα στα HF κύματα δηλαδή καμπυλώνουν και κινούνται προς το έδαφος όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Τα μικροκύματα συνεχώς διαθλώνται και ανακλώνται από το έδαφος έτσι που μεταδίδονται γύρω από την γη για αποστάσεις που μερικές φορές υπερβαίνουν τα 1000km. Η κύρια απαίτηση είναι η αντιστροφή θερμοκρασίας(temperature inversion). Πρόκειται για αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος αντί της συνηθισμένης μείωσης στη θερμοκρασία των 6.5oC/km στην «τυπική» ατμόσφαιρα. Η υπερδιάθλαση (superrefraction) είναι πιο συνηθισμένη σε υποτροπικές παρά σε εύκρατες ζώνες.

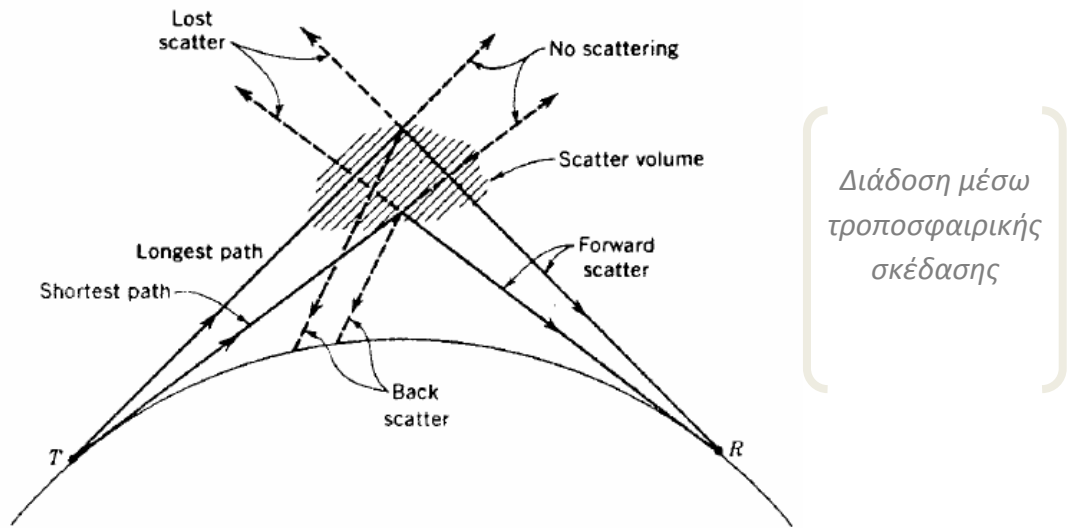


#### Τροποσφαιρική σκέδαση (Tropospheric Scatter Propagation)

Η τροποσφαιρική σκέδαση, είναι ένας τρόπος μετάδοσης UHF κυμάτων πέρα από τον ορίζοντα. Χρησιμοποιεί συγκεκριμένες ιδιότητες της τροπόσφαιρας, το κοντινότερο κομμάτι της ατμόσφαιρας (15km από το έδαφος).

**Ιδιότητες:** Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα δύο κατευθυντικές κεραίες δείχνουν κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι δέσμες σήματός τους να τέμνονται στο μέσο μεταξύ τους και πέρα από τον ορίζοντα. Αν μία από αυτές είναι μία UHF κεραία μετάδοσης και η άλλη μία UHF κεραία λήψης τότε μέσω του φαινομένου της τροποσφαιρικής σκέδασης επαρκής ενέργεια θα κατευθυνθεί προς την κεραία λήψης του point to point συστήματος. Τα αίτια του φαινομένου αυτού δεν έχουν διευκρινιστεί σαφώς αλλά επικρατούν δύο θεωρίες.. Η πρώτη εξηγεί ότι το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε ανακλάσεις από σταγονίδια στην ατμόσφαιρα παρόμοια με το διασκορπισμό μιας δέσμης φωτός από σωματίδια σκόνης και η δεύτερη από ανακλάσεις από τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά στρώματα. Γενικά, πρόκειται για μία μόνιμη κατάσταση και όχι για ένα σποραδικό φαινόμενο. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά έχουν κέντρο τα 900, 2000 και 5000 MHz. Ωστόσο η ισχύς του κύματος μετά την σκέδαση είναι μικρότερη κατά 60 με 90 dB, ή 1/1000000

με  $1/1000000000$  της προσπίπτουσας ισχύος, οπότε απαιτείται πολύ υψηλή ισχύς μετάδοσης.



