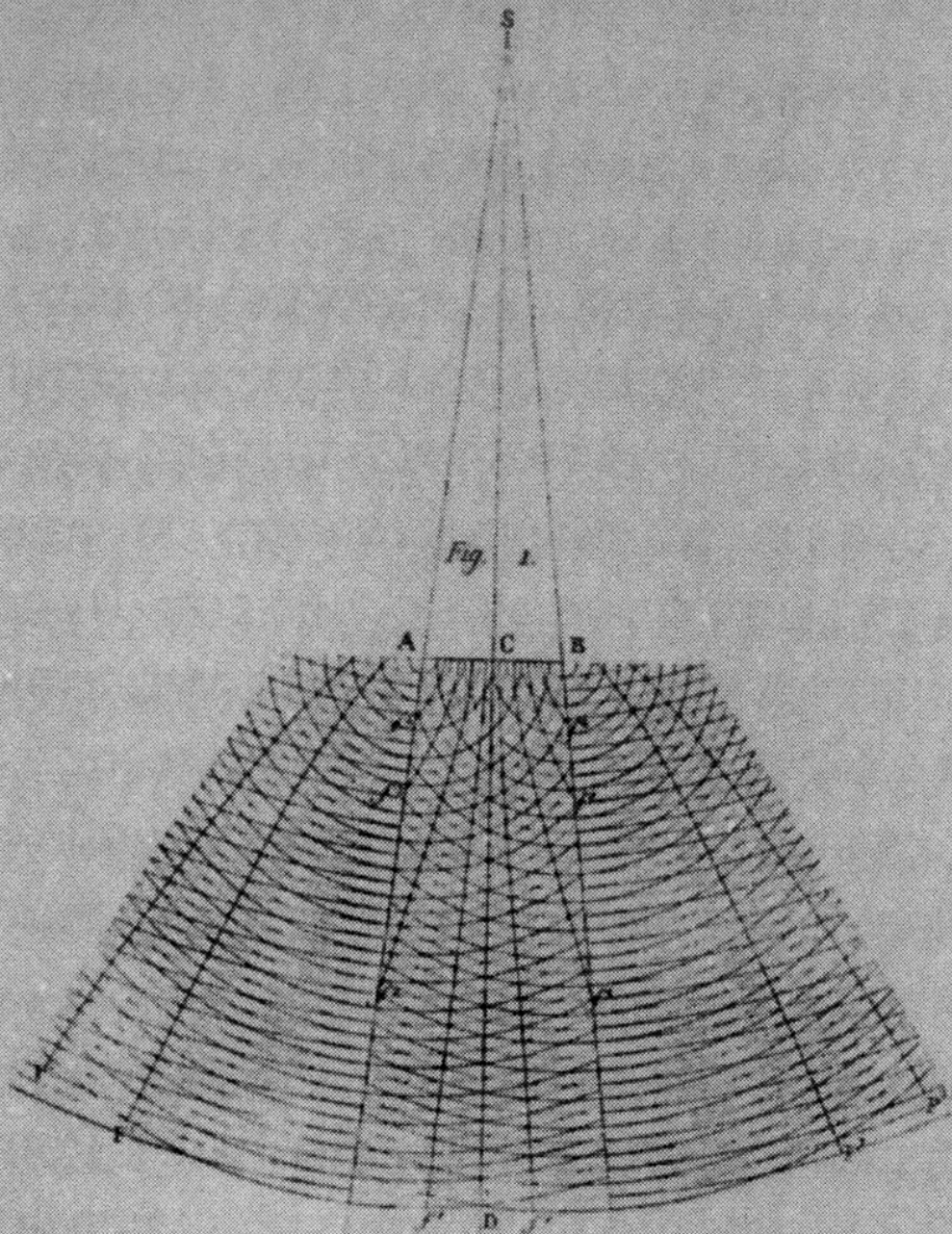




Μαθήματα Υπερήχογραψίας



ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΣΤΗΝ

ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΑ

Ι. ΚΑΝΔΑΡΑΚΗΣ
ΣΤ. ΤΣΑΝΤΗΣ

*Τμήμα Τεχνολογίας Ιατρικών
Οργάνων*

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ - ΑΘΗΝΑΣ

(Σε συνεργασία με το Δίκτυο Υπερηχογραφίας)

[e-mail:kandarakis@teiath.gr](mailto:kandarakis@teiath.gr)

Φύση των Υπερήχων

- Ηχητικό κύμα: Διάδοση μηχανικών ταλαντώσεων σε υλικό μέσο
- Υπέρηχοι : ηχητικά κύματα συχνότητας μεγαλύτερης των 20kHz
- Ιατρική Απεικόνιση: Υπέρηχοι συχνότητας μερικών MHz

Τύποι κυμάτων

- Εγκάρσια κύματα: τα μόρια του υλικού μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.
- Διαμήκη κύματα: τα μόρια του υλικού μέσου ταλαντώνονται παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Διαμήκη κύματα

- Στην υπερηχογραφία, τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη.

(οι βιολογικοί ιστοί, εκτός του οστικού, έχουν μέση ή υψηλή περιεκτικότητα σε νερό με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται ως ρευστά στα οποία ευνοούνται οι διαμήκεις ταλαντώσεις).

Μηχανικό μοντέλο διάδοσης κύματος



Κυματικά φαινόμενα

➤ Οι υπέρηχοι συμμετέχουν σε όλα τα γνωστά κυματικά φαινόμενα και υπακούουν σε όλους τους νόμους που τα διέπουν :

- Διάδοση, ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση, σκέδαση, Doppler, απορρόφηση, εξασθένηση, εστίαση.

Χαρακτηριστικά κυμάτων & υλικών

Φυσικό Μέγεθος

- Συχνότητα (f)
- Περίοδος (T)
- Μήκος κύματος ($\lambda = c/f$)
- Ταχύτητα διάδοσης (c)
- Ένταση (I)
- Ακουστική Εμπέδηση (Z)*

Μονάδα Μέτρησης

- Hz
- sec
- mm
- mm/sec
- Watts/cm²
- kgr/m²sec, ή rayl

*αναφέρεται και ως ακουστική αντίσταση

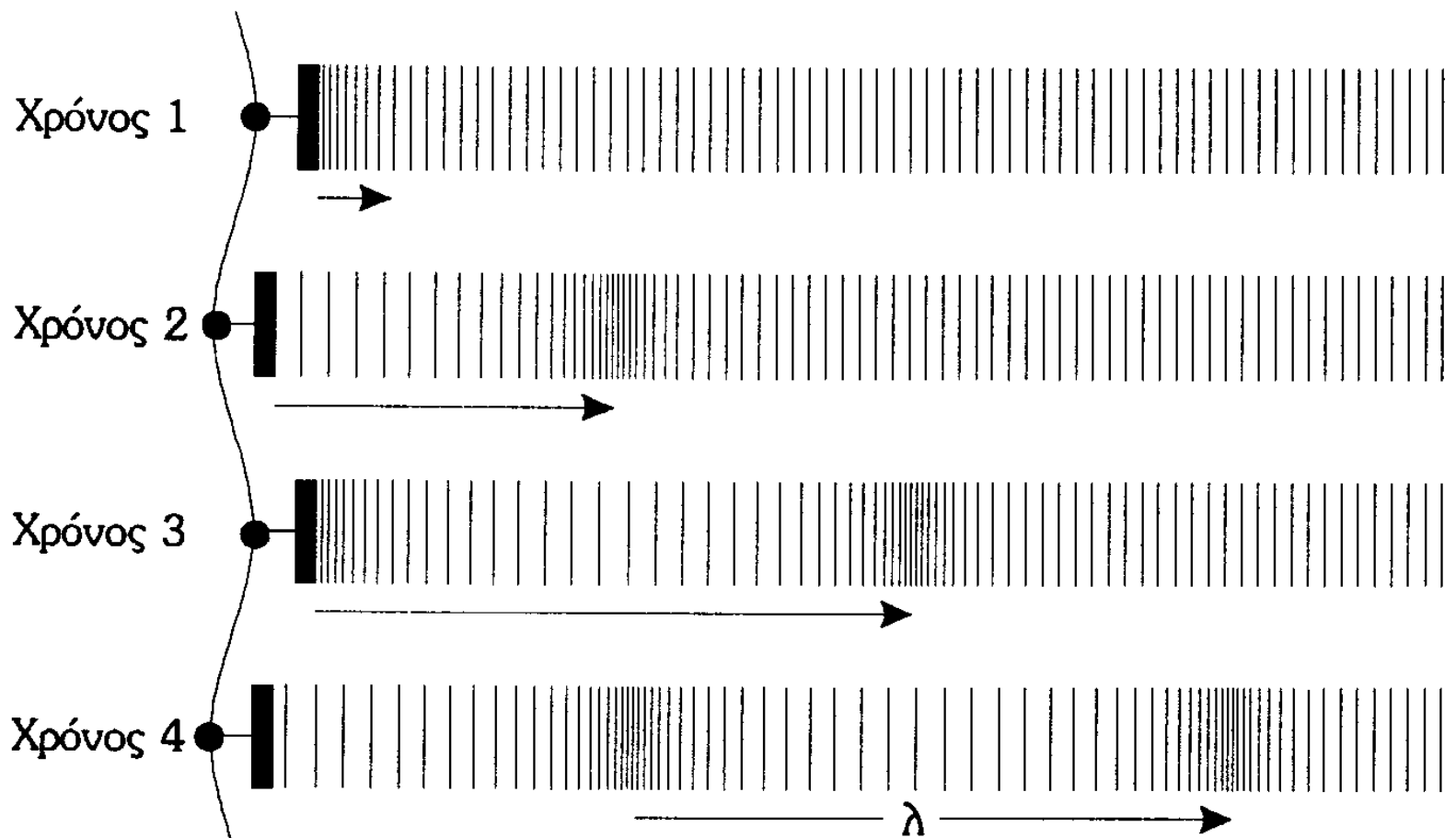
Διάδοση υπερήχων

- Οδεύοντα μηχανικά κύματα
(*Δεν διαδίδονται στο κενό*).
- Πυκνώματα και αραιώματα στο υλικό μέσα στο οποίο διαδίδονται.
- Ταχύτητα διάδοσης (c):

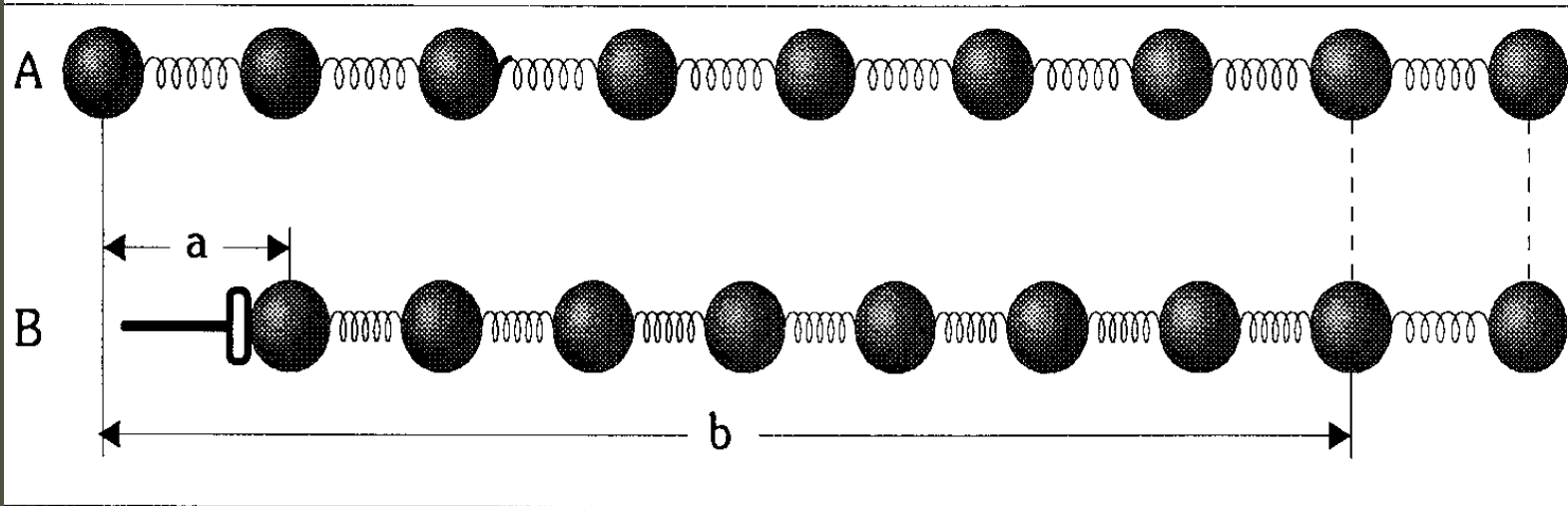
$$c=[K/\rho_0]^{1/2}$$

K: μέτρο ελαστικότητας, ρ_0 : πυκνότητα ηρεμίας

Διάδοση υπερήχων (πυκνώματα-αραιώματα)



