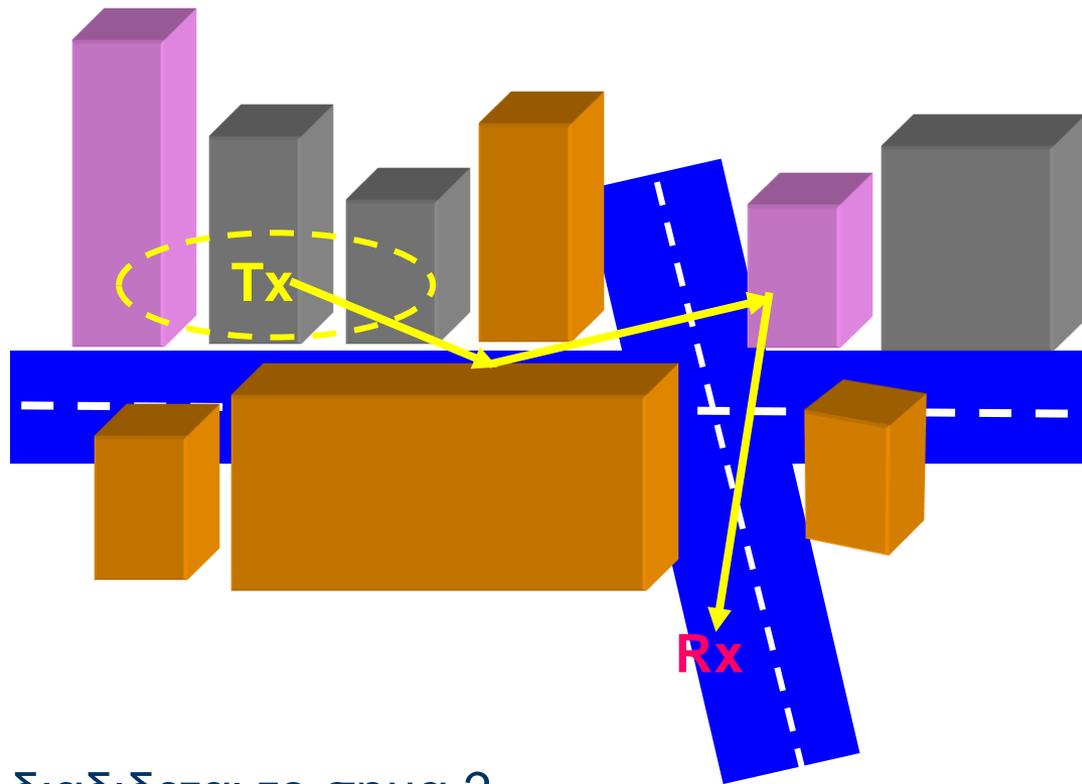


Τι μελετάμε με τα μοντέλα διάδοσης



- πως διαδίδεται το σήμα ?
- ποση αποσβεση ή παραμόρφωση υφίσταται ?
- Πως φτάνει το σήμα στον δέκτη ?

Κατηγορίες μοντέλων διάδοσης

– *Μεγάλης Κλίμακας (Large-scale)*

Πραγματοποιείται εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις Πομπού – Δέκτη (T-R Distance: Μερικές εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρων)

– *Μικρής κλίμακας (Small-scale)*

Πραγματοποιείται εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε πολύ μικρές αποστάσεις Πομπού – Δέκτη (T-R Distance: 15-30 μέτρα σε εξωτερικό χώρο)

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)

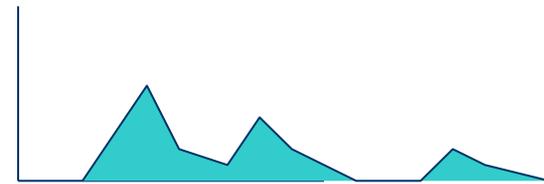
Μοντέλο ανάλογα με τις συνθήκες διάδοσης

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 MHz	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

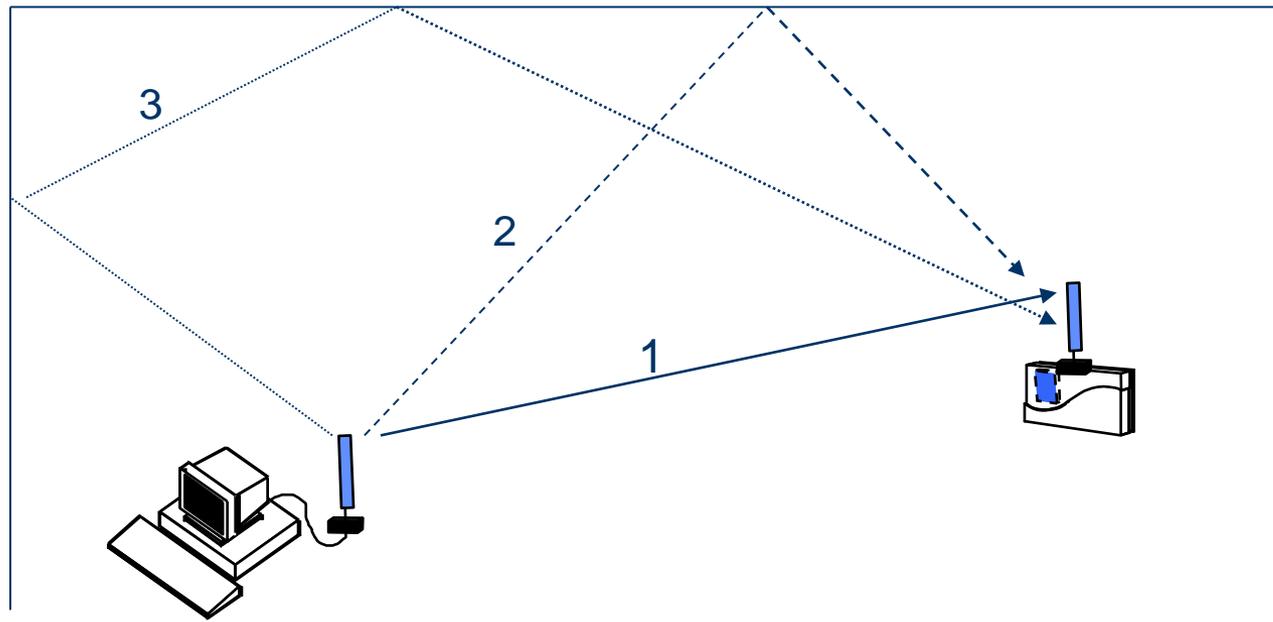
Πολλαπλά μοντέλα για πολλαπλά σήματα



Σήμα εκπομπής



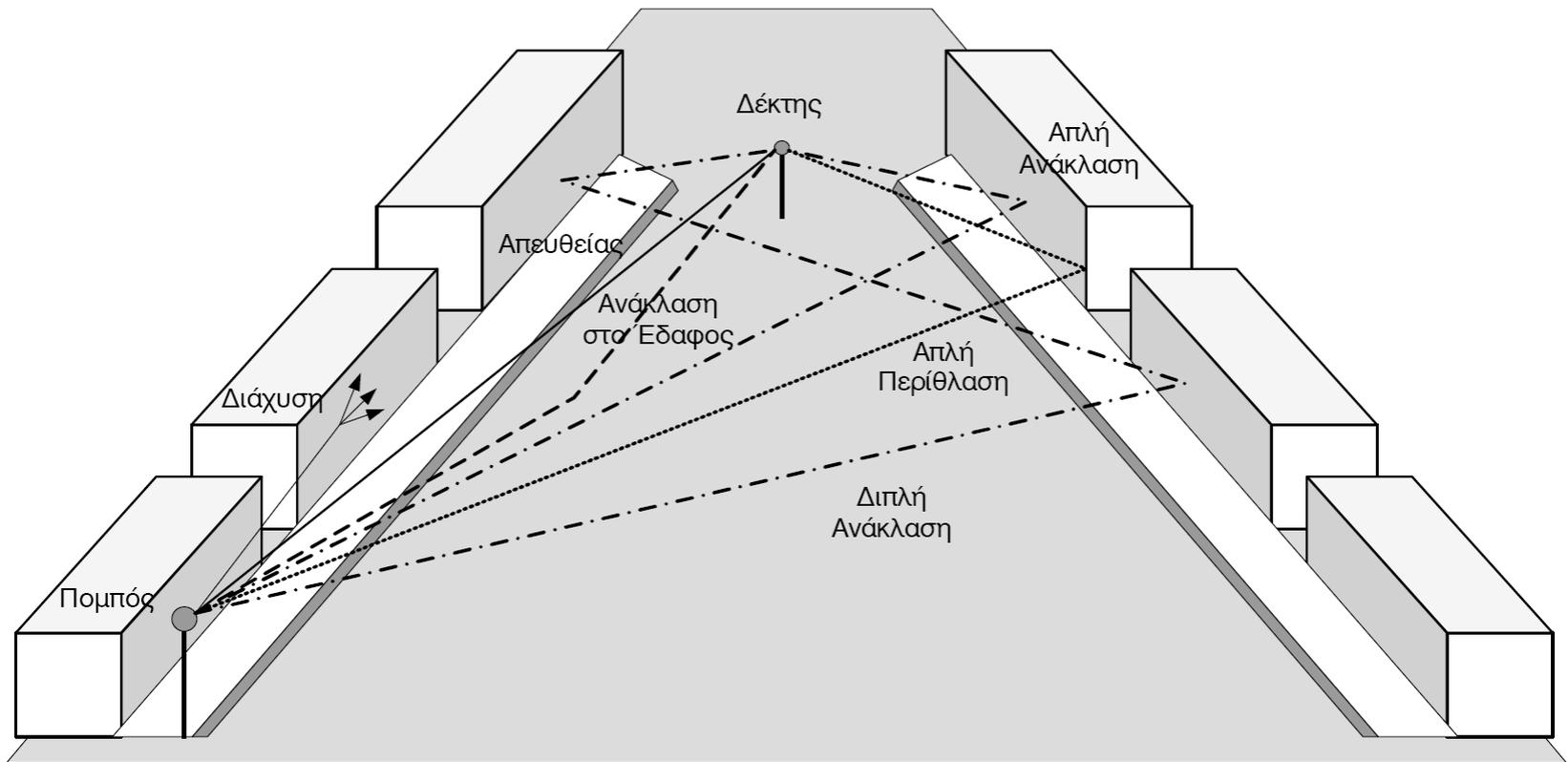
Σήμα λήψης



Φαινόμενα διάδοσης

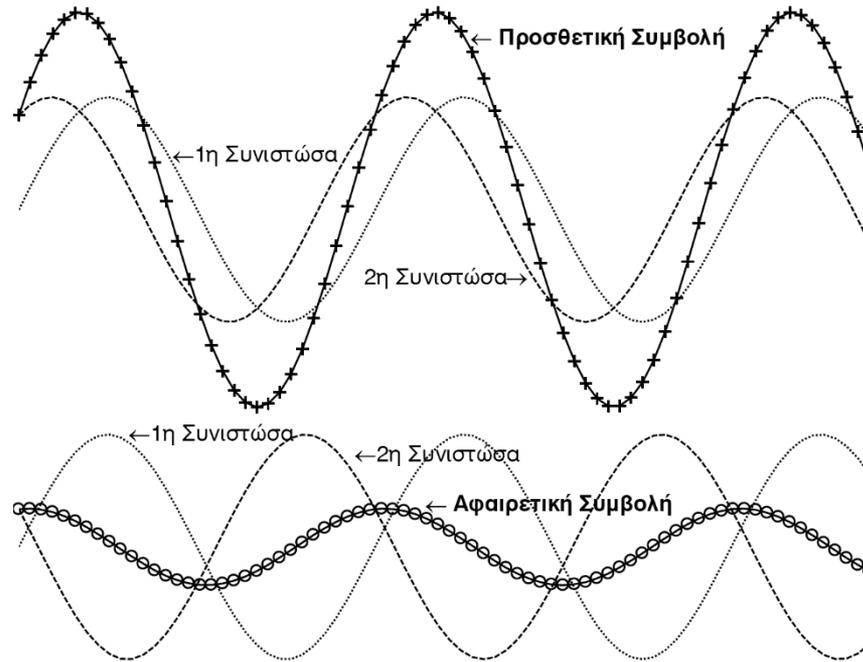
- Εξασθένιση πλάτους (path loss) : Εκφράζει την εξάρτηση της μέσης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος με την απόσταση πομπού-δέκτη
- Σκίαση (shadowing) : Εκφράζει τη κατανομή της μέσης τιμής της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος σε σχέση με το περιβάλλον διάδοσης
- Πολυδιαδρομική διάδοση (multipath) : Εκφράζει τη μικρής ή μεγάλης κλίμακας διαλείψεις της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος λόγω αθροιστικής ή αφαιρετικής συμβολής των συνιστωσών του. Η κλίμακα αντιστοιχεί σε μικρές ή μεγάλες μετατοπίσεις του δέκτη
- Παρεμβολές (interference) : Εκφράζει τις παρεμβολές στον ίδιο δίαυλο ή μεταξύ γειτονικών διαύλων

