



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ:ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:**

**ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ  
ΤΑΛΑΝΤΟΥΜΕΝΟΥ**

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΠΟΛΟΥ**

**&**

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΕΡΑΙΩΝ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΤΑΚΙΡΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**A.M:8455**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΑΤΣΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Η κεραία είναι μια δομή - γενικά μεταλλική και μερικές φορές πολύπλοκη - σχεδιασμένη ώστε να παρέχει ζεύξη μεταξύ του κενού και της εξόδου του πομπού ή της εισόδου στον δεκτή. Όπως η γραμμή μεταφοράς, η κεραία είναι μια συσκευή με διανεμημένα στοιχεία, έτσι ώστε το ρεύμα, η τάση και η συνθέτη αντίσταση να διαφέρουν από ένα σημείο στο επόμενο κατά μήκος της. Αυτός ο παράγοντας πρέπει να ληφθέν υπόψη όταν εξετάζονται σημαντικές ιδιότητες των κεραιών, όπως η συνθέτη αντίσταση, το κέρδος και η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας. Πολλές ιδιότητες κεραιών περιγράφονται πιο εύκολα χρησιμοποιώντας τις λεγόμενες κεραίες συγκρίσεως. Μερικές από αυτές τις κεραίες είναι εξ' ολόκληρου φανταστικές, αλλά έχουν ιδιότητες που είναι εύκολο να συλληφθέν νοερά.*

*Ωστόσο στη παρούσα εργασία, θα λέγαμε πως προσφέρεται η ευκαιρία για μια εμπειριστατωμένη ανάλυση των αρχών της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας καθώς και των σχετικών νόμων που ισχύουν σε συνδυασμό με την εφαρμογή τους στους διάφορους τύπους κεραιών που αναφέρονται στις μέρες μας και στο πως θα πρέπει να τοποθετηθούν οι συγκεκριμένες κεραίες για καλύτερα αποτελέσματα στη χρήση τους.*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποτελεί γεγονός πως η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή διαφορετικά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αποτελείται από διάφορα κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας και τα οποία διαδίδονται ταυτόχρονα, δηλαδή ακτινοβολούνται στον ελεύθερο χώρο. Η περιοχή βέβαια στην οποία αναπτύσσονται αυτά τα κύματα καλείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται συνήθως με πολλές και διαφορετικές μορφές. Τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες Γ, θεωρούνται κάποιες από τις μορφές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Θα πρέπει να αναφερθεί πως τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εμφανίζονται σε ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο καλείται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και το οποίο χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές, τις ζώνες συχνοτήτων. Το φάσμα των συχνοτήτων αυτών περιλαμβάνει την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.



Η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι αυτή η οποία έχει συχνότητα υψηλότερη από το ορατό φως. Είναι επίσης μικρότερου μήκους κύματος και μεταφέρει πολύ υψηλή ενέργεια. Περιλαμβάνει και την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες Χ, και τις ακτινοβολίες Α, Β, Γ

ραδιενεργούς διάσπασης. Χαρακτηρίζεται επίσης με τον όρο <<ιοντίζουσα>> , διότι προκαλεί ένα ιοντισμό της ύλης ,δηλαδή το φωτόνιό της διαθέτει τέτοια ενέργεια έτσι ώστε μπορεί να εκδιώξει ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο της ύλης.

Η ακτινοβολία αυτή μπορεί επίσης να προκαλέσει άμεση βλάβη στην βιολογική ύλη και συγκεκριμένα στο DNA των διάφορων κύτταρων.

Οι διάφορες πηγές των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, στα οποία υποβάλλονται καθημερινά οι άνθρωποι και τα οποία μπορεί να είναι τα ραδιοκύματα, μικροκύματα και ο ηλεκτρισμός, είναι μεγάλου μήκος κύματος και ουσιαστικά χαμηλής συχνότητας. Δεν μπορούν βέβαια να προκαλέσουν ιοντισμό, διότι η ενέργεια την οποία μεταφέρουν είναι μικρή. Δεν μπορούν να σπάσουν χημικούς δεσμούς στα μόρια των κύτταρων. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται με τον όρο μη ιοντίζουσα ακτινοβολία .

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ήταν ανέκαθεν πάνω στην γη. Υπάρχουν βέβαια παντού στο περιβάλλον των ανθρώπων και προέρχονται από φυσικές πηγές ή έχουν δημιουργηθεί από τον ίδιο τον άνθρωπο. Το γήινο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το ηλιακό φως, οι κεραυνοί, ο χτύπος της καρδιάς, το ανθρώπινο νευρικό σύστημα αποτελούν φυσικές πηγές των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **1οΚεφάλαιο: ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΕΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ**

#### **ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

- 1.1 Τι είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- 1.2 Ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες
- 1.3 Βιολογικές επιδράσεις ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας.
- 1.4 Τι είναι ιοντισμός
- 1.5 Τι ορίζουμε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο
- 1.6 Μονάδες μέτρησης.
- 1.7 Φυσικά και τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
- 1.8 Μαθηματική περιγραφή μαγνητικού πεδίου.
- 1.9 Τι είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- 1.10 Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- 1.11 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- 1.12 Ανάκλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- 1.13 Περίθλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- 1.14 Σκέδαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- 1.15 Μετάδοση μέσα από εμπόδια .
- 1.16 Διάδοση σε ελεύθερο χώρο

## **2ο Κεφάλαιο : Μελέτη Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας Ταλαντευμένου Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Δίπολου – Περίπτωση Μελέτης Κεραιών**

2.1 Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και σύγχρονη τεχνολογία

2.2 Η περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ταλαντευμένου δίπολου.

2.2.1 Κβαντική θεώρηση των ακτινοβολούντων δίπολων.

2.3 Χαρακτηριστικά και μελέτη λειτουργίας κεραιών.

2.3.1 Το στοιχειώδες δίπολο (Hertz Dipole).

2.3.2 Συρμάτινες κεραιές στο χώρο.

2.3.3 Κατανομή τάσης και ρεύματος.

2.3.4 Μη συντονισμένες κεραιές (Directional Antennas).

2.4 Παράμετροι και χαρακτηριστικά κεραιών.

2.4.1 Κέρδος κεραιάς και αποτελεσματική ισχύς εκπομπής.

2.4.2 Μέτρηση εκπομπής και ένταση πεδίου.

2.4.3 Αντίσταση ακτινοβολίας κεραιάς.

2.4.4 Εύρος ζώνης συχνοτήτων, εύρος δέσμης και πολικότητα κεραιάς.

2.5 Επιδράσεις του εδάφους στις κεραιές

2.5.1 Μη γειωμένες κεραιές

2.5.2 Γειωμένες κεραιές

2.6 Επίδραση του ύψους της κεραιάς

**Επίλογος**

**Βιβλιογραφία**

## 1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

### ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

#### 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Κύρια χαρακτηριστικά μια ακτινοβολίας είναι η φύση της, η ενέργεια που μεταφέρει και η ένταση της. Η ταξινόμηση των ακτινοβολιών γίνεται με κάποια κριτήρια. Αυτά μπορεί να είναι η προέλευση και ο τρόπος παραγωγής τους, είτε τα φαινόμενα που προκαλούν όταν αλληλεπιδρούν με την ύλη και ιδιαίτερα από ζωντανούς οργανισμούς. Η ταξινόμηση ως προς την φύση τους μας οδηγεί σε δυο κατηγορίες ακτινοβολιών, την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και την ακτινοβολία σωματιδίων με μάζα.

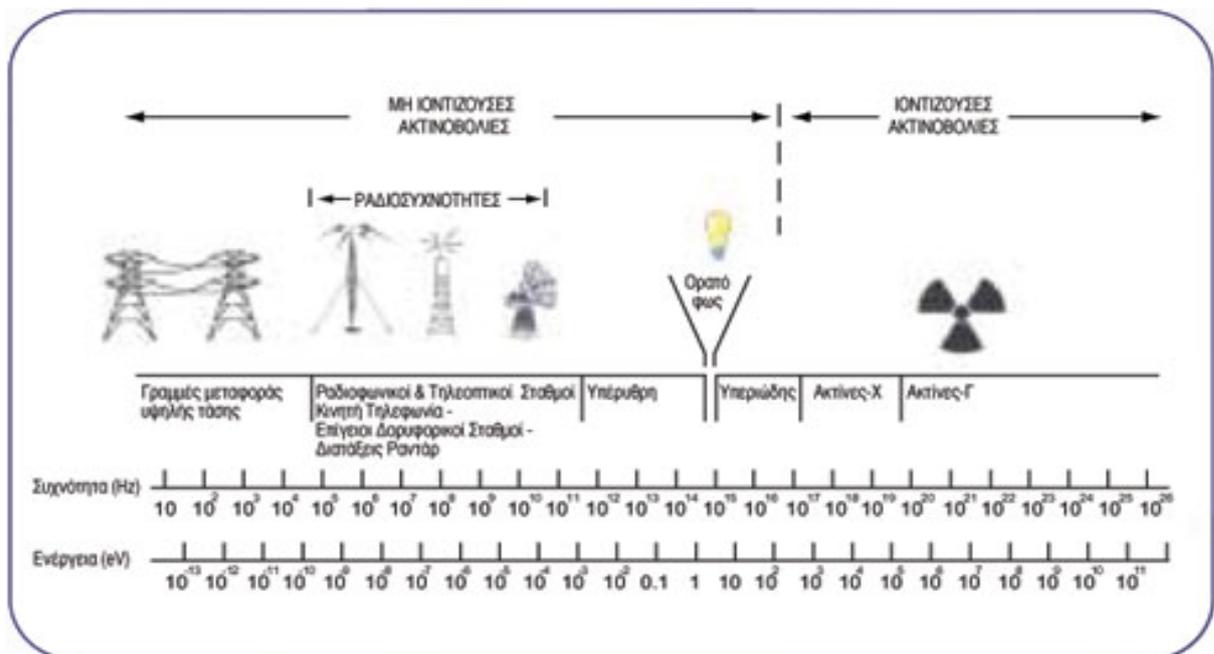
*Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι το είδος εκείνο που η ενεργεία της μεταδίδεται στο κενό ή μέσα σε ένα υλικό μέσο την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δηλαδή τοπικών και χρονικών μεταβολών του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.*

Υπάρχουν δυο είδη πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οι μικροσκοπικές και οι μακροσκοπικές. Στις μικροσκοπικές, η εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οφείλεται στις μεταπτώσεις ηλεκτρικών φορτίων από μια στάθμη ενέργειας σε μια άλλη μέσα σε ένα άτομο ή μόριο. Από αυτές τις πηγές εκπέμπονται οι ακτίνες Χ, οι ακτίνες γ, το υπεριώδες, το ορατό και υπέρυθρο φως. Στις μακροσκοπικές πηγές η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προκύπτει από την περιοδική κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Το φάσμα των ηλεκτρικών αυτών συχνοτήτων εκτείνεται από μερικά Hz μέχρι και το άπω άκρο της μικροκυματικής περιοχής  $10^{11}$  Hz.

Για να ταξινομήσουμε τις διάφορες ακτινοβολίες ως προς τα φαινόμενα που προκαλούν όταν αλληλεπιδρούν με την ύλη, έχει επιλεγεί το φαινόμενο του ιοντισμού, δηλαδή κατά πόσο μια ακτινοβολία προκαλεί διέγερση και ιοντισμό στο υλικό, στο οποίο προσπίπτει έτσι οι ακτινοβολίες διακρίνονται σε ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες.

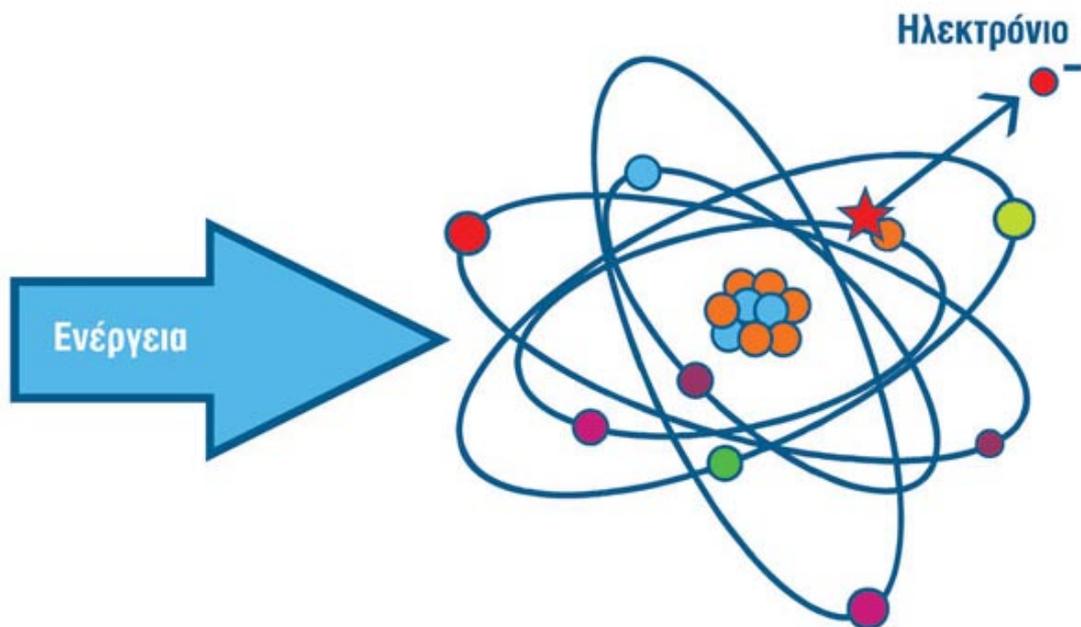
## 1.2 ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

**Ιοντίζουσα ακτινοβολία** είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει μεγάλη ενέργεια και έχει συχνότητα υψηλότερη από το ορατό φως, ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να διασπάσει βιαία χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βλάβη σε ζώντες οργανισμούς. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει τις υπεριώδεις ηλιακές ακτίνες, την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες Χ, και γ (ραδιενέργεια). Αυτή η μορφή ακτινοβολίας είναι κατά κανόνα επικίνδυνη διότι μπορεί να προκαλέσει ιοντισμό (διάσπαση των δεσμών του DNA κυττάρων που είναι η αιτία βλαβών από καρκίνο και άλλες ασθένειες).



Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι διεισδυτική. Η διεισδυτικότητα της στην ύλη εξαρτάται από το είδος της και την ενέργεια που μεταφέρει. Τα σώματα 'α' αποκόπτονται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωμάτια 'β' από μερικά χιλιοστά plexiglass , ενώ η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία 'γ' απαιτεί σχετικά μεγάλα πάχη επιλεγμένων υλικών για να αποκοπεί (π.χ. μολύβι, σκυρόδεμα).

Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανα χιλιόγραμμο μάζας , καλείται δόση ακτινοβολίας. Η πιθανότητα βλάβης της υγείας σχετίζεται άμεσα με το μέτρο της δόσης ακτινοβολίας.



Η ιονίζουσα ακτινοβολία ανάλογα με την εκπομπή της διακρίνεται σε φυσική και τεχνητή ακτινοβολία.

#### Φυσικές πηγές ακτινοβολίας

Οι φυσικές πηγές είναι αναπόσπαστο συνθετικό του γήινου περιβάλλοντος και σε αυτές συγκαταλέγονται τα συστατικά του φλοιού της γης και η κοσμική ακτινοβολία. Το έδαφος, το νερό και ο αέρας, περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων και φυσικά ραδιενεργά στοιχεία , ενώ η επιφάνεια της γης προσβάλλεται συνεχώς και από την κοσμική ακτινοβολία με πηγές εκπομπής τον ήλιο και άλλες αστρικές περιοχές βυθισμένες στο διάστημα.

### Τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

Ο άνθρωπος ανακάλυψε τις τεχνητές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Έκτοτε η συστηματική έρευνα οδήγησε τόσο στην εκτεταμένη χρήση τους όσο και τη λήψη μέτρων για την προστασία από τις ενδεχόμενες βλαβερές επιπτώσεις.

Οι ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται σήμερα :

- Στην ιατρική
- Στην βιομηχανία
- Στην παραγωγή ενέργειας
- Στην γεωργία, την έρευνα και την εκπαίδευση.

**Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία** είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια και έχει συχνότητα μικρότερη ή ίση με το ορατό φως, ανίκανη κατά τη αλληλεπίδραση να προκαλέσει άμεσα ιοντισμό αλλά ικανή να προκαλέσει ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα άλλοτε επιβλαβείς για την λειτουργία τους. Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς, κεραίες κινητής τηλεφωνίας, ραντάρ, ηλεκτρονικές συσκευές, κ.λπ.

Οι δυο αυτές ακτινοβολίες εμφανίζουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους και κατ' επέκταση έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτό οι τρόποι προστασίας από αυτές απαιτούν τελείως διαφορετική μεθοδολογία και μελετώνται από διαφορετικές ομάδες επιστημών

### 1.3 Βιολογικές επιδράσεις ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας

#### Επιδράσεις ιοντίζουσας

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία δηλαδή η περιοχή άνω των 300GHz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ,που περιλαμβάνει το ηλιακό φάσμα ,τις ακτίνες Χ , τις ακτίνες γ, κ.τ.λ., έχει μελετηθεί επαρκώς από τους ερευνητές ως προς τις βιολογικές της επιδράσεις. Όλοι οι ενεργοί πολίτες σήμερα είναι ενήμεροι για την επικινδυνότητα της ηλιοθεραπείας ,των ακτινογραφιών, και της ραδιενέργειας γενικότερα, έχουν υποστεί τις συνέπειες ιστορικών καταστροφών ,οι οποίες ταλαιπώρησαν και συνεχίζουν να ταλαιπωρούν περιοχές του πλανήτη μας( Χιροσίμα, Ναγκασάκι, Τσερνομπίλ).

Στην ιοντίζουσα ακτινοβολία, η μεταφερόμενη ενέργεια είναι μεγάλη και αυτό προκαλεί το σπάσιμο των δεσμών μεταξύ των μορίων. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο διότι προκαλεί αλλοιώσεις στον γενετικό κώδικα DNA. Το DNA αποτελεί το φορέα των κληρονομικών μεταβολών γι' αυτό και κάθε αλλοίωση της φυσικοχημικής τους δομής, οδηγεί σε αλλοίωση των κληρονομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών κυττάρων.

Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες προκαλούν στα κύτταρα των έμβιων όντων , τις πλέον εκτεταμένες αλλοιώσεις σε κάθε μονάδα εναποτιθέμενης ενέργειας και το κυριότερο φαινόμενο είναι η απορρόφηση της ενέργειας της ακτινοβολίας από μόρια του ύδατος τα οποία αι αποτελούν περισσότερο από 90% του όγκου των κυττάρων.

Το αποτέλεσμα των διάφορων χημικών αντιδράσεων, που συντελούνται στο DNA από την επίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι η δημιουργία μόνιμων αλλοιώσεων των κληρονομικών χαρακτηριστικών των κυττάρων, οι οποίες σε επίπεδο οργανισμών μπορούν να εξελιχθούν σε φαινόμενα

καρκινογένεσης, μετάλλαξης και θραύσης του μακρομορίου του DNA. Η τελευταία αλλοιώσει μπορεί να εξελιχθεί και σε εμφάνιση αλλοιώσεων στα χρωμοσώματα. Στην πορεία των φαινομένων αυτών παρεμβάλλονται και διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί των κυττάρων ,οι οποίοι όμως δεν είναι σε θέση να αποκαταστήσουν πλήρως τις καταστροφές από τις διάφορες αλλοιώσεις.

