



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Κεραίες

Ενότητα 1: Ασύρματα συστήματα – Κεραίες

Δημήτρης Βαρουτάς, Αριστείδης Τσίπουρας

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Ασύρματα συστήματα – Κεραίες

Εισαγωγή



ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΑΘΗΜΑ 1ο Ασύρματα συστήματα - Κεραίες ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΔΕ Ρ/Η 2014 -2015

Δ. Βαρουτάς
Α. Τσίπουρας



Η διδακτέα ύλη του Μαθήματος

- Το πρόβλημα της ακτινοβολίας
 - Μελέτη του στοιχειώδους διπόλου
- Βασικές παράμετροι κεραιών
- Γραμμικές κεραιές
- Στοιχειοκεραίες
- Διάφοροι τύποι κεραιών και εφαρμογές
 - Κεραιές Yagi
 - Ελικοειδείς κεραιές
 - Χοανοκεραίες
 - Παραβολικές κεραιές – Gassegrain
 - Σχισμοκεραίες
 - Μικροταινιακές κεραιές (Microstrip Antennae)



Περιεχόμενα ενότητας

- Τι είναι κεραία;
- Οι Εξισώσεις του Maxwell
- Η κυματική εξίσωση – δυναμικά
- Επίλυση των εξισώσεων δυναμικού
- Εφαρμογή: Ιδανικό δίπολο
- Διάγραμμα Ακτινοβολίας



Ασύρματες ζεύξεις

- Ως «**ασύρματες ζεύξεις**» ή «**ραδιοζεύξεις**», χαρακτηρίζονται οι ζεύξεις που, για τη μετάδοση πληροφορίας (φωνής, εικόνας, δεδομένων κλπ.), χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα (30 kHz – 300 GHz)
- Κύριο χαρακτηριστικό των ζεύξεων αυτών είναι η απουσία φυσικής σύνδεσης (γραμμή μεταφοράς , κυματοδηγός) μεταξύ πομπού και δέκτη και η χρήση της **ατμόσφαιρας** ή του **διαστήματος** ως μέσου μετάδοσης

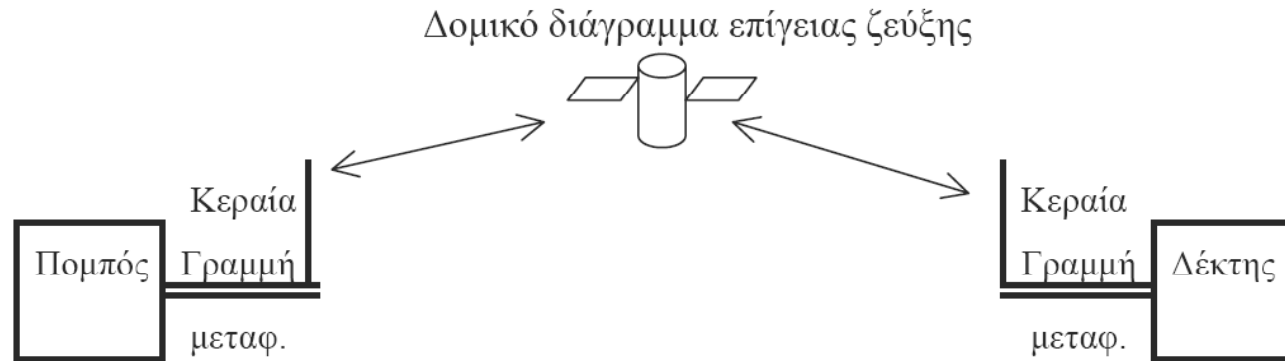
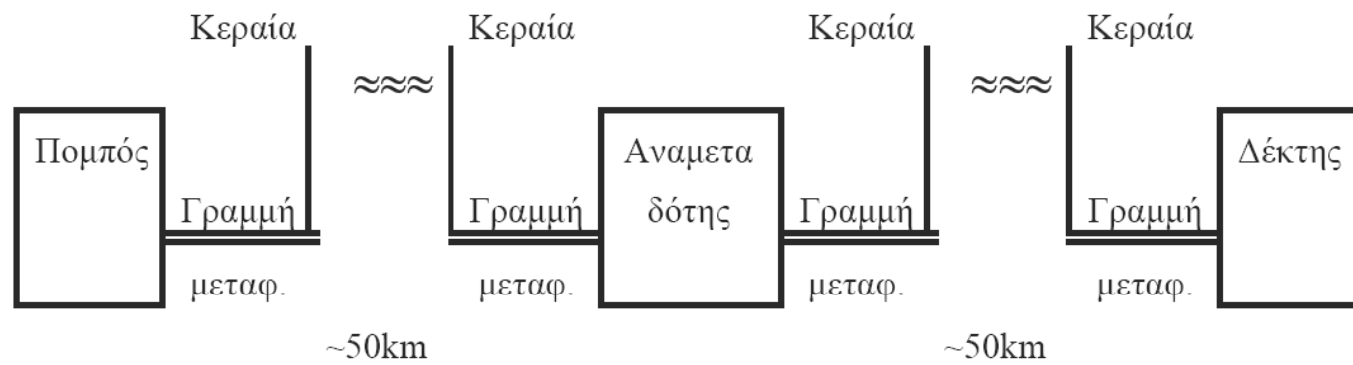


Τύποι ασυρμάτων ζεύξεων

- Οι ασύρματες ζεύξεις μπορούν γενικά να υποδιαιρεθούν σε **δύο** μεγάλες **κατηγορίες**:
 - ♦ Τις **επίγειες** (terrestrial), που χρησιμοποιούν ως τηλεπικοινωνιακό μέσο την ατμόσφαιρα (και συγκεκριμένα την τροπόσφαιρα ή την ιονόσφαιρα).
 - ♦ Τις **δορυφορικές** (satellite), στις οποίες οι επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη πραγματοποιείται μέσω τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου.



Δομή μιας ασύρματης ζεύξης





Χρήσεις πλεονεκτήματα

- Μέσω **επίγειων** ζεύξεων, υλοποιούνται υπηρεσίες όπως η ραδιοφωνία, η τηλεόραση, η κινητή τηλεφωνία (σύνδεση μεταξύ κινητών τηλεφώνων και σταθμών βάσης) κλπ. ενώ ασύρματο είναι και μικρό μέρος του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου. Τέλος, μέσω **δορυφορικών** ζεύξεων, πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος των διεθνών τηλεοπτικών μεταδόσεων και των ναυτιλιακών επικοινωνιών
- **Πλεονεκτήματα:**
 - Η κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, ιδιαίτερα με τη χρήση δορυφορικών ζεύξεων (ένας μικρός αριθμός δορυφόρων αρκεί για την κάλυψη όλης της γής).
 - Η εγκατάσταση επίγειων ραδιοζεύξεων μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα και με χαμηλό κόστος (Η ανάπτυξη καλωδιακού δικτύου απαιτεί εκτεταμένες χωματουργικές εργασίες)
 - Το κόστος θέσης σε τροχιά των δορυφόρων παραμένει υψηλό, από τη στιγμή όμως που θα εξασφαλιστεί η δυνατότητα χρήσης δορυφόρου, η παροχή υπηρεσιών μπορεί να γίνει γρήγορα και με σχετικά χαμηλό κόστος.



