

## ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΗΧΟΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

### Εισαγωγή

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί την ακουστική ενέργεια χαμηλών συχνοτήτων ως ζωτικό μέσο επικοινωνίας, αλλά αυτό το είδος πληροφόρησης δεν έχει ποτέ τη μορφή εικόνας.

Η αντίληψη ηχητικών εικόνων βρίσκεται πέρα από τη φυσική μας δυνατότητα και εμπειρία, όμως τα δελφίνια ή οι νυχτερίδες χρησιμοποιούν ακουστική ενέργεια υψηλών συχνοτήτων, δηλ. υπερηχητικά κύματα, για να πάρουν πληροφορίες από το περιβάλλον τους σε μορφή εικόνας, πολύ πριν ο άνθρωπος εμφανισθεί στη Γη.

Η υπόθεση ότι ο ήχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό εικόνων δεν εκπλήσσει, μια που τα κυματικά χαρακτηριστικά διάδοσης του ήχου ομοιάζουν μ' αυτά του φωτός· μόνο που το ανθρώπινο σύστημα πληροφόρησης δεν είναι ικανό ν' αποκωδικοποιήσει την πληροφορία που γεννιέται και μεταφέρεται με τον ήχο, σε εικόνα-πληροφορία δύο ή τριών διαστάσεων.

Τα “ηχοεντοπιστικά” ζώα, όπως η νυχτερίδα, τα δελφίνια και μερικά ακόμα πουλιά, διακρίνουν αντικείμενα διαφορετικών σχημάτων. Δηλ. αυτά τα ζώα έχουν κάποιο σύστημα ή τεχνική πληροφόρησης όμοιο με την “όραση”, αλλά που βασίζεται στον ήχο ως φορέα πληροφορίας και όχι το φως.

Ο λόγος που η ανθρωπότητα υστερεί έναντι αυτών είναι αρκετά προφανής. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί γι' ανταλλαγή πληροφοριών μηχανικά κύματα (ακουστικά) χαμηλής συχνότητας, δηλ. κύματα που το μήκος τους είναι μεγάλο·

Ετσι, για παράδειγμα, επιφάνειες ανώμαλες, όταν τις “βλέπουμε” με φωτεινές ακτίνες, **φαίνονται λείες με τα μεγάλου μήκους ακουστικά κύματα.**

Προσπάθειες, λοιπόν, έγιναν να παρουσιασθεί μία ηχητική πληροφορία σε μορφή δισδιάστατης εικόνας. Αυτή η “εικόνα” προσπαθεί να δώσει πιστά αυτό που για τον άνθρωπο παρατηρητή είναι αόρατο. Αυτή όμως η ερμηνεία απαιτεί μια a

priori γνώση της αλληλεπίδρασης του ήχου με την ύλη και εξοικείωση με το μέσο που θα ερευνησει ο ήχος.

### **Ιστορική Εξέλιξη**

Οι υπέρηχοι καθυστέρησαν χαρακτηριστικά στην εξέλιξή τους στην Ιατρική, αντίθετα από τις ακτίνες-Χ που βρήκαν πρακτική εφαρμογή από τη στιγμή της ανακάλυψής τους και βελτιώσεις σε μηχανήματα και τεχνικές προόδευαν ταχύτατα τα πρώτα χρόνια. Νυχτερίδες και δελφίνια χρησιμοποιούσαν τους υπερήχους για εντοπισμό τροφής και εμποδίων και συγχρόνως για επικοινωνία και αυτό ήταν γνωστό ένα αιώνα πριν ο άνθρωπος εκμεταλλευθεί τις δυνατότητες των υπερήχων, ήχων υψηλής συχνότητας.

Το 1880 οι αδελφοί Curie ανακάλυψαν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο και έτσι άνοιξε ο δρόμος για τη γέννηση και ανίχνευση της υπερηχητικής ενέργειας. 40 χρόνια αργότερα, οι συνδυασμένες προσπάθειες της ανεύρεσης του βυθισμένου, στο Β. Ατλαντικό, Τιτανικού, το 1912, και η απειλή των συμμαχικών δυνάμεων από τα υποβρύχια, στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, δημιούργησαν την ανάγκη να βρεθούν τρόποι ανίχνευσης αντικειμένων μέσα στο νερό.

