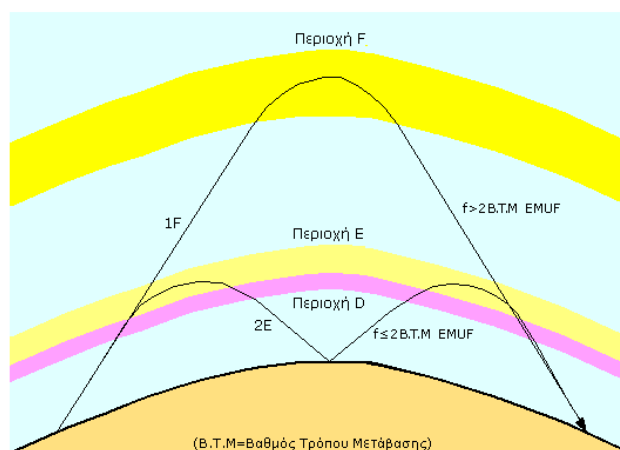


# Εισαγωγή στην Ιονοσφαιρική Διάδοση των HF

Ελεύθερη μετάφραση από το:  
“ Introduction to HF Radio Propagation ”  
της IPS Radio & Space Service



**Στάθης Πάντος**  
**SV1BAC ex i8JKE,SV0CV**

E-mail: [stathispantos@yahoo.com](mailto:stathispantos@yahoo.com)  
[sv1bac@gmail.com](mailto:sv1bac@gmail.com)

# Εισαγωγή στη Ιονοσφαιρική διάδοση των HF

## 1 Η ιονόσφαιρα

### 1.1 Η ιονόσφαιρα και οι περιοχές της

Η περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από ένα ύψος 50 έως 500 χιλιόμετρα παρουσιάζει ιονισμό σε ένα μέρος των μορίων της με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ιονισμένα στρώματα. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τις ακτινοβολίες του ήλιου που βομβαρδίζουν ασταμάτητα τη Γη. Την περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας την ονομάζουμε ιονόσφαιρα, **σχήμα 1.1**.

Ο ιονισμός είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, ουδέτερα άτομα ή και μόρια χάνουν ή αποκτούν ελεύθερα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα, να έχουν θετικό ή αρνητικό φορτίο. Αυτά λοιπόν τα ηλεκτροφορτισμένα άτομα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα, είναι τα ιόντα και αποτελούν το κομμάτι αυτό της ατμόσφαιρας που τα περιέχει και το ονομάζουμε ιονόσφαιρα.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορούν να υπάρξουν τέσσερις ιονισμένες περιοχές (στρώματα) στην ατμόσφαιρα, η κάθε μια είναι συνέχεια της άλλης. Αυτές παίρνουν τις ονομασίες D, E, F1 και F2. Τα κατά προσέγγιση ύψη που καταλαμβάνουν είναι:

**Περιοχή D 50 έως 90 χλμ**

**Περιοχή E 90 έως 140 χλμ**

**Περιοχή F1 140 έως 210 χλμ**

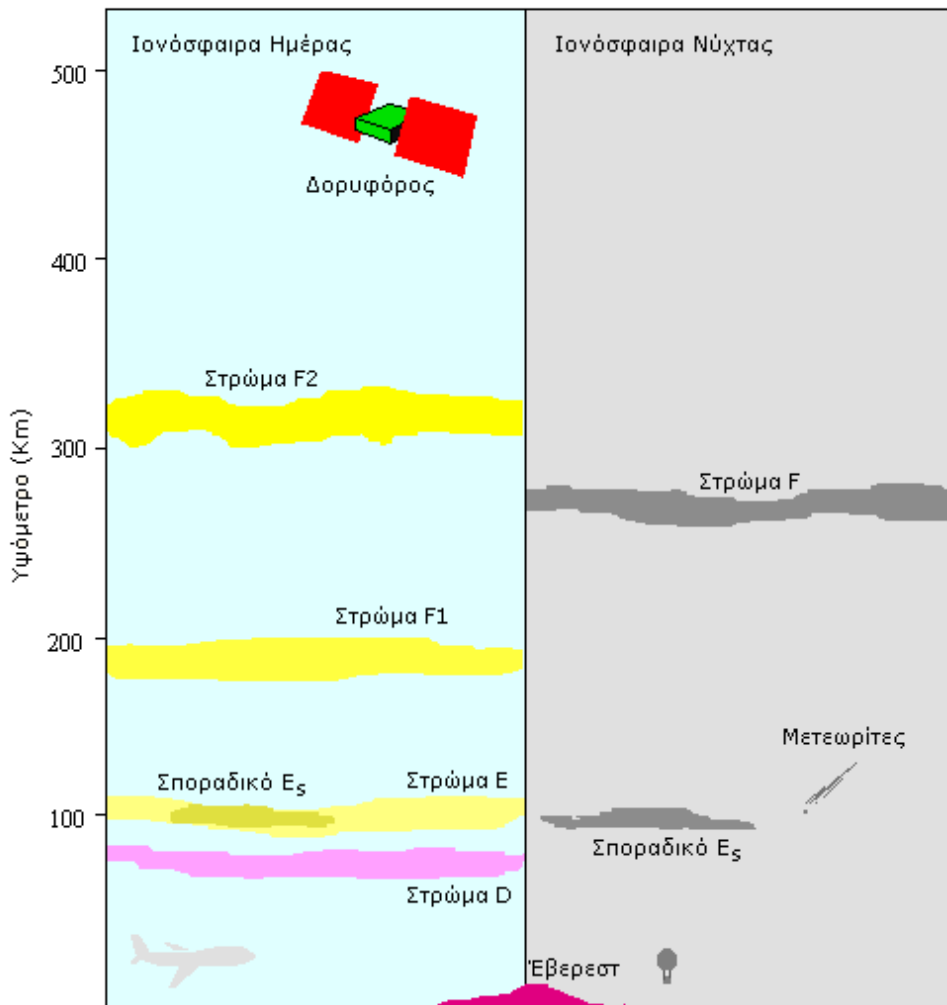
**Περιοχή F2 πάνω από τα 210 χλμ**

Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται οι περιοχές, D, E, F1 και η περιοχή F2. Συμβαίνει όμως μερικές φορές, κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της δραστηριότητας του ηλιακού κύκλου, η περιοχή F1 να μην είναι ευδιάκριτη απ' την περιοχή F2, αλλά να συγχωνεύονται και να δημιουργούν μία και μόνη, την περιοχή F.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν οι περιοχές D και F1 και στις δύο περιοχές παρατηρείται πολύ μικρός αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η F2 όμως είναι παρούσα για τις ραδιοεπικοινωνίες και δεν είναι καθόλου ασυνήθιστο να εμφανιστεί και το σποραδικό στρώμα Es.

Οι περιοχές E, F1, F2 είναι αυτές που διαθλούν τις υψηλές συχνότητες.

Η περιοχή D ενώ είναι σημαντική, δεν διαθλά τα ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας, όμως καθώς περνούν μέσα απ' αυτή, τα απορροφά και τους μειώνει την ένταση.



**Σχήμα 1.1 Η Δομή της Ιονόσφαιρας κατά τη διάρκεια της ημέρα και της νύχτας**

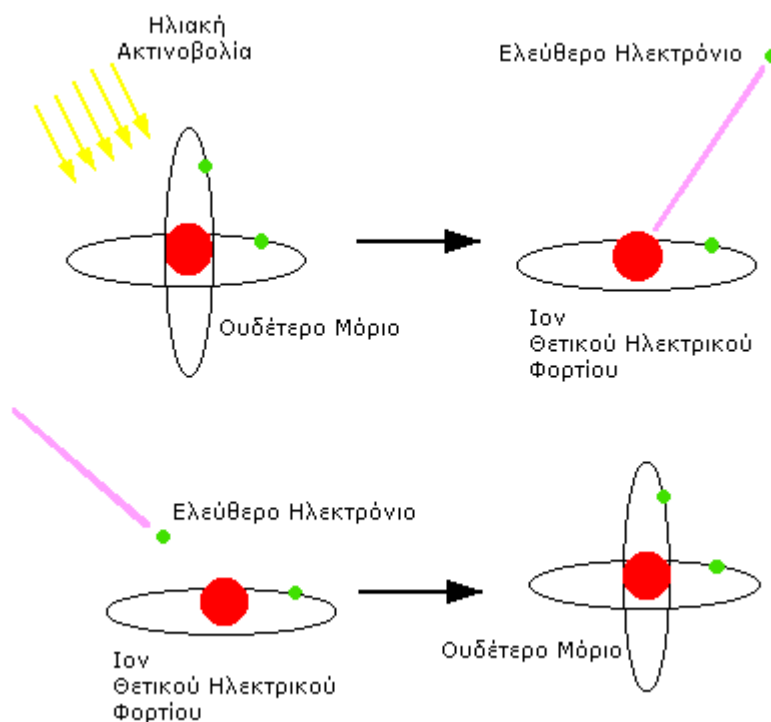
Η περιοχή F2 είναι η πλέον σημαντική περιοχή για τη διάδοση των HF:

- Είναι παρούσα 24 ώρες το 24ωρο.
- Βρίσκεται σε μεγάλο ύψος και δίνει τη δυνατότητα ραδιοεπικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων.
- Διαθλά τα ραδιοκύματα των υψηλότερων συχνοτήτων του φάσματος των HF.

Η διάρκεια ζωής των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη στην περιοχή F2 κάτι που το πιστοποιεί και η παρουσία τους τη νύχτα. Η χαρακτηριστική διάρκεια ζωής των ηλεκτρονίων στις περιοχές E, F1 και F2 από τη γέννησή τους, είναι 20 δευτερόλεπτα, 1 λεπτό και 20 λεπτά, αντίστοιχα.

## 1.2 Παραγωγή και απώλεια ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι ακτινοβολίες που προέρχονται απ' τον ήλιο δημιουργούν ιονισμό στην ατμόσφαιρα. Συγκρουόμενες με τα άτομα ή τα μόρια της ατμόσφαιρας αποδεσμεύουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα άτομα που χάνουν ελεύθερα ηλεκτρόνια γίνονται θετικά ιόντα, επομένως η παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μια διαδικασία που μπορεί να συμβαίνει στο ημισφαίριο της Γης που φωτίζεται.

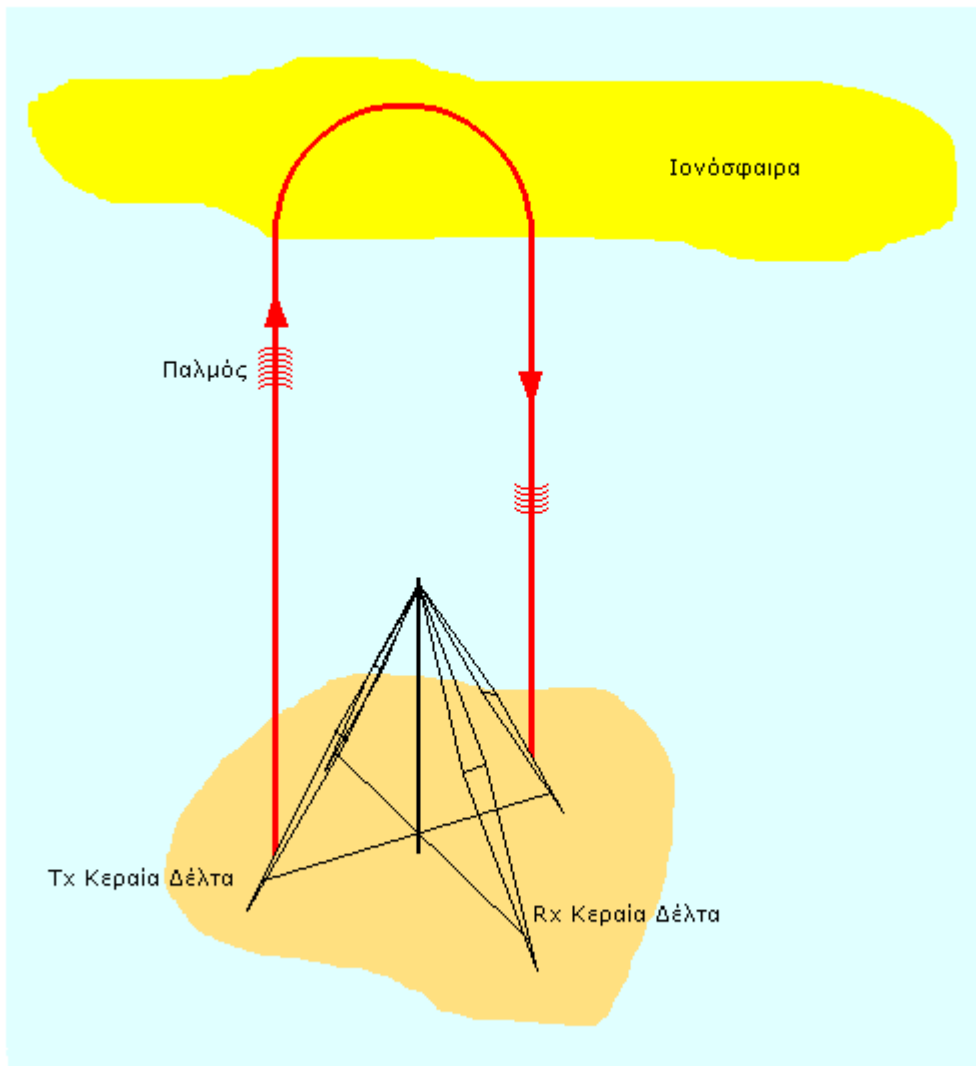


Σχήμα 1.2 Παραγωγή ιόντων (άνω) και απώλεια ιόντων (κάτω)

Όταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ενώνεται με ένα θετικό ιόν προκύπτει ένα ουδέτερο άτομο, αυτό ακριβώς είναι η απώλεια ηλεκτρονίου, μια διαδικασία αντίθετη από αυτή της παραγωγής και μπορεί να συμβεί και την ημέρα και τη νύχτα.

## 1.3 Παρατήρηση και μελέτη της ιονόσφαιρας.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ιδίωμα της ιονόσφαιρας σε σχέση με τις ραδιοεπικοινωνίες, είναι η δυνατότητά της, να διαθλά τα ραδιοκύματα. Και όμως, μόνον ορισμένα κύματα μέσα από ένα σύνολο διαφορετικών συχνοτήτων θα διαθλαστούν. Η διάθλαση αυτών των κυμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (βλέπε παράγραφο 1.4).



