

Ψηφιακές Επικοινωνίες

**Κεφ 5: Ανάλυση Ζεύξης
(Συνέχεια)**

Εργασία

Θα επιλέξετε ένα άρθρο από την προτεινόμενη λίστα (ή κάποιον που θα προτείνετε εσείς και θα συμφωνήσουμε). **Πρέπει να το εγκρίνω πριν ξεκινήσετε. Δρώντας σαν αξιολογητές**, θα πρέπει να το κατανοήσετε και να δημιουργήσετε μια 15λεπτη παρουσίαση με τις εξής ενότητες:

1. **Σύντομη περιγραφή:** Παρουσιάστε συνοπτικά το αντικείμενο και τον σκοπό του άρθρου.
2. **Πρόβλημα που αναλύει και ποια η συμβολή του:** Ποιο πρόβλημα προσπαθεί να λύσει, ποια είναι η ερευνητική του ερώτηση, και ποια είναι η συνεισφορά του.
3. **Σχετική βιβλιογραφία που περιέχεται:** Αναφέρετε τις σημαντικότερες εργασίες που παραθέτει το άρθρο και πώς σχετίζονται με αυτό.
4. **Περιγραφή πρότασης:** Περιγράψτε τι επιπλέον προσφέρει το άρθρο σε σχέση με τη βιβλιογραφία.
5. **Αποτελέσματα:** Παρουσιάστε συνοπτικά τα αποτελέσματα και τα κύρια συμπεράσματα.
6. **Τα δυνατά σημεία:** Αναφέρετε τα θετικά στοιχεία, όπως η καινοτομία, η τεχνική πληρότητα, η εφαρμοσιμότητα ή η σαφήνεια παρουσίασης.
7. **Τα αδύνατα σημεία:** Ποια σημεία θα μπορούσαν να βελτιωθούν; Π.χ. περιορισμένη αξιολόγηση, έλλειψη συγκριτικών πειραμάτων, ανεπαρκής ανάλυση κ.λπ.
8. **Τελική σύνοψη/γνώμη:** Θα το αποδεχόμουν / θα ζητούσα βελτιώσεις / θα το απέρριπτα και γιατί.

Εργασία

Υποβολή: Μέσω eclass, ενότητα «Εργασίες», αρχείο .pptx ή .pdf

Προθεσμία: 24 Μαΐου 2026

Παρουσίαση εργασιών: Στο μάθημα της Δευτέρας 25 Μαΐου 2026 και σε επιπλέον ώρες αν χρειαστεί

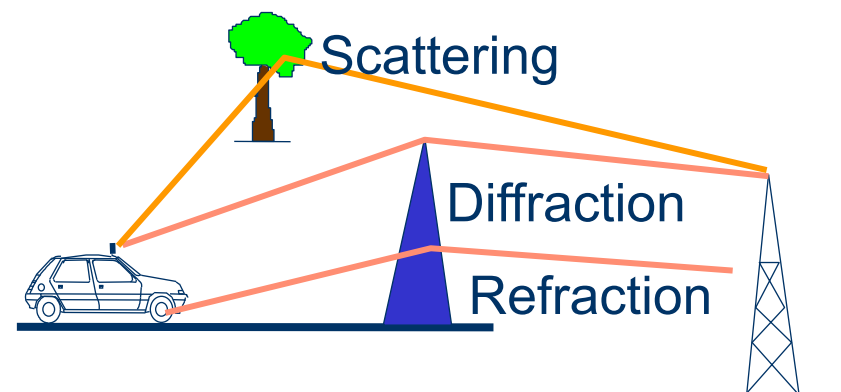
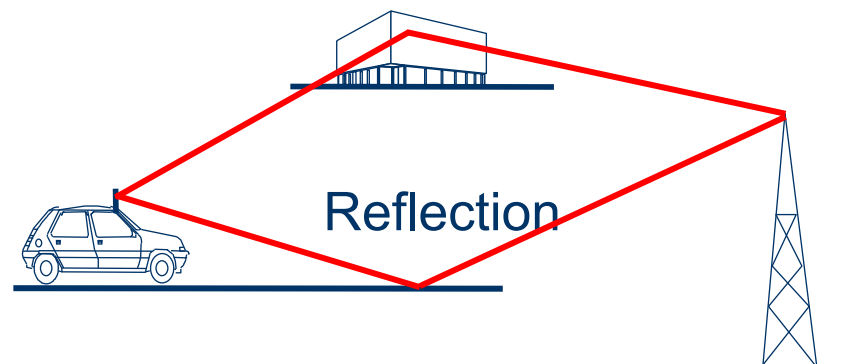
Διάρκεια παρουσίασης: 15 λεπτά / εργασία

Βαθμολογία: 30% του τελικού βαθμού (70% η γραπτή εξέταση)

Γενικές αρχές για τη διάδοση

Οι μηχανισμοί που διέπουν τη διάδοση είναι πολύπλοκοι και ποικίλοι – τέσσερις είναι οι βασικοί:

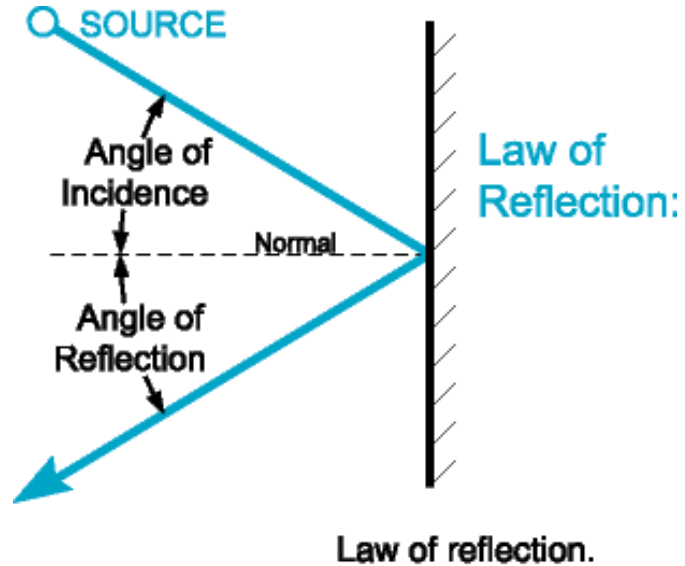
- **Ανάκλαση (reflection):** διαστάσεις εμποδίων $\gg \lambda$ – διάδοση προς μια κατεύθυνση.
- **Διάθλαση (refraction):** συμπαγή εμπόδια στην πορεία του σήματος $\gg \lambda$.
- **Σκέδαση (scattering):** διαστάσεις εμποδίων $\leq \lambda$ – διάδοση σε διαφορετικές κατευθύνσεις.
- **Περίθλαση (diffraction):** παρεμβολή σώματος στη διαδρομή διάδοσης (δευτερογενή κύματα – αρχή Huygens).



**** Μπορεί να δημιουργούν προβλήματα αλλά να δίνουν και λύσεις όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή ****

Ανάκλαση

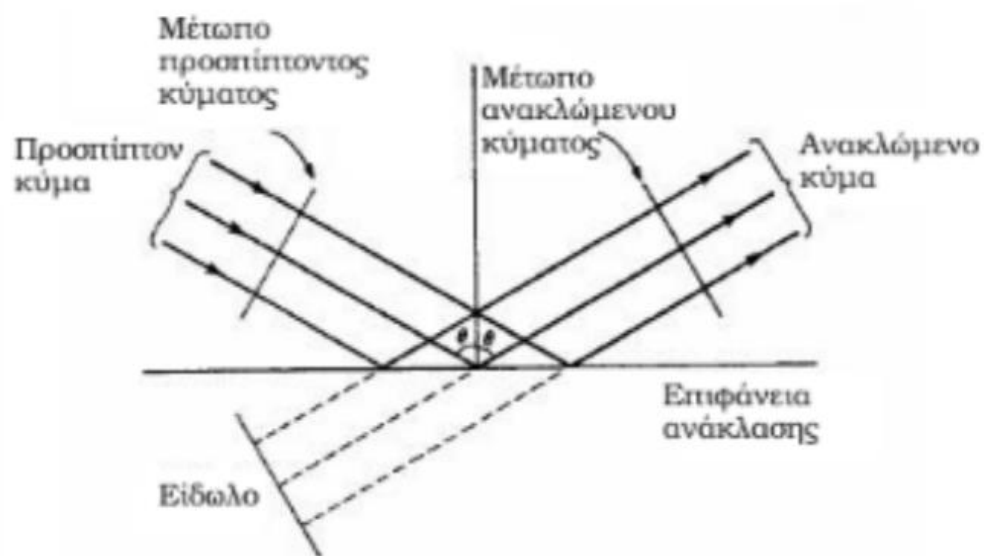
- Πρόσκρουση του σήματος σε λεία επιφάνεια
- **2ος Νόμος Ανάκλασης:**
Γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης



Βλέπουμε επειδή το φως ανακλάται στο μάτι μας!

Ανάκλαση (Reflection) (1/2)

- Δεύτερος Νόμος της Ανάκλασης:
 - Η γωνία ανάκλασης είναι ίδια με την γωνία πρόσπτωσης
 - βασίζεται στη διατήρηση της ταχύτητας διάδοσης μέσα στο ίδιο μέσο
- Παράδειγμα με καθρέπτη



Ανάκλαση (Reflection) (2/2)

- Συντελεστής Ανάκλασης ρ
 - ο λόγος των εντάσεων ηλεκτρικού πεδίου ανακλώμενου προς προσπίπτοντος κύματος
 - Απορρόφηση ενέργειας λόγω μη τέλει αγωγιμης επιφάνειας
 - $\rho < 1$: Πρακτικά αγωγιμες επιφάνειες
 - $\rho = 1$: Τέλειος αγωγός
- Το υλικό και η υφή της επιφάνειας επηρεάζουν την ανάκλαση
 - καλοί ανακλαστές: λείες, μεταλλικές επιφάνειες
 - η επιφάνεια της γης
- Θα πρέπει το διάνυσμα E να έχει κάθετη συνιστώσα στην αγωγιμη επιφάνεια, αλλιώς δημιουργούνται **επιφανειακά ρεύματα**

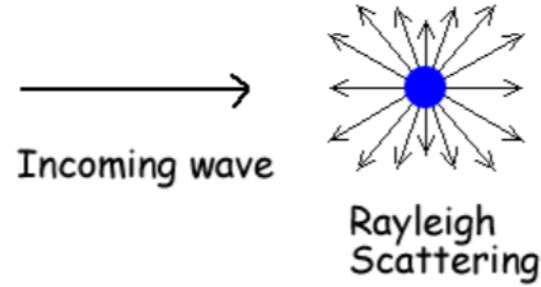
Σκέδαση

- Σκέδαση λόγω πρόσπτωσης κυμάτων σε ανομοιογενείς επιφάνειες
- Σκέδαση λόγω πρόσπτωσης των κυμάτων σε δομές μικρών διαστάσεων – RAYLEIGH
- Τα προσπίπτοντα κύματα αλλάζουν προσανατολισμό ακολουθώντας τυχαίες διευθύνσεις
- Ένα μικρό ποσοστό αυτών των κυμάτων σκεδάζεται προς τα πίσω (οπισθοσκέδαση - radar) στην πηγή της εκπομπής.
- Δύσκολο να προσεγγισθεί μαθηματικά.