Πρακτικές Θεωρήσεις Αν και η διάδοση μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης προκαλεί ισχυρό fading (εξασθένιση λόγω πολυδιάσχυση) ωστόσο αποτελεί μια πολύ αξιόπιστη μέθοδο για πέρα από τον ορίζοντα επικοινωνία. Αυτή η μέθοδος διάδοσης χρησιμοποιείται συχνά για να παρέχει τηλεφωνικές και άλλου είδους τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μακράς απόστασης, ως μία εναλλακτική λύση αντί των μικροκυματικών ζεύξεων ή τις ενσύρματες ζεύξεις μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Τυπικές αποστάσεις που καλύπτουν οι παραπάνω ζεύξεις είναι της τάξης των 300 έως 500 χιλιομέτρων.

Τα κύματα κατά την διάδοσή τους μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης υφίστανται δύο ειδών αλλοιώσεις. Η πρώτη είναι γρήγορη και εμφανίζεται αρκετά συχνά (κάποιες φορές ανά λεπτό στη χειρότερη περίπτωση), με μέγιστη μεταβολή ισχύος σήματος περίπου 20 dB. Καλείται συχνά και Rayleigh αλλοίωση (fading) και προκαλείται από μετάδοση μέσα από πολλά μονοπάτια (πολυδιάσχυση). Στο σχήμα 8.20 φαίνεται ότι η σκέδαση προέρχεται από μία περιοχή και όχι ένα σημείο, έτσι ώστε διάφορα μονοπάτια μετάδοσης να συνυπάρχουν μέσα στην περιοχή σκέδασης. Η δεύτερη μορφή αλλοίωσης είναι πολύ αργότερη και προκαλείται από μεταβολές στην ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά μήκος ενός μονοπατιού.

Έχει διαπιστωθεί ότι τα καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται από μετάδοση μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης αν οι κεραιές ανυψωθούν και έπειτα κατευθυνθούν προς τον ορίζοντα. Συνήθως και σε αυτήν την περίπτωση διάδοσης χρησιμοποιούνται τόσο στην εκπομπή όσο και στη λήψη τεχνικές diversity και πιο συγκεκριμένα περισσότερο τεχνικές frequency diversity παρά space diversity. Γενικά σε ζεύξεις σαν την παραπάνω χρησιμοποιούνται MIMO (multiple input multiple output) συστήματα κεραιών.