**Σχήμα 1.3 Λειτουργία Ιονοσκόπιου**

Έχουν εφαρμοστεί διάφοροι μέθοδοι για τη μελέτη και εξερεύνηση της ιονόσφαιρας, το όργανο όμως που χρησιμοποιείται ευρέως γι' αυτό το σκοπό, είναι το **ιονοσκόπιο**, (ιονοσόντα), βλέπε **σχήμα 1.3**.

Αυτό είναι ένα είδος ραντάρ που εκπέμπει βραχείς παλμούς ραδιοκυμάτων ορισμένων συχνοτήτων, κάθετα προς την ιονόσφαιρα. Εάν οι ραδιοπαλμοί μιας συχνότητας διαθλαστούν απ' την ιονόσφαιρα, τα κύματα αυτά θα επιστρέψουν πίσω στο έδαφος. Το ιονοσκόπιο θα καταγράψει την καθυστέρηση χρόνου μεταξύ εκπομπής και λήψης των παλμών αυτής της συχνότητας, με αποτέλεσμα τον ακριβή προσδιορισμό του ύψους του ιονισμένου στρώματος που διαθλάστηκαν τα κύματα. Αλλάζοντας την συχνότητα

παλμών, καταγράφεται η παρατηρούμενη καθυστέρηση χρόνου ξεχωριστά για την κάθε συχνότητα.

Ξεκινώντας την εκπομπή παλμών από τους 1,6 MHz περίπου, παρατηρούνται παρεμβολές από τους σταθμούς ραδιοφωνίας των ΑΜ. Αυξάνοντας την, βλέπουμε να καταγράφονται οι πρώτες ηχώ που φτάνουν απ' το στρώμα Ε και με μεγαλύτερη καθυστέρηση χρόνου, καταγράφονται αυτές που προέρχεται από το ιονισμένο στρώμα F1 και στη συνέχεια από το F2.

Σήμερα η μελέτη της ιονόσφαιρας δεν γίνεται μόνο με κατακόρυφα ραδιοκύματα αλλά και με πλάγια, ο δε πομπός και ο δέκτης μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία. Αυτού του είδους οι παρατηρήσεις της ιονόσφαιρας μπορούν να παρακολουθούν την εξέλιξη της διάδοσης σε μια ορισμένη διαδρομή τηλεπικοινωνιακού ενδιαφέροντος και να βγαίνουν συμπεράσματα για τους τρόπους που η ιονόσφαιρα θα στηρίξει τη ραδιοζεύξη αυτής της διαδρομής.

Οι ιονοσκοπικές οπισθοδιασπορές (Backscatter) προέρχονται από την ηχώ των ραδιοκυμάτων του ιονοσκόπιου, που ανακλώνται στο έδαφος και επιστρέφουν στο δέκτη, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται και σε διαφορετική θέση από τον πομπό.

Η ιονοσκόπηση με πλάγια βολή ραδιοκυμάτων, όπως έχει τονιστεί και σε προηγούμενη παράγραφο, χρησιμοποιείται για ιονοσφαιρικές έρευνες πέραν του ορίζοντα.

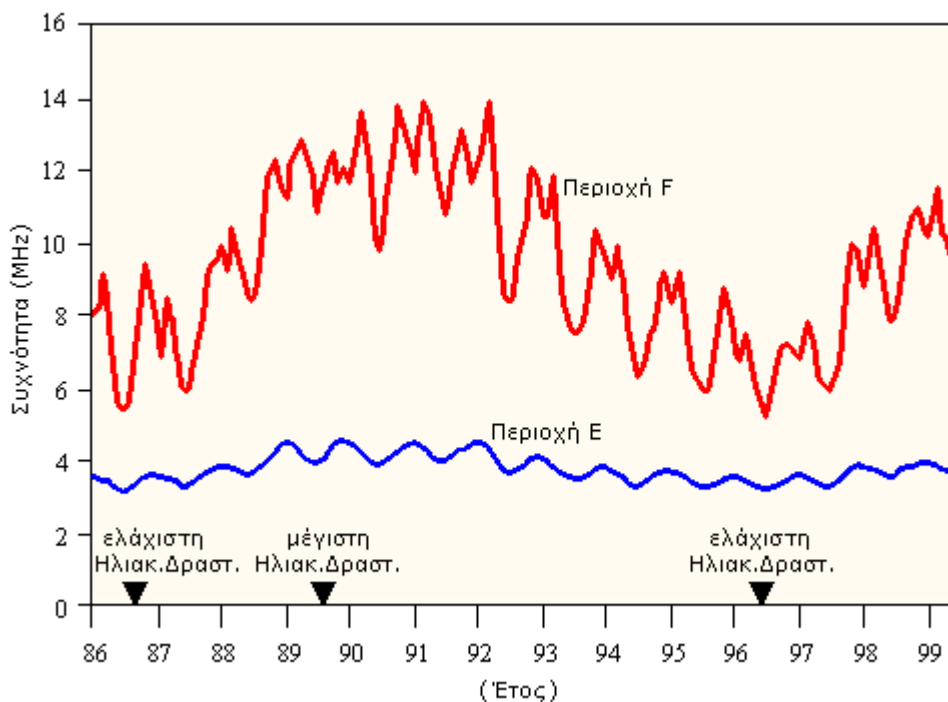
## **1.4 Ιονοσφαιρικές μεταβολές**

Η ιονόσφαιρα δεν είναι ένα σταθερό μέσον, αυτή μεταβάλλεται συνεχώς, και τα αίτια των συνεχών μεταβολών της, οφείλονται στο **κύκλο της ηλιακής δραστηριότητας, στην αλλαγή των εποχών, τη γεωγραφική θέση, τις ηλιακές θύελλες και άλλα.** Μπορεί να αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα κάθε φορά να ευνοεί τη διάδοση και μιας άλλης διαφορετικής συχνότητας που διαθλάται επάνω της.

### **1.4.1 Μεταβολές που οφείλονται στη Δραστηριότητα του Ηλιακού Κύκλου**

Η ηλιακή δραστηριότητα μεταβάλλεται, με μια περίοδο από **9 έως 14 χρόνια**. Κατά τη διάρκεια της ελάχιστης δραστηριότητας μόνο οι **χαμηλές συχνότητες** των Η.Φ ευνοούνται στη διάδοσή τους από την ιονόσφαιρα. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της μέγιστης δραστηριότητας ευνοούνται οι **υψηλές συχνότητες** (βλέπε **σχήμα 1.4**).

Αυτό συμβαίνει, επειδή κατά τη διάρκεια της μέγιστης δραστηριότητας, υπάρχει περισσότερη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια τη μεγάλη παρουσία ιόντων στην ατμόσφαιρα, που έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη χρήση των υψηλών συχνοτήτων στις ραδιοεπικοινωνίες.



**Σχήμα 1.4**

**Μεταβολές συχνοτήτων διάθλασης στα στρώματα E και F στη διάρκεια ηλιακών κύκλων, σχεδόν με κάθετα κύματα (NVIS). Οι συγκεκριμένες διαδρομές των κυμάτων βρίσκονται στο νότιο ημισφαίριο.**

Κατά την διάρκεια της μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να εμφανιστούν στον ήλιο εκλάμψεις, που είναι αποτέλεσμα τεράστιων εκρήξεων. Με την εκδήλωση του φαινομένου εκπέμπονται προς τη Γη σωματίδια και ισχυρές ακτινοβολίες που ionίζουν έντονα την περιοχή D, η οποία με τη σειρά της απορροφά δραστικά, μέρος του φάσματος των H.F στην προσπάθειά τους να τη διασχίσουν. Καθότι το στρώμα D είναι παρόν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, επηρεάζονται απ' αυτό οι διαδρομές των ραδιοκυμάτων που γίνονται στο φωτισμένο ημισφαίριο.

Η απορρόφηση των κυμάτων που ταξιδεύουν μέσα απ' την ιονόσφαιρα αφούτου εμφανιστούν εκλάμψεις στον ήλιο, έχει επιπτώσεις μόνο στις χαμηλές συχνότητες των H.F. Επίσης οι χαμηλές συχνότητες είναι αυτές που θα ανακτήσουν τελευταίες την ικανότητα διάδοσής τους μετά την παύση του φαινομένου.

Εάν οι εκλάμψεις που εμφανίζονται στον ήλιο είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων, μπορεί όλο το φάσμα των H.F να κριθεί ακατάλληλο για χρήση. Ο χρόνος διάρκειας της εξασθένησης ποικίλει από 10 έως 60 λεπτά, και είναι συνάρτηση της έντασης του φαινομένου.

## 1.4.2 Εποχικές ιονοσφαιρικές μεταβολές

Οι μεταβολές του στρώματος E είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού απ' ότι το χειμώνα, όμως του στρώματος F είναι πιο περίπλοκες.

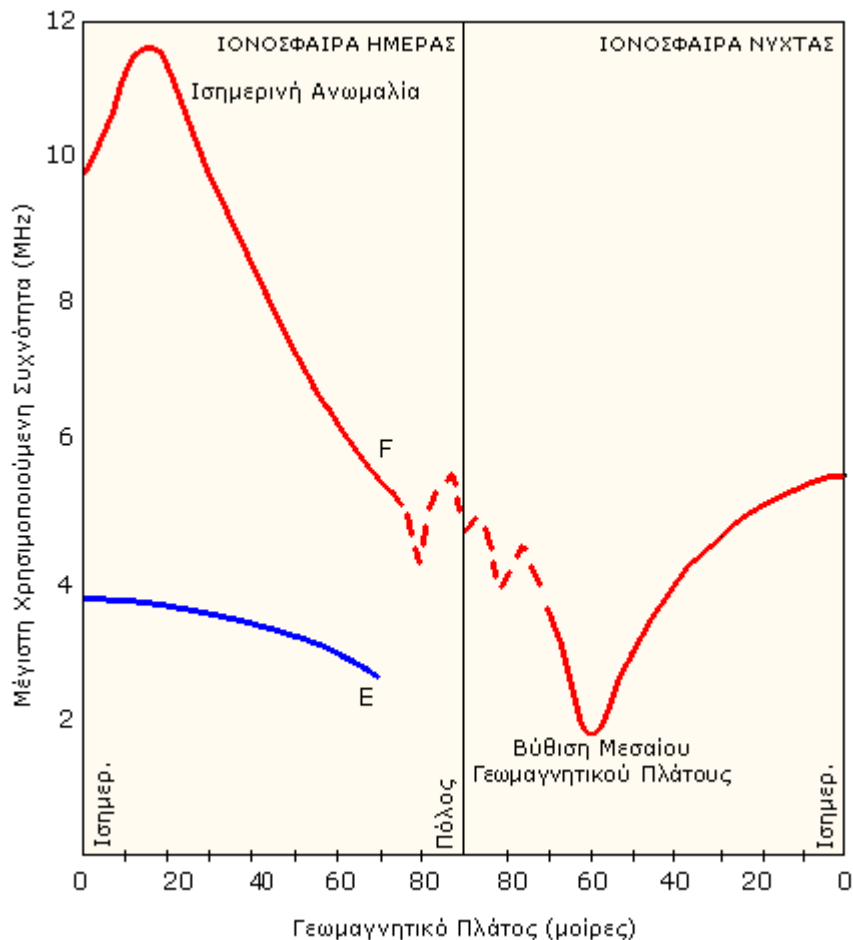
Και στα δύο ημισφαίρια της Γης, τα στρώματα F παρουσιάζουν αύξηση κατά τη διάρκεια του μεσημεριού όπως και κατά τη διάρκεια των **ισημεριών Μαρτίου και Σεπτεμβρίου**. Κατά τη διάρκεια της ελάχιστης ηλιακής δραστηριότητας οι συχνότητες του καλοκαιρινού μεσημεριού είναι μεγαλύτερες από εκείνες του χειμερινού. Επίσης κατά τη μέγιστη δραστηριότητα οι χειμερινές συχνότητες σε ορισμένες θέσεις μπορούν να είναι υψηλότερες από εκείνες του καλοκαιριού. Επιπλέον, οι συχνότητες γύρω απ' τις ισημερίες Μαρτίου και Σεπτεμβρίου είναι υψηλότερες από εκείνες του καλοκαιριού ή του χειμώνα είτε βρισκόμαστε σε μέγιστη ή ελάχιστη ηλιακή δραστηριότητα. Παρατηρώντας τις χειμερινές μεσημβρινές συχνότητες, βλέπουμε συχνά πως είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες θερινές, αυτό ονομάζεται "**Εποχική Ανωμαλία**".

## 1.4.3 Ιονοσφαιρικές μεταβολές με την αλλαγή του γεωγραφικού πλάτους

Στο **σχήμα 1.5** διακρίνονται οι μεταβολές στις συχνότητες των περιοχών E και F το μεσημέρι και τα μεσάνυχτα, **από τους πόλους, έως το μαγνητικό ισημερινό**. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλάζοντας θέση ως προς το γεωγραφικό πλάτος, μετακινούμενοι δηλαδή απ' τον ισημερινό προς τους πόλους, παρατηρούμε πως η ηλιακή ακτινοβολία δεν συναντά κάθετα την ατμόσφαιρα αλλά με κλίση (υπό γωνία). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια όσο μεταφερόμαστε προς τους πόλους και τη μείωση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων που δημιουργούνται απ' τον ιονισμό.

Στο φωτιζόμενο ημισφαίριο οι συχνότητες έχουν αυξητική τάση όχι στον μαγνητικό ισημερινό, αλλά γύρω από τον **15°-20°** παράλληλο του βόρειου και νότιου γεωμαγνητικού ημισφαιρίου. Αυτό ονομάζεται: "**Ισημερινή Ανωμαλία**" (βλέπε **σχ.1.5**).