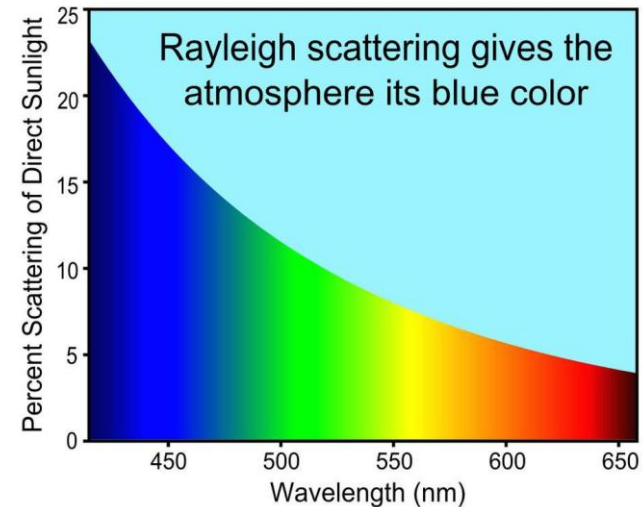
Σκέδαση (Scattering)

- Σκέδαση ή Διασκορπισμός:
 - το ΗΜ κύμα προσπίπτει σε αντικείμενα ή επιφάνειες με διαστάσεις ανάλογες του μήκους κύματος
 - παραδείγματα: λαμπτήρες, σήματα κυκλοφορίας, φυλλωσιές δέντρων, διαφημιστικές πινακίδες
- **Αποτέλεσμα:** Επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις
- Παρέχει ενέργεια σε περιοχές που κανονικά δε θα είχαν κάλυψη
- Είναι δύσκολο να προβλεφθεί

Παραδείγματα σκέδασης

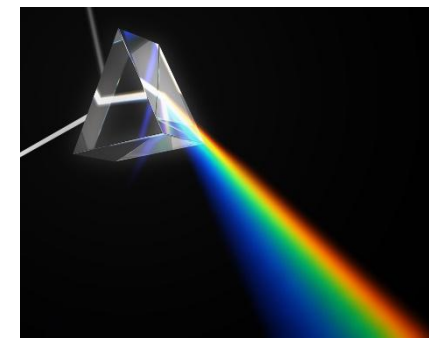


Πιο έντονο σε μικρά μήκη κύματος (μπλε ουρανός)



Διάθλαση

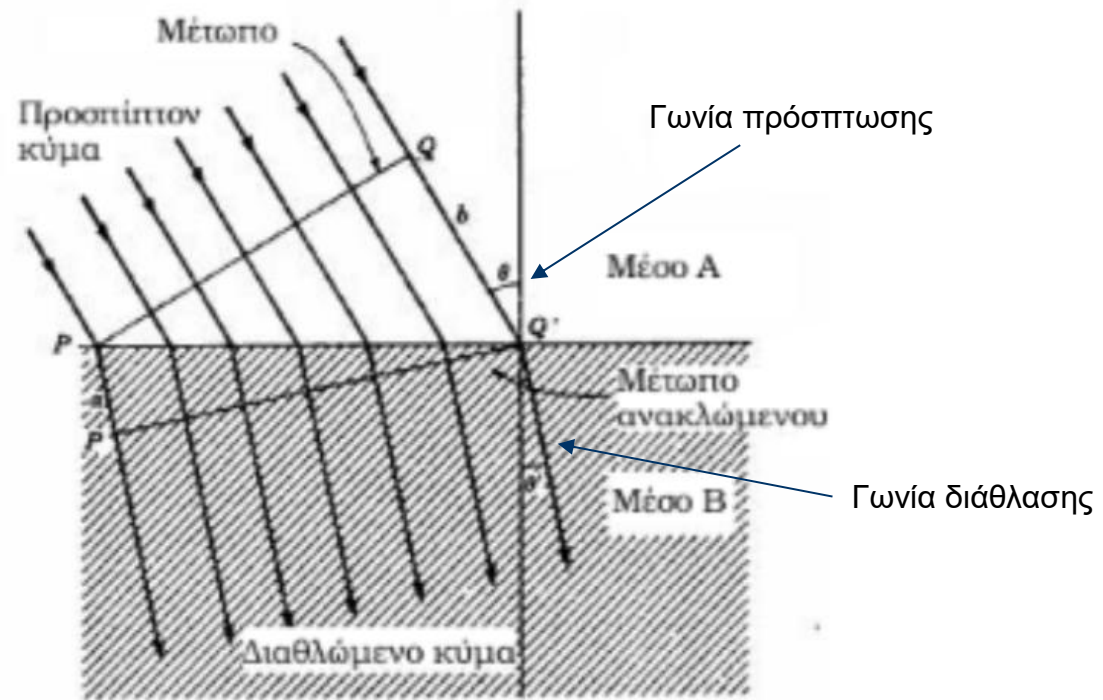
- Αλλαγή της κατεύθυνσης των κυμάτων καθώς περνούν από ένα μέσο σε άλλο
- Όσο μεγαλύτερη η διαφορά στην ταχύτητα του κύματος τόσο μεγαλύτερη η γωνία διάθλασης
- Τα ουράνια τόξα δημιουργούνται από του φωτός – τη διάθλαση κάθε διαφορετικής συχνότητας του ορατού φωτός
- Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν διάθλαση μέσα στο γυάλινο καλώδιο

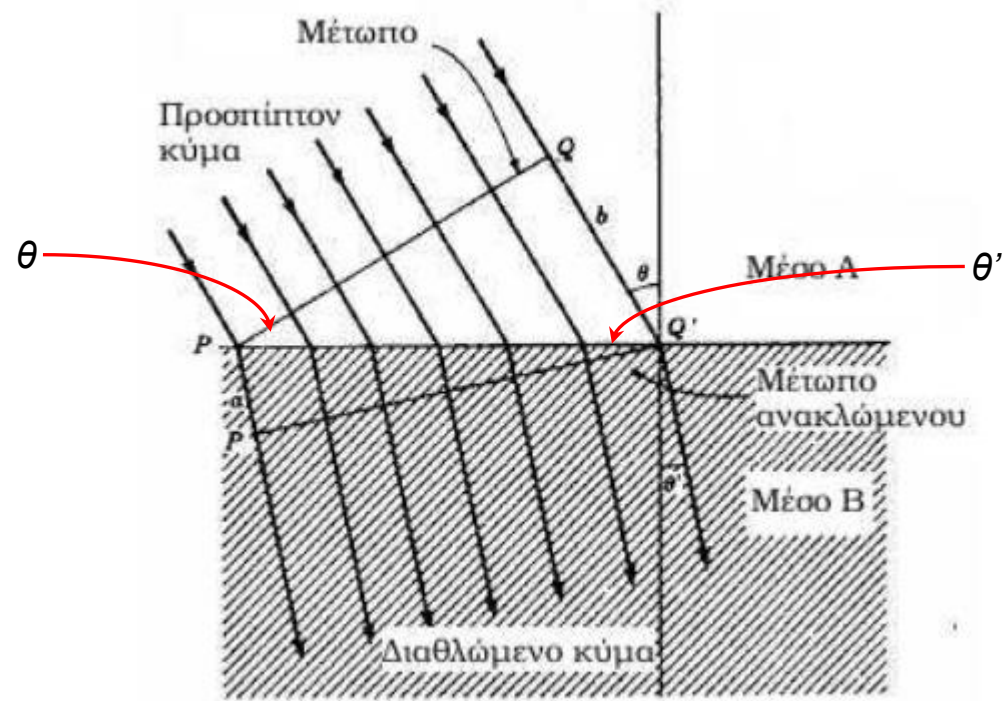


Διάθλαση (Refraction) (1/3)

- **Υπενθύμιση:**
 - η συχνότητα του κύματος είναι σταθερή
 - η ταχύτητα και το μήκος κύματος εξαρτώνται από το μέσο
- **Διάθλαση:**
 - όταν ένα κύμα περνά από ένα μέσο κάποιας πυκνότητας σε μέσο άλλης πυκνότητας
 - αλλάζει η ταχύτητα μετάδοσης
 - παράδειγμα από αντικείμενο σε υγρό
- **Αποτέλεσμα:** Το κύμα ακολουθεί μια άλλη κατεύθυνση στο δεύτερο μέσο και ταυτόχρονα η ταχύτητά του μεταβάλλεται

Διάθλαση (Refraction) (2/3)





Από τα τρίγωνα PQQ' και $PP'Q'$ προκύπτει:

$$PQ \sin \theta = P'Q' \sin \theta'$$

Έτσι:

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} = \frac{P'Q' / PQ'}{PQ / PQ'} = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{v_B}{v_A}$$

όπου v_A = Ταχύτητα κύματος στο μέσο A

v_B = Ταχύτητα κύματος στο μέσο B

Διάθλαση (Refraction) (3/3)

- Νόμος του Snell:

$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \frac{v_b}{v_a}$$

- v_a, v_b : ταχύτητα στα μέσα διάδοσης A και B
- πώς προέκυψε;

$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \sqrt{\frac{k}{k'}} = \frac{1}{\mu}$$

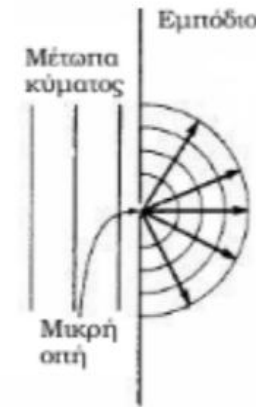
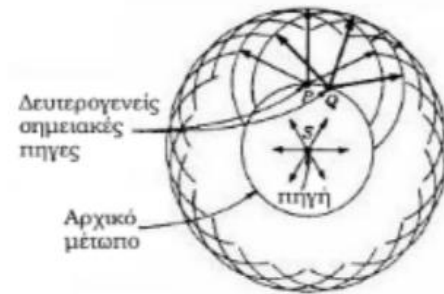
- k, k' : διηλεκτρικές σταθερές των μέσων A και B
- μ : συντελεστής διάθλασης

Περίθλαση

- Η κύρτωση των κυμάτων γύρω από ένα αντικείμενο
 - Ακούμε ήχους που παράγονται πίσω από ένα τοίχο
 - Φωτίζεται ένα δωμάτιο όταν ανάβουμε το φως στο διπλανό
 - Ακούμε ένα ραδιοφωνικό σταθμό πίσω από ένα βουνό
- Το ποσοστό της κύρτωσης εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου και το μήκος του κύματος
 - Μεγάλο αντικείμενο, μικρό μήκος κύματος = μικρή περίθλαση
 - Μικρό αντικείμενο, μεγάλο μήκος κύματος = μεγάλη περίθλαση

Περίθλαση (Diffraction) (1/3)

- **Περίθλαση:**
 - Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση
- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**
 - Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων
- Το συνολικό πεδίο σε σημεία μακριά από την πηγή είναι ίσο με το διάνυσμα του αθροίσματος των δευτερευόντων αυτών κυμάτων



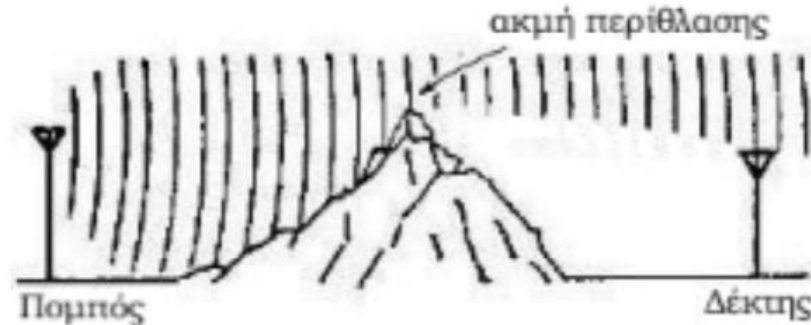
Christiaan Huygens (Χέγενς)

Περίθλαση (Diffraction) (2/3)

- **Περίθλαση:**
 - Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση
- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**
 - Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων
- Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη εμποδίζεται από επιφάνειες με τραχιές ακμές, γωνίες ή οπές
- Οι γωνίες μετατρέπονται σε δευτερογενείς πηγές του κύματος και επανεκπέμπουν το κύμα (με μικρότερη ισχύ)

Περίθλαση (Diffraction) (3/3)