Περιβάλλον Διάδοσης=Διαλείψεις



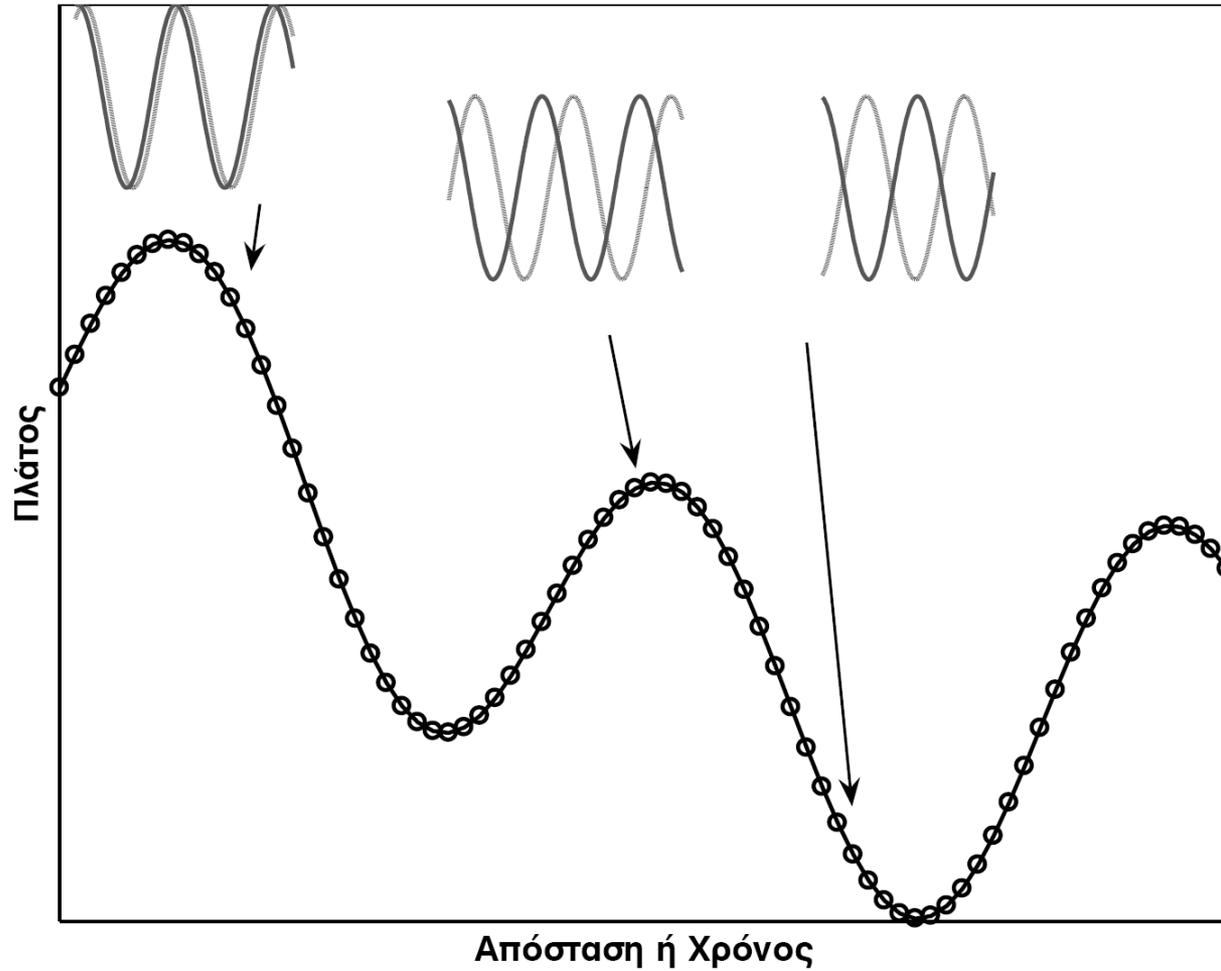
Ανάλογα με το περιβάλλον, ο δέκτης λαμβάνει πολλαπλές συνιστώσες (εκδόσεις) του ίδιου σήματος

Συμβολή Κυμάτων

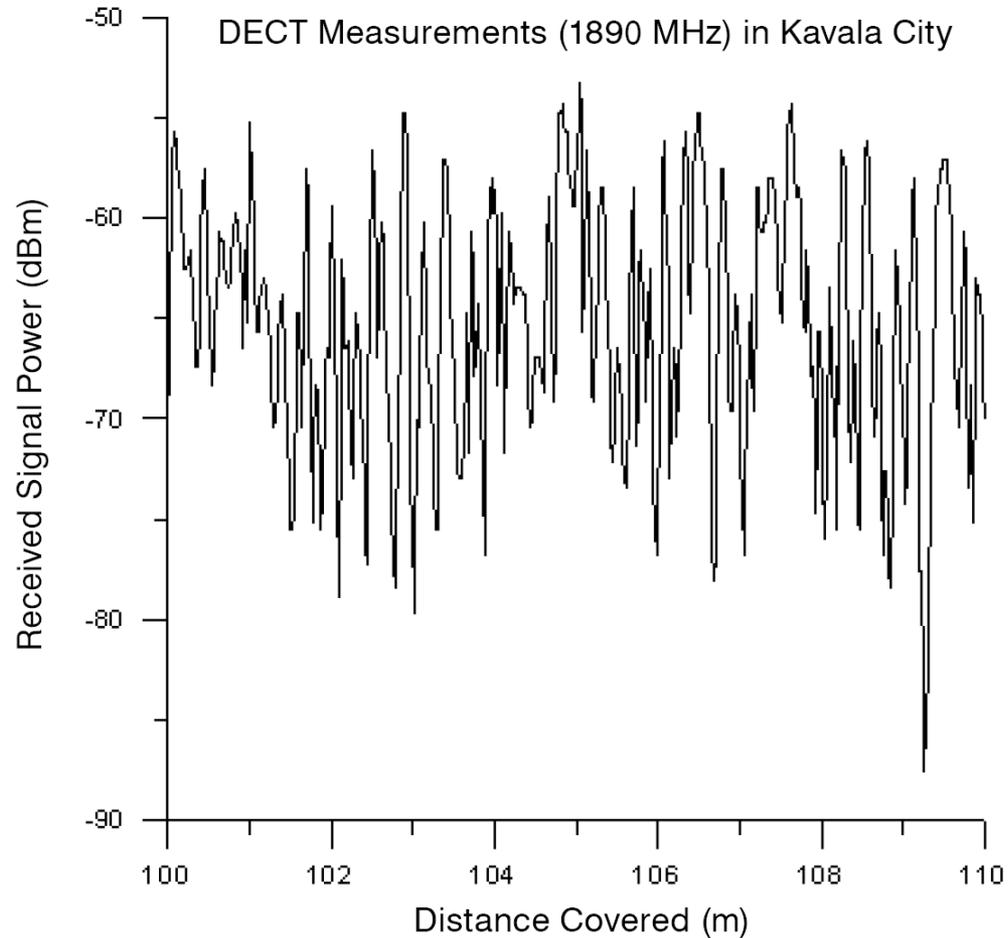


- Διαφορετικό μονοπάτι = Ολίσθηση φάσης = Αφαιρετική ή Προσθετική συμβολή
- Κινούμενο δέκτης ή/και κινούμενα αντικείμενα = Πλήρως δυναμικό περιβάλλον

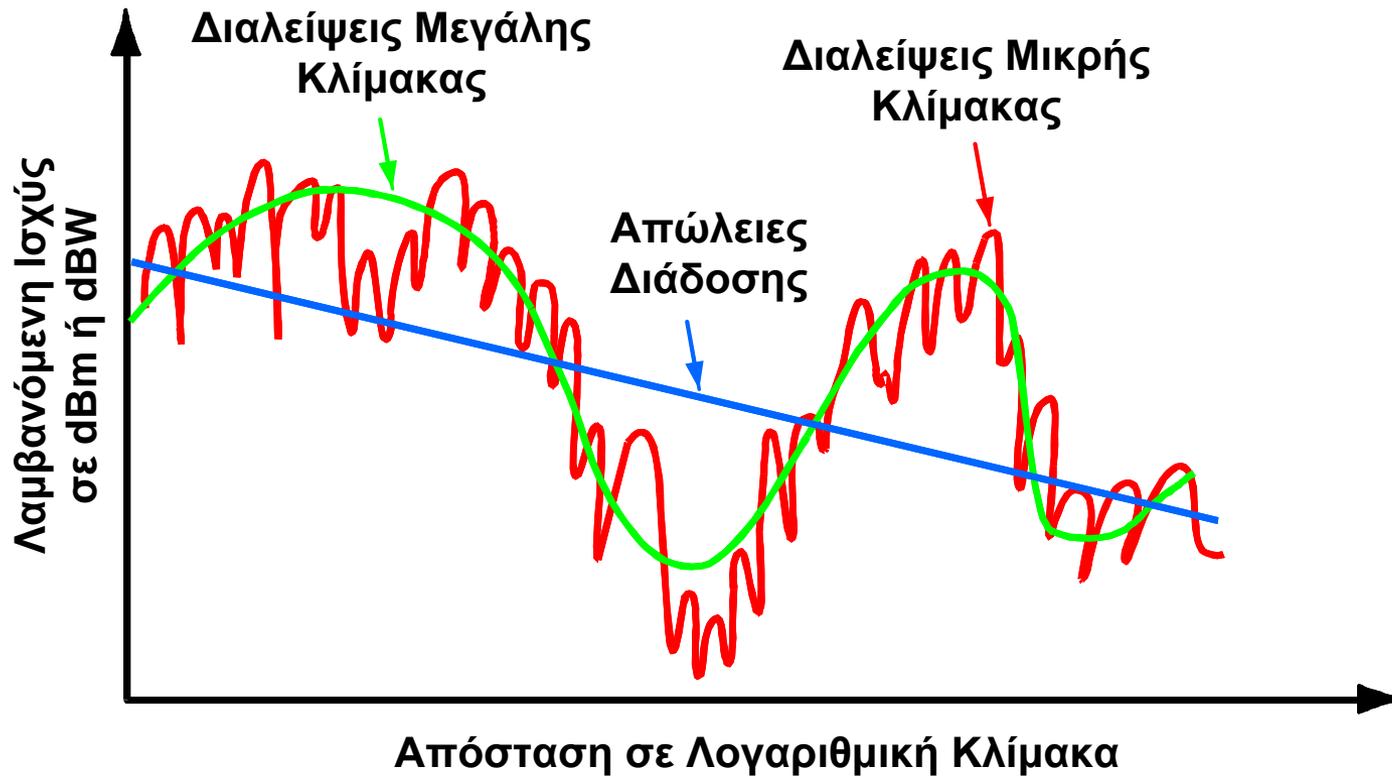
Χωρική Μεταβολή Περιβάλλουσας (πλάτους)



