

ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΑ

Γενικές Αρχές Φυσικής

Κ. Χατζημιχαήλ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΑ

Καλώς

ήλθατε

Καλή αρχή

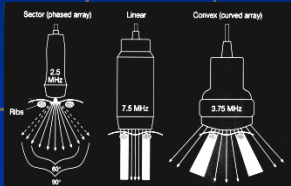


Υπερηχογραφία

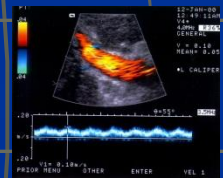
- Ανήκει στις τομογραφικές μεθόδους απεικόνισης
- Δεν έχει ιονίζουσα ακτινοβολία

Υπερηχοτομογραφία

Μορφολογική μελέτη



Αιμοδυναμική μελέτη
Doppler



Δυναμική μελέτη με
ενισχυτές ηχογένειας



Καθοδηγούμενη
βιοψία-θεραπεία



ΟΙ υπέρηχοι είναι

ηχητικά κύματα με συχνότητα
> 20 KHz

Το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται
60Hz – 20 KHz

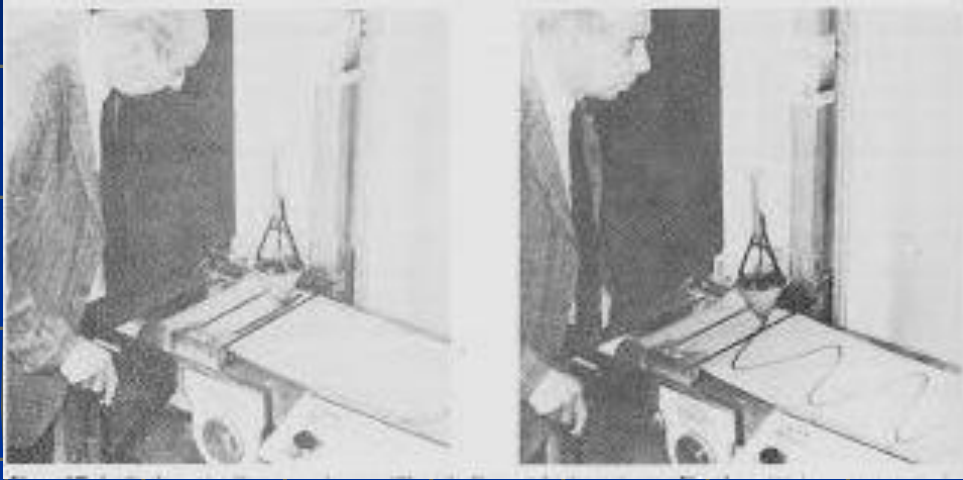
Στην Ιατρική απεικόνιση 1-30MHz

Υπερηχογραφία

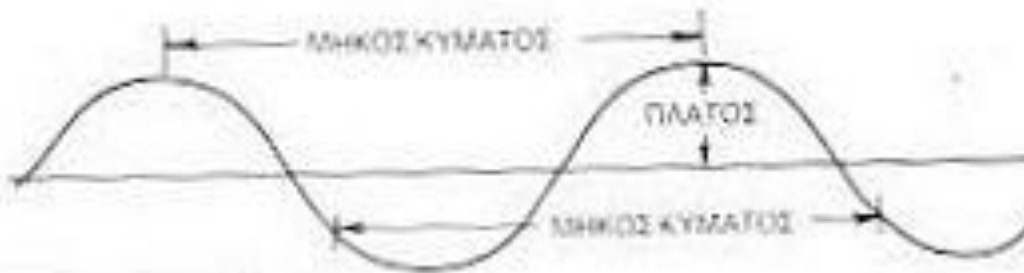
και ...

...λίγη φυσική!

Εκκρεμές-Ημιτονοειδής καμπύλη



Η μέγιστη απομάκρυνση του εκκρεμούς από τη θέση ηρεμίας είναι το πλάτος



Ταλάντωση – Δόνηση - Κύμα

- Ταλάντωση: τίναγμα
- Δόνηση: ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο
- Κύμα: ταλάντωση σε συνάρτηση με το χώρο

- Ήχος: διάδοση δονήσεων ενός υλικού μέσου
- Φως: διάδοση δονήσεων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων (ακόμη και στο κενό)



ΗΧΟΣ

Ήχος

- Η ενέργεια από τη δόνηση δεν μεταφέρεται στο κενό
- Για τη διάδοση απαιτείται υλικό μέσο όπως αέρας, υγρό, ιστός κ.λ.π.