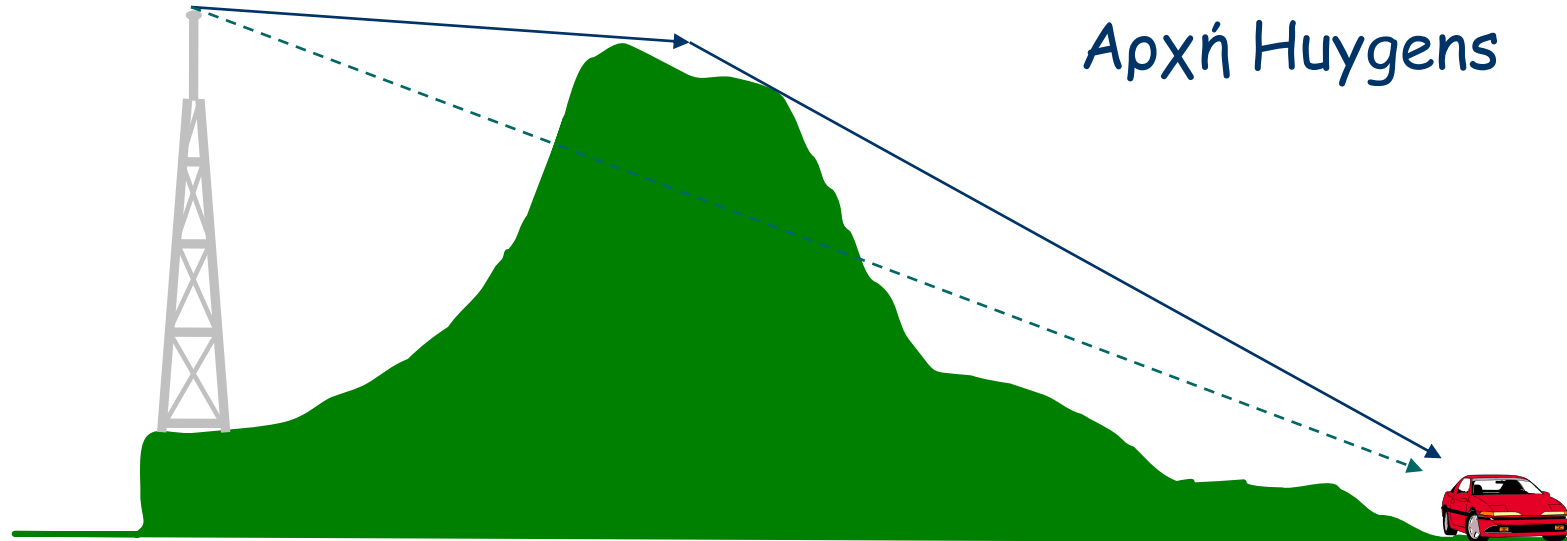
- Οι χαμηλές συχνότητες υφίστανται εντονότερη περίθλαση απ' ότι οι πιο υψηλές
 - παράδειγμα από ακουστικές συχνότητες
- Χωρίς την περίθλαση, τα κύματα δεν θα διαδίδονταν πίσω από εμπόδια



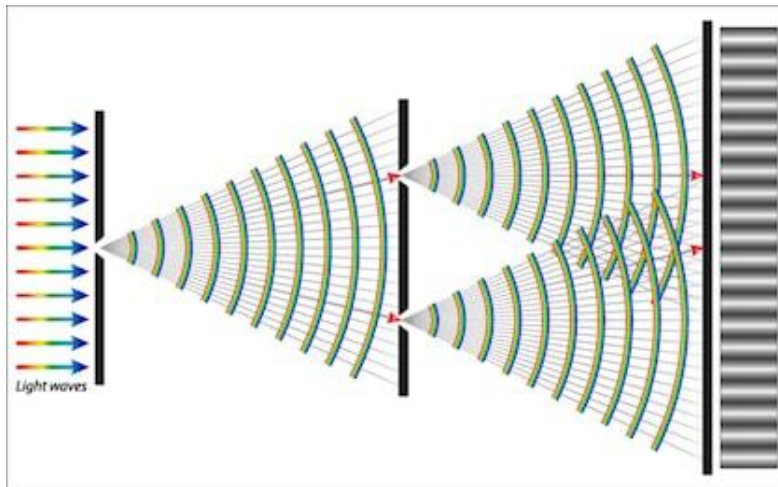
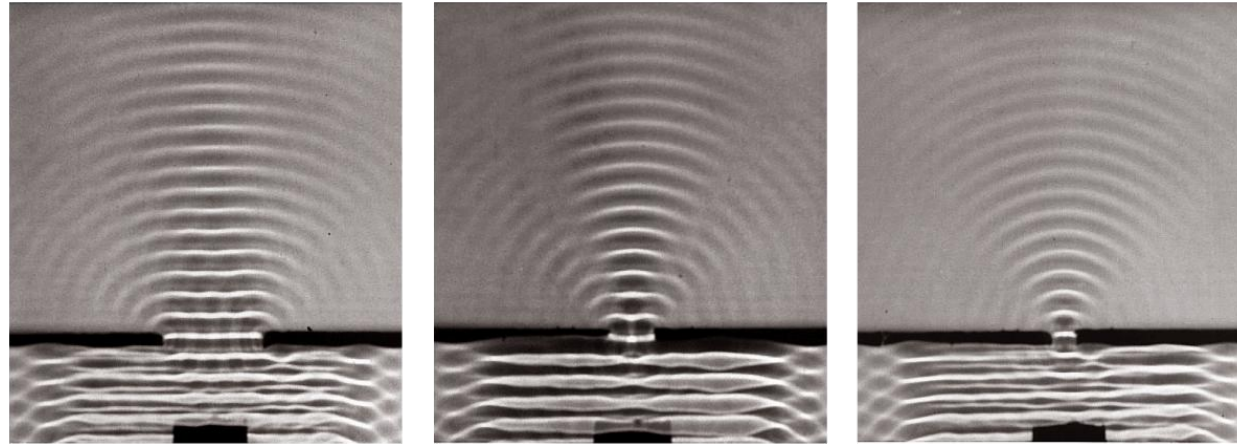
Διάδοση χωρίς οπτική επαφή Out-of-Sight

Απώλειες λόγω περίθλασης

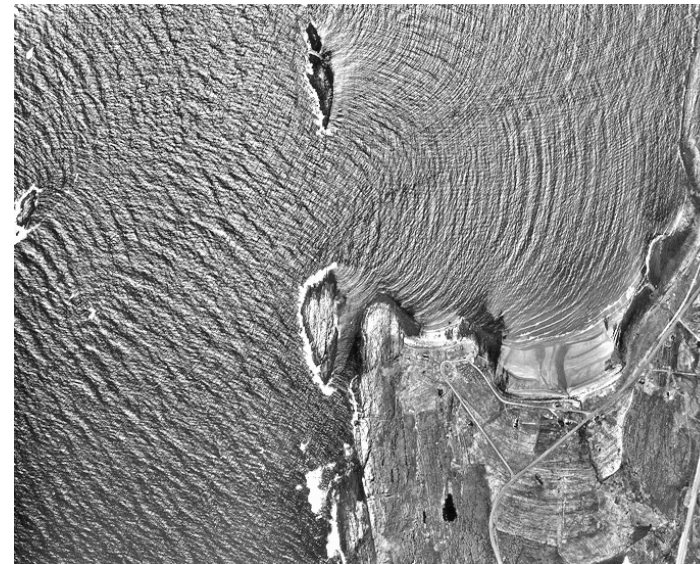
Αρχή Huygens



Παραδείγματα περίθλασης

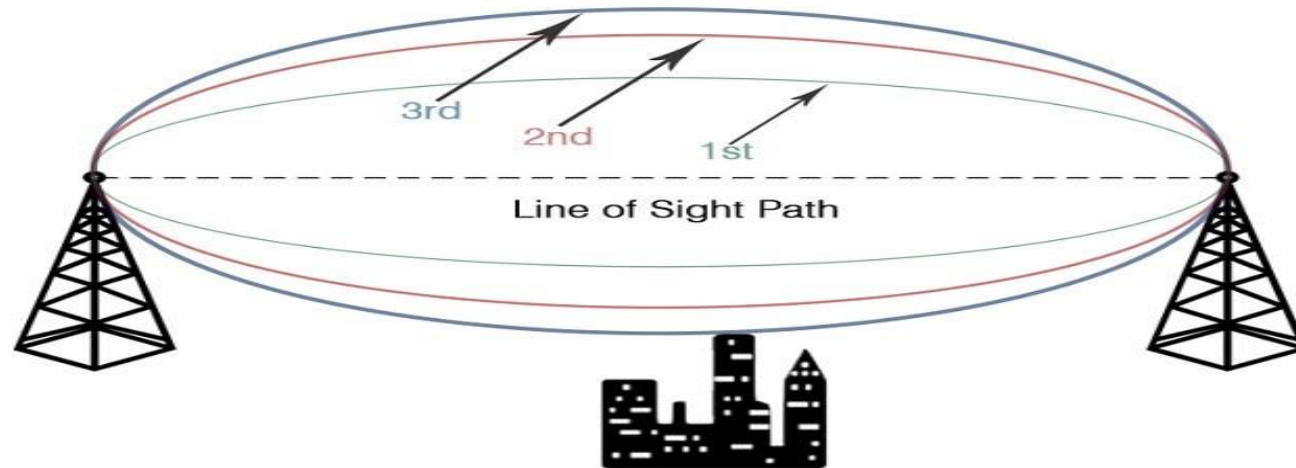
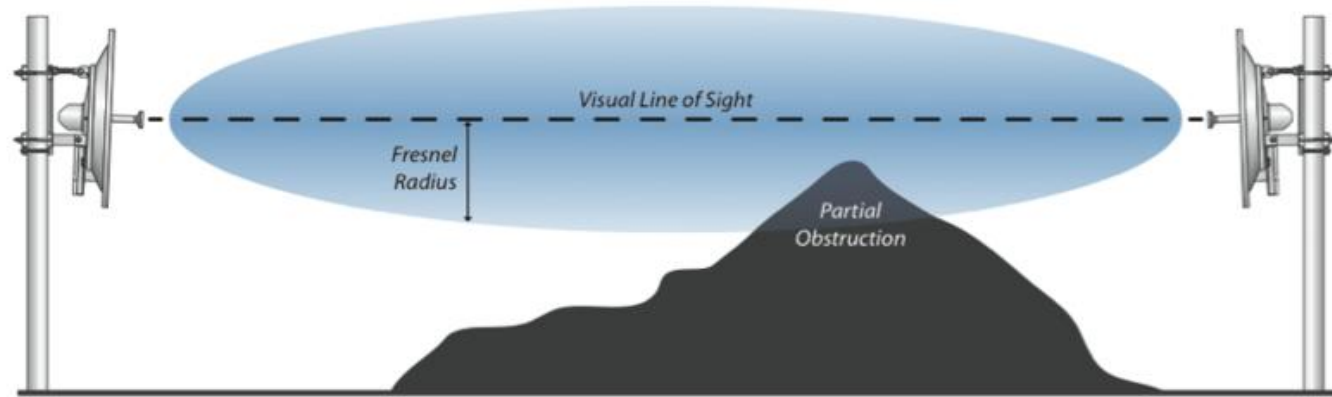


shutterstock.com • 543329314



Απευθείας Διάδοση Line-of-Sight

Πως κρίνουμε την απευθείας διάδοση (Fresnel Zone)

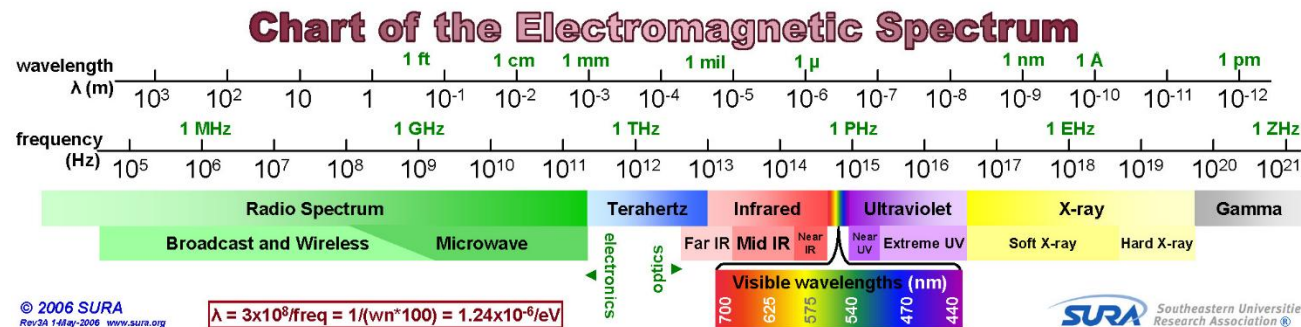


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Η/Μ κύματα ως Φορέας μεταφοράς πληροφορίας (?)
 - Mobile networks (π.χ. 0.9 - 4 GHz)