Εμπειρική Καταγραφή Μετρήσεων

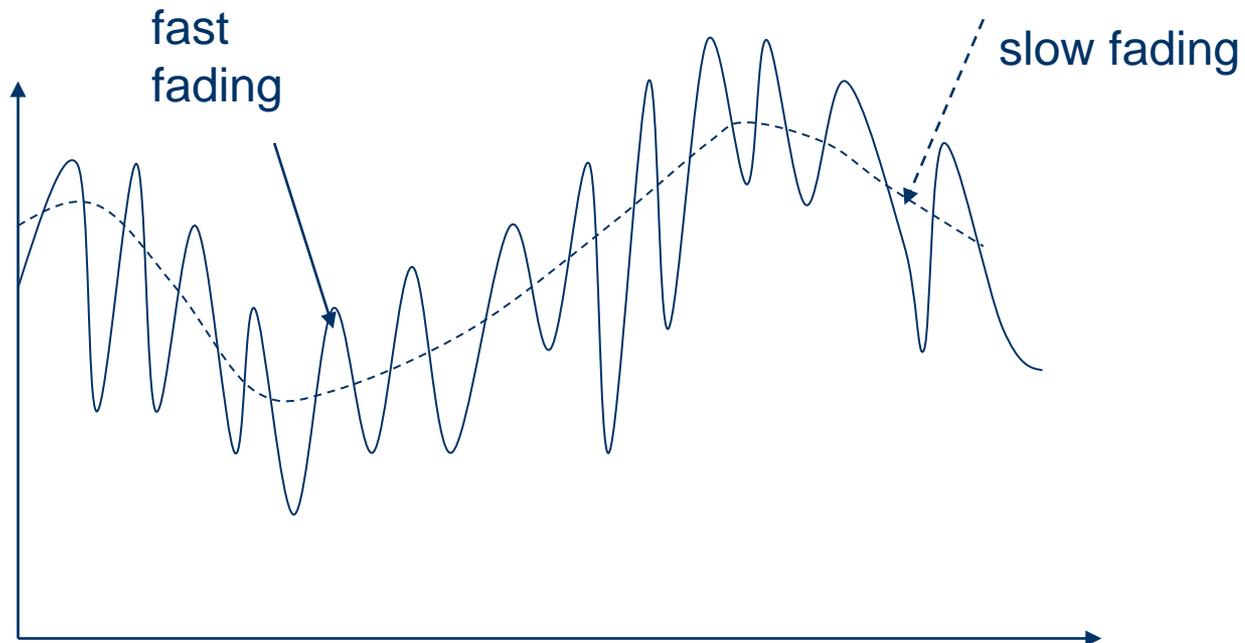


Υπέρθεση Διαλείψεων

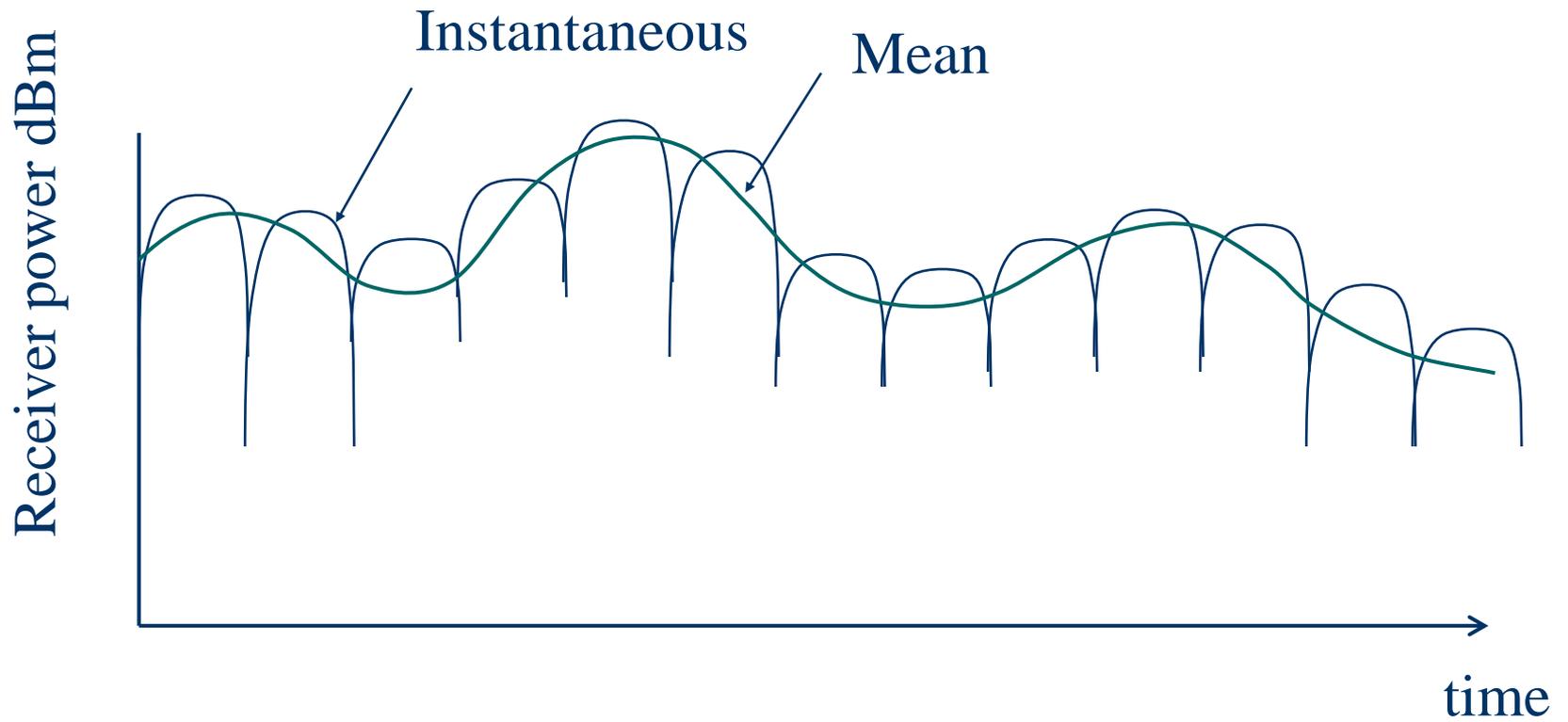


Διαλείψεις

- Η πληροφορία πολυπλέκεται στον χρόνο (ISI = Inter-Symbol Interference)
- Προκαλούνται μεταβολές στη στιγμιαία ισχύ λήψης (fading):
 - fast fading (μεταβολές που συμβαίνουν με συχνότητα ms)
 - slow fading (μεταβολές που συμβαίνουν με συχνότητα s)

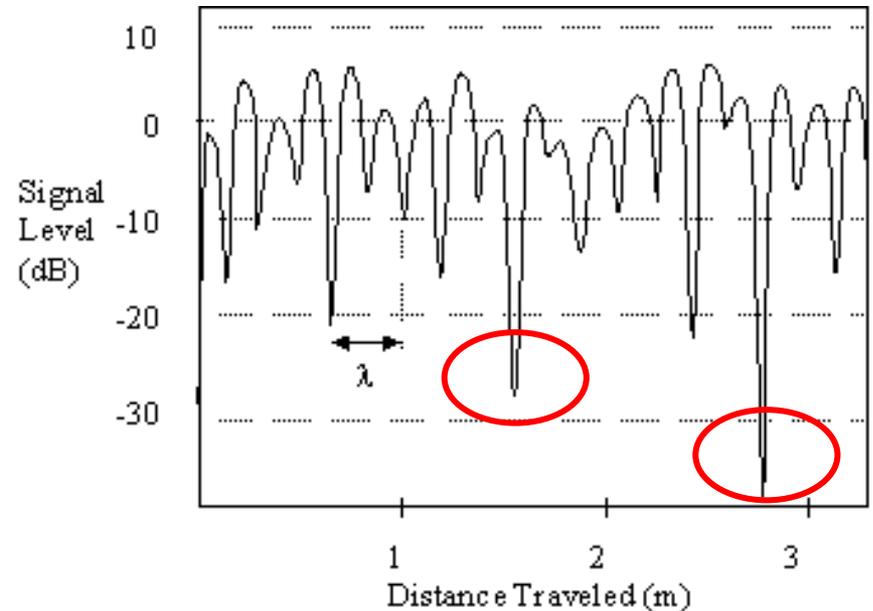


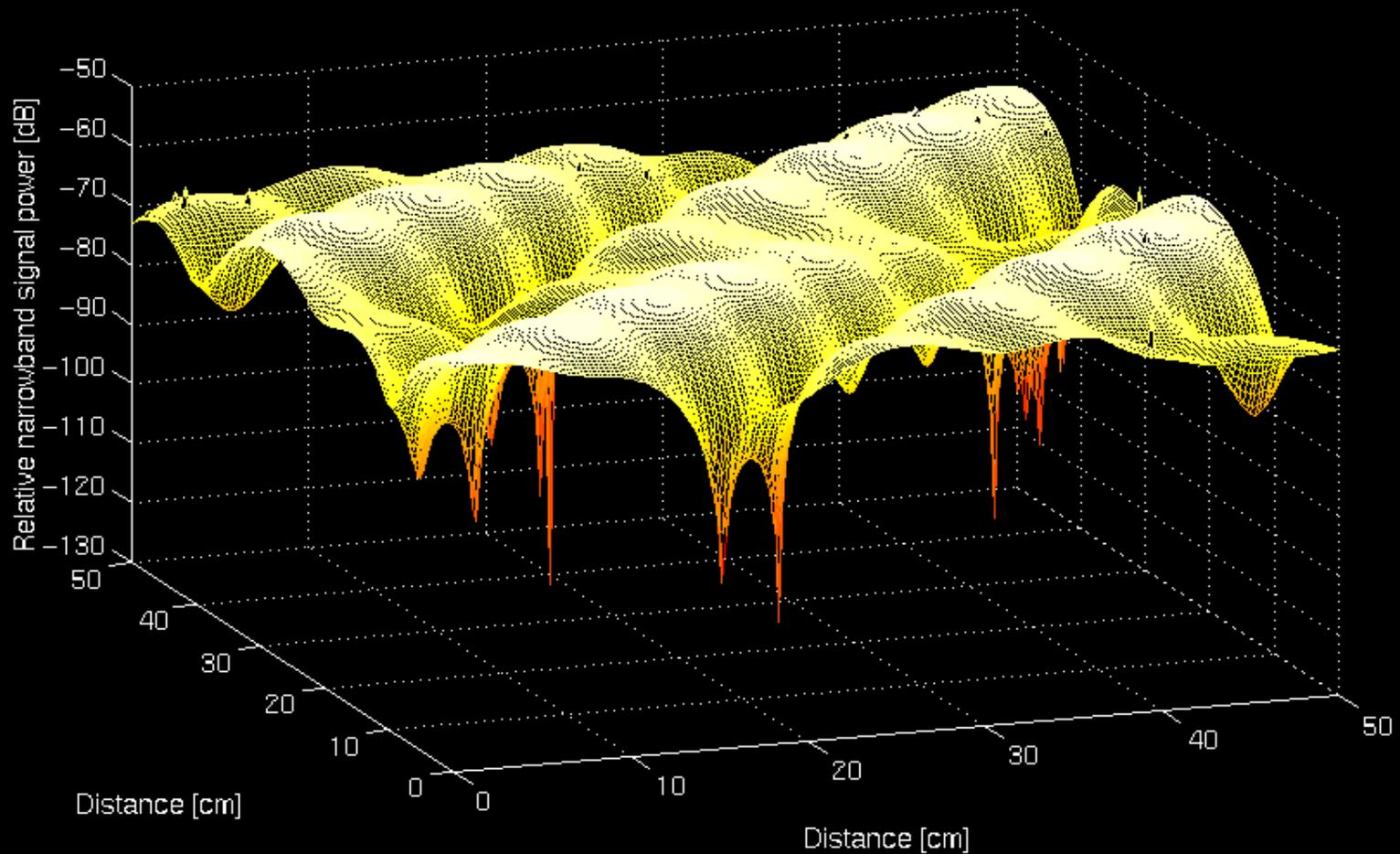
Λαμβανόμενη ισχύς



Ισχυρές διαλείψεις (Deep fading)