Ιατρική Απεικόνιση Υπερηχογραφία

- Για τη διάδοση απαιτείται υλικό μέσο
- Οι Υπέρηχοι είναι διαμήκη κύματα
- Υπακούουν σε όλους τους νόμους της κυματικής
- Ανακλώνται στην επιφάνεια που διαχωρίζει δύο μέσα με διαφορετική ακουστική αντίσταση
- Μεγαλύτερη διαφορά της ακουστικής αντίστασης μεταξύ δύο μέσων => εντονότερη ανάκλαση στο ηχητικό κύμα

Κυματική κίνηση

- Διάδοση ενέργειας από μία πηγή σε ένα απομακρυσμένο δέκτη διά της ύλης χωρίς να μεταφέρεται ύλη ανάμεσα στα δύο σημεία
π.χ. σε ένα κύμα υπάρχει κίνηση μπρος-πίσω αλλά όχι μετακίνηση δηλαδή το μέσο που μεταφέρει το κύμα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση
- Εκείνο που μεταφέρεται *είναι η διαταραχή της θέσης του*

Κύματα

- Εγκάρσια: τα μόρια του μέσου μετάδοσης ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης

Δεν διαδίδονται στα ρευστά

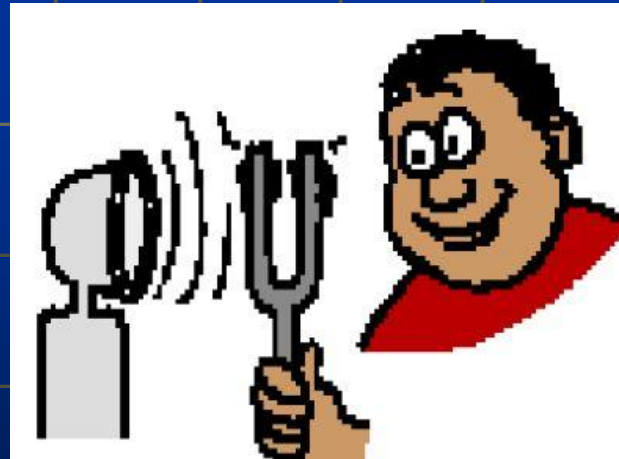
- Διαμήκη: τα μόρια του μέσου μετάδοσης ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης

- Τα Βιολογικά συστήματα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νερό συμπεριφέρονται ως ρευστά

- Για την Υπερηχογραφία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα διαμήκη κύματα

Ηχητικά κύματα

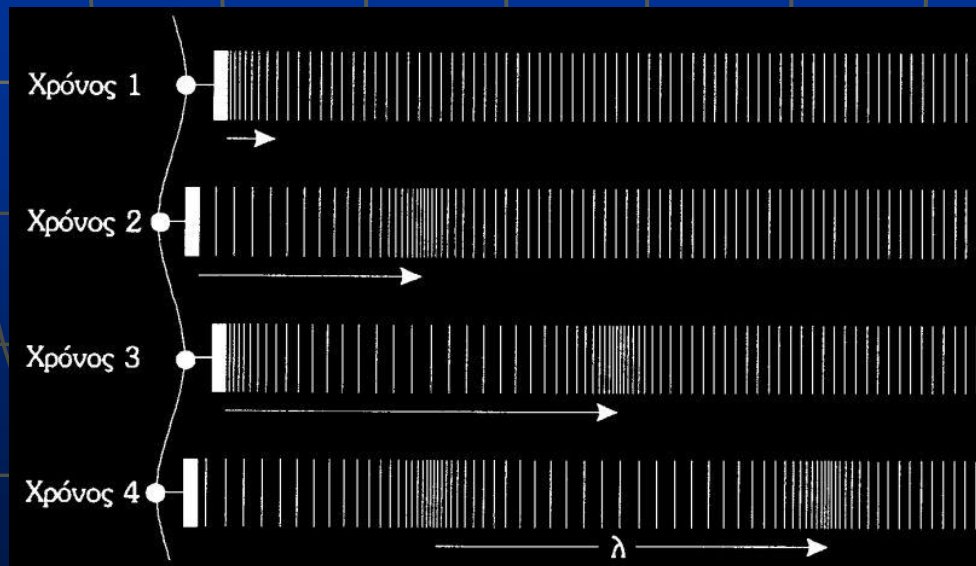
- Μηχανικά κύματα που προκύπτουν από δόνηση κάποιου υλικού αντικειμένου