Οι αλλοιώσεις στα χρωμοσώματα , μπορούν να οδηγήσουν στην αναστολή της ικανότητας των κυττάρων. Η απορρόφηση υψηλότερων δόσεων μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες αλλοιώσεις στα κύτταρα και τελικά να φτάσουμε στον θάνατο του κυττάρου. Μια από τις πιο ευαίσθητες λειτουργίες των κυττάρων στις ακτινοβολίες είναι ο μηχανισμός της διακίνησης ιόντων καλίου και νατρίου μέσα και έξω από τα κύτταρα. Οι αλλοιώσεις αυτές όταν είναι αρκετά εκτεταμένες εμφανίζονται και σε επίπεδο ιστών , όπως στο μυελό των οστών που παράγονται τα κύτταρα του αίματος.

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι υπεύθυνη, για την εμφάνιση διαφόρων μορφών καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό. Όπως αναφέραμε και παραπάνω η ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί αλλοιώσεις και βλάβες στο DNA. Η σύγχρονη γνώση για τον καρκίνο είναι ότι ξεκινάει με βλάβη στον γενετικό κώδικα. Οι βλάβες αυτές ειδικά ξεπερνούν τα εμπόδια που δημιουργούν οι διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί που διαθέτει ο γενετικός κώδικας μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν σε καρκινογένεση. Οι ακτίνες Χ, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην Ιατρική και με τις οποίες οι γιατροί φωτογραφίζουν διάφορα μέρη του σώματος (ακτινογραφίες )για την ανίχνευση ασθενειών στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι επικίνδυνες σε μεγάλες δόσεις. Όμως η σωστή και η ελεγχόμενη χρήση τους βοηθάει στην αναχαίτιση του καρκίνου. Επίσης , οι ακτίνες γ είναι οι ακτίνες υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται από κάποιο ραδιενεργό στοιχείο. Μπορούν να διαπεράσουν τα περισσότερα υλικά και η χρήση τους έχει πολύ έντονες βιολογικές επιδράσεις.

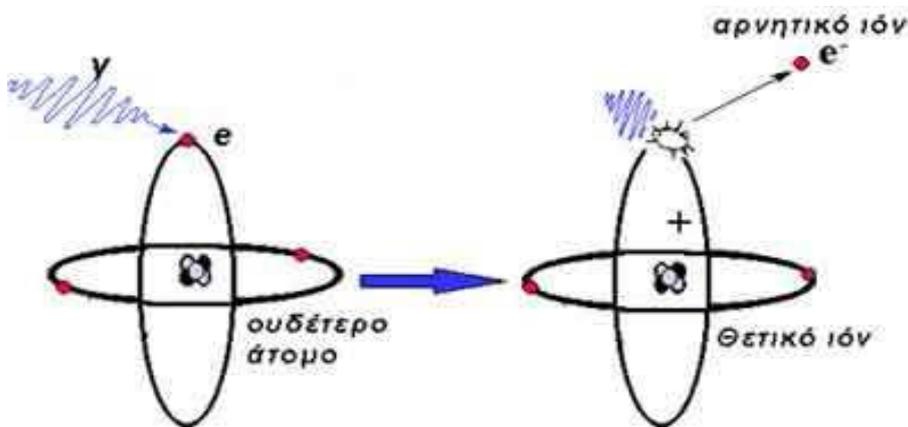
## Βιολογικές επιδράσεις μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας

Λόγω έλλειψης ικανού αριθμού αλλά ομοιομορφίας στην οργάνωση των υφιστάμενων επιδημιολογικών ερευνών οι απόψεις όσον αφορά τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο δίστανται. Φυσικά είναι κατανοητό ότι άμεσα πειράματα επί ανθρώπινων πληθυσμών είναι ηθικώς απαράδεκτα όμως υπάρχει πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών για τέτοια πειράματα σε πειραματόζωα. Παρόλο που η άμεση γενίκευση των παρατηρήσεων αυτών στον άνθρωπο δεν είναι επιτρεπτή λόγω των ανατομικών , φυσιολογικών και άλλων διαφορών που υπάρχουν, θεωρούμε χρήσιμη την αναφορά των σπουδαιότερων από αυτών όπου είναι:

- ❖ Επιδράσεις στους οφθαλμούς
- ❖ Ακουστικό φαινόμενο
- ❖ Εκροή ασβεστίου
- ❖ Φαινόμενα συνεργίας με φάρμακα
- ❖ Επιδράσεις στην συμπεριφορά
- ❖ Γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες
- ❖ Πειράματα εξομοίωσης του ανθρώπινου οργανισμού , κ.τ.λ.

## 1.4 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΙΟΝΤΙΣΜΟΣ

Ιοντισμός του ατόμου είναι η λόγω της δράσης κάποιου εξωτερικού αίτιου ,βιαία απομάκρυνση ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές στοιβάδες , με αποτέλεσμα την παραγωγή αντίθετα φορισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά αφορούν αφενός στα αρνητικά ηλεκτρόνια που απομακρύνθηκαν από το άτομο και αφετέρου ελλειμματικά σε ηλεκτρόνια θετικά φορισμένα άτομα που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση.( Σχήμα 1.3 )

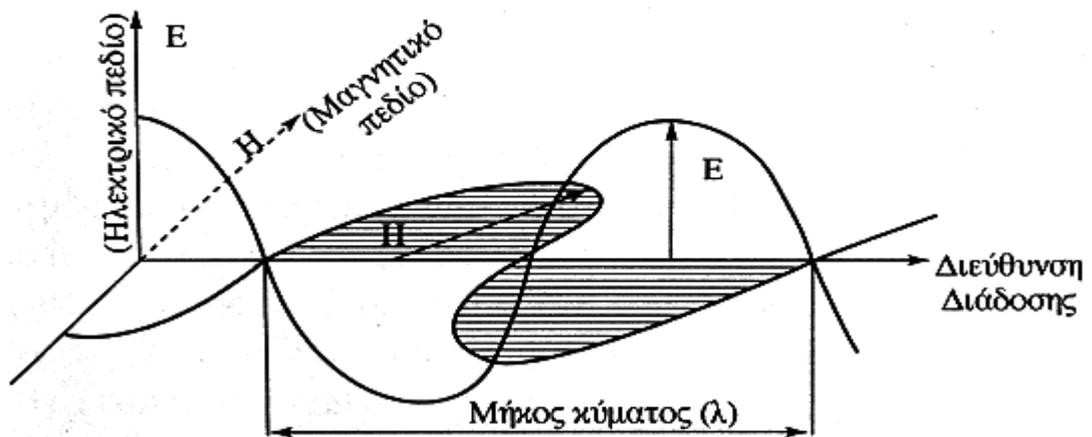


Σχήμα 1.3

Στο σχήμα 1.3 παρατίθεται ο ιοντισμός ουδέτερου ατόμου από προσβολή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Βιαία εκδίωξη του ηλεκτρονίου από το άτομο και παραγωγή ζεύγους αντίθετα φορισμένων ιόντων. Για να εκδιωχτεί ένα ηλεκτρόνιο από τις στοιβάδες του, απαιτείται ενέργεια η οποία προσδίδεται στο άτομο από κάποιο εξωτερικό αίτιο ( π.χ. πρόσπτωση ακτινοβολίας ). Η ενέργεια αυτή πρέπει προφανώς να καλύπτει την ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η τιμή της εξαρτάται από την ταυτότητα του ατόμου και τη θέση της ηλεκτρονικής στοιβάδας στην οποία είναι συνδεδεμένο το ηλεκτρόνιο και δεν μπορεί να είναι μικρότερο των 10 eV.

## 1.5 ΤΙ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

**Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο** ονομάζουμε το χώρο μέσα στο οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία. Αντίθετα, το μαγνητικό πεδίο είναι χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ( $E$ ) είναι το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του. Το αντίστοιχο εκφράζει και η ένταση του μαγνητικού πεδίου ( $H$ ). Τα πεδία αυτά ανάλογα με τις εντάσεις του  $E$  και  $H$ , χαρακτηρίζονται ως στατικά (όταν οι εντάσεις τους είναι χρονικά σταθερές), μεταβαλλόμενα και εναλλασσόμενα (όταν οι εντάσεις τους αλλάζουν μέτρο και φάσμα ή αλλιώς πολικότητα σε σχέση με τον χρόνο).



Τα ηλεκτρικά φορτία όταν ταλαντώνονται παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία είναι τοπικές και χρονικές μεταβολές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Τα παραγόμενα από τις συνήθεις ηλεκτρονικές διατάξεις, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αρμονικά, διαδίδονται κατά επίπεδα μέτωπα, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι εντάσεις  $E$  και  $H$  μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας το νόμο του ημιτονίου. Στα επίπεδα κύματα, το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους και παίρνουν συγχρόνως τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή τους (συμφασικά). Η απόσταση μέσα στην οποία τα  $E$  και  $H$

συμπληρώνουν μια πλήρη εναλλαγή λέγεται **μήκος κύματος** ( $\lambda$ ), ενώ ο αριθμός εναλλαγών στην μονάδα χρόνου (1s) ονομάζεται **συχνότητα** ( $f$ ) **του κύματος**. Η  $c=\lambda*f$  είναι η συνδετική σχέση μεταξύ των  $\lambda$  και  $f$  όπου  $c$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή  $c=300.000$  km/s. Η συχνότητα παίζει μεγάλο ρόλο στις μετρήσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σε συχνότητες από 0-500 Hz το  $E$  και  $H$  είναι ασύνδετα. Έτσι είμαστε αναγκασμένοι να μετράμε την ένταση και των δυο πεδίων. Σε συχνότητες όμως πάνω από 3 MHz (υψηλές συχνότητες) τα  $E$  και  $H$  συνδέονται μεταξύ τους με απλές σχέσεις, όπως και με την πυκνότητα  $P$ .

## 1.6 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στον πίνακα 1.5.1 αναγράφονται τα μεγέθη που προαναφερθήκαμε καθώς και της μονάδες μέτρησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5.1

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου	$E$	Volts/meter(V/m)
Ένταση Μαγνητικού Πεδίου	$H$	Tesla(T) ή Gauss (G)*
Μήκος Κύματος	$\lambda$	Meter(m)
Συχνότητα	$\nu$ ή $f$	Hertz(Hz)
Ισχύς	$N$	Watt(W)
Πυκνότητα Ισχύς	$P$ ή $S$	Watt/(meter) <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )
Χρόνος	$T$	Second(s)

\*η σχέση μετατροπής Tesla σε Gauss είναι η εξής  $1T=1000G$

Συχνά , ωστόσο , χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια κάποιων μονάδων .Αυτό δηλώνεται με το κατάλληλο πρόθεμα στην μονάδα μέτρησης, θα χρησιμοποιήσουμε τα εξής προθέματα (πίνακα 1.5.2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5.2

milli	$10^{-3}$	1mm=(1/1000)m
micro	$10^{-6}$	1μA=(1/1000000)A= $10^{-6}$ A
nano	$10^{-9}$	1μT=(1/1000000000)T= $10^{-9}$ T
pico	$10^{-12}$	1ps=(1/1000000000000)= $10^{-12}$ s
Kilo	$10^3$	1KW=1000W
Mega	$10^6$	1MHz=1000000Hz= $10^6$ Hz
Giga	$10^9$	1GHz=1000000000Hz= $10^9$ Hz

## 1.6 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

### ΦΥΣΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι τα πεδία τα οποία προέρχονται από την ίδια την φύση και τα οποία δεν μπορούν να αποφευχθούν από τους ζωντανούς οργανισμούς . Η συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων σε διάφορα σημεία της ατμόσφαιρας σε συνθήκες καταιγίδας δημιουργεί ηλεκτρικά πεδία. Και όπως αναφέραμε και παραπάνω η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε στατική και μη στατική. Για παράδειγμα ,μεταξύ της ιονόσφαιρας και της γης υπάρχει φυσικό ηλεκτρικό στατικό πεδίο το οποίο κυμαίνεται ,σε συνθήκες καλοκαιρίας από 0,1KV/m έως 0,5KV/m, ενώ σε συνθήκες καταιγίδας το πεδίο παίρνει τιμές από 3KV/m έως 20KV/m. Αντίστοιχα, το γήινο μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από 0,31 έως 0,62 Gauss. Κατά τις εκλάμψεις του ηλίου το μαγνητικό πεδίο της γης μπορεί να μεταβληθεί έως και 0,03 Gauss, οπότε έχουμε μαγνητικές καταιγίδες. Εκτός από τα στατικά της πεδία η γη δέχεται και την επίδραση ηλιακών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο ήλιος κατά την διάρκεια των εκλάμψεων εκπέμπει ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων ,το οποίο περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, το ορατό φως , κλπ. Από πολύ παλιά, υπήρχε η υπόνοια ότι η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει την ψυχική διάθεση των ανθρώπων και ης εξέλιξη των ασθενειών. Τα ατμοσφαιρικά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα παρουσιάζουν

ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ο ίδιος ο εγκέφαλος.

### ΤΕΧΝΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Ο άνθρωπος πέρα από την επιβάρυνση που δέχεται από τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχει να αντιμετωπίσει και τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία έχει δημιουργήσει ο ίδιος. Αυτά τα πεδία καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Τα κυριότερα από τα τεχνητά πεδία είναι το δίκτυο της Δ.Ε.Η το οποίο είναι 50Hz. Πέρα όμως από το πεδίο ως 50Hz , στο οικιακό μας περιβάλλον έχουν προστεθεί πεδία υψηλότερων συχνοτήτων της τάξης των MHz από τους υπολογιστές και τους φούρνους μικροκυμάτων .Άλλα πεδία στα οποία εκτίθενται στην καθημερινή μας ζωή είναι αυτά των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών (300KHz-500MHz), των σταθμών κινητής τηλεφωνίας (900MHz), και των ραντάρ και δορυφορικών επικοινωνιών (της τάξεως των GHz).

### 1.8 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Η μαθηματική περιγραφή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου προκύπτει από τον νόμο του Gauss για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, τον νόμο της επαγωγής του Faraday και τον νόμο του Ampere συμπληρωμένο με έναν ακόμη όρο του Maxwell που αφορά την μεταβολή της ροής της ηλεκτρικής μετατόπισης μέσα από την επιφάνεια που περικλείει μια κλειστή γραμμή προκύπτουν

οι τέσσερις εξισώσεις του Maxwell και οι οποίες αναφέρονται ως ακολούθως

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_f$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Όπου  $\vec{D}$  η ηλεκτρική μετατόπιση,  $\vec{H}$  η ένταση του μαγνητικού πεδίου,  $\vec{j}_f$  η πυκνότητα του ελεύθερου ρεύματος και  $\rho_f$  η πυκνότητα όγκου των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων. Σε περιοχές του χώρου όπου δεν υπάρχουν φορτία ή ρεύματα, οι εξισώσεις του Maxwell γράφονται ως :

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Όπου  $\vec{E}$  συμβολίζεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, με  $\vec{H}$  η ένταση του μαγνητικού πεδίου, με  $\vec{B}$  η μαγνητική επαγωγή και με  $\epsilon_0$  και  $\mu_0$  η ηλεκτρική και μαγνητική διαπερατότητα του κενού αντίστοιχα. Από τις εξισώσεις αυτές, και με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία και αποσύζευξη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, προκύπτουν οι σχέσεις

$$\nabla^2 \vec{E} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Οι οποίες έχουν τη μορφή κυματικής εξίσωσης και περιγράφουν κύματα που κινούνται με ταχύτητα

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,00 \cdot 10^8$$

τιμή που ισούται ακριβώς με την [ταχύτητα του φωτός](#). Οι βασικοί νόμοι του [ηλεκτρομαγνητισμού](#) προβλέπουν δηλαδή την ύπαρξη κυμάτων που κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με τον ίδιο τον Μάξγουελ, είναι δύσκολο να αποφύγουμε το συμπέρασμα ότι το φως δεν είναι τίποτε άλλο παρά εγκάρσιοι κυματισμοί του ίδιου εκείνου μέσου που προκαλεί τα ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα, να δεχθούμε δηλαδή την ερμηνεία του φωτός ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Στο εσωτερικό της ύλης, αλλά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ελεύθερα φορτία ή ελεύθερα ρεύματα με την υπόθεση δηλαδή πως το υλικό είναι μη αγώγιμο και ισότροπο τα ηλεκτρόνια είναι δεσμευμένα από τα άτομα του υλικού και όλες οι διευθύνσεις είναι ισοδύναμες. Αυτό πραγματοποιείται στα απλά ισότροπα υλικά διηλεκτρικά όπως είναι το γυαλί. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύουν οι σχέσεις:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$$

Οι σχέσεις του Maxwell γίνονται ως ακολούθως :

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Η μόνη διαφορά των τελευταίων σχέσεων με αυτών στο κενό, είναι ότι η ποσότητα  $\mu_0\epsilon_0$  έχει αντικατασταθεί από το  $\mu\epsilon$ . Συνεπώς, σε ένα γραμμικό ομογενές υλικό τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με ταχύτητα μικρότερη του φωτός.

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

## 1.9 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη μετάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα άλλα υλικά διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα. Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από την φύση του μέσου διάδοσης. Για το κενό η ταχύτητα του είναι  $c=3*10^8\text{m/s}$ .

### Μηχανισμός παραγωγής

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό σημαίνει ότι ούτε τα ακίνητα φορτία, ούτε τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερά ρεύματα) μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν όμως έχουμε ηλεκτρικά φορτία που επιταχύνονται, τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούν έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Επομένως η αιτία

δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Μια απλή συσκευή παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο. Το ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο είναι μια συσκευή που αποτελείται από δυο μεταλλικές ράβδους, οι οποίες συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης. Στην περίπτωση αυτή οι ράβδοι φορτίζονται εναλλάξ με θετικά και αρνητικά φορτία που μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με τον χρόνο. Η κίνηση αυτή των φορτίων αποτελεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Τα ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα αποτελούν κοινή μέθοδο παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς.