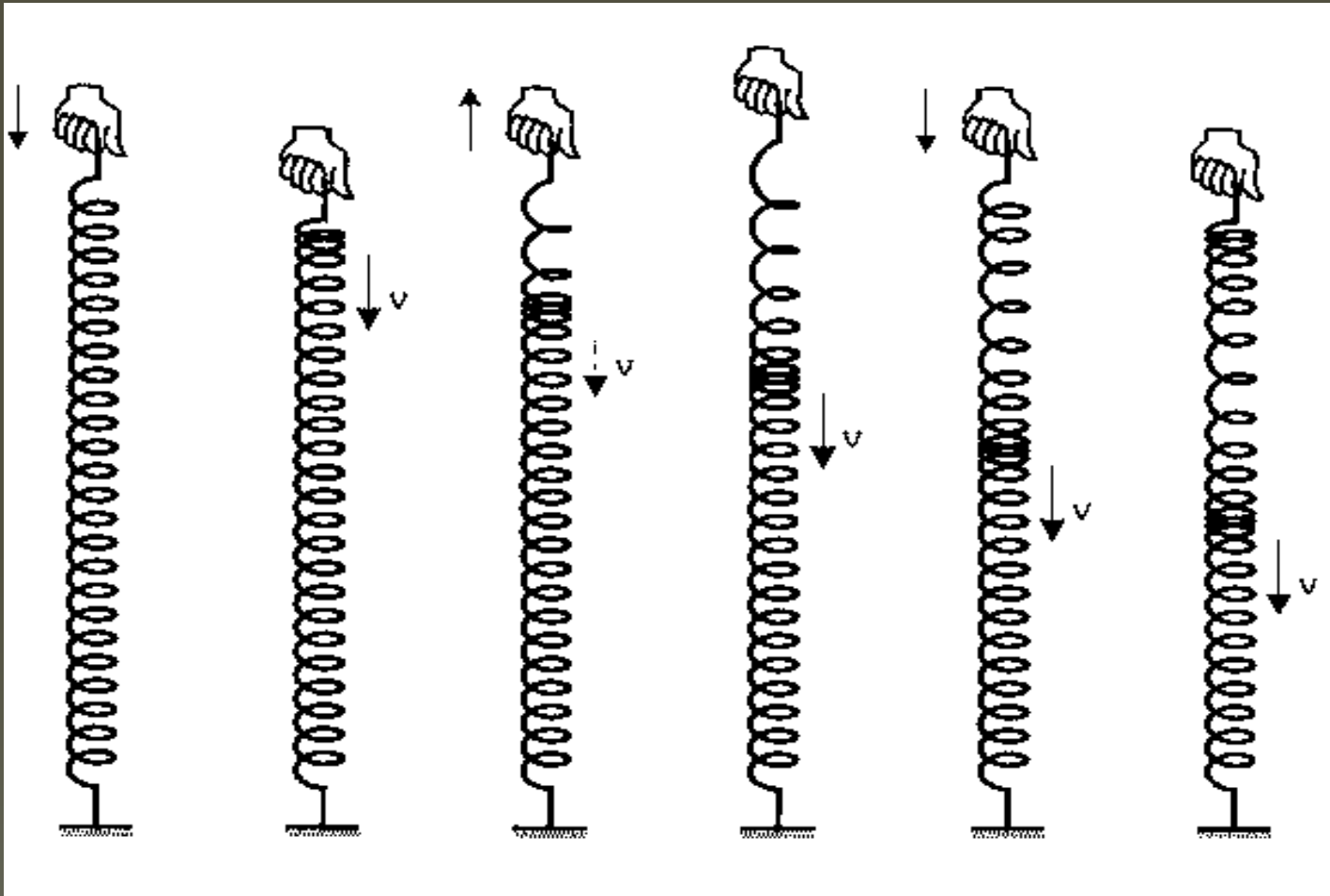
Μηχανικό πρότυπο διάδοσης υπερήχων στους ιστούς



- Τα μόρια του υλικού θεωρούνται ως σφαιρίδια συνδεδεμένα με ελατήρια.
- Η άσκηση δύναμης σε ένα από τα σφαιρίδια παρασύρει και τα υπόλοιπα σε κίνηση.

Διάδοση υπερήχων

(συμπίεση-έκταση ελατηρίου)



Ανάκλαση - Διάθλαση

(υπό γωνία)

Προσπίπτουσα
δέσμη

ρ_1
 c_1
 Z_1

θ_i

θ_r

Ανακλώμενη
δέσμη

ρ_2
 c_2
 Z_2

θ_t

Διαθλώμενη-
Μεταδιδόμενη
δέσμη

ρ : πυκνότητα υλικού

C : ταχύτητα ήχου

Z : ακουστική εμπέδηση

Ανάκλαση-Διάθλαση-Μετάδοση (κάθετη)

$$R_I = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

R_I : η ανακλώμενη ένταση
των υπερήχων

$$T_I = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

T_I : η μεταδιδόμενη ένταση
των υπερήχων



$$R_I + T_I = 1$$

Το άθροισμα της ανακλώμενης και μεταδιδόμενης ενέργειας
ισούται με την ενέργεια της αρχικής δέσμης

Ακουστική Εμπέδηση (Z)

- Ενδογενές φυσικό χαρακτηριστικό των ιστών.

$$Z = p/u$$

p: ακουστική πίεση (πίεση πυκνωμάτων-αραιωμάτων)

u: ταχύτητα ταλάντωσης σφαιριδίου

$$Z = \rho_0 c$$

Ακουστική εμπέδηση & Ανάκλαση

- Εάν $Z_1 = Z_2$: Ολική διάθλαση και διάδοση ήχου
- Αν $Z_1 < Z_2$ ή $Z_1 > Z_2$: Μερική ανάκλαση ήχου στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων.

Ανακλαστικές Διεπιφάνειες

Ανακλαστική Διεπιφάνεια	Ανακλαστικότητα	Ποσοστιαία Ανάκλαση (%)
Μαλακοί ιστοί - Νερό	0,0025	0,25
Λίπος - Νεφρά	0,0064	0,64
Μύες - Αίμα	0,007	0,74
Λίπος - Μύες	0,01	1,08
Οστά - Μύες	0,410	41,00
Οστά - Λίπος	0,476	47,60
Μαλακοί ιστοί - Κρύσταλλος PZT 5	0,792	79,20
Μαλακοί ιστοί - Αέρας	0,999	99,90

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.

Σκέδαση

➤ Σε ανομοιογενές σώμα

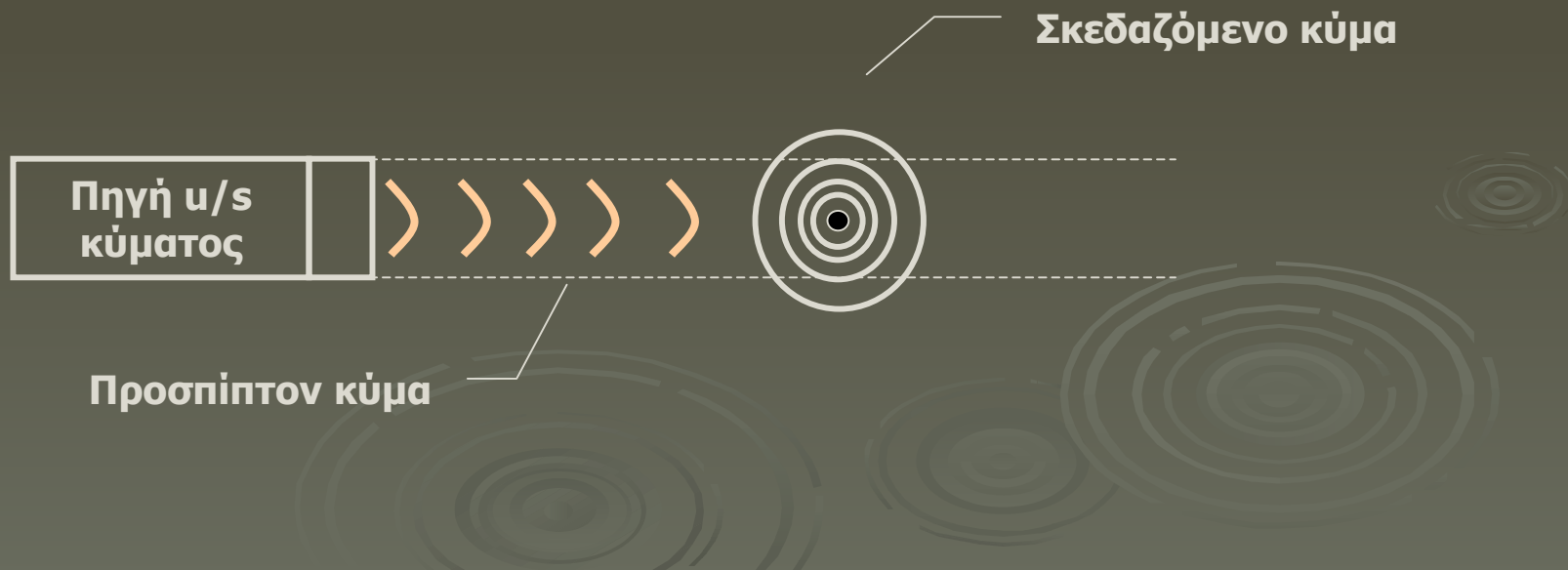
Όταν το υλικό εμφανίζει ανομοιογένειες (διαφοροποίηση πυκνότητας) διαστάσεων μικρότερων ή συγκρίσιμων με το μήκος κύματος του ήχου.

➤ Νόμος του Rayleigh

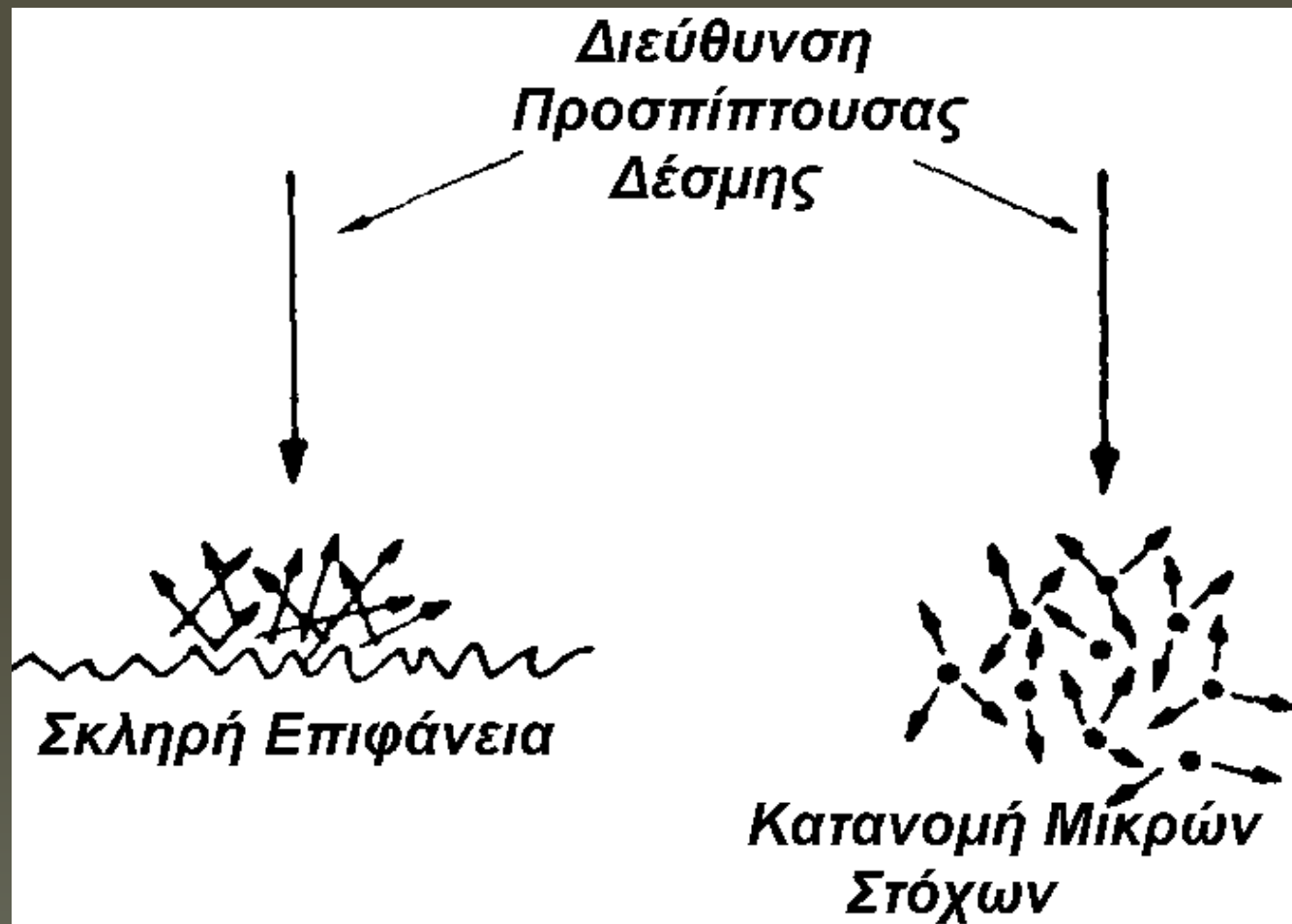
$$I_s \sim r^6 f^4$$

I_s : ένταση σκεδαζόμενου κύματος, r : ακτίνα σωματιδίου ή ανομοιογένειας, f : συχνότητα ήχου

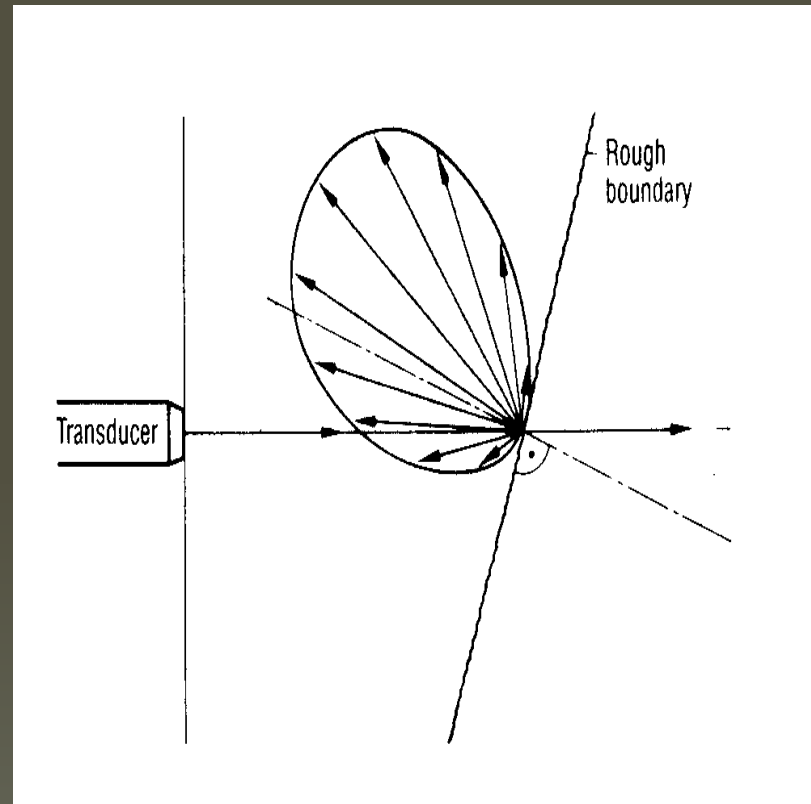
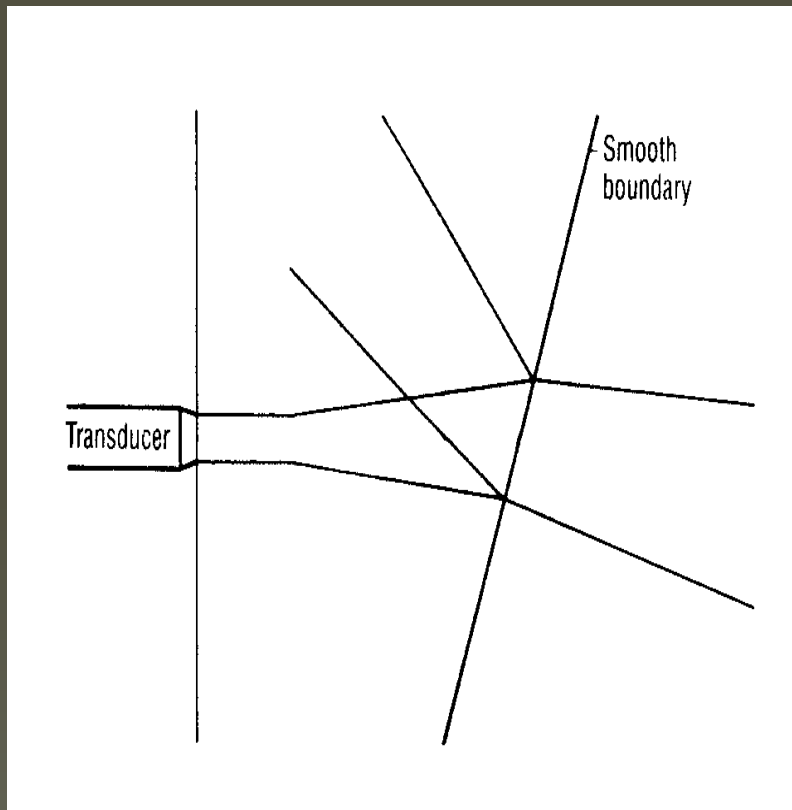
Σκέδαση



Σκέδαση



Ανάκλαση-Σκέδαση



Ανάκλαση, Διάθλαση & Σκέδαση

➤ Ανάκλαση-Διάθλαση

Συμβάλλουν στην απεικόνιση του περιγράμματος των ανατομικών δομών

- Το μήκος κύματος των υπερήχων είναι πολύ μικρό σε σχέση με τις διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών

(προκαλούνται σφάλματα απεικόνισης γεωμετρικής φύσης)

➤ Σκέδαση

Συμβάλλει στην απεικόνιση της εσωτερικής υφής (παρέγχυμα) των ανατομικών δομών.