Όνομασία Ζώνης	Όρια Συχνοτήτων	Εφαρμογές
Extremely Low Frequencies (ELF)	1 Hz - 10 kHz	Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
Very Low Frequencies (VLF)	10 kHz - 30 kHz	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Low Frequencies (LF)	30 kHz - 300 kHz	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Median Frequencies (MF)	300 kHz - 3 MHz	Ραδιοφωνία AM
High Frequencies (HF)	3 MHz - 30 MHz	Ραδιοφωνία AM
Very High Frequencies (VHF)	30 MHz - 300 MHz	Ραδιοφωνία FM, Τηλεόραση, Κινητή τηλεφωνία (1ης γενιάς)
Ultra High Frequencies (UHF)	300 MHz - 3 GHz	Ραδιοζεύξεις, Τηλεόραση, Ραδιοπλοήγηση, Κινητή τηλεφωνία (2ης γενιάς), RADAR
Super High Frequencies (SHF)	3 GHz - 30 GHz	Επίγειες και Δορυφορικές Ζεύξεις, Ψηφιακή Δορυφορική Τηλεόραση, RADAR
Extremely High Frequencies (EHF)	30 GHz - 300 GHz	Μετεωρολογία, Αστρονομία



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

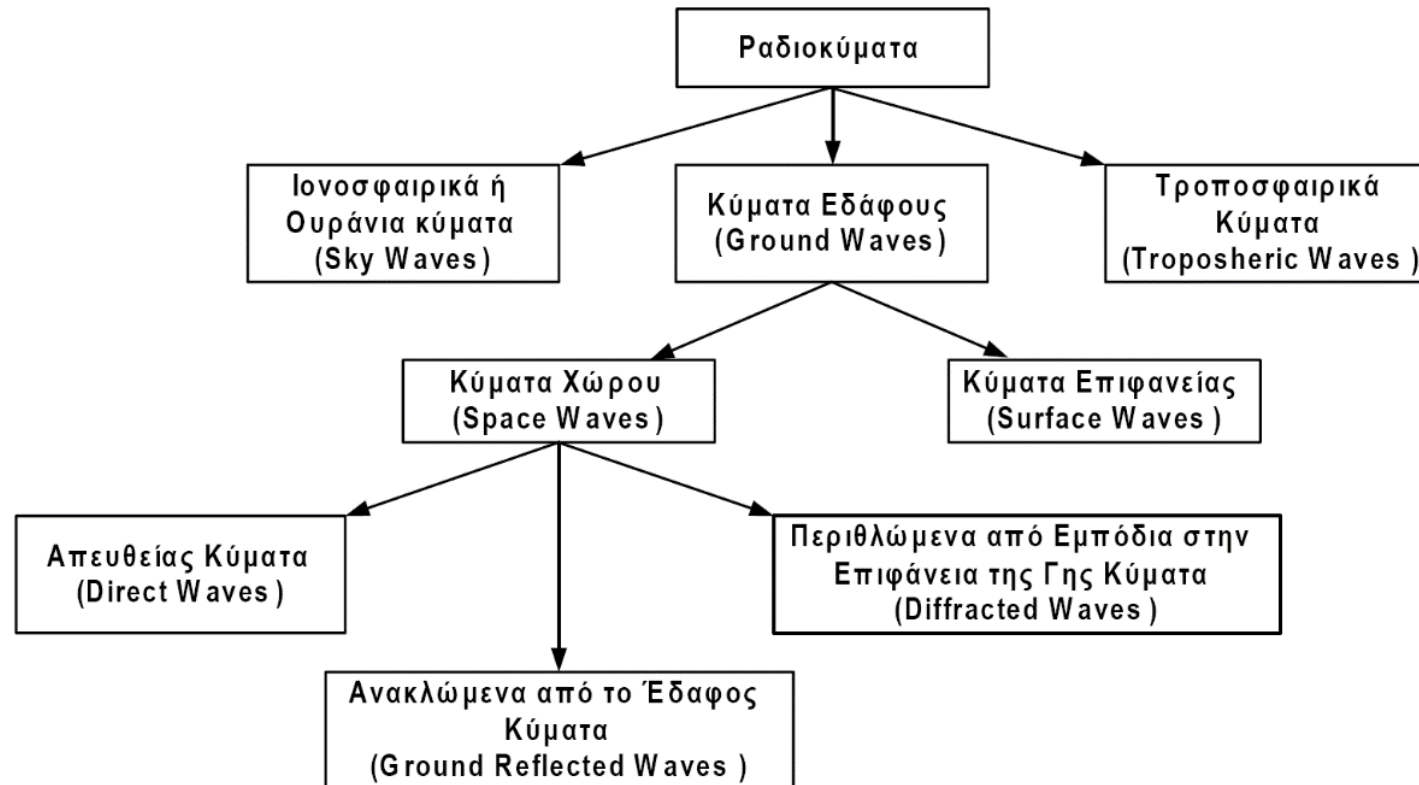
Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Η διάδοση ενός η/μ κύματος είναι μια σύνθετη διαδικασία και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες
 - Για να κατανοήσουμε και μελετήσουμε την διάδοση απαιτείται να μοντελοποιήσουμε (απλοποιήσουμε και περιγράψουμε μαθηματικά) την πορεία του κύματος
- Στόχος: δημιουργία μαθηματικού μοντέλου για:
 - τον υπολογισμό της λαμβανόμενης ισχύος
 - την περιγραφή της επίπτωσης λόγω διάφορων φαινομένων, π.χ. διάθλαση, ανάκλαση,
- Κάθε μοντελοποίηση είναι κατάλληλη:
 - για συγκεκριμένες συχνότητες
 - σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα (π.χ., αστικό, ημιαστικό, κλπ)
 - για συγκεκριμένες ιδιότητες της ζεύξης (π.χ., οπτική επαφή ή όχι, ύψη κεραιών, κλπ)

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Κατηγοριοποίηση κυμάτων με βάση τον τρόπο διάδοσης



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

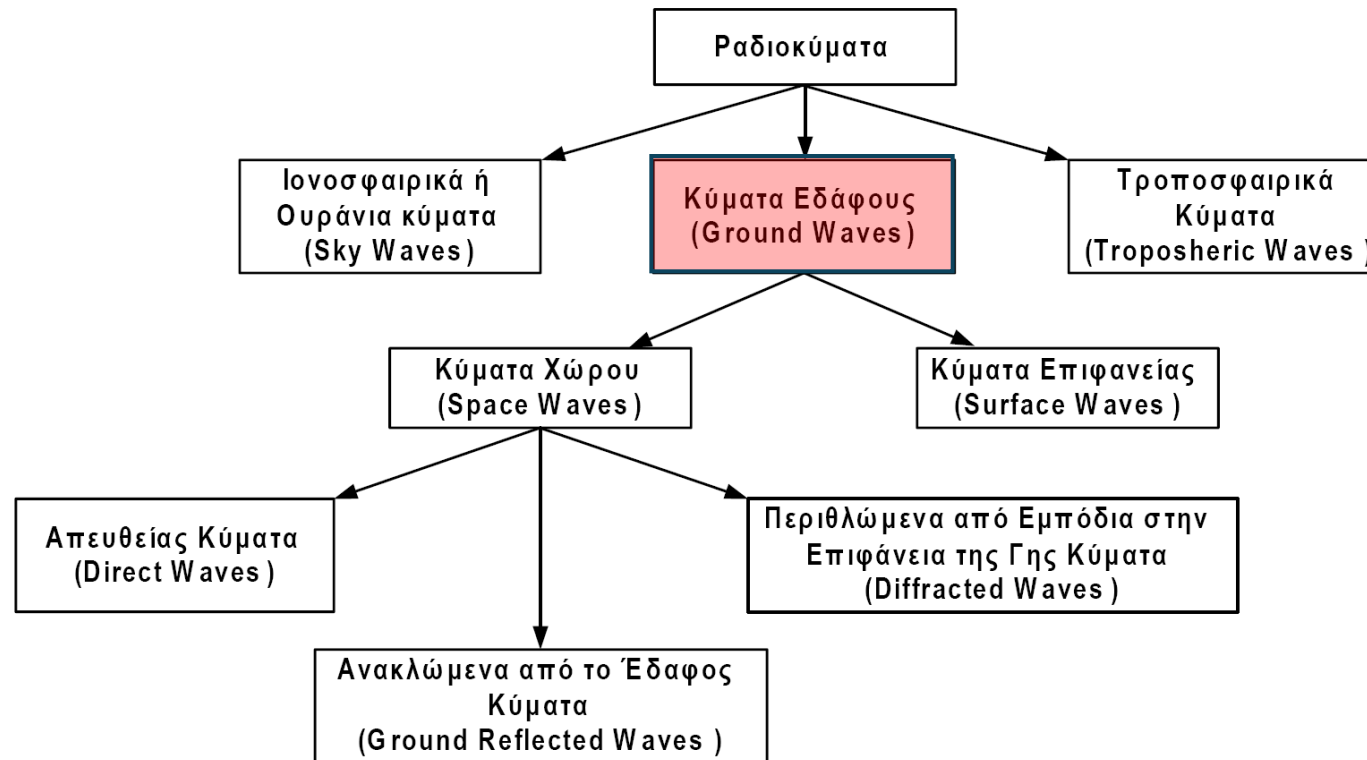
Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Κύματα εδάφους (Ground wave propagation)
 - Κύματα Επιφανείας (Surface)
 - **Κύματα Χώρου (Space Wave)**
 - Direct Waves - διάδοσης οπτικής επαφής (**LOS** - Line of sight propagation)
 - Reflected / Diffracted Waves - Διάδοσης μή οπτικής επαφής (**Non-LOS**)
- Ουράνια κύματα - Ιονοσφαιρικά (Sky wave propagation)
- Τροποσφαιρικά κύματα

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Κατηγοριοποίηση κυμάτων με βάση τον τρόπο διάδοσης

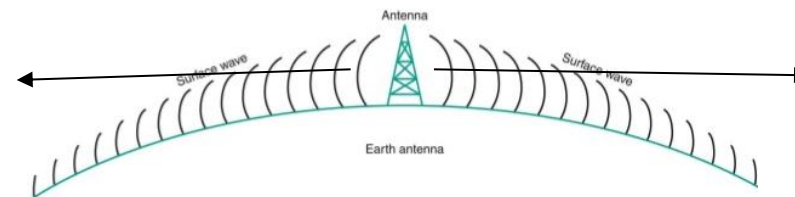
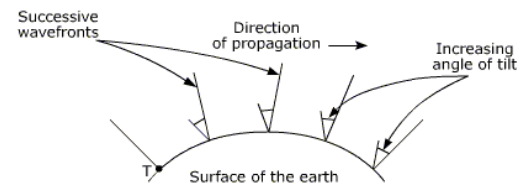


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – Κύματα επιφανείας

- ▶ Περιγραφή: Το η/μ κύμα (χαμηλής συχνότητας) ακολουθεί την καμπυλότητα της επιφάνειας της γης
 - ▶ Υψηλή θέση κεραίας εκπομπής - μεγάλο μήκος κύματος
- ▶ Ιδιότητες:
 - ▶ ικανοποιητικές αποστάσεις ζεύξεων
 - ▶ αργή μείωση ισχύος
 - ▶ συχνότητες ζεύξεως < 3 MHz
- ▶ Εφαρμογή:
 - ▶ ραδιόφωνο AM

Name	Abbreviation	Frequency	Wave length
Very low	VLF	3 to 30 kHz	100 to 10km
Low	LF	30 to 300 kHz	10 to 1km
Medium	MF	300 to 3000 kHz	1km to 100 m
High	HF	3 to 30 MHz	100 to 10m
Very high	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1cm
Ultrahigh	UHF	300 to 3000 MHz	1m to 10cm
Super high	SHF	3 to 30 GHz	10 to 1cm
Extremely high	EHF	30 to 300 GHz	10 to 1mm

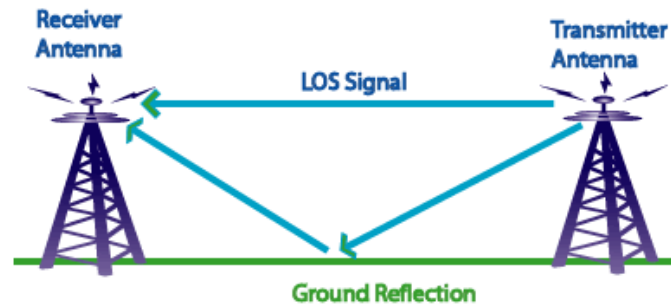


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – Κύματα χώρου

Space Wave - Two ray ground reflection model

- Περιγραφή: η διάδοση έχει δύο σημαντικές συνιστώσες
 - την απευθείας συνιστώσας λόγω οπτικής επαφής
 - τη συνιστώσα από την ανάκλαση του η/μ κύματος στο έδαφος
- Ιδιότητες
 - ζεύξη κοντά στην επιφάνεια της γης (μικρά ύψη κεραιών)
 - ζεύξη μικρής απόστασης
- Εφαρμογή
 - ασύρματα τοπικά δίκτυα