Από τις εξισώσεις του Maxwell για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο προκύπτει ότι :

- Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο, με τα διανύσματα του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου να είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος.
- Κάθε στιγμή ο λόγος των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι ίσος με την ταχύτητα διάδοσης  $u$  (στο κενό  $c$ ).

$$E/B=u$$

- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως και τα μηχανικά υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται και την διεύθυνση  $x$  είναι:

$$E = E_{\max} \eta \mu 2\pi(t/T - \chi/\lambda)$$

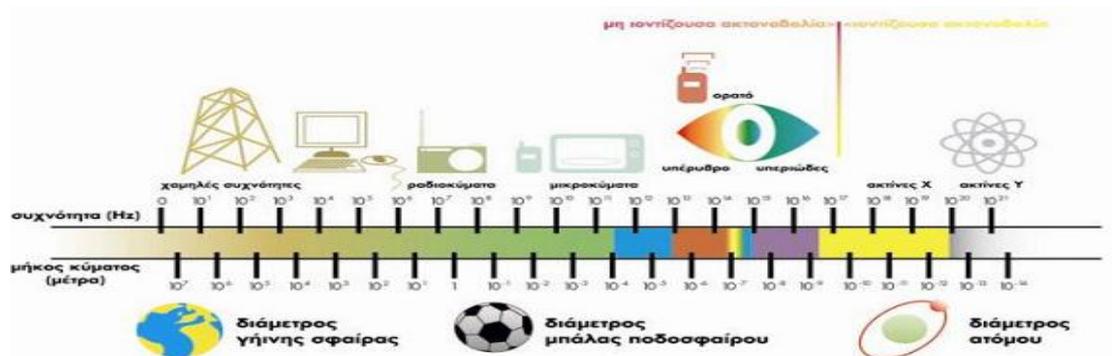
Και

$$B = B_{\max} \eta \mu 2\pi(t/T - \chi/\lambda)$$

Όπου βέβαια  $E_{\max}$ ,  $B_{\max}$  είναι οι μέγιστες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα.

## 1.10 ΦΑΣΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

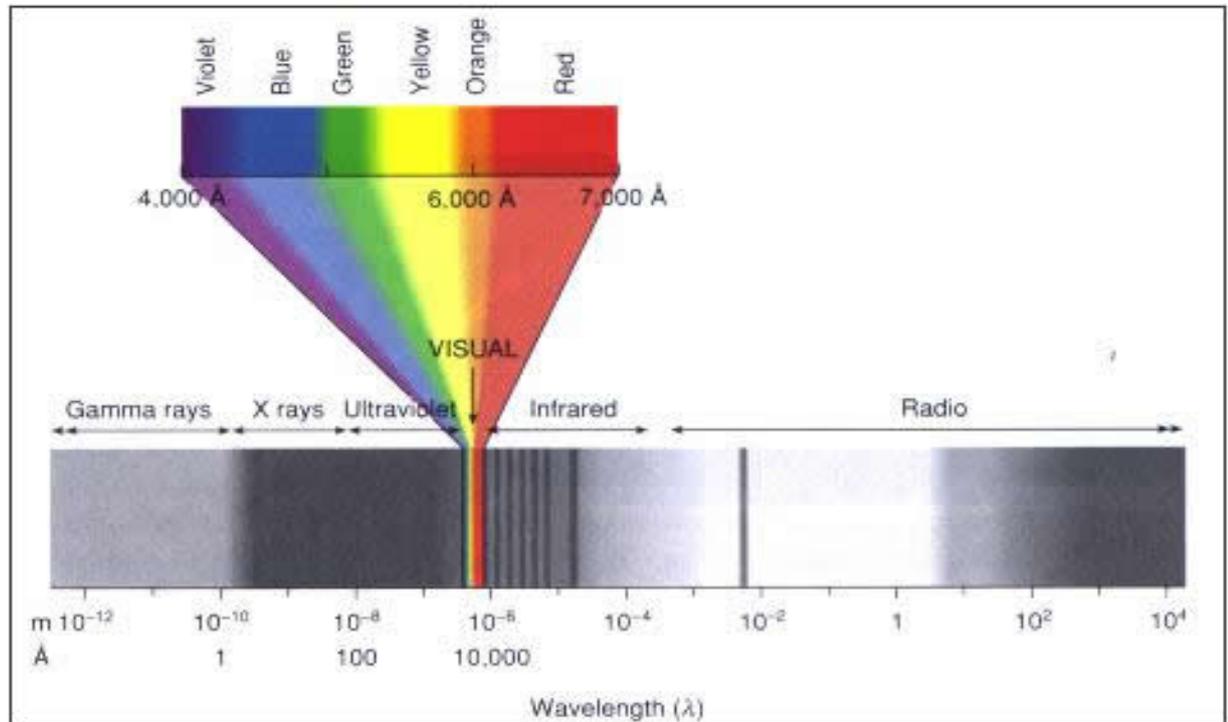
**Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** ονομάζουμε το εύρος της περιοχής των συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνοότητες έως το άπειρο.



Παρακάτω θα δούμε μια σύντομη περιγραφή διάφορων περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά σειρά ταλαντούμενου μήκος κύματος όπου είναι τα:

- **ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ** : είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από  $10^5\text{m}$  έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρομαγνητικά κυκλώματα όπως τα κυκλώματα L-C και χρησιμοποιούνται στην ραδιοφωνία και στην τηλεόραση.
- **ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ**: Το μήκος κύματος τους εκτείνεται από 30 cm έως 1mm περίπου. Παράγονται και αυτά από ηλεκτρονικά κυκλώματα και χρησιμοποιούνται όχι μόνο από τους φούρνους αλλά και τα ραντάρ.
- **ΥΠΕΡΥΘΡΑ ΚΥΜΑΤΑ**: Καλύπτουν την περιοχή από 1mm έως  $7 \cdot 10^{-5}\text{m}$  περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από όλα τα υλικά. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του.
- **ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ**: Είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από 400nm - 700nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ). Το ορατό φως παράγεται από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και στα μόρια. Κάθε υποπερίοχη του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου χρώματος. Τα μήκη κυμάτων των διάφορων χρωμάτων είναι:

Ερυθρό	700nm	έως	630nm
Πορτοκαλί	630nm	έως	590nm
Κίτρινο	590nm	έως	560nm
Πράσινο	560nm	έως	480nm
Κυανό	480nm	έως	440nm
Ιώδες	440nm	έως	400nm



- **ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ:** Η ακτινοβολία αυτή καλύπτει τα μήκη κύματος από  $3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  έως  $6 \cdot 10^{-8} \text{ m}$  περίπου. Ο ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδης ακτινοβολίας. Μεγάλες δόσεις υπεριώδης ακτινοβολίας βλάπτουν τον άνθρωπο. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της στρατόσφαιρας.
- **ΑΚΤΙΝΕΣ X:** Είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από  $10^{-8} \text{ m}$  έως  $10^{-13} \text{ m}$  περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτίνων X είναι η επιβράδυνση ταχέως κινούμενων ηλεκτρονίων καθώς αυτά προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική αλλά και στην μελέτη κρυσταλλικών δομών.
- **ΑΚΤΙΝΕΣ Γ:** Είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα και κατά την διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Τα μήκη κύματος τους αρχίζουν από  $10^{-10} \text{ m}$  έως  $10^{-14} \text{ m}$ . Είναι πολύ δεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τους απορροφούν.

## 1.11 ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αλλά και από τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Επειδή η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων εξαρτάται σημαντικά από την συχνότητα.

### Βασικοί μηχανισμοί διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Οι βασικοί μηχανισμοί που διέπουν την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε εσωτερικούς χώρους σύμφωνα με την υπάρχουσα θεωρία είναι η εξής :

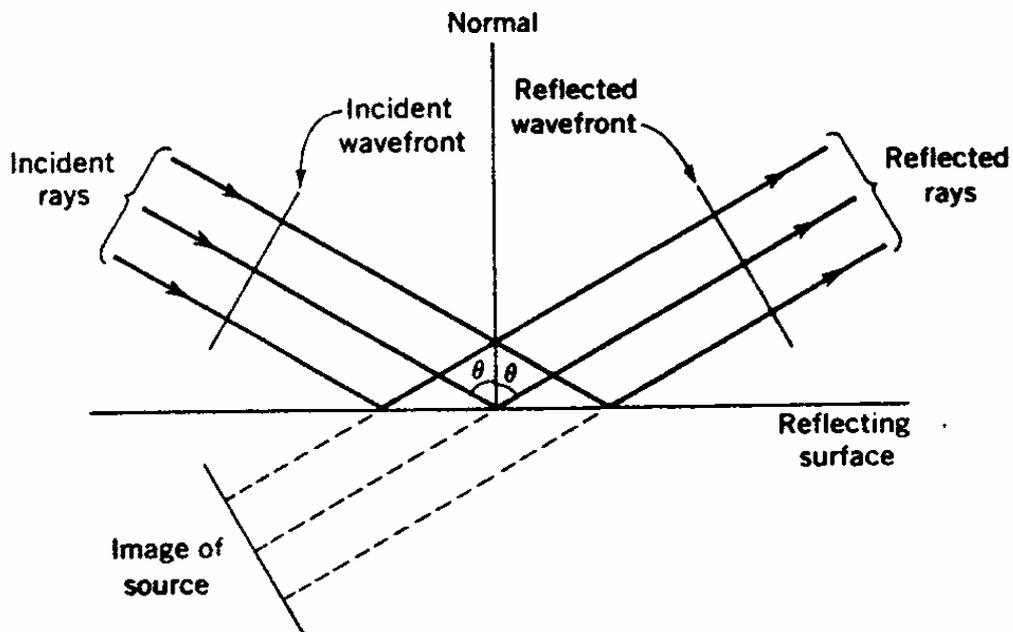
- ❖ Η απευθείας διάδοση (Line of sight )
- ❖ Η ανάκλαση (Reflection)
- ❖ Η περίθλαση (Diffraction)
- ❖ Η σκέδαση (Scattering) και
- ❖ Η διάδοση σε τοίχους και εμπόδια (Transmission).

Η διάδοση σε ελεύθερο χώρο προϋποθέτει την απευθείας οπτική επαφή πομπού και δέκτη και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις ως σφαιρικά κύματα. Η ισχύς του σήματος είναι συνήθως αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης από τον πομπό. Στην περίπτωση όμως που ο πομπός έχει οπτικά

επαφή με τον δέκτη, τα φαινόμενα της περίθλασης και της σκέδασης ενδέχεται να μην επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος, αυτή όμως η περίπτωση είναι σπάνια γιατί μεταξύ πομπού και δέκτη συνήθως παρεμβάλλονται εμπόδια.

### 1.12 ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Με τον όρο ανάκλαση περιγράφουμε το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε ένα εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το μήκος κύματος. Παράδειγμα ανάκλασης έχουμε από την επιφάνεια του εδάφους, την επιφάνεια της γης, από τα κτίρια, τα βουνά, κ.λπ. Τα ανακλώμενα κύματα μπορούν ανάλογα με την φάση και το μέτρο τους να συμβάλουν είτε θετικά είτε αρνητικά στο συνολικό σήμα.



Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα περάσει από ένα μέσο σε ένα άλλο με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, ένα ποσοστό του κύματος ανακλάται ενώ ένα άλλο διαδίδεται. Αν τα σώματα αυτά είναι διηλεκτρικά, μέρος της ακτινοβολίας μεταδίδεται από το

ένα σώμα σε ένα άλλο και μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στο αρχικό σώμα, ενώ δεν υπάρχει απώλεια ενέργειας ή απορρόφηση. Αν όμως το δεύτερο σώμα είναι τέλειος αγωγός τότε όλη η ενέργεια ανακλάται πίσω στο πρώτο σώμα. Το ποσοστό του κύματος που ανακλάται ορίζει τον συντελεστή ανάκλασης ο οποίος ονομάζεται και συντελεστής ανάκλασης Fresnel. Ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται από την πόλωση, την γωνία πρόσπτωσης, και την συχνότητα του διαδιδόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Τέλος, αν  $\Gamma$  είναι ο συντελεστής ανάκλασης και  $T$  ο συντελεστής μετάδοσης, οι δυο αυτές συντελεστές συνδέονται μεταξύ τους μέσω της παρακάτω βασικής σχέσης η οποία εξασφαλίζει ότι δεν έχουμε απώλεια ενέργειας.

$$\underline{T=1+\Gamma}$$

### 1.13 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Με τον όρο περίθλαση, περιγράφουμε το φαινόμενο κατά το οποίο ένα αδιαπέραστο και συνήθως αιχμηρό σώμα παρεμβάλλεται μεταξύ της ασύρματης ζεύξης πομπού και δέκτη. Με βάση την αρχή του Huygen, πίσω από το εμπόδιο παράγονται δευτερογενή κύματα τα οποία φτάνουν στον δέκτη. Ακόμα και αν δεν υπάρχει καμία οπτική επαφή με τον πομπό. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι το πλέον συχνό σε αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σε υψηλές συχνότητες το φαινόμενο της περίθλασης εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμποδίου, όπως το πλάτος, την φάση και

την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος στο σημείο στο οποίο λαμβάνει χώρα η περίθλαση.

Όπως φαίνεται από τον ορισμό της, η περίθλαση αφορά την εκτροπή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση. Θεωρητικά οι χαμηλές συχνότητες υφίστανται εντονότερη περίθλαση από τις πιο υψηλές συχνότητες με ακριβώς το αντίθετο να συμβαίνει στην διάθλαση. Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένας πολύ βασικός μηχανισμός διάδοσης και λόγω αυτού καθίσταται δυνατή τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων γύρω από τα εμπόδια.

#### 1.14 ΣΚΕΔΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το φαινόμενο της σκέδασης συμβαίνει όταν το μέσο στο οποίο ταξιδεύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από μεγάλο πλήθος εμποδίων ανά μονάδα όγκου, τα οποία κατά τη συνήθη θεώρηση έχουν ίσες ή μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με το μήκος κύματος. Αποτέλεσμα της σκέδασης είναι η μεταβολή του λαμβανόμενου σήματος στον δέκτη η οποία δεν δικαιολογείται από τις μεθόδους διάδοσης της ανάκλασης ή της περίθλασης.

Με τη σκέδαση έχουμε επανέκπομψη της ενέργειας του πομπού προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα κύματα που οφείλονται παράγονται συνήθως από αιχμηρές επιφάνειες. Μερικά από αυτά, που επηρεάζουν την διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στους εξωτερικούς χώρους, είναι για παράδειγμα τα σήματα οδικής κυκλοφορίας, οι λαμπτήρες φωτισμού, καθώς και το φύλλωμα των δέντρων.

### 1.15 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΕΜΠΟΔΙΑ

Με τον όρο μετάδοση (transmission) περιγράφουμε το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει πάνω σε εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το μήκος κύματος. Παράδειγμα, διάδοσης έχουμε από τα κτίρια, τους τοίχους, κλπ. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα περάσει από ένα σώμα σε ένα άλλο με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, ένα μέρος του ποσοστού ανακλάται ενώ το άλλο μεταδίδεται. Αν τα σώματα αυτά είναι διηλεκτρικά, μέρος της ακτινοβολίας μεταδίδεται από το ένα σώμα στο άλλο και ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στο αρχικό σώμα, ενώ δεν υπάρχει απώλεια ενέργειας ή απορρόφηση. Αν όμως το δεύτερο σώμα είναι τέλειος αγωγός, τότε όλη η ενέργεια ανακλάται στο αρχικό σώμα. Το ποσοστό του κύματος που μεταδίδεται ορίζει τον συντελεστή μετάδοσης. Ο συντελεστής μετάδοσης εξαρτάται από την πόλωση, την γωνία πρόσπτωσης και τη συχνότητα του διαδιδόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

### 1.16 ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΧΩΡΟ

Η πιο απλή μελέτη διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου. Για να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο θα πρέπει ο πομπός και ο δέκτης να έχουν άμεση οπτική επαφή και να μην υπάρχουν εμπόδια. Είναι προφανές ότι το συγκεκριμένο μοντέλο διάδοσης απαιτεί ιδανικές συνθήκες οι οποίες υφίστανται σε ένα πραγματικό σενάριο ασύρματης ζεύξης. Ωστόσο, σε διάφορες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε μια δορυφορική ζεύξη, σε μια μικροκυματική ζεύξη ή πιο ειδικά στη μελέτη ενός προβλήματος στο οποίο έχουμε στο περιβάλλον ικανό να θεωρηθεί όμοιο με το περιβάλλον <<ελεύθερου

χώρου>>, το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί δίνοντας εκτιμήσει για την στάθμη ισχύος του σήματος. Γίνεται η υπόθεση ότι η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης βρίσκονται σε περιβάλλον ελεύθερου χώρου, δηλαδή μακριά από την γη και από εμπόδια. Αν  $P_T$ ,  $P_R$  η ισχύς που εκπέμπεται από τον πομπό και τον δέκτη αντίστοιχα,  $G_T, G_R$  τα κέρδη της κεραίας του πομπού και του δέκτη κατεύθυνσης λήψης αντίστοιχα,  $A$  η ενεργός επιφάνεια της κεραίας και  $d$  η απόσταση της ραδιοζεύξης, η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας σε απόσταση  $d$  προκύπτει ίση με:

$$W = P_T G_T / 4\pi d^2$$

Η διαθέσιμη ισχύς της κεραίας λήψης προκύπτει ίση με:

$$P_R = (P_T G_T / 4\pi d^2) * A = (P_T G_T / 4\pi d^2) * (\lambda^2 G_R / 4\pi)$$

Η παραπάνω σχέση είναι η εξίσωση ελεύθερου χώρου. Για την εξαγωγή της έχει χρησιμοποιηθεί η υπόθεση ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται μέσα από σφαιρική επιφάνεια εμβαδού  $4\pi d^2$  χωρίς εμπόδια στον περιβάλλοντα χώρο.

Η απώλεια διάδοσης σε dB δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$L_f = 10 \log P_R / P_T = 10 \log_{10} G_R + 10 \log_{10} G_T - 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} d + k$$

Όπου  $k = 20 \log_{10} (3 \cdot 10^8 / 4\pi) = 147,6$ .

## 2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

# ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΑΛΑΝΤΕΥΜΕΝΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΠΟΛΟΥ- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΕΡΑΙΩΝ

### 2.1 Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και σύγχρονη τεχνολογία

Όταν κάποιος αναφέρεται στο φως και θέλει να δώσει έμφαση στον μηχανισμό διάδοσης το χαρακτηρίζει ηλεκτρομαγνητικό κύμα, έχοντας επίγνωση ότι πρόκειται και για ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Εφόσον όμως <<θυμηθεί>> την έννοια ενέργεια και θελήσει να φωτίσει την ενεργειακή υπόσταση της υλικής αυτής οντότητας , να τονίσει δηλαδή το γεγονός ότι <<φως σημαίνει και μεταφορά ενέργειας>>, θα υποστηρίξει ότι το φως είναι ακτινοβολία και βέβαια θα την χαρακτηρίσει και ηλεκτρομαγνητική. Τον ίδιο ακριβώς προσδιορισμό θα αποδώσει και στις άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων .

Στο έτος 1890, οι φυσικοί γνώριζαν τέσσερις μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθεμία από τις οποίες αποτελούσε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ταξινομώντας με αυξανόμενη συχνότητα , μπορούμε να πούμε ότι γνώριζαν τα ακόλουθα

- Τα ραδιοκύματα

- Τις υπέρυθρες ακτίνες
- Το φως
- Τις υπεριώδεις ακτίνες

Στην δεκαετία που ακολούθησε, την τελευταία του 19ου αιώνα, ανακαλύφθηκαν δυο ακόμα μορφές ύλης, για τις οποίες η έρευνα έδειξε ότι συνιστούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η μια είναι οι ακτίνες X και η άλλη οι ακτίνες γ της ραδιενέργειας.