- Στιγμαία μεγάλη πτώση ισχύος
- Οφείλεται στην κίνηση του τερματικού και στην αφαιρετική συμβολή των συνιστωσών σήματος
- Μειώνεται με προβλεπόμενο περιθώριο ισχύος (link margin)
- Αύξηση ποσοστού λαθών (ρυπές σφαλμάτων)
- Η αύξηση ισχύος δεν είναι λύση και έχει άλλες επιπτώσεις
- Διόρθωση λαθών στο ίδιο ή ανώτερο επίπεδο (κώδικες, επαναμεταδόσεις)



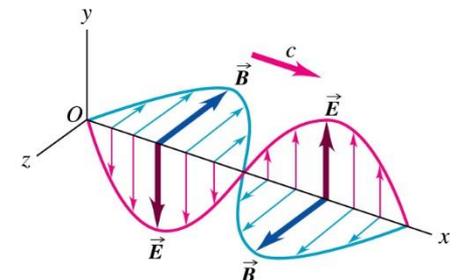
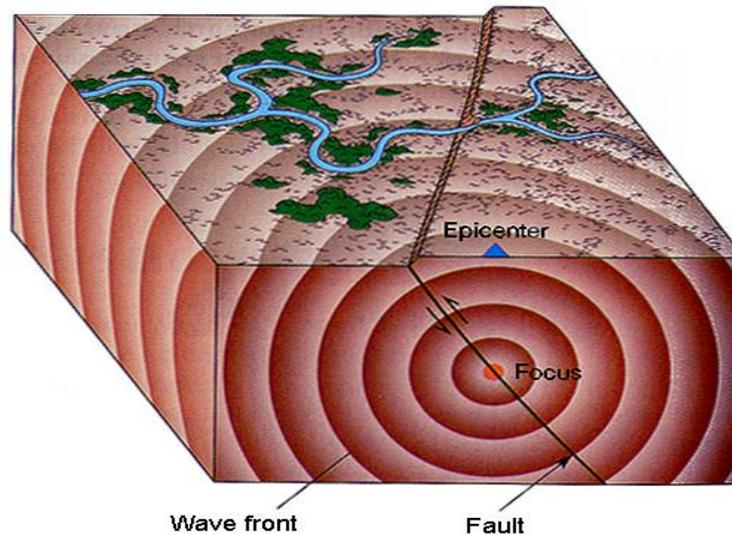


Κύματα

Η φυσική είναι πλημμυρισμένη από κύματα!

Κύματα διαδίδονται σε όλες τις καταστάσεις της ύλης.

Κύματα διαδίδονται ακόμη και στο κενό.



Σε όλα τα κύματα διακρίνουμε
την ύπαρξη δύο κοινών χαρακτηριστικών

A photograph of a single water droplet hitting a surface, creating concentric ripples that spread outwards. The water is a deep blue color.

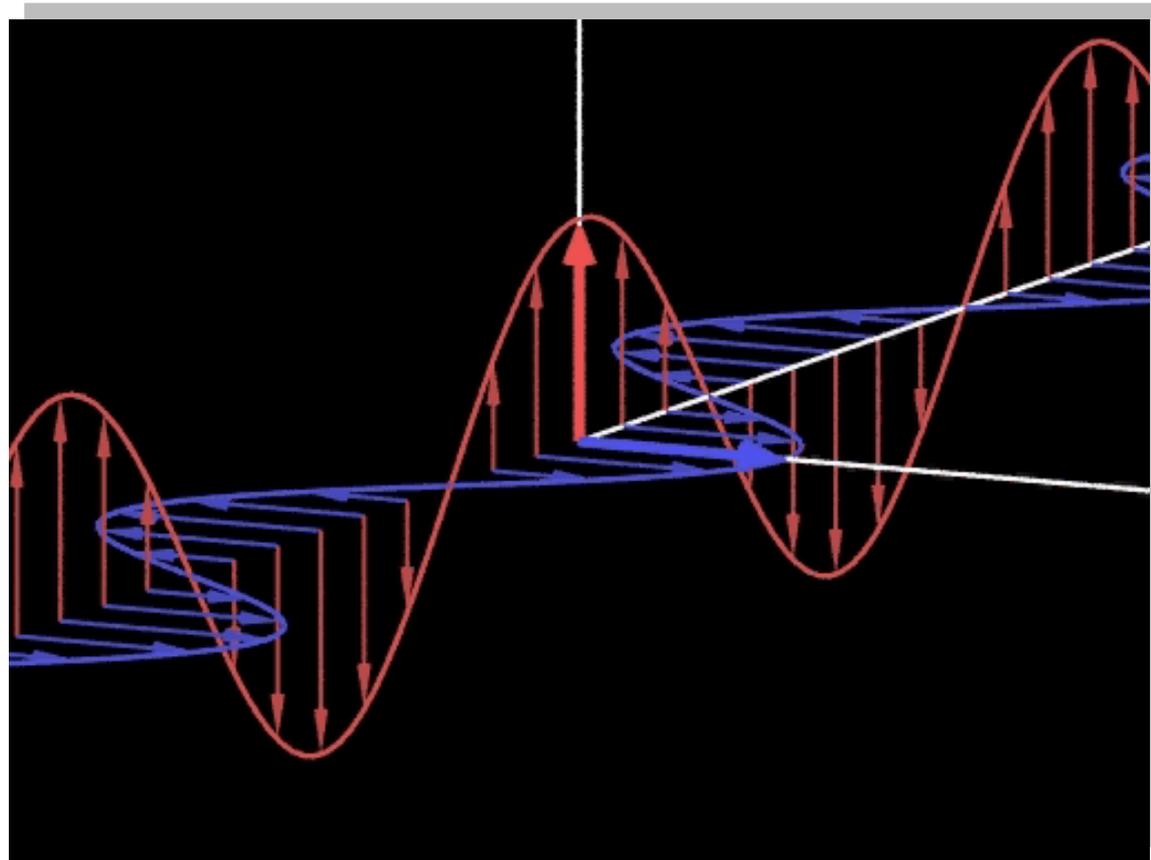
ΠΡΟΣΦΟΡΑ
ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΤΑΓΟΝΕΣ
ΔΙΑΔΟΣΗ
ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

A visualization of electromagnetic waves, showing concentric ripples in shades of yellow and orange. A vertical white line is visible in the center, representing the source of the waves.

ΠΡΟΣΦΟΡΑ
ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΑ
ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ
ΣΤΟ ΔΙΠΟΛΟ
ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

είναι η ταυτόχρονη διάδοση στο χώρο ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου με την ταχύτητα του φωτός

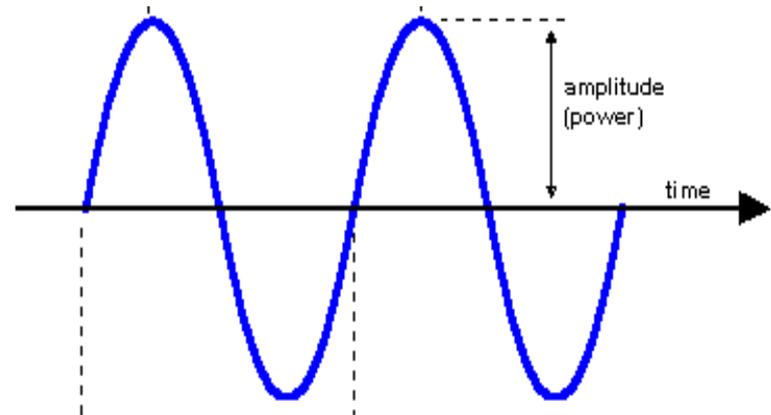


Χαρακτηριστικά κύματος

1. Πλάτος
2. Μήκος
3. Συχνότητα
4. Ταχύτητα

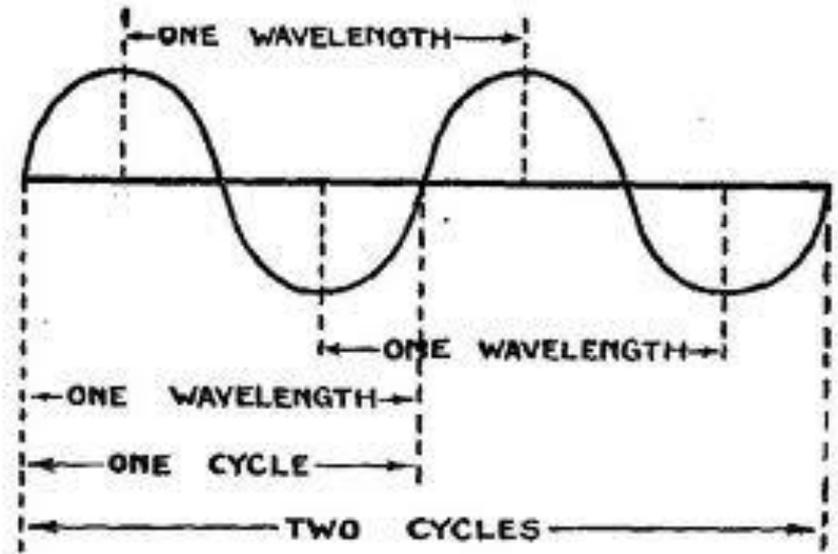
Πλάτος

- Πόσο ψηλά φτάνει το σήμα από το σημείο ακινησίας
- Ονομάζεται και ένταση του σήματος
- Το υψηλότερο σημείο ονομάζεται κορυφή και το χαμηλότερο κοίλο
- Ένδειξη ισχύος του σήματος
- Δεν επηρεάζει την ταχύτητα
- Η **ενέργεια** του κύματος είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους του



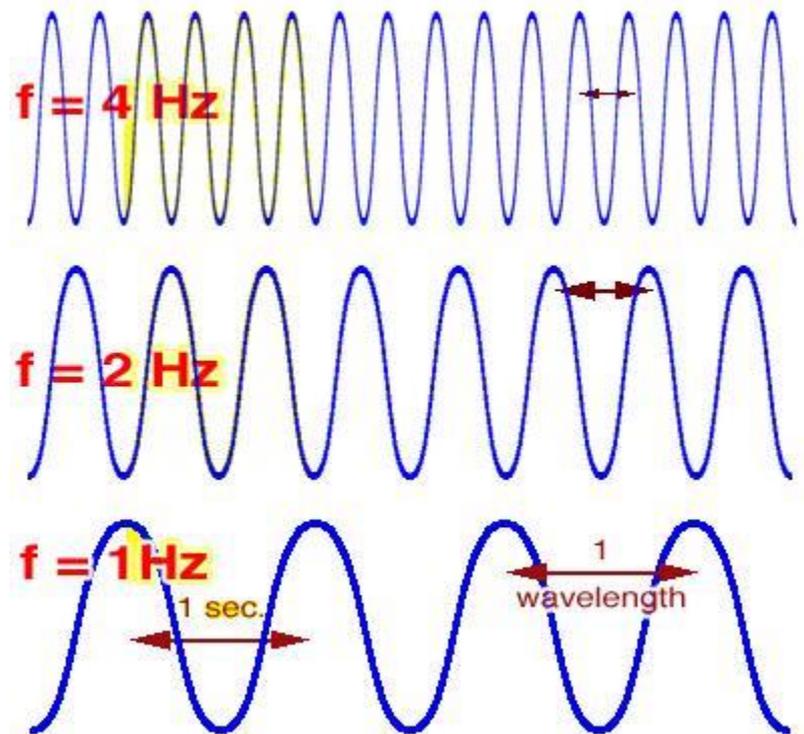
Μήκος κύματος λ

- Απόσταση μεταξύ δύο επαναλαμβανόμενων σημείων (κυρίως κορυφών)
- Αναφέρεται και ως κύκλος ή ταλάντωση

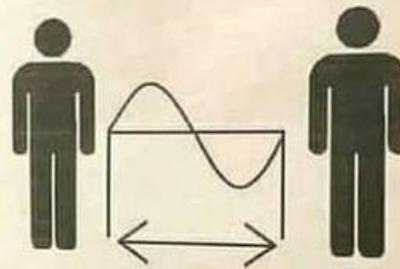


Συχνότητα f

- Ίση με τον αριθμό των κύκλων (ταλαντώσεων, μηκών κύματος) ανά δευτερόλεπτο
- Μετρείται σε **Hertz (Hz)**, ή κύκλοι/δευτ.
- Η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος
$$f = v / \lambda$$
- Η συχνότητα είναι ανάλογη της ενέργειας που μεταφέρεται