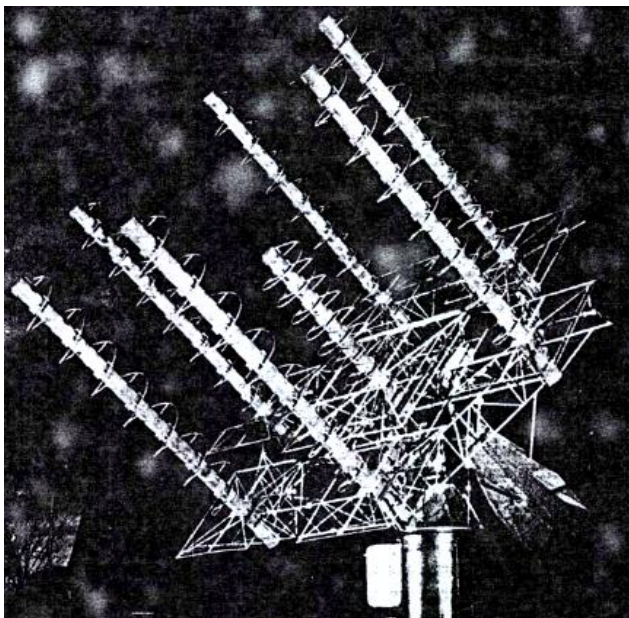
### Εξωγήινες Επικοινωνίες

Η πιο πρόσφατος και ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας των τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει τη χρήση διάφορων δορυφόρων. Ο τομέας χωρίζεται σε τρεις υποτομείς, κάθε ένας από τους οποίους έχει διαφορετικές απαιτήσεις. Ο πρώτος περιλαμβάνει επικοινωνία με χρήση γρήγορα κινούμενων δορυφόρων σε κλειστές

τροχιές, τυπικά σε ακτίνα 145 km. Ο δεύτερος υποτομέας περιλαμβάνει επικοινωνίες μέσω γεωστατικών δορυφόρων. Τέτοιοι δορυφόροι τοποθετούνται σε τροχιές γύρω από τον ισημερινό σε ύψος 36000 km. Αυτό το ύψος δίνει στο δορυφόρο την ίδια γωνιακή ταχύτητα με τη γη, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σταθερός επάνω από ένα σταθερό σημείο στον ισημερινό (γεωστατικής τροχιάς).

Η ιονόσφαιρα όχι μόνο επιτρέπει μετάδοση HF μακράς απόστασης, αλλά επηρεάζει επίσης και τη μετάδοση κυμάτων μέσα της. Τα κύματα που δεν ανακλώνται από την ιονόσφαιρα υφίστανται και αυτά κύρτωση από την αυθεντική τους τροχιά. Αυτό υποδηλώνει άμεσα ότι οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται εδώ χρειάζεται να είναι επάνω από την κρίσιμη συχνότητα  $f_c$  για ελαχιστοποίηση της διάθλασής τους. Αν αυτό δε συμβεί σοβαρά σφάλματα εντοπισμού και επικοινωνιακές δυσκολίες θα προκληθούν λόγω της κύρτωσης των ραδιοκυμάτων. Εφόσον η διάθλαση γίνεται ασήμαντη σε συχνότητες επάνω από τα 100 MHz, ενώ η ατμοσφαιρική απορρόφηση είναι αμελητέα μέχρι 14 GHz, αυτές οι δύο θεωρήσεις περιορίζουν το εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην πράξη.

Ένα πρόβλημα που παρατηρείται σε ζεύξεις αυτής της μορφής είναι το φαινόμενο Faraday. Αυτό προκαλεί πόλωση του ραδιοκύματος, το οποίο περιστρέφεται όταν περνάει από την ιονόσφαιρα. Πρόκειται για πολύπλοκη διεργασία που οφείλεται γενικά στην ύπαρξη ιονισμένων σωματιδίων στην ιονόσφαιρα και στην επίδραση του μαγνητικού πεδίου της γης. Όσο η πυκνότητα των ιόντων στην ιονόσφαιρα μεταβάλλεται το ίδιο συμβαίνει και στο φαινόμενο Faraday σε οποιαδήποτε μετάδοση και έτσι δεν είναι πρακτικό να υπολογίσουμε την έκταση του και να κάνουμε τις κατάλληλες θεωρήσεις. Για παράδειγμα μία οριζόντια πολωμένη κεραία θα λάβει σήμα μηδενικής ισχύος από ένα κύμα που πολώθηκε οριζόντια όταν έφυγε από την κεραία εκπομπής αλλά έχει πολωθεί κάθετα από την διέλευση του από την ιονόσφαιρα. Για το παραπάνω παράδειγμα υπάρχουν διάφορες λύσεις. Μία είναι να χρησιμοποιήσουμε μία κεραία με κυκλική πόλωση (Σχήμα 8-21), που μπορεί να εκπέμψει και να λάβει τόσο οριζόντια πολωμένα κύματα όσο και κατακόρυφα. Τέτοια κεραία χρησιμοποιείται για μετάδοση και λήψη σε επίγειους σταθμούς. Μεταδόσεις από και προς ένα δορυφόρο λοιπόν μπορούν να ληφθούν ικανοποιητικά ανεξάρτητα από την περιστροφή του επιπέδου πόλωσής τους στην ιονόσφαιρα. Σημειώνεται ότι η περιστροφή μπορεί να υπερβεί τις 360ο σε κάποια από τις χαμηλότερες συχνότητες. Μια άλλη λύση είναι η χρήση συχνοτήτων επάνω από το 1 GHz, στις οποίες η περιστροφή Faraday είναι αμελητέα. Η τάση για διαστημικές τηλεπικοινωνίες είναι η χρήση συχνοτήτων μεταξύ 1 και 14 GHz.



## ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Οι μηχανισμοί διαδόσεως διακρίνονται σε κύματα χαμηλής, μεσαίας, υψηλής, πολύ υψηλής και υπερύψηλης συχνότητας.

### **Χαμηλή συχνότητα LF-VLF:**

Στα χαμηλής συχνότητας (Low Frequency–LF) ραδιοκύματα, το κύμα εδάφους είναι και εδώ αυτό που κυριαρχεί για τη διάδοση της συχνότητας LF, όπως και στα VLF, αλλά εξαιτίας της υψηλής συχνότητάς του η εμβέλεια είναι μειωμένη, ιδιαίτερα όταν διατρέχει την ξηρά, λόγω της αυξημένης εξασθένησεως που υφίσταται, εξαιτίας της χαμηλής αγωγιμότητας του εδάφους, καθώς μειώνεται το μήκος κύματος.

Το φαινόμενο οδηγού-σήματος ανάμεσα στο έδαφος και το στρώμα D είναι υπαρκτό και εδώ και μάλιστα πιο έντονο απ' ότι στα VLF. Παρόλα αυτά η εξασθένησή του κατά τη διαδρομή είναι μεγάλη και η εμβέλειά του φθάνει από 1 έως 2000 nm. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγάλες κεραιές εκπομπής και μεγάλη ισχύ πομπού.

### **Μεσαία συχνότητα MF:**

Τα μεσαίας συχνότητας κύματα (Medium Frequency–MF) απορροφώνται πλήρως από το στρώμα D. Αυτό το γεγονός οδηγεί το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο των μεσαίων κυμάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας κοντά στην επιφάνεια της Γης καλύπτοντας μεγάλη απόσταση με κύματα εδάφους. Η ένταση των κυμάτων εδάφους στα MF είναι πολύ μεγάλη πράγμα που σημαίνει ότι διατρέχουν μεγάλες αποστάσεις. Πάνω από τη στεριά ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, ενώ πάνω από τη θάλασσα πλησιάζουν ή ξεπερνούν τα 1000 km. Υφίστανται όμως όλες τις μεταβολές που μπορεί να υποστεί ένα κύμα εδάφους και μάλιστα πολύ έντονα, λόγω της ηλεκτρομαγνητικής αστάθειας από τη μεταβλητότητα της τροπόσφαιρας (μετεωρολογικές συνθήκες) και τις ανωμαλίες των επιφανειών και του ανάγλυφου του τόπου που επηρεάζουν. Εξαιτίας αυτών των μεταβολών η εμβέλειά τους μειώνεται αισθητά. Τη νύκτα, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα της εργασίας αυτής, το στρώμα D εξαφανίζεται και τα μεσαία κύματα MF ανακλώνται στα υψηλά στρώματα της ιονόσφαιρας με πολύ μικρές απώλειες. Η ένταση του πεδίου αυξάνει ισχυρά όχι μόνο σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά και σε λιγότερο από 100 ν.μ.. Τη νύκτα η σύνθεση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου των MF μεταβάλλεται σημαντικά και επειδή αυξάνεται σημαντικά η εμβέλεια του σήματος παρουσιάζονται τα εξής φαινόμενα:

**Πρώτον** είναι δυνατόν να προκύψει στο δέκτη παρεμβολή από άλλον σταθμό που εργάζεται και αυτός στην ίδια συχνότητα και **δεύτερον** είναι δυνατόν να προκύψουν διακυμάνσεις ή εξασθένηση του σήματος στο δέκτη εξαιτίας της αλληλεπιδράσεως. Αυτό συμβαίνει όταν δύο σήματα από τον ίδιο πομπό, αλλά από διαφορετικούς δρόμους φθάνουν στο δέκτη ταυτόχρονα όπως έχει ήδη αναφερθεί (π.χ. κύμα χώρου, κύμα εδάφους). Αυτό εντοπίζεται περισσότερο σε μικρές αποστάσεις από τον πομπό 80–150 nm. και όσο προχωράει η νύκτα γίνονται πιο έντονες οι διακυμάνσεις της εντάσεως του πεδίου που ονομάζονται **διαλείψεις**. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις όπου φθάνει στο δέκτη μόνο το ιονοσφαιρικό κύμα, η λήψη είναι έντονη και χωρίς διαλείψεις.

Ένας παράκτιος σταθμός μπορεί να καλύψει μια απόσταση έως 300 nm με ραδιοτηλεφωνία στα MF. Οι σταθμοί των πλοίων, οι οποίοι έχουν μικρή ισχύ εξόδου σε σύγκριση με τους παράκτιους αλλά και μικρότερες κεραιές εκπομπής μπορούν να καλύψουν απόσταση 150 nm. στη ραδιοτηλεφωνία και 300 nm με DSC ή telex.

### **Υψηλή συχνότητα HF.**

Το βασικό χαρακτηριστικό των βραχέων κυμάτων είναι η σύνδεση μακρινών αποστάσεων και η ικανότητά τους να διαδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις όλο το 24ωρο (ημέρα και νύκτα) μεταβάλλοντας μόνο τις συχνότητες. Είναι αυτονόητο ότι στα HF (High Frequency–HF) κύματα η ιονόσφαιρα διαδραματίζει τον πρωταρχικό ρόλο και ιστορικά η έρευνα της ιονόσφαιρας ξεκίνησε από την ανακάλυψη των ιδιοτήτων αυτών των κυμάτων. Όπως έχει αναφερθεί η διάδοση των HF φθάνει σε μεγάλες αποστάσεις εξαιτίας της ανακλάσεως των κυμάτων χώρου στην ιονόσφαιρα, ενώ το κύμα εδάφους της αντίστοιχης συχνότητας αποσβένει σύντομα σε σύγκριση με την απόσταση που διανύει το ανακλώμενο σήμα. Η ισχύς του σήματος που φθάνει στο δέκτη εξαρτάται από τη συχνότητα, τις συνθήκες της ιονόσφαιρας, την εποχή και την ώρα. Όταν θέλουμε να επικοινωνήσουμε από μακρινή απόσταση στα HF (π.χ. με έναν παράκτιο), ένας πρακτικός οδηγός για να επιλέξουμε την κατάλληλη συχνότητα είναι να συντονίσουμε το δέκτη μας σε μία συχνότητα με στενό εύρος, για παράδειγμα telex ή μονής πλευρικής ζώνης (Single Side Band–SSB) του παράκτιου σταθμού με τον οποίο επιθυμούμε να επικοινωνήσουμε. Στη ζώνη όπου θα εντοπίσουμε ένα ισχυρό και σταθερό σήμα του παράκτιου σημαίνει ότι αυτή είναι η καλύτερη ζώνη επικοινωνίας με τον παράκτιο. Το ισχυρό και σταθερό σήμα το εντοπίζουμε λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που έχουν αναφερθεί (εποχή, ημέρα, ώρα, απόσταση).

Στη ζώνη που λαμβάνουμε το ισχυρό σήμα (π.χ. 22 MHz) θα πρέπει να συντονίσουμε τον πομπό μας για να καλέσουμε τον παράκτιο είτε ραδιοτηλεφωνικά είτε με DSC είτε με telex. Υπενθυμίζουμε ότι οι ζώνες που χρησιμοποιεί η κινητή ναυτική υπηρεσία στα βραχέα είναι (4-6-8-12-16-18-22 και 25 MHz).