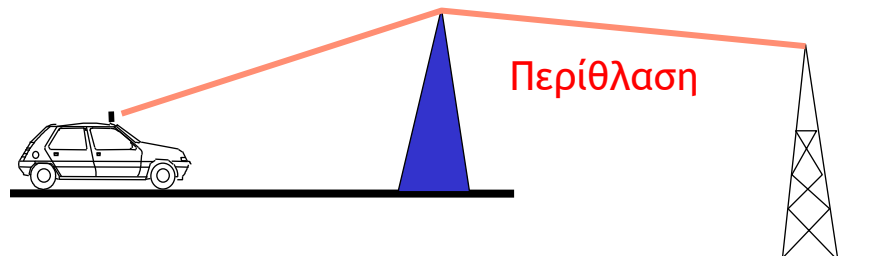


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – Κύματα χώρου

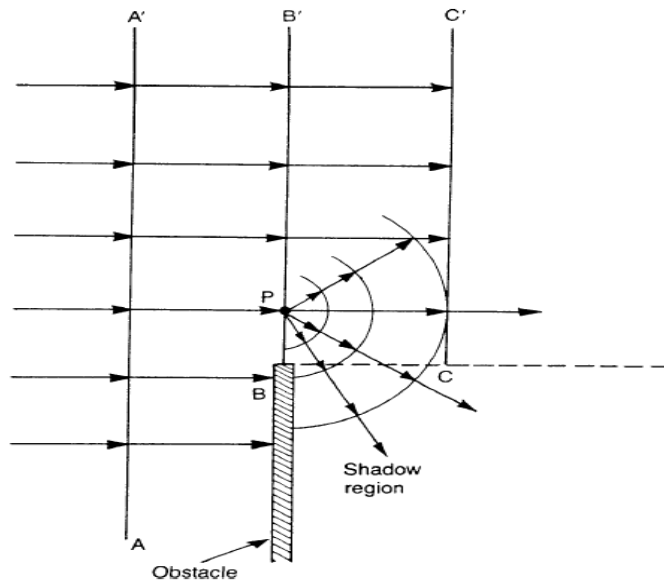
Space Wave - Non-LOS propagation

- Περιγράφει την ύπαρξη σήματος σε θέσεις που δεν υπάρχει οπτική επαφή λόγω ύπαρξης **εμποδίων (δεν είναι όλα τα αντικείμενα εμπόδια)**
- **Κατηγοριοποίηση με βάση τις διαστάσεις του εμποδίου**
 - Εμπόδιο με διαστάσεις \gg μήκους κύματος (μεγάλη συχνότητα)
 - Οι ιδιότητες του μέσου καθορίζουν την πορεία του κύματος
 - Εμπόδιο με διαστάσεις \ll μήκους κύματος (μικρή συχνότητα)
 - Π.χ. ένα κύμα συχνότητας 200KHz έχει μήκος κύματος ~ 1500 m άρα δεν επηρεάζεται από κτήρια
 - Εμπόδιο με διαστάσεις ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος
 - Η εμφάνιση κύματος **«πίσω από το εμπόδιο»** περιγράφεται από το νόμο του **Huygen**



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – Κύματα χώρου



Νόμος του Huygen:

Όλα τα σημεία του σφαιρικού μετώπου του κύματος μπορούν να θεωρηθούν ως δευτερεύουσες σημειακές πηγές.

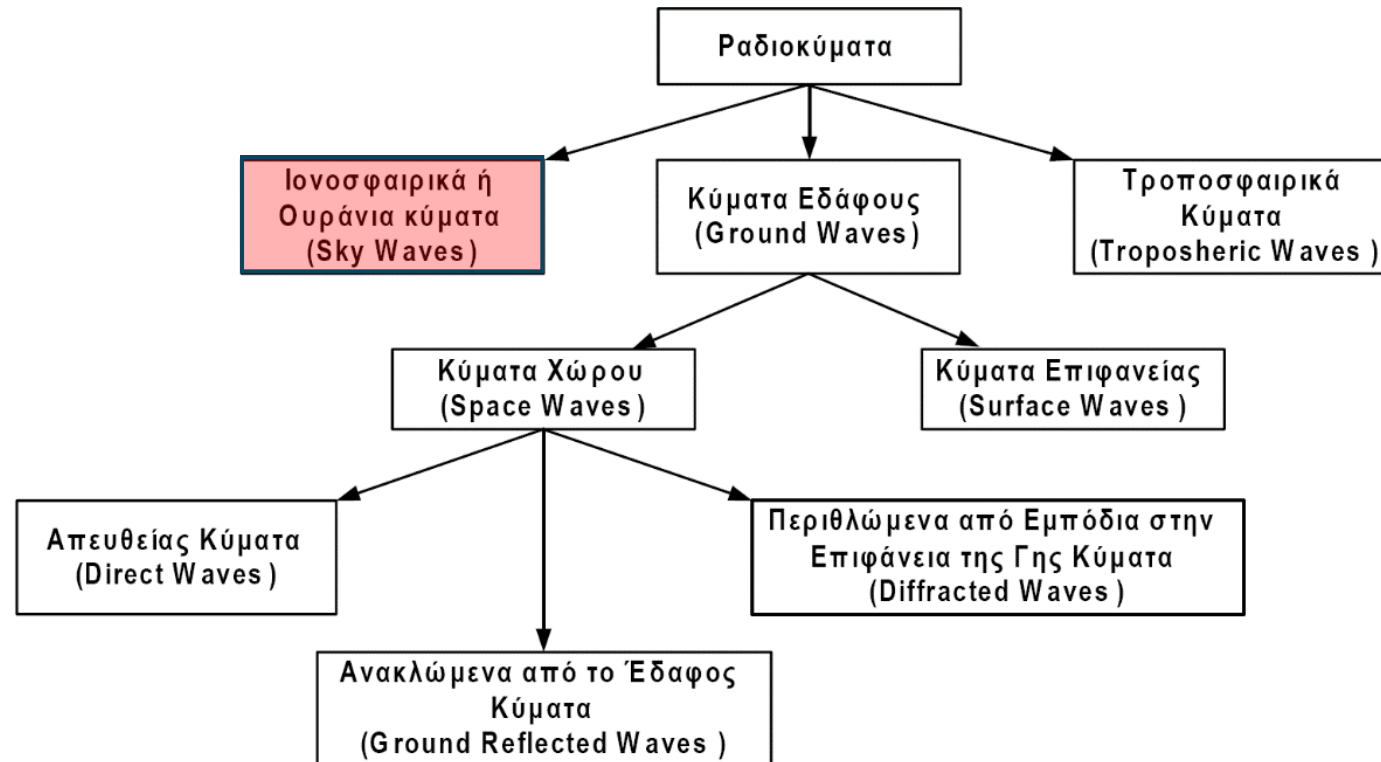
Με τη σειρά τους, όλα τα δευτερεύοντα κύματα κατά μήκος του μετώπου συνθέτονται για τη δημιουργία πιο προχωρημένων μετώπων

Κύμα «πίσω από το εμπόδιο» - Περίθλαση

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Κατηγοριοποίηση κυμάτων με βάση τον τρόπο διάδοσης

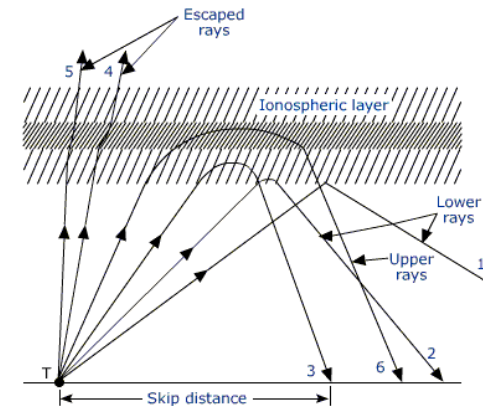
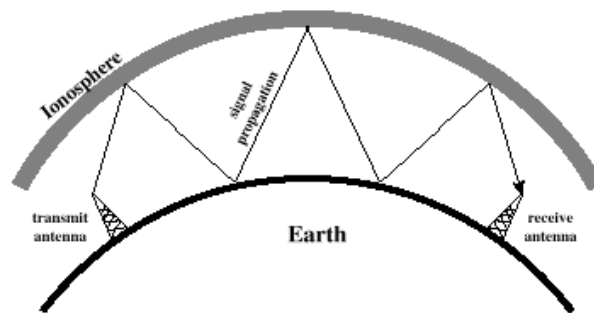


Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων – Ιονοσφαιρικά

- Περιγραφή: Το η/μ κύμα (HF, $3\text{MHz} < f < 30\text{MHz}$) διαθλάται από την ιονόσφαιρα (40-500 km ύψος)
- Ιδιότητες:
 - ζεύξεις με μεγάλο αριθμό διαθλάσεων
 - σχετικά μικρές απώλειες ισχύος
 - συχνότητες 3-30 MHz
- Εφαρμογή:
 - Ερασιτεχνικό ραδιόφωνο
 - CB radio

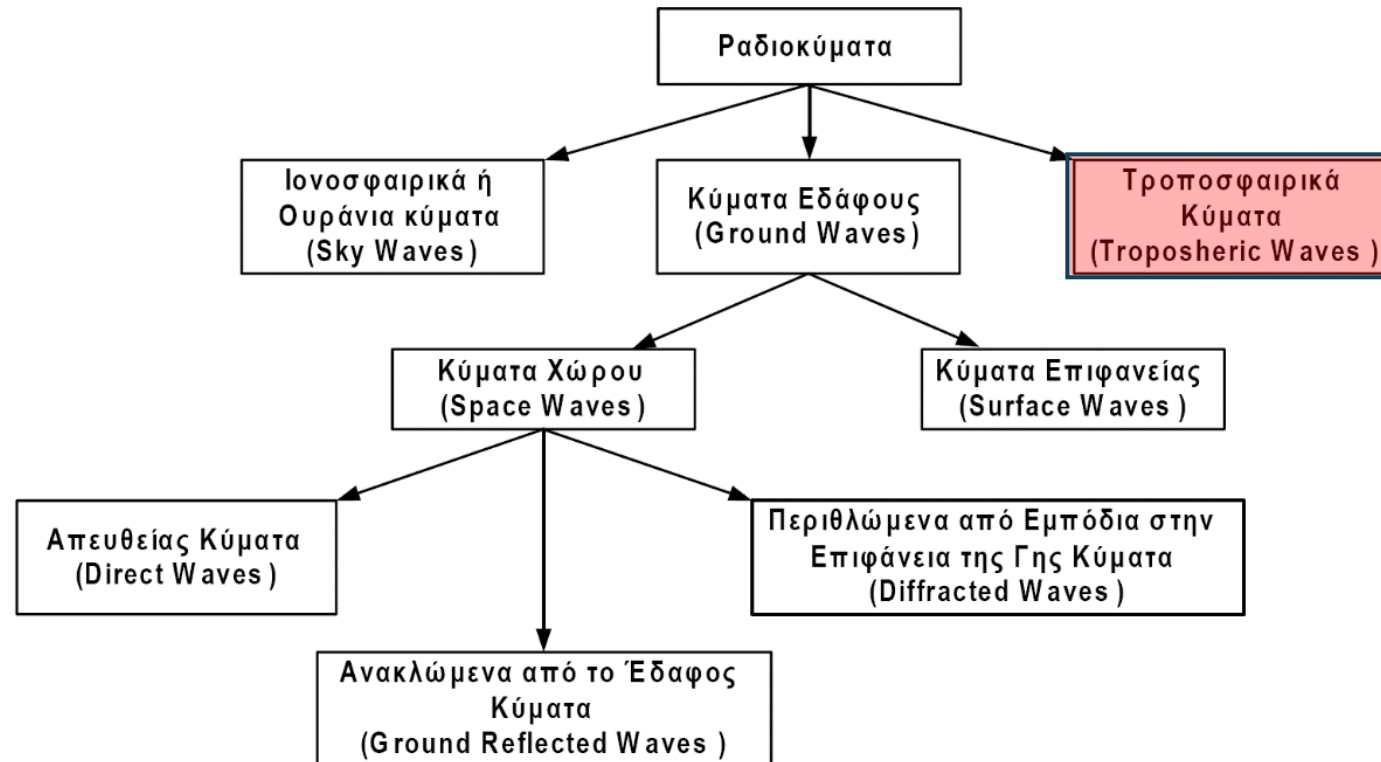
Name	Abbreviation Frequency	Frequency	Wave length
Very low	VLF	3 to 30 kHz	100 to 10km
Low	LF	30 to 300 kHz	10 to 1km
Medium	MF	300 to 3000 kHz	1km to 100 m
High	HF	3 to 30 MHz	100 to 10m
Very high	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1cm
Ultrahigh	UHF	300 to 3000 MHz	1m to 10cm
Super high	SHF	3 to 30 GHz	10 to 1cm
Extremely high	EHF	30 to 300 GHz	10 to 1mm