- Οι διαστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών και των ανωμαλιών είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος των υπερήχων

Συμβολή

Όταν δύο κύματα συναντώνται στο χώρο.

- *A/ Εποικοδομητική ή ενισχυτική συμβολή (άθροιση κυμάτων)*
- *B/ Καταστρεπτική ή αποσβεστική συμβολή (αφαίρεση 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

Απορρόφηση Υπερήχων

➤ Μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε μηχανική

A/ Συχνότητα

B/ Ιξώδες

Γ/ Μηχανισμοί χαλάρωσης

$$I(x) = I_0 \exp[-\alpha_A x]$$

I : ένταση ήχου, α_A : συντελεστής απορρόφησης

Απορρόφηση

➤ Συντελεστής απορρόφησης και συχνότητα

Υλικό	Συντελεστής απορρόφησης στο 1MHz (dBcm ⁻¹)	Εξάρτηση του συντελεστή απορρόφησης από τη συχνότητα
Αλουμίνιο	0,018	1
Νυχνηνβ ερό	0,002	2
Αίμα	0,1	1,3
Λίπος	0,6	1
Αέρας	1,2	2
Οστά	10	1,5
Πνεύμονες	40	0,6

Αποτελέσματα των φαινομένων

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



- Σταδιακή μείωση πλάτους και έντασης των υπερήχων

Εξασθένηση

➤ Ελάττωση έντασης

➤ Συντελεστής Εξασθένησης (α)

Εξασθένηση υπερήχων ανά μονάδα απόστασης (dB/cm)

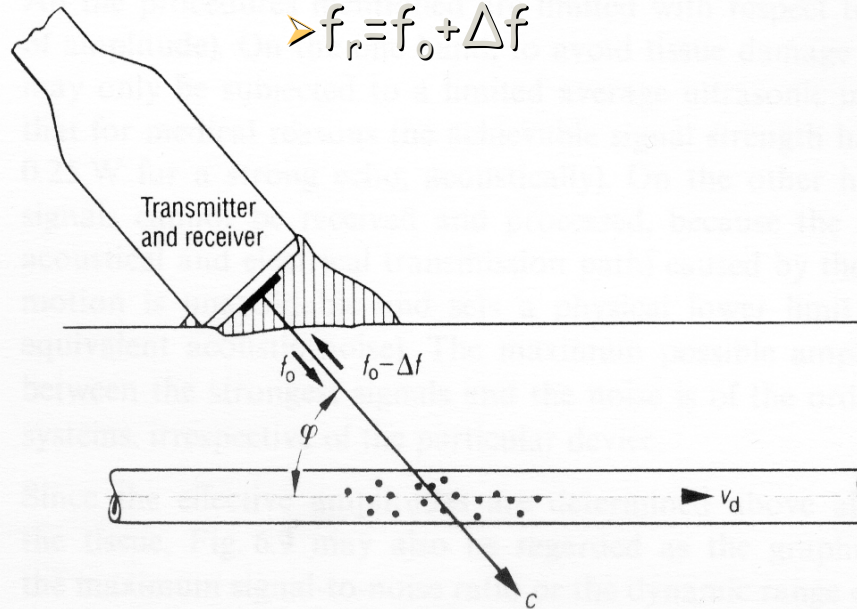
$$A = A_0 \exp(-\alpha z), \text{ (όπου: } \alpha = \alpha_s + \alpha_A \text{)}$$

Για βιολογικούς ιστούς: $A(\text{dB}) = \alpha d = 0.5 f d$

Φαινόμενο Doppler

$$\triangleright \Delta f = (2Vf_0 \cos \Theta) / c$$

$$\triangleright f_r = f_0 + \Delta f$$



Όταν η ηχητική δέσμη προσπίπτει σε ένα αντικείμενο που κινείται σε σχέση με την πηγή των υπερήχων, το κύμα που επιστρέφει στην πηγή / δέκτη έχει ελαφρά μετατοπισμένη συχνότητα.

Διακριτική Ικανότητα

➤ Διακριτική ικανότητα

Η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να απέχουν δύο γειτονικά σημειακά αντικείμενα ώστε να είναι δυνατή η διάκρισή τους στην εικόνα.

➤ Αξονική διακριτική ικανότητα

Διάκριση κατά μήκος της δέσμης (ανάλογη της συχνότητας)

➤ Πλευρική ή πλάγια διακριτική ικανότητα

Διάκριση κάθετα στη διεύθυνση της δέσμης (αντιστρόφως ανάλογη του εύρους της δέσμης, εξαρτάται από τη συχνότητα).

Διείσδυση κυμάτων

- Υψίσυχνα ηχητικά κύματα εξασθενούν περισσότερο από ότι τα ηχητικά κύματα χαμηλών συχνοτήτων.

Το βάθος διείσδυσης στους ιστούς μειώνεται στις υψηλές συχνότητες.

- 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 .

Συχνότητα και ποιότητα εικόνας

Στις εφαρμογές της ιατρικής απεικόνισης

- Η εξασθένηση επιβάλλει τη χρήση όσο το δυνατόν χαμηλότερης συχνότητας.
- Η διακριτική ικανότητα απαιτεί τη χρήση όσο το δυνατόν υψηλότερης συχνότητας.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

- Φαινόμενα που καθορίζουν το σχηματισμό εικόνας:

ανάκλαση, σκέδαση, απορρόφηση

- Στους υποηχοϊκούς ιστούς η ανάκλαση και η σκέδαση είναι ασθενέστερες απ' ότι στους γειτονικούς. Στους υπερηχοϊκούς ιστούς η σκέδαση είναι ισχυρότερη.



ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΒΟΛΕΑ και ΤΟΥ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- Ι. ΚΑΝΔΑΡΑΚΗΣ
- Σ. ΤΣΑΝΤΗΣ

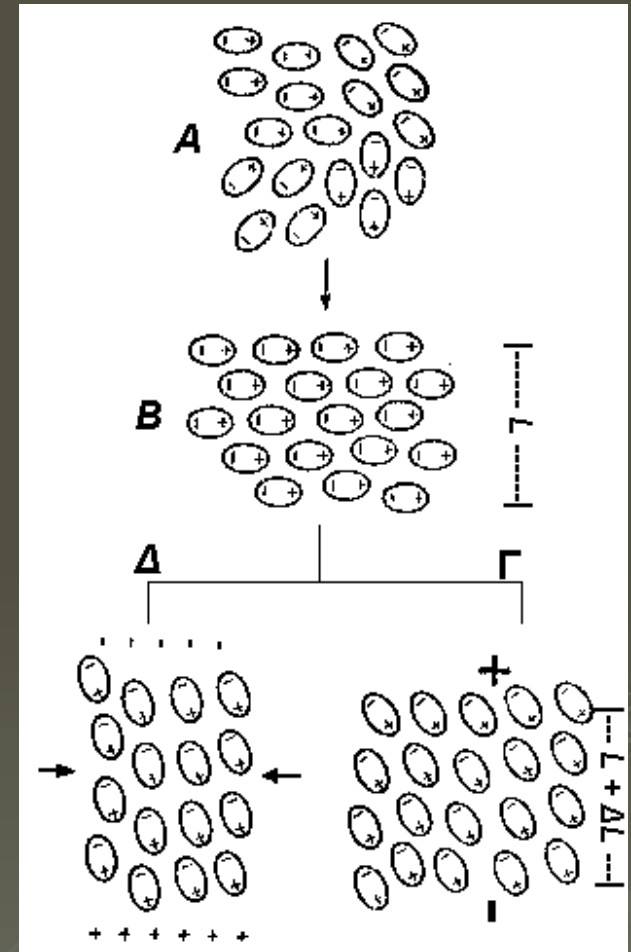
- *Τμήμα Τεχνολογίας Ιατρικών Οργάνων*
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ -ΑΘΗΝΑΣ
- (Σε συνεργασία με το Δίκτυο
Υπερηχογραφίας)
- e-mail: kandarakis@teiath.gr

Παραγωγή & Ανίχνευση Υπερήχων

- ✓ Η παραγωγή και η ανίχνευση υπερήχων βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (μηχανισμός μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντιστρόφως)
- ✓ Για την εκπομπή και ανίχνευση ηχητικών κυμάτων με πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται το κράμα Τιτανίου-Ζirkονίου-Μολύβδου-PZT

Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

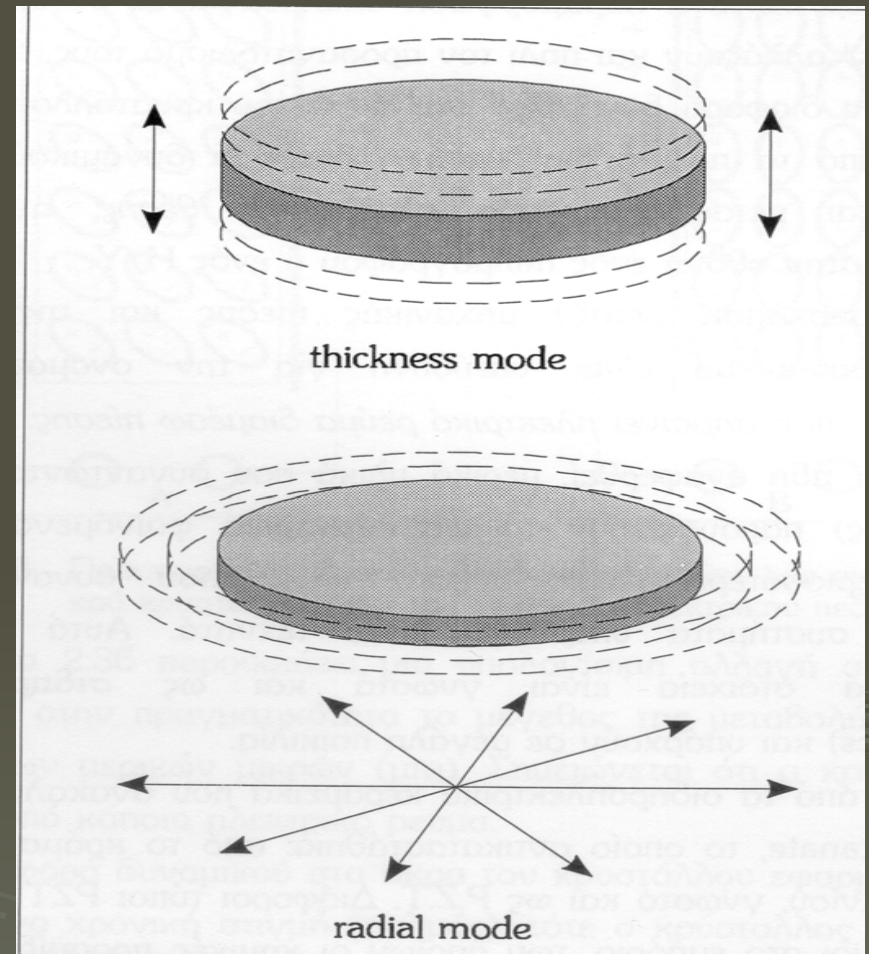
- ✓ Στο PZT δημιουργούνται περιοχές στις οποίες σχηματίζονται ηλεκτρικά δίπολα προσανατολισμένα σε καθορισμένη κατεύθυνση.
- ✓ Όταν το PZT συμπιέζεται, στην επιφάνεια του αναπτύσσονται ηλεκτρικά φορτία. Επίσης όταν στο PZT εφαρμοσθεί ηλεκτρική τάση παρουσιάζονται μηχανικές δονήσεις (διόγκωση, συμπίεση)



Δονήσεις PZT

➤ Δόνηση κατά πάχος

➤ Ακτινική δόνηση

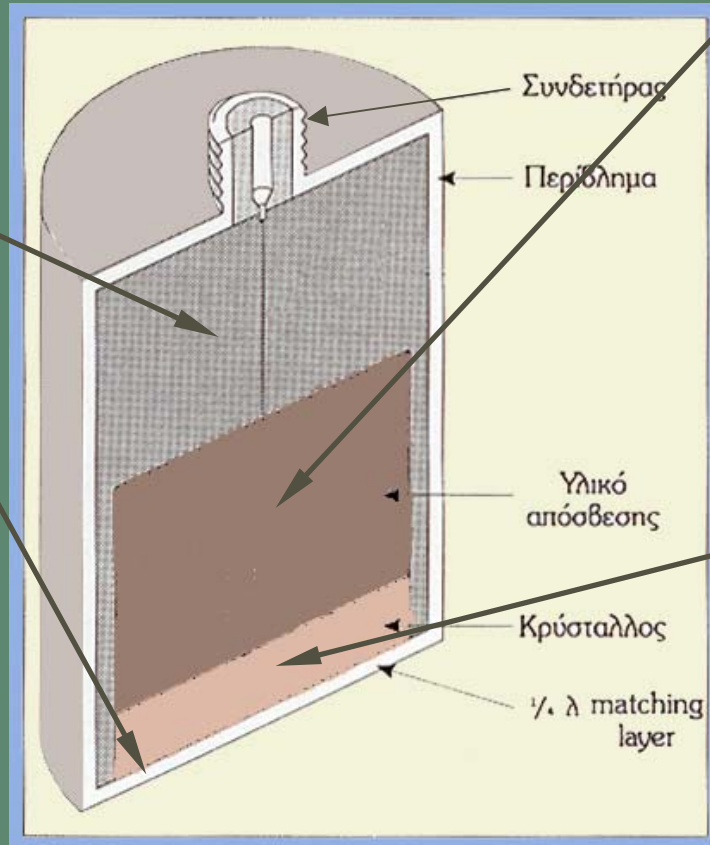


Τομή ηχοβολέα

Μοντέλο ιδανικού ηχοβολέα με έναν κρύσταλλο.