Σχήμα 1.5

### Οι μεταβολές των συχνοτήτων διάθλασης σε συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους

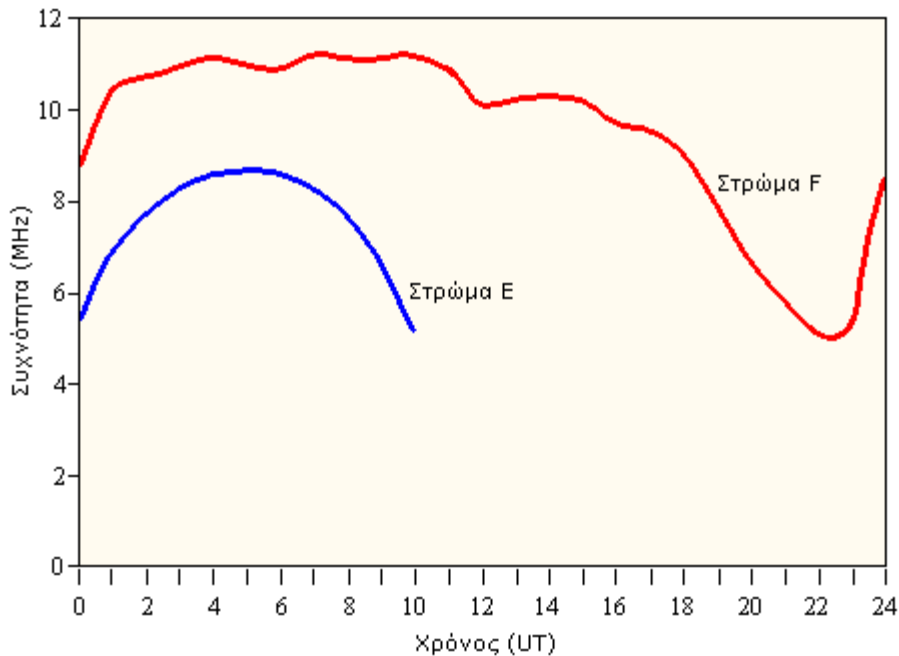
Τη νύχτα οι συχνότητες φθάνουν σε μια ελάχιστη τιμή γύρω στον  $60^\circ$  βόρειο και νότιο παράλληλο του γεωμαγνητικού ισημερινού. Αυτό ονομάζεται " **βύθιση μεσαίου γεωμαγνητικού πλάτους** " (*mid-latitude trough*).

Μεγάλες κλίσεις μπορούν να συμβούν στις περιοχές αυτών των φαινομένων και να οδηγήσουν σε μεταβολές του φάσματος των κυμάτων ουρανού όταν τα σημεία διάθλασης βρίσκονται στις περιοχές που εμφανίζονται τα φαινόμενα που προαναφέρθηκαν.

### 1.4.4 Καθημερινές μεταβολές της ιονόσφαιρας

Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις ραδιοεπικοινωνίες, είναι συνήθως υψηλότερες στη διάρκεια της ημέρας και χαμηλότερες τη νύχτα, (βλέπε **σχήμα 1.6**). Με τον ερχομό της αυγής, η παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία δίνουν χώρο στη δημιουργία της ιονόσφαιρας και την αύξηση της

τιμές των συχνοτήτων διάθλασης για να φτάσουν σε μια μέγιστη τιμή εκεί γύρω στο μεσημέρι. Κατά το απόγευμα οι τιμές των συχνοτήτων αρχίζουν και ελαττώνονται και μέχρι το βράδυ τα στρώματα D, E, και F1 έχουν αποσυρθεί.



Σχήμα 1.6

**Μεταβολές των συχνοτήτων διάθλασης στο στρώμα E και F, στη διαδρομή κύματος Σιγκαπούρη - Χο Τσι Μινχ στη διάρκεια ενός ηλιακού κύκλου.**

Επομένως τη νύχτα η επικοινωνία μέσω ιονοσφαιρικών κυμάτων στα H.F γίνεται απ' την περιοχή F2, η δε απορρόφηση είναι μικρότερη, λόγω της έλλειψης του στρώματος D. Κατά τη διάρκεια της νύχτας οι συχνότητες διάθλασης ελαττώνονται μέχρι να φτάσουν σε ελάχιστες τιμές λίγο πριν την εμφάνιση της αυγής και του φωτός.

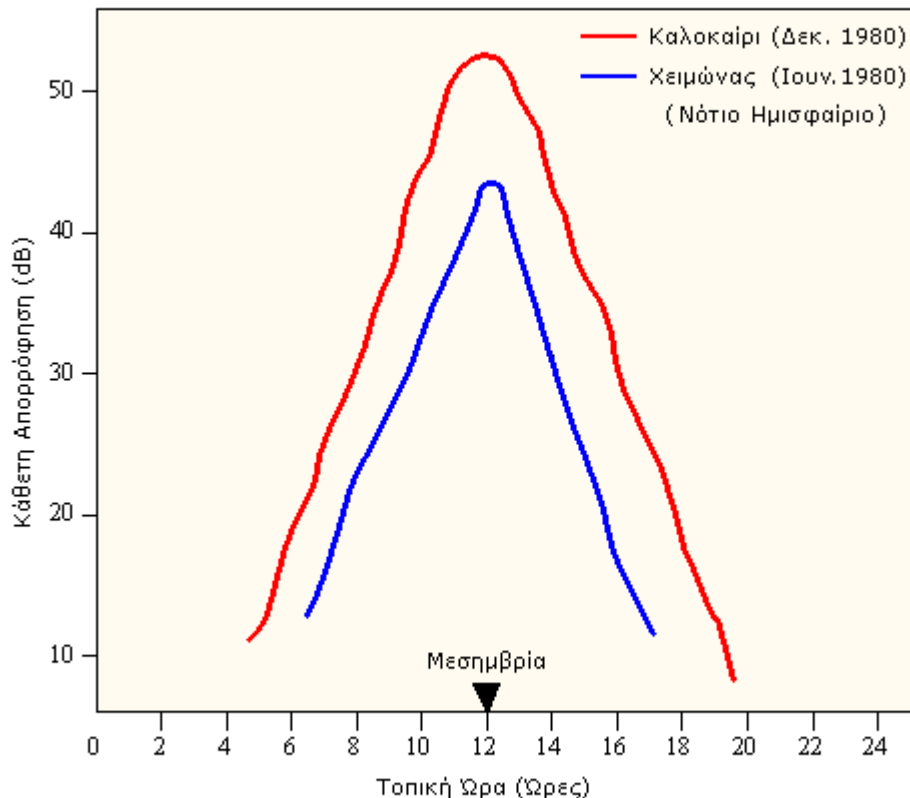
## 1.5 Μεταβολές από την ιονοσφαιρική απορρόφηση

Το στρώμα D που εξαφανίζεται με τον ερχομό της νύχτας, μειώνει την ένταση των ραδιοκυμάτων που περνούν μέσα απ' αυτό όταν οι διαδρομές τους γίνονται στο φωτεινό ημισφαίριο. Η απορρόφηση που ασκεί το στρώμα D στα ραδιοκύματα ποικίλει επίσης με τον ηλιακό κύκλο και παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές γύρω απ' τη μέγιστη ηλιακή δραστηριότητα.

Η απορρόφηση μεγιστοποιείται το καλοκαίρι προς το μεσημέρι (βλέπε **σχήμα 1.7**). Υπάρχει μια μεταβολή στην απορρόφηση των κυμάτων σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος. Αυτή μεγιστοποιείται στον ισημερινό και μειώνεται προς τους

πόλους, όπου ορισμένα φαινόμενα συμβάλουν επί πλέον στη δραστική απορρόφηση των κυμάτων στις περιοχές αυτές.

Οι χαμηλότερες συχνότητες των H.F είναι αυτές που απορροφώνται περισσότερο και σε μεγάλη έκταση. Κατά συνέπεια εάν θέλουμε να εξασφαλίσουμε οπωσδήποτε μια ραδιοζεύξη θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε υψηλότερες συχνότητες.



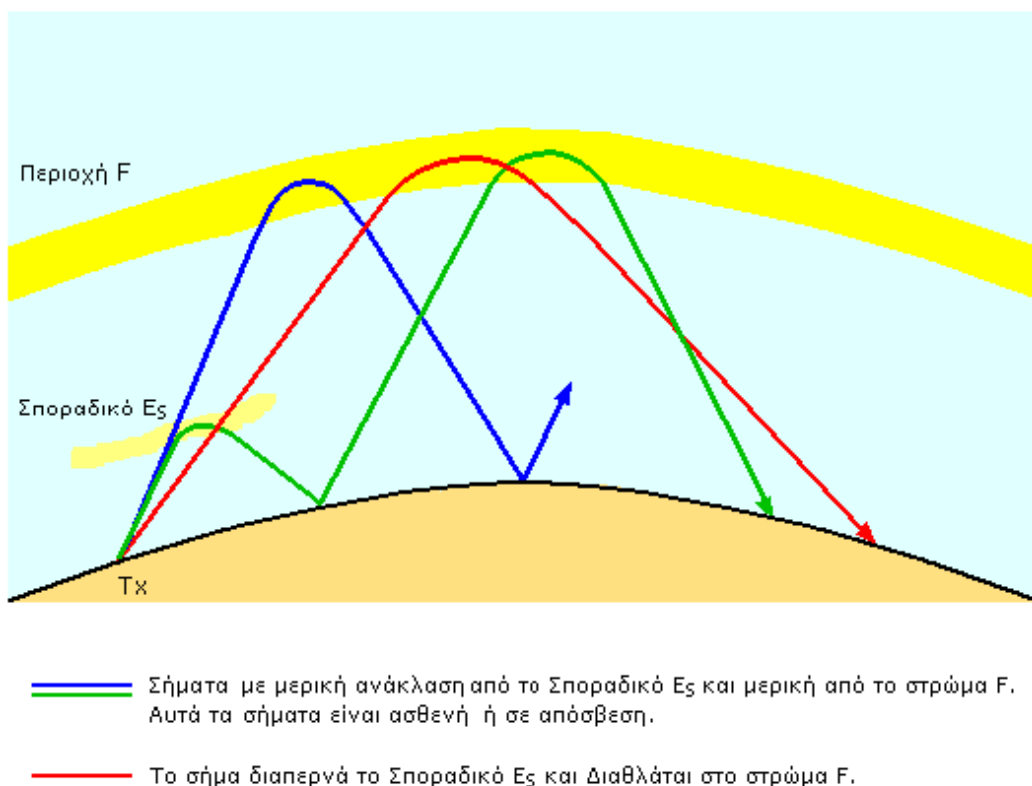
Σχήμα 1.7 Ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεων απορρόφησης, στους 2,2 MHz. Στο Σύδνεϋ.

## 1.6 Σποραδικό Es

Το σποραδικό στρώμα Es μπορεί να εμφανιστεί οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Εμφανίζεται σε ύψος από 90 έως 140 χ.λ.μ και μπορεί να καταλάβει από μια μικρή έως μια μεγάλη έκταση. Είναι δύσκολο να ξέρουμε που και πότε θα εμφανιστεί αυτό και το χρονικό διάστημα παραμονής του. Το σποραδικό Es μπορεί να έχει συγκρίσιμη πυκνότητα ηλεκτρονίων μ' αυτή του στρώματος F, που σημαίνει ότι μπορεί να ανακλά τις ίδιες συχνότητες που ανακλά το F. Επομένως το σποραδικό Es μπορούμε να το χρησιμοποιούμε για ραδιοεπικοινωνίες σε υψηλές συχνότητες.

Πολλές φορές, ένα σποραδικό E<sub>s</sub> μπορεί να είναι διαφανές (διαπερατό) στα περισσότερα ραδιοκύματα, να διέρχονται μέσα απ' αυτό για να φτάσουν στη συνέχεια στο στρώμα F. Άλλες φορές πάλι είναι αδιαφανές, με την ευρύτητα της έννοιας και κρύβει ολοκληρωτικά την περιοχή F.

Μερικές φορές ενδέχεται αυτό να είναι μερικώς διαφανές, με αποτέλεσμα τα κύματα να ανακλώνται κατά διαστήματα απ' το F και σε άλλα διαστήματα απ' το E<sub>s</sub>. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην εξασθένηση του σήματος ή στη μερική του διάδοση βλέπε **σχήμα 1.8** . Το σποραδικό E<sub>s</sub> σε χαμηλά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του πρωινού και τις πρώτες νυκτερινές ώρες.



**Σχήμα 1.8** Πιθανές διαδρομές ραδιοκυμάτων παρόντος του σποραδικού E<sub>s</sub>

## 1.7 Περιοχή F

Το F εμφανίζεται στην περιοχή που πλημμυρίζεται από το ηλιακό φως, δηλαδή στο φωτεινό ημισφαίριο και όταν τα ιονοσφαιρικά χαρακτηριστικά των F1 και F2 ταυτίζονται. Όμως όλα αυτά δεν μπορούν να αποκλείσουν και τις παρεκκλίσεις. Στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη το F εμφανίζεται συνήθως κατά τη διάρκεια των νυκτερινών ωρών και γύρω απ' τις ισημερίες.

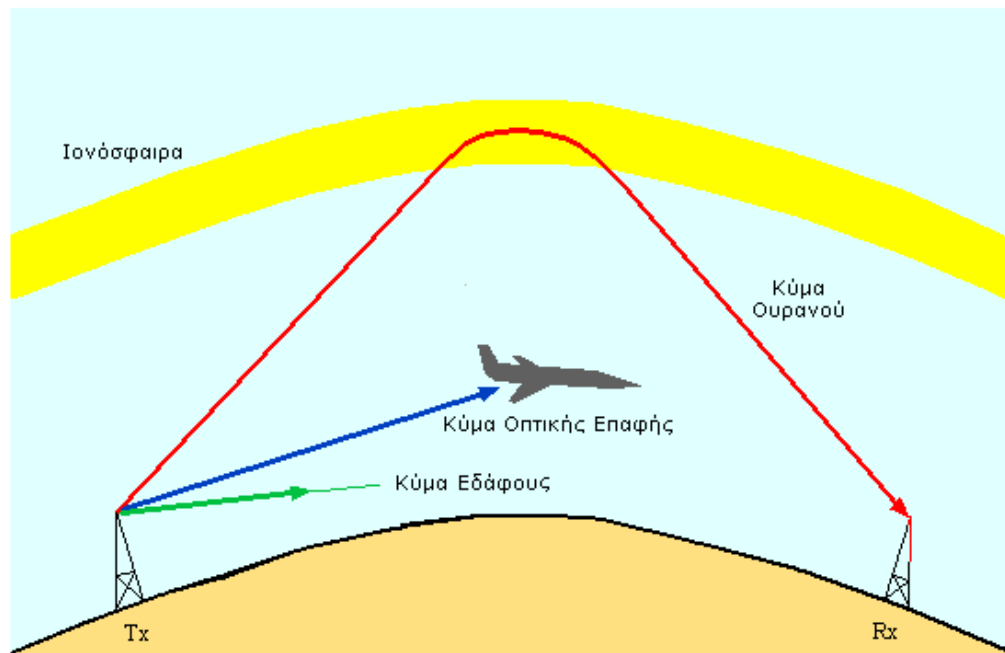
- Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη το F είναι λιγότερο πιθανό να εμφανιστεί απ' ό,τι εμφανίζεται στα χαμηλά και υψηλά πλάτη. Εδώ είναι πιθανότερη η εμφάνισή του τη νύχτα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
- Στα γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα του 40ου παράλληλου το F τείνει να γίνει χρονικό φαινόμενο νύχτας, που εμφανίζεται συνήθως γύρω απ' τις ισημερίες, ενώ γύρω απ' τους μαγνητικούς πόλους το F εμφανίζεται συχνά και την ημέρα και τη νύχτα.
- Σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη υπάρχει μια τάση εμφάνισης του F όταν υπάρχει μείωση στις τιμές των συχνοτήτων που φτάνουν σ' αυτή την περιοχή. Αυτό σημαίνει πως το στρώμα F συνδέεται άμεσα με τις ιονοσφαιρικές θύελλες (βλέπε παράγραφο 3.3).

