

Κεφάλαιο 15 Υπέρηχοι

Παντελής Καραίσκος (pkaraisk@med.uoa.gr)

Οι υπέρηχοι είναι διαμήκη ελαστικά κύματα με συχνότητα μεγαλύτερη από 20 kHz που είναι το ανώτατο όριο της ανθρώπινης ακοής.

Στη διαγνωστική ιατρική χρησιμοποιούνται υπέρηχοι συχνότητας 1-50 MHz.

Στην Μαιευτική χρησιμοποιούνται για την διαπίστωση εγκυμοσύνης, προσδιορισμό ηλικίας εμβρύου, διαπίστωση συγγενών ανωμαλιών, εύρεση τόπου αμνιοκέντησης.

Στην Παθολογία για την απεικόνιση οργάνων, λήψη πληροφοριών για την μορφή και την θέση τους, για την σύσταση των ιστών (χαρακτηρισμός ιστών) και την ομοιογένειά τους ως προς την σύνθεση, για την διαφορική διάγνωση μεταξύ κύστεων και νεοπλασμάτων.

Στην Καρδιολογία χρησιμοποιούνται για μελέτες του καρδιαγγειακού συστήματος καθώς και για την απεικόνιση κινουμένων επιφανειών της καρδιάς.

Η χρήση τους δεν ενέχει γνωστούς κινδύνους για τους εξεταζόμενους και για το προσωπικό. Ιδιαίτερα δεν υπάρχει ο κίνδυνος των γενετικών επιδράσεων.

Η βασική αρχή στην οποία στηρίζονται οι διαγνωστικές εφαρμογές των υπερήχων είναι ότι οι υπέρηχοι ανακλώνται στις διαχωριστικές επιφάνειες οργάνων ή κοιλοτήτων ή παθολογοανατομικών μορφωμάτων του σώματος. Αυτοί οι ανακλώμενοι υπέρηχοι καταγράφονται και χρησιμοποιούνται για την παροχή των διαγνωστικών πληροφοριών.

Η βασική αρχή, στην οποία στηρίζονται οι θεραπευτικές εφαρμογές των υπερήχων είναι ότι προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας.

Με τον όρο κύμα εννοούμε κάθε διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια και ορμή με ορισμένη ταχύτητα.

Τα κύματα διακρίνονται σε μηχανικά και σε ηλεκτρομαγνητικά.

Τα μηχανικά κύματα προκαλούνται από κινήσεις σωμάτων σε ελαστικό μέσο και μεταφέρουν μηχανική ενέργεια. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα ηχητικά κύματα.

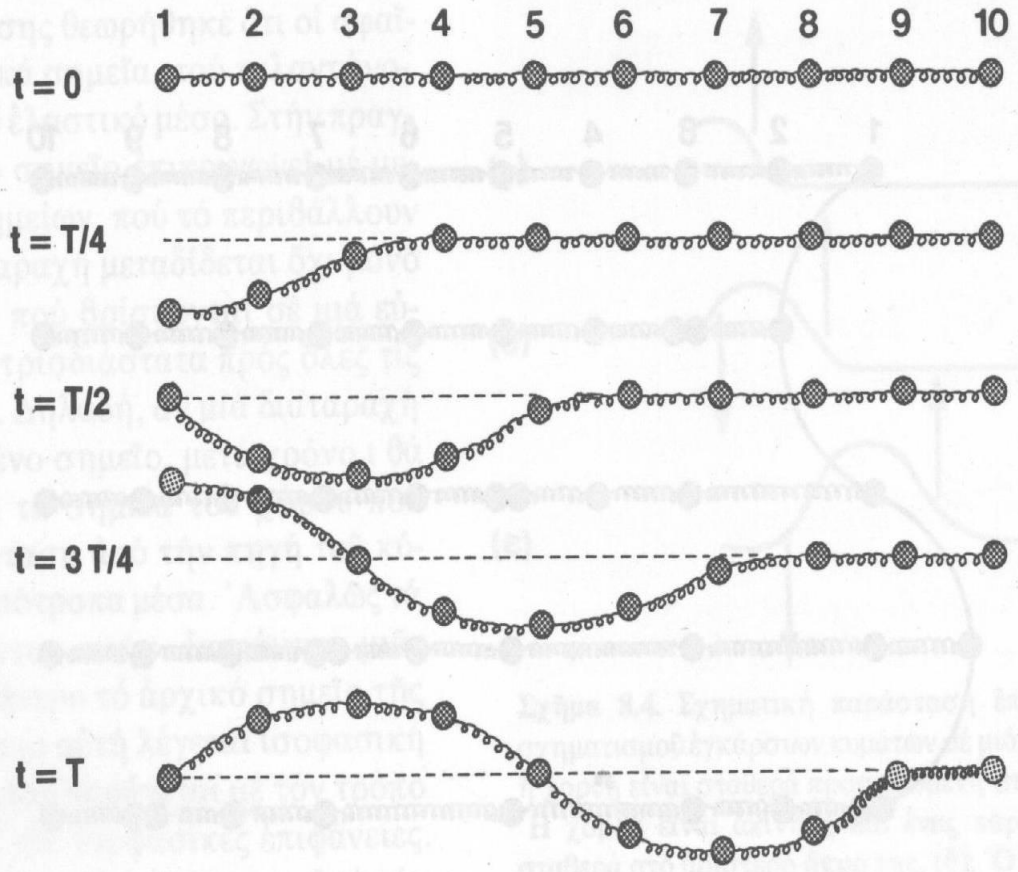
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου, καθέτων μεταξύ τους οι εντάσεις των οποίων μεταβάλλονται περιοδικά. Τέτοιο παράδειγμα είναι οι ακτίνες γ .

Μία βασική διαφορά των μηχανικών κυμάτων με τα ηλεκτρομαγνητικά είναι ότι τα πρώτα διαδίδονται μόνο μέσω της ύλης, απαιτούν δηλαδή ένα μέσο διάδοσης ενώ τα δεύτερα διαδίδονται και στο κενό. Έτσι για παράδειγμα τα ηχητικά κύματα (δηλαδή ο ήχος) δεν διαδίδονται στο κενό.

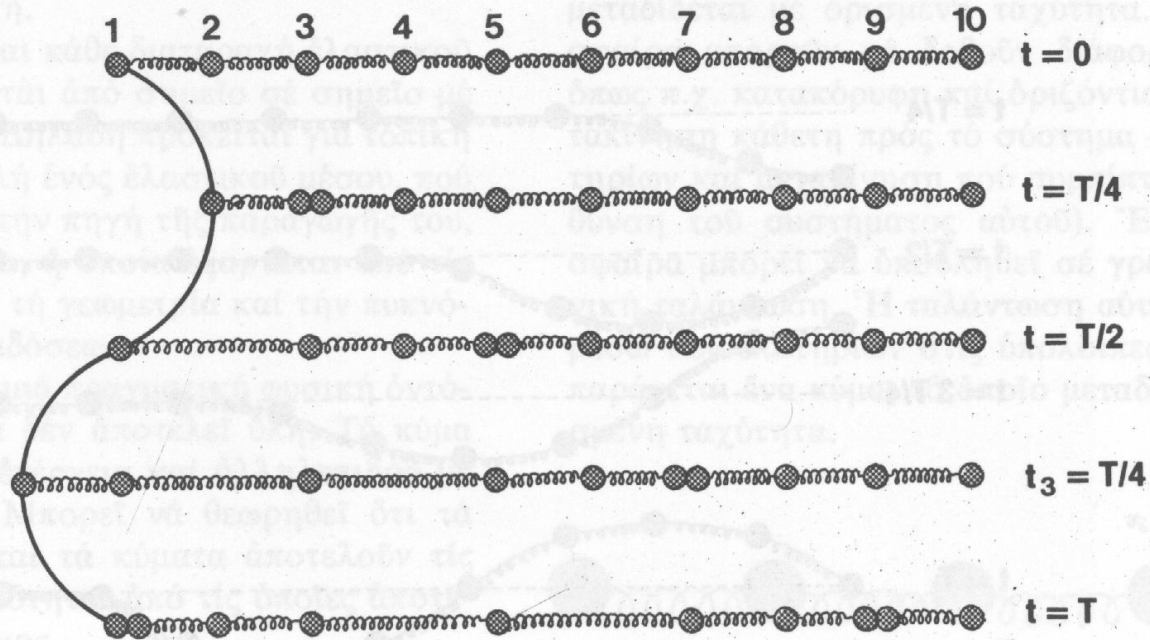
Μία άλλη διάκριση μεταξύ των κυμάτων είναι τα διαμήκη και τα εγκάρσια.

Διαμήκη ονομάζονται τα κύματα, στα οποία οι διαταραχές γίνονται στην ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Εγκάρσια ονομάζονται τα κύματα, στα οποία οι διαταραχές λαμβάνουν χώρα κάθετα προς την κατεύθυνση διάδοσης τους



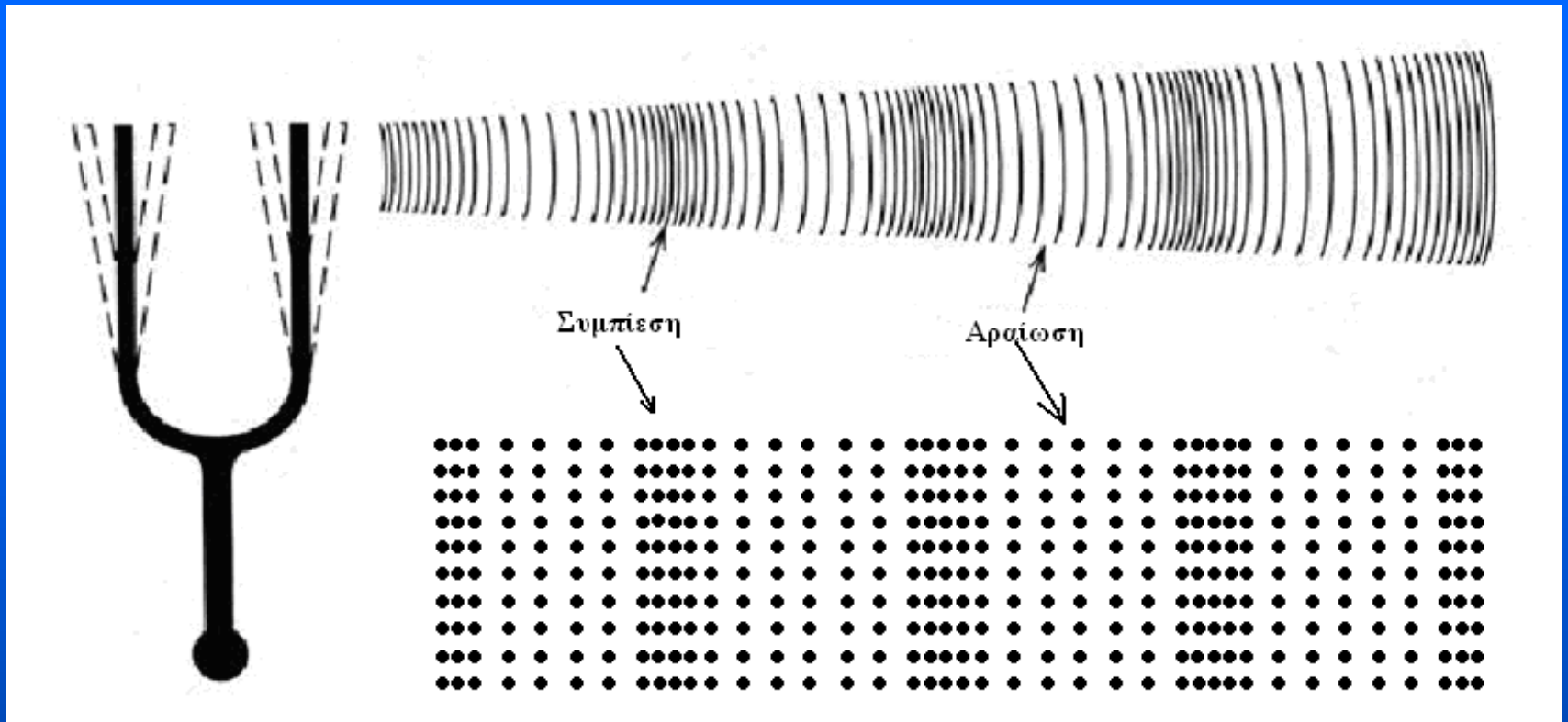
Τα σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος



Τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Τα ηχητικά κύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται στις ιατρικές εφαρμογές με υπέρηχους, είναι διαμήκη μηχανικά κύματα.