Χρήσεις και περιορισμοί

- Ως **ραδιοκύματα** χαρακτηρίζονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα υψηλότερη από **30 kHz**.
- Ως **μικροκύματα** χαρακτηρίζονται τα Η/Μ κύματα με συχνότητες **300 MHz - 300 GHz** (UHF, SHF, EHF).
- Η χρήση **μικροκυματικών** συχνοτήτων (> 300 MHz) για την υλοποίηση ασύρματων ζεύξεων υπαγορεύεται κυρίως από τους εξής λόγους:
 - Λόγω των υψηλών φερουσών, εξασφαλίζεται η ύπαρξη μεγάλου εύρους ζώνης.
 - Τα μικροκύματα προσφέρονται για κατασκευή κεραιών μικρού σχετικά μεγέθους και υψηλής κατευθυντικότητας (όπως προκύπτει από το θεώρημα ισοδυναμίας).
- Από την άλλη πλευρά, οι ασύρματες ζεύξεις υπόκεινται σε **περιορισμούς**, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι εξής:
 - Η διάδοση των μικροκυμάτων επηρεάζεται από τα καιρικά φαινόμενα (π.χ. υγρασία, βροχή κλπ.).
 - Για συχνότητες άνω των 30 MHz είναι απαραίτητη η ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται είτε με την εγκατάσταση επίγειων αναμεταδοτών (επίγειες ζεύξεις) είτε με τη χρήση δορυφόρων (δορυφορικές ζεύξεις).



ΗΛΜ Φάσμα και εφαρμογές

Χαρακτηρισμός	Ζώνη συχνοτήτων	Μήκη κύματος	Κύριες εφαρμογές	Κεραίες
LF (Μακρά)	30 - 300 kHz	10 km - 1 km	Ραδιοπλοήγηση	
MF (Μεσαία)	300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m	Ραδιοφωνία AM (565-1605 kHz)	Δίπολα Hertz ($h > 10$ m)
HF (Βραχεία ή SW)	3 - 30 MHz	100 m - 10 m	Ραδιοφωνία AM (βραχέων) Επικοινωνίες ραδιοερασιτεχνών	Κεραίες-μαστίγια ($h \leq \lambda/4$)
VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1 m	Ραδιοφωνία FM (88-108 MHz) TV (π.χ. PAL/B - 7 MHz)	Δίπολα $\lambda/2$ Yagi-Uda
UHF	300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	TV (π.χ. PAL/G - 8 MHz) Κινητή τ/φ GSM (900 MHz) Κινητή τ/φ DCS (1,8 GHz)	Yagi-Uda
SHF	3 - 30 GHz	10 cm - 1 cm	Επίγειες ραδιοζεύξεις Δορυφ. ζεύξεις (4/6 ή 12/14 GHz) RADAR	Κεραίες με παραβολικά κάτοπτρα
EHF (μιλιομετρικά)	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm	Ασυρματικά δίκτυα πρόσβασης	



Διάδοση ΗΛΜ ακτινοβολίας

➤ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ:

- Τα **μακρά** (30 – 300 kHz) και **μεσαία** (300 kHz – 3 MHz) κύματα μεταδίδονται μέσω **απευθείας** κυμάτων, μέσω κυμάτων ανακλώμενων στο έδαφος καθώς και μέσω κυμάτων που ανακλώνται στην **τροπόσφαιρα** (ύψος μέχρι 10 km).
- Τα **βραχέα** κύματα (3 – 30 MHz) μεταδίδονται, είτε μέσω **απευθείας** κυμάτων (τα ανακλώμενα στο έδαφος κύματα υφίστανται εξασθένηση) είτε μέσω κυμάτων που ανακλώνται στην **ιονόσφαιρα** (ύψος μέχρι 400 km).
- Τα **υπερβραχέα** κύματα (VHF, 30 – 300 MHz) και τα **μικροκύματα** ($f > 300$ MHz) μεταδίδονται, είτε μέσω **απευθείας** κυμάτων (τα ανακλώμενα στο έδαφος κύματα υφίστανται εξασθένηση) ενώ, υπό ορισμένες συνθήκες είναι δυνατή η μετάδοσή τους μέσω ανακλάσεων στην **τροπόσφαιρα** (η ιονόσφαιρα είναι διαπερατή για $f > 30$ MHz)

Δορυφορικές ζεύξεις:

- Μετάδοση μέσω απευθείας κυμάτων

✓ Μοντέλα διάδοσης

Μοντέλο διάδοσης ελευθέρου χώρου
Μοντέλο διάδοσης δυο ακτινών
Εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

✓ Ζώνες Fresnel



Εξισώσεις Maxwell

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{H}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

συζευξη



Maxwell's Equations for time varying electric and magnetic fields in free space

Simple interpretation

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Divergence of electric field is a function of charge density

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

A closed loop of E field lines will exist when the magnetic field varies with time

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

Divergence of magnetic field = 0 (closed loops)

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{I} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

A closed loop of B field lines will exist in the presence of a current and/or time varying electric field



Οι εξισώσεις του Maxwell

$$\text{rot } \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Σε αυτό βασίζεται η λειτουργία της κεραίας

1. Χρονομεταβαλλόμενη πυκνότητα ρεύματος \mathbf{J}
2. Δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο \mathbf{H} (χωρικά και χρονικά)
3. Δημιουργεί μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο \mathbf{E}
4. Δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο \mathbf{H}
5. Δημιουργεί μεταβαλλόμενο ηλεκτρική ροή \mathbf{D}
6. Δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο \mathbf{H} ακόμη και χωρίς \mathbf{J} .



Τι είναι κεραία ;

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

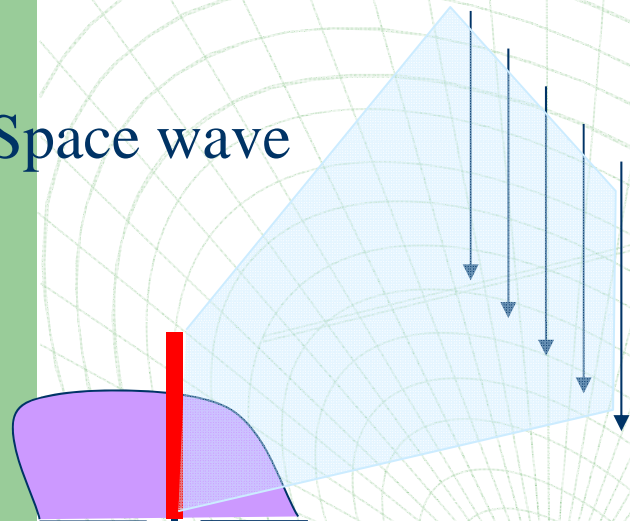
$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