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Κατηγοριοποίηση κυμάτων με βάση τον τρόπο διάδοσης



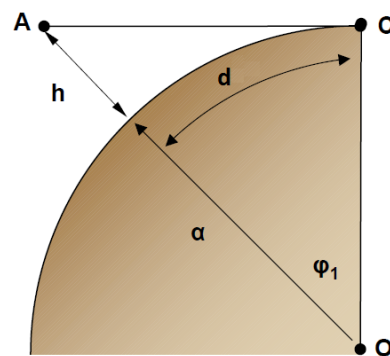
Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά

- Περιγραφή: Το η/μ κύμα διαδίδεται «**σχεδόν**» ευθεία (?)
- Το ύψος των κεραιών καθορίζει τη μέγιστη απόσταση ζεύξης
 - Η μέγιστη απόσταση για οπτική επαφή χωρίς εμπόδια καλείται:

Ενεργός ευθεία οπτικής επαφής

Name	Abbreviation Frequency	Frequency	Wave length
Very low	VLF	3 to 30 kHz	100 to 10km
Low	LF	30 to 300 kHz	10 to 1km
Medium	MF	300 to 3000 kHz	1km to 100 m
High	HF	3 to 30 MHz	100 to 10m
Very high	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1cm
Ultrahigh	UHF	300 to 3000 MHz	1m to 10cm
Super high	SHF	3 to 30 GHz	10 to 1cm
Extremely high	EHF	30 to 300 GHz	10 to 1mm



Πιο μακρινό σημείο που περιμένω σήμα

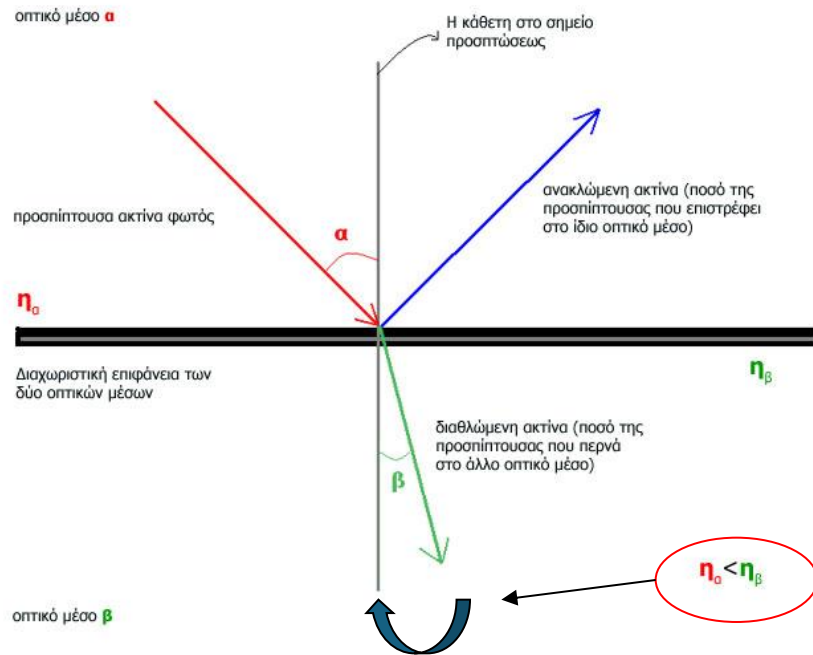
$$d = \sqrt{2ah} \text{ m}$$

$$\alpha = 6,375 * 10^6 \text{ m}$$

$$d = 3.57 \sqrt{h} \text{ (Km)}$$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά



νόμος του Σνέλ (Snell)

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \left. \vphantom{\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}} \right\} \text{ Δείκτες διάθλασης}$$

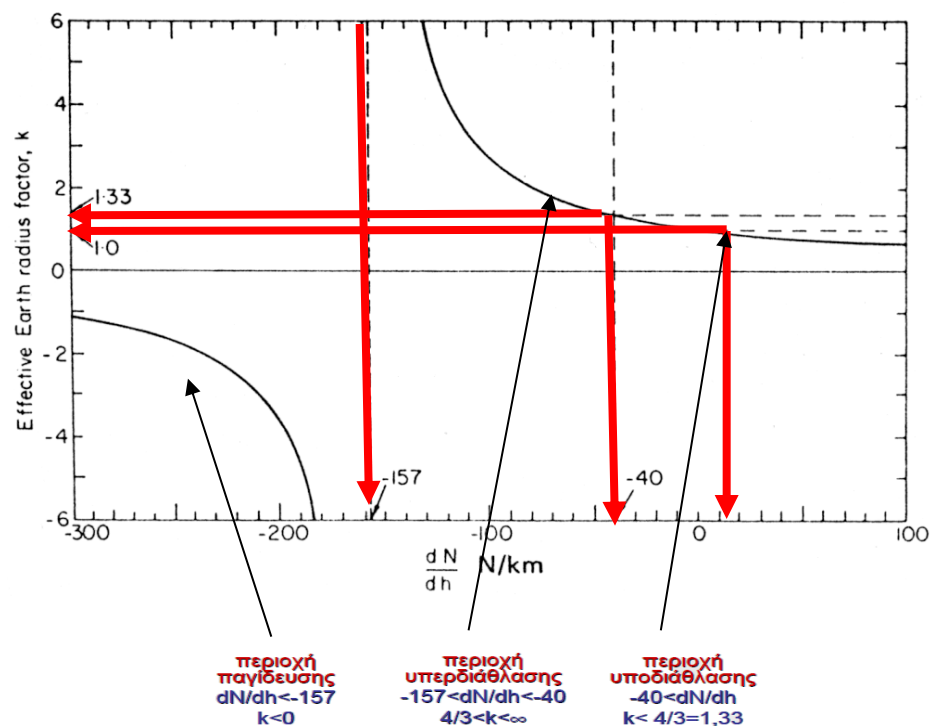
«σχεδόν» ευθεία και με μειούμενη ταχύτητα

Διαδίδεται «σχεδόν» ευθεία - Διάθλαση

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά

- Διόρθωση της ενεργού ευθείας οπτικής επαφής λόγω διάθλασης στην ατμόσφαιρα
- **k** = Effective Earth radius Factor (Παράγων ενεργού ακτίνας γης)



$$k = \frac{1}{1 + a \frac{dn}{dh}} = \frac{1}{1 + \frac{(dN/dh)}{157}}$$

← Υψος κεραίας

$$N = (n - 1) \times 10^6$$

← Δείκτης διάθλασης

Εξαρτάται από πίεση, θερμοκρασία, υγρασία ατμόσφαιρας κτλ.

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

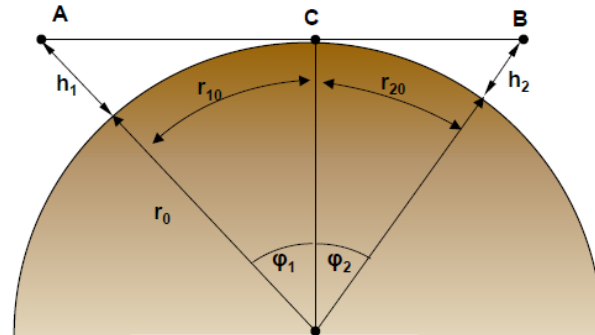
Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά

- Διόρθωση της ενεργού ευθείας οπτικής επαφής λόγω διάθλασης στην ατμόσφαιρα

$$d = 3.57\sqrt{Kh} \quad (Km)$$

- h , ύψος κεραίας
- K , Παράγων ενεργού ακτίνας γης (αλλαγή καμπυλότητας γης)
- Για δύο κεραίες με $h \neq 0$:

$$d = 3.57 \left(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2} \right) \quad (Km)$$



Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά



περιοχή
παγίδευσης
 $dN/dh < -157$
 $k < 0$

περιοχή
υπερδιάθλασης
 $-157 < dN/dh < -40$
 $4/3 < k < \infty$

περιοχή
υποδιάθλασης
 $-40 < dN/dh$
 $k < 4/3 = 1,33$

Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Band	Frequency Range	Free-Space Wavelength Range	Propagation Characteristics	Typical Use
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1,000 km	GW	Power line frequencies; used by some home control systems.
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1,000 to 100 km	GW	Used by the telephone system for analog subscriber lines.
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	GW; low attenuation day and night; high atmospheric noise level	Long-range navigation; submarine communication
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	GW; slightly less reliable than VLF; absorption in daytime	Long-range navigation; marine communication radio beacons
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1,000 to 100 m	GW and night SW; attenuation low at night, high in day; atmospheric noise	Maritime radio; direction finding; AM broadcasting.
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	SW; quality varies with time of day, season, and frequency.	Amateur radio; international broadcasting, military communication; long-distance aircraft and ship communication
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	LOS; scattering because of temperature inversion; cosmic noise	VHF television; FM broadcast and two-way radio, AM aircraft communication; aircraft navigational aids
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	LOS; cosmic noise	UHF television; cellular telephone; radar; microwave links; personal communications systems
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	LOS; rainfall attenuation above 10 GHz; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Satellite communication; radar; terrestrial microwave links; wireless local loop
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	LOS; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Experimental; wireless local loop mmWave communications in 5G
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	LOS	Infrared LANs; consumer electronic applications
Visible light	400 THz to 900 THz	770 nm to 330 nm	LOS	Optical communication

Μοντέλα Διάδοσης

- Αναλυτικά μοντέλα : Χρησιμοποιούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος διάδοσης – ντετερμινιστική εκτίμηση
- Εμπειρικά : Προέρχονται από προσαρμογές σε πειραματικά αποτελέσματα, δίνουν στατιστικές κατανομές των διαλείψεων και την εξασθένιση του σήματος με την απόσταση πομπού-δέκτη
- Στατιστικά μοντέλα : Βασίζονται σε συγκεκριμένες παραδοχές (πιο απλά)

Αναλυτικά Μοντέλα διάδοσης

- Βασίζονται στην άθροιση των κύριων συνιστωσών του σήματος στο δέκτη
- Αξιοποιούνται βασικές αρχές της γεωμετρικής οπτικής, Φυσικής κτλ
- Ray –tracing : Μέθοδος μελέτης διάδοσης βήμα-βήμα
 - Χρειάζονται πλήρης πληροφορίες σχετικά με τον πομπό, τον δέκτη και τους σκεδαστές καθώς και τα χαρακτηριστικά των υλικών των σκεδαστών
 - Βασίζεται είτε σε όλες τις ακτίνες που φθάνουν στον δέκτη, είτε στις πιο σημαντικές (μέχρι 2^{ης} τάξης)

Εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Βασικές παράμετροι :
 - Συχνότητα
 - Περιβάλλον διάδοσης (αστικό, ήμι-αστικό, αγροτικό)
 - Απόσταση πομπού-δέκτη
 - Ύψη κεραίας εκπομπής και λήψης
 - Μορφολογία περιβάλλοντος διάδοσης(ύψη κτιρίων, θέσεις δρόμων, παρουσία δένδρων κτλ)
- Ο υπολογισμός της μέσης λαμβανόμενης ισχύος ή της απώλειας διάδοσης γίνεται με βάση τις τιμές της μέσης λαμβανόμενης ισχύος ή της απώλειας διάδοσης σε μία συγκεκριμένη απόσταση αναφοράς πομπού – δέκτη d_0 (Η d_0 πρέπει να είναι σχετικά μικρή αλλά να ανήκει στο μακρινό πεδίο)