## 2 Επικοινωνίες στα HF

### 2.1 Τα είδη διάδοσης των κυμάτων HF

Τα ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας HF (3-30 MHz) μπορούν να μεταδοθούν σε ένα μακρινό δέκτη, βλέπε σχήμα 2.1, με

- **Κύμα Εδάφους:** Είναι αυτό που διαδίδεται κοντά στο έδαφος και σε κοντινές αποστάσεις, περίπου 100 χ.λ.μ πέρα απ' το σημείο εκπομπής σε χερσαίο χώρο και 300 χ.λ.μ πάνω απ' τη θάλασσα. Η διαδρομή του κύματος εξαρτάται από το ύψος των κεραιών, την πόλωση, τη συχνότητα, τον τύπο του εδάφους, τη βλάστηση της περιοχής, τις χερσαίες εκτάσεις ή την κατάσταση της θάλασσας.
- **Κύμα οπτικής επαφής:** Είναι το κύμα που διαδίδεται σε ευθεία γραμμή. Αυτό όμως δέχεται επιδράσεις απ' το κύμα που ανακλάται από τη γη. Αυτό δε που θα εξασφαλίσει την καλή ραδιοζεύξη, έχει σχέση με τη συχνότητα και την πόλωση του ραδιοκύματος.
- **Ιονοσφαιρικό κύμα (κύμα ουρανού):** Είναι αυτό που διαθλάται απ' την ιονόσφαιρα και διαδίδεται σε όλες τις αποστάσεις μετά τη διάθλασή του.



Σχήμα 2.1 Τύποι διάδοσης των HF

## 2.2 Τα όρια συχνοτήτων των κυμάτων ουρανού

Δεν ανακλάται απ' την ιονόσφαιρα όλο το φάσμα των κυμάτων H.F. Υπάρχουν ανώτερα και κατώτερα όρια συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια επιτυχημένη ραδιοζεύξη σε αυτό το φάσμα ραδιοκυμάτων.

Εάν η συχνότητα είναι πολύ υψηλή, το σήμα διαπερνά την ιονόσφαιρα και δεν ανακλάται από αυτή. Εάν η συχνότητα είναι πολύ χαμηλή, τότε η ένταση του σήματος θα μειωθεί, με την απορρόφηση που δημιουργεί το στρώμα D καθώς διέρχεται μέσα από αυτή την περιοχή το σήμα.

Η χρησιμοποιούμενη συχνότητα αλλάζει:

- με την εποχή
- με την δραστηριότητα του ηλιακού κύκλου
- με την ώρα
- με τη γεωγραφική θέση
- ανάλογα με την ιονοσφαιρική περιοχή που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία.

Ενώ το ανώτερο όριο των συχνοτήτων ποικίλλει συνήθως μ' αυτούς τους συντελεστές που προαναφέρθηκαν, το χαμηλότερο όριο, εξαρτάται απ' το θόρυβο της περιοχής που βρίσκεται ο δέκτης, την απόδοση των κεραιών, την ισχύ εκπομπής, την έκταση του στρώματος E και την απορρόφηση που δημιουργεί το ιονοσφαιρικό στρώμα D, βλέπε παράγραφο 2.6 .

## 2.3 Τα όρια της χρησιμοποιούμενης συχνότητας

Για την εξασφάλιση μιας καλής επικοινωνίας μεταξύ δύο σημείων υπάρχει πάντα η **Μέγιστη Χρησιμοποιούμενη Συχνότητα** η **MUF ( Maximum Usable Frequency )**. Αυτή καθορίζεται απ' την κατάσταση της ιονόσφαιρας, γύρω απ' την περιοχή που γίνεται η διάθλαση του σήματος και από την απόσταση των δύο σημείων που πραγματοποιείται η επικοινωνία.

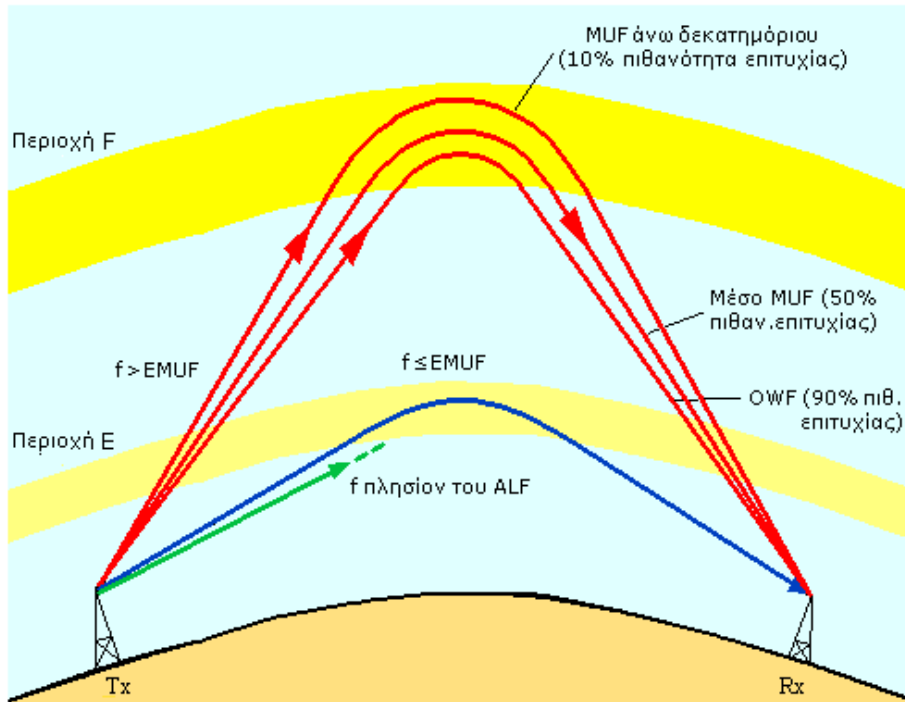
Η **MUF** διαθλάται στην ιονοσφαιρική περιοχή που υπάρχει η μεγαλύτερη πυκνότητα συσσώρευσης ηλεκτρονίων. Επομένως σήματα με υψηλότερη συχνότητα απ' αυτή της **MUF** θα διαπεράσουν την ιονοσφαιρική περιοχή χωρίς να ανακλαστούν απ' αυτή και θα εξέλθουν στο διαστημικό χώρο.

Κατά την διάρκεια της ημέρας είναι δυνατόν να επικοινωνήσουμε μέσω των στρωμάτων E και F, χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες. Η υψηλότερη συχνότητα που υποστηρίζεται απ' το στρώμα E, είναι η **EMUF**, ενώ αυτή που υποστηρίζεται απ' το F, είναι η **FMUF**.

Κυρίως στη περιοχή F, η MUF μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, εποχικά και με τον ηλιακό κύκλο. Μια σειρά των MUFs της περιοχής F, παρέχει τις προβλέψεις της ιονοσφαιρικής διάδοσης. Η περιοχή αυτή εκτείνεται από το κατώτερο δεκατημόριο MUF που ονομάζεται **Βέλτιστη Συχνότητας Εργασίας, (OWF, Optimum Working Frequency)**, διέρχεται από την ενδιάμεση MUF και καταλήγει στο άνω δεκατημόριο MUF. Αυτά τα MUFs έχουν μια πιθανότητα **90%, 50% και 10%** αντίστοιχα να υποστηριχθούν από την ιονόσφαιρα.

Συνήθως οι προβλέψεις καλύπτουν την περίοδο ενός μήνα. Η Βέλτιστη Συχνότητα Εργασίας (**OWF**) θα πρέπει να παρέχει επιτυχή διάδοση **90%** του χρόνου ή αντίστοιχα για τις **27 ημέρες** του μήνα. Το **μεσαίο MUF** θα πρέπει να παρέχει επιτυχή διάδοση **50%** ή για τις **15 ημέρες** του μήνα και το **ανώτερο δεκατημόριο MUF 10%** ή για τις **3 ημέρες** του μήνα.

Το άνω δεκατημόριο της MUF είναι η υψηλότερη συχνότητα του φάσματος MUFs και υπάρχει η δυνατότητα διεισδύοντας στην ιονόσφαιρα να εξέλθει από αυτή, (βλέπε σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Το φάσμα χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων

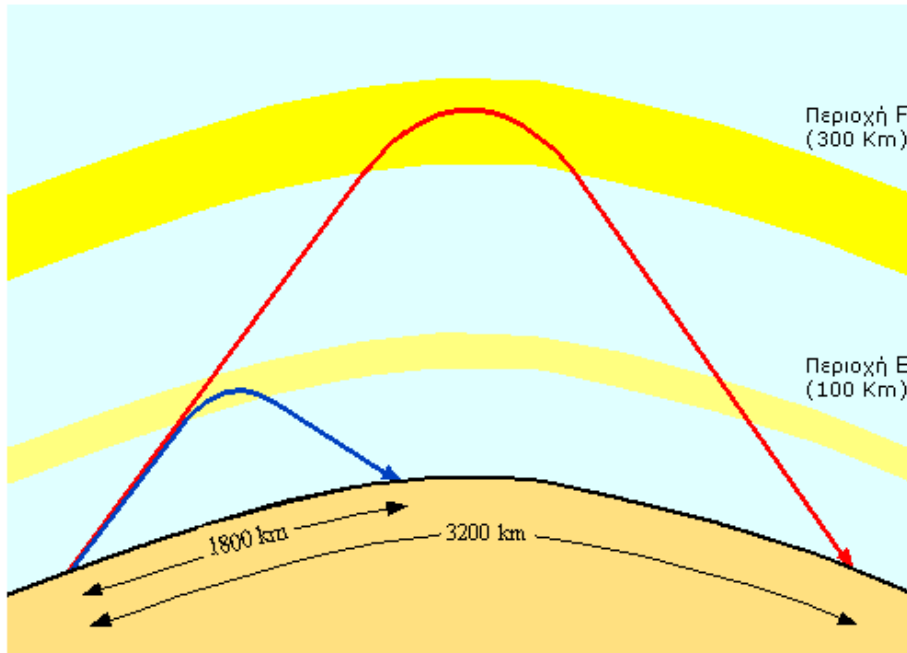
Εάν η συχνότητα  $f$  είναι κοντά στο όριο απορρόφησης μιας συχνότητας  $ALF$  (Absorption Limited Frequency) τότε το κύμα μπορεί να υποστεί απορρόφηση στην περιοχή  $D$ . Εάν η συχνότητα είναι πάνω από το  $EMUF$  η διάδοση γίνεται μέσω της περιοχής  $F$ . Πάνω από το  $FMUF$  το κύμα είναι πιθανόν να διεισδύσει στην ιονόσφαιρα.

Οι πιθανότητες μιας επιτυχούς διάδοσης αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους και στηρίζονται στη ορθή μηνιαία πρόβλεψη της ηλιακής δραστηριότητας. Μερικές φορές όμως, απρόβλεπτα γεγονότα που συμβαίνουν στον Ήλιο, έχουν σαν αποτέλεσμα η μηνιαία πρόβλεψη να μην είναι ακριβής. Για το λόγο αυτό λειτουργούν κέντρα συνεχούς παρακολούθησης της ηλιακής δραστηριότητας, με κύριο στόχο να παρέχουν διορθώσεις στις μηνιαίες προβλέψεις της ιονοσφαιρικής διάδοσης, προειδοποιώντας τους ενδιαφερόμενους για τις μεταβολές που επήλθαν στις συνθήκες ραδιοεπικοινωνίας.

Η περιοχή  $D$ , δεν επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν όλες οι συχνότητες καθότι η χαμηλότερη που θα χρησιμοποιηθεί είναι δυνατόν να απορροφηθεί.

Το **όριο απορρόφησης μιας συχνότητας  $ALF$**  (Absorption Limited Frequency) παρέχεται σαν οδηγός για το κατώτερο όριο του φάσματος των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων. Το  **$ALF$**  είναι σημαντικό μόνο για τις διαδρομές που τα σημεία διάθλασης των ραδιοκυμάτων βρίσκονται στο φωτεινό ημισφαίριο.





Σχήμα 2.3

Μήκη υπερπήδησης, με γωνία ανύψωσης κεραίας  $4^\circ$  μοίρες και με αντίστοιχα ύψη στρωμάτων E και F 100 km και 300 km.

Τη νύχτα, το **ALF** μηδενίζεται λόγω έλλειψης του στρώματος D, επιτρέποντας τις συχνότητες που δεν χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία.

## 2.4 Μήκος υπερπήδησης ή άλματος

Το μήκος υπερπήδησης (άλματος), είναι η επίγεια απόσταση, που ορίζεται μεταξύ κεραίας εκπομπής και κάποιου σημείου της γης που φτάνει το ραδιοκύμα μετά την διάθλασή του απ' την ιονόσφαιρα, βλέπε σχήμα 2.3.

Το ανώτερο όριο του μήκους υπερπήδησης εξαρτάται απ' το ύψος του ιονοσφαιρικού στρώματος που πραγματοποιεί τη διάθλαση του σήματος και την καμπυλότητα της γης. Για τα ύψη των περιοχών **E** και **F** 100 χ.λ.μ και 300 χ.λ.μ αντίστοιχα, τα μήκη των υπερπηδήσεων για μια γωνία ανύψωσης  $4^\circ$ , είναι 1800 χ.λ.μ και 3200 χ.λ.μ αντίστοιχα.

Για την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων απ' αυτές, θα χρειαστούν περισσότερες της μιας υπερπήδησης από τα ραδιοκύματα. Για παράδειγμα, για την κάλυψη μιας απόστασης 6100 χ.λ.μ θα απαιτηθεί ένα ελάχιστο 4 υπερπηδήσεων με διάθλαση από την περιοχή **E** και 2 υπερπηδήσεων με διάθλαση απ' την περιοχή **F** και για μια

γωνία ανύψωσης ίδια με αυτή που προαναφέρθηκε. Για περισσότερες υπερπηδήσεις (άλματα) απαιτούνται προφανώς μεγαλύτερες γωνίες ανύψωσης κεραίας.