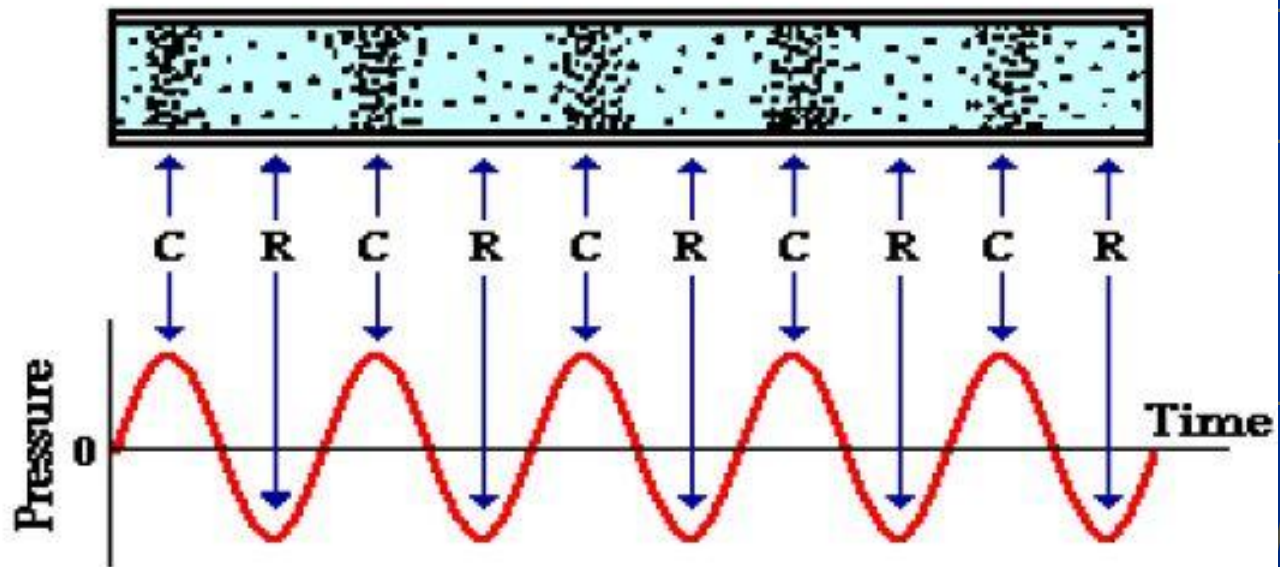
- Οι ήχοι είναι διαμήκη κύματα

είναι

εναλλαγές από πυκνώσεις και αραιώσεις των μορίων του μέσου δια του οποίου διαδίδεται το ηχητικό κύμα



Sound is a Pressure Wave



NOTE: "C" stands for compression and "R" stands for rarefaction

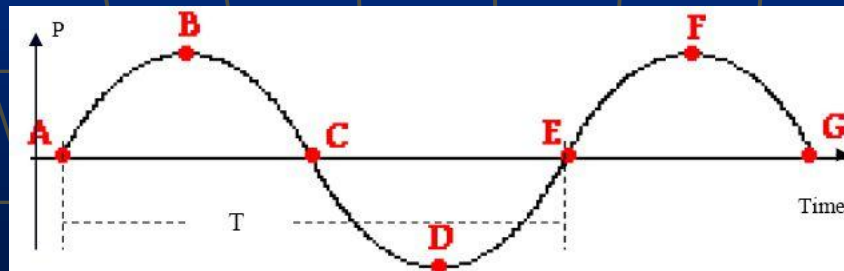
οι υπέρηχοι

- Υπακούουν σε όλους τους νόμους της κυματικής
Διάδοση, ανάκλαση, διάθλαση, σκέδαση, απορρόφηση, εξασθένιση και εστίαση
- Η πόλωση δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση των υπερήχων
- Η συμβολή και η περίθλαση συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ηχητικής δέσμης

Τα ηχητικά κύματα χαρακτηρίζονται από:

- Ταχύτητα (v ή c) (m/sec)
ταχύτητα διάδοσης του κύματος
- Περίοδο (T) (sec)
ο απαιτούμενος χρόνος για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος
- Συχνότητα (f) (Hz)
αριθμός κύκλων στη μονάδα του χρόνου
- Μήκος κύματος (λ) (m)
η απόσταση για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος

Ταχύτητα = Απόσταση \times Συχνότητα



Υλικό	Ακουστική ταχύτητα^a (m/s)
Αέρας	331
Λίπος	1450
Νερό	1540
Μαλακοί Ιστοί	1540
Εγκέφαλος	1541
Ήπαρ	1549
Νεφρά	1561
Αίμα	1570
Μύες	1585
Φακός οφθαλμού	1620
Οστά	4080
Χαλαζίας	5740
Αλουμίνιο	6400

- Πλάτος (γ)

απόσταση της κορυφής από τη μέση γραμμή
όσο μεγαλύτερο το πλάτος τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που μεταφέρει το κύμα