Ηχομονωτικό υλικό

Προσαρμογή $\frac{1}{4} \lambda$:
Στόχο έχει την καλύτερη μεταφορά του ηχητικού κύματος από τον κρύσταλλο στο σώμα του ασθενούς (σε συνεργασία με το gel)



Αποσβεστικό υλικό με:
 $Z_{\text{backing material}} = Z_{\text{PZT}}$

Σκοπός:

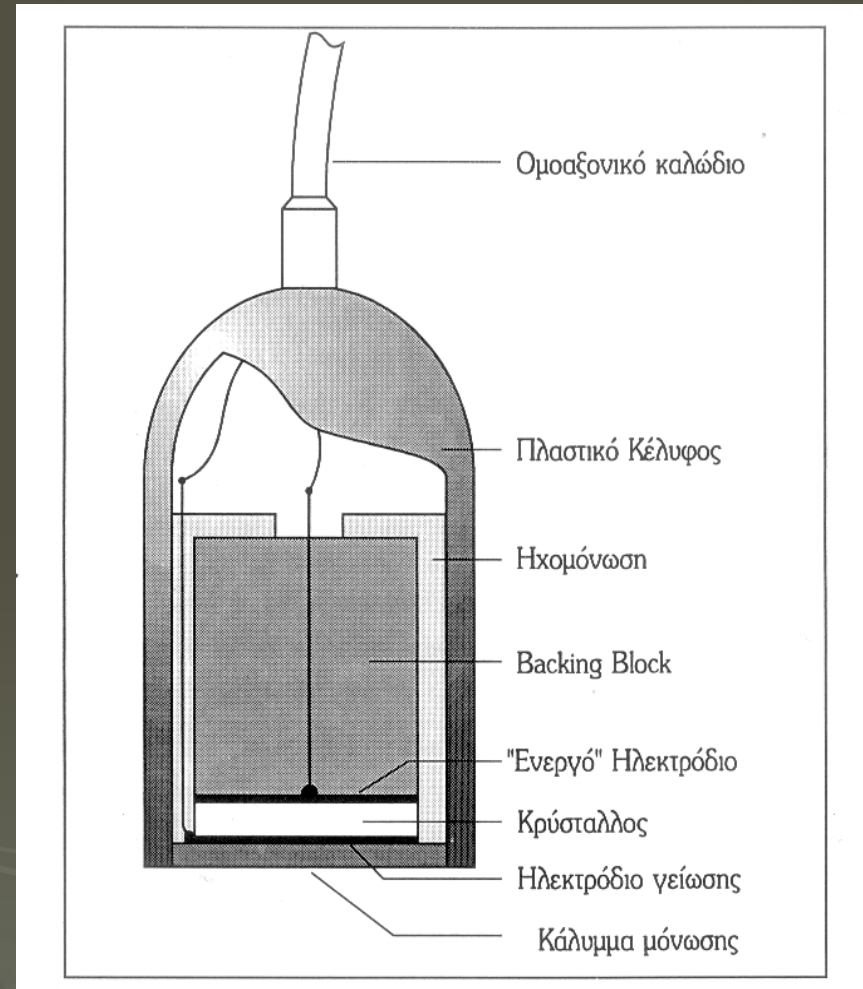
A. Συντόμευση χρόνου ταλάντωσης PZT (προετοιμασία λήψεως ανακλάσεων)

B. Απορρόφηση εσωτερικά ανακλώμενων κυμάτων

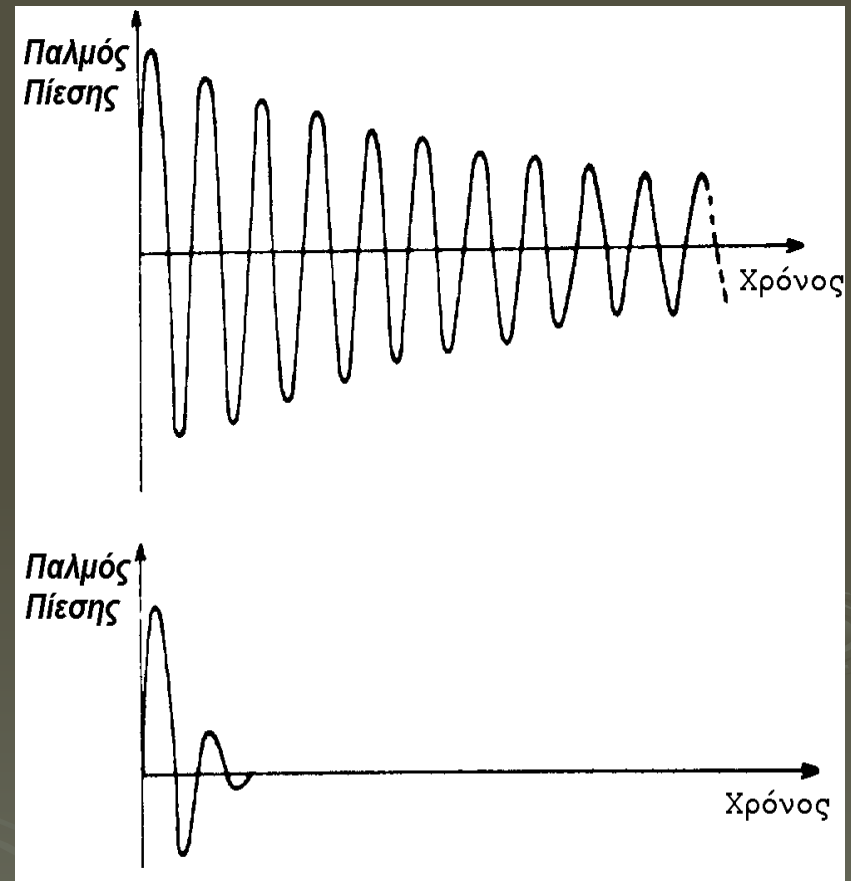
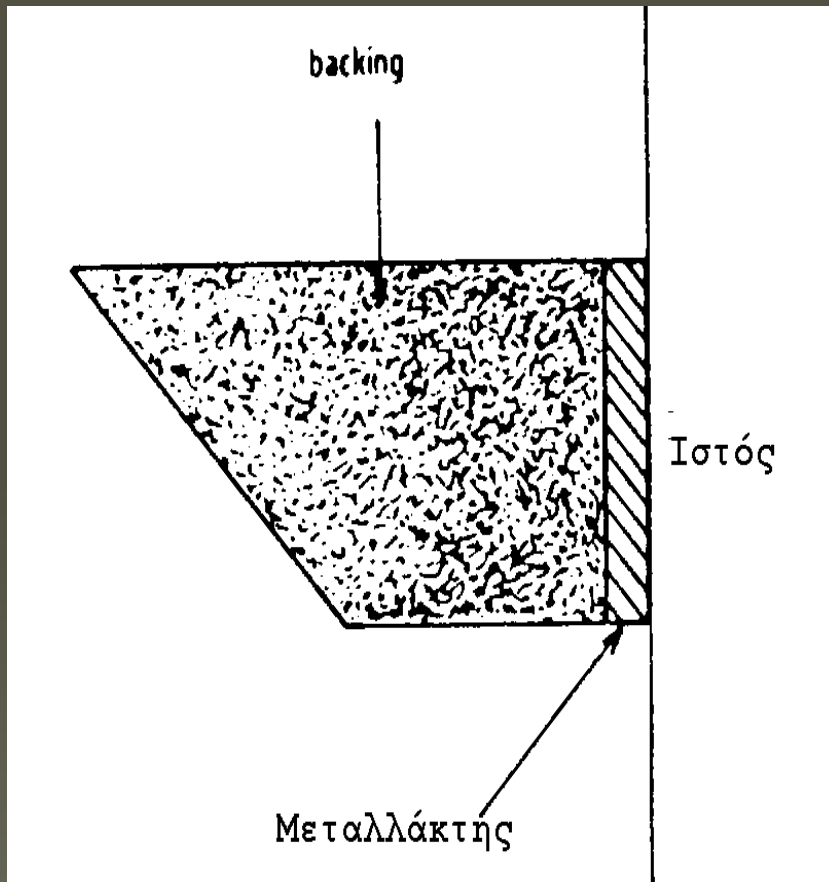
Ειδικός πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος από PZT (PZT-4, PZT-5A) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τις διαστάσεις του αν εφαρμοσθεί ηλεκτρική τάση στα άκρα του.

Δομή απλού ηχοβολέα

- Ο κρύσταλλος PZT δονείται ύστερα από κατάλληλη διέγερση μέσω ηλεκτρικού παλμού.
- Στη βάση του κρυστάλλου ευρίσκεται ειδικό αποσβεστικό υλικό (backing block) που ελαττώνει τη διάρκεια των δονήσεων



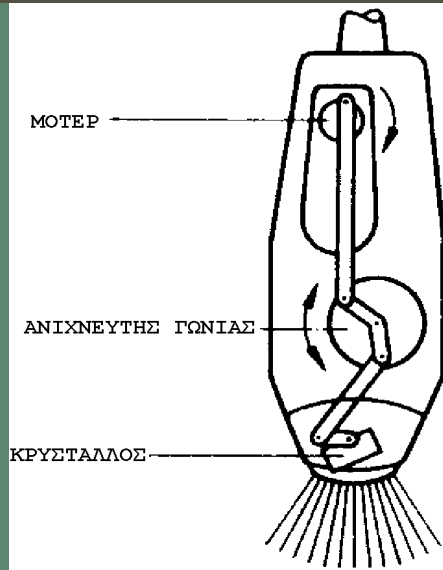
Αποσβεστικό υλικό βάσης (Backing material)



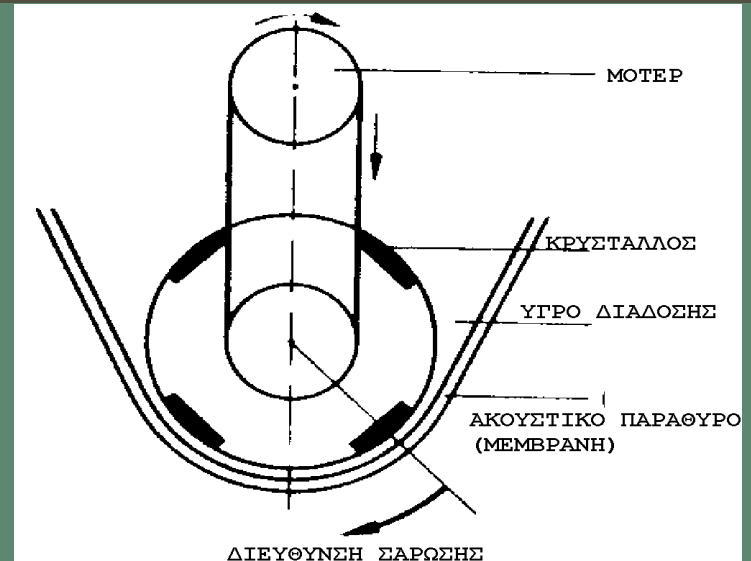
Δυναμικά συστήματα και ηχοβολείς μηχανικής σάρωσης

Μηχανική σάρωση μεγάλης ταχύτητας με δυνατότητα παραγωγής από 20 έως 60 fps.-εντοπισμός κίνησης

- Στροφική ταλάντωση κρυστάλλου PZT επιφάνεια.
- Στροφική κίνηση τροχού με πολλούς κρυστάλλους

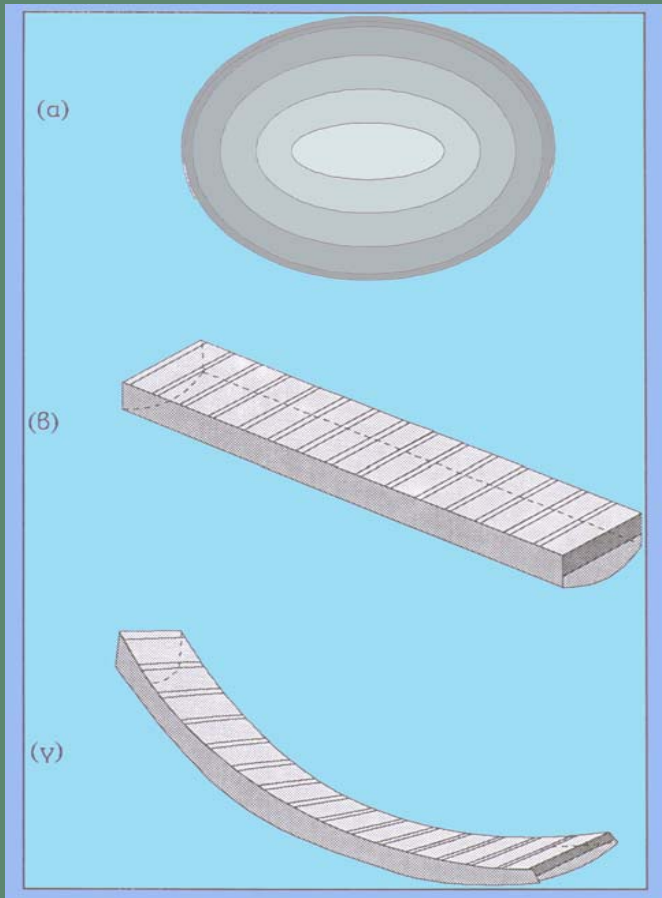


Μονοκρύσταλλος μηχανικός



Πολυκρύσταλλος μηχανικός

Δυναμικά συστήματα και ηχοβολείς ηλεκτρονικής σάρωσης



Διατάξεις ηλεκτρονικής
σάρωσης

- Η ηλεκτρονική σάρωση πλεονεκτεί, επειδή είναι ελαφρύτερη και χωρίς κινούμενα μηχανικά μέρη.