- **Κεραία** είναι μια διάταξη αγωγών (σπανιότερα και διηλεκτρικών) που καταλαμβάνουν χώρο V εντός του οποίου 'ρέουν' χρονομεταβαλλόμενα ρεύματα αγωγιμότητας \mathbf{J} .
 - Εκτός του χώρου V , Το ΗΛΜ πεδίο διαδίδεται χωρίς να χρειάζεται \mathbf{J} , λόγω της σύζευξης \mathbf{H} και \mathbf{E}
- Time-varying electric current
 - harmonic current
 - modulated information

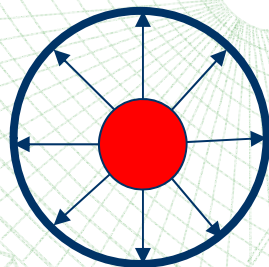


Ποιος είναι ο στόχος της;

Space wave



Guided wave



- Κεραία είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να μετατρέψουμε ένα κυματοδηγούμενο ΗΛΜ κύμα σε κύμα ακτινοβολίας στον ελεύθερο χώρο και αντίστροφα
 - Transformation from time-function in one-dimensional space into time-function in three dimensional space
 - The specific form of the radiated wave is defined by the antenna structure and the environment

rod, wave guide, micro strip, transmission line

free space traveling wave



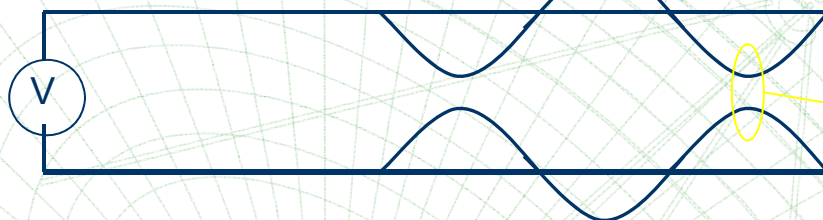
Antenna functions

- Transmission line
 - Power transport medium - must avoid power reflections, otherwise use matching devices
- Radiator
 - Must radiate efficiently – must be of a size comparable with the half-wavelength
- Resonator



Μια απλή προσέγγιση...

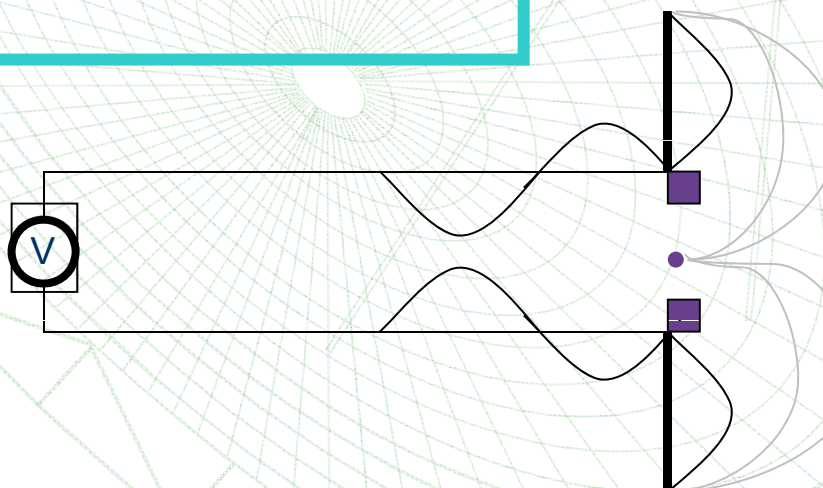
Transmission Line



Current Distribution

Mutual Cancellation

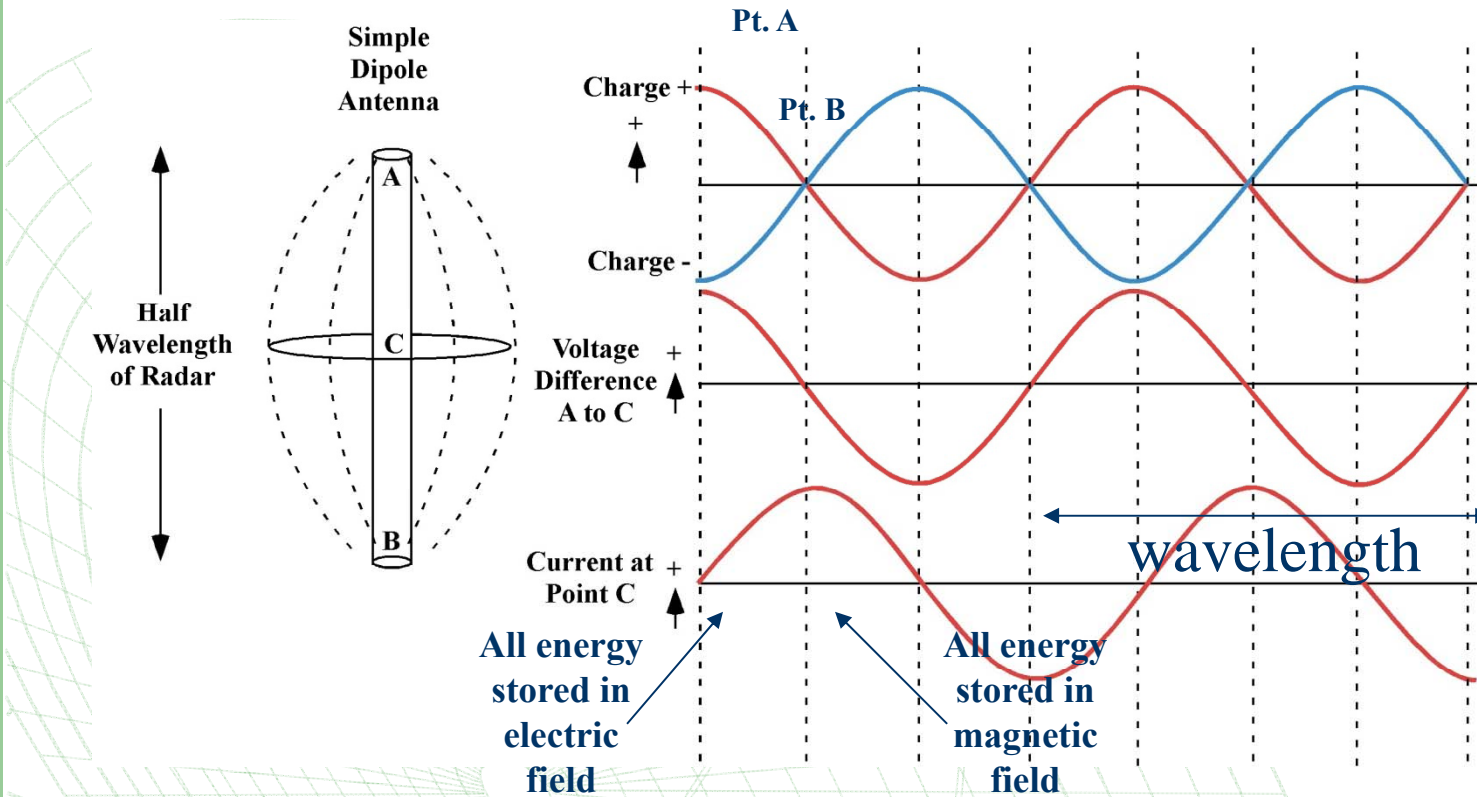
(Half-wave) Dipole



Ακτινοβολία



Time variations in charge, voltage and current in a simple Dipole Antenna



Energy is 1) **stored in E, B fields**, 2) **radiated as EM waves**, 3) **Dissipated as heat in antenna**