Στο μεταξύ του τέλους του ίδιου αιώνα οι φυσικοί θεωρούν ότι <<η υλική αυτή οντότητα εκπέμπεται από κάποιους υλικούς ταλαντωτές που βρίσκονται στα σπλάχνα της ύλης>> και η έρευνα πάνω στα μυστικά της οδηγεί έναν από αυτούς σε μια υπόθεση για την ενεργειακή της υπόσταση της ακτινοβολίας, υπόθεση η οποία θα λειτουργήσει ως ωρολογιακή βόμβα για την εξέλιξη της επιστήμης. Υποθέτει ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται από τους υλικούς ταλαντωτές έτσι ώστε η ποσότητα εκπεμπόμενης ενέργειας να είναι κβαντική. Καθεμία από αυτές τις μορφές ύλης – ραδιοκύματα, υπέρυθρες ακτίνες, φως, υπεριώδεις ακτίνες, ακτίνες X και ακτίνες γ - οι οποίες συγκροτούν και το λεγόμενο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι οι ακόλουθες :

- Από την άποψη της υλική δομής, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο
- Από την σκοπιά του τρόπου διάδοσης, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα
- Από την ενεργειακή σκοπιά, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Οι μορφές αυτές, ως κύματα έχουν την ίδια ταχύτητα διάδοσης στο κενό και διαφέρουν στις τιμές της συχνότητας και του μήκους κύματος.

## 2.2 Η περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ταλαντευμένου δίπολου

Είναι γνωστό ότι τα ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που έχει συχνότητα ίση με την συχνότητα ταλάντωσης. Έτσι λειτουργούν οι κεραίες. Περιμένουμε λοιπόν πως όταν ένα άτομο εξαναγκάζεται να ταλαντωθεί εκπέμπει κύματα φωτός σε μια από τις φυσικές του συχνότητες .

Αυτή είναι η κλασική ερμηνεία της εκπομπής χαρακτηριστικών χρωμάτων όταν τα άτομα αερίων εξαναγκάζονται από ένα ηλεκτρικό πεδίο να ακτινοβολήσουν μέσα σε ένα σωλήνα εκκενώσεων. Επιπλέον, είναι εύκολο να παρατηρήσουμε ένα προσπίπτον φωτεινό κύμα συχνότητας  $\omega_0$  να θέτει σε ταλάντωση με τη φυσική του συχνότητα ένα άτομο εξασκώντας σε αυτό μια περιοδική δύναμη μέσω του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος.

Η αλληλεπίδραση αυτή μεταφέρει ενέργεια από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο άτομο, πράγμα που προκαλεί απορρόφηση στην συχνότητα συντονισμού. Έτσι το άτομο αναμένεται να απορροφά ισχυρά στην φυσική του συχνότητα. Οι κλασικές θεωρίες θα πρέπει να δεχτούν πως κάθε ηλεκτρόνιο έχει αρκετές φυσικές συχνότητες προκειμένου να εξηγήσουν τα παρατηρούμενα φάσματα. Αν δεν γίνει αυτό, θα πρέπει για παράδειγμα στην περίπτωση του υδρογόνου να δεχτούμε μόνο μια συχνότητα εκπομπής.

### 2.2.1 Κβαντική θεωρία των ακτινοβολούμενων δίπολων

Είδαμε ότι το κλασσικό μοντέλο μπορεί να εξηγήσει την εκπομπή και την απορρόφηση της ακτινοβολίας, αλλά δεν μπορεί να δώσει εξήγηση για την συχνότητα ή την ένταση της ακτινοβολίας. Τα μεγέθη αυτά μπορούν να υπολογιστούν μόνο με την κβαντική θεωρία. Η κβαντική θεωρία μας λέει ότι τα άτομα απορροφούν ή εκπέμπουν φωτόνια όταν μεταπηδούν από μια σε άλλη κβαντική κατάσταση. Οι διαδικασίες εκπομπής ή απορρόφησης ονομάζονται μεταβάσεις ακτινοβολίας. Η ενέργεια του φωτονίου ισούται με την διαφορά των ενεργειακών σταθμών :

$$h\nu = E_2 - E_1$$

Ο ρυθμός των μεταδόσεων  $W_{12}$  μπορεί να υπολογιστεί από την αρχική και την τελική κυματοσυνάρτηση των καταστάσεων χρησιμοποιώντας τον χρυσό κανόνα του Fermi :

$$W_{12} = \frac{2\pi}{\hbar} |M_{12}|^2 g(h\nu)$$

Οπού  $M_{12}$  το στοιχείο του πίνακα για την μετάβαση και  $g(h\nu)$  η πυκνότητα καταστάσεων. Το στοιχείο του πίνακα ισούται με το ολοκλήρωμα επικάλυψης :

$$M_{12} = \int \psi_2^*(\vec{r}) H' \psi_1(\vec{r}) d^3 \vec{r}$$

όπου  $H'$  η διαταραχή που προκαλεί την μετάβαση – αντιπροσωπεύει την αλληλεπίδραση μεταξύ του ατόμου και του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί που αναγκάζουν τα άτομα να απορροφήσουν ή να εκπέμψουν φως. Ο πιο ισχυρός από τους μηχανισμούς αυτούς είναι η αλληλεπίδραση ηλεκτρικού δίπολου,  $E1$ .

Υπάρχουν και μεγαλύτερας τάξεως φαινόμενα. Η πυκνότητα καταστάσεων ορίζεται έτσι ώστε η παράσταση :

$$g(h\nu)dE$$

να δίνει τον αριθμό των τελικών καταστάσεων ανα μονάδα όγκου που έχουν ενέργειες μεταξύ  $E$  και  $E+dE$ , όπου  $E=h\nu$ . Στην συνηθισμένη περίπτωση μεταβάσεων, τόσο η αρχική όσο και η τελική ενεργειακή στάθμη είναι διακρίτες. Στην αυτή η πυκνότητα καταστάσεων που μπαίνει στον χρυσό κανόνα του Fermi είναι η πυκνότητα των καταστάσεων του φωτονίου.

Στην στερεά κατάσταση θεωρούμε μεταβάσεις μεταξύ ηλεκτρονικών ζωνών και όχι μεταξύ διακριτών καταστάσεων. Στην περίπτωση αυτή, όταν υπολογίζουμε τον ρυθμό των μεταβάσεων, θα πρέπει να θεωρήσουμε την πυκνότητα των ηλεκτρονικών καταστάσεων όπως επίσης την πυκνότητα των φωτονικών καταστάσεων. Το θέμα όμως αυτό μελετάται στις οπτικές ιδιότητες των στερεών. Στο ελεύθερο χώρο, τα φωτόνια μπορούν να έχουν οποιαδήποτε συχνότητα και να είναι διαθέσιμη μια συνεχής αλληλουχία καταστάσεων, όπως φέεται στο δεξιό μέρος του παραπάνω σχήματος. Επομένως το άτομο μπορεί πάντα να εκπέμψει ένα φωτόνιο και το στοιχείο πίνακα καθορίζει την πιθανότητα να συμβεί η μετάβαση αυτή. Είναι λοιπόν επιτακτική η μελέτη του στοιχείου πίνακα προκειμένου να έχουμε πληροφορία για το κατά πόσον μια μετάβαση έχει μικρότερες ή μεγαλύτερες πιθανότητες να συμβεί.

Επίσης, οι μεταβάσεις  $E1$ , ηλεκτρικού δίπολου (electric dipole transitions) είναι το κβαντομηχανικό ισοδύναμο του κλασσικού

ταλαντούμενου διπόλου που συζητήσαμε στη αρχή. Θεωρούμε ότι το άτομο ακτινοβολείται με φως και μεταβαίνει από μια ενεργειακή στάθμη 1 σε άλλη 2 με την απορρόφηση ενός φωτονίου. Η ενέργεια αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός δίπολου  $\vec{P}$  και ενός ηλεκτρικού πεδίου  $\vec{E}$  δίνεται από την σχέση:

$$E = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Έχουμε υποθέσει πως ο πυρήνας είναι βαρύς, έτσι εξετάζουμε τις επιδράσεις μόνο στο ηλεκτρόνιο. Η διαταραχή ηλεκτρικού διπόλου δίνεται από την σχέση:

$$H' = +e\vec{r} \cdot \vec{E}$$

Όπου  $\vec{r}$  το άνωσμα θέσης του ηλεκτρονίου και  $\vec{E}$  το ηλεκτρικό πεδίο του φωτεινού κύματος. Η παραπάνω σχέση μπορεί να απλοποιηθεί και να γραφεί:

$$H' = +e(xE_x + yE_y + zE_z),$$

Όπου  $E_x$  είναι η συνιστώσα του πεδίου κατά άξονα του x, κ.ο.κ.

Τα ολοκληρώματα αυτού του τύπου ονομάζονται διπολικές ροπές και η παράμετρος κλειδί που καθορίζει τον ρυθμό μετάδοσης για

τις διαδικασίες ηλεκτρικού διπόλου. Το σημείο αυτό είναι κατάλληλο για να εξηγηθεί ο λόγος που οι μεταβάσεις  $E1$ , ηλεκτρικού διπόλου, οδηγούν στην εκπομπή φωτός. Τέλος, για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει να θεωρήσουμε την εξάρτηση από το χρόνο των κυματοσυναρτήσεων, πράγμα που προκύπτει από την εξίσωση του Schrodinger την εξαρτημένη από τον χρόνο:

$$H(\vec{r})\Psi(\vec{r},t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r},t)$$

Όπου  $H(r)$  η Hamiltonian του συστήματος.

### 2.3 Χαρακτηριστικά και μελέτη λειτουργίας κεραιών

Απαραίτητη προϋπόθεση για την αναλυτική μελέτη της θεωρίας των κεραιών αποτελεί η κατανόηση της θεωρίας των συντονισμένων κυκλωμάτων ( resonant circuits) και επιπρόσθετα των φαινομένων προσαρμογής σύνθετης αντίστασης (impedance matching). Για να καταστεί σαφές το παραπάνω σχόλιο και να μη δημιουργηθεί λανθασμένα συμπεράσματα, αναφέρονται τα ακόλουθα:

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί πως η μέγιστη μεταφορά ισχύος κατά την μετάδοση της μέσω γραμμής μεταφοράς επιτυγχάνεται στην περίπτωση που η πηγή (πομπός) είναι προσαρμοσμένη στο φορτίο (load). Ως εκ τούτου η κεραία θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη τόσο στην γραμμή μεταφοράς (στην περίπτωση μας λογίζεται ως η πηγή) όσο και στο φορτίο (ως τέτοιο λογίζεται η ατμόσφαιρα –περιβάλλον χώρος)- στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι στις ραδιοκυματικές συχνότητες ένα απλό

καλώδιο , αναλόγως του φυσικού μήκους του, μπορεί να αποτελέσει μια impedance-matching διάταξη.

Επιπρόσθετα , η διάταξη της κεραίας θα πρέπει να λειτουργεί κατά τρόπο παρόμοιο του τρόπου λειτουργίας των συντονισμένων κυκλωμάτων. Για παράδειγμα, θα πρέπει να εμφανίζει την ικανότητα μεταφοράς και εναλλαγής της ενέργειας από ηλεκτροστατική σε ηλεκτρομαγνητική και αντιστρόφως. Στην περίπτωση δε που η προσαρμογή της κεραίας στο υπόλοιπο κύκλωμα είναι άριστη , μέρος της μεταδιδόμενης ενέργειας εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα καθ' όμοιο τρόπο με τον αντίστοιχο με τον οποίο η ενέργεια μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον πηνίο του μετασχηματιστή. Ο εν λόγω παραλληλισμός, αν και απλοϊκός , διευκολύνει στην κατανόηση της διαδικασίας η οποία απαντάται κατά την μετάδοση της RF ενέργειας.

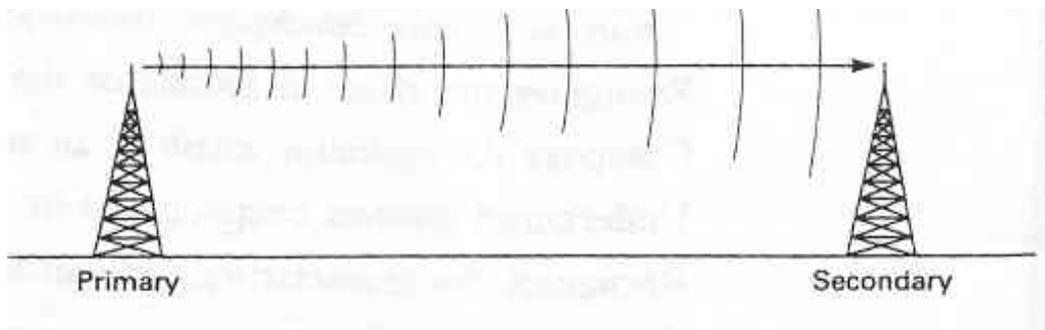
Γενικά, η κεραία αποτελεί μια μεταλλική κατασκευή η λειτουργία της οποίας εστιάζεται στη μετατροπή των υψίσυχνων ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αντίστροφα. Ανεξαρτήτως των διαφορετικών λειτουργιών τους, οι κεραίες λήψης και εκπομπής εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά γεγονός που συνεπάγεται την ομοιότητα της συμπεριφορά τους. Οι διαστάσεις, το μέγεθος και το σχήμα των κεραιών σχετίζεται άμεσα και εξαρτώνται από το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος πχ το μήκος κύματος (mechanical length) μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα της συχνότητας του κύματος αφού ως γνωστόν ισχύει η σχέση:

$$T=1/f \text{ (9-1) όπου}$$

T: ο χρόνος

F: η συχνότητα

Συνεπώς , στην περίπτωση της κεραίας η οποία λειτουργεί στα 50MHz το μήκος κύματος της θα πρέπει να είναι 6m.



Σχήμα No. 2 - Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Οποτεδήποτε RF ενέργεια διοχετεύεται σε μη προσαρμοσμένη γραμμή μεταφοράς (mismatched transmission line), δημιουργούνται στάσιμα κύματα, (standing waves) αποτέλεσμα των οποίων είναι η απώλεια ενέργειας ή η εκπομπή της στον περιβάλλοντα χώρο της γραμμής μεταφοράς. Καθιστάτε λοιπόν σαφές ότι εν λόγω διαδικασία αποτελεί ανεπιθύμητο φαινόμενο κατά τη μετάδοση της ενέργειας. Μελετώντας λεπτομερέστερα την παραπάνω διαδικασία και εστιάζοντας στη γραμμή μεταφοράς αγνοώντας τις διατάξεις που την πλαισιώνουν, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη η ελεύθερη επιφάνεια της στο χώρο τόσο περισσότερο διευκολύνεται η διαδικασία ακτινοβολίας της ενέργειας οπότε και μεγαλύτερη ενέργεια εκπέμπεται στον περιβάλλοντα χώρο.

Έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση ακτινοβολίας (radiation efficiency) της προαναφερθείσας διάταξης μεγιστοποιείται στην περίπτωση που στα άκρα της έχουν καμφθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να εμφανίζονται κάθετα στη γραμμή μεταφοράς. Καταυτό τον τρόπο το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι πλήρως συζευγμένα (fully coupled) κατά τη διάδοση τους στον περιβάλλοντα χώρο, οπότε και επιτυγχάνεται η μέγιστη ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η εν λόγω διάταξη καλείται δίπολο. Στη περίπτωση δε , που το συνολικό μήκος των δυο καλωδίων είναι ίσο με το μισό του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου κύματος, η κεραία καλείται δίπολο μισού κύματος (half-wave dipole)

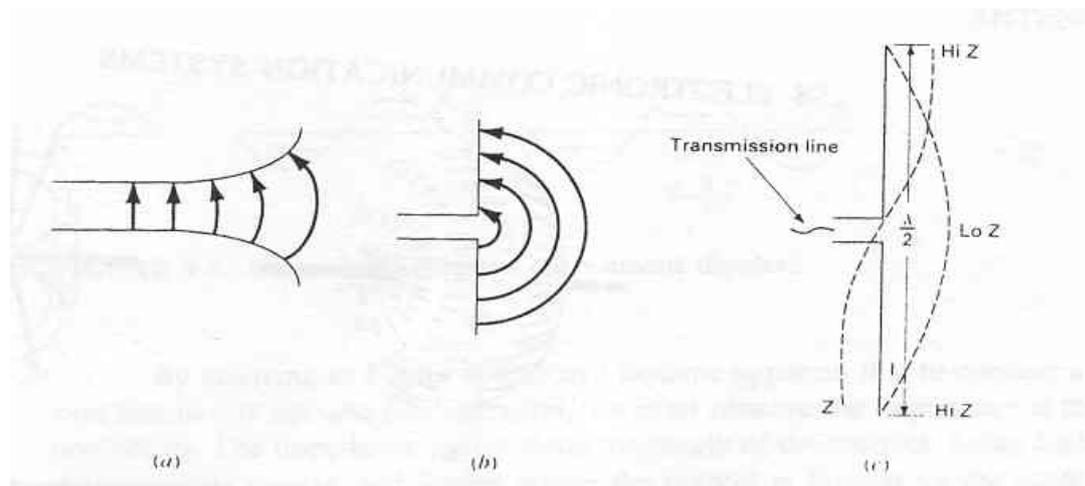
Η προαναφερθείσα διάταξη-διαμόρφωση εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την ισοδύναμη γραμμή μεταφοράς μήκους ίσου με  $1/4\lambda$ .

Η τιμή της σύνθετης αντίστασης είναι μεγάλη στα άκρα της διάταξης (σχήμα 9.2c) ενώ αντιθέτως η σύνθετη αντίσταση λαμβάνει μικρή τιμή στο κέντρο της στο σημείο όπου πραγματοποιείται η σύνδεση της με την γραμμή μεταφοράς.

Ως εκ τούτου η ένταση του ρεύματος είναι μεγάλη (large current nodes) στο κέντρο της διάταξης και αντιθέτως μικρή στα άκρα της κεραίας , γεγονός που οδηγεί στη μέγιστη ακτινοβολούμενη ενέργεια.

### 2.3.1 Το στοιχειώδες δίπολο (Hertz dipole)

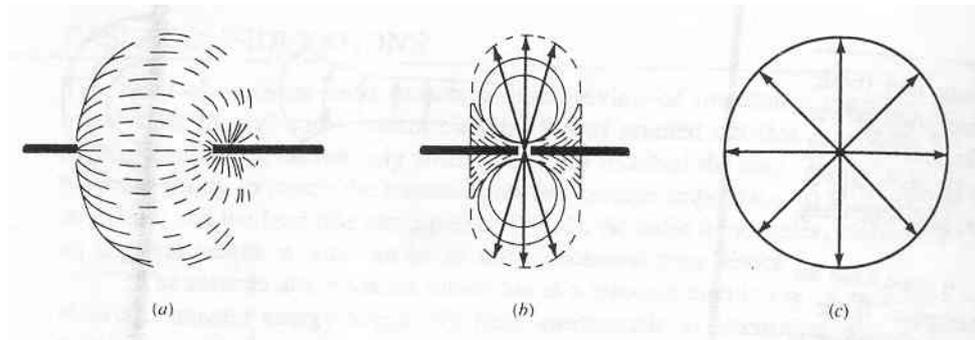
Στην ουσία πρόκειται για μια θεωρητική κεραία της οποίας το μήκος της δεν ξεπερνά το μήκος του εκπεμπόμενου κύματος (σχήμα 9.3α). Εξυπηρετεί στη θεωρητική μελέτη των κεραιών



**Σχήμα Νο. 3 - Το διάγραμμα ακτινοβολίας του στοιχειώδους δίπολου (a) πλευρική άποψη (b) γωνία μέγιστης ακτινοβολίας (c) κατακόρυφη άποψη**

Ως το πρότυπο βάσει του οποίου συγκρίνονται και ορίζονται τα χαρακτηριστικά όλων των κεραιών που χρησιμοποιούνται .