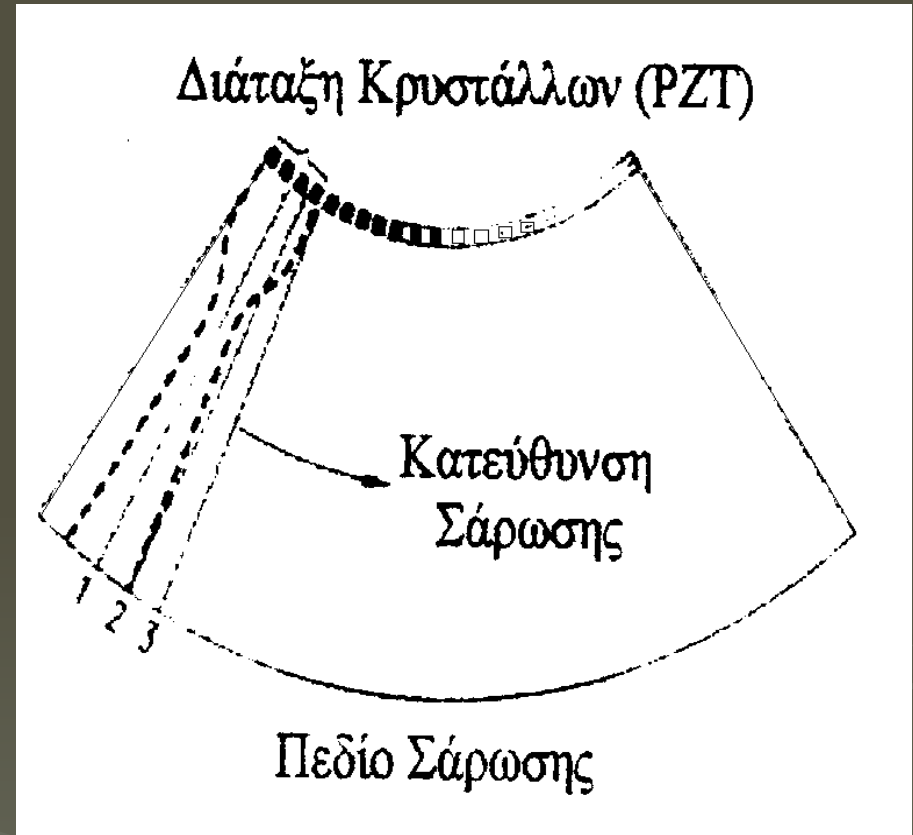
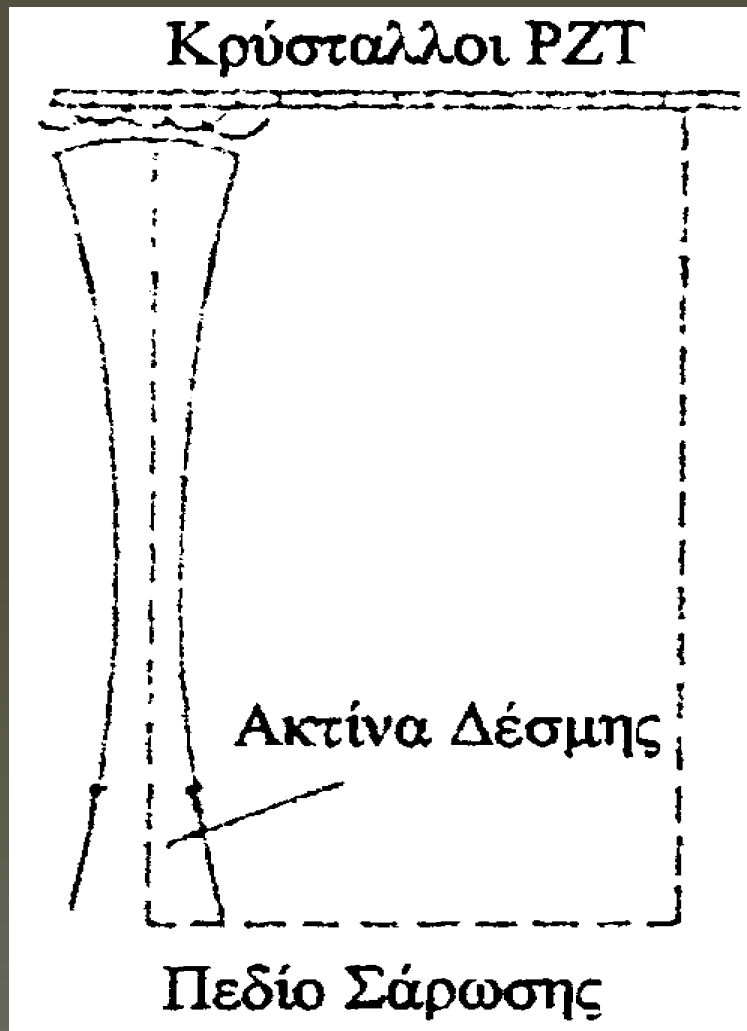
- Μορφολογία:

(α) Διατάξεις δακτυλίων

(β) Γραμμικές διατάξεις &
διατάξεις φάσης

(γ) Κυρτές διατάξεις

Γραμμικές & κυρτές διατάξεις (linear & convex arrays)



Γραμμική Διάταξη

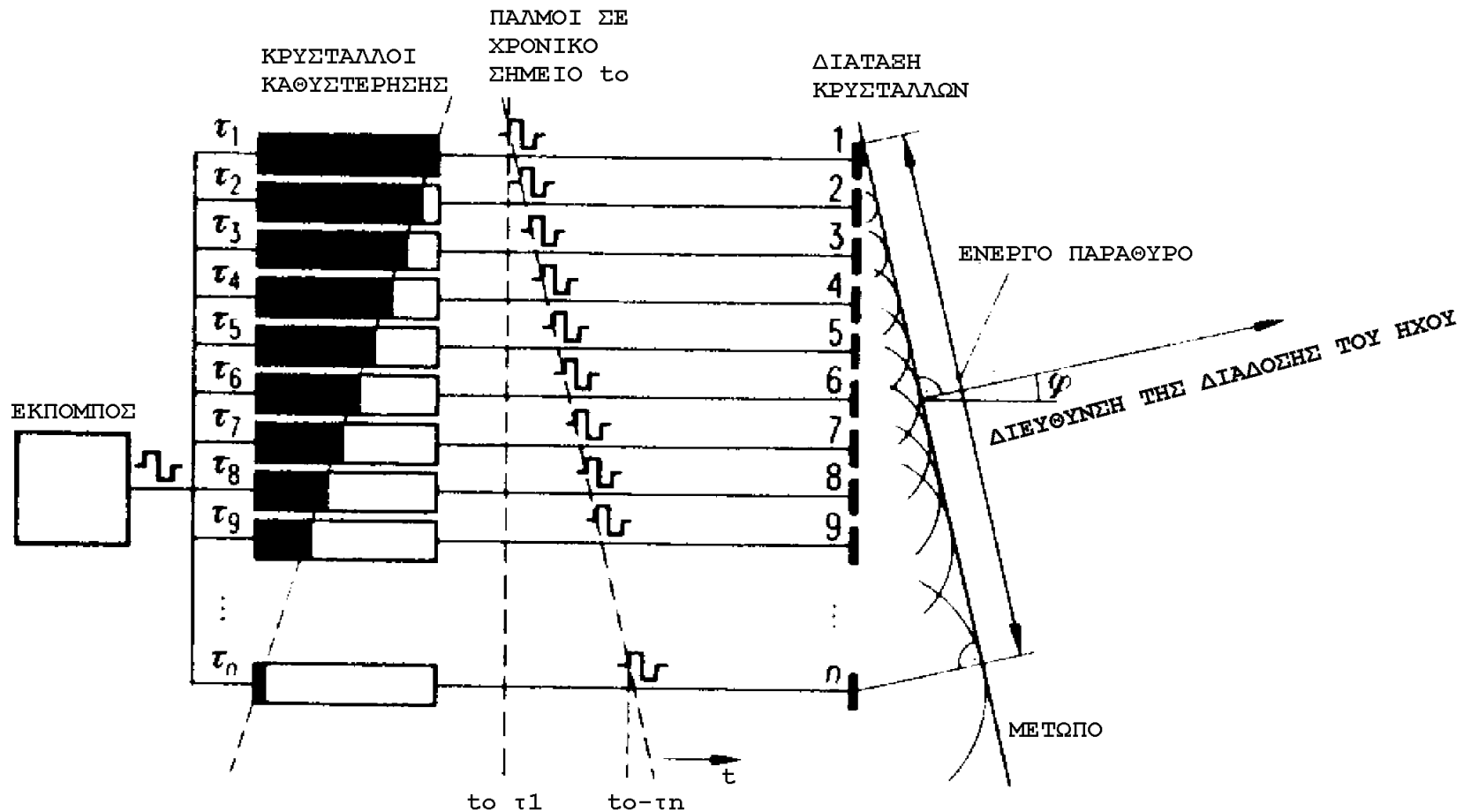


Κυρτή Διάταξη



Διατάξεις Φάσης

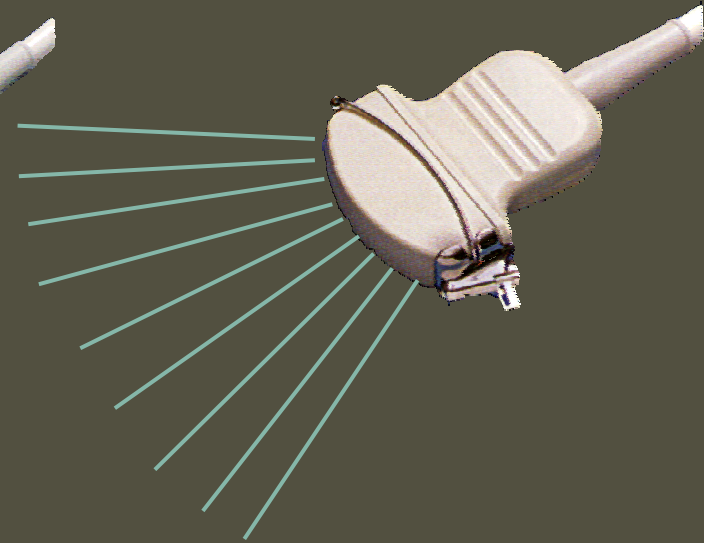
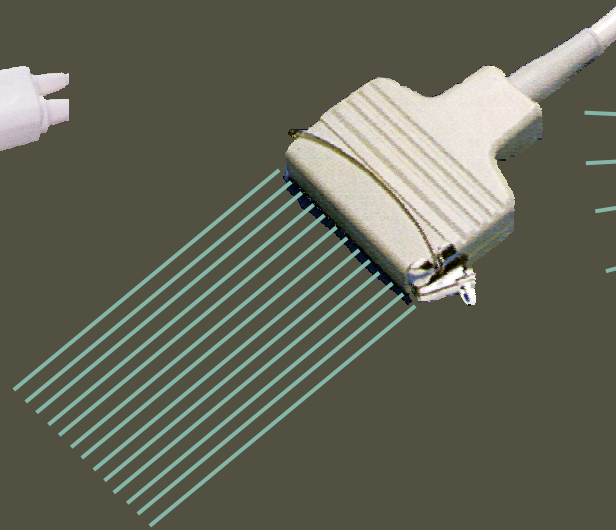
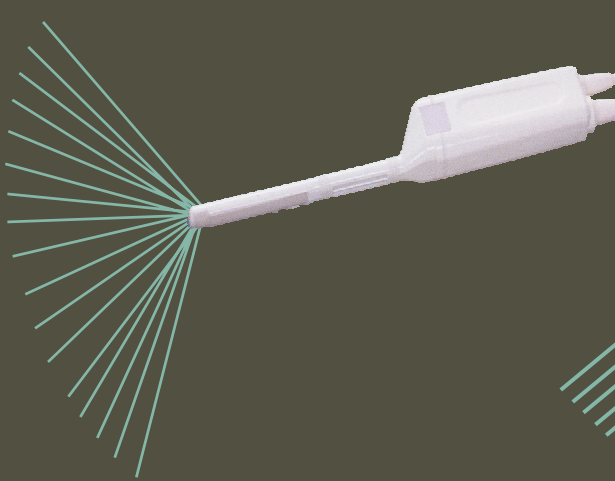
(phased arrays)



Διάταξη Φάσης



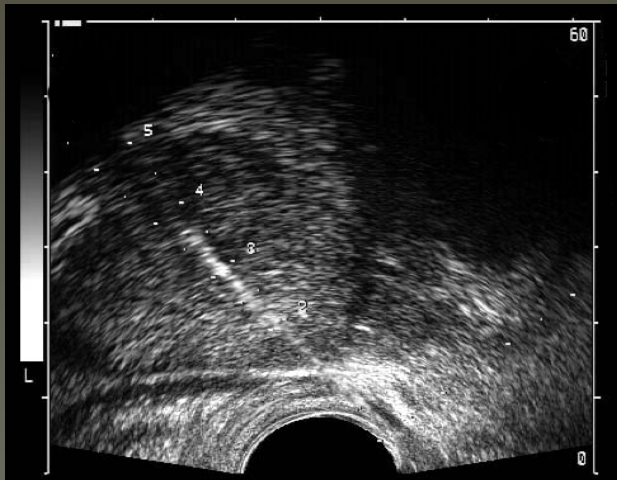
Είδη ηχοβολέων



Ενδοκοιλιοτικοί (Endocavitital)

Γραμμικός (Linear)

Κυρτός (Convex)