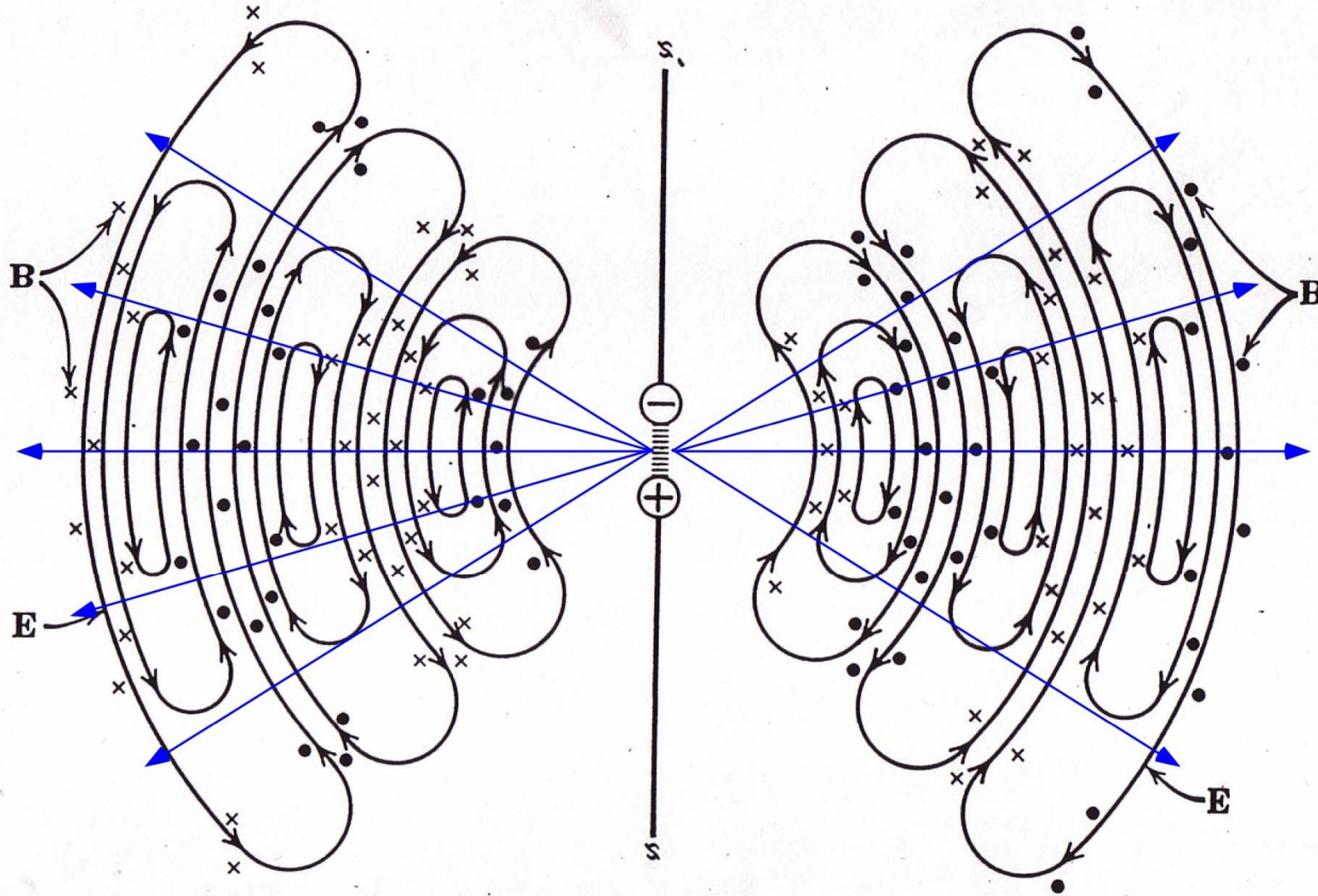
Near antenna: **Energy stored in induction fields (E, B fields) >> energy radiated**

More than a few
 λ from antenna:

Energy radiated >> energy stored in induction fields



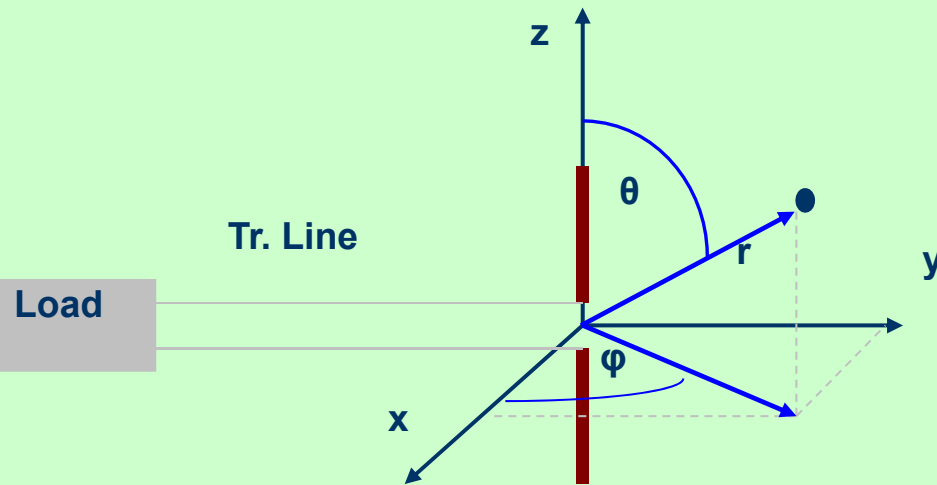
Electric and Magnetic Field with propagation vectors