Ο Langevin, μαθητής του Pierre Curie, εφάρμοσε στην ανίχνευση υποβρυχίων τις υπερηχητικές τεχνικές που, από τους Curie, είχαν αναπτυχθεί στο εργαστήριο.

Ο άνθρωπος έμαθε να “βλέπει” με τον ήχο.

Το 1916 βρήκε ότι κρύσταλλος χαλαζίου θα ήταν ένας ευαίσθητος ανιχνευτής και αργότερα ότι ένας όμοιος κρύσταλλος θα μπορούσε ν’ αποτελέσει τη γεννήτρια υπερηχητικών κυμάτων.

Κατασκεύασε ένα “μετατροπέα” - transducer - που αποτελείτο από ένα κρύσταλλο χαλαζία μεταξύ δύο ατσάλινων επιπέδων ηλεκτροδίων και μ’ αυτό παρήγε υπερηχητικά κύματα στο νερό στις συχνότητες των KHz.

Παρά τη χαμηλή συχνότητα αυτής της ενεργειακής δέσμης το μεγάλο μέγεθος της πηγής έδιδε στη δέσμη καλές ιδιότητες κατεύθυνσης (παρ/λη δέσμη σε αρκετά μεγάλη απόσταση).

Προσπάθησε να χρησιμοποιήσει αυτή τη δέσμη για την ανίχνευση υποβρυχίων που θ’ ανακλούσαν την υπερηχητική ενέργεια, αλλά,

επειδή η ενέργεια παραγόταν συνεχώς, δεν ήταν δυνατό να εντοπίσει το ανακλόν υποβρύχιο. Αυτή η τεχνική δε βοήθησε τελικά στην ανίχνευση των υποβρυχίων κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο. Παρ' όλα αυτά, ο Langevin έζησε να δει την εφαρμογή της τεχνικής του στα συστήματα SONAR (Sound Navigation And Ranging) που έπαιξαν σπουδαίο ρόλο στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο.

Τα συστήματα SONAR μπόρεσαν να εντοπίσουν αντικείμενα, εφ' όσον, με την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, έγινε δυνατή:

1. η γένεση της υπερηχητικής ενέργειας όχι πια συνεχώς αλλά κατά παλμούς,
2. η ανίχνευση και ενίσχυση των χαμηλής εντάσεως ανακλάσεων. Οι ανακλάσεις απεικονίζοντο στην οθόνη ενός παλμογράφου, όπως και στα συστήματα RADAR (Radio Detecting and Ranging) που αναπτύχθηκαν παράλληλα.

Για στρατιωτικούς όμως λόγους η τεχνολογία των RADAR προόδευε μ' ένα πολύ ταχύτερο ρυθμό, με αποτέλεσμα την υιοθέτηση από την υπερηχητική τεχνολογία ήδη καθιερωμένων μεθόδων των RADAR.

Η μικρή ανάπτυξη της τεχνολογίας στις αρχές του αιώνα επηρέασε τη δουλειά ενός μεγάλου πρωτοπόρου στο πεδίο των Υπερήχων. Ο Sokolov, Ρώσος φυσικός στα 1928 επρότεινε τη χρήση των υπερήχων για την ανίχνευση κενών στο εσωτερικό μετάλλων, με την τεχνική της διαδόσεως των κυμάτων, και 6 χρόνια αργότερα με την τεχνική των ανακλάσεων. Αν και η τεχνολογία του καιρού ήταν πρωτόγονη, πρόβλεψε πολλές από τις προόδους της απεικόνισης με υπερήχους, που αναπτύχθηκαν αργότερα. Γι' αυτό το λόγο πολλοί επιστήμονες τον θεωρούν "πατέρα των Υπερήχων".

Τα πρώτα χρόνια της ανάπτυξής τους, οι Υπέρηχοι χρησιμοποιήθηκαν ως μια κακώς κατευθυνόμενη συνεχής δέσμη. Εντούτοις με βελτιώσεις στην κατασκευή της πηγής και τον τρόπο διέγερσής της έγινε δυνατή η γένεση κατευθυνόμενων δεσμών υψηλών συχνοτήτων.

Με τη δυνατότητα παροχής της ενέργειας κατά παλμούς τα συστήματα ανίχνευσης, απεικόνισαν τη θέση των ανακλώντων επιφανειών.