Τρισδιάστατη

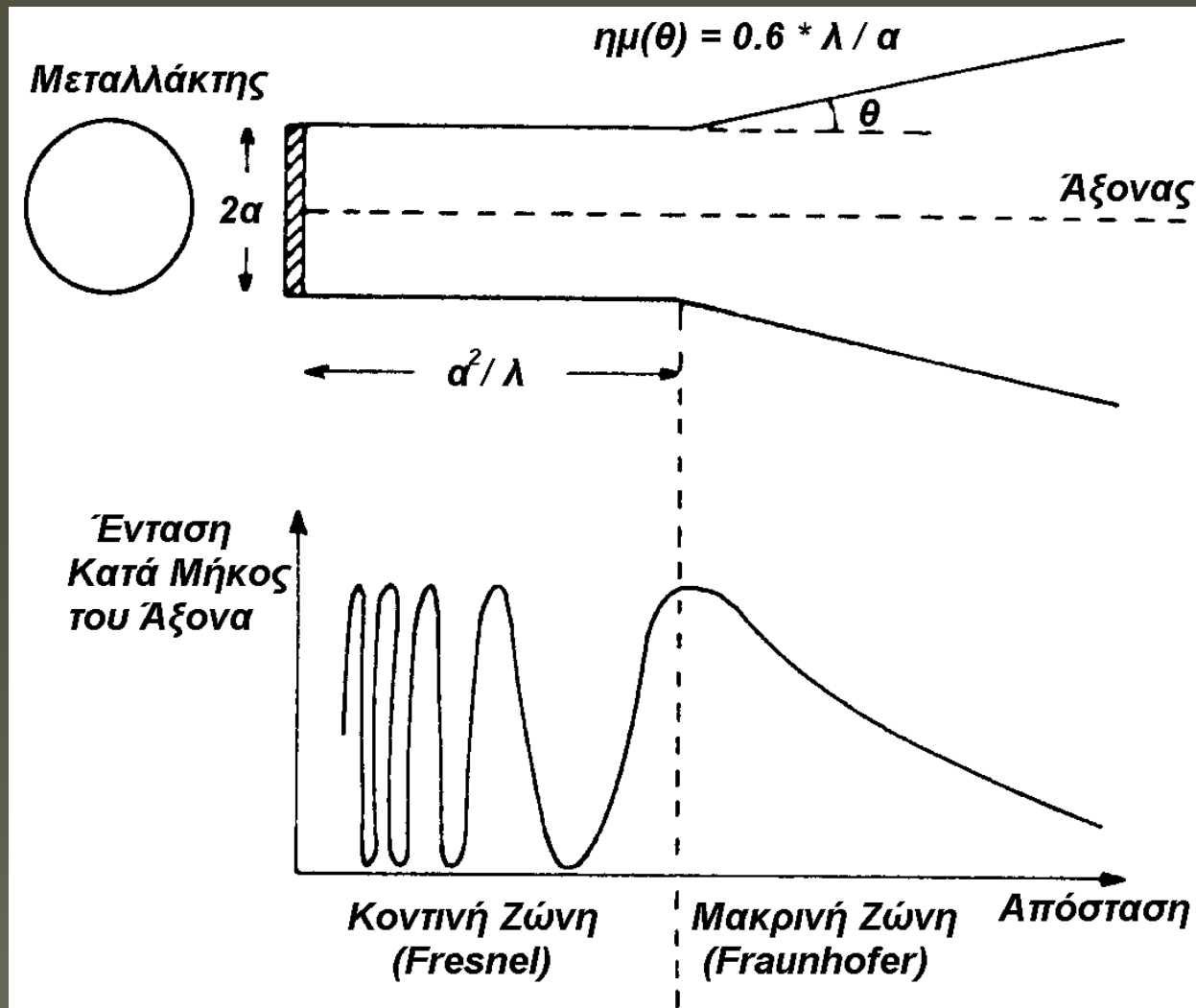


Ηχητική Δέσμη

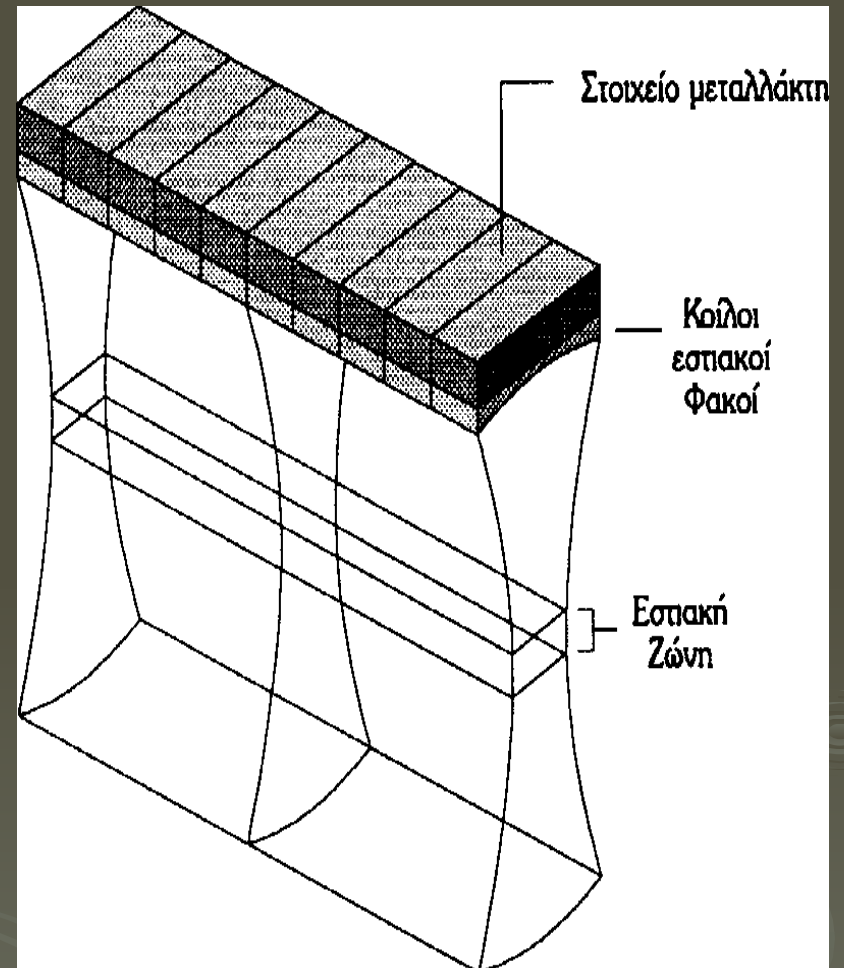
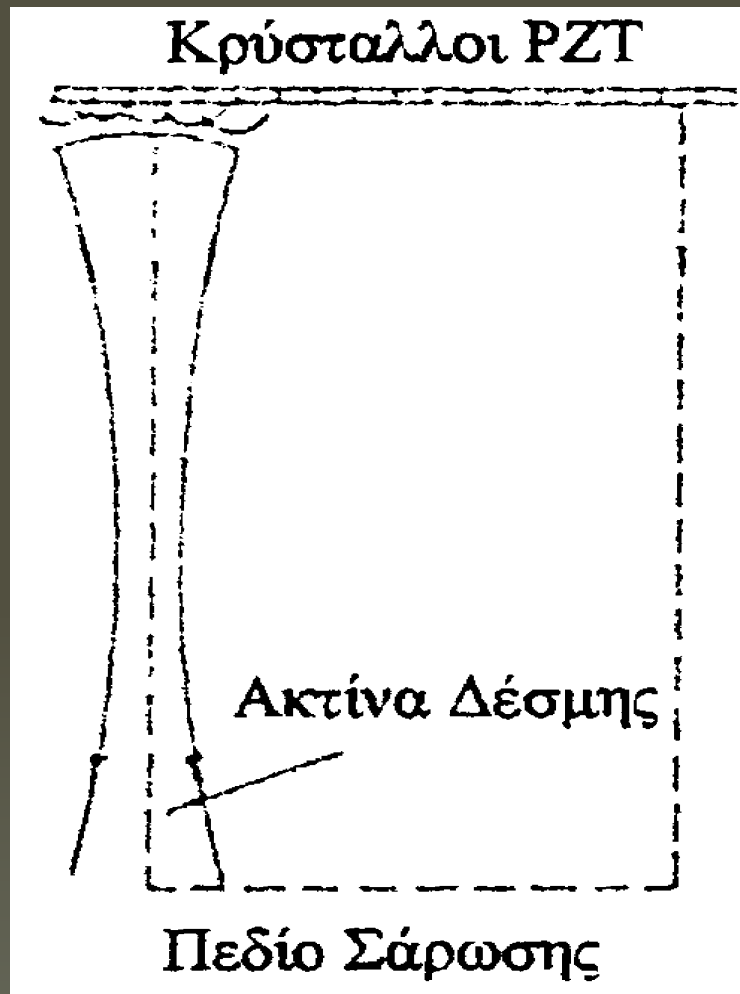
Η μη εστιασμένη ηχητική δέσμη αποτελείται από δύο τμήματα (πεδία)

- ✓ Την Εγγύς ζώνη - ζώνη Fresnel
- ✓ Την Άπω ζώνη - ζώνη Fraunhofer

Μορφή της Ηχητικής Δέσμης

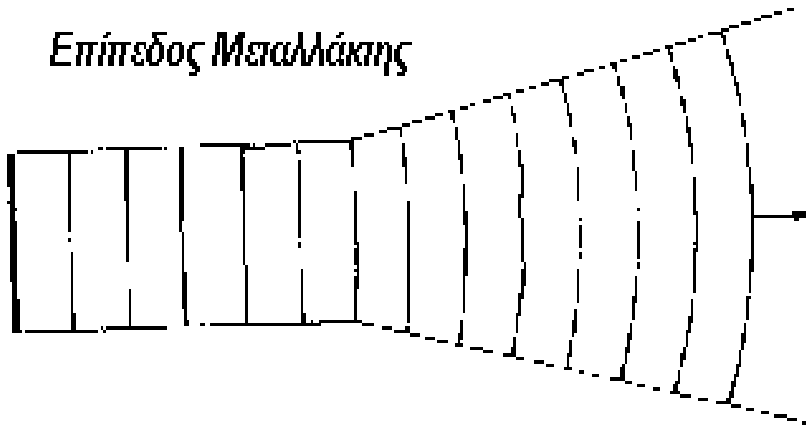


Εστιασμένη ηχητική δέσμη

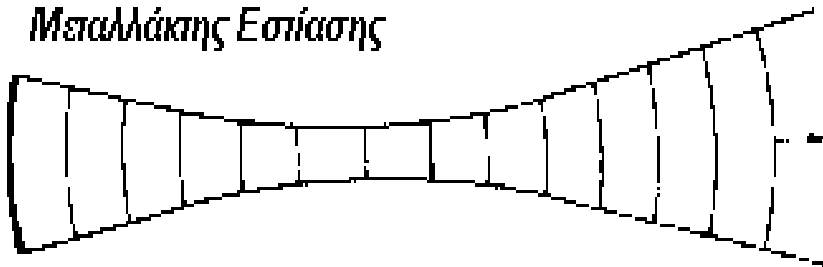


Μη εστιασμένη & Εστιασμένη δέσμη

Επίπεδος Μεταλλάκης



Μεταλλάκης Εστίασης



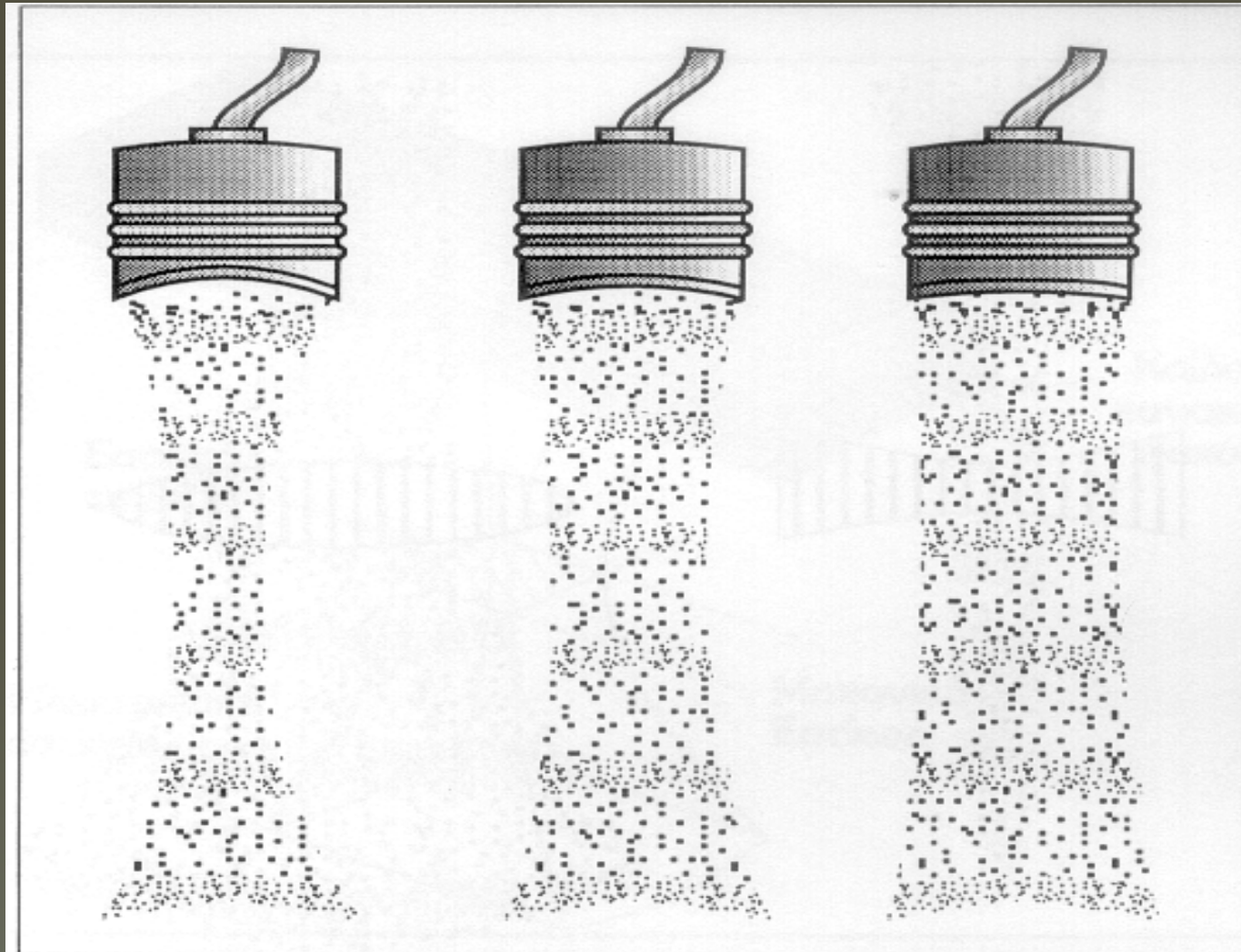
- Επίπεδη επιφάνεια εκπομπής

(χωρίς εστίαση-μέτρια πλευρική διακρ. ικανότητα)