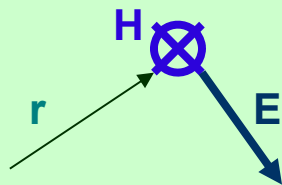


Σύστημα συντεταγμένων

Coordinate system



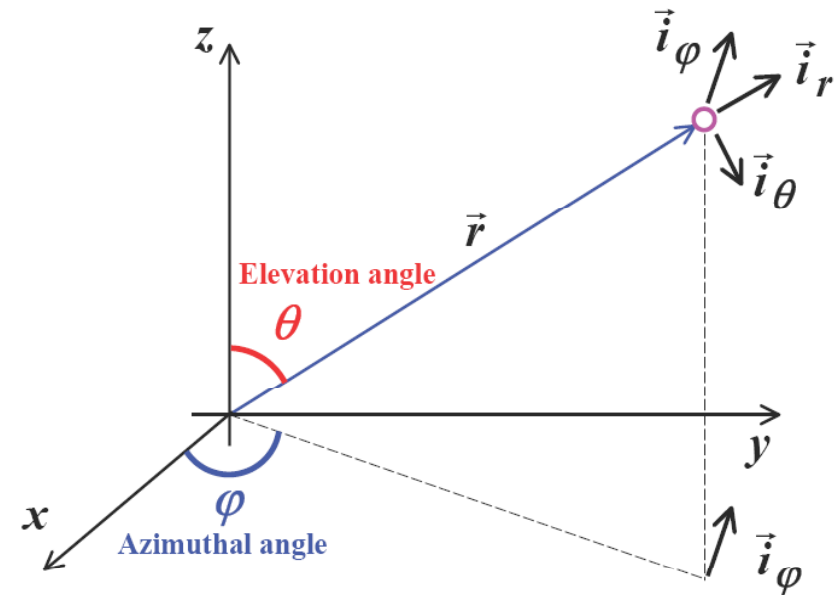
Electric and Magnetic Field Vector



r : ακτινική απόσταση

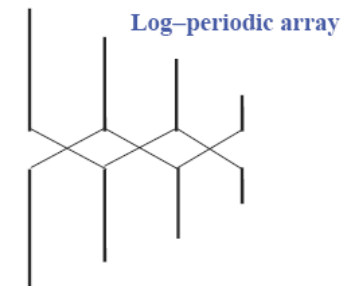
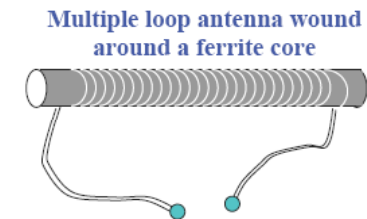
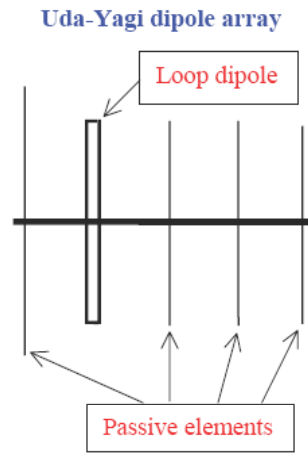
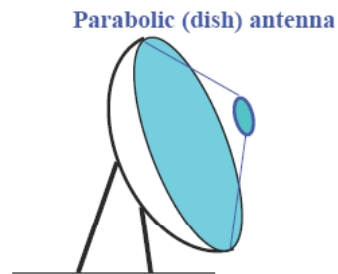
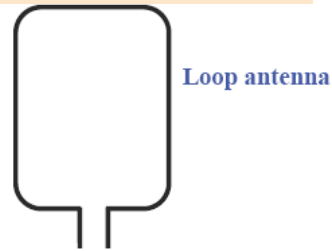
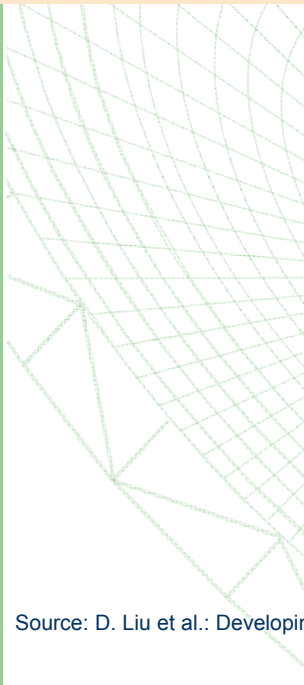
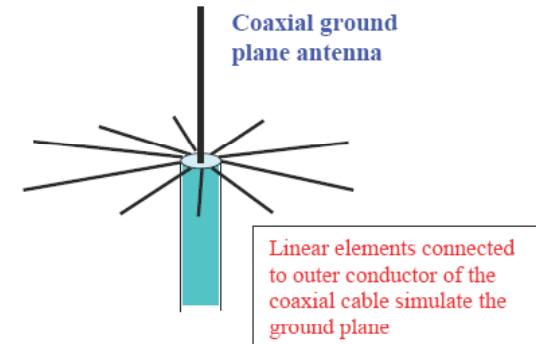
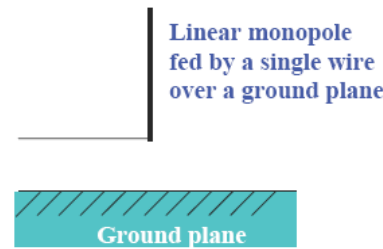
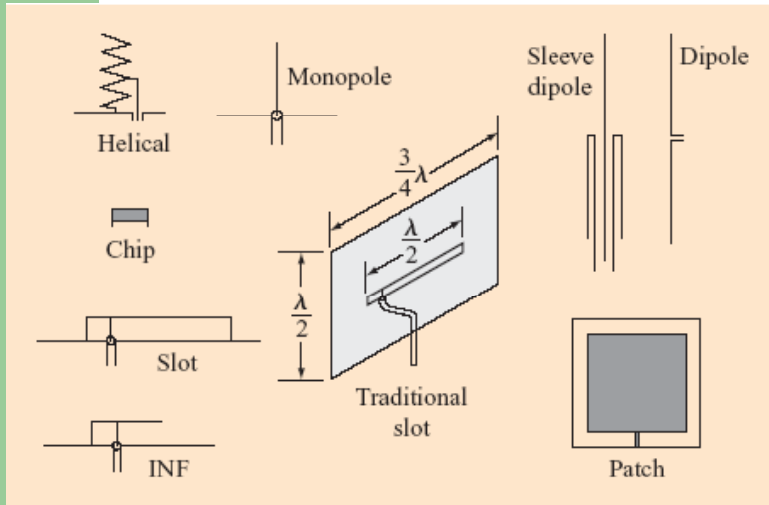
Θ : γωνία ανύψωσης
(elevation)

φ ... Azimuth





Κεραίες και εφαρμογές

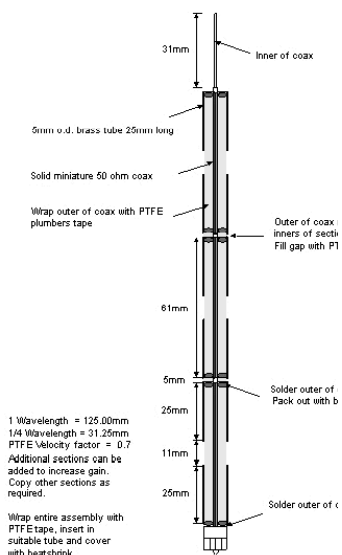




Γραμμικές κεραίες

- Σχηματίζονται από τις απλές γραμμές μεταφοράς

2.4GHZ Sleeve Co-linear Ant construction details



+5db gain co-linear antenna

1/4 wave antenna

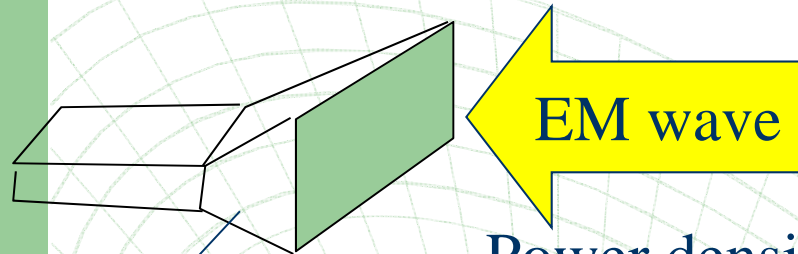
+7dB 1/2 wave antenna



High Gain Yagi Antenna



Aperture-antenna



Power absorbed: P [watt]