Περιγράψαμε έναν πρακτικό τρόπο, ώστε να εντοπίσει κάποιος με στοιχειώδεις γνώσεις διαδόσεως του σήματος, τη συχνότητα που θα χρησιμοποιήσει. Αυτό όμως δεν είναι κανόνας! Η ιονόσφαιρα σε κάποιες περιπτώσεις συμπεριφέρεται πολύ παράξενα και η λήψη μπορεί να είναι καλύτερη στην κατεύθυνση ξηράς-πλοίου, ενώ αντιθέτως στην κατεύθυνση πλοίου-ξηράς είναι δυνατόν να είναι φτωχή. Εάν λοιπόν το σήμα του παράκτιου φθάνει αρκετά ικανοποιητικά στο δέκτη και παρά τις προσπάθειες επαφής ο παράκτιος δεν απαντάει, επειδή προφανώς δεν ακούει το σήμα του πλοίου, θα πρέπει να γίνει δοκιμή κλήσεως σε μία άλλη ζώνη (συχνότητα) πιο χαμηλά, εφόσον φυσικά αυτή που ακούγεται στο δέκτη είναι η υψηλότερη, για τη συγκεκριμένη απόσταση και ώρα. Αυτή η συχνότητα που ακούγεται στο δέκτη ονομάζεται μέγιστη χρησιμοποιήσιμη συχνότητα (Maximum Usable Frequency–MUF). Αποδοτικότερο είναι να χρησιμοποιούμε τη χαμηλότερη συχνότητα, δηλαδή 15% πιο κάτω από τη MUF, η οποία ονομάζεται άριστη συχνότητα επικοινωνίας (Optimum Traffic Frequency–OTF).

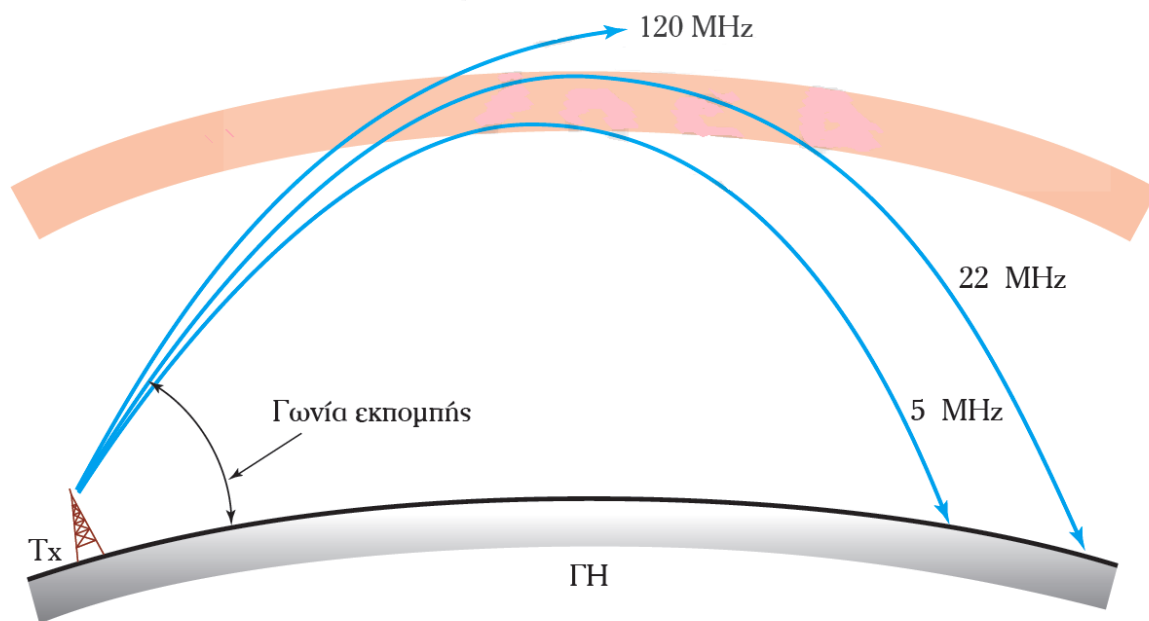
**Σημείωση:** Την ανατολή και τη δύση οι επικοινωνίες είναι συνήθως δύσκολες και αναξιόπιστες. Θα πρέπει πάντα στους υπολογισμούς της ώρας για τη συχνότητα που θα χρησιμοποιηθεί από ένα πλοίο να λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη η ώρα της χώρας ή του στίγματος που βρίσκεται ο σταθμός-δέκτης, με τον οποίο προσπαθεί το πλοίο να έλθει σε επαφή. Στα HF το στρώμα D της ιονόσφαιρας έχει μια μικρή επιρροή μόνο στα 4 MHz. Από εκεί και πάνω σε όλες τις ζώνες για μεγάλες αποστάσεις η ανάκλαση γίνεται στο στρώμα E ή το F.