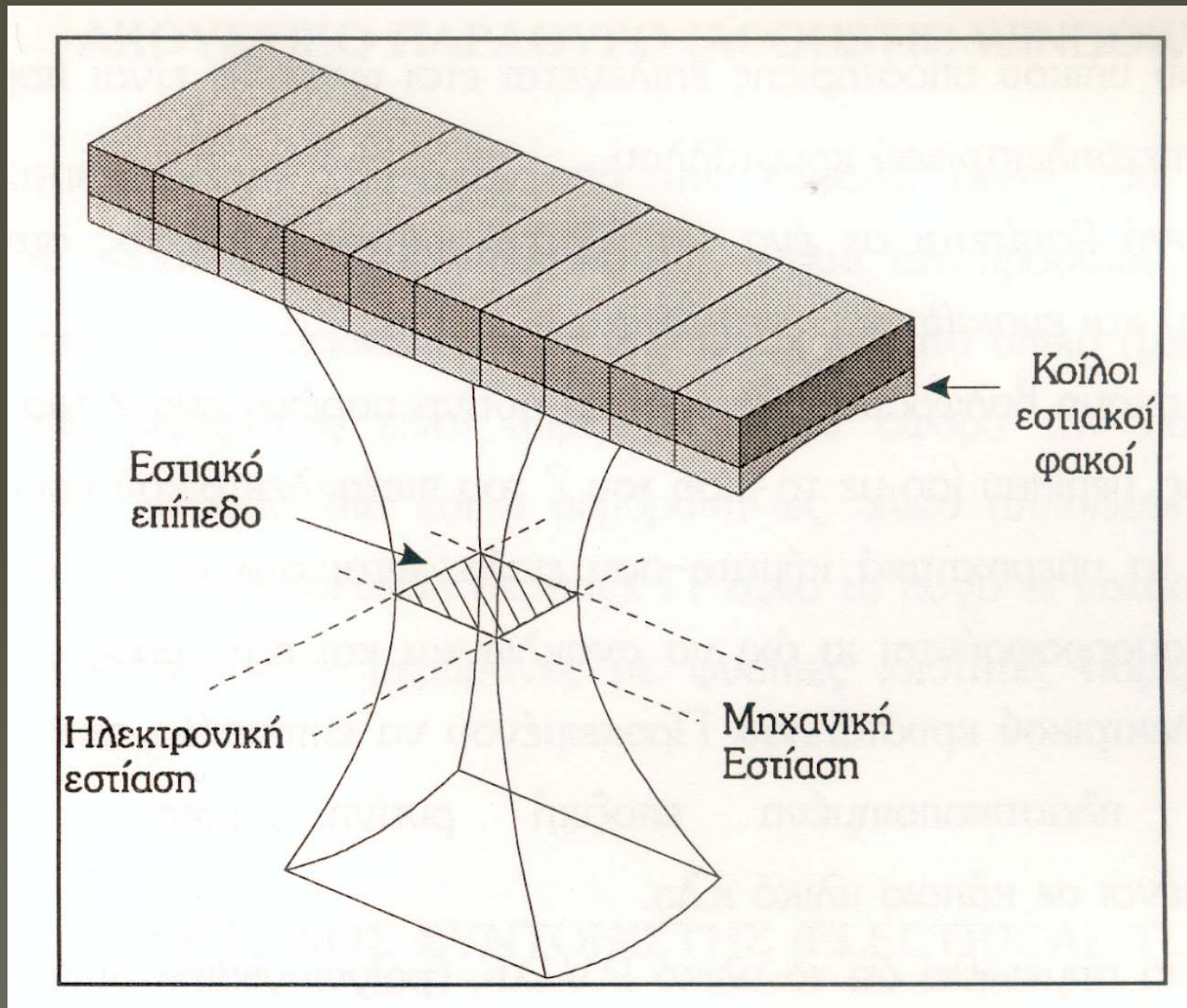
- Καμπύλη επιφάνεια εκπομπής

(με εστίαση-καλή πλευρική διακριτική ικανότητα)

Διαβάθμιση Εστίασης

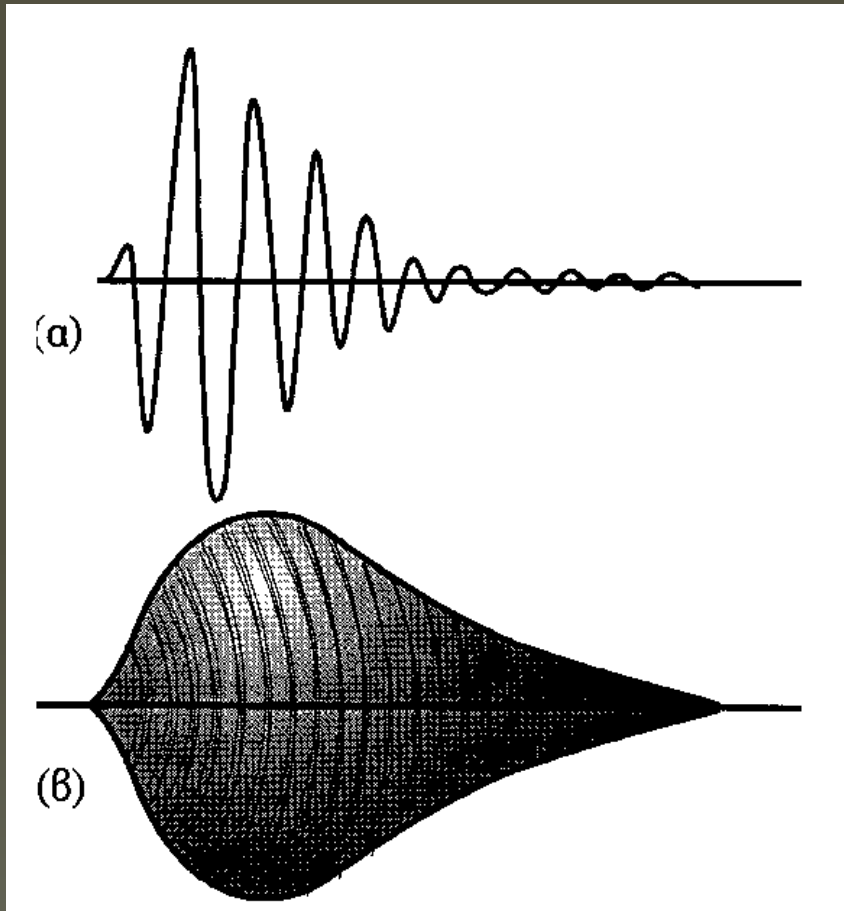


Ηλεκτρονική και Μηχανική Εστίαση



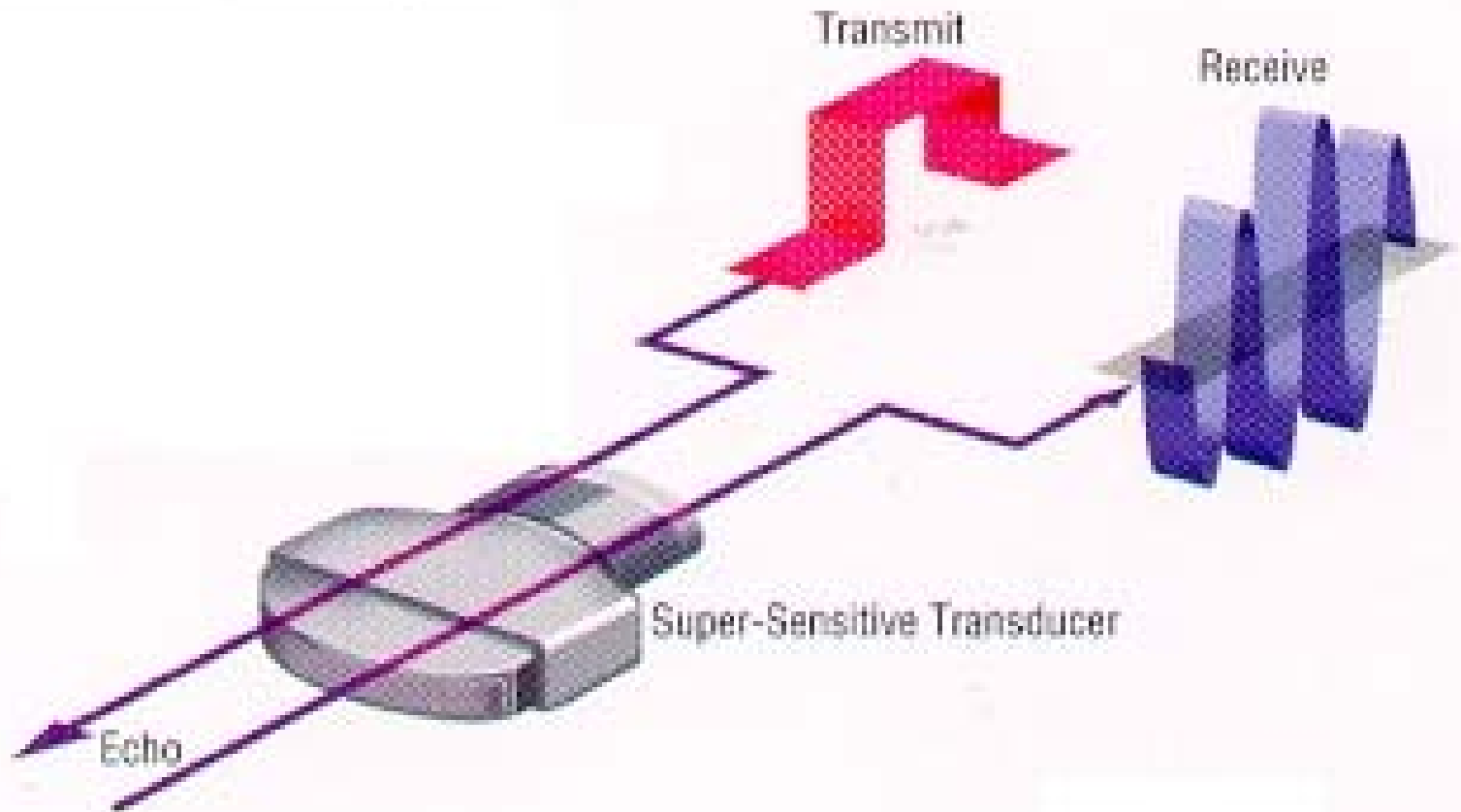
Παλμική εκπομπή

(Τεχνική «παλμός-ηχώ»)



- Εκπομπή ηχητικών παλμών
- Καταγραφή ανακλώμενων & οπισθο-σκεδαζόμενων κυμάτων στο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο παλμών

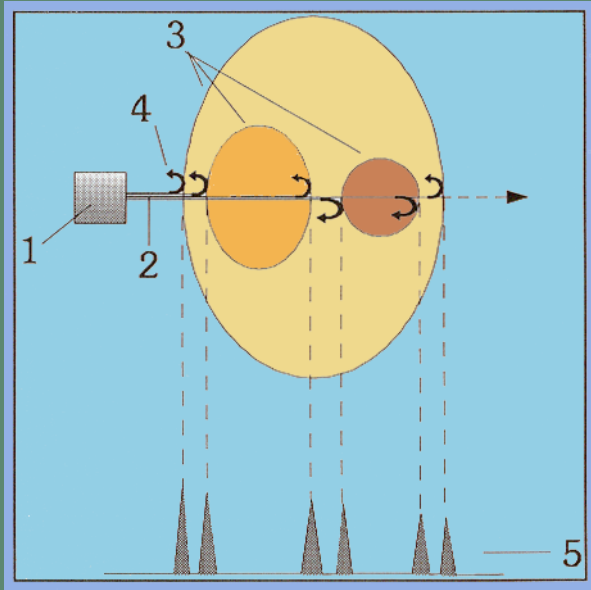
Παλμός-ηχώ



Σχηματισμός εικόνας

- Μέθοδοι απεικόνισης
 - Διαμόρφωση πλάτους (A - Mode, Amplitude Modulation)
 - Διαμόρφωση φωτεινότητας (B - Mode, Brightness Modulation)
 - Διαμόρφωση κίνησης (M - Mode, Motion Mode)

Διαμόρφωση πλάτους (A Mode)



1. Κεφαλή Υπερήχων,
2. Εκπεμπόμενη δέσμη,
3. Ηχοανακλαστικές επιφάνειες,
4. Επιστρεφόμενη Ηχώ
5. Απεικόνιση

➤ Βασικές αρχές:

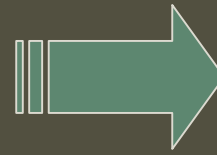
- Απεικόνιση υπό μορφή επαρμάτων (κορυφών)
- Το πλάτος (ύψος) μειώνεται σε συνάρτηση με το βάθος
- $1540 \text{ m/sec} \Rightarrow 13 \mu\text{sec}$ (για ένα πλήρη κύκλο)

➤ Ακριβής μέτρηση απόστασης

➤ Σπάνια χρησιμοποιείται σήμερα

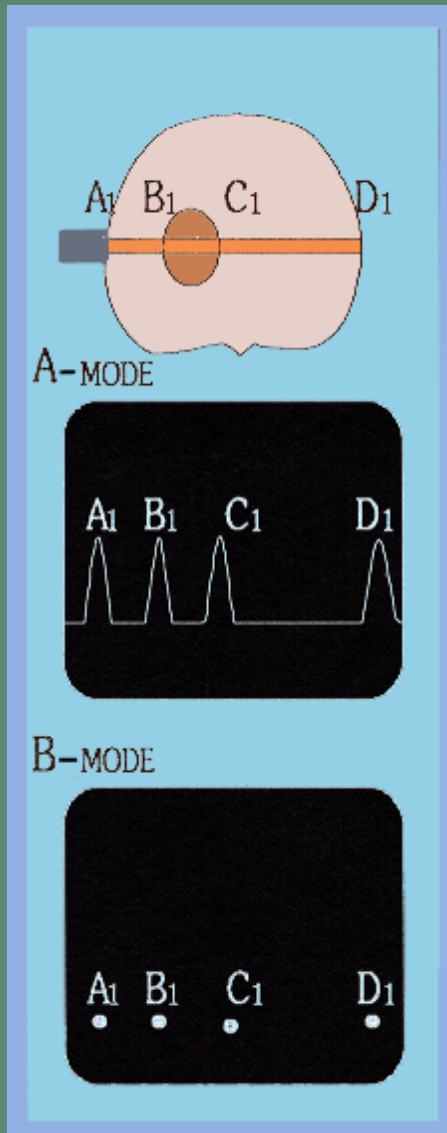
Διαμόρφωση Φωτεινότητας (B Mode)

Πλάτος
Peak



Φωτεινότητα
Κηλίδας

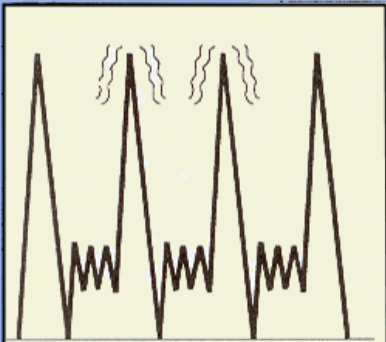
- Απεικόνιση σε κλίμακα του γκριζου (grayscale)
- Ένταση τόνου γκρι ανάλογη με το ανακλώμενο σήμα.
- Χρήση αντισταθμιζόμενης ενίσχυσης.
- Δυνατότητα επέμβασης στην ποιότητα της εικόνας
 - Τεχνητή αύξηση γραμμών
Interpolation



Motion Mode

- Ανίχνευση κίνησης.
- Οι κινούμενες κορυφές αντιπροσωπεύουν ανακλαστικές επιφάνειες που κινούνται.
- Απεικόνιση συναρτήσεως του χρόνου.