Effective aperture: A [m^2]

Power density:

PFD [w/m^2]

$$P = A * PFD$$

- Aperture antennas derived from waveguide technology (circular, rectangular)
- Can transfer high power (magnetrons, klystrons)
- Above few GHz

Note: The aperture concept is applicable also to wired antennas. For instance, the max effective aperture of linear $\lambda/2$ wavelength dipole antenna is $\lambda^2/8$



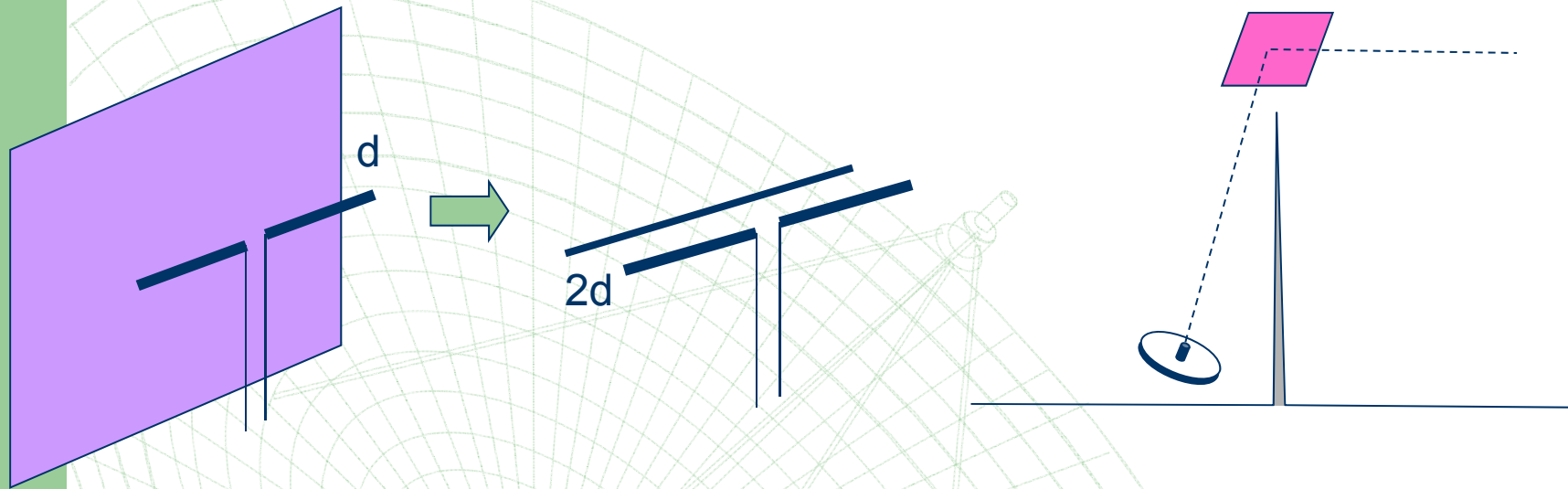
Reflector antennas

- Reflectors are used to concentrate flux of EM energy radiated/ received, or to change its direction
- Usually, they are parabolic (paraboloidal).
 - The first parabolic (cylinder) reflector antenna was used by Heinrich Hertz in 1888.
- Large reflectors have high gain and directivity
 - Are not easy to fabricate
 - Are not mechanically robust
 - Typical applications: radio telescopes, satellite telecommunications.

Source: adapted from N Gregorieva



Planar reflectors

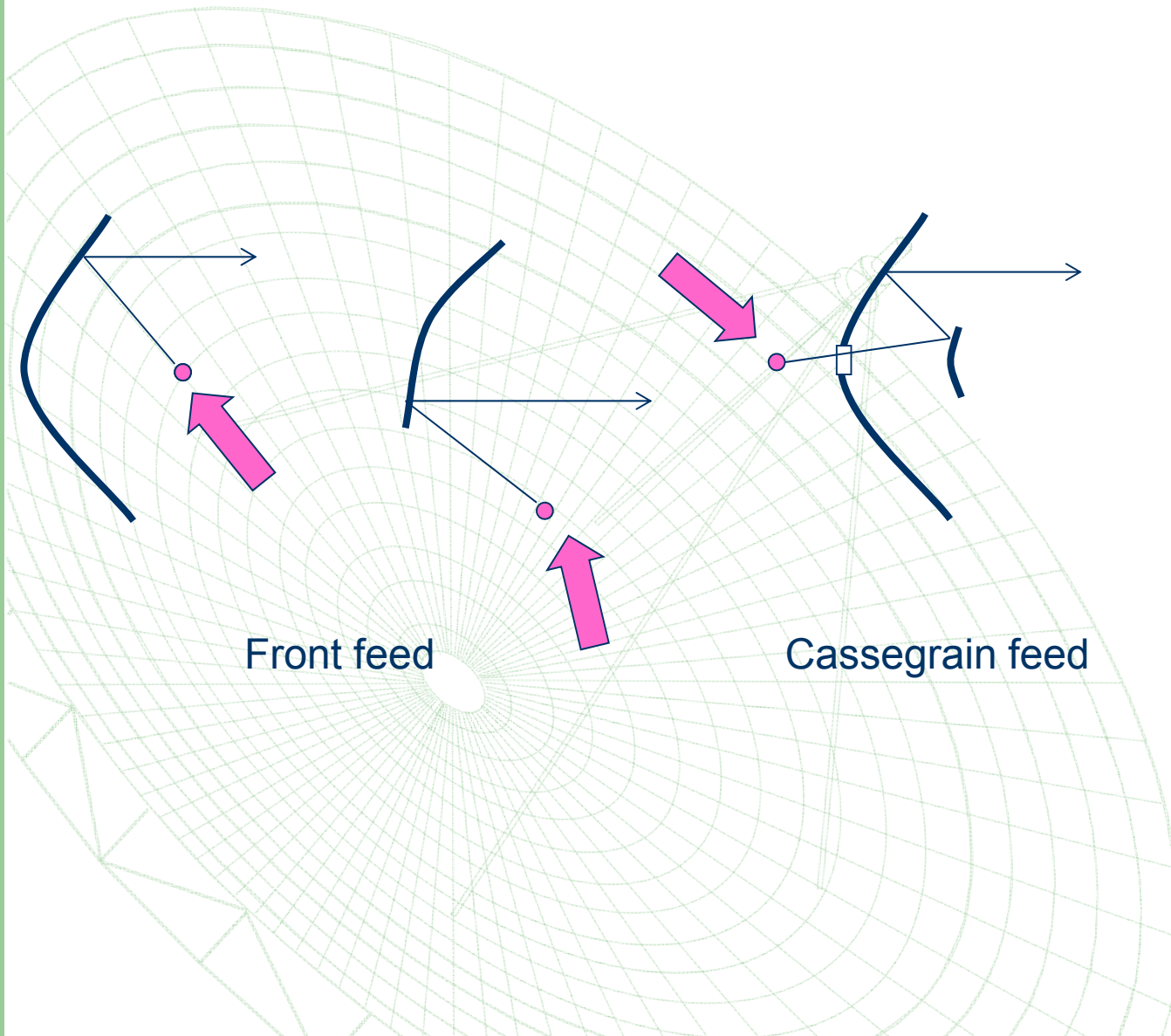


- Uda-Yagi, Log-periodic antennas

- Intended reflector antenna allows maintaining radio link in non-LOS conditions (avoiding propagation obstacles)
- Unintended antennas create interference