Γίνεται επίσης αντιληπτό από τα παραπάνω ότι:

Όσο μεγαλύτερη ζώνη συχνοτήτων HF που χρησιμοποιείται, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εμβέλεια του σήματος. Αυτό συμβαίνει διότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη απόσταση πρέπει να διανύσει το σήμα μέσα στην ιονόσφαιρα πριν υποστεί αρκετή καμπύλωση, ώστε να επιστρέψει στη Γη.

Άρα όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα εκπομπής τόσο ισχυρότερο και μεγαλύτερο θα είναι το ύψος ανακλάσεως.



Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε αυτό που αναλύθηκε παραπάνω ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που καλύπτεται.

### **Πολύ υψηλή συχνότητα (VHF) , υπερύψηλη συχνότητα (UHF).**

Οι δύο αυτές ζώνες συχνοτήτων διαδίδονται μέσω τροπόσφαιρας με απευθείας κύματα, δηλαδή **οπτικής ευθείας από κεραία εκπομπής σε κεραία λήψεως**. Η απορρόφηση αυτών των κυμάτων από το έδαφος είναι ισχυρότατη, άρα το επιφανειακό κύμα που έρπει στο έδαφος είναι αμελητέο και η χρησιμότητά του ανύπαρκτη.

Η ιονόσφαιρα για τα υπερβραχέα (Very High Frequency–VHF) είναι διάφανη, δηλαδή ούτε ανακλά, ούτε διαθλά αυτό το κύμα. Άρα, μόνο με το κύμα οπτικής ευθείας γίνεται η επικοινωνία των VHF και των μικροκυμάτων (Ultra High Frequency–UHF). Το κύμα αυτό με τον τρόπο που διαδίδεται αποσβένει πολύ σύντομα και οι αποστάσεις που προλαβαίνει να διατρέξει είναι πολύ μικρές.

Υπολογίζοντας την καμπυλότητα της Γης είναι λογικό ότι για να αυξηθεί η εμβέλεια πρέπει να αυξηθεί ο ορίζοντας και γι' αυτόν το λόγο οι κεραίες πρέπει να τοποθετούνται σε υψηλά σημεία.

1

Είναι δυνατόν να υπολογισθεί η μέγιστη απόσταση ενός σήματος VHF όταν είναι γνωστά τα ύψη των κεραιών με έναν από τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Απόσταση σε nm} \quad d = 4 \cdot [\sqrt{T_x(\text{ft})} + \sqrt{R_x(\text{ft})}]$$

$$\text{Απόσταση σε nm} \quad d = 2,22 \cdot [\sqrt{T_x(\text{m})} + \sqrt{R_x(\text{m})}]$$

$$\text{Απόσταση σε km} \quad d = 4,22 \cdot [\sqrt{T_x(\text{m})} + \sqrt{R_x(\text{m})}]$$

Όπου:  $T_x$  = πομπός,  $R_x$  = δέκτης, ft = πόδια και m = μέτρα

Στο δέκτη δύναται να φθάσει το κύμα οπτικής ευθείας, αλλά και ένα άλλο κύμα από ανάκλαση επί της Γης. Αυτή η συμβολή των σημάτων, όταν προκύπτει, προκαλεί διαλείψεις ή και αλληλοεξουδετέρωση των δύο σημάτων, διότι αυτά φθάνουν στην κεραία λήψεως από διαφορετικούς δρόμους και έχουν διαφορά φάσεως.