Social Distancing



Keep one Wavelength
Apart at 164 MHz

Ταχύτητα V

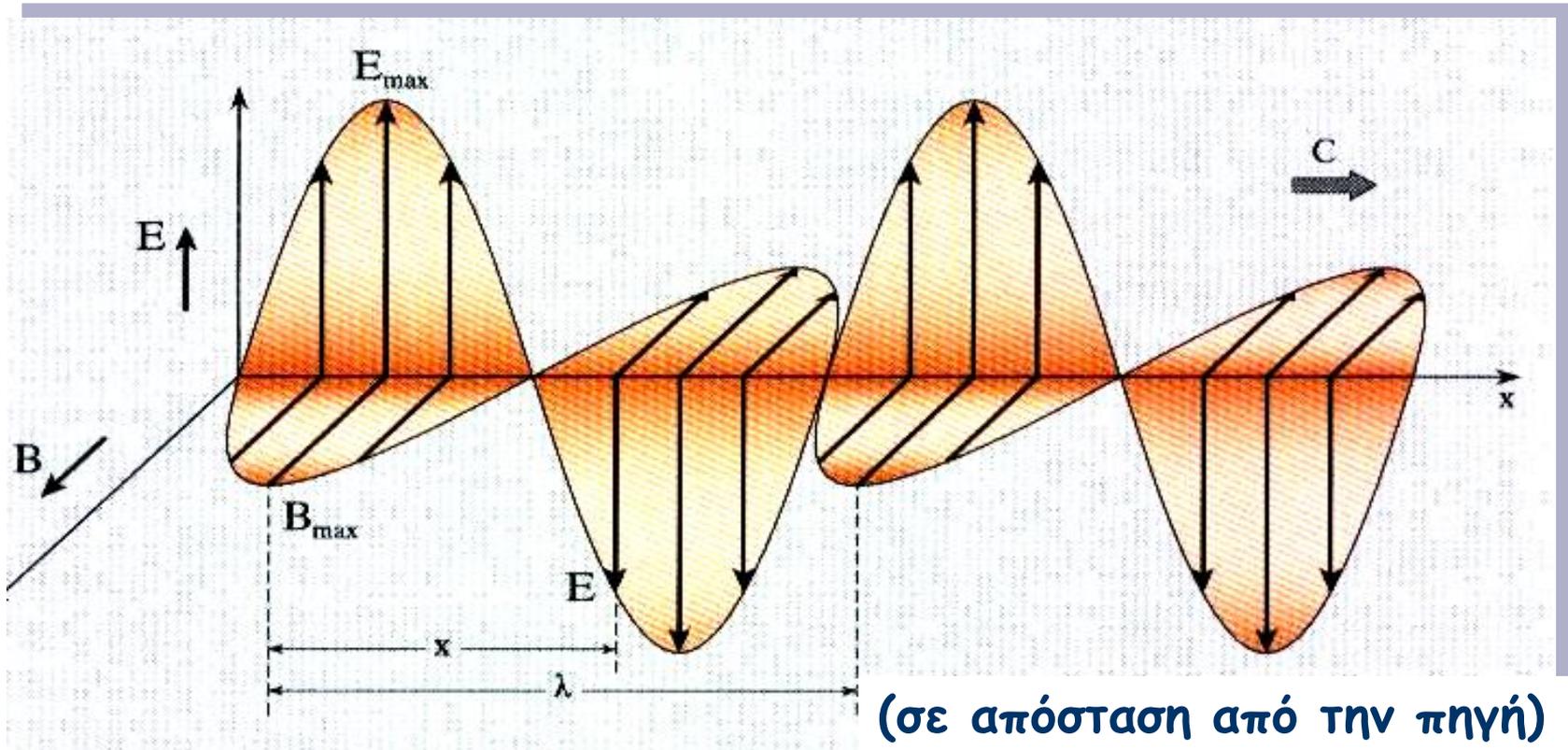
- Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το σήμα
- **Εξαρτάται από το μέσο**
 - Τα μηχανικά κύματα ταξιδεύουν ταχύτερα σε συμπαγείς επιφάνειες
 - Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν ταχύτερα σε μη συμπαγείς επιφάνειες
- Ταχύτητα = μήκος κύματος x συχνότητα

$$v = \lambda f$$

Βασικά στοιχεία της Η/Μ θεωρίας

- Η αιτία δημιουργίας ενός Η/Μ κύματος είναι η μεταβαλλόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.
- Το Η/Μ κύμα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο (έντασης \vec{E}) και ένα μαγνητικό πεδίο (έντασης \vec{B}) τα οποία συνυπάρχουν στο χώρο και είναι τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενα.

Τα διανύσματα \vec{E} και \vec{B} είναι κάθετα μεταξύ τους και μάλιστα κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Συνεπώς, είναι εγκάρσια.



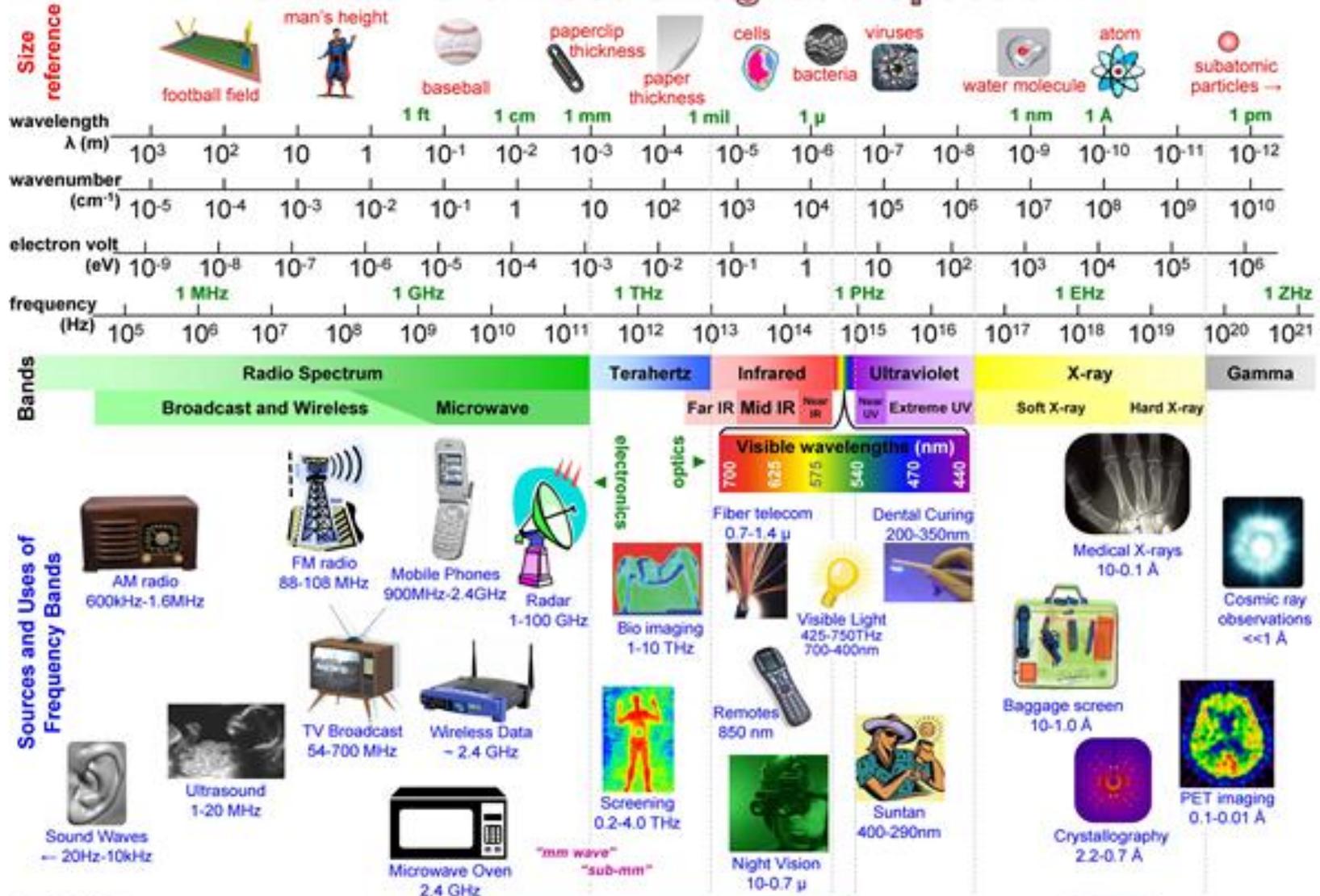
- Σε μεγάλη απόσταση από την πηγή τα δύο πεδία είναι σε «φάση», ενώ κοντά στην πηγή έχουν διαφορά φάσης 90°
- Τα ΗΜ κύματα διαδίδονται στο κενό (και στον αέρα) με ταχύτητα $c=3 \cdot 10^8$ m/s. Σε κάθε άλλο μέσο διαδίδονται με ταχύτητα μικρότερη αυτής.

- Τα Η/Μ κύματα υπακούουν στην αρχή της επαλληλίας, δηλαδή η διάδοση ενός κύματος στο χώρο είναι ανεξάρτητη από τη μετάδοση άλλων κυμάτων στον ίδιο χώρο.
- Κάθε στιγμή, το πηλίκο των μέτρων των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι ίσο με την ταχύτητα του φωτός στο μέσο διάδοσης.

$$c = \frac{E}{B} \quad c = \frac{E_{\max}}{B_{\max}}$$

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Chart of the Electromagnetic Spectrum

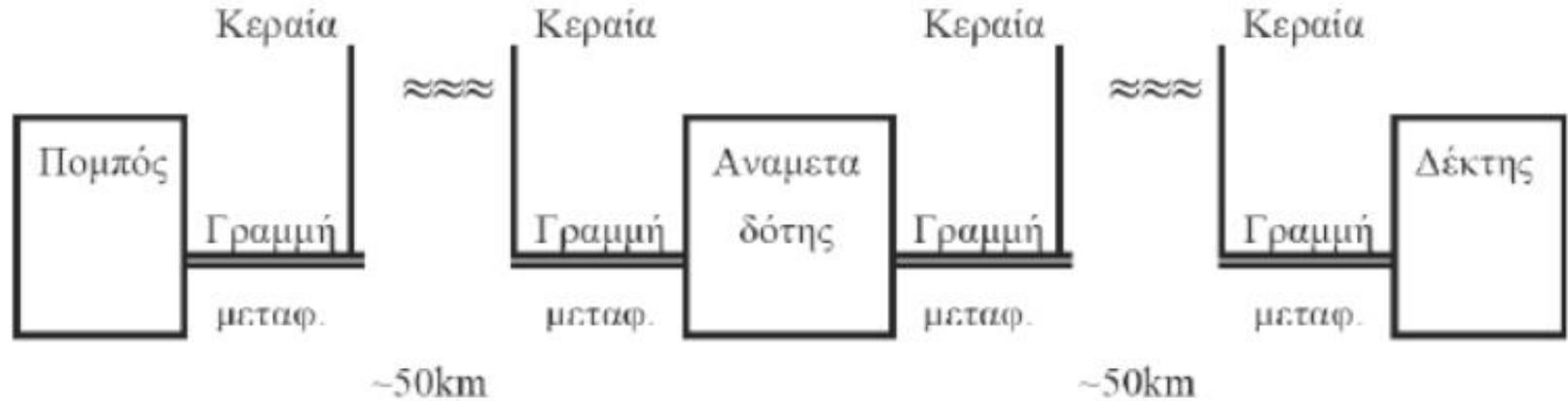


$$\lambda = 3 \times 10^8 / \text{freq} = 1 / (\text{wn} \times 100) = 1.24 \times 10^{-6} / \text{eV}$$