Μοντέλο ανάλογα με τις συνθήκες διάδοσης

Models	Frequency Range	Applicable	Different terrain support/comments
ITU Terrain Model	Any	LOS	Support all terrains/based on diffraction theory
Egli model	Not specified	LOS	Not applicable in the foliage area
Early ITU model	Not specified	LOS	Support vegetation obstacles/ suitable for microwave link
Weissberger's model	230 MHz-95 GHz	LOS	Only applicable when foliage obstruction in the microwave link
Okumura model	200 MHz-1920 MHz	LOS/NLOS	Ideal in the city area
Hata model	150 MHz-1500 MGz	LOS/NLOS	Support all terrains/ limited antenna height 10 m. in small city
Lee model (Area to Area)	900 MHz	LOS/NLOS	Use more correction factors to make it flexible in all conditions
Lee model (Point to point)	900 MHz	LOS	Use more correction factors to make it flexible in all conditions
Longley –Rice model	20 MHz-20 GHz	LOS/NLOS	Suitable in VHF and UHF use

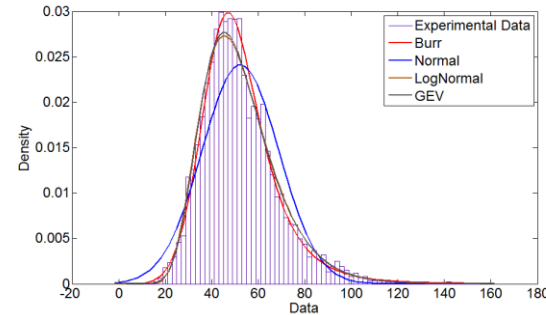
Βασικές αρχές μελέτης ασύρματης ζεύξης

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - Τροποσφαιρικά

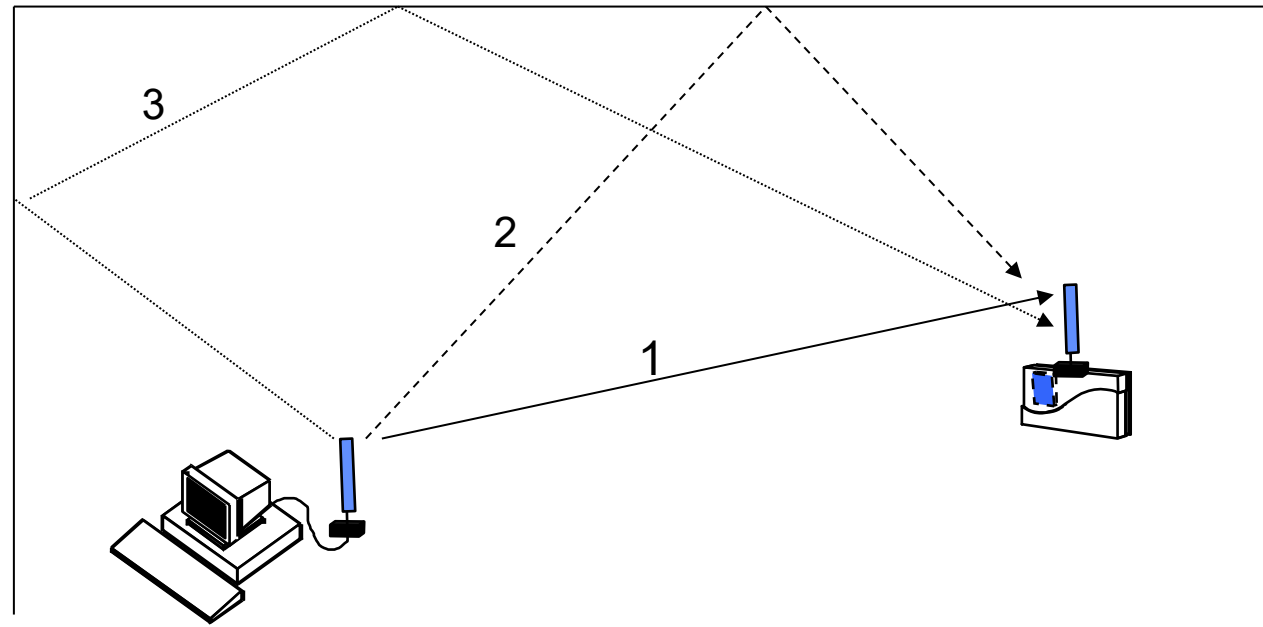
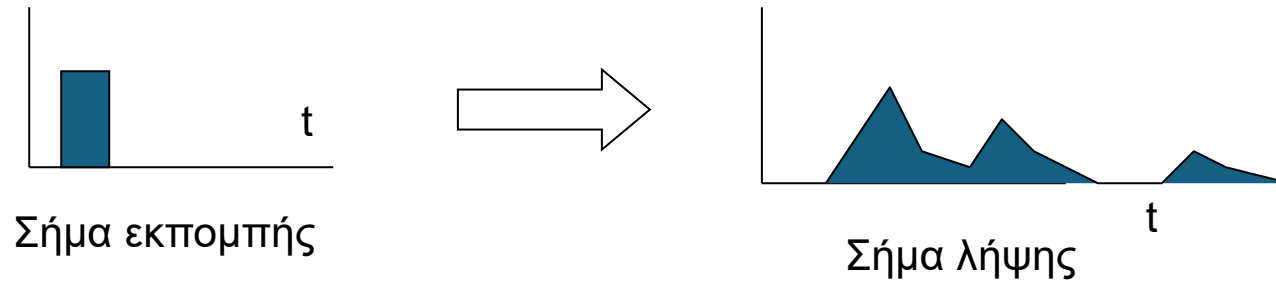
- Εμπειρικά μοντέλα
 - Χρήση δεδομένων από μετρήσεις
 - Περιγράφουν την στατιστική κατανομή των δεδομένων που μετρήθηκαν



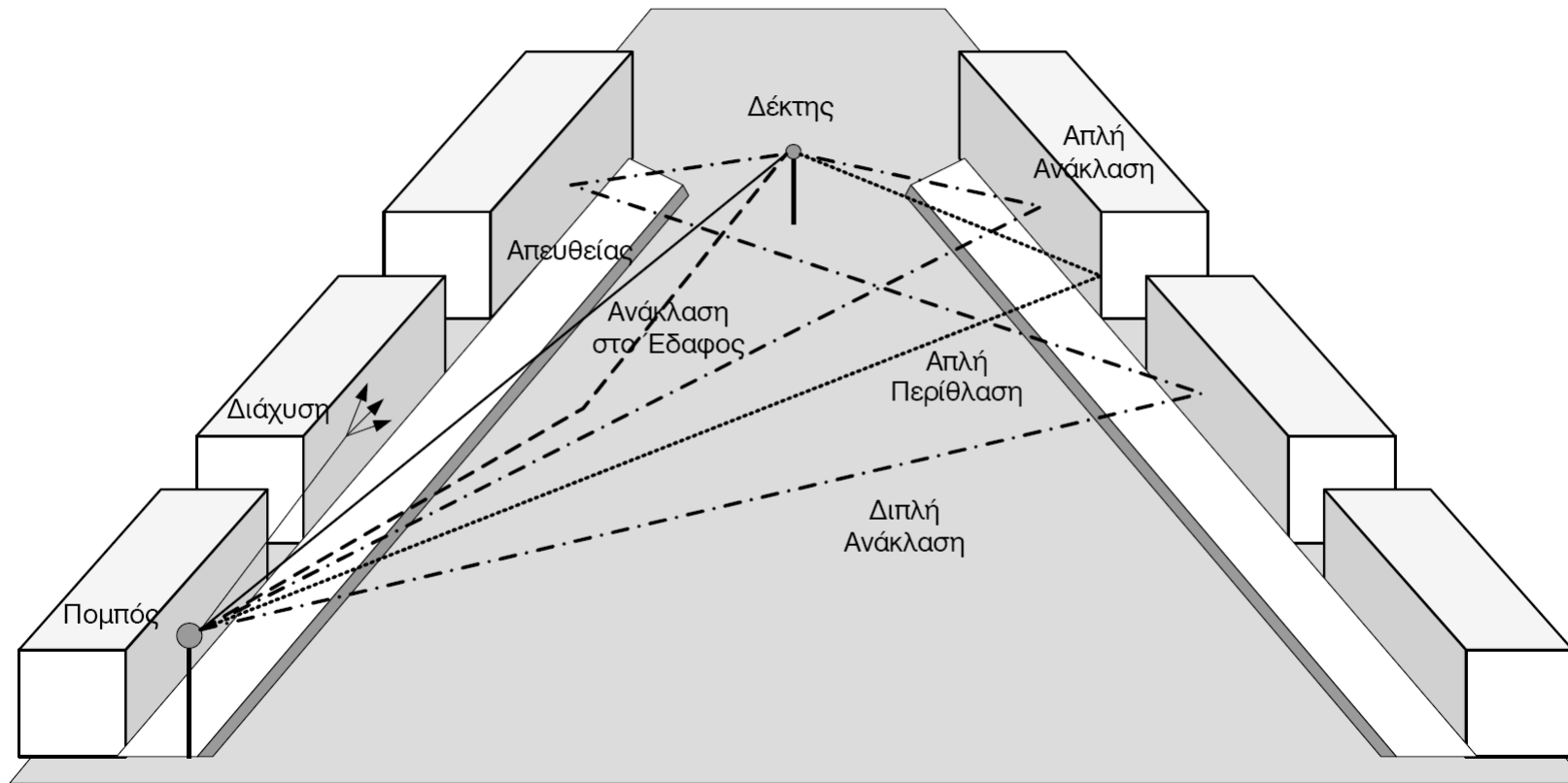
- Okumura-Hata
 - Cost-231
 - ..
-
- Στατιστικά
 - Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
 - Rayleigh, Rician, Lognormal
 - Περιγραφή των **διαλείψεων**
-
- Αναλυτικά Μοντέλα