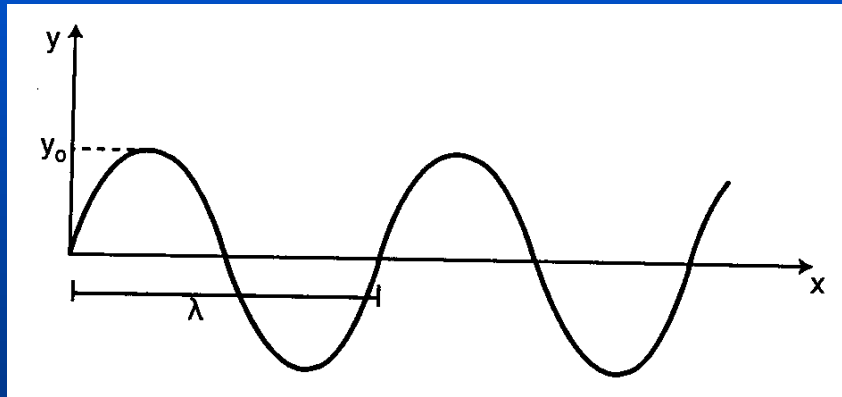
Για να παραχθεί ένα ηχητικό κύμα απαιτείται μία πηγή η οποία να εκτελεί ταλαντώσεις προκαλώντας μια μηχανική διαταραχή σ' ένα υλικό που ηρεμεί (ισορροπεί). Τότε τα μόρια του υλικού μετατοπίζονται από τις θέσεις ισορροπίας τους, αλληλεπιδρώντας με τα γειτονικά τους, με αποτέλεσμα η διαταραχή να διαδίδεται από τη μια περιοχή του υλικού_μέσου στη γειτονική ως κύμα.



Παράδειγμα παραγωγής και διάδοσης ηχητικού κύματος. Το ηχητικό κύμα διαδίδεται προκαλώντας πυκνώματα (συμπύεση) και αραιώματα (αραιώση) των μορίων του μέσου διάδοσης ως αποτέλεσμα των ταλαντώσεων γύρω από τη θέση ισορροπίας τους.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, τα σωματίδια εκτελούν αρμονική ταλάντωση (περιοδική κίνηση) γύρω από την θέση ισορροπίας χωρίς να μεταφέρονται μέσα στο υλικό.

Κατά την διάδοση λοιπόν του κύματος παρατηρείται μεταφορά ενέργειας χωρίς αντίστοιχη μεταφορά μάζας.



Μια αναλογία είναι ένα παλλόμενο ελατήριο, όπου τα κύματα σχηματίζονται καθώς οι συσπειρωμένες ή επιμήκεις περιοχές μετακινούνται κατά μήκος του ελατηρίου



Διαμήκες κύμα σε ένα παλλόμενο ελατήριο, όπου φαίνονται τα πυκνώματα και τα αραιώματα.

Παράμετροι περιοδικής κίνησης:

Περίοδος, T , είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος (μία επανάληψη). Είναι πάντοτε θετική και η μονάδα της στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το δευτερόλεπτο (s).

Συχνότητα, f , ορίζουμε τον αριθμό των κύκλων στη μονάδα του χρόνου (στην περίπτωση των κυμάτων τον αριθμό των ταλαντώσεων που τα σωματίδια του μέσου κάνουν γύρω από τη θέση ισορροπίας τους σε ένα δευτερόλεπτο). Είναι πάντοτε θετική και η μονάδα της στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το hertz (Hz):

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ κύκλος/s} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Η γωνιακή ταχύτητα, ω , μετριέται σε ακτίνια και δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = 2 \pi f$$

Μονάδα της είναι το rad/s.

Από τον ορισμό τους, η σχέση που συνδέει την περίοδο, T , με την συχνότητα, f , είναι:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Το χωρικό ανάλογο της περιόδου είναι το μήκος κύματος, λ . Το μήκος κύματος είναι ίσο με την απόσταση που διανύει το κύμα σε μια περίοδο.

Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.

Επειδή η ταχύτητα του ήχου ουσιαστικά περιγράφει το πόσο μακριά θα φτάσει ένα πύκνωμα σε συγκεκριμένο χρόνο, η ταχύτητα καθορίζει τη σχέση ανάμεσα στη συχνότητα και το μήκος κύματος. Η συχνότητα, f , καθορίζει πόσο συχνά περνούν από ένα συγκεκριμένο σημείο διαδοχικά πυκνώματα, τα οποία πάντα απέχουν μεταξύ τους ένα μήκος κύματος, λ . Επομένως, το γινόμενο της συχνότητας με το μήκος κύματος δίνουν την απόσταση που διανύει το κύμα κάθε δευτερόλεπτο, δηλαδή την ταχύτητά του:

$$v_s = f \lambda$$

Η ταχύτητα του ήχου είναι σταθερή για ένα συγκεκριμένο υλικό, δηλαδή δεν εξαρτάται ούτε από τη συχνότητα, f , ούτε από το μήκος κύματος, λ . Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζουμε τη συχνότητα, μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος και αντίστροφα.

| <i>Συχνότητα (Hz)</i> | <i>Μήκος κύματος</i> |
|-----------------------|----------------------|
| 100 | 15 m |
| 1000 | 1.5 m |
| 10,000 | 15 cm |
| 100,000 | 1.5 cm |
| 1,000,000 = 1 MHz | 1.5 mm |
| 10,000,000 = 10 MHz | 0.15 mm |

(θεωρώντας ότι η ταχύτητα του ήχου είναι 1500 m/s)

Προσεγγιστικές τιμές της ταχύτητας του ήχου σε διάφορα μέσα

| Υλικό | Ταχύτητα του ήχου, v_s (m/s) | Ακουστική εμπέδηση Z ($10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) |
|---------------|--------------------------------|--|
| Αέρας | 344 | 0.0004 |
| Λίπος | 1440 | 1.3 |
| Μαλακός ιστός | 1540 | 1.63 |
| Νερό | 1500 | 1,5 |
| Μυς | 1570 | 1.65 |
| Οστό | 3500 | 7.8 |

Για διαφορετικά υλικά, διαφορές στην ταχύτητα διάδοσης του ήχου έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχες διαφορές στο μήκος κύματος, με τη συχνότητα να παραμένει σταθερή.

Με τον όρο ακουστική εμπέδηση εννοούμε το γινόμενο της πυκνότητας του μέσου διάδοσης και της ακουστικής ταχύτητας, της ταχύτητας δηλαδή με την οποία ο ήχος διαδίδεται φυσιολογικά στο συγκεκριμένο μέσο:

$$Z = \rho \cdot v_s$$

Η ακουστική εμπέδηση μετράται σε Kg /m² · sec.

Η τιμή της ακουστικής εμπέδησης είναι παρόμοια για τους μαλακούς ιστούς, όπως είναι το λίπος, το νερό και οι μύες και διαφέρει πολύ για τον αέρα και τα οστά.

Αλληλεπιδράσεις κύματος με την ύλη

Η διάδοση των ηχητικών κυμάτων σε ένα μέσο εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του μέσου αυτού. Εάν, για παράδειγμα, το μέσο διάδοσης είναι το ίδιο (π.χ. νερό), το κύμα θα διαδοθεί με σταθερή ταχύτητα και σταθερή κατεύθυνση χωρίς να αλλοιωθούν σημαντικά τα χαρακτηριστικά του.

Κατά την διάδοσή του το κύμα συναντά υλικά με διάφορες διαστάσεις και σύνθεση που επιδρούν στο κύμα και μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά του (μήκος κύματος, ένταση).

Τα φαινόμενα που περιγράφουν αυτές τις μεταβολές είναι η ανάκλαση, η διάθλαση, η σκέδαση, και το φαινόμενο Doppler.

$$R_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{I_o} = \frac{(z_1 - z_2)^2}{(z_1 + z_2)^2}$$

$$R_{\delta} = \frac{I_{\delta}}{I_o} = 1 - \frac{I_{\alpha}}{I_o}$$

I_o είναι η ένταση του ήχου που προσπίπτει στην επιφάνεια, I_{α} είναι η ένταση του ήχου που ανακλάται από την επιφάνεια και I_{δ} είναι η ένταση του ήχου που διαδίδεται μέσα από αυτήν την επιφάνεια.

Σκέδαση

Στην περίπτωση που η διεπαφή δεν είναι ούτε επίπεδη ούτε λεία παρατηρείται το φαινόμενο της σκέδασης.

Το φαινόμενο αυτό δεν είναι τίποτα άλλο από το σύνολο των πολλαπλών ανακλάσεων και διαθλάσεων του ηχητικού κύματος προς όλες τις κατευθύνσεις εξαιτίας των μικρών ατελειών είτε του μέσου (ανομοιογένεια) είτε της διεπαφής (τραχύτητα επιφάνειας).

Η σκέδαση λοιπόν προκαλείται από μικρές ατέλειες, διαστάσεων παραπλήσιων με το μήκος κύματος του ήχου, αφού το φαινόμενο αυτό συμβαίνει όταν ο ήχος προσπέσει σε εμπόδια διαστάσεων παραπλήσιων του μήκους κύματος. Αν ένα αντικείμενο είναι πολύ μικρότερο από ένα μήκος κύματος (μικρότερο από το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος του ηχητικού κύματος), δεν θα ανακλάσει τον ήχο.

Ήχοι χαμηλών συχνοτήτων (μεγάλα μήκη κύματος) επηρεάζονται από χονδροειδείς ατέλειες,

ήχοι υψηλών συχνοτήτων (άρα με μικρά μήκη κύματος) υφίστανται μεγαλύτερη σκέδαση καθώς επηρεάζονται από μικροατέλειες.