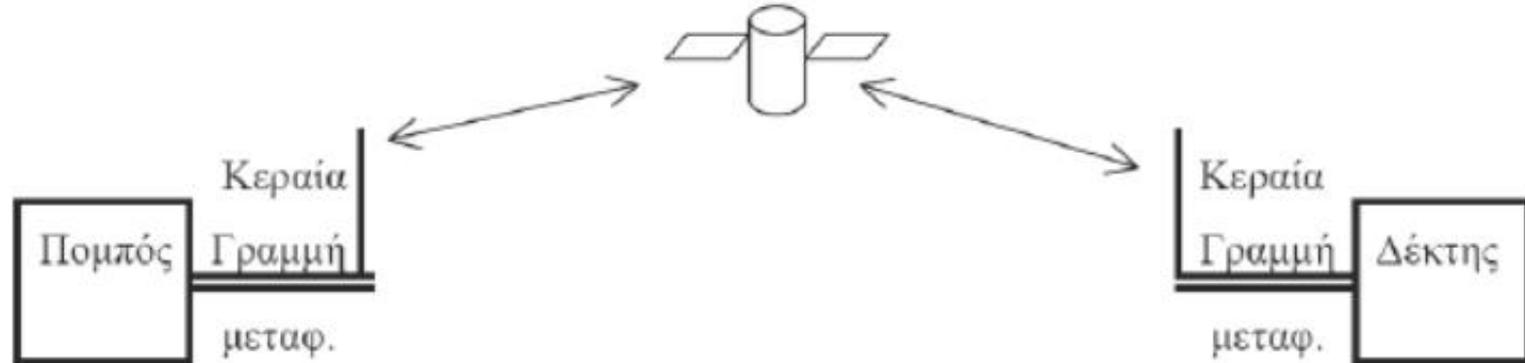
Τύποι Ασύρματων Ζεύξεων

- 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



Δομικό διάγραμμα επίγειας ζεύξης



Χρήσεις

- Μέσω επίγειων ζεύξεων, υλοποιούνται υπηρεσίες όπως
 - η ραδιοφωνία,
 - η τηλεόραση,
 - η κινητή τηλεφωνία κλπ.
 - μικρό μέρος του σταθερού τηλεφωνικού δικτύου.
- 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.
-
- Η εγκατάσταση **επίγειων ραδιοζεύξεων** μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα και με χαμηλό κόστος.
- 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

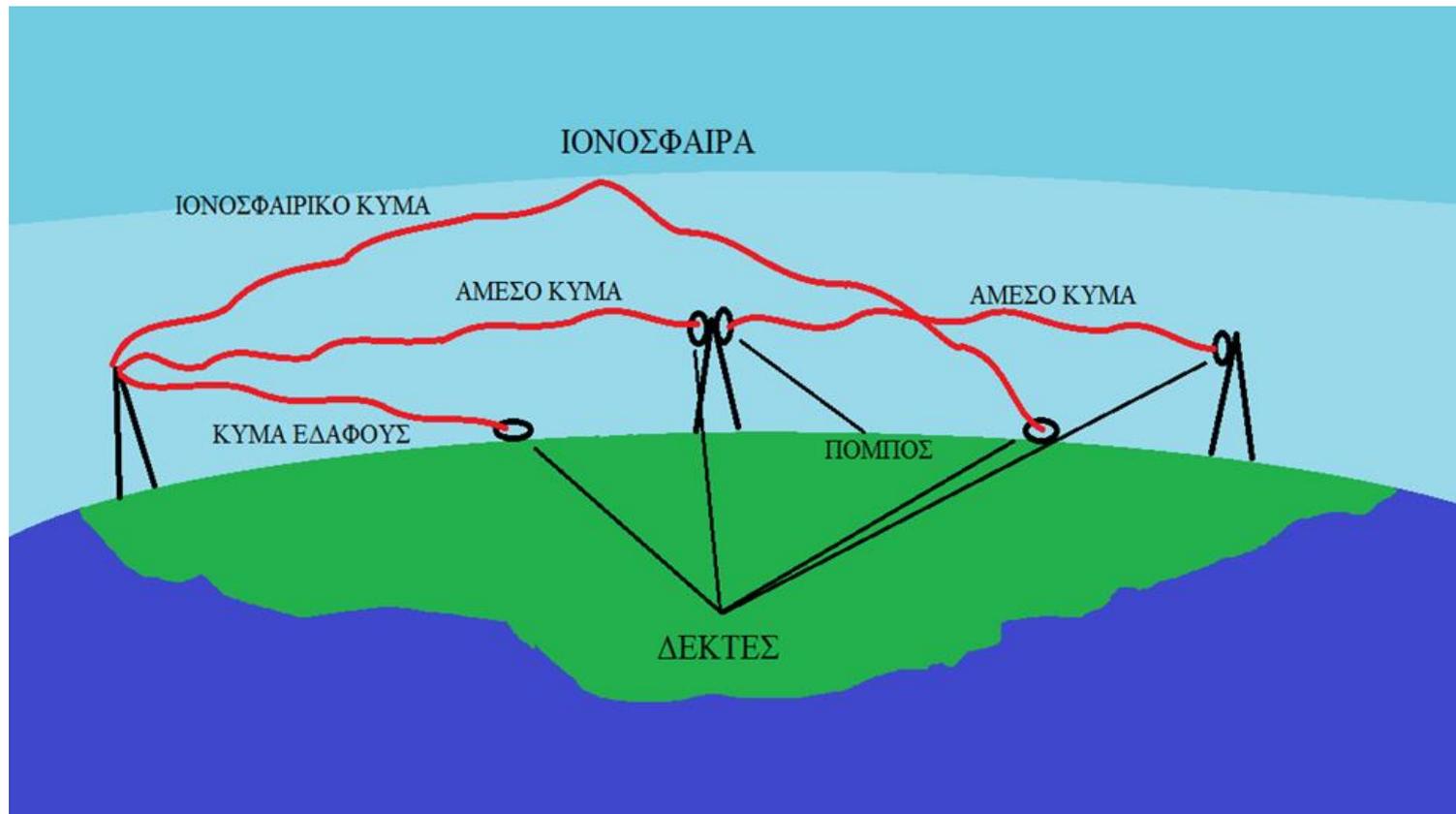
- Ως ραδιοκύματα χαρακτηρίζονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα υψηλότερη από 30 kHz.
- Ως μικροκύματα χαρακτηρίζονται τα κύματα με συχνότητες 300 MHz – 300 GHz (UHF, SHF, EHF).
- Η χρήση μικροκυματικών συχνοτήτων (> 300 MHz) για την υλοποίηση ασύρματων ζεύξεων υπαγορεύεται κυρίως από τους εξής λόγους:
 - Λόγω των υψηλών φερουσών, εξασφαλίζεται υψηλή ταχύτητα μετάδοσης.
 - Τα μικροκύματα προσφέρονται για κατασκευή κεραιών μικρού σχετικά μεγέθους και υψηλής κατευθυντικότητας.

Χρήσεις και περιορισμοί

- 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 GHz είναι απαραίτητη η ύπαρξη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη (το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με αναμεταδότες).

Μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Άμεσα κύματα
- Ιονοσφαιρικά κύματα
- Κύματα εδάφους



Κύματα εδάφους

Διάδοση με 3 τρόπους:

- Απ' ευθείας κύματα (επηηρεάζονται από την απόσταση και την διάχυση).
- Κύμα από ανάκλαση στο έδαφος
- Κύμα επιφάνειας κυρίως σε αγώγιμα εδάφη

Τα κύματα διευκολύνονται όταν έχουν:

- Μικρή συχνότητα
- Μεγάλη αγωγιμότητα εδάφους

Ιονόσφαιρα

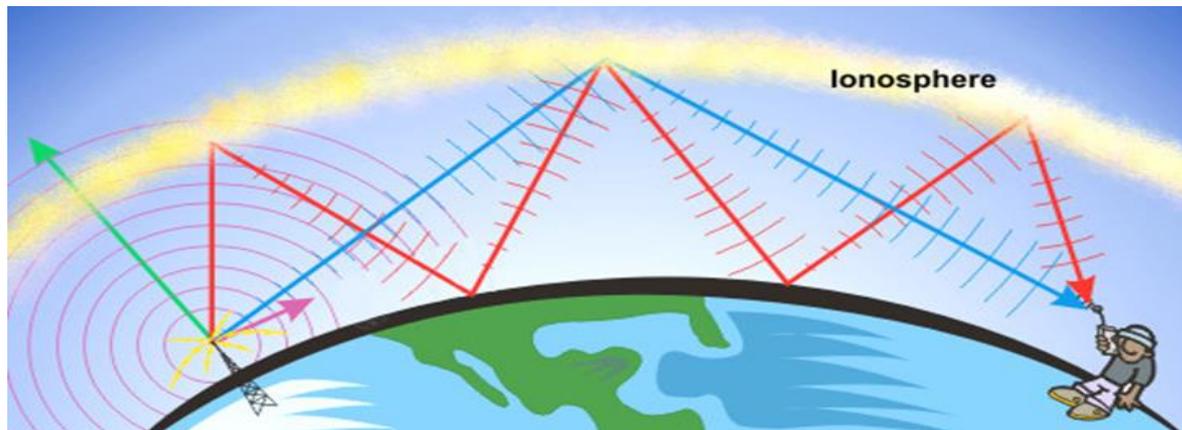
- Η Ιονόσφαιρα είναι στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης , που χαρακτηρίζεται απ' τη μεγάλη παρουσία ιόντων που προκαλούνται απ' τον ιονισμό των μορίων του αέρα λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η ιονόσφαιρα δημιουργείται στην ατμόσφαιρα από την ηλιακή δραστηριότητα σε ύψος 70-400Km.

Το ύψος και το πάχος της ιονόσφαιρας εξαρτάται από:

- Την ηλιακή ενέργεια (μέρα-νύχτα).
- Τις ηλιακές κηλίδες.
- Το μαγνητικό πεδίο της γης.

Ιονοσφαιρικά κύματα

- Τα σήματα HF (3-30 MHz) διαθλώνται από τις περιοχές του ιονισμού που υπάρχουν ψηλά στην ατμόσφαιρα της Γης.
- Αυτές οι περιοχές είναι γνωστές ως ιονόσφαιρα και αποτελούνται από στρώματα, ιονισμένα μόρια αερίου και ελεύθερα ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμποδίζονται να διαφύγουν στο διάστημα εξαιτίας του ηλεκτρονίου πλάσματος του αέρα.

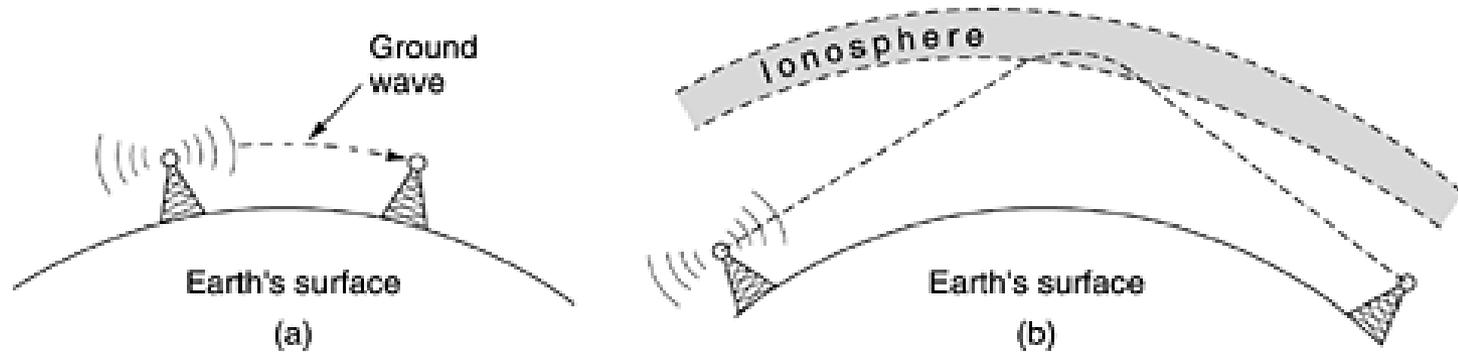


Ιονοσφαιρικά κύματα

Η αλλαγή πορείας του κύματος γίνεται με κύρτωση που οδηγεί σε ανάκλαση του κύματος (πολλαπλή διάθλαση) και διευκολύνεται από:

- Μεσαίες συχνότητες στο ραδιοκύμα.
- Μεγάλη πυκνότητα ιονισμένου στρώματος.
- Μεγάλη γωνία πρόσπτωσης του κύματος στο ιονοσφαιρικό στρώμα.