Η εφαρμογή της υπερηχητικής ενέργειας στην Ιατρική ακολούθησε την ίδια πορεία.

Βρέθηκε ότι η υπερηχητική ενέργεια είχε την ιδιότητα να εισέρχεται και να διαδίδεται μέσα στους ιστούς. Αν η συχνότητά της ήταν υψηλή, η ενέργεια ήταν ικανή να θερμαίνει ιστούς βαθιά μέσα στο σώμα. Το 1950 άρχισε η συνεχής υπερηχητική δέσμη να χρησιμοποιείται πλατιά ως μέσο θεραπευτικό. Την ίδια εποχή ο Fry άρχισε σημαντικές μελέτες επάνω στα βιολογικά και καταστρεπτικά αποτελέσματα των υπερήχων.

Οι πρώτες προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν οι υπέρηχοι ως διαγνωστικό παρά ως θεραπευτικό μέσο άρχισαν το 1937, από τους αδελφούς Dussik, στην Αυστρία, που μελέτησαν τη δυνατότητα ν' απεικονίσουν τον εγκέφαλο καταγράφοντας μεταβολές στην εξασθένηση της δέσμης που περνούσε κάθετα προς το κεφάλι.

Όλες οι πρώτες προσπάθειες για απεικόνιση με τη βοήθεια των υπερήχων κατευθύνθηκαν προς την τεχνική της διαδόσεως. Η πείρα, όμως, που αποκτήθηκε κατά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο στις κατά παλμούς τεχνικές, εφαρμόσθηκε και στην Ιατρική.

Το 1949 ο Ludwig έδειξε ότι μπορούσε ν' ανιχνεύσει τις ανακλάσεις υπερήχων από χοληδόχους κύστες σκύλων. Συγχρόνως ο Wild έδειξε ότι ήταν δυνατόν ν' ανιχνεύσει όγκους του εγκεφάλου ή του μαστού, συγκρίνοντας τις απεικονίσεις των ανακλάσεων των με αυτές από φυσιολογικό ιστό.

Στο Denver ο Howny, το 1954, κατασκεύασε μηχανήμα που απεικόνιζε τους ήχους από οριακές θέσεις ιστών σε διδιάστατα υπερηχητικά τομογραφήματα. Έτσι παρήγαγε αρκετά λεπτομερείς απεικονίσεις αλλά ταλαιπωρείτο ο εξεταζόμενος βυθισμένος στο νερό. Αργότερα, ένα "μπάνιο νερού" τοποθετήθηκε μεταξύ μηχανήματος και ασθενούς και έγιναν με επιτυχία απεικονίσεις ήπατος, σπληνός, νεφρών και κύστης.

Στη Σουηδία, οι Hertz και Elder έθεσαν τις αρχές της υπερηχοκαρδιογραφίας, ενώ το 1957 πρώτος ο Satomura έδειξε

ότι και στην Ιατρική θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε το φαινόμενο Doppler για ν' ανιχνεύσουμε κινούμενα όργανα στο εσωτερικό του σώματος.

Το 1953 ο Leksell έδειξε, με τη βοήθεια των υπερήχων, τη μετατόπιση της μέσης γραμμής του εγκεφάλου σ' ένα αγόρι 16 μηνών. Αφαιρώντας το αιμάτωμα που την είχε προκαλέσει, έσωσε τη ζωή του παιδιού. Έτσι η ηχοεγκεφαλογραφία καθιερώθηκε το 1953 και βελτιώθηκε με αυτοματισμούς το 1960.

Στη Σκωτία ο Jan Donald χρησιμοποίησε την τεχνική των ανακλάσεων στη γυναικολογία για να διακρίνει συμπαγείς από κυστικές βλάβες. Οι δυνατότητες, στη μαιευτική και τη γυναικολογία, της τεχνικής αυτής αναγνωρίστηκαν γρήγορα. Αυτό συνετέλεσε στη κατασκευή του πρώτου τομογράφου, χωρίς τη χρήση μπάνιου νερού, που τη θέση του πήρε η γεμάτη ουροδόχος κύστη.

Ταυτόχρονα τεχνικές υπερήχων εφαρμόστηκαν στην οφθαλμολογία.