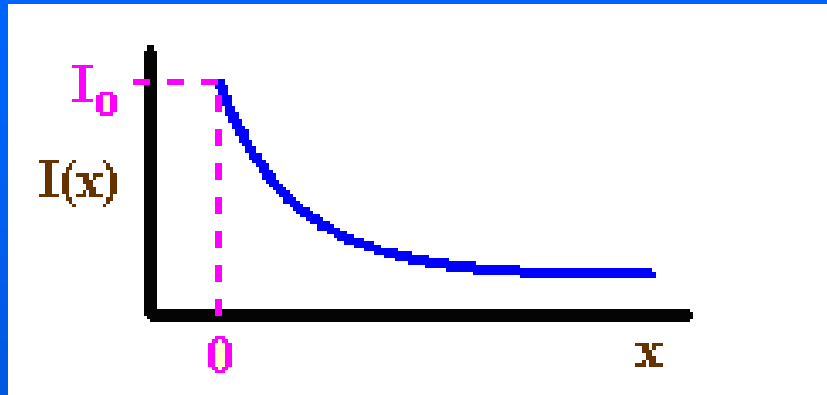
Απορρόφηση και εξασθένιση

Η ενέργεια που μεταφέρεται με μια υπερηχητική δέσμη απορροφάται σταδιακά από τους ιστούς του σώματος που συναντά κατά τη διάδοσή της με αποτέλεσμα να εξασθενεί.

Άλλοι λόγοι που οδηγούν στην εξασθένιση της υπερηχητικής δέσμης είναι το γεγονός ότι κατά τη διάδοσή της, το εύρος (η διατομή της) αυξάνεται και η ενέργεια κατανέμεται σε μία ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της δέσμης, καθώς και το γεγονός ότι λόγω σκέδασης της δέσμης από διάχυτους ανακλαστές από ανομοιογένειες, ένα ποσοστό της ενέργειας απομακρύνεται από τη διαδιδόμενη δέσμη

Η εξασθένιση λόγω σκέδασης είναι ανάλογη της 4ης δύναμης της συχνότητας. Επομένως δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν υπέρηχοι μεγάλης συχνότητας λόγω του φαινομένου της σκέδασης .

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$



Ο συντελεστής εξασθένισης, μ , εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του μέσου διάδοσης και από τη συχνότητα της δέσμης. Σε γενικές γραμμές, η απορρόφηση των υπερήχων από τους μαλακούς ιστούς, και άρα η εξασθένισή τους, είναι μικρή στις αποστάσεις που ενδιαφέρουν.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται ο βαθμός απορρόφησης των υπερήχων από μαλακό ιστό σε διάφορες συχνότητες, συγκρίνοντας το βάθος υποδιπλασιασμού, δηλαδή το βάθος όπου έχει απορροφηθεί η μισή αρχική ένταση.

| Συχνότητα (MHz) | Μήκος κύματος (mm) | Βάθος υποδιπλασιασμού έντασης, $L_{1/2}$ (cm) |
|-----------------|--------------------|---|
| 1.00 | 1.54 | 6.0 |
| 5.00 | 0.31 | 1.2 |
| 10.0 | 0.154 | 0.6 |

Παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες συχνότητες απορροφώνται πιο αργά (διανύουν μεγαλύτερη απόσταση) σε σχέση με τις υψηλότερες.

Γενικά, το βάθος υποδιπλασιασμού είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας.

Αυτό σημαίνει ότι ένας υπέρηχος συχνότητας 1 MHz έχει βάθος υποδιπλασιασμού, $L1/2$, ίσο με 6 cm, ενώ ένας υπέρηχος δεκαπλάσιας συχνότητας, δηλαδή 10 MHz έχει βάθος υποδιπλασιασμού, $L1/2$, ίσο με 0.6 cm, δηλαδή το υποδεκαπλάσιο του υπέρηχου του 1 MHz.

Επομένως ο υπερηχητικός παλμός των 10 MHz θα διαδοθεί στη υποδεκαπλάσια απόσταση από εκείνον των 1 MHz πριν υποστεί την ίδια ακριβώς απορρόφηση.

Υπέρηχοι

Τα μήκη κύματος των ήχων που γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο είναι από μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα και οι συχνότητες τους έχουν τιμές από 20 Hz έως 20 kHz.

Για παράδειγμα, οι γνωστές μουσικές νότες έχουν συχνότητες 261.7 Hz (το ντο), 440 Hz (το λα) κ.λ.π.

Οι υπέρηχοι έχουν συχνότητες πάνω από 20 kHz και οι υπόηχοι έχουν συχνότητες πάρα πολύ χαμηλές (κάτω από 20 Hz).

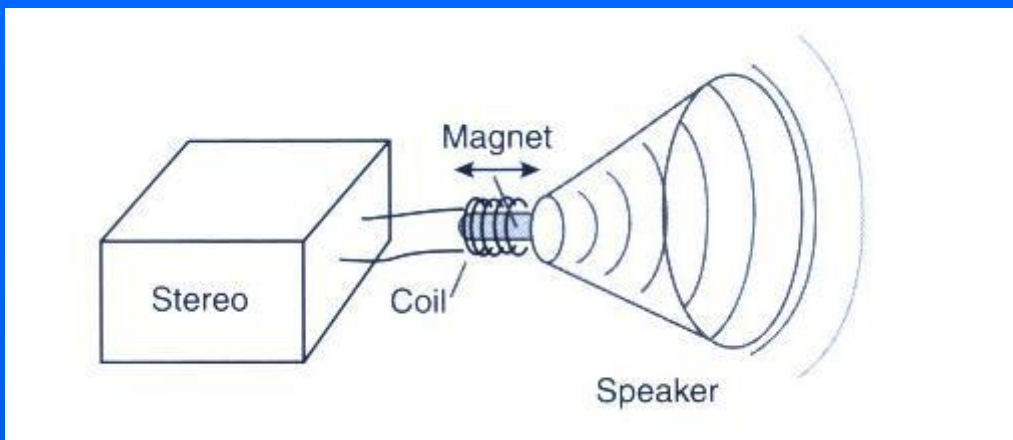
Στην Ιατρική οι υπέρηχοι που χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς σκοπούς έχουν συχνότητες από 1 έως 50 MHz.

Παραγωγή και ανίχνευση υπέρηχων

Η παραγωγή και η ανίχνευση του ηχητικού κύματος σχετίζεται με την ταλάντωση ενός αντικειμένου.

Στην περίπτωση των υπερήχων το αντικείμενο αυτό καλείται ηχοβολέας ή μεταλλάκτης. Ο μεταλλάκτης είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια μορφή ενέργειας σε άλλη και σε αυτήν την περίπτωση, την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική και αντίστροφα.

Ένας τέτοιος μεταλλάκτης είναι και το μεγάφωνο όπου ένα διάφραγμα κωνοειδούς σχήματος, ταλαντώνεται και παράγει ηχητικά κύματα



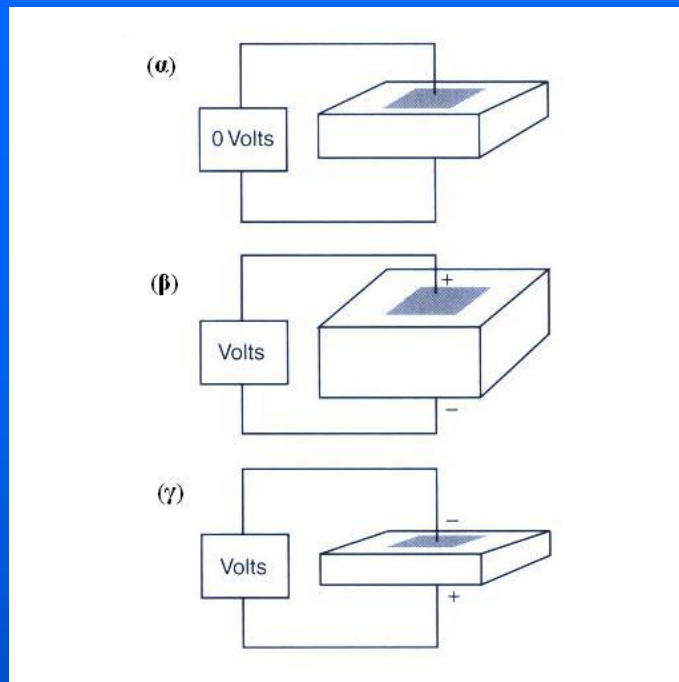
Το διάφραγμα φέρει ένα πηνίο, με ένα μαγνήτη στο εσωτερικό του. Όταν το πηνίο διαρρέεται από χρονικά μεταβαλλόμενο ρεύμα, στο μαγνήτη ασκείται μεταβαλλόμενη δύναμη. Η δύναμη αυτή προκαλεί την ταλάντωση του μαγνήτη και του διαφράγματος, το οποίο εκπέμπει ηχητικά κύματα στον περιβάλλοντα αέρα.

Ο μεταλλάκτης υπερήχων λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το μεγάφωνο όταν επιδράσει σε αυτόν μια χρονικά μεταβαλλόμενη τάση ή ένα μαγνητικό πεδίο. Δηλαδή ταλαντώνεται και παράγει ήχο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται και με την αντίστροφη διαδικασία ως ανιχνευτές ήχου. Κατά τη διαδικασία αυτή, το ηχητικό κύμα προκαλεί τη συστολή και διαστολή ενός υλικού, παράγεται τάση ή μαγνητικό πεδίο, τα οποία μπορούν να μετρηθούν και να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του εισερχόμενου ήχου.

Η παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο, ύστερα από συμπίεση ή εφελκυσμό, εμφανίζονται ετερόνυμα φορτία στα άκρα ενός υλικού και αντίστροφα η εφαρμογή μιας διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός τέτοιου υλικού έχει σαν αποτέλεσμα την συμπίεση ή τον εφελκυσμό του. Τα υλικά που έχουν την ιδιότητα αυτή ονομάζονται πιεζοηλεκτρικά και περιλαμβάνουν ουσίες όπως είναι οι κρύσταλλοι του χαλαζία καθώς και διάφορα κεραμικά υλικά, όπως το κράμα μολύβδου-ζirkονίου-τιτανίου.

Για την παραγωγή των υπερήχων εφαρμόζεται κατάλληλο εναλλασσόμενο δυναμικό στα άκρα του υλικού. Το δυναμικό αυτό προκαλεί περιοδική μετακίνηση της επιφάνειας του υλικού και στη συνέχεια ταλάντωση των γειτονικών μορίων του αέρα και την παραγωγή των υπερήχων.

Για την ανίχνευση των υπερήχων χρησιμοποιείται ο ίδιος μεταλλάκτης. Το κύμα των υπερήχων προσπίπτει στον μεταλλάκτη, θέτει σε παλμική κίνηση την επι-φάνειά του, μ' αποτέλεσμα την δημιουργία διαφοράς δυναμικού στα άκρα του, η οποία και καταγράφεται.



Με τη βοήθεια μεταλλικών ηλεκτροδίων, που τοποθετούνται στις δύο επιφάνειες, εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση στον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο ηλεκτρική τάση.

Όταν εφαρμόζεται μηδενική τάση, ο κρύσταλλος, ο οποίος αρχικά έχει συγκεκριμένες διαστάσεις (α).

Όταν στον κρύσταλλο εφαρμοστούν τάσεις αντίθετης πολικότητας, ο κρύσταλλος διαστέλλεται (β) ή συστέλλεται (γ).

Τέλος, όταν στον κρύσταλλο εφαρμοστεί χρονικά μεταβαλλόμενη τάση με εναλλασσόμενη πολικότητα, τότε αυτός ταλαντώνεται.

Η ταλάντωση των δύο επιφανειών του μεταδίδεται στο μέσο που τον περιβάλλει, παράγοντας ηχητικά κύματα.

Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι που χρησιμοποιούνται στους μεταλλάκτες υπερήχων έχουν τη μορφή κυκλικών δίσκων (δισκοειδείς κρύσταλλοι).

Κάθε κρύσταλλος έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα συντονισμού, συχνότητα δηλαδή στην οποία δονείται όταν εφαρμοστεί μια εξωτερική τάση και επομένως παράγει ηχητικά κύματα συγκεκριμένης συχνότητας.

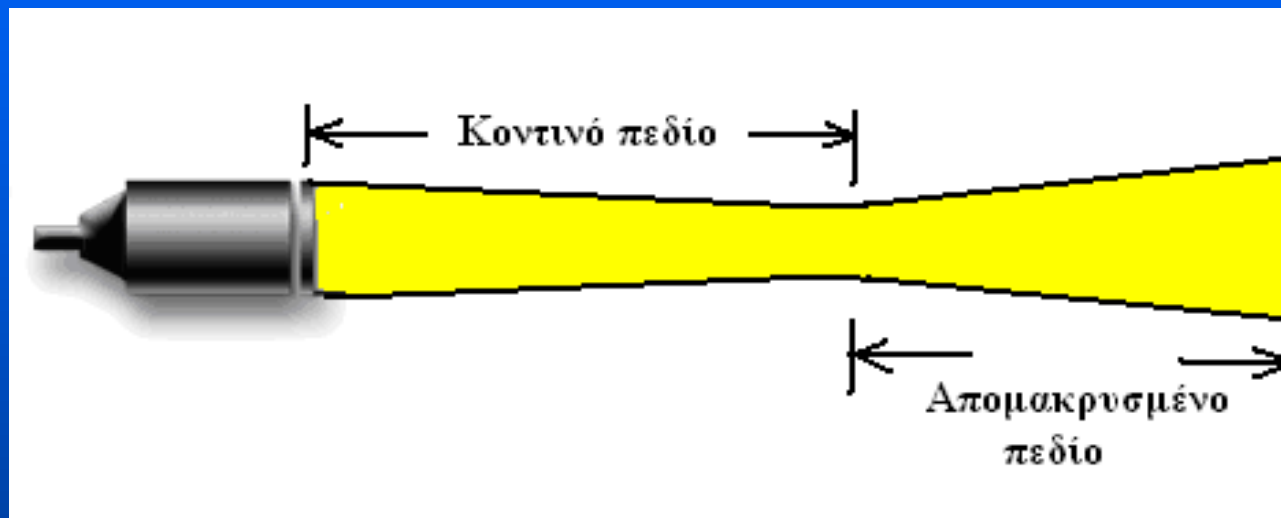
Η συχνότητα συντονισμού είναι αντιστρόφως ανάλογη με του πάχους του κρυστάλλου.

Πρακτικά, οι υπέρηχοι που χρησιμοποιούνται στην Ιατρική δεν είναι ένα και μόνο ηχητικό κύμα αλλά μια δέσμη κυμάτων.

Η μορφή της δέσμης εξαρτάται από τις ιδιότητες του μεταλλάκτη και πιο συγκεκριμένα από τη διάμετρο και τη συχνότητα συντονισμού του καθώς επίσης και από το σχήμα του.

Η μορφή της δέσμης των υπερήχων που παράγεται εξαρτάται από το σχήμα του μεταλλάκτη.

Για δισκοειδή μεταλλάκτη, όπως είναι αυτός που χρησιμοποιείται στην απεικόνιση, η δέσμη έχει τη μορφή:



Στην αρχή, στο λεγόμενο κοντινό πεδίο (ζώνη Fresnel), η δέσμη συγκλίνει και στη συνέχεια, στο λεγόμενο απομακρυσμένο πεδίο (ζώνη Fraunhofer), η δέσμη αποκλίνει.

Το μήκος του κοντινού πεδίου, D_{Fresnel} , καθώς και η γωνία απόκλισης, θ , του απομακρυσμένου πεδίου εξαρτώνται από την ακτίνα r του μεταροπέα και από το μήκος κύματος, λ , του ήχου:

$$D_{\text{Fresnel}} = \frac{r^2}{\lambda}$$

$$\sin \theta = 0.6 \left(\frac{\lambda}{r} \right)$$

Το μήκος κύματος, λ , εξαρτάται, όπως προαναφέρθηκε, από την ταχύτητα διάδοσης στο μέσο (η οποία είναι σταθερή) και από τη συχνότητα ταλάντωσης του ηχοβολέα.

Η ρύθμιση του μήκους κύματος και της ακτίνας επηρεάζει άμεσα το σχήμα της δέσμης.

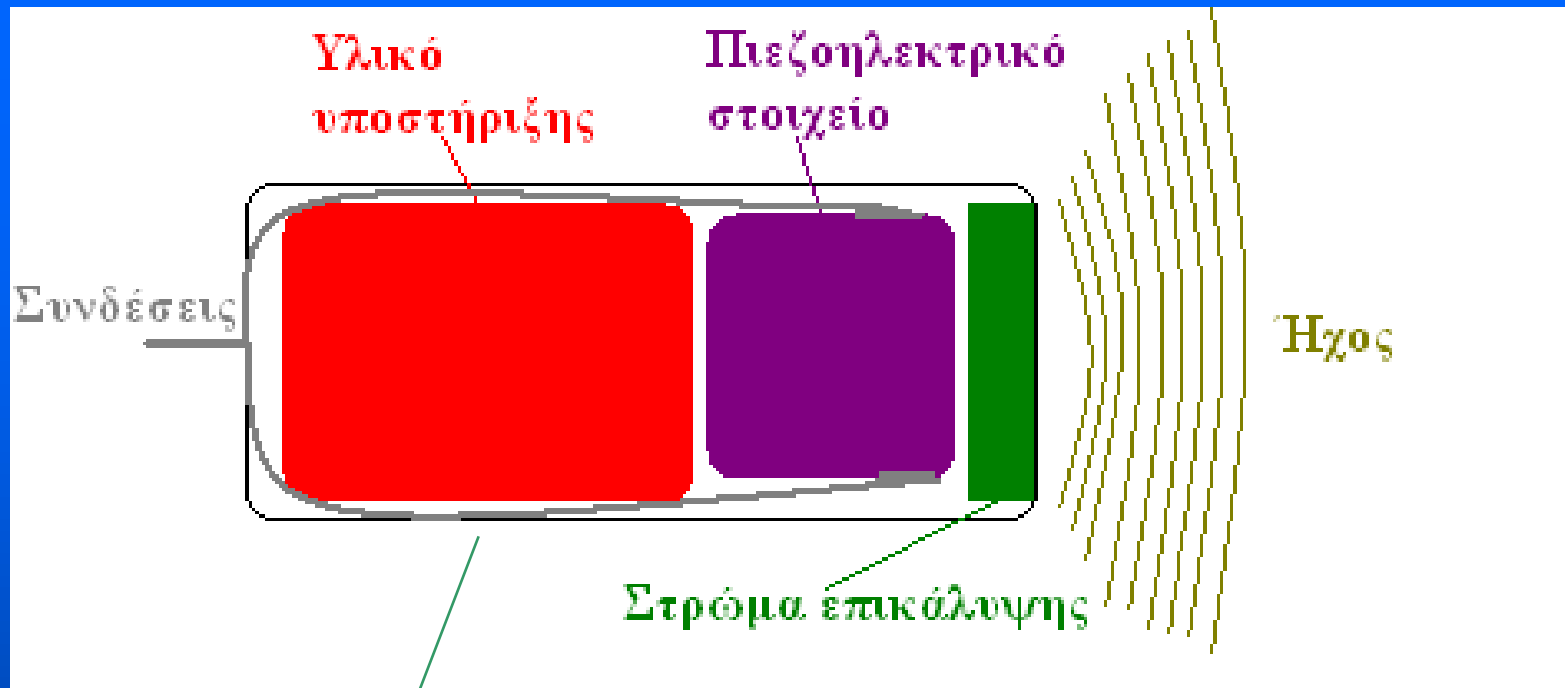
Σε ένα ηχοβολέα με ένα μόνο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της ακτίνας, κάτι που αντιθέτως είναι εφικτό σε αυτόν που αποτελείται από πολλαπλά πιεζοηλεκτρικά στοιχεία.

Μια αύξηση της ακτίνας προκαλεί αύξηση του μήκους του κοντινού πεδίου και μείωση της γωνίας απόκλισης του απομακρυσμένου πεδίου.

Το πάχος (η διατομή) της δέσμης είναι το μικρότερο δυνατό ή με άλλα λόγια «εστιάζει» για μεσαίες αποστάσεις από τον ηχοβολέα.

Η περιοχή αυτή ονομάζεται εστιακή και μας δίνει την καλύτερη δυνατή εικόνα.

Τεχνικές εκπομπής υπερήχων κατά παλμούς (pulse-echo)



Το υλικό υποστήριξης αποσβένει την δόνηση που παράγουν τα ηχητικά κύματα, τα οποία, αφού ανακλαστούν στο σώμα, προσπίπτουν στο μεταλλάκτη.

Με αυτόν τον τρόπο αυτό ο εισερχόμενος (προσπίπτον) ηχητικός παλμός μετατρέπεται σχετικά γρήγορα σε ηλεκτρικό παλμό.

Επειδή ο χρόνος μεταξύ της εκπομπής και της ανίχνευσης των ανακλώμενων υπερήχων είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο απόσβεσης, η ίδια συσκευή-μεταλλάκτης μπορεί και να εκπέμψει το υπερηχητικό κύμα αλλά και να ανιχνεύσει τους ανακλώμενους ήχους, δρώντας με αυτόν τον τρόπο κι ως εκπομπός και ως δέκτης..

Το μέγεθος ενός αντικειμένου που είναι ικανό να ανακλά τον ήχο εξαρτάται από το μήκος κύματος, δηλαδή τη συχνότητα του ηχητικού κύματος.

Αν ένα αντικείμενο είναι πολύ μικρότερο από ένα μήκος κύματος (μικρότερο από το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος του ηχητικού κύματος), δεν θα ανακλάσει τον ήχο.

Αντίθετα τα μεγαλύτερα αντικείμενα είναι πολύ καλύτεροι ανακλαστές.

Επομένως η χωρική διακριτική ικανότητα της απεικόνισης με υπέρηχους εξαρτάται άμεσα από το μήκος κύματος του κύματος.

Οι συχνότητες υπερήχων που χρησιμοποιούνται στην Ιατρική (1-50 MHz), αντιστοιχούν σε μήκη κύματος της τάξης του mm και επομένως μπορούν να ανακλαστούν από δομές αντίστοιχων διαστάσεων, με αποτέλεσμα και η χωρική διακριτική ικανότητα της τεχνικής να είναι αντίστοιχη (της τάξης του mm).

Γενικά, οι μικρότερες δομές είναι πιο ευδιάκριτες όταν χρησιμοποιούνται μικρότερα μήκη κύματος και άρα υψηλότερες συχνότητες. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι σωστή η αυθαίρετη χρήση υπερήχων μικρού μήκους κύματος για να επιτευχθεί η απεικόνιση λεπτομερειών, γιατί οι υπέρηχοι μικρού μήκους κύματος έχουν μεγάλες συχνότητες και επομένως θα απορροφηθούν πριν φτάσουν στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Άρα το βάθος που μπορεί να διεισδύσουν οι υπέρηχοι και να πραγματοποιηθεί η απεικόνιση μειώνεται σημαντικά στις υψηλότερες συχνότητες.