Διάδοση Ραδιοκυμάτων



Τα ραδιοκύματα χαμηλής συχνότητας (VLF, LF, and MF)

- ακολουθούν την καμπύλη της γης και μεταδίδονται επίγεια (π.χ. AM)
- διαπερνούν φυσικά εμπόδια
- η ισχύς τους μειώνεται αργά

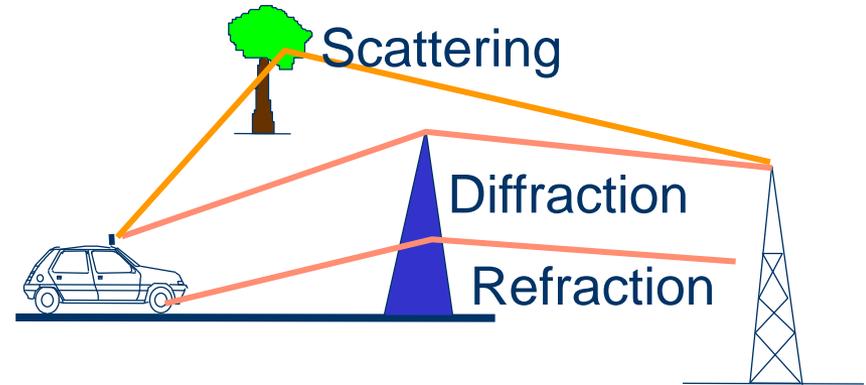
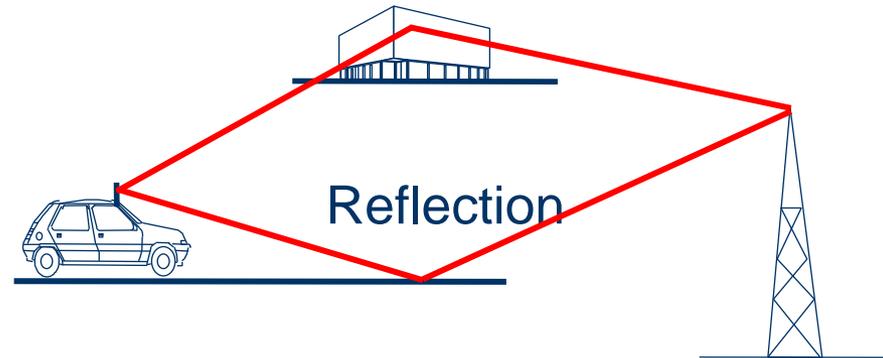
Τα ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας (HF and VHF)

- απορροφώνται από τη γη, αλλά ανακλώνται από την ιονόσφαιρα (π.χ. FM)
- δεν διαπερνούν φυσικά εμπόδια
- η ισχύς τους μειώνεται γρήγορα

Γενικές αρχές για τη διάδοση

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

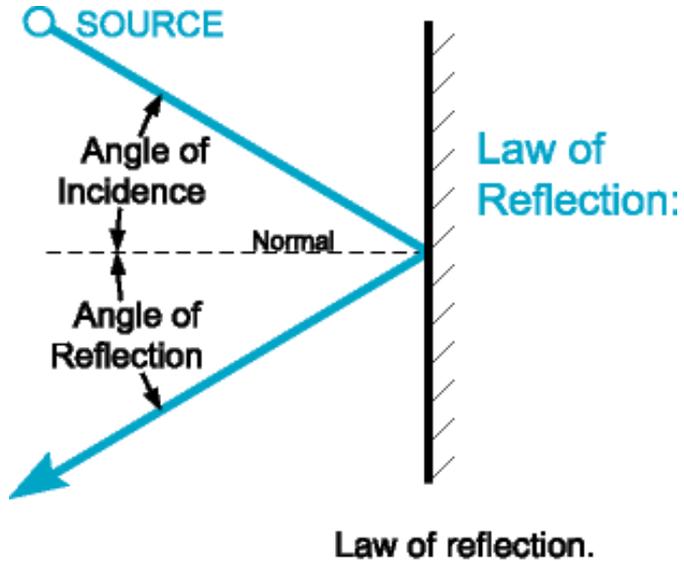
- **Ανάκλαση (reflection):** διαστάσεις εμποδίων $\gg \lambda$ – διάδοση προς μια κατεύθυνση.
- **Διάθλαση (refraction):** συμπαγή εμπόδια στην πορεία του σήματος $\gg \lambda$.
- **Σκέδαση (scattering):** διαστάσεις εμποδίων $\leq \lambda$ – διάδοση σε διαφορετικές κατευθύνσεις.
- **Περίθλαση (diffraction):**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



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

Ανάκλαση

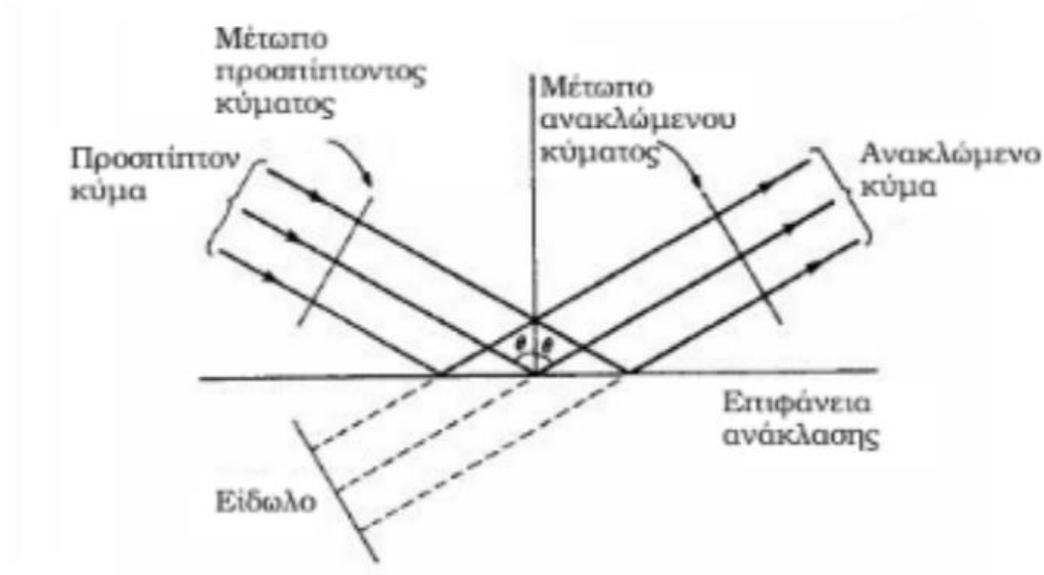
- Πρόσκρουση του σήματος σε λεία επιφάνεια
- **Νόμος Ανάκλασης:**
Γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης



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**

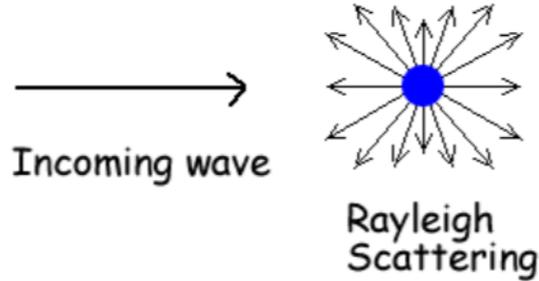
Σκέδαση

- 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.

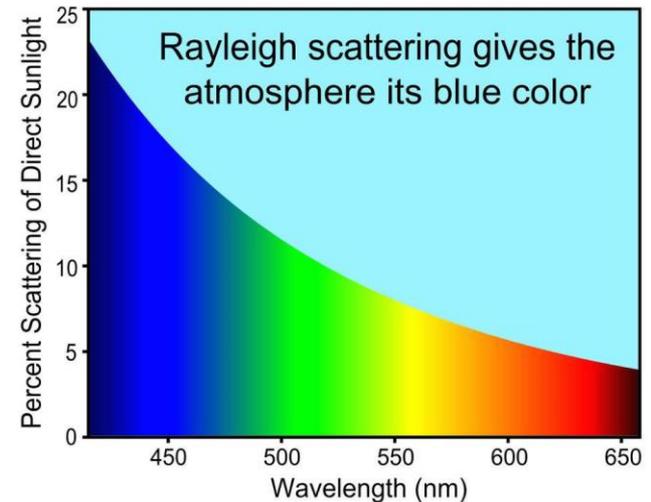
Σκέδαση (Scattering)

- 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

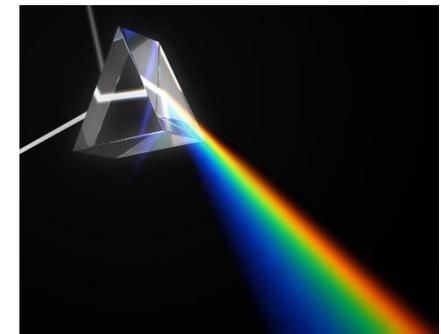
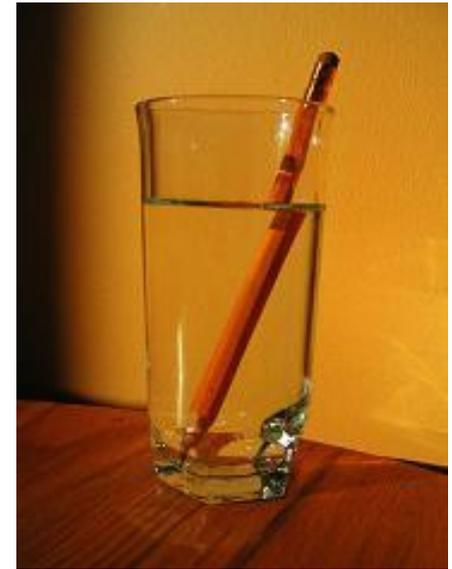


Πιο έντονο σε μικρά μήκη κύματος (μπλε ουρανός)



Διάθλαση

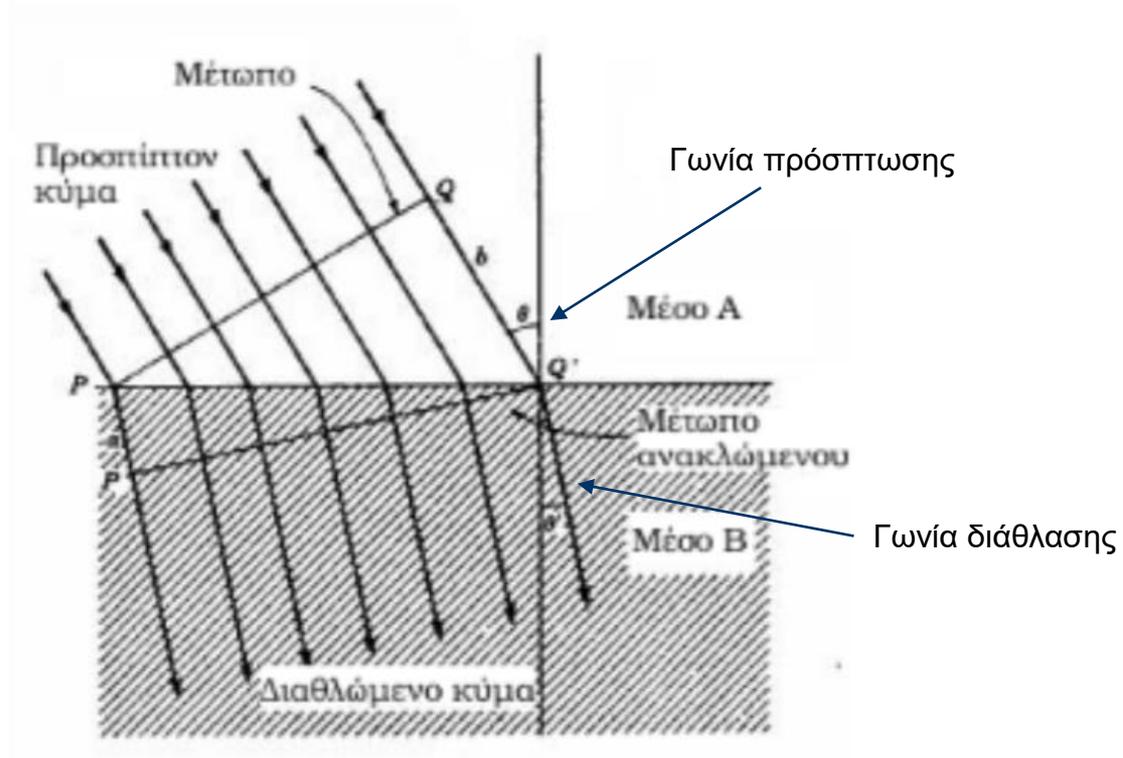
- Αλλαγή της κατεύθυνσης των κυμάτων καθώς περνούν από ένα μέσο σε άλλο
- Όσο μεγαλύτερη η διαφορά στην ταχύτητα του κύματος τόσο μεγαλύτερη η γωνία διάθλασης
- Τα ουράνια τόξα δημιουργούνται από του φωτός – τη διάθλαση κάθε διαφορετικής συχνότητας του ορατού φωτός
- Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν διάθλαση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