Η ισχύς του πεδίου (field strength) του δίπολου Hertz υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :



**Σχήμα Νο.3**

$$E = \frac{60 \cdot \pi \cdot L_e \cdot I \cdot \sin\theta}{\lambda \cdot r}$$

E: η ισχύς του μαγνητικού πεδίου, r: η απόσταση,  $L_e$ : το μήκος της κεραιάς, I: η ένταση του ρεύματος,  $\theta$ : γωνία που σχηματίζεται από

τον άξονα του καλωδίου και την διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας.

Όπως εικονίζεται στο σχήμα 9.3b το διάγραμμα ακτινοβολίας που στοιχειώδες δίπολου εμφανίζει ομοιομορφία εκατέρωθεν του άξονα του δίπολου (συμμετρικοί κύκλοι) ενώ από το ίδιο σχήμα διαφαίνεται ότι η διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας του δίπολου είναι η κάθετη στον άξονα του.

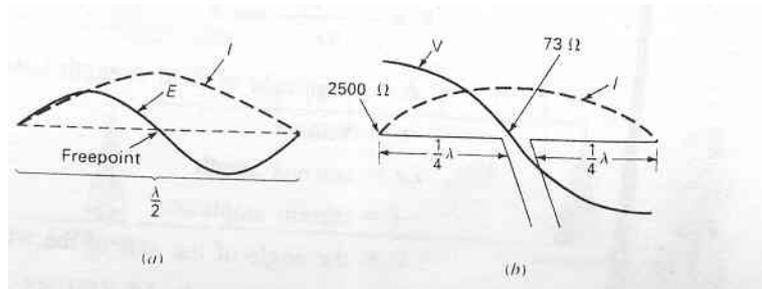
### 2.3.2 Συρμάτινες κεραιές

Στην παράγραφο που ακολουθεί περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των κεραιών υπό την προϋποθέσει ότι βρίσκονται τοποθετημένες μακριά από την επιφάνεια της γης. Η εν λόγω συνθήκη επιβάλλεται δεδομένου ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραιάς μεταβάλλεται-παραμορφώνεται από την ύπαρξη της γήινης επιφάνειας .

### 2.3.3 Κατανομή τάσης και ρεύματος

Οποτεδήποτε τάση υψίσυχνου (RF) σήματος εφαρμόζεται σε κάποιο σημείο της κεραιάς , στο εν λόγω σημείο αναπτύσσεται τάση και επάγεται ηλεκτρικό ρεύμα με άμεσο αποτέλεσμα τη δημιουργία και διάδοση κυμάτων (traveling waves). Η εν λόγω διαδικασία εάν είναι δυνατόν να συνοδεύεται από την δημιουργία στάσιμων κυμάτων, η ύπαρξη των οποίων αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι η τάση και η ένταση του ρεύματος είναι εκτός φάσης. Το διάγραμμα ακτινοβολίας (radiation pattern) της κεραιάς εξαρτάται κατά βάση από το μήκος της μετρούμενο σε μήκος κύματος, τις πιθανές απώλειες ισχύος και από τα φορτία (terminations) που πιθανότητα είναι συνδεδεμένα στα δυο άκρα της. Επιπρόσθετα, το

πάχος της κεραίας αποτελεί παράγοντα εξέχουσας σημασίας στην διαμόρφωση του διαγράμματος ακτινοβολίας. Στην παρούσα παρουσίαση που επιχειρείται, οι κεραίες θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν απώλειες και επίσης ότι είναι κατασκευασμένες από καλώδια πολύ μικρής διατομής.



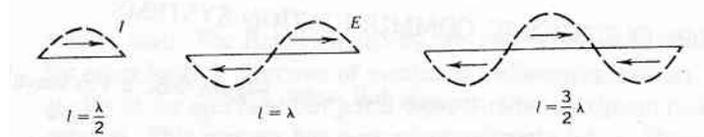
**Σχήμα Νο.4 - Κατανομή τάσης και ρεύματος κατά μήκος του δίπολου μισού κύματος**

Στο σχήμα Νο.4 απεικονίζεται η αναπτυσσόμενη τάση και η κατανομή του ρεύματος κατά μήκος του δίπολου μισού κύματος. Από την μελέτη του εν λόγω σχήματος και τη σύγκριση του με το αντίστοιχο σχήμα Νο.3 καθίσταται προφανής η ομοιότητα την οποία παρουσιάζει το διάγραμμα ακτινοβολίας της εν λόγω διάταξης με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταφοράς μήκους  $\lambda/4$  της οποίας τα άκρα εμφανίζουν τη μορφή του σχήματος Νο.2. η μεταβολή της τάσης και της έντασης του ρεύματος είναι τέτοια ώστε οι χαρακτηριστικές καμπύλες τους επαναλαμβάνονται ανά μήκος  $\lambda/2$ .

Αναφερόμενοι στο σχήμα Νο.4 παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι για την διασύνδεση της εν λόγω διάταξης κεραίας με μια γραμμή μεταφοράς, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την μέτρηση της εμπέδησης στα άκρα της σύνδεσης προκειμένου να

πραγματοποιηθεί η τέλεια προσαρμογή τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η τιμή της εμπέδησης μεταβάλλεται κατά μήκος της κεραίας, εμφανίζοντας μέγιστη τιμή στα σημεία όπου η ένταση του ρεύματος είναι ελάχιστη ενώ αντίθετα η τιμή της εμπέδησης είναι ελάχιστη στο κέντρο της διάταξης όπου η τιμή του ρεύματος εμφανίζει μέγιστη. Συγκεκριμένα στο κέντρο της κεραίας μισού κύματος η εμπέδηση εμφανίζει τιμή περί τα 73 Ωm η οποία αυξάνεται σταδιακά μέχρι την τιμή των 2000 Ωm σε κάθε ένα εκ των δυο άκρων.

Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η μέγιστη μεταφορά ενέργειας , από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η εμπέδηση της γραμμής μεταφοράς που θα συνδεθεί στην εν λόγω κεραία θα πρέπει να είναι 73 Ωm. Η περιγραφόμενη μέθοδος διασύνδεσης της γραμμής μεταφοράς στην κεραία αναφέρεται ως centre-current fed.



**Σχήμα Νο.5 - Συντονισμένες κεραίες, διαγράμματα ακτινοβολίας**

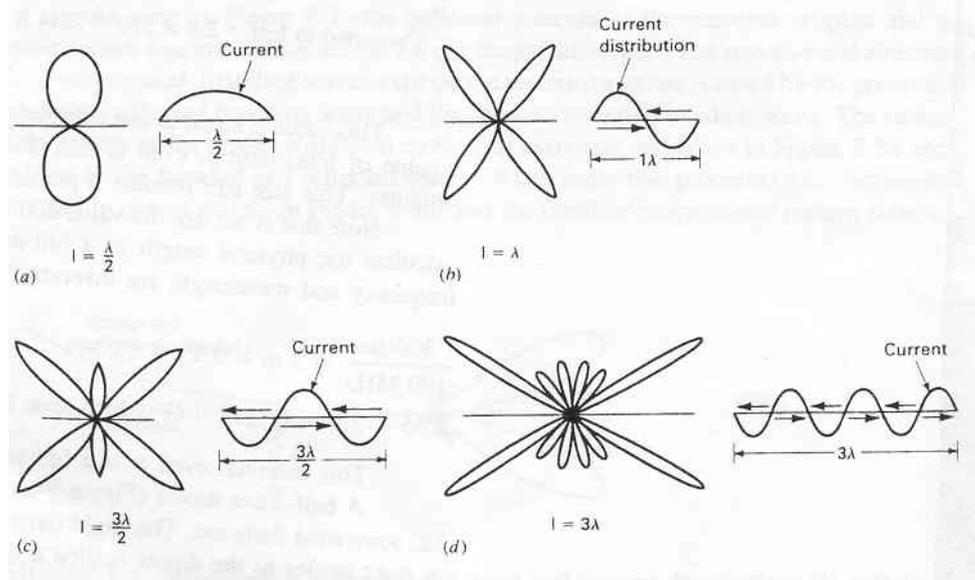
Ως γνωστόν , από την θεωρία των συντονισμένων κυκλωμάτων ισχύει ότι ένα οποιοδήποτε συντονισμένο κύκλωμα υψηλής τιμής Q εμφανίζει πολύ μικρό εύρος ζώνης. Καθ' όμοιο τρόπο , οι συντονισμένες κεραίες (resonant antennas ) εμφανίζουν πολύ μικρό εύρος ζώνης , ιδιότητα η οποία καθορίζει τα χρήσιμα όρια του κάθε τύπου ακτινοβολητή(radiator). Το διάγραμμα ακτινοβολίας (στον ελεύθερο χώρο) ενός οποιουδήποτε ακτινοβολητή καλωδίου (wire radiator) εξαρτάται κυρίως από το

μήκος του. Στο σχήμα Νο.6 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά διαγράμματα κατανομής της έντασης του ρεύματος και τα αντίστοιχα διαγράμματα ακτινοβολίας στις περιπτώσεις όπου το μήκος της κεραίας είναι  $l=\lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, 3\lambda$  αντίστοιχα.

Η κεραία μισού κύματος εμφανίζει κατανεμημένη χωρητική (capacitance) και επαγωγική αντίσταση (inductance) και ως εκ τούτου λειτουργεί ως συντονισμένο κύκλωμα, στο οποίο η τάση και η ένταση του ρεύματος είναι εκτός φάσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι συνδέοντας το άκρο της κεραίας μέσω ενός RF βολτόμετρου στη γείωση η μετρούμενη τιμή τάσης είναι πολύ μεγάλη. Μετακινώντας τον ακροδέκτη του βολτόμετρου κατά μήκος της κεραίας και πλησιάζοντας προς το κέντρο της διάταξης η μετρούμενη τιμή της τάσης ελαχιστοποιείται.

Τέλος, αναφορικά με το μήκος της κεραίας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο υπολογισμός του βασίζεται στην εξίσωση 9-3 η οποία ακολουθεί:  $L=vel/f$  (9-3) όπου  $vel$  είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρικού κύματος στο συγκεκριμένο μέσο  $f$  η συχνότητα του.

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο εν λόγω μέσο προσδιορίζεται από τη σχέση  $vel=c \cdot \sqrt{\epsilon}$  (9-3') όπου  $c$  η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό.



Σχήμα No.6

$V_f$  είναι ο παράγοντας ταχύτητας (velocity factor). Γενικά, ο παράγοντας ταχύτητας λογίζεται ως 0.95.

Όταν το μήκος της κεραίας ισούται με το μήκος κύματος η πολικότητα (polarity) του ρεύματος εναλλάσσεται κατά μήκος της διάταξης έτσι που στο κέντρο της διάταξης η πολικότητα του ρεύματος αλλάζει. Ως αποτέλεσμα της ύπαρξης των εκτός φάσης ρευμάτων κατά μήκος της κεραίας, δεν ακτινοβολείται ενέργεια προς τις κατευθύνσεις οι οποίες φαίνονται στο σχήμα No.6. Αρκεί να αναλογιστούμε ότι η κεραία διαρρέεται από ρεύματα αντίθετης πολικότητας γεγονός που συνεπάγεται την αμοιβαία ακύρωσή τους, προκειμένου να κατανοήσουμε τη μορφή που εμφανίζει το διάγραμμα ακτινοβολίας της διπολικής κεραίας πλήρους κύματος. Όπως προκύπτει το διάγραμμα ακτινοβολίας του δίπολου πλήρους κύματος εμφανίζει περισσότερους (τέσσερις) λοβούς ακτινοβολίας (lobes).

Καθώς το μήκος της διπολικής κεραίας αυξάνεται  $l=3\lambda/2$ , η κατανομή του ρεύματος κατά μήκος της διπολικής διάταξης αλλάζει σύμφωνα με το σχήμα Νο.6, κατά τρόπο που η πολικότητα του αλλάζει δυο φορές. Θεωρώντας τη διπολική κεραία μήκους  $3\lambda/2$  ως ένα σύστημα αποτελούμενο από τρία δίπολα ημίσεως κύματος τοποθετημένα εν σειρά, έτσι που τα δυο ακραία να διεγείρονται από ομοφασικά ρεύματα και το μεσαίο- το οποίο το κέντρο είναι τοποθετημένο σε απόσταση  $\lambda/2$  από τα κέντρα των άλλων δυο κεραιών- από ρεύμα αντίθετης φάσης, αντιλαμβανόμαστε ότι η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας είναι το αποτέλεσμα της συμβολής και συνύπαρξης των διαγραμμάτων των τριών δίπολων μισού κύματος.

Επαερχόμενοι εκ νέου στο σχήμα Νο.6 παρατηρούμε εν τέλει, η αύξηση του μήκους της διπολικής κεραίας οδηγεί στην αύξηση του αριθμού των λοβών ακτινοβολίας. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση της διπολικής κεραίας μήκους  $3\lambda/2$  είναι προφανές ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας απαρτίζεται από έξι λοβούς. Οι δυο εξ' αυτών είναι δευτερεύοντες λοβοί (minor lobes) δεδομένου ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια κατά την διεύθυνση τους είναι ασήμαντη ενώ οι υπόλοιποι τέσσερις είναι οι κύριοι λοβοί ακτινοβολίας.

Συγκρίνοντας για παράδειγμα τα διαγράμματα ακτινοβολίας των σχημάτων Νο.6 παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της διπολικής κεραίας μήκους  $3\lambda/2$  η διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας εστιάζεται καλύτερα πέριξ του άξονα του δίπολου. Τέλος, είναι προφανής η συμμετρία του διαγράμματος ακτινοβολίας των διπολικών κεραιών εκατέρωθεν του άξονα των.

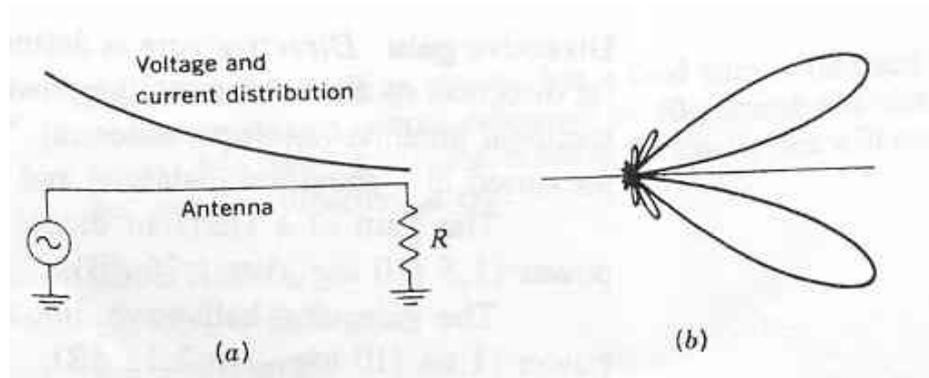
Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι στην μεν περίπτωση της διπολικής κεραίας  $3\lambda/2$  σε κάθε μια πλευρά του άξονα υπάρχουν 3 λοβοί ακτινοβολίας (αριθμός ίσος με το συνολικό αριθμό λοβών ρεύματος κατά μήκος της κεραίας), στη δε περίπτωση της διπολικής κεραίας

μήκους 3λ έξι είναι οι λοβοί ακτινοβολίας στη κάθε μία πλευρά του άξονα της διάταξης.

### 2.3.4 Μη συντονισμένες κεραίες (Directional antennas)

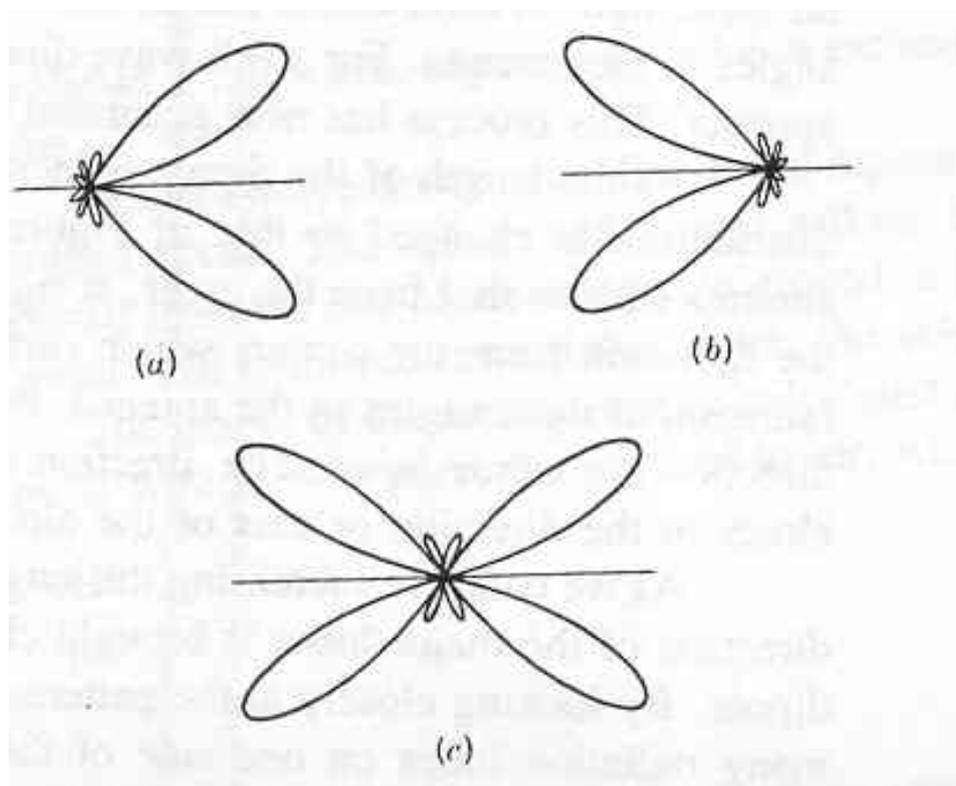
Κατά μήκος μίας συντονισμένης κεραίας, όπως και στην περίπτωση της άριστα τερματισμένης (properly terminated) γραμμής μεταφοράς, δεν παράγονται στάσιμα κύματα. Η ύπαρξη κατάλληλης αντίστασης τερματισμού στα άκρα μη συντονισμένης κεραίας εξασφαλίζει τον μηδενισμό των στάσιμων κυμάτων διασφαλίζοντας παράλληλα τη μετάδοση των κυμάτων προς μία μόνο κατεύθυνση (forward). Επιπρόσθετα, η αντίσταση τερματισμού στα άκρα της κεραίας επιφέρει την εξασθένιση της εκπεμπόμενης ενέργειας έτσι ώστε τα δύο τρίτα της συνολικής μεταφερόμενης ενέργειας εκπέμπονται στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας (σχήμα No.7).