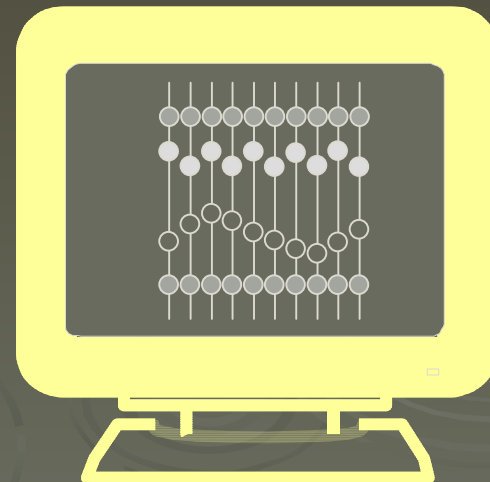
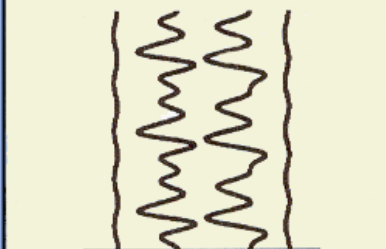
A-Mode



B-Mode



M-Mode

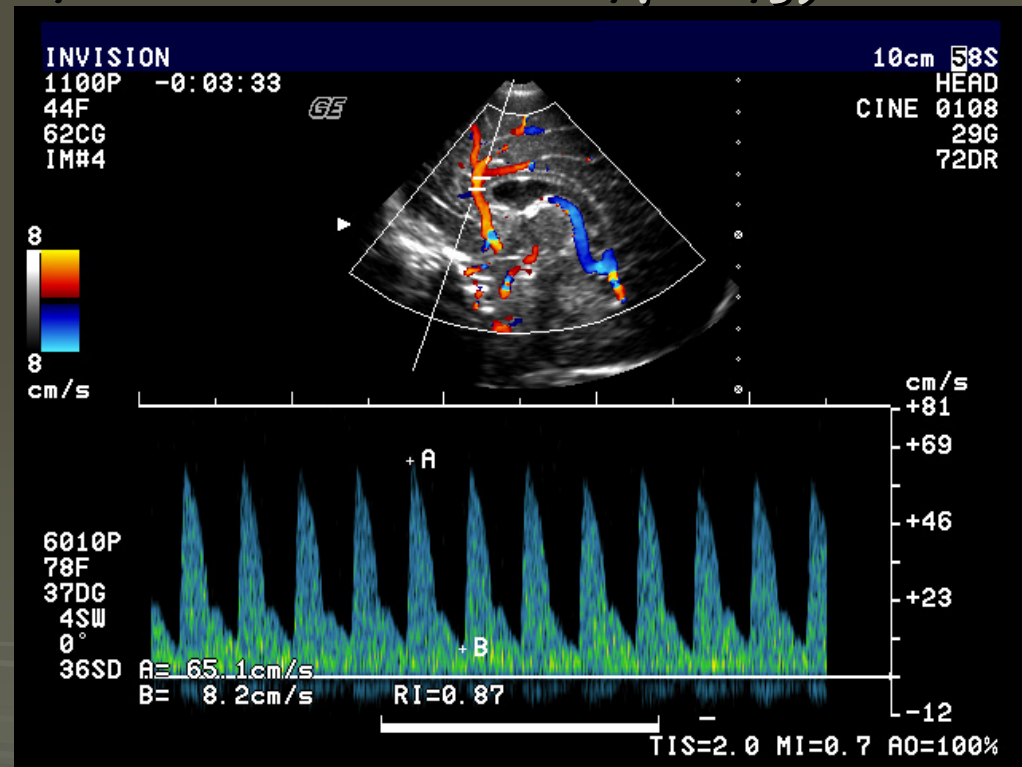


Υπερηχογραφία Doppler

Βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της ροής υγρών στο ανθρώπινο σώμα (ταχύτητα και διεύθυνση ροής).

Μορφές παρουσίασης πληροφορίας Doppler

- Ακουστική απόδοση,
- Χρωματική ένδειξη που εμπεριέχεται μέσα στην δισδιάστατη απεικόνιση (2D)
- Γραφική αναπαράσταση της ροής συναρτήσει του χρόνου.



Doppler κεφαλής εμβρύου

Είδη Doppler

- Συνεχές (Continuous Doppler)
 - Απλή μορφή.
 - Δεν μπορεί να ξεχωρίσει το βάθος.
- Παλμικό (Pulsed Doppler)
 - Ένας νέος παλμός εκπέμπεται όταν οι ανακλάσεις από τον προηγούμενο έχουν ελαττωθεί σημαντικά.
- Έγχρωμο (Color Doppler)
 - Κωδικοποίηση της μετατόπισης συχνότητας με χρωματικό κώδικα και απεικόνιση πραγματικού χρόνου (real time) επί της εικόνας U/S

Αρμονική Απεικόνιση

- Αρμονική Απεικόνιση Μέσω Ιστών (Tissue Harmonic Imaging)
- Αρμονική Απεικόνιση Μέσω Παραγόντων Αντίθεσης (Contrast Agents Harmonic Imaging)

Αρμονική Απεικόνιση Μέσω Ιστών

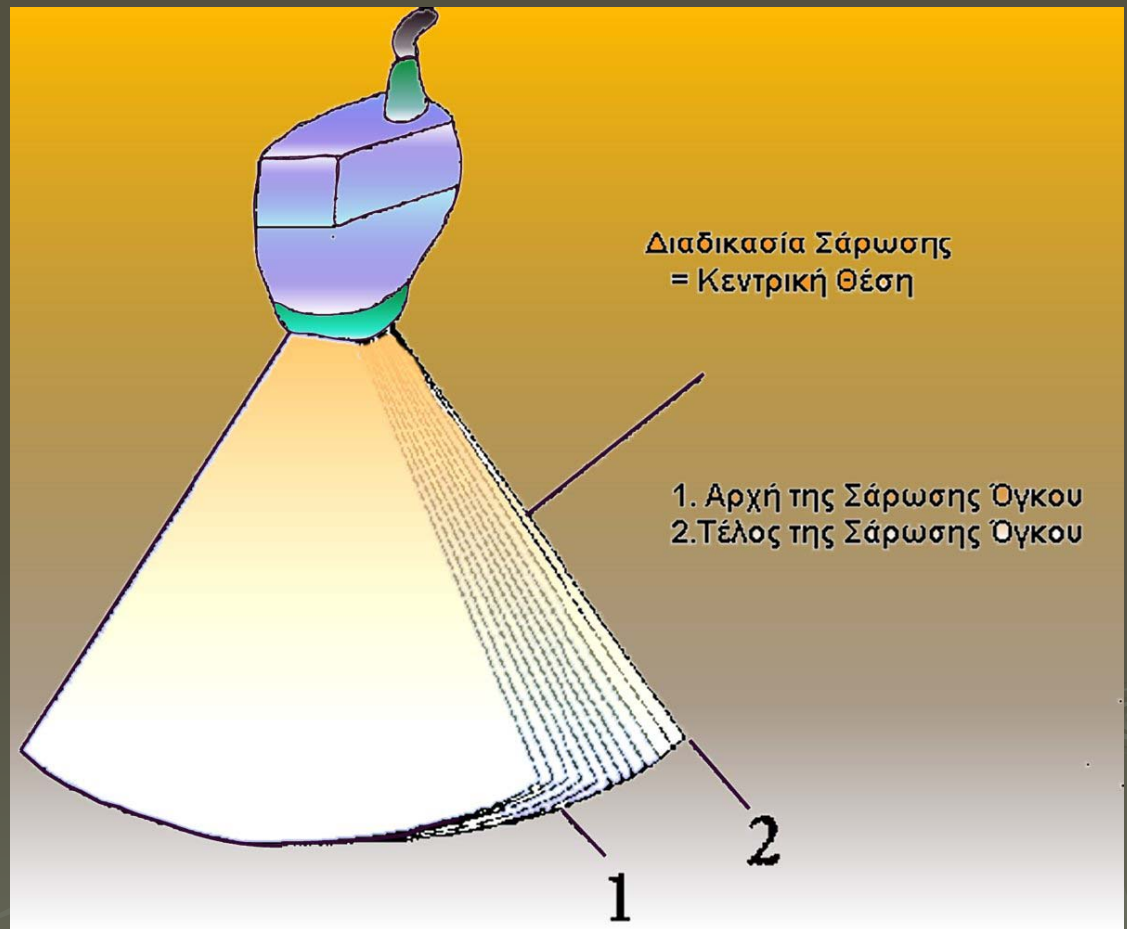
- Το ίδιο το παρέγχυμα επαναεκπέμπει ηχητικά κύματα διπλάσιας συχνότητας
- Βελτίωση Διακριτικής Ικανότητας
- Βελτίωση Απεικόνισης Παρεγχύματος

Αρμονική Απεικόνιση Μέσω Παραγόντων Αντίθεσης

- Οι παράγοντες αντίθεσης (microbubbles) δονούμενοι από τον ηχητικό παλμό παράγουν διπλάσια συχνότητα από την ονομαστική
- Βελτίωση Ανίχνευσης Αιματικής Ροής
- Βελτίωση σήματος Doppler από αγγεία τα οποία βρίσκονται σε μεγάλη βάθος
- Απεικόνιση αιματικής ροής η οποία είναι μικρότερη από την κίνηση των τοιχωμάτων των αγγείων

Τρισδιάστατη Απεικόνιση

➤ Η ηχητική δέσμη σαρώνει μια συγκεκριμένη περιοχή όγκου



Τρισδιάστατη Απεικόνιση(2)



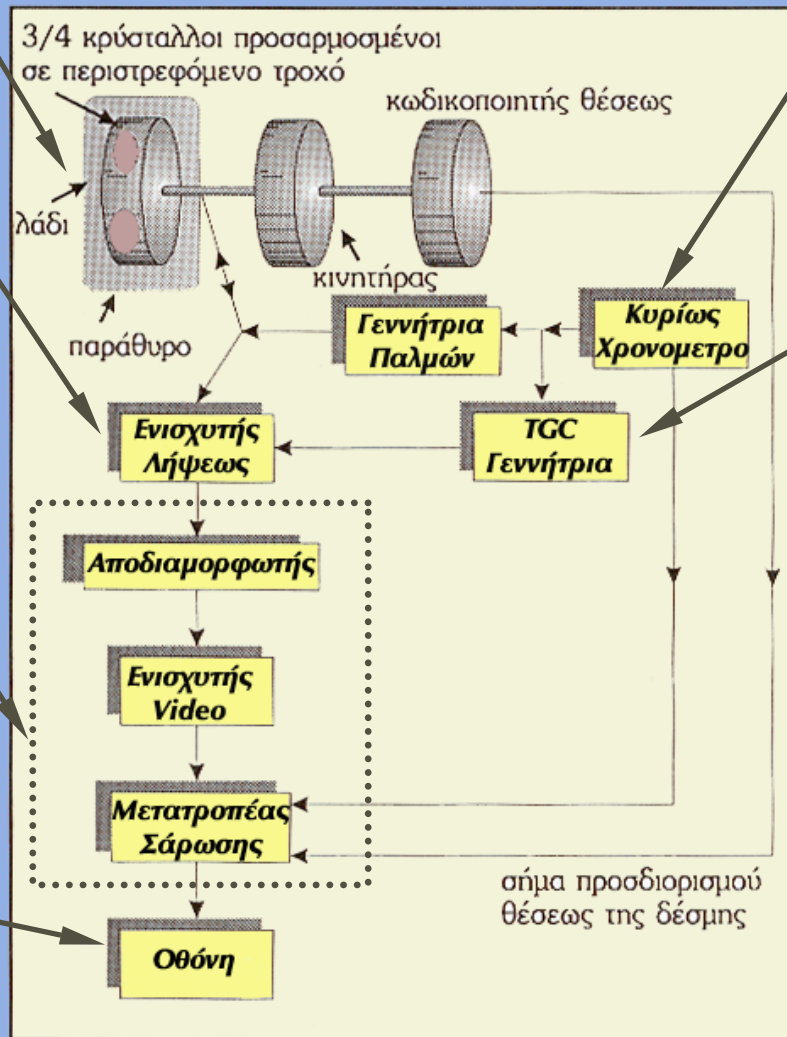
Τυπικό Διάγραμμα U/S

Μετατροπείς PZT
ανά 120° ή 90°

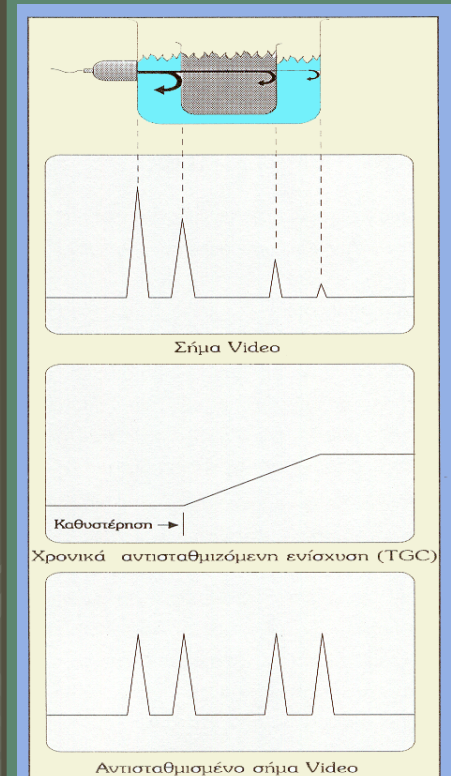
Καθοδηγούμενη
ενίσχυση ανάλογα με
το βάθος ανάκλασης
του σήματος

Τομέας μετατροπής
γραμμών σάρωσης
σε σήμα Video

Τελική απεικόνιση
σε τόνους του γκρι



Τροφοδοτεί όλα τα
κυκλώματα έτσι
ώστε να υπάρχει
συγχρονισμός



Σύγχρονο απεικονιστικό σύστημα



Βιβλιογραφία

- Beutel J., Kundel HL, Van Metter R. (Eds) (2001): *Handbook of Medical Imaging*. SPIE Press.
- Fenster A., Downey D.B., Cardinal H.N. (2001): *Three-dimensional ultrasound imaging*. Phys. Med. Biol. 46, R67-R99.
- Fish P. (1990): *Physics and Instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound*. J. Willey & Sons
- Fullerton G. & Zagzebski J. (1989): *Medical Physics of CT and Ultrasound*. AAPM monograph.
- Krestel E. (Ed) (1990): *Imaging Systems for Medical Diagnostics*. Siemens Aktiengesellschaft.
- Wells PNT (1994): *Ultrasonic Colour Flow Imaging*. Phys. Med. Biol. 39