Στους σταθμούς εκπομπής και λήψεως, όπως πλοία που βρίσκονται πλησίον της ξηράς (ακτές, λιμάνια, ποτάμια κ.λπ.) θα φθάνουν τα κύματα οπτικής ευθείας. Εξαιτίας όμως του μικρού μήκους κύματός τους είναι δυνατόν να φθάνουν και άλλα κύματα από ανάκλαση σε οικοδομές, δέντρα, αυτοκίνητα κ.λπ., τα οποία θα δημιουργήσουν διαλείψεις στο δέκτη.

Τα ραδιοκύματα που διατρέχουν την τροπόσφαιρα οριζόντια (όπως το οπτικής ευθείας κύμα) υφίστανται μία καμπύλωση από τους υπάρχοντες υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι κατά κάποιον τρόπο το κύμα ακολουθεί για λίγο την καμπυλότητα της Γης και ο ραδιοορίζοντας στην πραγματικότητα είναι μεγαλύτερος από τον οπτικό ορίζοντα με σχέση 4/3.

Ένα φαινόμενο (φαινόμενο duct) που μπορεί να εμφανισθεί σε κύματα VHF είναι ότι λόγω της λεπτής συνθέσεως της ατμόσφαιρας, οριζόντια στρώματα που προκαλούνται από μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας και με συνάρτηση το ύψος δημιουργούν στην τροπόσφαιρα ιδιότητες κυματοδηγού, όπου στιγμιαία ή για χρονικό διάστημα λίγων λεπτών μπορεί το σήμα παγιδευμένο σε μία σήραγγα να ταξιδέψει εκατοντάδες μίλια λόγω υπερδιαθλάσεως. Ιδιαίτερα σε τροπικά κλίματα μπορεί να ακουσθεί στο VHF αιφνίδια σήμα προερχόμενο από πλοίο που μπορεί να βρίσκεται σε απόσταση 600 nm. Στην πράξη μία καλή επικοινωνία μεταξύ πλοίων σε συχνότητα VHF υπολογίζεται μέχρι 15–20 nm. Η επικοινωνία παράκτιου με πλοίο είναι μεγαλύτερη σε εμβέλεια, επειδή οι παράκτιοι έχουν τις κεραιές τους σε υψηλές κορυφές βουνών, όπου βλέπουν απ' ευθείας τη θάλασσα, χωρίς εμπόδια και με μεγαλύτερη ισχύ. Μια τέτοια απόσταση μπορεί να υπολογίζεται από 40–80 nm. αναλόγως με τις καιρικές συνθήκες. Στην ξηρά, για ζεύξεις κυμάτων VHF ή UHF χρησιμοποιούν αναμεταδότες οπτικής επαφής, δηλαδή λαμβάνουν, ενισχύουν και στέλνουν πάλι με κύμα οπτικής επαφής προς άλλη διεύθυνση και αυτό μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΤΥΧΕΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### Έντυπη βιβλιογραφία:

- 1) Επικοινωνίες GMDSS Α. Καρατζής – Γ. Μαυρουλάκης
- 2) Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε γήινο περιβάλλον Κανελλόπουλος Ι. Δ. (2003)
- 3) Σχεδίαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, Χρυσουλίδης Π. Δημήτρης, (2004)
- 4) Επικοινωνίες, Εμμανουήλ Κ. Ταμπακάκη – Γεωργίου Μ. Λυμπέρη

### Internet Sites:

- 1) [www.imo.org](http://www.imo.org)
- 2) <http://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>
- 3) <http://earthsky.org/space/what-is-the-electromagnetic-spectrum>
- 4) [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation)
- 5) [http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_propagation](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation)
- 6) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3081171/>