## 2.5 Τρόποι μετάβασης ραδιοκυμάτων

Υπάρχουν πολλές διαδρομές μέσα απ' τις οποίες ένα ιονοσφαιρικό κύμα μπορεί να μεταβεί (διαδοθεί) από ένα πομπό σε ένα δέκτη.

Για κάθε ένα ξεχωριστά ιονοσφαιρικό στρώμα, ο τρόπος μετάβασης του ραδιοκύματος από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, που απαιτεί τον **μικρότερο αριθμό υπερπηδήσεων, (αλμάτων)** μεταξύ των συσκευών πομπού και δέκτη, λέγεται **τρόπος μετάβασης πρώτου βαθμού**. Ο τρόπος που απαιτεί επί πλέον και μια άλλη υπερπήδηση, λέγεται **τρόπος μετάβασης δευτέρου βαθμού**.

Για μια ραδιοεπικοινωνία HF μεταξύ δυο σημείων, που απέχουν **5000 χ.λ.μ**, ο **τρόπος μετάβασης πρώτου βαθμού F** θα απαιτούσε τουλάχιστον δύο υπερπηδήσεις (**2F**) ενώ ο **τρόπος μετάβασης δευτέρου βαθμού** θα απαιτούσε 3 υπερπηδήσεις (**3F**).

Εάν ο τρόπος μετάβασης πρώτου βαθμού **E** έχει τον ίδιο αριθμό υπερπηδήσεων με τον τρόπο μετάβασης πρώτου βαθμού **F**, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα μήκος υπερπηδήσεων μεγαλύτερο των **2050 χιλιομέτρων**, που αντιστοιχεί σε γωνία ανύψωσης **0°** (μοίρες). Με αυτές τις προϋποθέσεις η διαδικασία διάδοσης στη ζώνη **E** δεν είναι δυνατή.

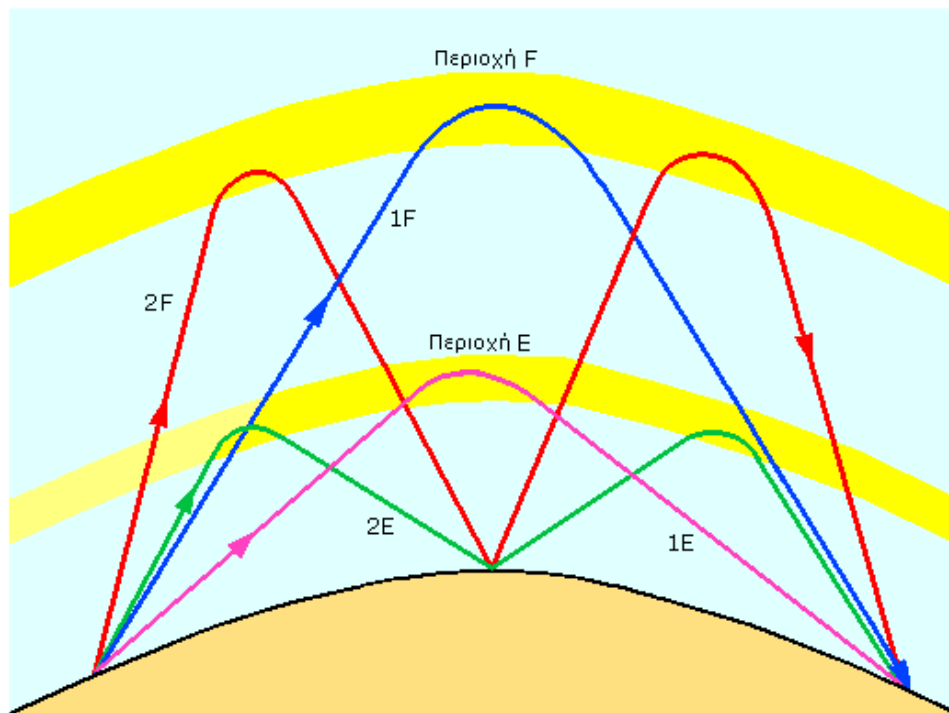
Το ίδιο ισχύει και για το τρόπο μετάβασης δευτέρου βαθμού **E**, (**2E**). Αυτό φυσικά μπορεί να συμβαίνει μόνο στο ημισφαίριο που φωτίζεται καθότι μόνο εκεί βρίσκεται η περιοχή **E**.

**Απλοί τρόποι διάδοσης** είναι αυτοί που γίνονται σε μια περιοχή όπως π.χ στη **F** (βλέπε **σχήμα 2.4**). Περισσότερο **περίπλοκοι τρόποι μετάβασης ραδιοκυμάτων** είναι αυτοί που αποτελούνται από συνδυασμούς διαθλάσεων μέσα από τις περιοχές **E** και **F**, και μπορούν να είναι **χορδικού τύπου** ή **κυματοδηγούμενες**, βλέπε **σχήμα 2.5**.

**Οι χορδικός τρόπος διάδοσης και ο κυματοδηγούμενος, περιλαμβάνουν μια σειρά διαθλάσεων από ξεχωριστά ιονοσφαιρικά στρώματα, χωρίς ενδιάμεσες ανακλάσεις από το έδαφος.**

Είναι λανθασμένη η άποψη, να θεωρούμε πως οι περιοχές της ιονόσφαιρας παρουσιάζουν μια ομαλότητα, αντίθετα αυτές κινούνται κυματοειδώς με κυματισμούς που μπορούν να επηρεάζουν τη διάθλαση του ραδιοκύματος που τις διασχίζει.

Οι ιονοσφαιρικές περιοχές ανατρέπονται και όταν συμβαίνει αυτό, μπορούν να εκδηλωθούν χορδικοί και κυματοδηγούμενοι τρόποι διάδοσης.



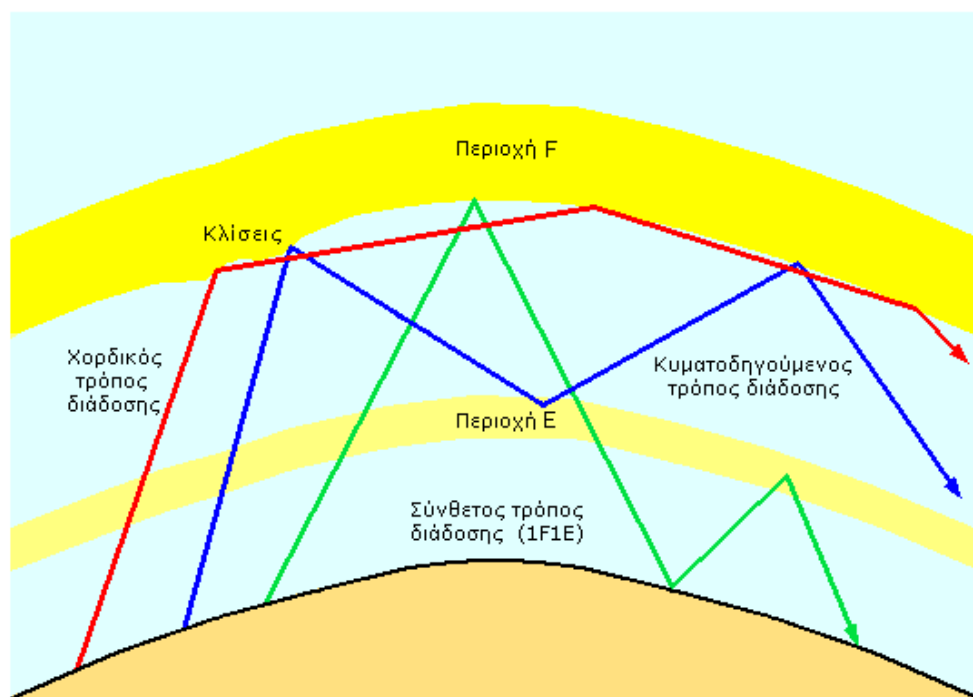
**Σχήμα 2.4 Απλοί τρόποι διάδοσης**

Τις ιονοσφαιρικές κλίσεις (εξοχές, εσοχές) είναι πιθανότερο να τις συναντήσουμε κοντά στην ισημερινή ανωμαλία, σε βυθίσεις μεσαίου γεωγραφικού πλάτους και σε τομείς που βρίσκονται στην ανατολή και δύση του ηλίου, δηλαδή κοντά στην **γκρίζα γραμμή (Greyline)**.

Όταν η διάδοση γίνεται κάτω από αυτή τη διαδικασία που προαναφέρθηκε, τα σήματα είναι ισχυρά διότι κινούνται μεταξύ ιονοστρωμάτων, δεν κατέρχονται στο στρώμα D που θα τους επιφέρει απόσβεση και ούτε ανακλώνται από το έδαφος που θα τους δημιουργούσε επίσης και αυτό απόσβεση.

Σε περιοχές απόστασης **15° μοιρών** από τον μαγνητικό ισημερινό (κοντά στην ισημερινή ανωμαλία), στη φωτιζόμενη ιονόσφαιρα, παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρονίων. Οι διημερινές διαδρομές επωφελούμενες αυτού του φαινομένου βελτιώνουν τη διάδοση των ραδιοκυμάτων δίνοντας ώθηση στη χρήση υψηλότερων συχνοτήτων.

**Οποιαδήποτε κλίση της ιονόσφαιρας μπορεί να οδηγήσει σε χορδική διάδοση και την ύπαρξη ισχυρών σημάτων που θα καλύψουν μεγάλες αποστάσεις.**



**Σχήμα 2.5 Άλλοι τρόποι διάδοσης**

Μπορεί να υπάρξει κυματοδηγήση σε περιοχές της ιονόσφαιρας που παρουσιάζουν μια κλίση. Εξ' αιτίας αυτής μπορεί να παγιδευτεί το ραδιοκύμα σε κάποια διαδρομή, μεταξύ δύο ιονοσφαιρικών στρωμάτων από τα οποία θα υποστεί πολλαπλές διαθλάσεις. Το πιο πιθανό είναι να συμβεί αυτό στην **ισημερινή περιοχή**, κοντά στις **περιοχές του σέλαος** και σε **βυθίσεις (trough) μεσαίου γεωμαγνητικού πλάτους**.

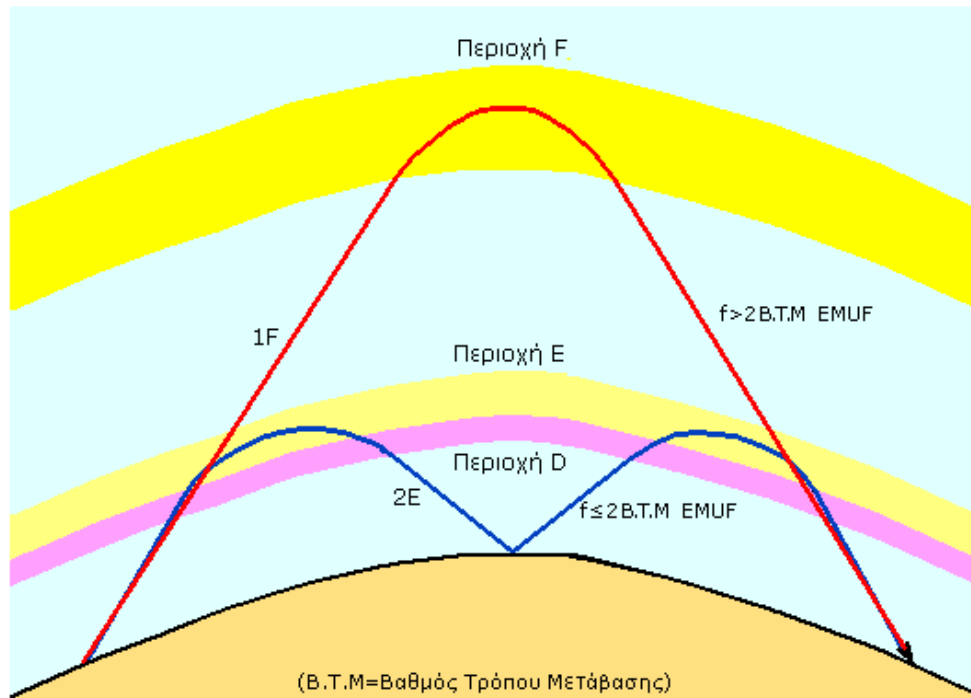
**Οι Ιονοσφαιρικές Διαταραχές όπως και οι Οδεύουσες Ιονοσφαιρικές Διαταραχές** μπορούν να προκαλέσουν κυματοδηγήση και χορδική διάδοση.

## 2.6 Έλεγχος από το στρώμα E

Για τις ραδιοζεύξεις μέσω της περιοχής **F** κατά τη διάρκεια της ημέρας, η χαμηλότερη χρησιμοποιούμενη συχνότητα με τρόπο μετάβασης πρώτου βαθμού (**1F**), εξαρτάται από την παρουσία της περιοχής **E**.

Εάν η συχνότητα λειτουργίας για τον τρόπο μετάβασης **1F** είναι μικρότερη από το **EMUF** δύο υπερπηδήσεων, τότε το σήμα είναι απίθανο να διαδοθεί μέσω της περιοχής **F** λόγω εμποδίου που προβάλλεται από την περιοχή **E** (βλέπε **σχήμα 2.6**).

Αυτό συμβαίνει επειδή οι γωνίες ανύψωσης της κεραίας και για τους δύο τρόπους μετάβασης **1F** και **2E** είναι παρόμοιες.



Σχήμα 2.6

Η επιλογή του στρώματος E με B.T.M 2E γίνεται όταν η ραδιοζεύξη με B.T.M 1F και η συχνότητα λειτουργίας είναι κοντά ή κάτω από την EMUF. Η διαδρομή του 1F διέρχεται δύο (2) φορές από την περιοχή D, του 2E τέσσερις (4).