Επομένως, η επιλογή της συχνότητας των υπερήχων πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τόσο το βάθος που βρίσκεται το προς απεικόνιση αντικείμενο όσο και την απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας.

Οι μικρότερες συχνότητες (μεγαλύτερα μήκη κύματος) χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουμε δομές που βρίσκονται βαθιά στην κοιλιά, ενώ οι μεγαλύτερες συχνότητες (μικρότερα μήκη κύματος) χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουμε, με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, τις δομές που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια.

Έτσι στην απεικόνιση του μαστού, όπου οι δομές είναι σε μικρότερο βάθος χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες συχνότητες (7.5 έως 10 MHz), από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση δομών της κοιλιάς (περίπου 3 MHz) οι οποίες βρίσκονται σε βάθος της τάξης των 10 cm.

Από την άλλη μεριά βέβαια η χωρική διακριτική ικανότητα στην απεικόνιση του μαστού είναι υψηλότερη και η εικόνα λεπτομερέστερη.

Τεχνικές παλμικής μετάδοσης

Στην τεχνική αυτή ο μεταλλάκτης παράγει ένα σύντομο παλμό που διαδίδεται από το δέρμα του ασθενή μέσα στο ανθρώπινο σώμα του.

Μεσολαβεί ένας νεκρός χρόμος (παύση) και στη συνέχεια η παραγωγή επαναλαμβάνεται. Κάθε φορά που ο παλμός συναντά τη διαχωριστική επιφάνεια δύο ιστών με διαφορετικές τιμές ακουστικών εμποδίσεων (διεπαφή), ο ήχος ανακλάται πίσω στο μεταλλάκτη, στον ίδιο που παρήγαγε τον παλμό.

Η ανίχνευση και καταγραφή του ανακλώμενου παλμού πραγματοποιείται, και ανιχνεύεται από αυτόν, κατά τη διάρκεια της παύσης εκπομπής παλμών, σε χρόνο t από την εκπομπή του δημιουργώντας μία ηχώ μετά από χρόνο t .

Από το χρόνο αυτό υπολογίζεται η απόσταση της επιφάνειας από το μεταλλάκτη.

Η ένταση του ανακλώμενου υπέρηχου παλμού (ηχώ), εξαρτάται

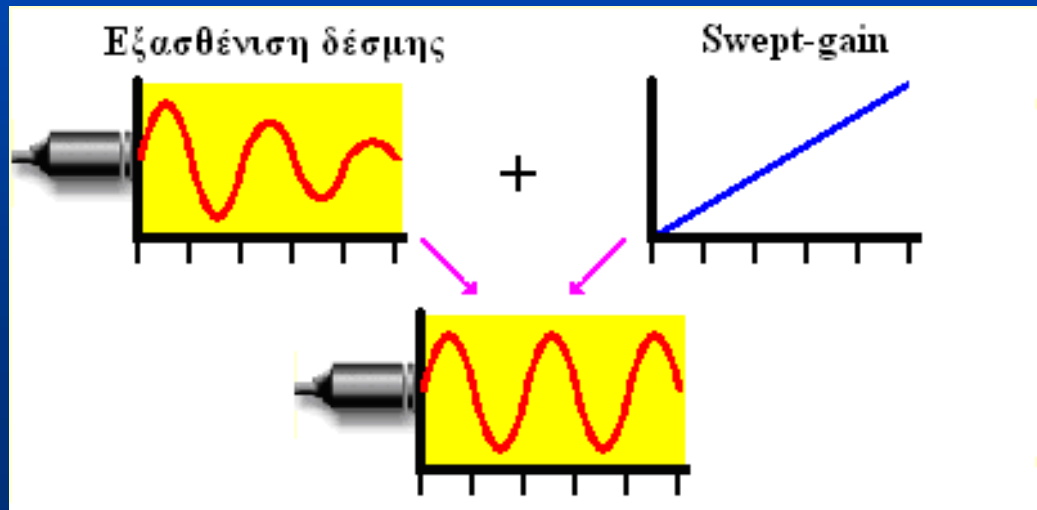
α) από τη διαφορά των τιμών των ακουστικών εμποδίσεων που συναντά το ηχητικό κύμα σε μια διεπαφή και

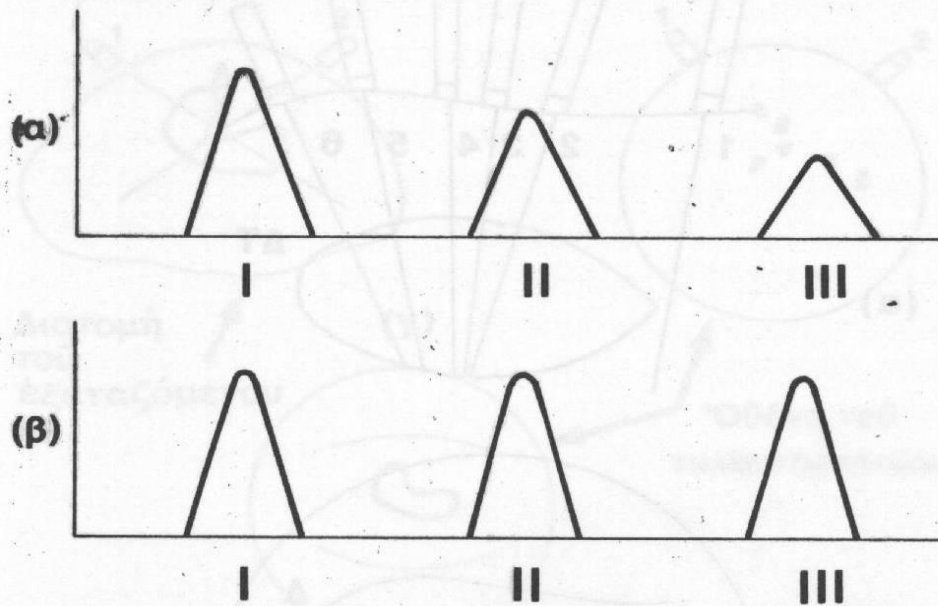
β) από την εξάσθενιση που υφίσταται η δέσμη υπερήχων κατά τη δίοδό της μέσα στο σώμα

Όσον αφορά την εξασθένιση της δέσμης σε ένα μέσο, αυτή είναι εκθετική και εξαρτάται από το συντελεστή εξασθένισης του μέσου διάδοσης και από το μήκος της διαδρομής που διανύει η δέσμη στο μέσο και είναι εκθετική.

Με σκοπό την καταγραφή ηχών με ένταση ανεξάρτητη από την εξασθένιση, οι εντάσεις των ανακλώμενων ήχων που καταγράφονται ενισχύονται εκθετικά με τέτοιο τρόπο ώστε δύο ίδιες ανακλαστικές επιφάνειες να παράγουν τελικά το ίδιο σήμα ανεξάρτητα από το βάθος/απόσταση που βρίσκονται.

Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως χρονική ενίσχυση ([time-gain control](#) ή [swept-gain control](#))

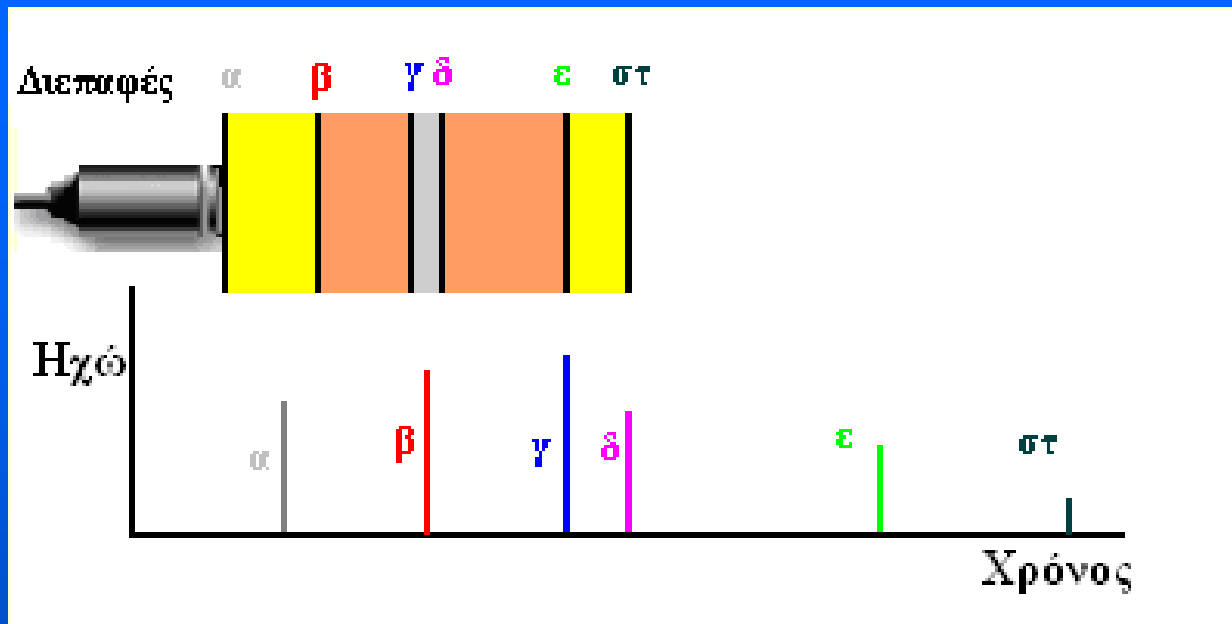




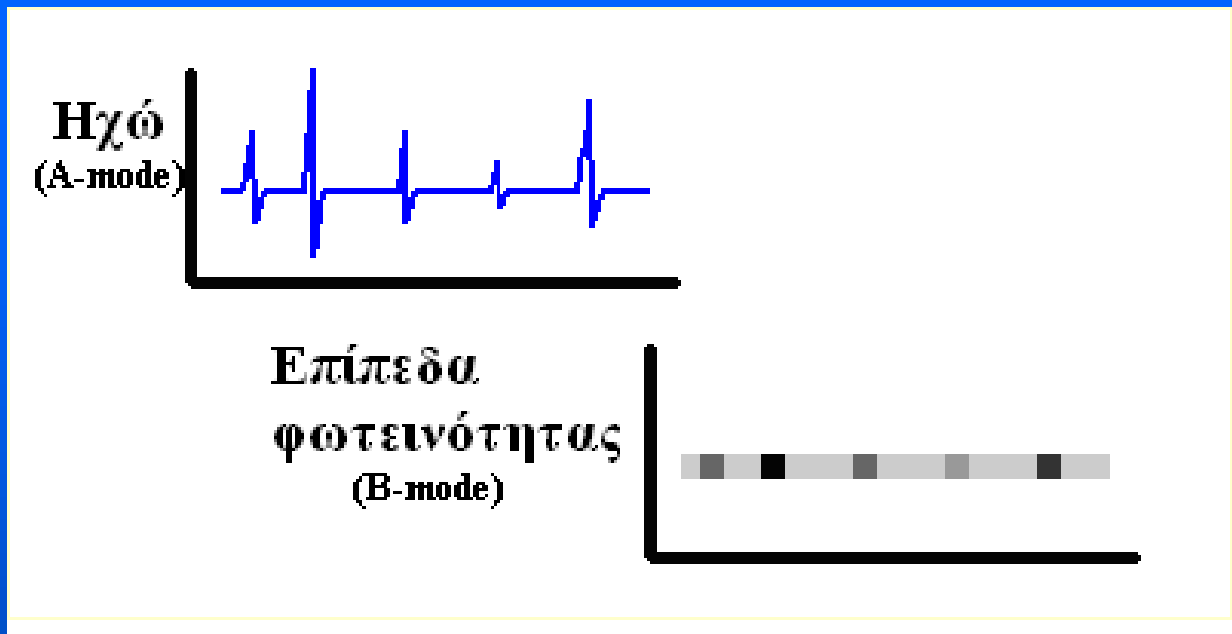
Σχῆμα 10.3. (α) Ἀνακλώμενοι ὑπέρηχοι (χωρίς ἐνίσχυση).
 (β) Ἀνακλώμενοι ὑπέρηχοι (μέ ἐνίσχυση).