- Ένταση (I) watts/cm^2

εξαρτάται από το πλάτος των κυμάτων

- Ακουστική αντίσταση (Z) $\text{Kgr/m}^2\text{sec}$ η rayl

$$Z = \rho_0 c$$

c : ταχύτητα του ήχου ρ_0 : πυκνότητα ηρεμίας

Ακουστική αντίσταση

Πόση αντίσταση συναντά ο ήχος κατά τη διέλευση του από ένα μέσο

Ακουστική αντίσταση (Z) $\text{Kgr/m}^2\text{sec}$ η rayl

$$Z = \rho_0 c$$

c : ταχύτητα του ήχου ρ_0 : πυκνότητα ηρεμίας

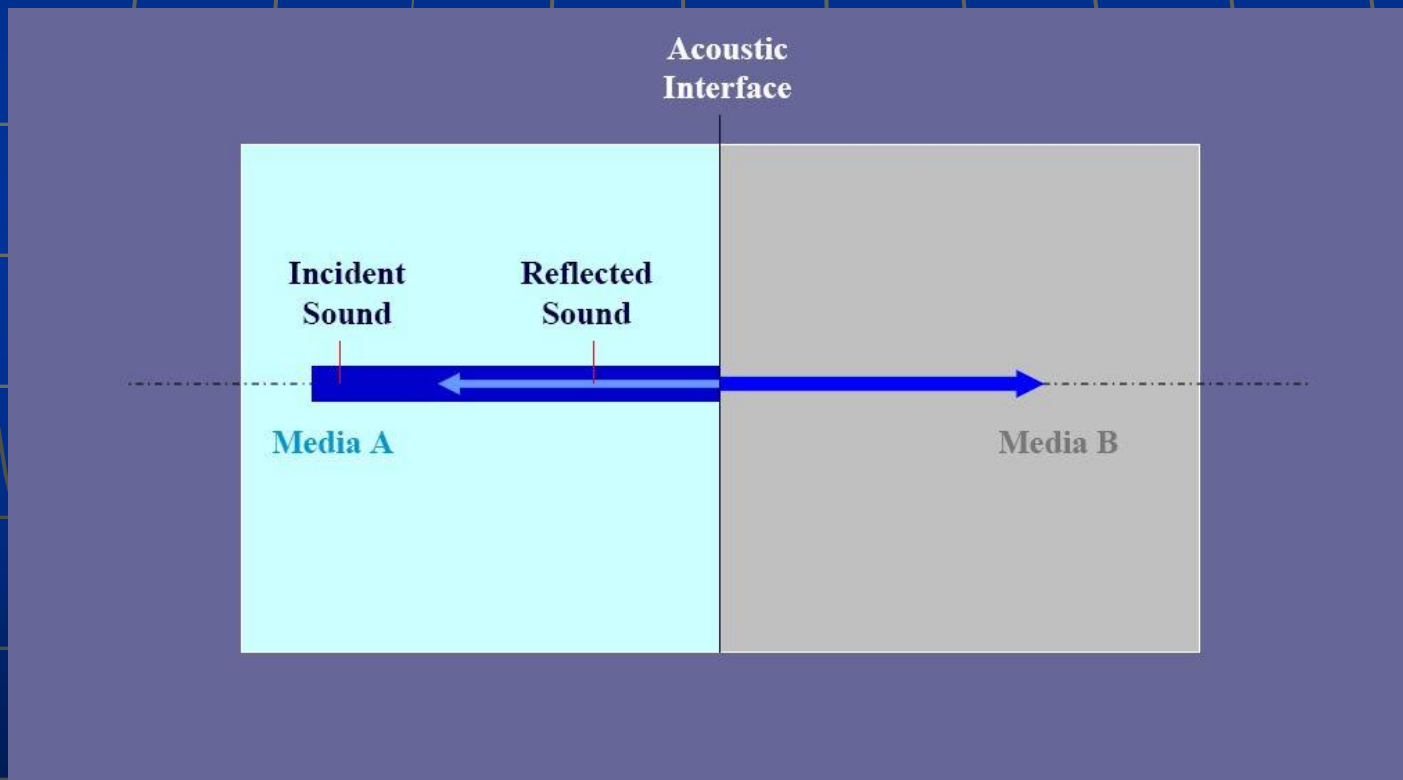
Υλικό	Ακουστική ταχύτητα^a (m/s)	Ακουστική Αντίσταση (kg/m²/s)
Αέρας	331	0,0004
Λίπος	1450	1,38
Νερό	1540	1,54
Μαλακοί Ιστοί	1540	1,55
Εγκέφαλος	1541	1,58
Ήπαρ	1549	1,65
Νεφρά	1561	1,62
Αίμα	1570	1,61
Μύες	1585	1,70
Φακός οφθαλμού	1620	1,84
Οστά	4080	7,80
Χαλαζίας	5740	15,20
Αλουμίνιο	6400	17,00

Ο ήχος συναντά διεπιφάνεια

αν $Z_1 = Z_2 \Rightarrow$ διάδοση

αν $Z_1 < \dot{\eta} > Z_2 \Rightarrow$ ανάκλαση
κλάσματος του ήχου στη διεπιφάνεια των
μέσων

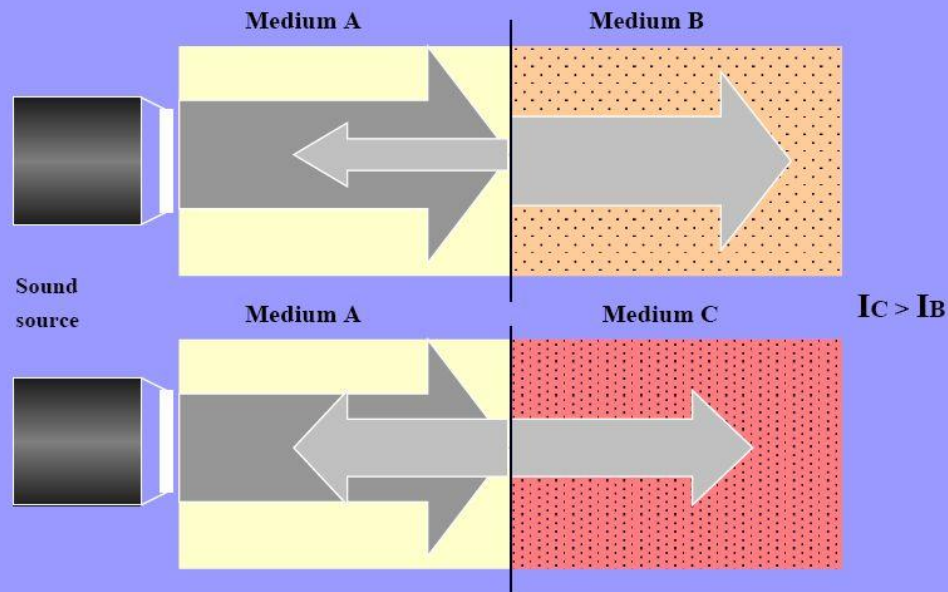
- Το κύμα συναντά την διεπιφάνεια κάθετα