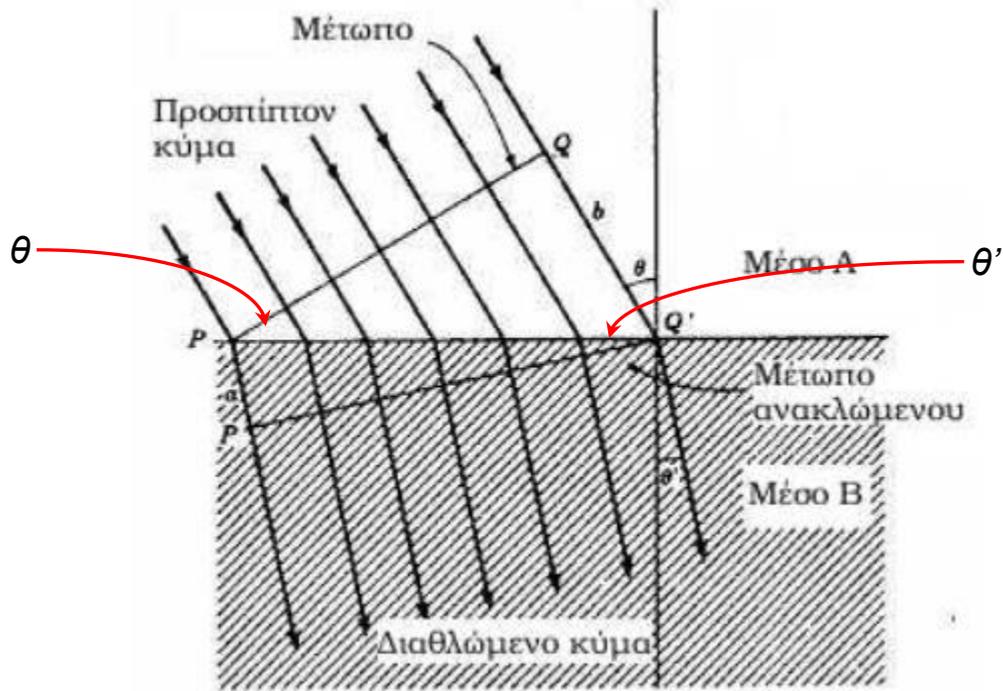


Διάθλαση (Refraction) (1/3)

- **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 μία 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:

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

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;

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

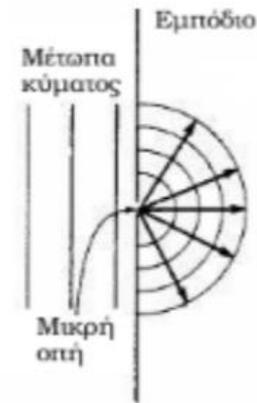
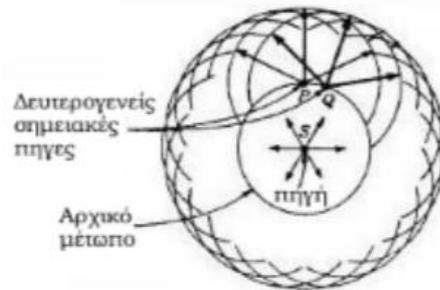
- k, k' : διηλεκτρικές σταθερές των μέσων A και B
- μ : συντελεστής διάθλασης

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)

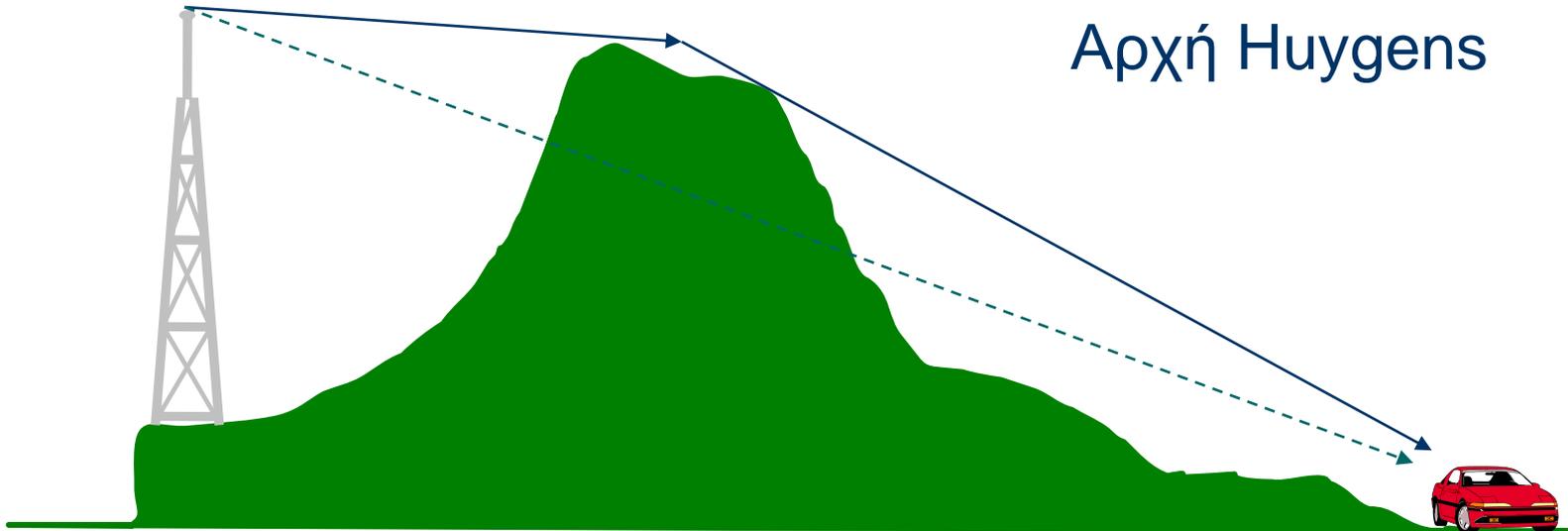
- Οι χαμηλές συχνότητες υφίστανται εντονότερη περίθλαση απ' ότι οι πιο υψηλές
 - παράδειγμα από ακουστικές συχνότητες
- Χωρίς την περίθλαση, τα κύματα δεν θα διαδίδονταν πίσω από εμπόδια



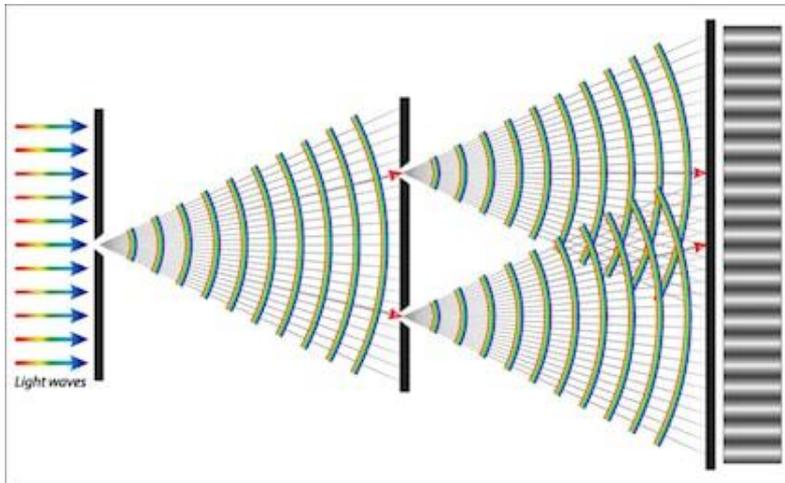
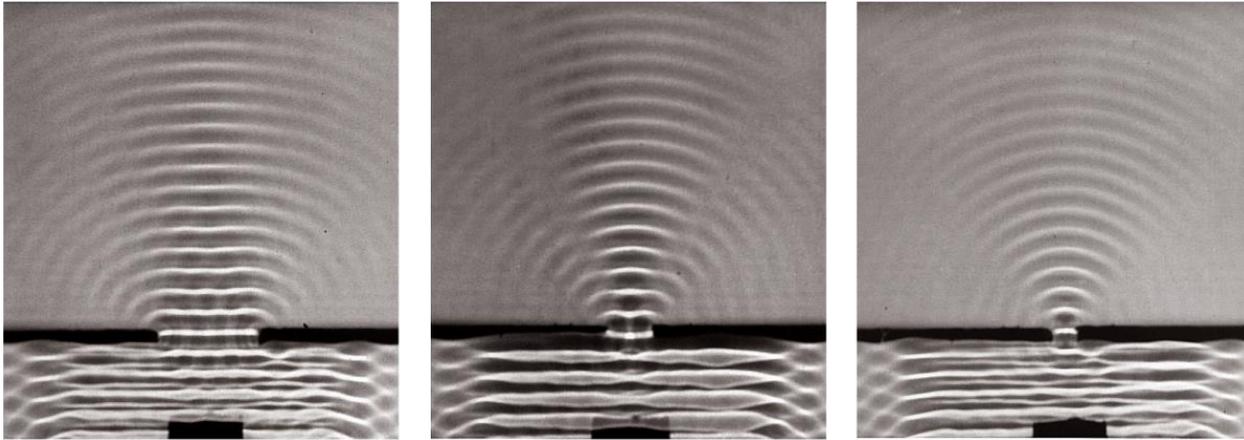
Διάδοση χωρίς οπτική επαφή Out-of-Sight

Απώλειες λόγω περίθλασης

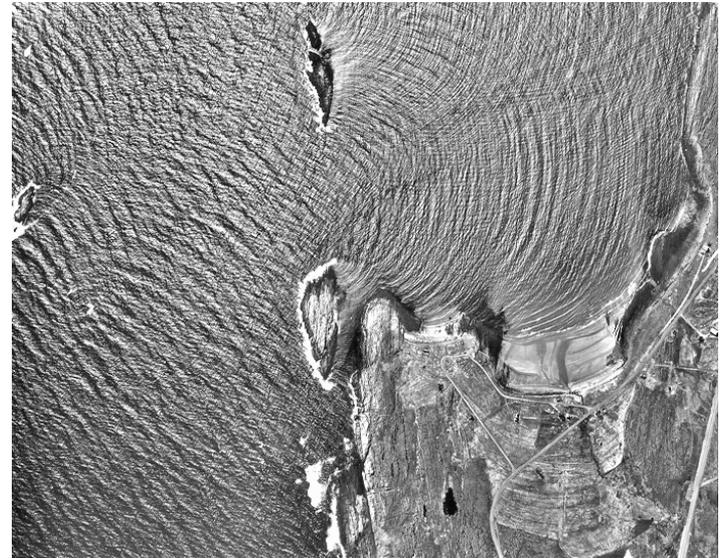
Αρχή Huygens



Παραδείγματα περίθλασης



shutterstock.com • 543329314



Απευθείας Διάδοση Line-of-Sight

Πως κρίνουμε την απευθείας διάδοση (Fresnel Zone)