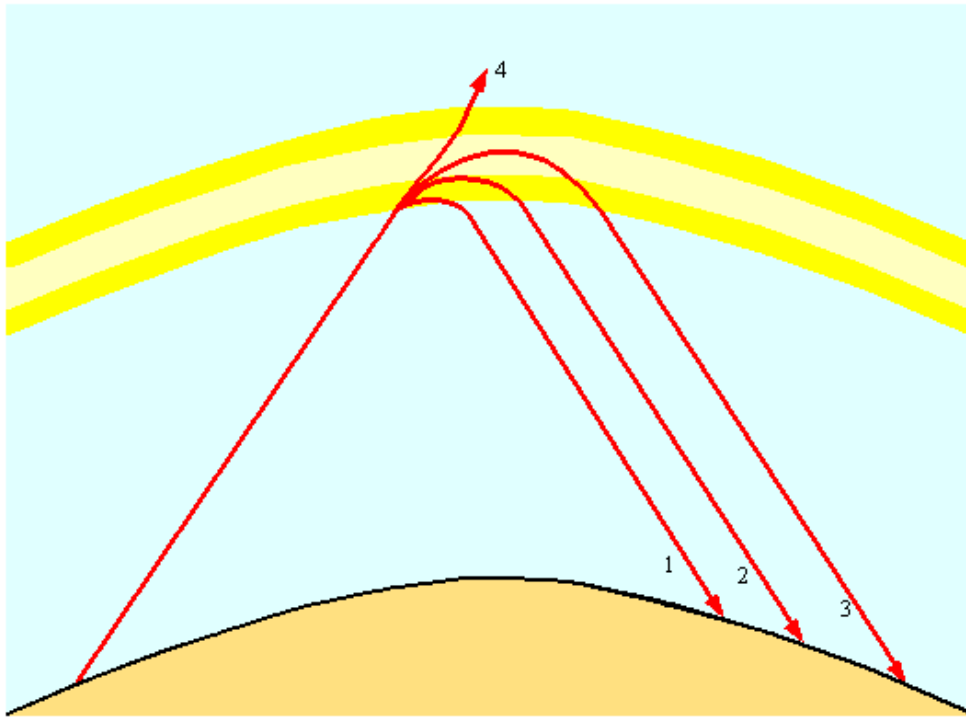
Το σποραδικό Es μπορεί να εμποδίσει τη μετάβαση ενός κύματος προς την περιοχή F. Άλλες φορές αυτό το στρώμα μπορεί να είναι αρκετά διαφανές (διαπερατό) επιτρέποντας το μεγαλύτερο μέρος του ραδιοκύματος να το διαπεράσει και άλλες φορές του προβάλλει μερικό αποκλεισμό και εξασθένηση καθώς οδεύει προς την περιοχή F, από την οποία και θα διαθλαστεί.

Άλλες φορές πάλι το σποραδικό Es μπορεί να γίνει εντελώς αδιαφανές, να καλύπτει δηλαδή εντελώς την περιοχή F, με αποτέλεσμα το σήμα, να μην μπορεί να φτάσει στο δέκτη, (βλέπε σχήμα 1.8, παράγραφος 1.6) .

## 2.7 Συχνότητα, μήκος διαδρομής και γωνία ανύψωσης

Η διάδοση των ραδιοκυμάτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τρία μεταβλητά μεγέθη :

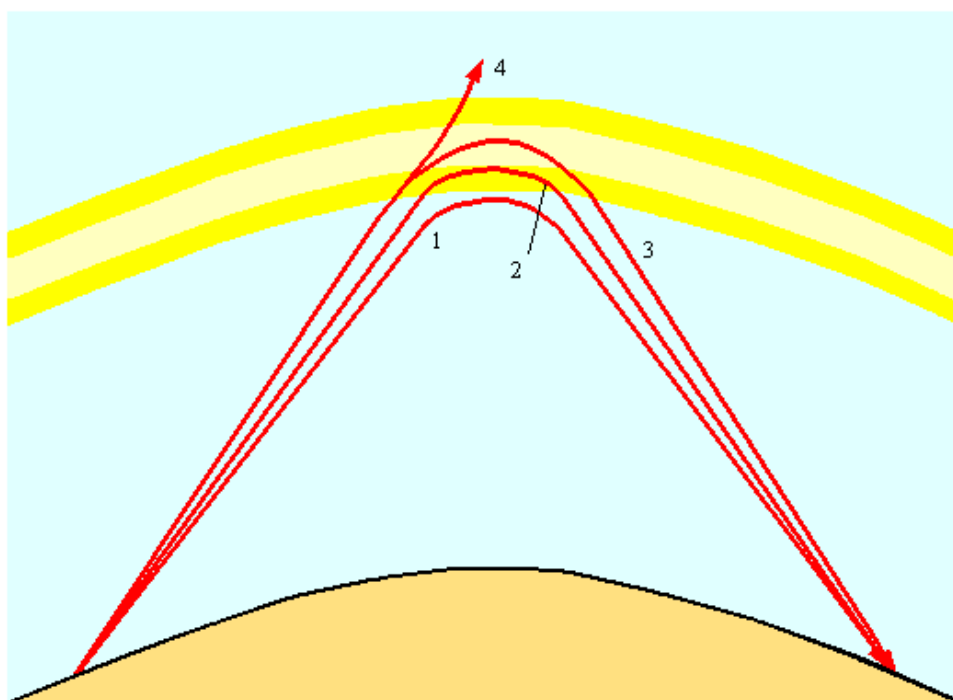
- Τη συχνότητα,
- Το διανυόμενο διάστημα ή το μήκος διαδρομής (επί της γης) και
- Τη γωνία ανύψωσης της κεραίας.



Σχήμα 2.7 Σταθερή γωνία εκπομπής.

- Καθώς αυξάνεται η συχνότητα της MUF, το κύμα διαθλάται στα υψηλότερα σημεία της ιονόσφαιρας αυξάνοντας το εύρος της εμβέλειας, διαδρομές 1 και 2.
- Στη MUF επιτυγχάνεται η κρίσιμη γωνία ανύψωσης, με μέγιστη διαδρομή την 3.
- Η κρίσιμη γωνία ανύψωσης αντιστοιχεί σε μια κρίσιμη συχνότητα που η υπέρβασή της οδηγεί το σήμα να διαφύγει στο διαστημικό χώρο (MUF διαδρομής 4).

Το **σχήμα 2.7** απεικονίζει τις διαφορές στο μήκος των διαδρομών, τοποθετημένες με κάποια σειρά.



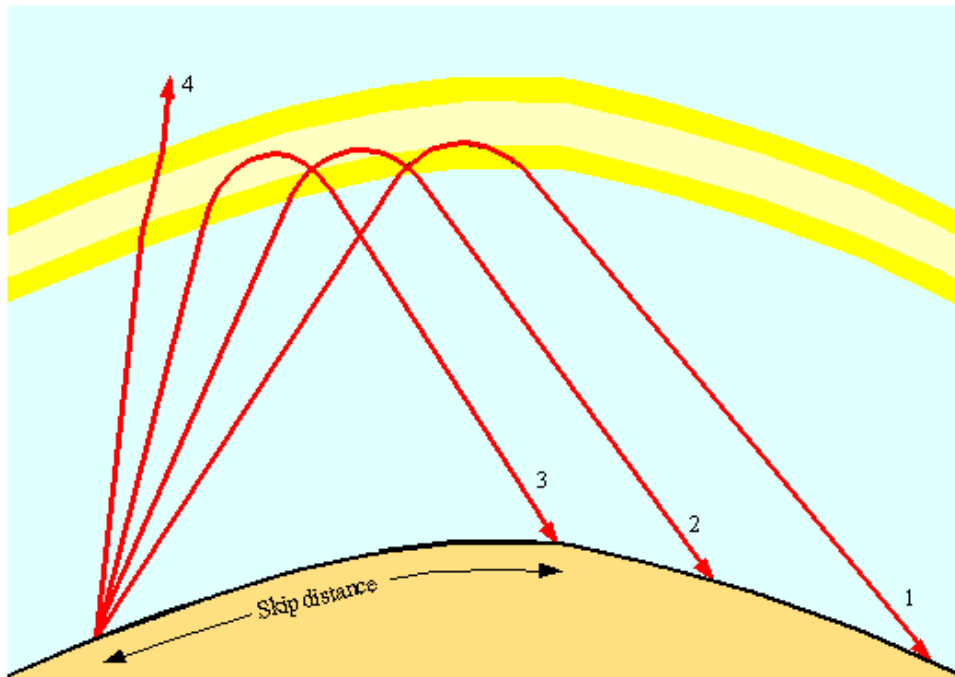
Σχήμα 2.8 Διαδρομές σταθερού μήκους

*Διαδρομή σταθερού μήκους από σημείο σε σημείο (point to point).*

- Καθώς η συχνότητα αυξάνεται, αυξάνεται και το MUF, το κύμα διαθλάται από τα υψηλότερα σημεία της ιονόσφαιρας.
- Για να διατηρηθεί η διαδρομή σταθερού μήκους, η γωνία εκπομπής πρέπει να αυξηθεί, διαδρομές 1 και 2.
- Στη MUF, η κρίσιμη γωνία ανύψωσης επιτυγχάνεται, στη διαδρομή 3.
- Η κρίσιμη γωνία ανύψωσης είναι η γωνία ανύψωσης για μία συγκεκριμένη συχνότητα, η οποία αν αυξηθεί, θα προκαλέσει τη διείσδυση της στην ιονόσφαιρα με αποτέλεσμα τη διαφυγή της στο διαστημικό χώρο.
- Πάνω από τη MUF, η ακτίνα διαπερνά την ιονόσφαιρα, διαδρομή 4.

## 2.8 Η ζώνη υπερπήδησης ή άλματος (skip zone)

Η ζώνη υπερπήδησης ή άλματος (skip zone) είναι η περιοχή γύρω από έναν πομπό στην οποία δεν διαδίδονται ούτε τα κύματα ουρανού ούτε τα δε κύματα εδάφους τα οποία φθίνουν γύρω από τον πομπό σε συνάρτηση με την συχνότητά τους και έχουν μικρή εμβέλεια.

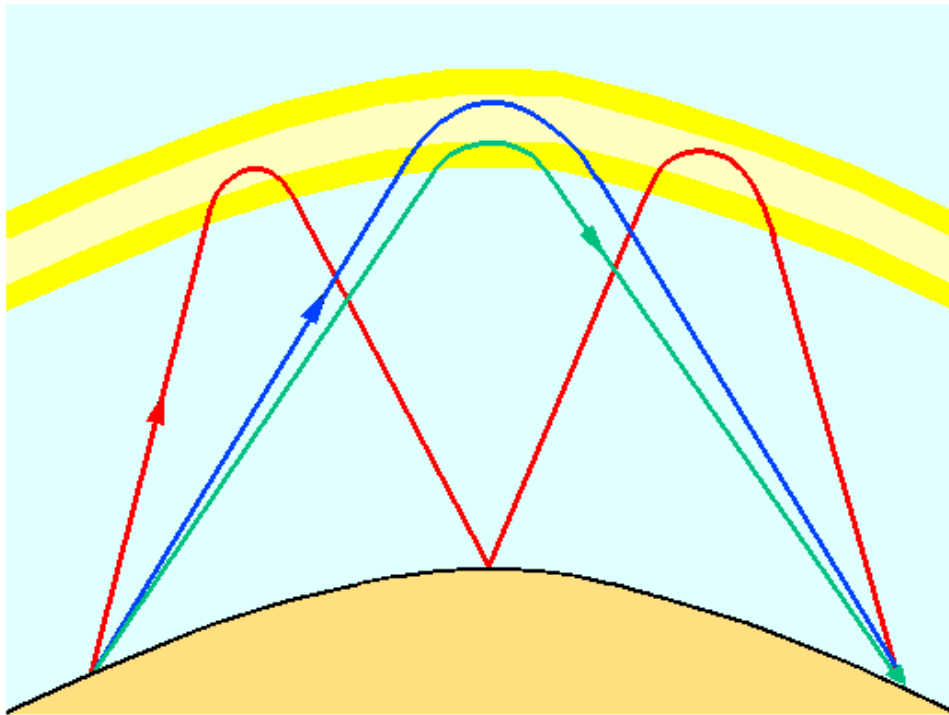


Σχήμα 2.9 Σταθερή συχνότητα

- Μικρές γωνίες εκπομπής, μεγαλύτερες αποστάσεις διαδρομής (αποστάσεις εδάφους), διαδρομή 1.
- Καθώς η γωνία εκπομπής αυξάνεται, το μήκος της διαδρομής μειώνεται και το κύμα διαθλάται από τα υψηλότερα σημεία στις ιονόσφαιρας, διαδρομές 2 και 3.
- Αν το σήμα σταλεί κατακόρυφα προς τα πάνω στην ιονόσφαιρα και επιστρέφει δεν θα υπάρχει γύρω από την κεραία ζώνη σιγής. Ωστόσο, αν δεν συμβεί αυτό, σημαίνει ότι η γωνία αυξήθηκε τόσο πέρα από την κρίσιμη γωνία για τη συχνότητα αυτή, διαπέρασε την ιονόσφαιρα και διέφυγε. Υπάρχει μια περιοχή γύρω από τον πομπό εντός της οποίας δεν υπάρχουν λήψεις κυμάτων ουρανού, διαδρομή 4. Για να επικοινωνήσουμε με κύμα ουρανού μέσα στη ζώνη του skip πρέπει να μειωθεί η συχνότητα εργασίας.

Τις ζώνες υπερπήδησης (skip zones) μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε επωφελώς εάν θέλουμε η εκπομπή ενός σταθμού να μην ακούγεται από ένα συγκεκριμένο δέκτη που βρίσκεται μέσα στην περιοχή αυτή και φυσικά πέρα από την εμβέλεια των κυμάτων εδάφους, πρόκειται δηλαδή για τη **ζώνη σιγής**. Η επιλογή μιας διαφορετικής συχνότητας θα αλλάξει το μέγεθος της ζώνης υπερπήδησης. Εάν ο δέκτης βρίσκεται μέσα σε αυτή τη περιοχή και εκτός εμβέλειας των κυμάτων εδάφους, υπάρχει πιθανότητα να έχουμε λήψη του εν λόγω σήματος.