Το 1969 ο Wells στο Bristol ενδιαφέρθηκε για τους σημαντικά μικρότερους ήχους που παίρνομε από το ηπατικό παρέγχυμα και για το ποιά είναι η επίδραση της ασθένειας σ' αυτούς (π.χ. ποιά είναι η εικόνα που δίδει κίρρωτικό ηπατικό παρέγχυμα; ποιά η συσχέτισή της με τη φυσιολογική εικόνα ήπατος;). Έτσι ξεκίνησε ο χαρακτηρισμός των ιστών με υπερήχους.

Το 1972, ο Kossof στην Αυστραλία βρήκε ότι ήταν δυνατό ν' απεικονισθούν, εκτός των μεγάλων ανακλάσεων στα όρια οργάνων, και οι μικροί ήχοι από το εσωτερικό αυτών, με τη βοήθεια της κλίμακος του γκριζου (Grey Scale).

Ακόμη στη δεκαετία του 1970 κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά συστήματα πραγματικού χρόνου (Real-time) για να παράγουν στιγμιαίες εικόνες οργάνων, που κινούνται, όπως η καρδιά.

Μετά την επιτυχημένη ανάπτυξη δισδιάστατων εικόνων από τα όργανα της κοιλιάς, από την καρδιά και το μάτι, πολλές προσπάθειες κατευθύνθηκαν στη δισδιάστατη απεικόνιση του εγκεφάλου, με μικρές μόνον επιτυχίες.

Διπλά (Duplex) και έγχρωμα (Triplex) συστήματα δισδιάστατης real-time απεικόνισης του οργάνου και ανάλυσης των σημάτων Doppler, που προέρχονται από συγκεκριμένη θέση στο όργανο, δίνουν λειτουργικές πληροφορίες που σχετίζονται με τη φυσιολογική ροή ή μη του αίματος.

### **Χαρακτηριστικά των ήχων**

Οι ήχοι παράγονται από ταλαντούμενες πηγές. Οι ταλαντώσεις της πηγής αναγκάζουν τα μόρια του γειτονικού μέσου σε συμπίεση και αραιώση. Τα συμπιεσμένα μόρια ωθούν τα επόμενα μόρια σε συμπίεση και έτσι η ακουστική (μηχανική) διαταραχή διαδίδεται. Η κίνηση επαναλαμβάνεται περιοδικά.

### **Η φύση των ηχητικών κυμάτων**

Ηχος ή ηχητικό κύμα λέγεται, γενικά, κάθε διαταραχή της πίεσης κάποιου μέσου (π.χ. του ατμοσφαιρικού αέρα) που μεταδίδεται από σημείο του χώρου με ορισμένη ταχύτητα.

Αποτέλεσμα της διάδοσης του κύματος είναι η μεταφορά ενέργειας, χωρίς την οριστική μετακίνηση των σωματιδίων του υλικού μέσου διαδόσεως (δηλ. μετά τη μετάδοση ηχητικού κύματος τα σωματίδια του μέσου επανέρχονται στη θέση ηρεμίας τους). Επομένως:

**Ηχητικά κύματα διέρχονται μέσω κάθε μορφής της ύλης (στερεά, υγρή, αέριο) και δεν διαδίδονται στο κενό.**

## **Είδη ηχητικών κυμάτων**

Τα ηχητικά κύματα είναι μηχανικές ταλαντώσεις. Όταν η διεύθυνση της κίνησης των σωματιδίων του υλικού μέσου συμπίπτει με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τα ηχητικά κύματα είναι επιμήκη. Αποτελούνται από διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα που διαδίδονται από σημείο σε σημείο.

Όταν, όμως, η κίνηση γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση διαδόσεως, η ταλάντωση διαδίδεται με όρη και κοιλάδες που κινούνται προς τήν κατεύθυνση του κύματος και το κύμα λέγεται εγκάρσιο.

Κατά τη διάδοση επιμήκους ή εγκάρσιου κύματος τα διάφορα υλικά σημεία κινούνται γύρω από τη θέση ηρεμίας τους χωρίς όμως ν' απομακρύνονται οριστικά απ' αυτή.

Στα υγρά, ο ήχος, διαδίδεται μόνο με επιμήκη κύματα· στα στερεά και με εγκάρσια. Οι μαλακοί ιστοί - όσον αφορά τον ήχο - έχουν συμπεριφορά υγρών, αντίθετα από τα συμπαγή οστά που συμπεριφέρονται σαν στερεά.