(α) Οἱ ἀνακλώμενοι ὑπέρηχοι I, II, III θεωρεῖται ὅτι θά εἶχαν, στήν προκείμενη περίπτωση, τό αὐτό πλάτος, ἂν ἡ ἐξασθένησή τους ἦταν ὁμοίτη. Παρουσιάζονται μέ διαφορετικό πλάτος, ἐπειδή ἀνακλῶνται ἀπό διάφορα βάθη, καί συνεπῶς οἱ προερχόμενοι ἀπό βαθύτερες ἀνακλαστικές ἐπιφάνειες ἐξασθενοῦν περισσότερο.

(β) Οἱ ἀνακλώμενοι ὑπέρηχοι, μετά τήν κατάλληλη ἐνίσχυση, ἔχουν τό αὐτό πλάτος (I, II, III), ὅπως ἀναμένεται στήν προκείμενη περίπτωση, ὅπου οἱ διαφορές τοῦ πλάτους τους, πού παρατηροῦνται χωρίς ἐνίσχυση, ὀφείλονται σέ διαφορετική ἀπορρόφησή τους κατά τή δίοδό τους μέσω στιβάδων διαφορετικοῦ μήκους. (Θεωρεῖται ὅτι οἱ 3 ἀνακλαστικές ἐπιφάνειες εἶναι ὁμοιες ἀκουστικῶς).



$$2d = v_s t \quad \Rightarrow \quad d = \frac{1}{2} v_s t$$



A mode: παριστάνεται γραφικά η ένταση των ανακλώμενων παλμών σε συνάρτηση με την απόσταση του ανιχνευτή από τις επιφάνειες ανάκλασης

B mode: η ένταση των ανακλώμενων παλμών παρουσιάζεται ως επίπεδο φωτεινότητας.

A mode

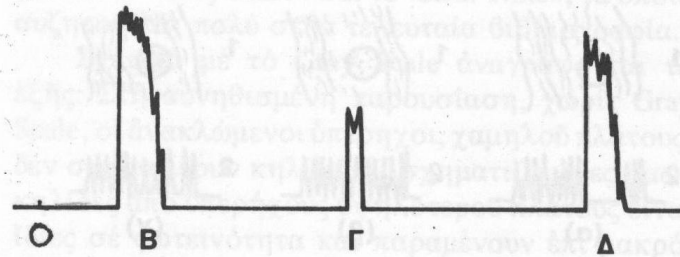
Γραφική παράσταση της έντασης των ανακλώμενων παλμών, ως επάρματα σε ταλαντοσκόπιο, σε συνάρτηση με την απόσταση του ανιχνευτή από την επιφάνεια ανάκλασης, όταν ένας υπερηχητικός παλμός διαδίδεται σε μια ορισμένη διεύθυνση

Απεικονίζει τις θέσεις των επιφανειών όπου ανακλώνται οι υπέρηχοι, σε μια μόνο διεύθυνση και δεν παρέχει εικόνα των δομών του σώματος στο χώρο.

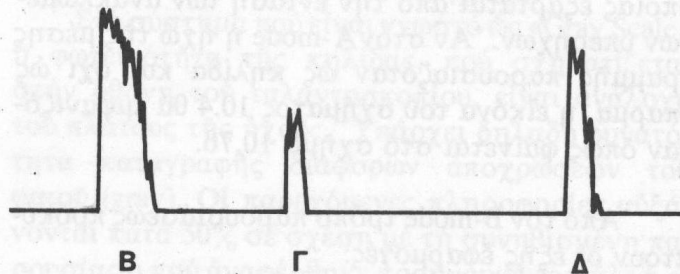
Με τη μέθοδο αυτή παίρνουμε πληροφορίες για τη θέση που βρίσκονται αυτές οι α-ακλαστικές επιφάνειες, κατά μήκος του άξονα διαδόσεως των υπερήχων, καθώς και για τη σχετική ανακλαστική τους ικανότητα

Οι συνηθέστερες εφαρμογές του A mode είναι ο έλεγχος της μέσης ανακλαστικής επιφάνειας του εγκεφάλου

και η διαφορική διάγνωση μεταξύ κυστικών και συμπαγών μαζών



Σχήμα 10.4. A-Scan. Ήχώ τής μέσης γραμμής του εγκεφάλου (φυσιολογικά). Ο κάθετος άξονας αντιστοιχεί σέ ένταση ανακλώμενων υπερήχων και ο οριζόντιος άξονας σέ απόσταση (βάθος) τής ανακλαστικής επιφάνειας. Ή ήχώ τής μέσης γραμμής αντιστοιχεί στό σημείο Γ, ενώ στά σημεία Β και Δ αντιστοιχεί ή ήχώ τής κρανιακής κάψας (άριστερά και δεξιά). Τό σημείο 0 είναι ή άρχή τής βασικής γραμμής του ταλαντοσκοπίου.



Σχήμα 10.5. Παρεκτόπιση τής μέσης γραμμής του εγκεφάλου. Ή καμπύλη Γ βρίσκεται κοντά στή Β και όχι στό μέσο τής απόστάσεως ΒΔ.

B mode

Οι εντάσεις των ανακλώμενων παλμών παρουσιάζονται ως σημεία φωτεινότητας ή απόχρωσης του γκρι ανάλογης με την ένταση του ανακλώμενου παλμού και σε θέση που εξαρτάται από τη θέση από την οποία προήλθε η ανάκλαση του παλμού.

Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η απεικόνιση των δομών στο χώρο με την απόκτηση δισδιάστατων εικόνων που αντιστοιχούν σε εγκάρσιες τομές στο σώμα.

Στην τεχνική αυτή, η οποία είναι γνωστή και ως υπερηχοτομο-γραφία, ο μεταλλάκτης κινείται κατά μήκος μιας γραμμής στην επιφάνεια του σώματος έως ότου σαρώσει όλη την επιφάνεια.

Στην οθόνη παρουσιάζονται οι εντάσεις των σημάτων που προέρχονται από τις ανακλαστικές επιφάνειες, που συναντούν οι υπέρηχοι στις διαδοχικές ευθείες διαδόσεως, με φωτεινότητα ανάλογη με την ένταση του ανακλώμενου παλμού.

Ο τρόπος αυτός μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητός, αν φανταστούμε την εγκάρσια τομή διαιρούμενη σε πολλές κυψελίδες (pixels) και για κάθε τέτοια κυψελίδα μια θέση στη μνήμη εικόνας, στην οποία αντιστοιχεί ένα επίπεδο φωτεινότητας ανάλογο της έντασης του ανακλώμενου σε αυτή παλμού

B-scan δύο διαστάσεων ή υπερηχοτομογραφία

Ο μεταλλάκτης κινείται κατά μήκος μιας γραμμής στην επιφάνεια του σώματος. Έτσι στην οθόνη παρουσιάζονται τα σήματα που προέρχονται από ανακλαστικές επιφάνειες που συναντούν οι υπέρηχοι στις διαδοχικές ευθείες διαδόσεως.

Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται η εικόνα μιας τομής του σώματος όπως ορίζεται από την ευθεία κινήσεως του μεταλλάκτη και την διεύθυνση διαδόσεως των κυμάτων.



Νεότερα συστήματα παρουσίασης

Real-time. Το σύστημα παρουσιάσεως real-time (σε πραγματικό χρόνο) δεν είναι τίποτα άλλο από σχηματισμό και παρουσίαση μιας τομής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε με την συνεχή λήψη τέτοιων τομών να είναι δυνατό να παρακολουθηθεί η κίνηση της επιφάνειας.

Η απαιτούμενη ταχύτητα σαρώσεως (ή ο χρόνος σχηματισμού μιας τομής) καθορίζεται από την ταχύτητα κινήσεως της επιφάνειας. Για παράδειγμα αν θέλουμε να μελετήσουμε την κίνηση της καρδιάς πρέπει να έχουμε τουλάχιστον 40 εικόνες ανά sec

Η ταχύτερη σάρωση γίνεται αυνήθως με τη χρήση σειράς μεταλλακτών

Τρισδιάστατη απεικόνιση

Κάνοντας λήψη πολλών παρακείμενων τομών με σαρωτή και ανακατασκευάζοντας αυτές τις τομές με τη βοήθεια γρήγορων υπολογιστών και των γραφικών του υπολογιστή μπορεί να δημιουργηθεί μία συνολικά τρισδιάστατη εικόνα. Έτσι για παράδειγμα, στην περίπτωση μιας μαιευτικής εφαρμογής μπορεί να πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση του εμβρύου μέσα στην κοιλιά της μητέρας του στη σωστή θέση και με σωστό προσανατολισμό



Ανακατασκευασμένη τρισδιάστατη εικόνα υπέρηχων εμβρύου 28βδομάδων

Διακριτική ικανότητα υπερηχοτομογραφημάτων

Αξονική διακριτική ικανότητα (διακριτική ικανότητα κατά μήκος της δέσμης των υπερήχων) :

Διαχωριστικές επιφάνειες που απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος των υπερήχων ($\lambda/2$) που προσπίπτουν πάνω τους, δεν διακρίνονται

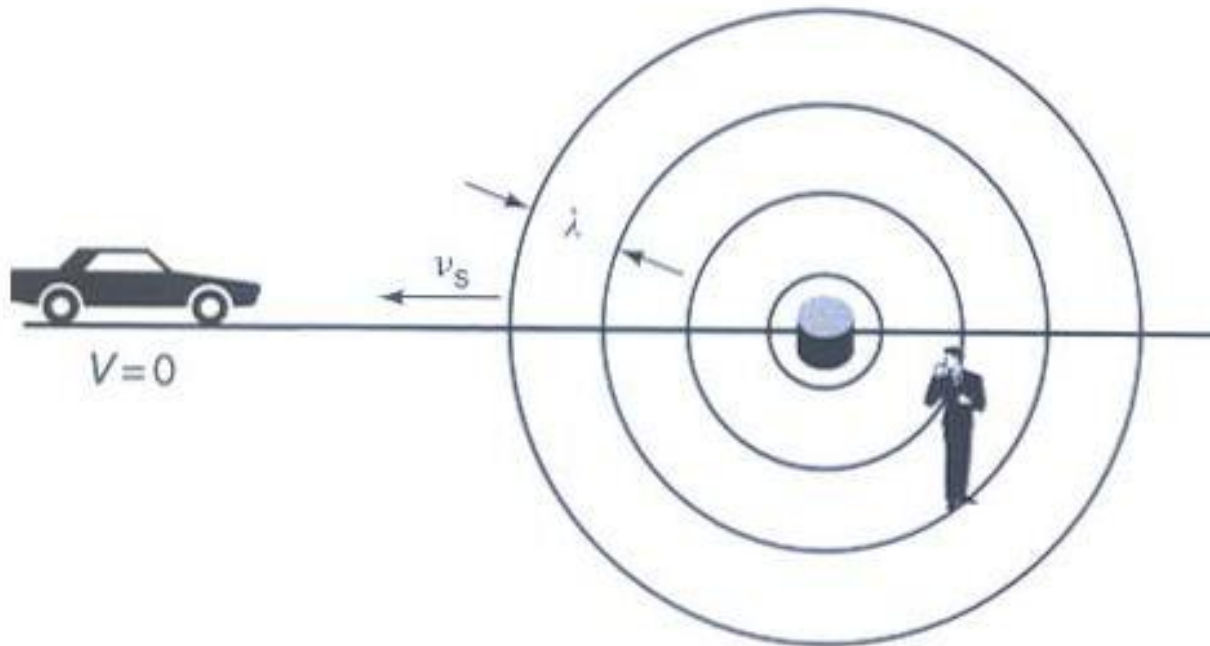
Πλευρική διακριτική ικανότητα (διακριτική ικανότητα κάθετα προς τη δέσμης των υπερήχων) :

Εξαρτάται από το πλάτος της δέσμης των υπερήχων, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τις διαστάσεις του κρυστάλλου, καθώς επίσης και από το μήκος κύματος και την απόσταση κρυστάλλου-ανακλαστικής επιφάνειας.