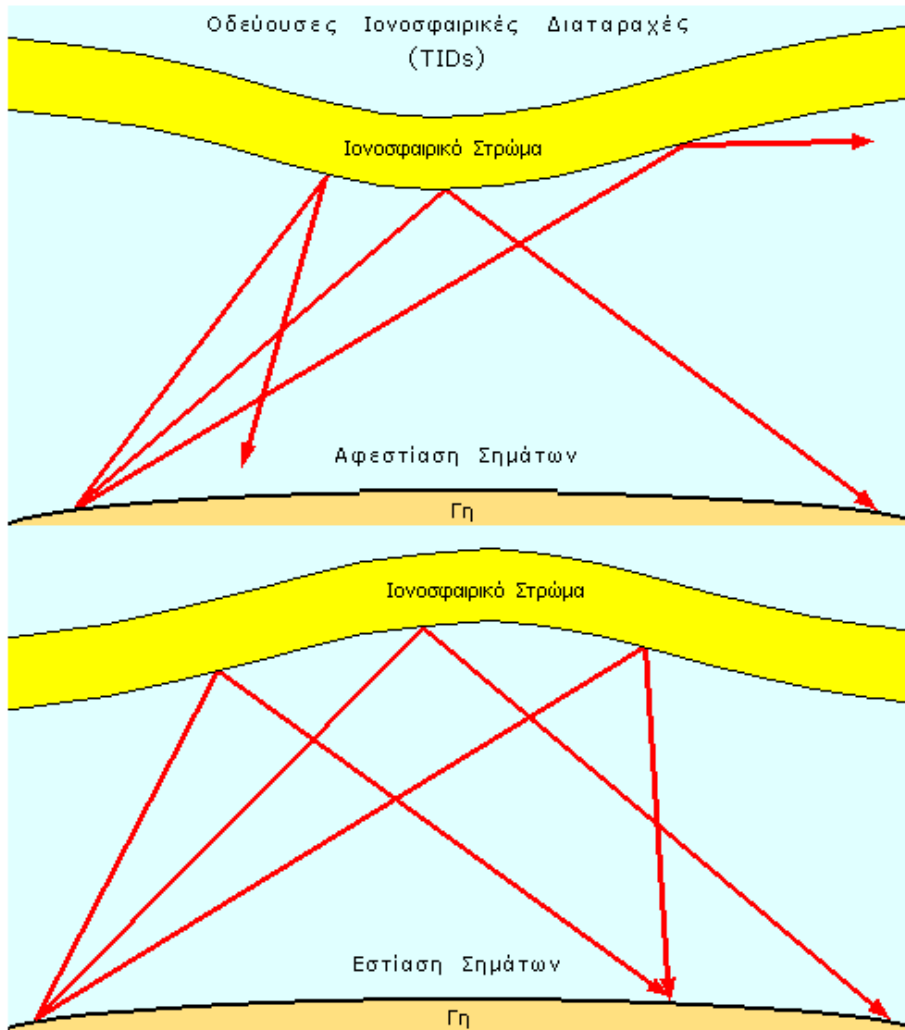


Σχήμα 2.10 Εξασθένηση πολυδιόδευσης

*Το σήμα μπορεί και ταξιδεύει μέσα από διαφορετικές διαδρομές. Όταν οι ξεχωριστές διαδρομές φθάνουν στο δέκτη, παρόμοιου πλάτους αλλά με διαφορά φάσης, μπορούν να παρουσιάσουν εξασθένηση.*

Ωστόσο, παράγοντες όπως η **πλαγιοδιασπορά** (πλαγιοσκεδάση, *sidescatter*), έξω από την περιοχή αναπήδησης, με την ανάκλαση των κυμάτων ουρανού από το έδαφος, μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία αυτής της τεχνικής.

**Το μέγεθος της ζώνης υπερπήδησης μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, με τις αλλαγές των εποχών και με την ηλιακή δραστηριότητα.** Κατά τη διάρκεια της ημέρας με ηλιακό μέγιστο και κατά τις ισημερίες, οι ζώνες υπερπήδησης γενικά καταλαμβάνουν μικρότερη έκταση. Στην ιονόσφαιρα, κατά τη διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων που αναφέρθηκαν, η πυκνότητα των ηλεκτρονίων που εμπεριέχει είναι αυξημένη και έτσι δίνει την δυνατότητα στη χρήση και λειτουργία υψηλότερων συχνοτήτων.



Σχήμα 2.11

Φαινόμενα εστίασης και αφεστίασης, που προκαλούνται από καμπύλες εσοχές και εξοχές του ιονοστρώματος και Οδεύουσες Ιονοσφαιρικές Διαταραχές TIDs.

## 2.9 Διαλείψεις (Fading)

Οι διαλείψεις πολυδιόδευσης είναι αποτελέσματα της διασποράς του σήματος από την κεραία εκπομπής. Εάν πάρουμε ένα σύνολο διαδρομών ραδιοκυμάτων που έχουν την ίδια, αφετηρία και το ίδιο σημείο άφιξης, θα παρατηρήσουμε πως έχουν διαφοροποιηθεί στην φάση και το πλάτος. Τα κύματα αυτά φθάνοντας στο δέκτη δίνουν μια συνισταμένη από τη μεταξύ τους αλληλοεπίδραση, βλέπε σχήμα 2.10.

Διαταραχές, γνωστές με την επωνυμία "Οδεύουσες Ιονοσφαιρικές Διαταραχές", TIDs (Travelling Ionospheric Disturbances), μπορούν να προκαλέσουν στο

ιονόσφρωμα **προεξοχές ή εσοχές (κλίσεις)**, με αποτέλεσμα το σήμα που διαθλάται επάνω σε αυτά τα σημεία, να **εστιάζεται ή να αφεστιάζεται** (βλέπε **σχήμα 2.11**).

Με αυτές τις ιονοσφαιρικές δομές μπορεί να συνδέονται **διαλείψεις** περιόδου της τάξης των 10 λεπτών ή και περισσότερο. Τα **TIDs** κινούνται οριζοντίως με **5-10 km/λεπτό** σε μια καθορισμένη κατεύθυνση ως προς την κίνηση που εκτελούν.

Μερικές ιονοσφαιρικές διαταραχές προέρχονται από τις ζώνες του σέλαος, μετά από μια έντονη έκλαμψη στον Ήλιο. Οι διαταραχές αυτές μπορούν να διασχίσουν μεγάλες αποστάσεις.

Άλλες πάλι μπορούν να προέλθουν από έντονα καιρικά φαινόμενα.

Τα **TIDs** μπορεί να προκαλέσουν μεταβολές στην φάση, το πλάτος, την πόλωση και τη γωνία άφιξης του κύματος.

Η αλλοίωση της πόλωσης είναι το αποτελέσματα των αλλαγών της πόλωσης του κύματος κατά μήκος της διαδρομής διάδοσης.

Η κεραία λήψης αδυνατεί να λάβει συνιστώσες του σήματος. Αυτός ο τύπος διαλείψεων μπορεί να διαρκέσει για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου έως μερικά δευτερόλεπτα.

Η παράκαμψη και η εξασθένηση μπορεί να παρατηρηθεί ιδιαίτερα γύρω από την ανατολή και τη δύση του ήλιου, όταν η συχνότητα λειτουργίας είναι κοντά στο MUF, ή όταν η κεραία λήψης βρίσκεται κοντά στο όριο της ζώνης λήψης του διαθλώμενου κύματος από την ιονόσφαιρα.

Αυτές τις ώρες της ημέρας, η ιονόσφαιρα είναι ασταθής και η συχνότητα μπορεί να ταλαντώνεται πάνω - κάτω από το MUF προκαλώντας εξασθένηση του σήματος.

Αν η τοποθεσία του δέκτη είναι κοντά στο όριο της ζώνης αναπήδησης, με τις αυξομειώσεις της ιονόσφαιρας κυμαίνονται και τα όρια αυτής της ζώνης.

## 2.10 Θόρυβος

Τα αίτια του **ραδιοθορύβου** μπορεί να έχουν **εσωτερική ή εξωτερική προέλευση**. Ο εσωτερικός ή θερμικός θόρυβος παράγεται στο σύστημα λήψης των δεκτών και είναι συνήθως αμελητέος σε σύγκριση με τον εξωτερικό.

Ο εξωτερικός ραδιοθόρυβος προέρχεται από φυσικές πηγές, ατμοσφαιρικές, γαλαξιακές καθώς επίσης και τεχνητές, που έχουν σχέση με τις εφαρμογές του ηλεκτρισμού όπως ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο.

Ο ατμοσφαιρικός θόρυβος προκαλείται από καταιγίδες, που είναι συνήθως το κύριο αίτιο ραδιοφωνικού θορύβου στη ζώνη των HF. Μπορούμε όμως να τον υποβαθμίσουμε τοποθετώντας ειδικά κυκλώματα στους δέκτες. Αυτός ο θόρυβος είναι μεγαλύτερος στις περιοχές του ισημερινού και μειώνεται με την αύξηση του

γεωγραφικού πλάτους. Η επίδρασή του είναι επίσης μεγαλύτερη στις χαμηλότερες συχνότητες και ως εκ τούτου, είναι συνήθως πρόβλημα συνδεδεμένο με το ηλιακό ελάχιστο. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος ελαχιστοποιείται η απορρόφηση των σημάτων από το D, όπως και κατά τη διάρκεια της νύχτας, που απουσιάζει αυτό το ιονόσπρωμα. Έτσι λοιπόν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλότερες συχνότητες για την διενέργεια ραδιοεπικοινωνιών.

Ο Γαλαξιακός θόρυβος προέρχεται από το γαλαξία. Κεραίες λήψης με υψηλές γωνίες λοβών είναι πιθανότερο να επηρεαστούν από αυτό το είδος του θορύβου.

Ο τεχνικός θόρυβος προέρχεται από τα συστήματα ανάφλεξης των αυτοκινήτων, φωτεινές επιγραφές νέον, από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτρικά μοτέρ, μηχανές συγκόλλησης και άλλα. Αυτό το είδος του θορύβου στο χώρο που εκδηλώνεται, εξαρτάται από την τεχνολογική πρόοδο της κοινωνίας και το μέγεθος του πληθυσμού.

Οι παρεμβολές από άλλους χρήστες στην ίδια συχνότητα μπορεί να είναι και σκόπιμες μερικές φορές, όπως και οι εμπλοκές που οφείλονται σε συνθήκες διάδοσης.

Ο τεχνητός θόρυβος έχει **κάθετη πόλωση**, οπότε η επιλογή μιας κεραίας με οριζόντια πόλωση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του. Χρησιμοποιώντας ένα στενότερο εύρος ζώνης, ή μια κατευθυνόμενη κεραία λήψης με το λοβό της εστραμμένο στην κατεύθυνση εκπομπής του σήματος και ταυτόχρονα απομακρυσμένη από την κατεύθυνση της πηγής θορύβου, θα μπορέσει να μας δώσει καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά την ελάττωση του θορύβου.

Επιλέγοντας μια περιοχή χαμηλού θορύβου και προσδιορίζοντας τις κυριότερες πηγές θορύβου που υπάρχουν γύρω της, αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την δημιουργία ενός επιτυχημένου χώρου εγκατάστασης συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας.

## 2.11 Η Διάδοση στα VHF και των 27MHz

Τα VHF και οι 27MHz (CB) χρησιμοποιούνται για ραδιοεπικοινωνίες οπτικής επαφής ή για άμεση ραδιοεπικοινωνία τύπου από **πλοίο-σε-πλοίο (ship-to-ship)** ή από **πλοίο-σε ακτή. (ship-to-shore)**.

Το φάσμα αυτών των περιοχών χωρίζεται σε κανάλια και το κάθε κανάλι παρουσιάζει ταυτόσημες ιδιότητες με το σύνολο των υπόλοιπων καναλιών. Αυτό σε αντίθεση με το φάσμα των μεσαίων κυμάτων (MF: 300kHz - 3MHz) και των HF, όπου η επιλογή κάποιας συχνότητας μπορεί να είναι κρίσιμη για την καλή λειτουργία μιας ραδιοζεύξης.

Επειδή τα VHF και οι 27MHz διαδίδονται κυρίως με οπτική επαφή, είναι σημαντικό να τοποθετηθεί η κεραία όσο γίνεται σε υψηλότερα σημεία και να μην υπάρχουν εμπόδια.

Οι χερσαίοι σταθμοί τοποθετούνται συνήθως σε κορυφές λόφων για να παρέχουν τη μέγιστη εμβέλεια επικοινωνίας, παρ' όλα αυτά όμως ούτε οι υψηλότεροι λόφοι δεν παρέχουν την κάλυψη πέραν των 45 ναυτικών μιλίων (περίπου 80 χλμ) λόγω της γήινης καμπυλότητας.

Οι κεραιές των VHF και 27MHz πρέπει να κατευθύνουν την ακτινοβολία τους με χαμηλές γωνίες ανύψωσης (ως προς τον ορίζοντα) εάν λάβουμε υπόψη, ότι η ακτινοβολία που κατευθύνεται με υψηλή γωνία ανύψωσης, θα περάσει συνήθως επάνω από την κεραία λήψης εκτός και εάν πρόκειται για επικοινωνία με αεροσκάφη.

Τα VHF και οι 27MHz δεν επηρεάζονται συνήθως από θορύβους εκτός εάν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους υπάρχουν έντονες ηλεκτρικές παρεμβολές. Η παρεμβολές στα κανάλια των 27MHz προκύπτουν από την παρουσία πολλών χρηστών που επιθυμούν ταυτόχρονα να χρησιμοποιήσουν τον περιορισμένο αριθμό καναλιών σε αυτή τη συχνότητα και αυτό καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα στα μεγάλα αστικά κέντρα που προφανώς οι χρήστες είναι περισσότεροι.

Οι 27MHz και οι χαμηλότερες συχνότητες στη ζώνη VHF μπορούν, κατά περιόδους, να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις λόγω ειδικών συνθηκών της διάδοσης, χωρίς να παραβιάζουν τους κανονισμούς και περιορισμούς που διέπουν τη λειτουργία επικοινωνιών οπτικής επαφής. Οι κύριοι λόγοι για το πώς μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό είναι οι εξής:

- Αυτό μπορεί να γίνει κατά την διάρκεια της μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας και κατά την διάρκεια της ημέρας. Η ιονοσφαιρική περιοχή F θα ευνοήσει τα κύματα ουρανού μεγάλης εμβέλειας όπως αυτά των 27MHz και άλλων μεγαλύτερων συχνοτήτων.
- Το σποραδικό Es μπορεί μερικές φορές να ευνοήσει τη διάδοση των 27 MHz και τη διάδοση των χαμηλότερων συχνοτήτων των VHF πλησιάζοντας την εμβέλεια των 500 έως 1000 ναυτικών μιλίων (1000 έως 2000 χλμ.) σε μήκος. Αυτό το είδος της διάδοσης είναι πιθανό να εμφανιστεί σε μεσαία πλάτη, κατά τη διάρκεια της ημέρας των θερινών περιόδων.
- Οι 27MHz και τα VHF μπορούν επίσης να διαδοθούν με τη βοήθεια των αντιστροφών θερμοκρασίας σε ύψη μερικών χιλιομέτρων. Με αυτούς τους όρους, τα ραδιοκύματα κάμπτονται βαθμιαία από την αντιστροφή θερμοκρασίας για να ακολουθήσουν την καμπυλότητα της γης. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να καλυφθούν από αυτά αποστάσεις αρκετών ναυτικών μιλίων.

## **2.12 Μεσαίες συχνότητες (MF), διάδοση κυμάτων ουρανού**

Τόσο η περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων (μεσαίων κυμάτων) **MF (300 kHz έως 3 MHz)** όσο και περιοχή των βραχέων κυμάτων **HF** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μακρινές ραδιοεπικοινωνίες με κύματα ουρανού τη νύχτα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η περιοχή **D** εξαφανίζεται και έτσι η απορρόφηση πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αυτός είναι ο λόγος που δραστηριοποιούνται στην περιοχή των MF σταθμοί ραδιοφωνικής μετάδοσης και η μπάνα των 4 MHz μπορεί να ακουστεί σε μεγάλες αποστάσεις το βράδυ.