Συγκρίνοντας το σχήμα No.7 με τα αντίστοιχα του σχήματος No.6 παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα ακτινοβολίας της μη συντονισμένης κεραίας εμφανίζει χαρακτηριστικές ομοιότητες με το διάγραμμα ακτινοβολίας της αντίστοιχης συντονισμένης κεραίας. Η ουσιαστική διαφορά τους έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι μη συντονισμένες κεραίες είναι μονοκατευθυντικές (unidirectional). Το ερώτημα που γεννάται αφορά την διευκρίνιση των αιτιών εξ' αιτίας των οποίων το διάγραμμα ακτινοβολίας των συντονισμένων κεραίων εμφανίζεται πανκατευθυντικό (omnidirectional). Πολύ απλά, στις συντονισμένες κεραίες η συνύπαρξη των ανακλώμενων (reflected) και ορθώς διαδεδομένων (forward travelling incident) κυμάτων, έχει ως επακόλουθο τη δημιουργία στάσιμων κυμάτων,



**Σχήμα Νο. 7 - Μη συντονισμένη κεραία (α) διάταξη και κατανομή ρεύματος (β) διάγραμμα ακτινοβολίας**

Η ύπαρξη των οποίων τη μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας. Αποτελείται λοιπόν από τα δύο τμήματα (σχήμα Νο.8) κάθε ένα εκ των οποίων οφείλεται στην ύπαρξη των forward και ανακλώμενων κυμάτων αντίστοιχα. Ο συνδυασμός επομένως των εν λόγω διαγραμμάτων ακτινοβολίας οδηγεί στο δικατευθυντικό (bidirectional) διαγράμματα ακτινοβολίας του σχήματος Νο.8.



**Σχήμα Νο. 9 - Απεικόνιση του τρόπου σύνθεσης του διαγράμματος**

- ακτινοβολίας συντονισμένης κεραίας (α) προερχόμενο από το forward κύμα  
(b) προερχόμενο από το ανακλώμενο

## 2.4 Παράμετροι και χαρακτηριστικά κεραιών

Από τα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους κατέστη σαφές ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας μίας κεραίας – καλωδίου (wire radiator) είναι πολύπλοκο, και ως εκ τούτου θα πρέπει να βρεθεί ο τρόπος ώστε να περιγράφει και να προσδιοριστεί με σαφήνεια. Συνεπώς πρέπει να οριστούν τα κατάλληλα μεγέθη και την βοήθεια των οποίων θα περιγραφούν και να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά κάθε κεραίας. Ενδεικτικά αναφέρονται ως τέτοια , το κέρδος της κεραίας, η κατευθυντικότητα της, το εύρος ζώνης, το εύρος δέσμης ακτινοβολίας, κτλ.

### 2.4.1 Κέρδος κεραίας και αποτελεσματική ισχύς εκπομπής

Συγκεκριμένοι τύποι κεραιών εστιάζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση συγκριτικά με τις πανκατευθυντικές κεραίες. Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής της ικανότητα χαρακτηριστικού να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελεί το μέγεθος του κέρδους της κεραίας (antenna gain)(μετρούμενο σε decibels). Κατευθυντικό κέρδος (directive gain) ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος (power density) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία πανκατευθυντική κεραία (omnidirectional-isotropic antenna). Η πυκνότητα ισχύος αμφοτέρων των δύο τύπων

κεραιών μετράται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και ως εκ τούτου ένας συγκριτικός λόγος υπολογίζεται.

Σε πραγματική βάση το κέρδος του δίπολου Hertz, αναφορικά πάντοτε με μία πανκατευθυντική κεραία υπολογίζεται 1.76 dB , ενώ καθ' όμοιο τρόπο η αντίστοιχη τιμή του κέρδους της διπολικής κεραίας μισού κύματος υπολογίζεται 2.15 dB. Αναφορικά με τις wire κεραίες οι οποίες αναφερθήκαν σε προηγούμενες παραγράφους, το κέρδος τους ποικίλει από 2.15 dB (δίπολο μισού κύματος) έως 8.51 dB (στην περίπτωση της διπολικής κεραίας μήκους  $l=8\lambda$ ). στη περίπτωση δε των παρόμοιων (ως προς το μήκος) μη συντονισμένων κεραιών, οι τιμές κέρδους των είναι 5.05 dB έως 12.4 dB αντίστοιχα.

Από την σύγκριση των παραπάνω τιμών προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Κατά πρώτον , αυξανόμενου του μήκους της κεραίας αυξάνεται η τιμή του κέρδους της κεραίας. Κατά δεύτερων, συγκρίνοντας τα κέρδη των συντονισμένων κεραιών με τα αντίστοιχα των μη συντονισμένων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μη συντονισμένες κεραίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο κέρδος γεγονός αναμενόμενο. Κατευθυντικότητά και κέρδος ισχύος (directivity and power gain) ένα επιπλέον μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κέρδους μίας κεραίας είναι το κέρδος ισχύος (power gain). Το εν λόγω μέγεθος στην πραγματικότητα αποτελεί μέτρο σύγκρισης της ισχύος εξόδου μίας συγκεκριμένης κεραίας σε συγκεκριμένη κατεύθυνση , σε σχέση με μία ιστροπική κεραία. Το κέρδος μίας κεραίας είναι ο λόγος ισχύος μεταξύ μίας πανκατευθυντικής και μία μονοκατευθυντικής κεραίας. Η μαθητική έκφραση μέσω της οποίας εκφράζεται και υπολογίζεται είναι η ακόλουθη :

$$A(\text{dB})=10\log_{10}(P_2/P_1)$$

Όπου  $A(\text{dB})$ : το κέρδος της κεραίας σε decibels,

$P_1$  : η εκπεμπόμενη ισχύς μονοκατευθυντικής κεραίας

$P_2$ : η εκπεμπόμενη ισχύς της ιστροπικής κεραίας

Ένας επιπρόσθετος όρος ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψει την απόδοση του συστήματος εκπομπής είναι ο effective radiated power(ERP).

### 2.4.2 Μέτρηση εκπομπής και ένταση πεδίου

Οι επαγόμενες τάσεις σε μία κεραία λήψεως είναι πολύ μικρές, της τάξεως των μικροβόλτ. Ως εκ τούτου οι λαμβανόμενες μετρήσεις της εντάσεως του πεδίου(field strength) θα είναι της τάξεως των mV/m.

Ένταση πεδίου: η ένταση του πεδίου, που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον περιβάλλοντα χώρο, σε συγκεκριμένο σημείο ισοδυναμεί με την επαγόμενη τάση επί καλωδίου μήκους 1m το οποίο βρίσκεται στο συγκεκριμένο σημείο. Η τιμή της εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων αναφέροντας τα χαρακτηριστικά τη χρονική στιγμή της ημέρας που πραγματοποιείται η εκπομπή της κεραίας, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την απόσταση του καλωδίου από την κεραία, κλπ.

### 2.4.3 Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας

Πρόκειται για ένα υποθετικό μέγεθος με θεωρητική μόνο σημασία. Ως αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας (antenna radiation resistance) ορίζεται η ωμική αντίσταση ενός κυκλώματος στην οποία θα απελευθερώνονταν το ίδιο ποσό ενέργειας με το αντίστοιχο ακτινοβολούμενο από την κεραία. Προσδιορίζεται δε από το λόγο της μέσης ακτινοβολούμενης ισχύος της κεραίας προς το τετράγωνο της έντασης του επαγόμενου ρεύματος που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένο απομακρυσμένο σημείο(feed point).

Απώλειες και βαθμός απόδοσης: Πέραν της ενέργειας που εκπέμπεται από την κεραία, ένα σημαντικό μέγεθος, ο προσδιορισμός και περιορισμός του οποίου αποτελεί εξέχουσα σημασίας έργο, είναι οι απώλειες ισχύος. Παράγοντες που συμβάλλουν στην απώλεια ισχύος κατά την εκπομπή της κεραίας είναι μεταξύ των άλλων, η ground resistance, corona effects, imperfect dielectric στο περιβάλλοντα χώρο της κεραίας, επαγωγή eddy ρευμάτων σε μεταλλικά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κοντά στην κεραία, και τέλος σε θερμικές απώλειες κατά μήκος της κεραίας. Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, προκύπτει η σχέση :

$$P_{in}=P_d+P_{rad}$$

Όπου  $P_{in}$ : η συνολική ισχύς τροφοδοσίας της κεραίας ,  $P_d$  : η απολεσθείσα ενέργεια,  $P_{rad}$  : η συνολικά ακτινοβολούμενη ενέργεια.

Από την παραπάνω σχέση και αντικαθιστώντας καθ' έναν των τριών όρων με τον αντίστοιχο  $I^2R$  όρο, προκύπτει η ισοδύναμη σχέση :

$$R_{in}=R_d+R_{rad}$$

βασιζόμενη στην οποία μπορούμε να ορίσουμε την παράμετρο του βαθμού απόδοσης (efficiency) της κεραίας ως εξής:

$$n=R_{rad}/(R_{rad}+R_d)*100\%$$

όπου  $R_d$ : η αντίσταση της κεραίας (antenna resistance),  $R_{rad}$ : η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι ο βαθμός απόδοσης της κεραίας μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος από την κεραία προς τη συνολική ισχύ τροφοδοσίας της κεραίας.

Οι LF (Low Frequency) και MF (Medium Frequency) κεραίες είναι οι λιγότερο αποδοτικές δεδομένων των δυσκολιών που απαντώνται στην επίτευξη του κατάλληλου μήκος τους. Συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης των εν λόγω κεραιών δεν

ξεπερνά την τιμή 0.95 ενώ είναι δυνατό στη χειρότερη περίπτωση βαθμός απόδοσης τους να μην ξεπερνά την τιμή 0.75. Φυσικά , αυξανόμενης της συχνότητας εκπομπής της κεραίας , αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης τους έτσι που σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται άριστη απόδοση πλησίον της μέγιστης τιμής 1.

Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι δυνατό να λαμβάνει τιμή σε ένα εύρος λίγων Ohm μέχρι αρκετές εκατοντάδες Ohm. Παράγοντες όπως, η επιλογή του σημείου τροφοδοσίας , τα φυσικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κεραίας, είναι ορισμένοι εκ των οποίων καθορίζουν την τιμή της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας.

#### 2.4.4 Εύρος ζώνης συχνοτήτων, εύρος δέσμης και πολικότητα κεραίας

Από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην περιγραφή των χαρακτηριστικών κεραιών είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) στις οποίες λειτουργεί η κεραία, το εύρος δέσμης (beam width) της κεραίας που καθορίζει το βαθμό συρρίκνωσης /συγκέντρωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας, γύρω από τον κεντρικό άξονα και τέλος η πολικότητα (polarity) που περιγράφει τον προσανατολισμό (space orientation) των εκπεμπόμενων κυμάτων στο χώρο.

Συγκεκριμένα , ο όρος bandwidth προσδιορίζει το εύρος των συχνοτήτων (frequency range) στο οποίο η κεραία μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά, εννοώντας για παράδειγμα ότι η κεραία θα επιτυγχάνει ικανοποιητική απόδοση (throughput) στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Στο σημείο όπου η ισχύς της κεραίας μειώνεται στο μισό της μέγιστης τιμής της (3dB) , το μέγιστο και ελάχιστο του συγκεκριμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων στο οποίο

λειτουργεί η κεραία έχει επιτευχθεί οπότε και η απόδοση της κεραίας μειώνεται σταδιακά.

Στη περίπτωση δε των κεραιών που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, προκειμένου να διατηρείται η απόδοση τους σε υψηλά επίπεδα, ενσωματώνονται κατάλληλα αντισταθμιστικά κυκλώματα (compensating circuits) έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζεται η προσαρμογή σύνθετης αντίστασης της κεραίας. Κατ' αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, εξασφαλίζεται τρόπον τινά η προστασία του εκπεμπόμενου σήματος από αυτού του είδους τις παραμορφώσεις – υποβιβάσεις.

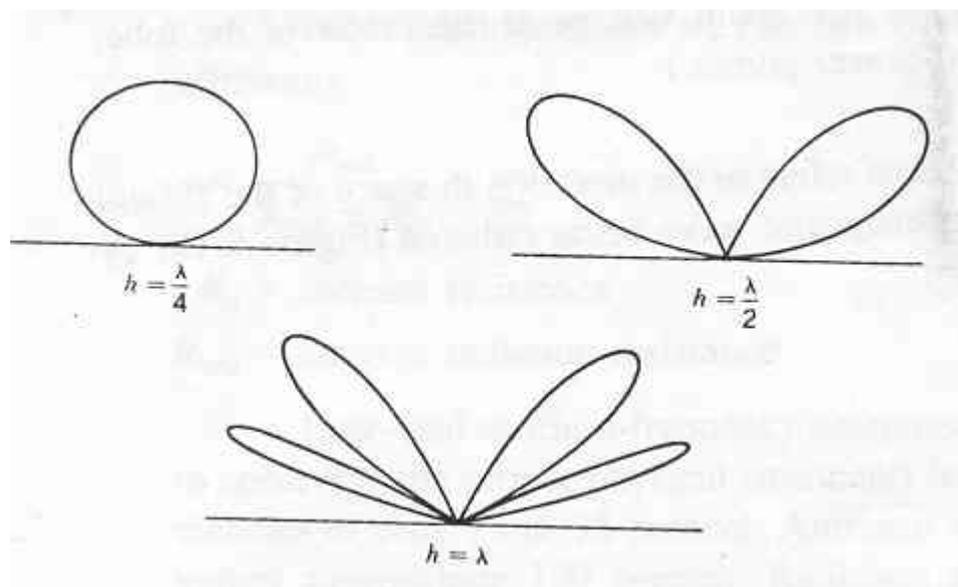
Από την άλλη μεριά, το εύρος δέσμης της κεραίας προσδιορίζει την ικανότητα συρρίκνωσης ή όχι της ακτινοβολούμενης δέσμης γύρω από τον κύριο άξονα ακτινοβολίας. Περιγράφεται δε ως η γωνία που σχηματίζεται από τα σημεία ημίσεως ισχύος (half power points- σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου της κεραίας μειώνεται στο 0.70 της μέγιστης τιμής της) του κυρίως λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Αρκεί να παρατηρήσουμε τα δύο σημεία ημίσεως ισχύος τα οποία και έχουν βρεθεί επί του κυρίου λοβού ακτινοβολίας του διαγράμματος και να ενώσουμε3 κάθε εξ αυτών με το κέντρο του λοβού ακτινοβολίας.

Τέλος αναφορικά με την πολικότητα της κεραίας, πρόκειται για την παράμετρο που προσδιορίζει τον προσανατολισμό (στο χώρο) των πεδίων του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος (σχήμα 9.10). Στον ελεύθερο χώρο, τον περιβάλλοντα την κεραία, το μαγνητικό πεδίο του κύματος είναι κάθετο στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και επιπλέον η διεύθυνση διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετη και στα δύο επαγόμενα πεδία. Η πολικότητα της κεραίας καθορίζεται από την πολικότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση που η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη, η κεραία εμφανίζεται κάθετα πολωμένη ενώ αντιθέτως όποτε η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντια η κεραία χαρακτηρίζεται ως οριζόντια πολωμένη.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι LF (Low Frequency) κεραιές εμφανίζουν κάθετη πολικότητα κατά το πλείστο τους, εξ' αιτίας τόσο της επιδράσεως της επιφάνειας της γης στα εκπεμπόμενα LF ηλεκτρομαγνητικά κύματα όσο και των μεθόδων κατασκευής τους. Από την άλλη μεριά, οι HF (High Frequency) κεραιές εμφανίζουν οριζόντια πόλωση.

## 2.5 Επιδράσεις του εδάφους στις κεραιές

Από όσα έχουν προηγηθεί ίσως έχουν καταστεί σαφής η αλληλεπίδραση της γήινης επιφάνειας με την εμπέδηση της κεραιάς, και η επακόλουθη αλλοίωση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της κεραιάς. Στην εν λόγω παράγραφο θα επιχειρηθεί μια λεπτομερέστερη αναφορά προκειμένου να κατανοηθεί σε βάθος η επίδραση του εδάφους και τα χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης της κεραιάς. ( Σχήμα 2.5.).



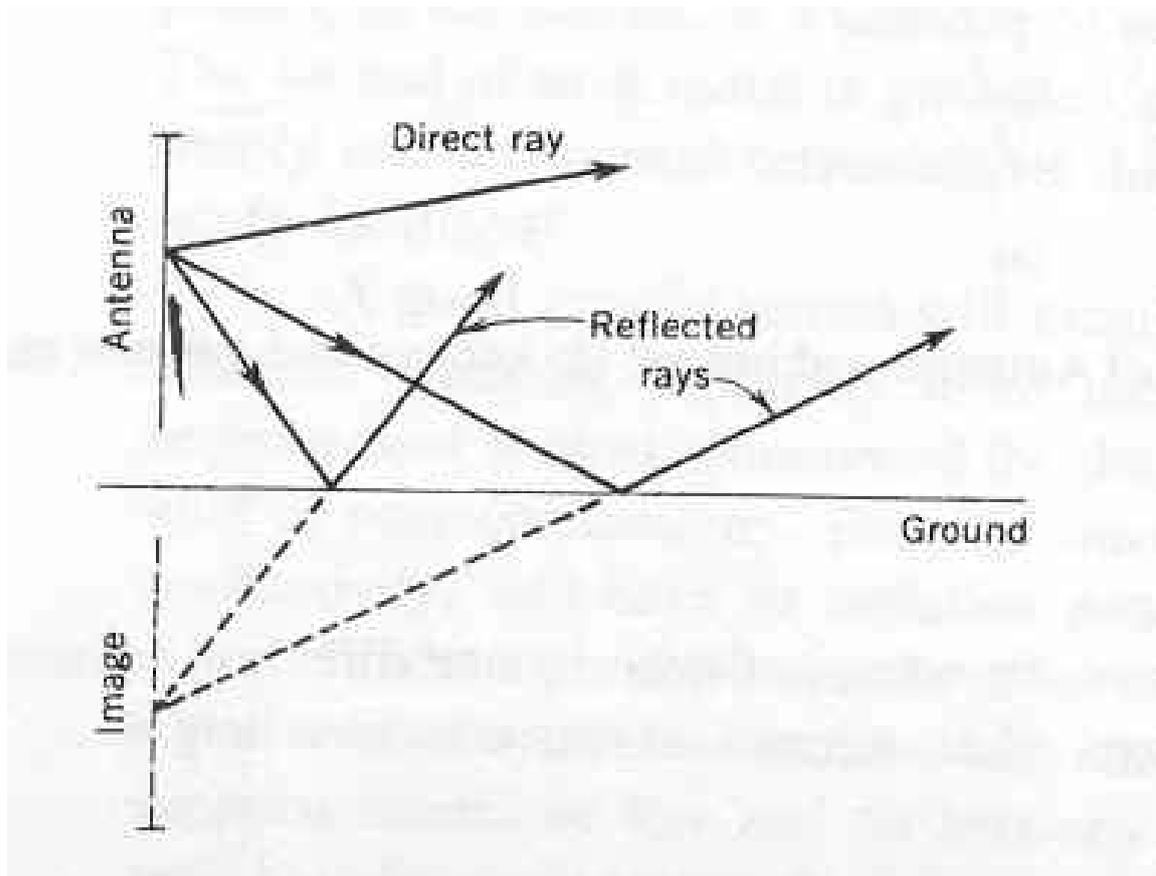
Σχήμα 2.5. Διαγράμματα ακτινοβολίας ενός μη γειωμένου δίπολου μισού μήκους κύματος τοποθετημένου σε διαφορετικά ύψη από την επιφάνεια της γης

### 2.5.1 Μη γειωμένες κεραίες

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναφερόμενοι στο φαινόμενο ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, είχε αναφερθεί ότι στην περίπτωση που η πηγή ακτινοβολίας εκπέμπει κοντά σε ανακλαστική επιφάνεια το λαμβανόμενο σήμα σε οποιοδήποτε σημείο του περιβάλλοντα χώρου προσδιορίζεται από το διανυσματικό άθροισμα των απευθείας διαδιδόμενων και ανακλώμενων κυμάτων στο συγκεκριμένο σημείο. Προκειμένου να απλοποιηθεί η επεξήγηση της προηγούμενης πρότασης, αρκεί να φανταστούμε την ύπαρξη μιας υποθετικής παρόμοιας κεραίας τοποθετημένης στη συμμετρική θέση (ως προς την υπάρχουσα κεραία) κάτω από την επιφάνεια της γης (Σχήμα 2.5.1).