Paraboloidal reflectors





The largest radio telescopes

- Max Plank Institut für Radioastronomie radio telescope, Effelsberg (Germany), 100-m paraboloidal reflector
- The Green Bank Telescope (the National Radio Astronomy Observatory) – paraboloid of aperture 100 m

Source: adapted from N Gregorieva



The Arecibo Observatory Antenna System



The world's
largest single
radio telescope

304.8-m
spherical
reflector

National
Astronomy and
Ionosphere
Center (USA),
Arecibo,
Puerto Rico



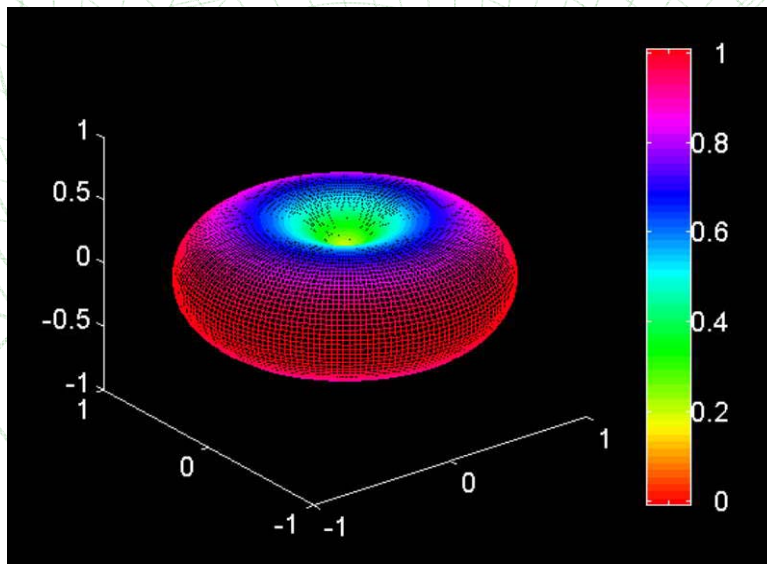
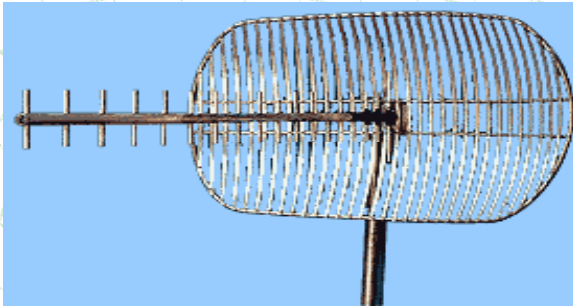
The Arecibo Radio Telescope



[Sky & Telescope Feb
1997 p. 29]