## **Συχνότητα - Ηχητικό Φάσμα**

Κάθε ηχητικό κύμα χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά του, που ορίζεται ως ο αριθμός των ταλαντώσεων στο δευτερόλεπτο (ή στη μονάδα του χρόνου) που τα σωματίδια του μέσου κάνουν γύρω από τη θέση ηρεμίας τους. Μετριέται σε κύκλους/δευτ. (Hz). Το ηχητικό φάσμα είναι το σχήμα ταξινόμησης των ηχητικών κυμάτων σύμφωνα με τη συχνότητά τους.

## **Μήκος κύματος - Ταχύτητα του ήχου**

Το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) ορίζεται ως η απόσταση που έχει μετατοπισθεί η κυματική εικόνα μετά χρόνο ίσο με την περίοδο  $T$  και εξαρτάται από την ταχύτητα του ήχου  $C$  στο υλικό μέσο σύμφωνα με τη σχέση:

$$\lambda = C/f$$

όπου  $f$  = η συχνότητα του κύματος.

Έτσι δύο ημιτονοειδή κύματα, που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με διαφορετικές συχνότητες, θα διαφέρουν και στο μήκος κύματος. Και το ηχητικό κύμα με τη μεγαλύτερη συχνότητα, **f**, θα έχει το μικρότερο μήκος κύματος, **λ**.

Η ταχύτητα που έχουν ηχητικά κύματα όταν διαδίδονται σε κάποιο μέσο καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του μέσου και μόνο απ' αυτά.

δηλαδή η ταχύτητα του ήχου σ' ένα μέσο εξαρτάται από τις **ελαστικές ιδιότητες** του μέσου και είναι **αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας** του μέσου.

π.χ.

αέρας 330 m/sec - νερό 1480 m/sec - πνεύμονες 600 m/sec  
- λίπος 1460 m/sec - αίμα 1500 m/sec - μύες 1600 m/sec - οστά 4060 m/sec.

Η παρουσία αέρα στους πνεύμονες μειώνει την ταχύτητα. Στα οστά, η ταχύτητα του ήχου είναι περίπου 3 φορές μεγαλύτερη απ' αυτή των μαλακών ιστών. Ως μέση τιμή ταχύτητας του ήχου στους μαλακούς ιστούς έχει γίνει αποδεκτή η τιμή 1540 m/sec.

### **Χαρακτηριστική ακουστική αντίσταση**

Ένα υλικό αντιστέκεται στη διάδοση ηχητικού κύματος μέσω αυτού, με τη **χαρακτηριστική ακουστική του αντίσταση**.

Αυτή καθορίζεται από σταθερές του υλικού μέσου και ισούται με την πυκνότητα του μέσου επί την ταχύτητα του ήχου σ' αυτό.

$$Z = \rho \cdot C.$$

π.χ. η αντίσταση των οστών στη διάδοση του ήχου είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερη από αυτή των μαλακών ιστών.

Η σπουδαιότητα αυτής της ποσότητας οφείλεται στον καθοριστικό ρόλο της στο ποσοστό της ηχητικής ενέργειας που θ' ανακλασθεί σε διαχωριστική επιφάνεια (επιφάνεια επαφής) δύο



διαφορετικών υλικών. Το ποσοστό αυτό είναι ανάλογο της διαφοράς των ακουστικών αντιστάσεων των δύο υλικών. Π.χ., η υπερβολικά μεγάλη διαφορά στις αντιστάσεις αέρα-ιστού ή ιστού-οστού προκαλεί την πλήρη ανάκλαση της ηχητικής ενέργειας.

### **Πλάτος και ένταση του ήχου - Decibel**

Το πλάτος των ταλαντώσεων ενός σώματος είναι η απόσταση μεταξύ της θέσης ηρεμίας και του σημείου της μεγίστης απομάκρυνσης των ταλαντούμενων σωματιδίων του υλικού. Το πλάτος είναι τόσο μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που προκάλεσε την ταλάντωση.

Η ένταση, εξάλλου, ηχητικού κύματος είναι ανάλογη της ενέργειας που κατανάλωσε για να δημιουργηθεί. Επομένως το πλάτος ταλαντώσεως σχετίζεται άμεσα με την ένταση του κύματος.