Η ανάκλαση οποιουδήποτε κύματος έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της πόλωσης του κατά  $180^{\circ}$  μοίρες. Ως εκ τούτου, η έλευση στο ίδιο σημείο την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή ενός απευθείας διαδιδόμενου κύματος και ενός ανακλώμενου (ίδιου πλάτους και φάσης διαφορετικής κατά  $180^{\circ}$ ) έχει σαν αποτέλεσμα την αμοιβαία ακύρωσή τους. Επί πραγματικής βάσης η εν λόγω περίπτωση σπανίως απαντάται.

Ωστόσο, κατέσται σαφές ότι το αποτέλεσμα του εν λόγω φαινομένου άλλες φορές (όταν τα λαμβανόμενα κύματα είναι εκτός φάσης) οδηγεί στην εξασθένηση του εκπεμπόμενου κύματος, ενώ σε κάποιες άλλες (οποτεδήποτε το ανακλώμενο κύμα είναι σε φάση με το απευθείας εκπεμπόμενο) οδηγεί την ενίσχυση του.

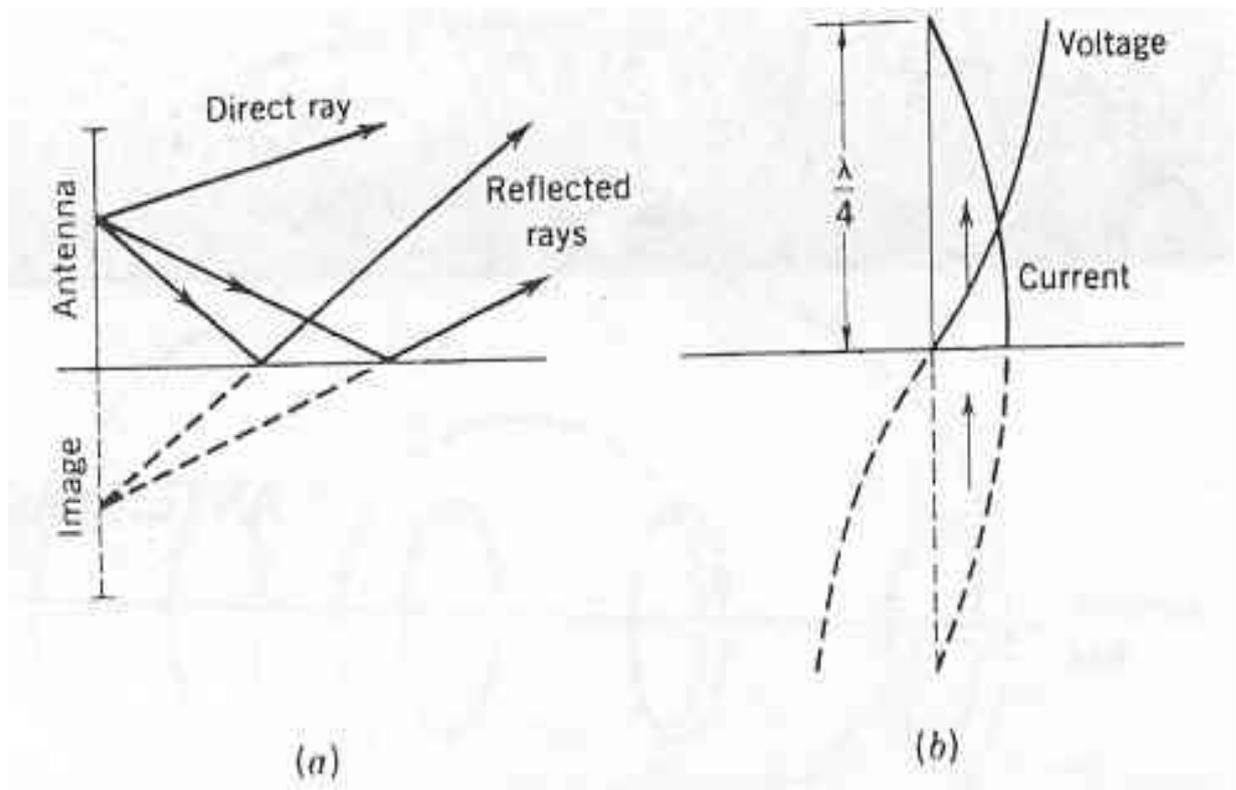


Σχήμα 2.5.1 Μη γειωμένη κεραία και η εικόνα αυτής.

### 2.5.2 Γειωμένες κεραίες

Παρατηρώντας καλύτερα το παραπάνω σχήμα 2.5.1 , διαπιστώνουμε εύκολα ότι η ύπαρξη της επιφάνειας του εδάφους κοντά στη μη γειωμένη κεραία είναι δυνατό να προσεγγίσει ως μια διπολική κεραία όπου το κατώτατο τμήμα της μη γειωμένης κεραίας βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το ανώτατο τμήμα της εικονικής κεραίας. Δεν είναι λάθος λοιπόν να πούμε ότι η εν λόγω διάταξη συμπεριφέρεται ως μια διπολική κεραία διπλάσιου μήκους (από το αντίστοιχο της μη γειωμένης κεραίας). Στην αντίθετη περίπτωση όπου η κεραία είναι γειωμένη , η επιφάνεια της γης και πάλι λειτουργεί ως καθρέπτης με την διαφορά όμως ότι πλέον αποτελεί μέρος του ακτινοβολούμενου συστήματος. Έτσι λοιπόν, όπως απεικονίζεται στο σχήμα( 2.5.2α ) η μήκους  $\lambda/4$  , κάθετη ως προς την επιφάνεια της γης, κεραία στην ουσία συμπεριφέρεται ως

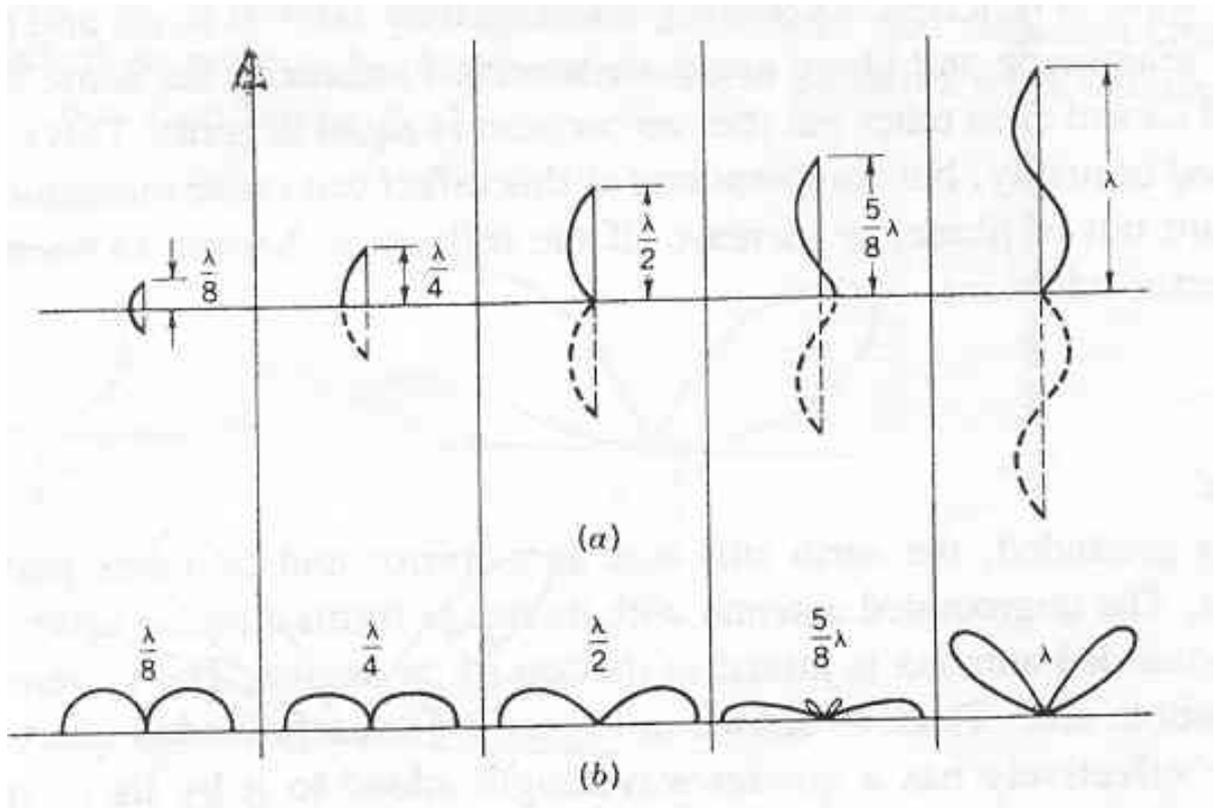
κεραία διπλάσιου μήκους η οποία ακτινοβολεί στον ελεύθερο χώρο. Οι κατανομές της τάσης και της έντασης του ρεύματος στην εν λόγω κεραία (σχήμα 2.5.2b) η οποία είναι γνωστή ως Marconi είναι όμοιες των αντίστοιχων κατανομών της διπολικής κεραίας μισού κύματος, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι η εν λόγω κεραία ακτινοβολεί στον ελεύθερο χώρο. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της κεραίας Marconi έναντι της μη γειωμένης κεραίας του σχήματος 2.5.1 είναι το γεγονός ότι η επίτευξη του ίδιου διαγράμματος ακτινοβολίας άπτεται της χρήσεως διάταξης της οποίας το ύψος είναι το μισό συγκεκριμένο με το ύψος της αντίστοιχης μη γειωμένης κεραίας. Από την άλλη μεριά δεδομένου του σημαντικότερου ρόλου που παίζει η γη στη δημιουργία κατάλληλων διαγραμμάτων ακτινοβολίας, η επίτευξη σωστής αγωγιμότητας είναι βαρύνουσας σημασίας. Στις περιπτώσεις που η παραπάνω προϋπόθεση δεν διασφαλίζεται, υλοποιούνται κατάλληλοι μέθοδοι τεχνητής γειώσεως της κεραίας



Σχήμα 2.5.2 Γειωμένη διάταξη κεραίας

Από όσα έχουν ήδη αναφερθεί σχετικά με την διάταξη της κεραίας Marconi έχει καταστεί σαφές ότι η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας της καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το ύψος της. Όπως προκύπτει από το σχήμα 2.5.3 στο οποίο εικονίζονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας που επιτυγχάνουν κατακόρυφα γειωμένες διατάξεις διαφορετικού ύψους, η αύξηση του ύψους της κεραίας μέχρι την τιμή  $5/8\lambda$  έχει σαν συνέπεια την βελτίωση της κατευθυντικότητας της στο οριζόντιο επίπεδο.

Αυξάνοντας επιπλέον το ύψος της κεραίας, το διάγραμμα ακτινοβολίας αρχίζει να αποκολλάται από την επιφάνεια της γης. Αιτία του εν λόγω φαινομένου είναι η ακύρωση του κύματος κατά την οριζόντια διεύθυνση ως αποτέλεσμα της δημιουργίας ρευμάτων αντίθετης πολικότητας κατά μήκος της κεραίας.



Σχήμα 2.5.3 Χαρακτηριστικά κατακόρυφα γειωμένων κεραιών (α) Κατανομές ρευμάτων κατά μήκος διατάξεων κεραιών διαφορετικού ύψους (b) διαγράμματα ακτινοβολίας

## 2.6 Επίδραση του ύψους της κεραίας

Στις περιοχές των χαμηλών και μεσαίων συχνοτήτων, όπου το μήκος κύματος του ακτινοβολούμενου κύματος είναι μεγάλο, δεν είναι πρακτική η χρήση κεραιών κατάλληλου μήκους. Η αιτία της εν λόγω αδυναμίας σχετίζεται με το γεγονός ότι οι κατακόρυφες κεραιές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις συχνότητες είναι βραχυκυκλωμένες στην πράξη. Αποτέλεσμα της αδυναμίας είναι ένα πλήθος χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την συμπεριφορά των κεραιών.

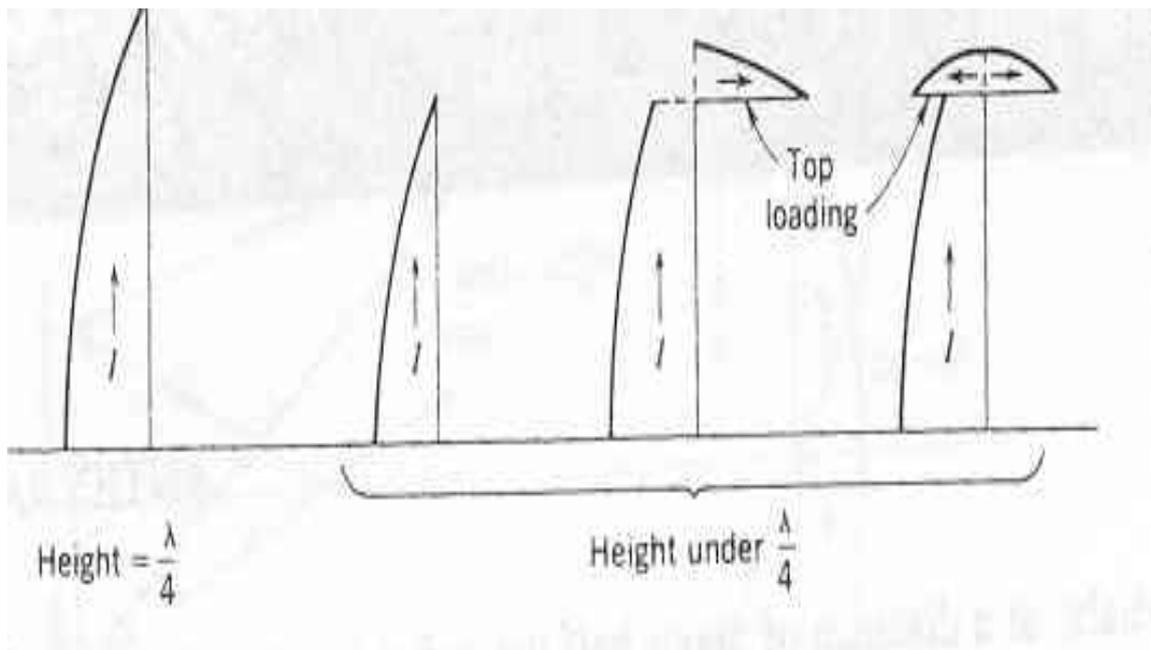
**Top loading:** Το πραγματικό ύψος της κεραίας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον  $\lambda/4$  σε περιπτώσεις όμως που αυτό δεν είναι εφικτό αρκεί και μόνο το effective height της κεραίας να ικανοποιεί το συγκεκριμένο περιορισμό. Για να καταστεί σαφής η ανάγκη ικανοποίησης του προαναφερόμενου περιορισμού αρκεί και πρέπει να αναφερθεί ότι οι κεραιές μικρότερου ύψους εμφανίζουν τα δύο ακόλουθα μειονεκτήματα :

Κατά πρώτον η τιμή της εμπέδησης εισόδου του είναι πολύ μικρή. Χαρακτηριστικά λοιπόν αναφέρεται ότι η εμπέδηση εισόδου στη βάση της κεραίας Marconi, μήκους  $\lambda/4$ , προσεγγίζει την τιμή των  $(8-500)\Omega$ . Εμφανίζοντας λοιπόν μια τόσο μικρή τιμή αντίστασης ακτινοβολίας, η απόδοση της εν λόγω κεραίας αποδεικνύεται πολύ περιορισμένη.

Κατά δεύτερον, η τιμή της αντιστάσεως της κεραίας είναι πολύ μικρή ενώ η αντίστοιχη τιμή των στοιχείων χωρητικής αντίστασης είναι μεγάλη. Εξ' αιτίας της μεγάλης τιμής των χωρητικών στοιχείων, η προσαρμογή της κεραίας με τη γραμμή μεταφοράς από την οποία τροφοδοτείται επιτυγχάνεται δύσκολα ενώ κάποιες φορές καθίσταται ανέφικτη. Η επίλυση του προβλήματος είναι συνυφασμένη με την ενσωμάτωση επαγωγικής εμπέδησης

συνδεδεμένης σε σειρά με την κεραία. Η παρέμβαση δεν οδηγεί σε αύξηση της ωμικής αντίστασεως στοιχείου της συνολικής εμπέδησης, παρά μόνο στην αύξηση του μήκους της κεραίας.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι μια πολύ καλή μέθοδος αύξησης της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας, αναφερόμενη ως top loading, είναι η διαμόρφωση της διάταξης σύμφωνα με το σχήμα 2.6. Στην ουσία, με την υλοποίηση της διαμόρφωσης επιτυγχάνεται η αύξηση του ρεύματος στη βάση της κεραίας και επιπρόσθετα η ομοιομορφία της κατανομής του ρεύματος κατά μήκος της διάταξης. Στο σχήμα 2.6 διακρίνουμε δυο περιπτώσεις: στην πρώτη η περιγραφόμενη μέθοδος υλοποιείται με την χρήση ενός μονού οριζοντίου τμήματος (inverted-L κεραία) ενώ στην δεύτερη για την υλοποίηση χρησιμοποιείται διπλό οριζόντιο στέλεχος εκτεινόμενο αμφότερα της κατακόρυφης διάταξης της κεραίας (inverted-T κεραία). Τέλος δε θα πρέπει να αγνοήσουμε και την περίπτωση της top hat υλοποίησης της μεθόδου (top loading) η μορφή της οποίας απεικονίζεται στο σχήμα 2.7. Η συγκεκριμένη διάταξη επιτυγχάνει ουσιαστικά τη μείωση της συνολικής χωρητικής αντίστασης εισόδου.