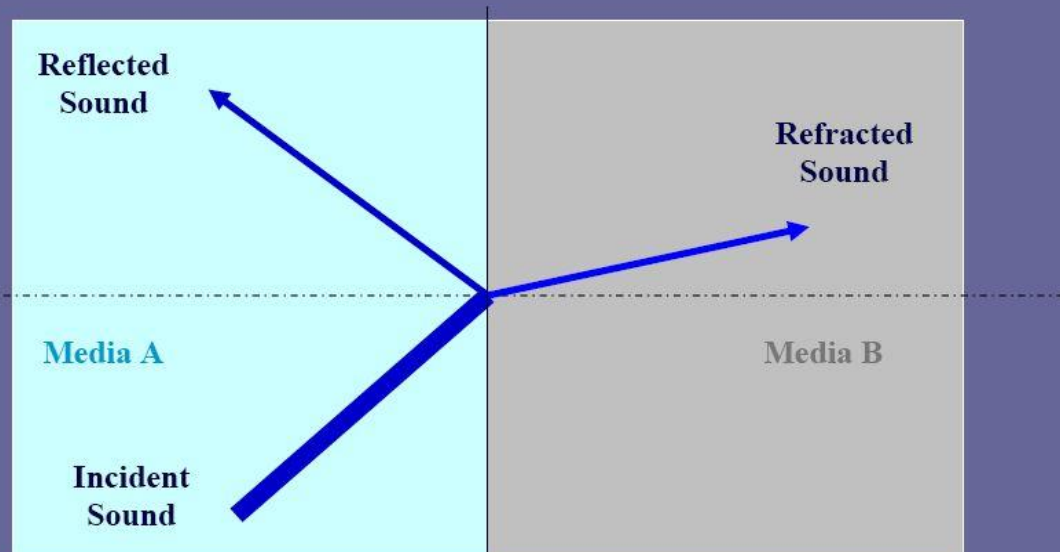
Ανάκλαση

- Το μήκος κύματος των υπερήχων είναι μη συγκρίσιμο (πολύ μικρό) σε σχέση με τις διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών
- Σε συνδυασμό με τη διάθλαση διαγράφει το περίγραμμα ενός ανατομικού σχήματος

η μεγαλύτερη διαφορά της ακουστικής
αντίστασης μεταξύ δύο μέσων
=> εντονότερη ανάκλαση στο ηχητικό
κύμα



- Κύμα συναντά διεπιφάνεια με γωνία $\neq 90^\circ$



Διάθλαση

- Το μήκος κύματος των υπερήχων είναι μη συγκρίσιμο (πολύ μικρό) σε σχέση με τις διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών
- Σφάλματα απεικόνισης γεωμετρικής φύσεως

Σκέδαση

Το φαινόμενο πρόσκρουσης μίας ακτινοβολίας σε μικρά σωματίδια ή ανομοιογενές σώμα