Διακριτική ικανότητα όγκου: ο μικρότερος όγκος υλικού, μέσα στον οποίο αν προσπέσουν υπέρηχοι, μας δίνουν διακριτές πληροφορίες ή σήμα

Φαινόμενο Doppler

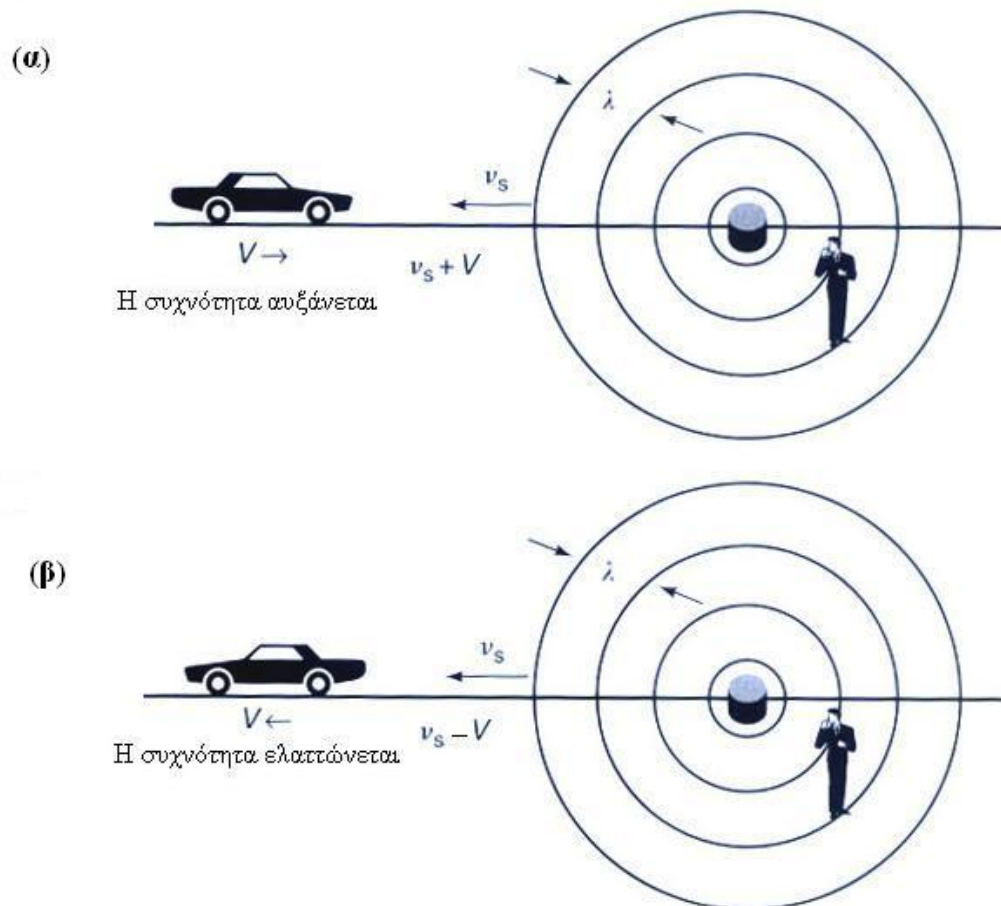
Το φαινόμενο Doppler βασίζεται στο γεγονός ότι όταν μια πηγή παραγωγής ήχου κινείται, τότε ο δέκτης-παρατηρητής αντιλαμβάνεται τον ήχο με διαφορετική συχνότητα από αυτήν που παράγει η πηγή. Πιο συγκεκριμένα, όταν η πηγή πλησιάζει το δέκτη, η συχνότητα αυξάνεται, ενώ όταν αυτή πηγή απομακρύνεται τότε η συχνότητα μειώνεται.



$$f_0 = \frac{v_s}{\lambda}$$

Κινούμενος παρατηρητής

Ο παρατηρητής που βρίσκεται μέσα στο αυτοκίνητο (κινούμενος παρατηρητής) κινείται με ταχύτητα V . Τότε ο κινούμενος παρατηρητής αντιλαμβάνεται τα ηχητικά κύματα με συχνότητα διαφορετική από f_0 , με την οποία εξακολουθεί να τα ακούει ο ακίνητος παρατηρητής. Αυτό συμβαίνει γιατί ο κινούμενος παρατηρητής κινείται προς τα κύματα, και άρα αντιλαμβάνεται ότι αυτά τον πλησιάζουν με ταχύτητα $v_s + V$. Αν το αυτοκίνητο απομακρύνεται από την πηγή, τότε αντιλαμβάνεται ότι αυτά τον πλησιάζουν με ταχύτητα $v_s - V$.



$$f' = \frac{v_s + V}{\lambda} = \frac{v_s}{\lambda} + \frac{V}{\lambda} = \frac{v_s}{\lambda} + \frac{v_s}{\lambda} \frac{V}{v_s} = \frac{v_s}{\lambda} \left(1 + \frac{V}{v_s} \right)$$

$$f' = \begin{cases} f_0 + f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν πλησιάζει στην πηγή} \\ f_0 - f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν απομακρύνεται από την πηγή} \end{cases}$$

Μετατόπιση Doppler

$$\Delta f = f' - f_0 = \begin{cases} + f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν πλησιάζει στην πηγή} \\ - f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν απομακρύνεται από την πηγή} \end{cases}$$

Η μετατόπιση Doppler είναι ανάλογη της ταχύτητας του παρατηρητή V και εξαρτάται από την αρχική συχνότητα f_0 και την ταχύτητα του ήχου v_s .

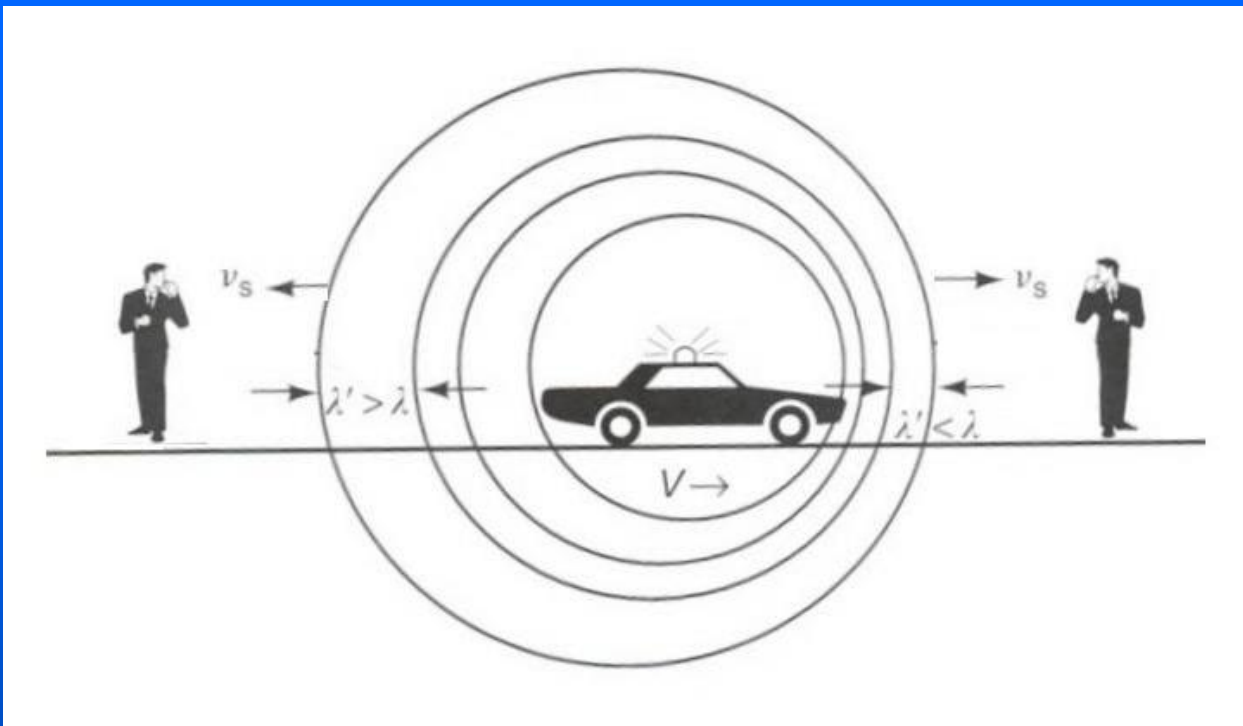
Η μετατόπιση Doppler έχει ως αποτέλεσμα ο ήχος να ακούγεται οξύτερος (με μεγαλύτερη συχνότητα) όταν ο παρατηρητής πλησιάζει την πηγή και βαρύτερος (με μικρότερη συχνότητα) όταν απομακρύνεται από αυτή.

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του παρατηρητή, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετατόπιση Doppler.

Κινούμενη πηγή

Ο ήχος διαδίδεται και πάλι με ταχύτητα V_s αφού αυτή προσδιορίζεται από τις ιδιότητες του μέσου και δεν επηρεάζεται από την κίνηση της πηγής. Σε αυτήν την περίπτωση, όμως, το μήκος κύματος δεν ισούται πλέον με V_s/f_0

Τα κύματα συσσωρεύονται κατά την κατεύθυνση κίνησης της πηγής και διασκορπίζονται πίσω από αυτή, με αποτέλεσμα ο κάθε παρατηρητής να αντιλαμβάνεται μικρότερο (κατά την κατεύθυνση κίνησης) ή μεγαλύτερο (κατά την αντίθετη κατεύθυνση) μήκος κύματος λ' , ανάλογα με τη θέση του.