Η ένταση ηχητικής δέσμης είναι, η ενέργεια αυτής που περνά ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού διαδόσεως, στη μονάδα του χρόνου (μονάδα μέτρησης **W / cm<sup>2</sup>**).

Η ένταση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην μελέτη των βιολογικών αποτελεσμάτων της εφαρμογής των υπερήχων.

Οι εντάσεις που χρησιμοποιούνται για διαγνωστικές εφαρμογές κυμαίνονται από 100 έως 150 **mW / cm<sup>2</sup>** και είναι περίπου 100 φορές μικρότερες από εκείνες που βρίσκουν εφαρμογή στη θεραπευτική.

Π.χ., η φωνή ατόμου που συζητά έχει ισχύ μεταξύ 500 και 100 **mW**, αλλά μπορεί να κυμαίνεται από 0.1 **mW**, για τον πιο σιγανό ψίθυρο, μέχρι 50.000 **mW** ισχύ για τραγουδίστρια της όπερας.

Είναι συχνά απλούστερο να μετρήσουμε λόγους εντάσεων ή πλατών δύο ήχων αντί να προσδιορίσουμε τις απόλυτες τιμές εντάσεως. Και αν αυτοί οι λόγοι δοθούν ως λογάριθμοι μεγάλα μεγέθη εκφράζονται με απλό τρόπο.

Η λογαριθμική μονάδα που χρησιμοποιείται είναι το Decibel (dB).

## **Τι είναι Υπέρηχοι**

### **Παραγωγή Υπερήχων**

Οι υπέρηχοι στην Ιατρική Διάγνωση παράγονται από κρύσταλλο φυσικό ή συνθετικό που μετατρέπει ηλεκτρική σε μηχανική (υπερηχητική) ενέργεια και αντίστροφα.

Στην Ιατρική διάγνωση με υπερήχους εφαρμόζεται ως επί το πλείστον η μέθοδος παλμών-ανακλάσεων. Δηλ., στέλνεται ηχητικός παλμός (όχι συνεχές κύμα) από την πηγή και στη συνέχεια η πηγή που τώρα λειτουργεί ως δέκτης καταγράφει ανακλάσεις από το υλικό - μέσο.

Ο παλμός που στέλνεται πρέπει να είναι πολύ βραχύς. Ο βραχύς παλμός βελτιώνει τη διευκρινιστική ικανότητα του συστήματος.

### **Πιεζοηλεκτρικό και ανάστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο**

Και η παραγωγή και η λήψη των υπερηχητικών κυμάτων στηρίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Μηχανική παραμόρφωση πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, από ηχητικά κύματα προκαλεί τη δημιουργία τάσεως στα άκρα του κρυστάλλου.

Αντίστροφα, πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι έχουν την ιδιότητα ν' αλλάσουν το σχήμα τους όταν σ' αυτούς εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση.

Εκτείνονται ή συμπιέζονται ανάλογα με την πολικότητα του ρεύματος. Τα ηχητικά κύματα γεννιούνται ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών.

Λίγα κρυσταλλικά υλικά στη φύση παρουσιάζουν την ιδιότητα του πιεζοηλεκτρισμού και ένα απ' αυτά είναι ο χαλαζίας. Σήμερα, για την παραγωγή υπερήχων χρησιμοποιούνται συνθετικά κεραμικά.

Το πάχος του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου καθορίζει τη φυσική του συχνότητα που ονομάζεται θεμελιώδης,

### **Υπερηχητική δέσμη**

Η δέσμη υπερήχων που παράγεται από κάποια πηγή αποτελείται από δύο διακεκριμένες περιοχές. Το εγγύς πεδίο που η δέσμη

παίρνει τη μορφή κυλίνδρου διαμέτρου ίσης με τη διάμετρο της πηγής και το απόμακρο πεδίο, όπου η δέσμη αποκλίνει και η ένταση της εξασθενεί με το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου.

Οι υπερηχητικές δέσμες στη διάγνωση εστιάζονται ή με εφαρμογή ακουστικού φακού ή με τη χρήση καμπύλου κρυστάλλου. Με την εστίαση επιτυγχάνουμε στενές δέσμες και αυξημένη την ένταση στην εστιακή περιοχή.