Σκέδαση

- Σε σωματίδια

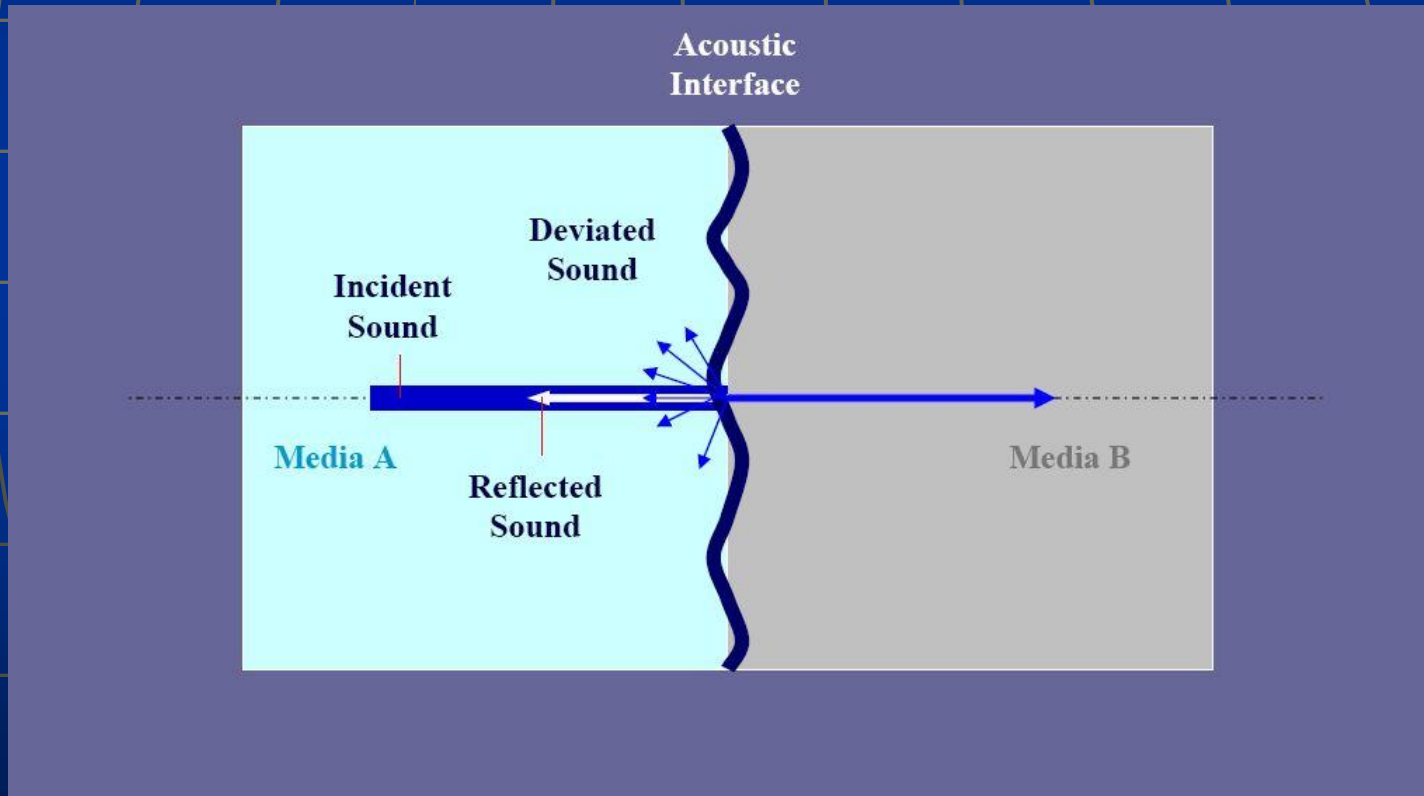
- α. πρόσπτωση κύματος σε σωματίδια με διαστάσεις μικρότερες ή συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του ήχου

- β. διασπορά (επανεκπομπή) του κύματος προς όλες τις διευθύνσεις

- Σε ανομοιογενές σώμα

- Όταν το υλικό εμφανίζει ανομοιογένεια (διαφοροποίηση πυκνότητας) διαστάσεων μικρότερων ή συγκρίσιμων με το μήκος κύματος του ήχου

- Κύμα συναντά μη ομαλή διεπιφάνεια



Σκέδαση

- Όταν το υλικό εμφανίζει ανομοιογένεια (διαφοροποίηση πυκνότητας) διαστάσεων μικρότερων ή συγκρίσιμων με το μήκος κύματος του ήχου τότε δρά ως δευτερογενής πηγή σφαιρικών κυμάτων*
- Τα σώματα που προκαλούν σκέδαση ονομάζονται *σκεδαστές*

*Αρχή Huyges

Όταν ανομοιογενές σώμα "φωτισθεί" από την προσπίπτουσα ακτινοβολία τότε δρά ως δευτερογενής πηγή σφαιρικών κυμάτων προκαλώντας έτσι την εκπομπή δευτερογενούς ακτινοβολίας

Σκέδαση



Σκέδαση

- Οι διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών και των ανωμαλιών είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος των υπερήχων.
- Συμβάλλει στη δημιουργία εικόνας που αφορά την υφή των ανατομικών δομών (παρέγχυμα)

Απορρόφηση Εξασθένηση

- Απορρόφηση : μετατροπή ακουστικής (μηχανικής) ενέργειας σε θερμότητα
- $A=A_0 \exp(-az)$
- Συντελεστής εξασθένησης (a) : εξασθένηση ανά μονάδα απόστασης (dB/cm)
- Για τους βιολογικούς ιστούς
 $A(\text{dB})=ad=0,5fd$

Για τις Βιολογικές εφαρμογές

- Εξασθένιση ανάλογη συχνότητας
Μικρότερη συχνότητα μικρότερη
εξασθένιση

Διείσδυση

- Υψίσυχνα ηχητικά κύματα εξασθενούν ταχύτερα από ηχητικά κύματα χαμηλών συχνοτήτων δηλαδή έχουν < διεισδυτική ικανότητα
μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας τους μετασχηματίζεται σε θερμότητα στη μονάδα του χρόνου
- Ανακλαστήρες σε προοδευτικά μεγαλύτερο βάθος προκαλεί προοδευτικά χαμηλότερης έντασης ηχώ

Διακριτική Ικανότητα

- Η ελάχιστη απόσταση δύο γειτονικών αντικειμένων (στόχων) στην οποία η δέσμη υπερήχων έχει την ικανότητα να ξεχωρίζει τους δύο στόχους.
- Αξονική διακριτική ικανότητα ανάλογη της συχνότητας
- Πλάγια διακριτική ικανότητα αντιστρόφως ανάλογη του εύρους της δέσμης και εξαρτάται

από τη συχνότητα
βαθμό απόκλισης της δέσμης
διάμετρο του κρυστάλλου του (μετατροπέα) ηχοβολέα