Πολλαπλά μοντέλα για πολλαπλά σήματα

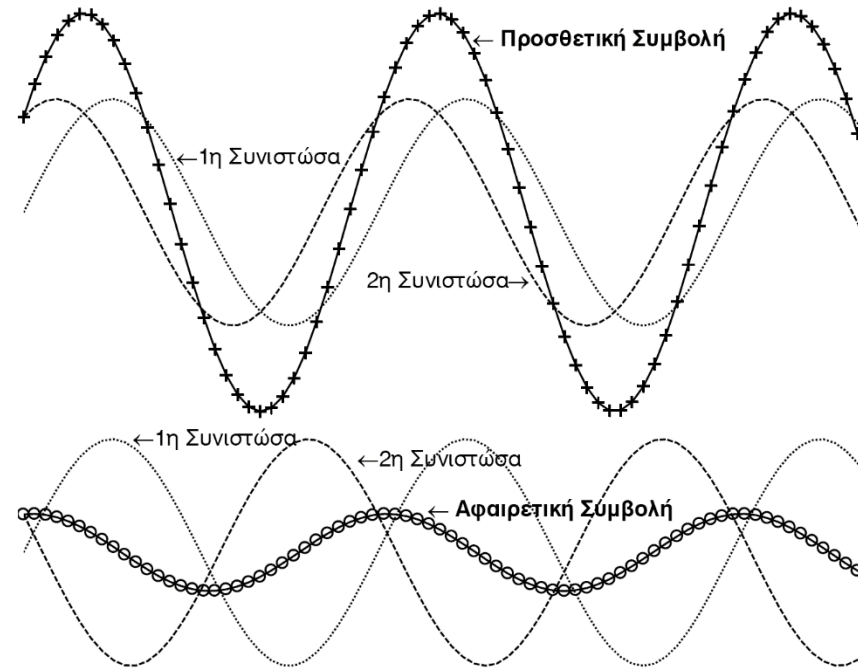


Περιβάλλον Διάδοσης=Διαλείψεις



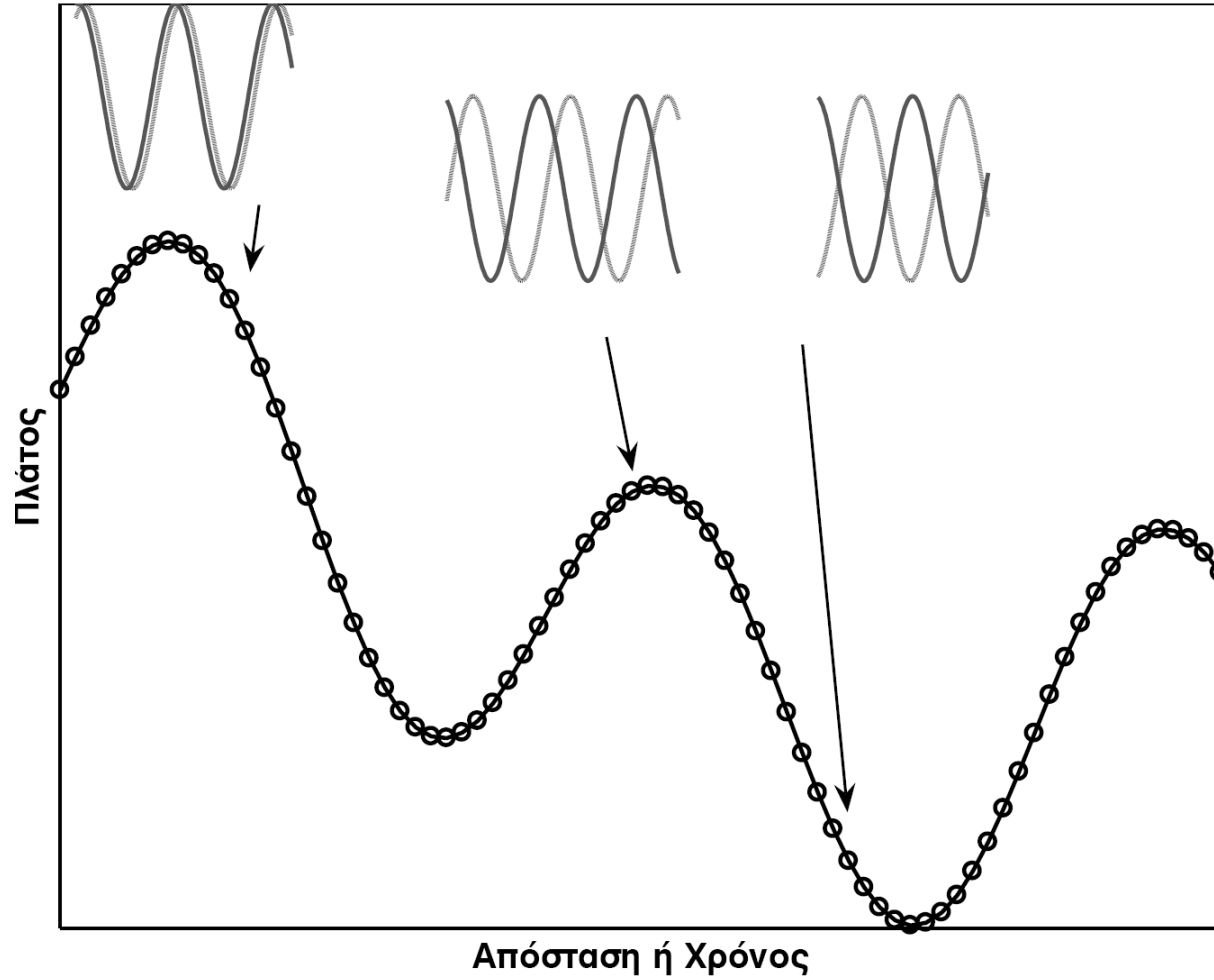
Ανάλογα με το περιβάλλον, ο δέκτης λαμβάνει πολλαπλές συνιστώσες (εκδόσεις) του ίδιου σήματος

Συμβολή Κυμάτων



- Διαφορετικό μονοπάτι = Ολίσθηση φάσης = Αφαιρετική ή Προσθετική συμβολή
- Κινούμενο δέκτης ή/και κινούμενα αντικείμενα = Πλήρως δυναμικό περιβάλλον

Χωρική Μεταβολή Περιβάλλουσας (πλάτους)



Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

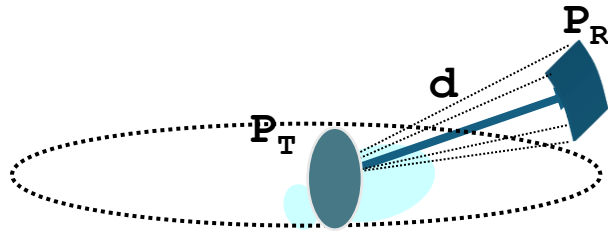
► Ισχύς λήψης στο δέκτη

Σημειακή ισχύς λήψης σε απόσταση d

$$P_{Di} = \frac{P_T}{4\pi d^2} W / m^2$$

Ισοτροπική πυκνότητα ισχύος

Εμβαδόν επιφάνειας σφαίρας



$$P_D = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2}$$

Πυκνότητα ισχύος στην κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολούμενης ισχύος

$$P_R = P_D A_{eff}$$

Ισχύς που φθάνει στην δέκτη = σημειακή ισχύς επί την ενεργό περιοχή

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A_{eff}$$

$$\frac{A_{eff}}{G_R} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Από τον τύπο της απολαβής δέκτη με βάση την ενεργό περιοχή

Υπολογισμός της ισχύος του λαμβανομένου σήματος όταν ο πομπός και ο δέκτης έχουν οπτική επαφή

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Εξίσωση του Friis για την διάδοση στον ελεύθερο χώρο

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

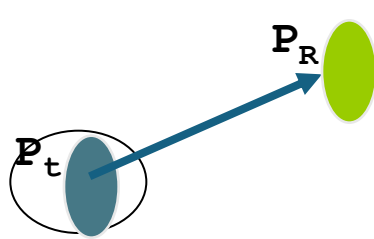
$$A_e = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi}$$



Ενεργό άνοιγμα
Ενεργή περιοχή
Ενεργή επιφάνεια

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

► Υπολογισμός απωλειών



$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \frac{0.57 \cdot 10^{-3}}{(df)^2}$$

f is in MHz
 d is in Km

$$(P_R)_{dB} - (P_T)_{dB} = (G_T)_{dB} + (G_R)_{dB} - (32.5 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f)$$

Απώλειες διαδρομής (Path Loss) είναι η απόσβεση του σήματος (μετρημένη σε dB) δηλαδή ο λόγος της εκπεμπόμενης ως προς την λαμβανομένη ισχύ (χωρίς να ληφθούν υπ' όψη τα κέρδη των κεραιών).

$$L = 32,5 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

$$L = 22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

$$L=32,5 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}$$

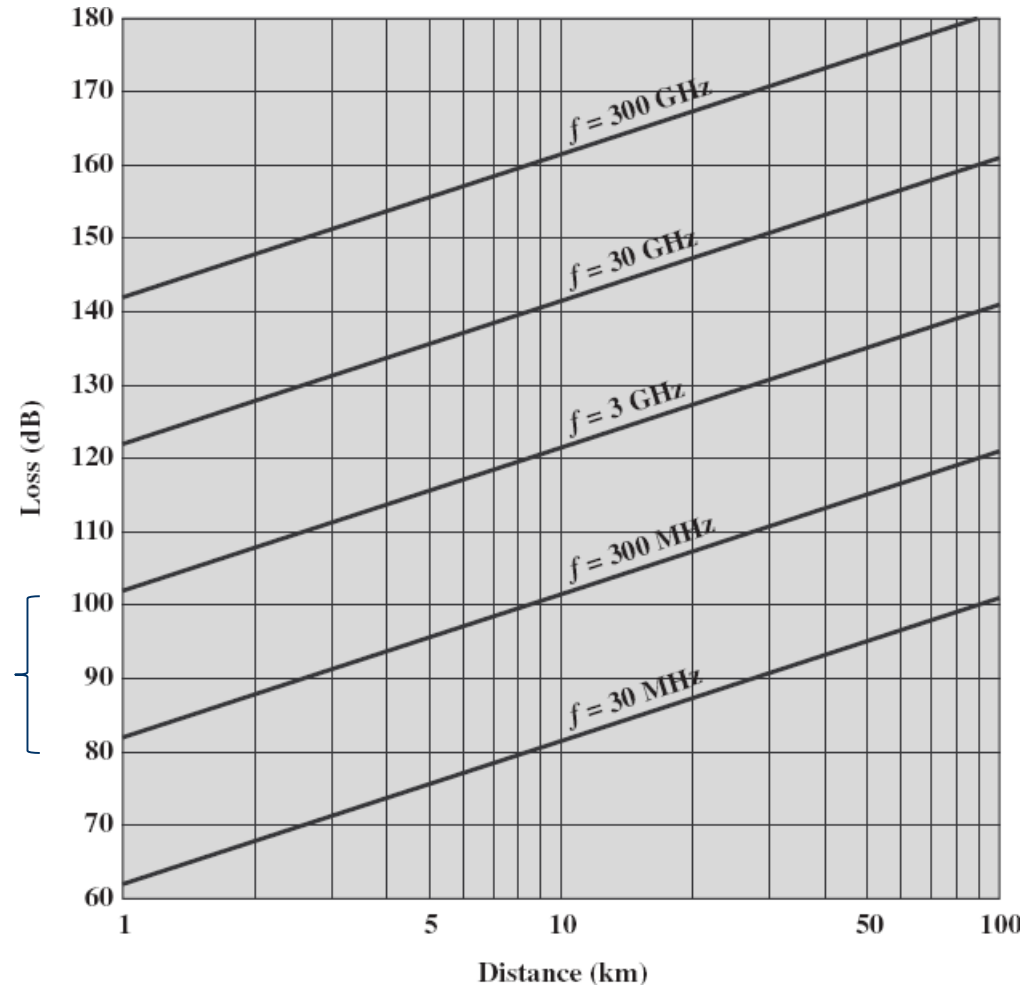
$$L=22 - 20 \log \lambda_m + 20 \log d_m$$

10πλασιασμός απόστασης = +20db απώλειες

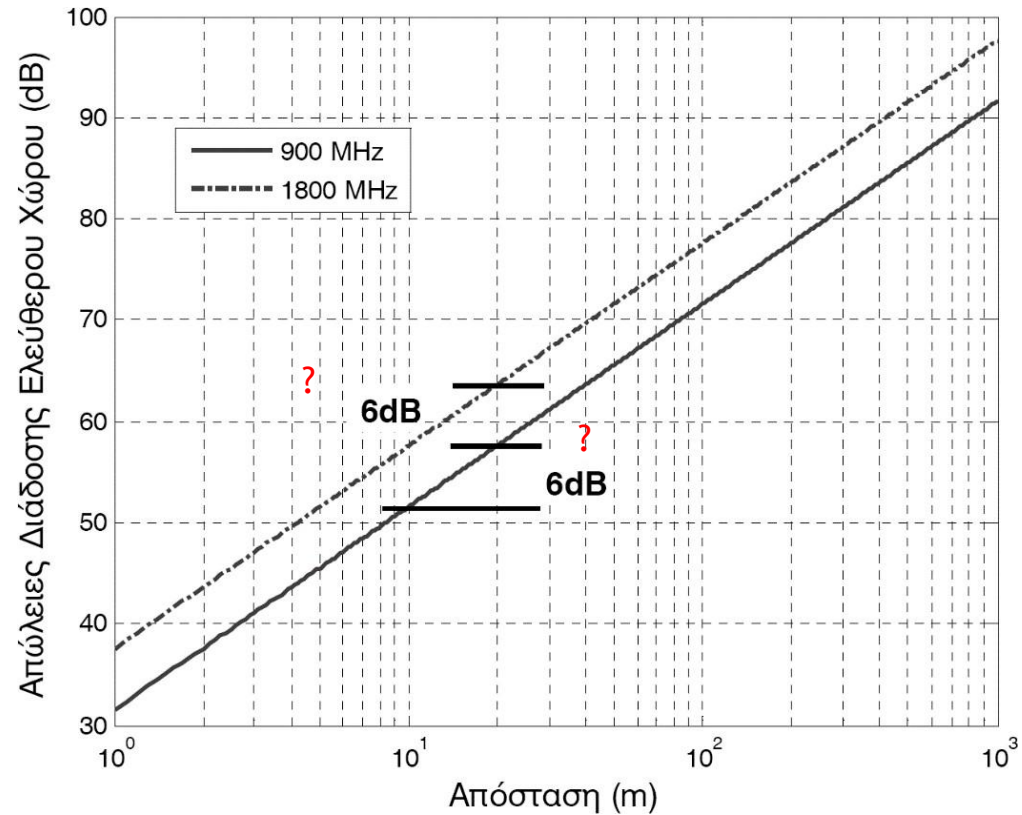
2πλασιασμός απόστασης = +6db απώλειες

Ομοίως για συχνότητα

Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



Απώλειες Ελευθέρου Χώρου



2 συχνότητες συστήματος GSM
Ομοίως για WiFi στα 2,4GHz και 5GHz