## **2.13 Κύματα εδάφους MF και η διάδοση των HF**

Στη θάλασσα έχουμε την δυνατότητα επικοινωνίας σε αποστάσεις αρκετών εκατοντάδων ναυτικών μιλίων στις περιοχές των μεσαίων (MF) και βραχέων κυμάτων (HF), χρησιμοποιώντας τη διάδοση των κυμάτων εδάφους.

Το κύματα εδάφους ακολουθούν την καμπυλότητα της γης και η εμβέλειά τους δεν εξαρτάται από το ύψος της κεραίας, ούτε από την ισχύ του πομπού αλλά από τη συχνότητα λειτουργίας.

**Οι χαμηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια από τις υψηλές συχνότητες.** Έτσι, κάτω από ιδανικές συνθήκες χαμηλού θορύβου (το μεσημέρι, κατά τη διάρκεια του χειμώνα), είναι δυνατή η επικοινωνία σε αποστάσεις περίπου 500 ναυτικών μιλίων στους 2 MHz, χρησιμοποιώντας ένα πομπό ισχύος 100 W. Στους 8 MHz υπό τις ίδιες συνθήκες και χρησιμοποιώντας την ίδια ισχύ πομπού, η εμβέλεια μειώνεται περίπου στα 150 ναυτικά μίλια.

Να σημειωθεί ότι η διάδοση των κυμάτων εδάφους είναι λιγότερο αποτελεσματική πάνω από χερσαίες εκτάσεις από ότι είναι πάνω από τη θάλασσα, λόγω της μικρότερης αγωγιμότητας του εδάφους και της συμβολής άλλων παραγόντων. Κατά συνέπεια, η εμβέλεια τους πάνω από χερσαίες εκτάσεις μειώνεται σημαντικά.

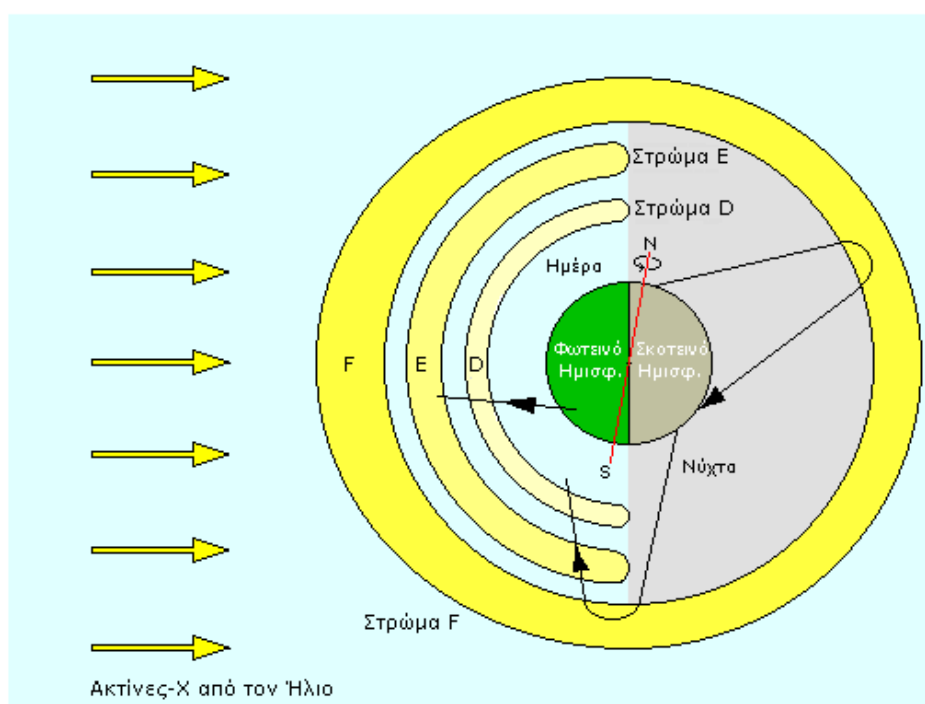
**Οι επικοινωνίες με κύματα εδάφους μεταβάλλονται καθημερινά και εποχικά.** Η μέγιστη εμβέλεια επικοινωνίας επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της χειμερινής ημέρας, καθώς τα επίπεδα θορύβου είναι χαμηλότερα κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών τη συγκεκριμένη εποχή.

Μπορεί να επιτευχθεί μια επιτυχής επικοινωνία με κύματα επιφανείας μόνο, πάνω από εκατοντάδες ναυτικά μίλια, αν επιλεγούν κεραίες με μικρή γωνία ακτινοβολίας εκπομπής και λήψης. Τα υψηλά μαστίγια είναι ιδανικές κεραίες για αυτό το σκοπό.

### 3 Οι επιδράσεις των ηλιακών διαταραχών

#### 3.1 Σταδιακή απόσβεση βραχέων κυμάτων (SWFs)

Η σταδιακή απόσβεση (SWFs, *Sort Wave Fade-outs*) και η ξαφνική ιονοσφαιρική διαταραχή (SID, *Sudden Ionospheric Disturbance*) προέρχονται από τις ακτινοβολίες που δημιουργούνται κατά την διάρκεια μιας μεγάλης έκλαμψης στον ήλιο. Φτάνοντας στη γη προκαλούν αυξημένο ιονισμό στην περιοχή D με άμεση συνέπεια τη μεγαλύτερη απορρόφηση από αυτό το στρώμα των ραδιοκυμάτων του φάσματος των HF (βλέπε σχήμα 3.1).



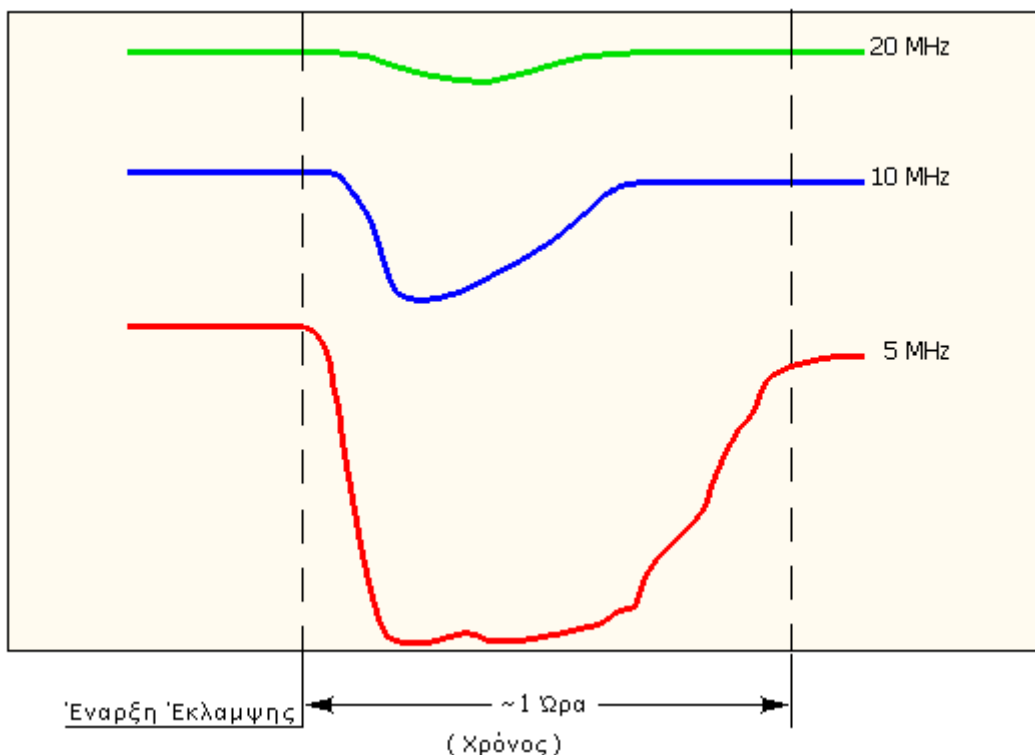
Σχήμα 3.1

Τα *Fade-outs* επηρεάζουν μόνο αυτές τις διαδρομές που το κύμα περνά μέσα από την περιοχή D, δηλαδή, οι διαδρομές που εκτίθενται στο φως της ημέρας. Οι διαδρομές των ραδιοκυμάτων που βρίσκονται στην περιοχή της νύχτας δεν επηρεάζονται από τα *Fade-outs*.

Εάν η έκλαμψη είναι αρκετά μεγάλη, το σύνολο του φάσματος των HF μπορεί να βγει όλο εκτός χρήσης για ένα χρονικό διάστημα. Η σταδιακή απόσβεση (*Fade-outs*) είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί γύρω από ένα ηλιακό μέγιστο και στην αρχή μιας περιόδου ελάχιστης ηλιακής δραστηριότητας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των SWFs είναι οι τα εξής:

- Επηρεάζουν τις διαδρομές των ραδιοκυμάτων που βρίσκονται στο φωτισμένο ημισφαίριο.
- Τα fade-outs μερικές φορές, διαρκούν συνήθως από μερικά λεπτά έως και δύο ώρες, με μία γρήγορη έναρξη και μια πιο αργή ανάκαμψη. Η διάρκεια της εξασθένησης θα εξαρτηθεί από την ένταση και τη διάρκεια της έκλαμψης.
- Το μέγεθος της εξασθένησης των ραδιοκυμάτων θα εξαρτηθεί από το μέγεθος της έκλαμψης και τη θέση που έχει επάνω στον ήλιο σε σχέση με το σημείο όπου το ραδιοκύμα διέρχεται μέσα από την περιοχή D.
- Όσο η έκλαμψη βρίσκεται εγγύτερα στο σημείο του ήλιου που κοιτάζει τη γη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ποσότητα απορρόφησης που θα υποστούν τα ραδιοκύματα που διέρχονται μέσα από το D.
- Η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη σε χαμηλές συχνότητες, είναι οι πρώτες που θα επηρεαστούν και οι τελευταίες που θα ανακάμψουν. Οι υψηλότερες συχνότητες συνήθως επηρεάζονται λιγότερο και μπορούν να εξακολουθήσουν να χρησιμοποιούνται, (βλέπε εικόνα 3.2)



Σχήμα 3.2

Τα Fade-outs επηρεάζουν τις χαμηλότερες συχνότητες πρώτα και αυτές είναι οι τελευταίες που θα ανακάμψουν. Οι υψηλότερες συχνότητες πλήττονται λιγότερο και θα παραμείνουν ανεπηρέαστες στα περισσότερα fade-outs.



## 3.2 Η Απορρόφηση των ραδιοκυμάτων πάνω από τις πολικές περιοχές (PCAs)

Η απορρόφηση των ραδιοκυμάτων πάνω από τις πολικές περιοχές (PCAs, Polar Cap Absorption), οφείλεται στον υψηλό ιονισμό αυτών των περιοχών. Αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια ηλιακών ενεργειακών εξάρσεων, όπως π.χ μιας έκλαμψης, κατά την εκδήλωση της οποίας διαφεύγουν από τον Ήλιο πρωτόνια που φτάνουν μέχρι τους πόλους της γης. Εκεί ιονίζουν έντονα την περιοχή D, που με τη σειρά της αυτή προκαλεί απορρόφηση των κυμάτων HF που τη διασχίζουν. Τα PCAs είναι πιο πιθανό να συμβούν γύρω από κάποιο ηλιακό μέγιστο, όμως η εμφάνισή του δεν είναι τόσο συχνή όσο των fade-outs.

- Τα PCAs μπορούν να αρχίσουν το συντομότερο 10 λεπτά μετά την εμφάνιση κάποιας έκλαμψης στον ήλιο και να διαρκέσουν μέχρι και 10 ημέρες.
- Τα PCAs μπορούν μερικές φορές να επηρεάσουν σήματα που οι διαδρομές τους δεν προϋποθέτουν πολικά σημεία διάθλασης.
- Ακόμα και η χειμερινή πολική ζώνη, περιοχή στην οποία επικρατεί σκότος, μπορεί να υποστεί τις συνέπειες PCAs. Τα σωματίδια από τον ήλιο μπορούν να δημιουργήσουν σε πολική περιοχή σκότους μια περιοχή D.

## 3.3 Ιονοσφαιρικές καταιγίδες

Λόγω των φαινομένων που συμβαίνουν στο ήλιο, πολλές φορές το γήινο μαγνητικό πεδίο υφίσταται διαταραχές. Αυτό και η ιονόσφαιρα συνδέονται με πολύπλοκους μηχανισμούς αλληλεξάρτησης και συχνά μια διαταραχή του γεωμαγνητικού πεδίου μπορεί να προκαλέσει μια διαταραχή στην περιοχή F της ιονόσφαιρας.

**Αυτές τις διαταραχές με υψηλή ένταση και ανατρεπτικά αποτελέσματα τις ονομάζουμε ιονοσφαιρικές καταιγίδες.** Αρχίζουν μερικές φορές με αυξημένη πυκνότητα ηλεκτρονίων, επιτρέποντας έτσι τις υψηλότερες συχνότητες να υποστηριχθούν στη διάδοση, ακολουθούμενες στη συνέχεια από μια μείωση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων που οδηγεί αναγκαστικά στη χρήση μόνο των χαμηλότερων συχνοτήτων του φάσματος που στηρίζει η περιοχή F.

Η αύξηση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων δεν θα επηρεάσει γενικά την επικοινωνία στα HF, αλλά η απότομη πτώση της θα έχει σαν αποτέλεσμα, οι συχνότητες που μέχρι πρότινος διαθλούσε το στρώμα F, τώρα ενδεχομένως να εισχωρήσουν σε αυτό και να εξέλθουν στη συνέχεια στο διαστημικό χώρο.

Οι ιονοσφαιρικές καταιγίδες μπορεί να διαρκέσουν για πολλές ημέρες στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη, γενικά όμως **επηρεάζονται περισσότερο από αυτές τα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη.**

Σε αντίθεση με τα **fade-outs**, στις ιονοσφαιρικές καταιγίδες πλήττονται περισσότερο οι υψηλότερες συχνότητες των HF.

Στις ραδιοζεύξεις, για να μειωθούν οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τις ιονοσφαιρικές καταιγίδες, είναι αναγκαίο όπου είναι εφικτό, να χρησιμοποιηθούν χαμηλότερες συχνότητες του φάσματος των HF.

\* \* \* \* \*