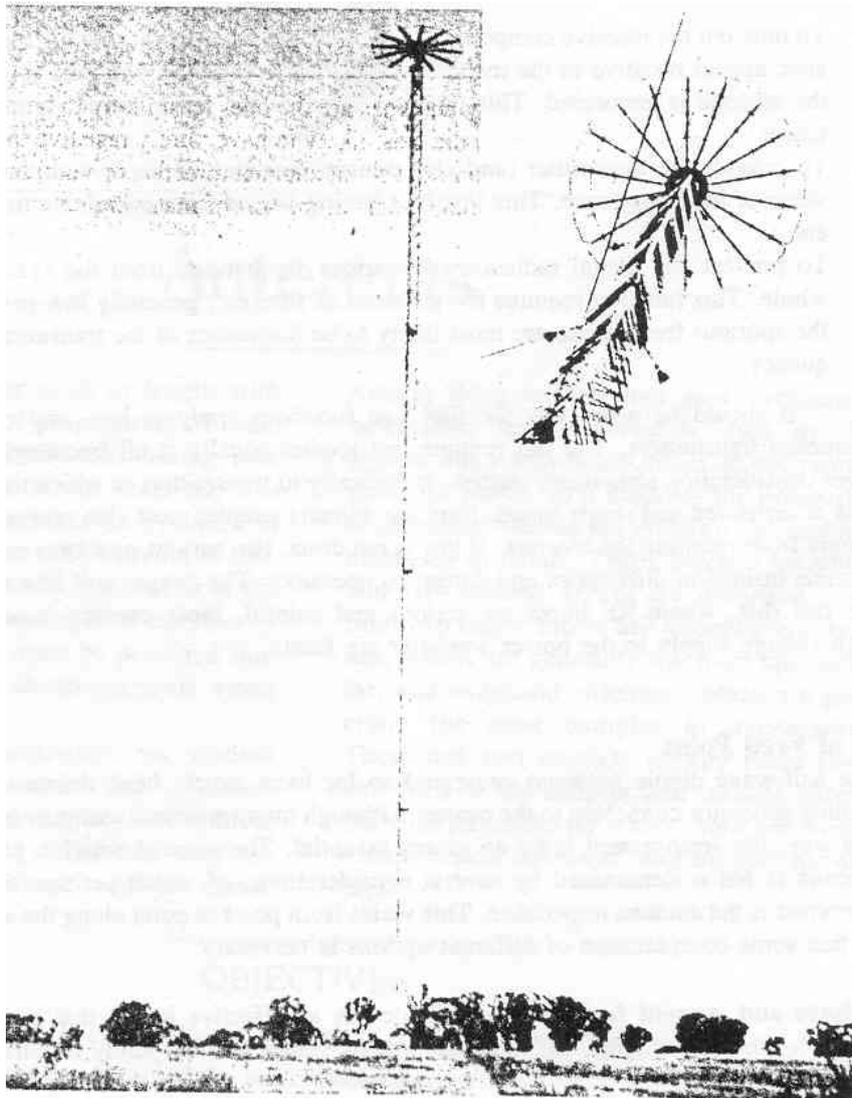


## Σχήμα 2.6 Η τεχνική top loading

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διαπιστωθεί η ομοιότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας μιας top-loaded κεραίας με το διάγραμμα της κεραίας Marconi , γεγονός που οφείλεται στην παρόμοια κατανομή του ρεύματος κατά μήκος των κεραιών. Εκ πρώτης απόψεως η διαπίστωση φαίνεται αντιφατική εξ' αιτίας της ιδιομορφίας που παρουσιάζει η top-loaded κεραία ως προς την κατασκευή της. Εν τούτοις , εξακολουθεί να εμφανίζει κάθετη πολικότητα παρά την ύπαρξη του οριζοντίου τμήματος, δεδομένου ότι η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει είναι κατά πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη που διαρρέει το κατακόρυφο τμήμα της κεραίας.

Αναφορικά με τους παράγοντες που καθορίζουν κάθε φορά την επιλογή της κατάλληλης top-loaded κεραίας, θα πρέπει να ειπωθεί ότι οι σχεδιαστικοί περιορισμοί και ιδιαιτερότητες δεν είναι πρωτίστης σημασίας. Αντιθέτως τις περισσότερες φορές παράγοντες όπως οι υπάρχουσες ευκολίες και το κόστος κατασκευής.

**Βέλτιστο μήκος – ύψος:** Στις περιπτώσεις όπου ενδιαφερόμαστε για την κατασκευή κεραιών οι οποίες θα λειτουργούν στην MF ζώνη συχνοτήτων, αναμένουμε το ύψος τους να είναι αρκετά μεγάλο. Ενδεικτικά, προκειμένου να αντιληφθούμε καλύτερα τις διαστάσεις ας αναφερθούμε στην κεραία του σχήματος 2.7 μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μετάδοση πληροφορίας στις MF συχνότητες. Στην περίπτωση που το ύψος της κεραίας προσεγγίζει το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση κυμάτων εδάφους ( ground wave) καθώς εξ' αιτίας της διαστάσεως της δεν ακτινοβολεί καθόλου κατά μήκος της επιφάνειας εδάφους. Το βέλτιστο ύψος της κεραίας θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα κάθε φορά.



Σχήμα 2.7

Επανερχόμενοι εκ νέου στο σχήμα 2.5.3 και παρατηρώντας λεπτομερέστερα τα διαφορετικά διαγράμματα ακτινοβολίας τα οποία προκύπτουν από διατάξεις διαφορετικού ύψους, παρατηρούμε ότι η ένταση του οριζοντίου πεδίου αυξάνεται σημαντικά για τιμές του ύψους μεγαλύτερες των  $5/8\lambda$ . Το μειονέκτημα που συνοδεύει την αύξηση του ύψους της κεραίας σε τιμές μεγαλύτερες του  $\lambda/2$ , είναι η δημιουργία δευτερευόντων λοβών ακτινοβολίας. Αναλόγως της ισχύος και της γωνίας τους, καθορίζεται και ο βαθμός αλληλεπίδρασης και των αρνητικών φαινομένων που προκαλούν. Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι σε

όλες τις περιπτώσεις κατακόρυφων κεραιών των οποίων το ύψος ξεπερνά τα  $0.5\lambda$ , εμφανίζονται φαινόμενα παρεμβολής εξ' αιτίας της δημιουργίας δευτερευόντων λοβών. Ως εκ τούτου, στις περιπτώσεις όπου για την ground-wave μετάδοση χρησιμοποιούνται κάθετες διατάξεις κεραιών και το ύψος τους δεν ξεπερνά τα  $0.5\lambda$ .

**Effective length** : Κατά την μελέτη των προηγούμενων παραγράφων ίσως να δημιουργήθηκε η απορία σχετικά με την έννοια του όρου effective length, οποτεδήποτε και αν απαντήθηκε. Στην παρούσα παράγραφο θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε την έννοια του όρου. Εν ολίγοις προσδιορίζει το χαρακτηριστικό – ιδιότητα των κεραιών να συμπεριφέρονται (ηλεκτρικά) ως είχαν μεγαλύτερο ύψος από το πραγματικό τους.

Σαν πρώτη αιτία για το φαινόμενο αναφέρεται η επίδραση του top-loading. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι οι κεραιές στην πραγματικότητα έχουν κάποιο πάχος, συμβάλει στην εμφάνιση της συγκεκριμένης ιδιότητας. Για την ακρίβεια η ταχύτητα διάδοσης εντός της κεραίας είναι 2-8% μικρότερη από την αντίστοιχη εντός της κεραίας περιορίζεται. Έτσι λοιπόν η κεραία εμφανίζεται μεγαλύτερη συγκρινόμενη με την περίπτωση όπου το μήκος κύματος έχει υπολογιστεί για διάδοση του ελεύθερου χώρου.

Στην πράξη, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, αποτελεί πάγια τακτική η κατασκευή αυτών των κεραιών κατά το ψηλότερο από το απαιτούμενο και εν συνέχεια να τις επαναφέρουμε σε κανονικό μέγεθος. Η περιγραφόμενη διαδικασία απαιτεί τον υπολογισμό του κατάλληλου μήκους της κεραίας.

Αυτή η εμπέδηση θα είναι μεγάλη αν υπάρχει κόμβος ρεύματος στο κέντρο, όπως τις κεραιές πλήρους – μήκους- κύματος (full-wave-length), ή μικρή αν υπάρχει κόμβος τάσης στο κέντρο, όπως το δίπολο ημίσεως κύματος (half-wave). Μια κεραία ονομάζεται τροφοδοτούμενη με ρεύμα αν τροφοδοτείται σε σημείο που το ρεύμα είναι μέγιστο. Τα δίπολα ημίσεως κύματος που τροφοδοτούνται στο κέντρο ή οι κεραιές Marconi είναι τροφοδοτούμενες με ρεύμα. Οι κεραιές πλήρους κύματος που

τροφοδοτούνται στο κέντρο θεωρούνται τροφοδοτούμενες με τάση (voltage- Fed).

**Εμπέδηση σημείο τροφοδοσίας :** Το ρεύμα είναι μέγιστο στο κέντρο και μηδενικό στα άκρα ενός δίπολου ημίσεως κύματος στο χώρο ή μιας γειωμένης τετάρτου- κύματος κεραίας Marconi. Το αντίστοιχο ισχύει για την τάση. Σε μια πραγματική κεραία οι τιμές της τάσης ή του ρεύματος θα είναι χαμηλές (όχι μηδενικές) , με αποτέλεσμα η εμπέδηση της κεραίας να είναι πεπερασμένη στα σημεία αυτά. Έχουμε αρκετές χιλιάδες  $\Omega$ ms στα άκρα , και  $72\Omega$  στο κέντρο και με τις δυο αυτές τιμές να αναφέρονται μόνο σε αντιστάσεις. Οι κεραίες ευθείας εκπομπής είναι συνήθως τροφοδοτούμενες στο κέντρο, εμφανίζοντας εμπέδηση των  $72\Omega$  που είναι χρήσιμη από την πλευρά των γραμμών μεταφοράς, γι' αυτό ο λόγο οι κεραίες, αν και αποκαλούνται γειωμένες , είναι συνήθως μονωμένες ηλεκτρικά από το έδαφος. Η βάση στήριξης της κεραίας τοποθετείται σε μονωτικό υλικό κοντά στο έδαφος και τροφοδοτείται ανάμεσα στη βάση και στο έδαφος , δηλαδή στο κέντρο του συστήματος κεραίας –εικόνας.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Μια από τις πιο σημαντικές κεραίες συγκρίσεως είναι η ιστροπική κεραία, η οποία δεν είναι δυνατό να υπάρξει στην πράξη. Παρόλα αυτά, εναρμονίζεται με την ιδιότητα της συνολικά μη κατευθυντικής ακτινοβολίας (δηλαδή έχει ένα τέλειο σφαιρικό διάγραμμα ακτινοβολίας), γεγονός που την καθιστά άκρως χρήσιμη για να περιγράψει το κέρδος των πρακτικών κεραιών. Μια άλλη χρήσιμη κεραία συγκρίσεως είναι το στοιχειώδες δίπολο. Αυτό ορίζεται ως ένα κομμάτι ενός άπειρου λεπτού σύρματος, με μήκος που είναι αμελητέο συγκρινόμενο με το μήκος κύματος του σήματος που ακτινοβολείται, και έχοντάς σταθερό ρεύμα κατά μήκος του.

Αυτή η κεραία είναι πολύ χρήσιμη στο ότι οι ιδιότητάς της βοηθούν στην κατανόηση των ιδιοτήτων των πρακτικών δίπολων, δηλαδή μακριά λεπτά σύρματα, που χρησιμοποιούνται συχνά στην πράξη. Αυτά μπορεί να είναι συντονισμένα, το οποίο σημαίνει ότι το μήκος κύματος του είναι το πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος του σήματος, ή μη συντονισμένα, στην οποία περίπτωση δεν υπάρχει ανακλώμενο κύμα (για παράδειγμα τερματίζοντας την κεραία σε μια αντίσταση στο πιο μακρινό σημείο από το σημείο τροφοδοσίας).

Ενώ τα διαγράμματα ακτινοβολίας των συντονισμένων κεραιών είναι δικάτευθοντικά, λόγω τόσο των απευθείας όσο και των ανακλώμενων κυμάτων, αυτά των μη συντονισμένων είναι μονοκατευθοντικά, αφού δεν υπάρχει ανακλώμενο κύμα. Το κέρδος κατευθυντικότητας μια κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας ισχύος που παράγεται από μια πρακτική κεραία σε μια κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος που παράγεται από μια ιστροπική κεραία η οποία ακτινοβολεί την ίδια συνολική ισχύ. Αποτελεί λοιπόν ένα μέτρο της ικανότητας της πρακτικής κεραίας να συγκεντρώνει την ακτινοβολία της. Όταν λαμβάνεται η

κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας της πρακτικής κεραίας, το κέρδος κατευθυντικότητας γίνεται μέγιστο για αυτήν την κεραία και ονομάζεται κατευθυντικότητα.

Αν τώρα συγκρίνουμε τις εισόδους και όχι τις ισχύεις που ακτινοβολούνται, το κέρδος της πρακτικής κεραίας μειώνεται, μια που ένα μέρος της ισχύος της εισόδου σπαταλάτε στην κεραία. Η νέα ποσότητα είναι γνωστή ως κέρδος ισχύος και ισούται με την κατευθυντικότητά πολλαπλασιασμένη με το βαθμό αποδόσεως της κεραίας. Η κεραία έχει δύο εύρη ζώνης, και τα δύο μετρούμενα μεταξύ των σημείων ημίσειας ισχύος. Το ένα σχετίζεται με την αντίσταση ακτινοβολίας και το άλλο με το διάγραμμα ακτινοβολίας. Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι η ωμική συνιστώσα της  $ac$  σύνθετης αντίστασης εισόδου της κεραίας. Το εύρος δέσμης ακτινοβολίας μιας κεραίας είναι η γωνία μεταξύ των σημείων ημισείας ισχύος του κύριου λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία ακτινοβολούνται από μια κεραία έχουν τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου σε ορθές γωνίες μεταξύ τους και με τη σειρά τους κάθετα στη διεύθυνση διαδόσεως, λέγεται ότι είναι πολωμένα όπως είναι και η ίδια η κεραία.

Η διεύθυνση της πόλωσης θεωρείται ότι είναι η ίδια με τον προσανατολισμό του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου ακτινοβολούντος κύματος. Απλές κεραίες μπορούν να είναι οριζόντια ή κατακόρυφα πολωμένες (δηλαδή οι ίδιες οριζόντιες ή κατακόρυφες), αντίστοιχα. Πιο πολύπλοκες κεραίες μπορούν να είναι κυκλικά πολωμένες, τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια πολωμένα κύματα ακτινοβολούνται, με ίση ισχύ και τα δύο. Αν οι συνιστώσες δεν έχουν την ίδια ισχύ, τότε η κεραία λέγεται ότι είναι ελλειπτικά πολωμένη.

## **Βιβλιογραφία**

- Zhi Ning Chen, “Antennas for Portable Devices”, John Wiley & Sons, Ltd, 2007
- C.-C. Lin, S.-W. Kuo and H-R. Chuang, “A 2.4-GHz Printed Meander-Line Antenna for USB WLAN With Notebook-PC Housing”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, pp. 546-548, No. 9, September 2005.
- Constantine A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design”, 2nd edition, John Wiley & Sons, Ltd, 1992
- David J. Griffiths, 1996, “Εισαγωγή στην ηλεκτροδυναμική II”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Χ. Καψάλης, Π. Κωπτής, “Κεραίες, Ασύρματες Ζεύξεις”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2005
- Steven R. Best, “Antenna Engineering Handbook”, Chapter 6 “Small Antennas”, McGraw-Hill, 2007
- Cyril Luxey, “Small Antennas for Handsets”, *Industrial Antennas Course*, IMST-Germany, April 23-27 2007.
- James S. McLean, “A Re-Examination of the Fundamental Limits on the Radiation Q of Electrically Small Antennas”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 44, pp. 672-676 , No. 5, May 1996.
- Anja Skrivervik, “Fundamental Limits and Practical Geometries”, UPC Short Course *Compact Antennas*, June 2007.
- Carles Puente Baliarda, Jordi Romeu and Angel Cardama, “The Koch Monopole: A Small Fractal Antenna”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 48, pp. 1773-1780, No. 11, November 2000.
- Johan C.-E. Sten, Arto Hujanen, and Päivi K. Koivisto, “Quality Factor of an Electrically Small Antenna Radiating Close to a Conducting Plane”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 49, pp. 829-837, No. 5, May 2001.

- M. J. Ammann and M. John, “Optimum Design of the Printed Strip Monopole”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 47, pp. 59-61, No. 6, December 2005.
- Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου, “Εισαγωγή στα Μικροκύματα”, Β΄ Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994.
- Daniel G. Swanson, Jr. and Wolfgang J. R. Hofer, “Microwave Circuit Modeling using Electromagnetic Field Simulation”, Artech house, 2003
- Leo C. Kempel, “Antenna Engineering Handbook”, Chapter 59 “Computational Electromagnetics for Antennas”, McGraw-Hill, 2007
- Irina Munteanu, “Robust Analog Design through 3D EM Simulation”, Invited talk, “Analog 2005” conference, Hannover, Germany, pp. 37-44, 17-18 March 2005
- Frank Gustrau and Dirk Manteuffel, “EM Modeling of Antennas and RF Components for Wireless Communication Systems”, Springer, Germany 2006.
- J. P. Berenger, “A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves”, *Journal of Computational Physics*, vol. 4, pp. 185-200, 2005
- K.S. Yee, “Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell’s equations in isotropic media”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 14, pp. 302-307, 1966
- I. Munteanu and T. Weiland, “RF & Microwave Simulation with the Finite Integration Technique – From Component to System Design”, Invited Paper at SCEE, 2006
- CST Microwave Studio Getting Started, CST Studio Suite, 2006
- Salvador Gonzalez Garcia, Laurens Baggen, Dirk Manteuffel and Dirk Heberling, “Study of coplanar waveguide-fed antennas using the FDTD method”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 19, No. 3, October 20 1998
- Angel Cardama, “Small Antennas”, Conference UPC, ICONIC 2003
- G. Tsachtsiris, C. Soras, M. Karaboikis and V. Makios, “Ground Plane Effect on the Performance of a Printed Minkowski Monopole Antenna”,

International Conference on Applied Electromagnetics and Communications October 2003. Dubrovnik, Croatia

- M. Ali and S. S. Stuchly, “A meander –Line Bow-Tie Antenna”, IEEE, 1996
- Sang-Hyuk Wi, Jung-Min Kim and Jong-Gwan Yook, “Microstrip-fed Bow-Tie-Shaped Meander slot Antenna with compact and Broadband Characteristivs”, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 45, No. 1, April 2005
- E.A. Soliman, S. BrebelsDelmotte, G.A.E. Vandenbosch and E. Beyne, “Bow-Tie slot antenna fed by CPW”, Electronic Letters, Vol. 35, pp.514-515, 1999
- Y.D. Lin and S.N. Tsai, “Analysis and design of broadside-coupled striplines-fed bow-tie antennas”, IEEE *Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 46, pp. 459-460, 1998.