**Frequency of
Ultrasound**



**Resolution of
Ultrasound Imaging**



Depth of Penetration



**Frequency of
Ultrasound**



**Resolution of
Ultrasound Imaging**



Depth of Penetration



Αποτέλεσμα των φαινομένων

Μείωση της ενέργειας της δέσμης των υπερήχων λόγω της ανάκλασης, σκέδασης και απορρόφησης από τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος



Σταδιακή μείωση πλάτους και έντασης των υπερήχων

- Η ένταση των ανακλώμενων και οπισθοσκεδαζόμενων κυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του βάθους
- Δομές ευρισκόμενες σε μεγάλο βάθος προκαλούν την επιστροφή (ανάκλαση-σκέδαση) ήχων χαμηλής έντασης

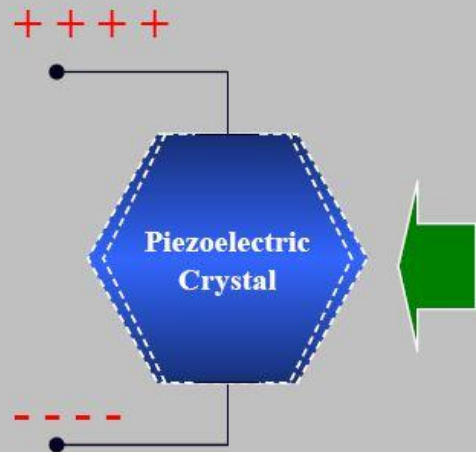
Βιολογικά Συστήματα

- Ανάκλαση
- Σκέδαση
- Απορρόφηση

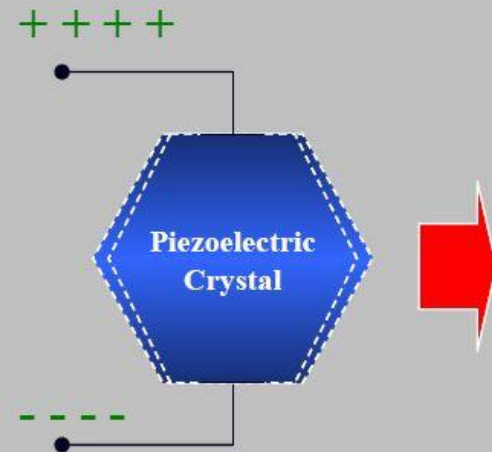
Υποηχοϊκοί ιστοί προκύπτουν από μειωμένες ανακλάσεις, σκέδαση

Υπερηχοϊκοί ιστοί αυξημένη κυρίως σκέδαση

Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο

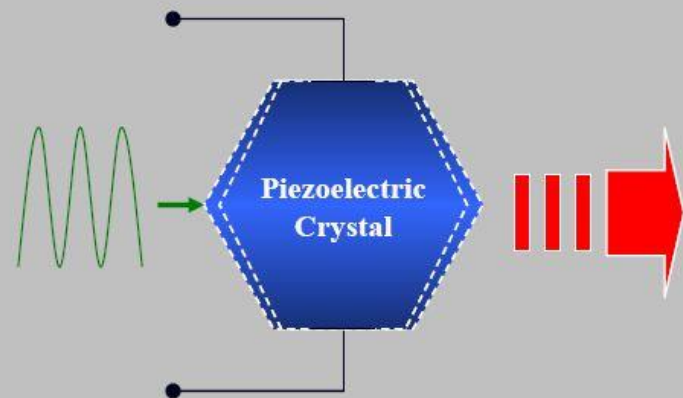
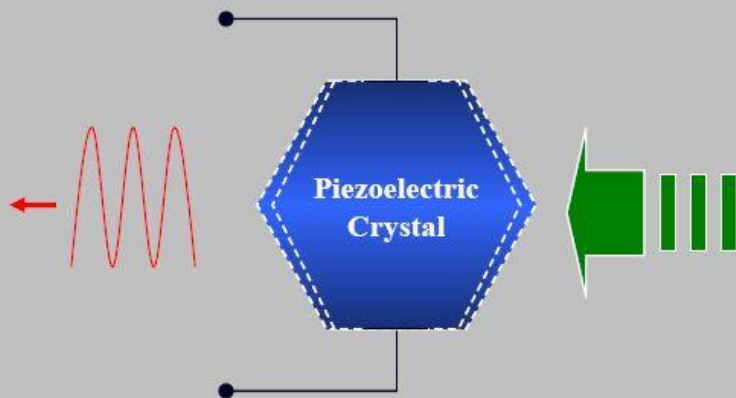


Electrical Charges ← **Mechanical Deformation** ← **Force**



Electrical Charges → **Mechanical Deformation** → **Force**

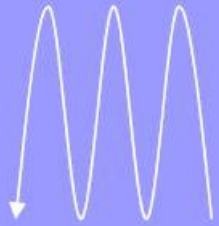
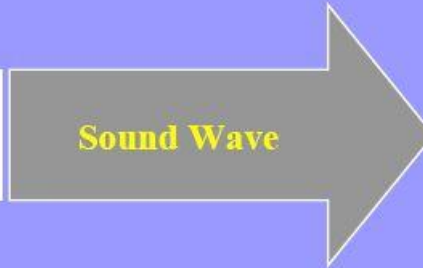
Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο



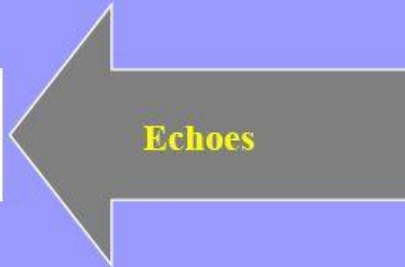
**Ultrasound
Transducer**



Input Electrical Pulses



Output Electrical Pulses



Συμβολή

- Όταν δύο κύματα συναντώνται στο χώρο
- A. Ενισχυτική συμβολή
(άθροισμα των κυμάτων)
- B. Αποσβεστική συμβολή
(αφαίρεση των κυμάτων)

Περίθλαση

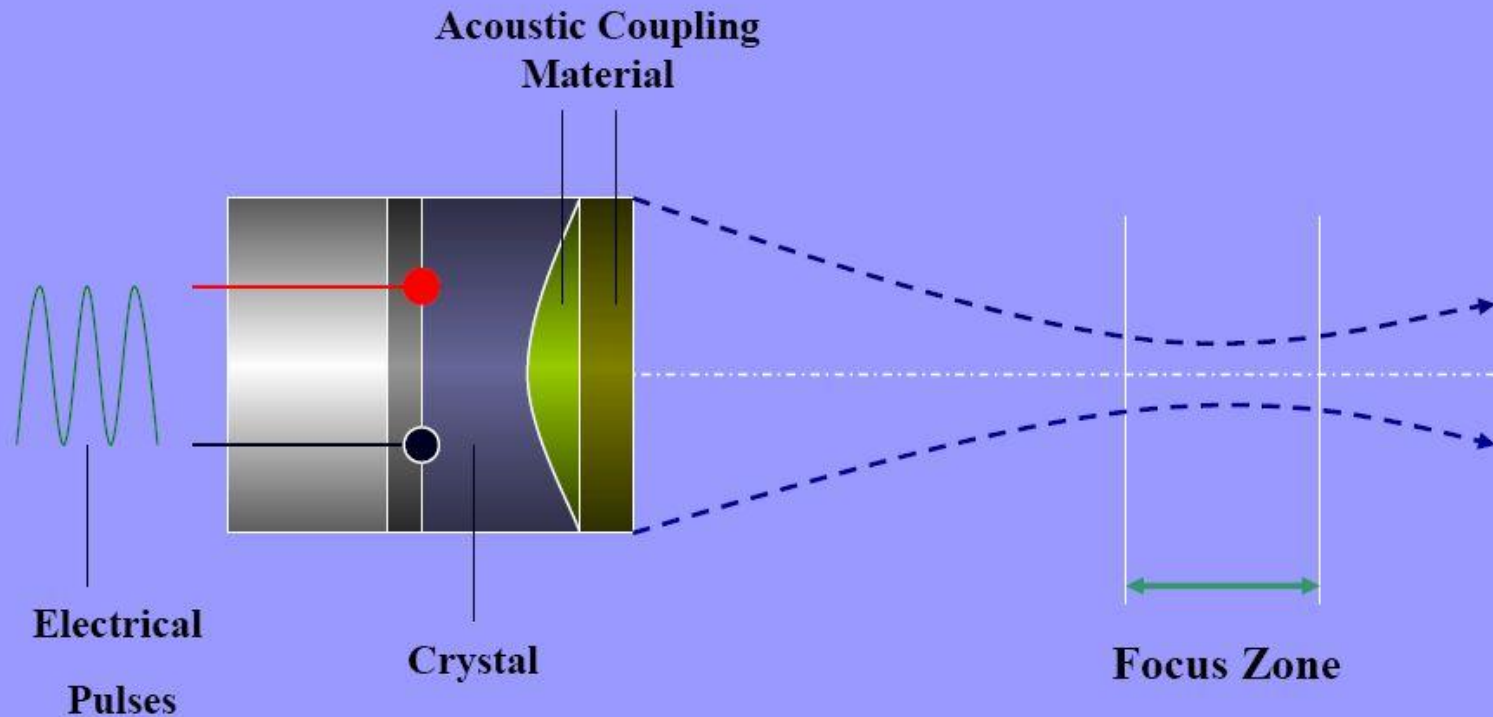
- Όταν η διάδοση του κύματος διαταράσσεται από εμπόδιο (π.χ. λεπτή σχισμή)
- Οι λεπτές σχισμές λειτουργούν ως πηγές δευτερογενών κυμάτων

Η συμβολή και η περίθλαση συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ηχητικής δέσμης

Εστίαση

- Οπτική
κοίλη επιφάνεια ηχοβολέα (όπως κοίλο
κάτοπτρο)
μέσω συγκλίνοντος φακού
- Ηλεκτρονική
- Η εστιακή ζώνη μπορεί να ρυθμιστεί
στο επιθυμητό βάθος

Βασικά στοιχεία του Ηχοβολέα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