Παράμετροι κεραιών



Συχνότητα λειτουργίας

Απολαβή ή κέρδος

- Αντίσταση ακτινοβολίας
- Χαρακτηριστική αντίσταση

Διάγραμμα ακτινοβολίας

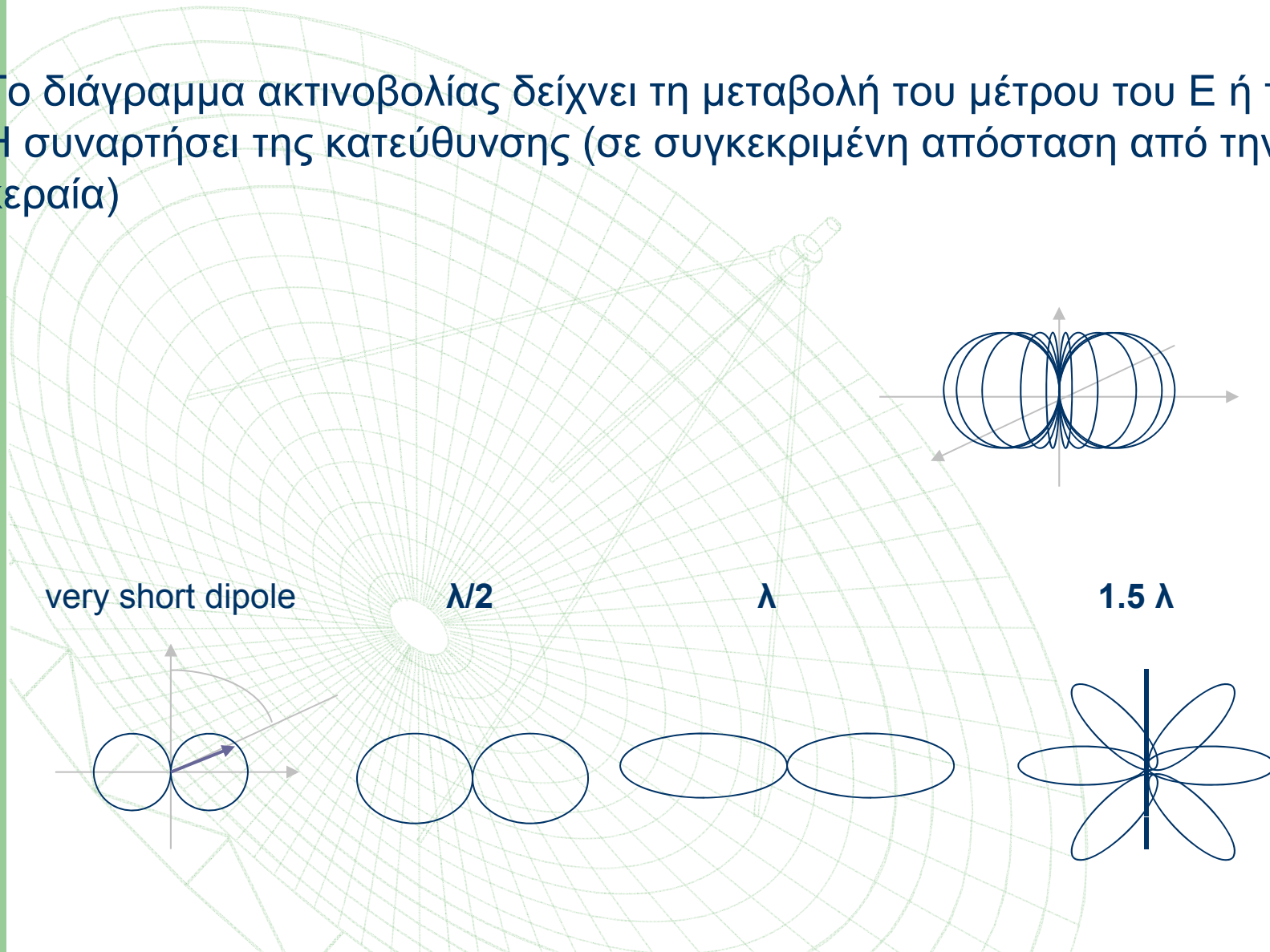
Πόλωση

- Προσαρμογή κεραιάς με πομπό
- Προσαρμογή κεραιάς με δέκτη



Διάγραμμα ακτινοβολίας

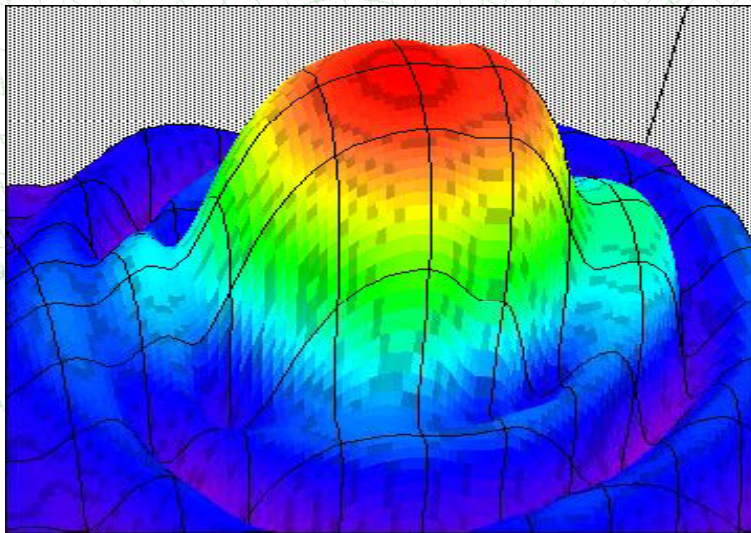
- Το διάγραμμα ακτινοβολίας δείχνει τη μεταβολή του μέτρου του E ή του H συναρτήσει της κατεύθυνσης (σε συγκεκριμένη απόσταση από την κεραία)



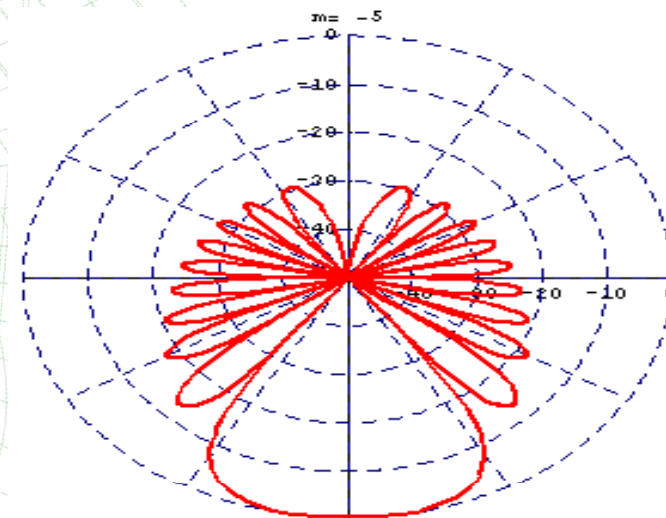


Διάγραμμα ακτινοβολίας

Τρισδιάστατη απεικόνιση

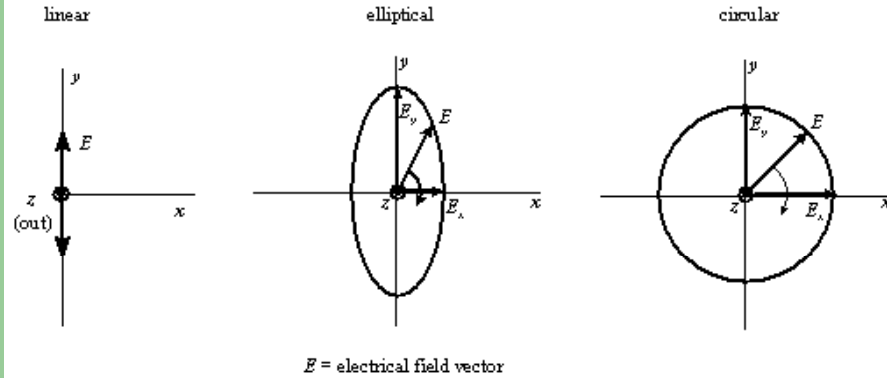


Δισδιάστατη απεικόνιση





Πόλωση



Οριζόντια πόλωση

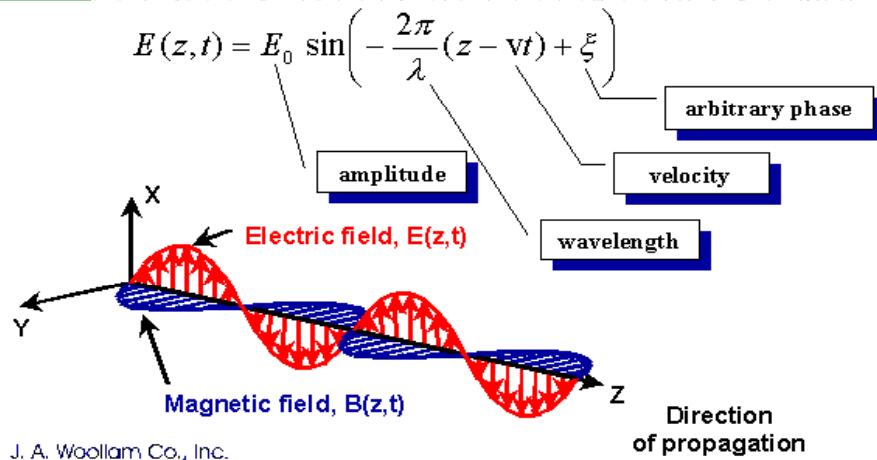
Κάθετη πόλωση

Δεξιόστροφη κυκλική πόλωση

Αριστερόστροφη κυκλική πόλωση

Δεξιόστροφη ελλειπτική πόλωση

Αριστερόστροφη ελλειπτική πόλωση



J. A. Woollam Co., Inc.



Φάσμα συχνοτήτων

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
3-30 ΚHz	<i>VLF</i>	Very Low Frequency	100-10 Km
30-300 ΚHz	<i>LW</i>	Long Waves	10-1 Km
300-3000 ΚHz	<i>MW</i>	Medium Waves	1-0.1 Km
3-30 MHz	<i>SW</i>	Short Waves	100-10 m
30-300 MHz	<i>VHF</i>	Very High Frequency	10-1 m
300-3000 MHz	<i>UHF</i>	Ultra High Frequency	100-10 cm
3-30 GHz	<i>SHF</i>	Super High Frequency	10-1 cm
30-300 GHz	<i>EHF</i>	Extreme High Frequency	10-1 mm

Τέλος Ενότητας

Ασύρματα συστήματα - Κεραίες

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Δημήτρης Βαρουτάς, Αριστείδης Τσίπουρας. «Κεραίες, Ασύρματα συστήματα – Κεραίες». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI123/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