Εφόσον αλλάζει η απόσταση μεταξύ των κυμάτων, αλλάζει και η συχνότητα με την οποία ο κάθε παρατηρητής αντιλαμβάνεται τα μέτωπα των κυμάτων. Από τη μεταβολή του μήκους κύματος, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μετατόπιση Doppler που οφείλεται στην περίπτωση αυτή στην κίνηση της πηγής.

Η απόσταση που διανύει η κινούμενη πηγή, δεδομένου ότι κινείται με ταχύτητα V , σε χρόνο μιας περιόδου T θα ισούται με λ' , που στην περίπτωση του παρατηρητή που τον πλησιάζει η πηγή (μικρότερο μήκος κύματος) δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda - VT = \lambda - V \frac{1}{f_0} = \lambda - V \frac{\lambda}{v_s} \\ &= \lambda \left(1 - \frac{V}{v_s}\right)\end{aligned}$$

ενώ αντίστοιχα για τον παρατηρητή που βρίσκεται από την άλλη μεριά

$$\lambda' = \lambda \left(1 + \frac{V}{v_s}\right)$$

Η αλλαγή στο μήκος κύματος λ' , έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει και η συχνότητα, f' , που ακούνε οι ακίνητοι παρατηρητές και η οποία στην περίπτωση του παρατηρητή που τον πλησιάζει η πηγή (μικρότερο μήκος κύματος) δίνεται από τη σχέση:

$$f' = \frac{v_s}{\lambda'} = \frac{v_s}{\lambda \left(1 - \frac{V}{v_s}\right)}$$
$$\cong \frac{v_s}{\lambda} \left(1 + \frac{V}{v_s}\right) = f_0 \left(1 + \frac{V}{v_s}\right) \quad \text{για } V \ll v_s$$

ενώ αντίστοιχα για τον παρατηρητή που βρίσκεται από την άλλη πλευρά

$$f' = f_0 \left(1 - \frac{V}{v_s}\right) \quad \text{για } V \ll v_s$$

$$\Delta f = f' - f_0 \cong \begin{cases} + f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν η πηγή πλησιάζει τον παρατηρητή} \\ - f_0 \frac{V}{v_s} & \text{όταν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή} \end{cases}$$

Οι απλοποιημένες αυτές σχέσεις χρησιμοποιούνται και στις ιατρικές εφαρμογές του φαινομένου Doppler, στις οποίες η ταχύτητα ροής του αίματος είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου.

Τεχνικές Doppler

Στις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιείται το φαινόμενο Doppler για την ανίχνευση, μελέτη και παρουσίαση κινουμένων επιφανειών.

Πιθανές διαφορές στη συχνότητα του ανακλώμενου και του εκπεμπόμενου ηχητικού παλμού δίνουν πληροφορίες για την κίνηση της ανακλαστικής επιφάνειας

Οι κυριότεροι ανακλαστές της υπερηχητικής δέσμης στο αίμα είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια.

Τα κινούμενα ερυθρά αιμοσφαίρια λειτουργούν σαν κινούμενοι παρατηρητές που, λόγω του φαινομένου Doppler, αντιλαμβάνονται μια συχνότητα f_1 , διαφορετική από την αρχική f_0 του εκπεμπόμενου ηχητικού κύματος.

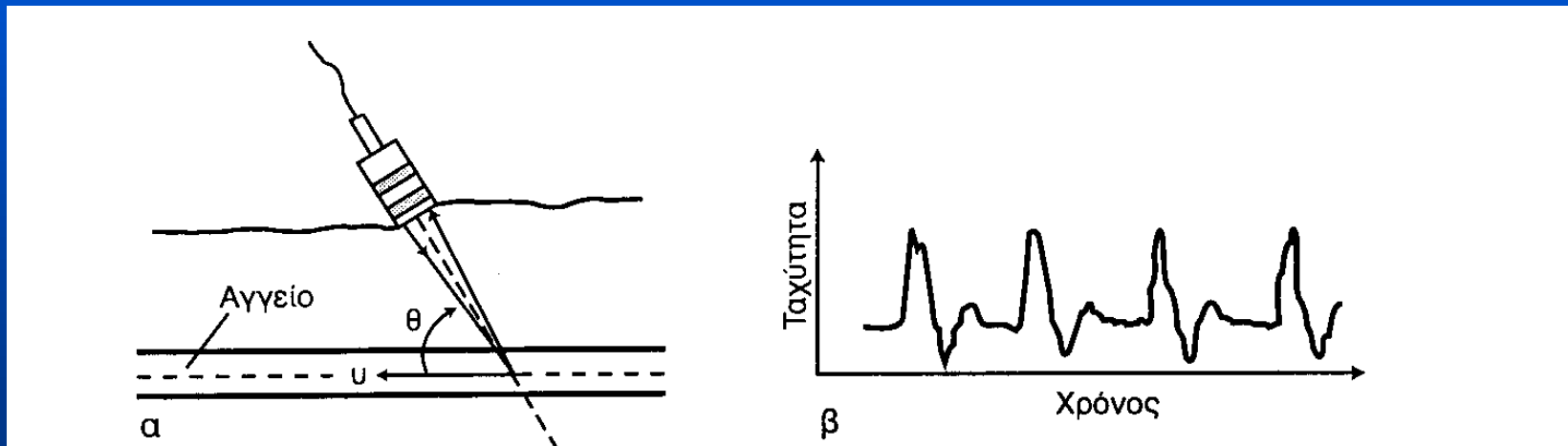
Από την άλλη μεριά, οι ανακλώμενοι υπέρηχοι, οι οποίοι έχουν συχνότητα f_1 καταγράφονται λόγω του φαινομένου Doppler με συχνότητα f_2 , η οποία είναι διαφορετική από την f_1 , (αφού τα κινούμενα ερυθρά αιμοσφαίρια δρουν ως κινούμενη πηγή υπέρηχων).

Το αποτέλεσμα των δύο αυτών αλλαγών στην αρχική συχνότητα f_0 , δίνει μια συνολική μεταβολή στη συχνότητα των ανακλάσεων που τελικά καταγράφονται στον ανιχνευτή ίση με :

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 2f_0 \frac{V}{v_s}$$

Η μετατόπιση Doppler αντιστοιχεί σε ηχητικό κύμα στην περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων (20 Hz έως 20 kHz) και επομένως μπορεί να καταγραφεί ως ακουστικό σήμα.

Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης δεν είναι δυνατόν να έχει ποσοτική πληροφορία, όσον αφορά την αιματική ροή, αλλά μπορεί να αποκτήσει ποιοτικές πληροφορίες και να εκτιμήσει αλλαγές στο ακουστικό σήμα από πιθανές αλλαγές στην αιματική ροή

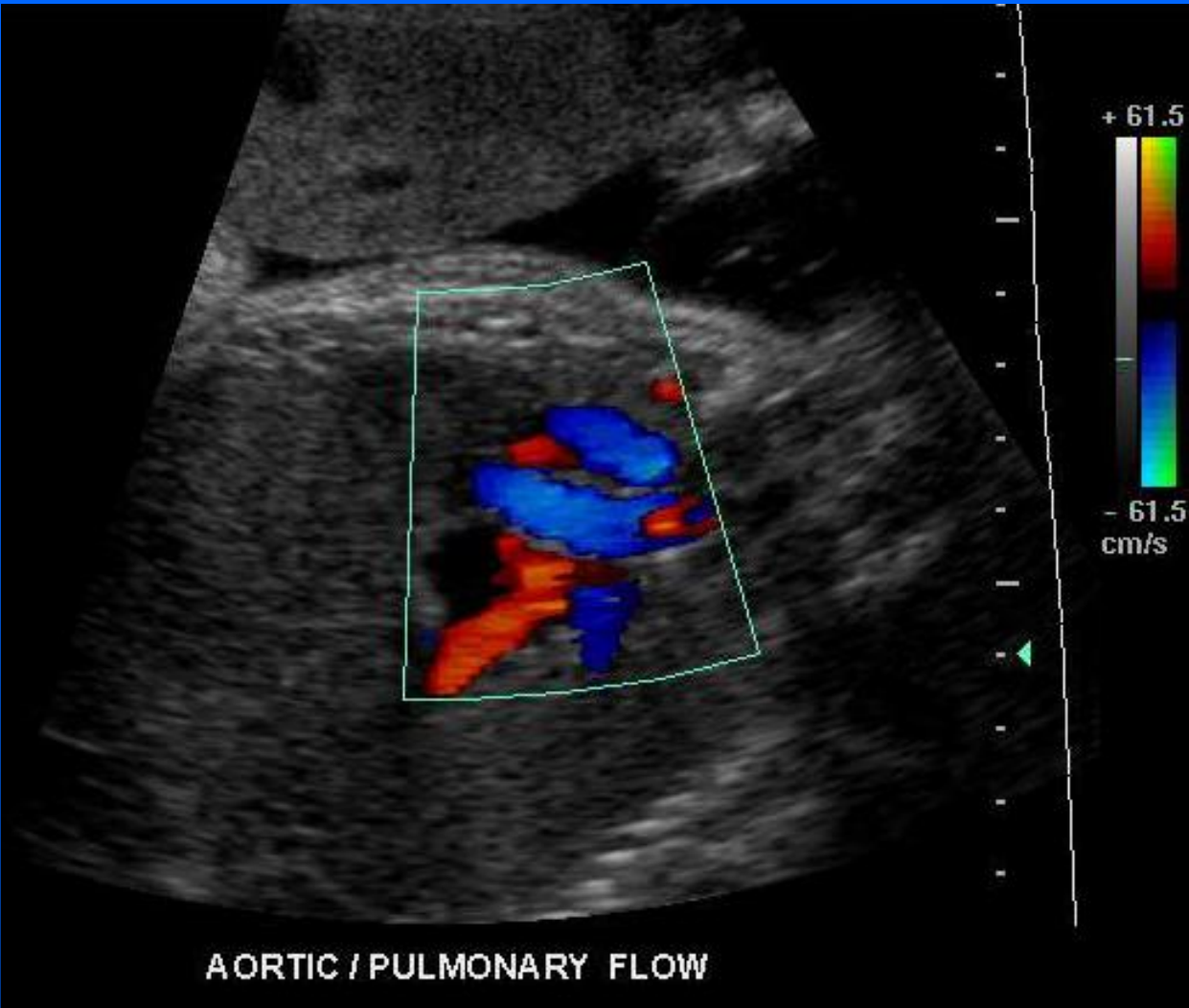


Μελέτη αιματικής ροής με την μέθοδο Doppler.

6.2.2. Έγχρωμη απεικόνιση Doppler (Color Doppler)

Στην τεχνική αυτή η ταχύτητα της αιματικής ροής μετριέται ταυτόχρονα με την απόσταση των περιοχών ανάκλασης.

Η παρουσίαση γίνεται με τη χρήση χρωμάτων πάνω στην ασπρόμαυρη υπερηχο-τομογραφική εικόνα. Οι ταχύτητες της ροής σε μία περιοχή προσδιορίζονται από το χρώμα της κάθε περιοχής αυτής στην εικόνα



Φωτεινές αποχρώσεις του κόκκινου αντιπροσωπεύουν ροή μεγάλης ταχύτητας προς τον ανιχνευτή,
σκούρες αποχρώσεις του κόκκινου αντιπροσωπεύουν ροή μικρής ταχύτητας προς τον ανιχνευτή.

Αντίστοιχα, το μπλε χρώμα χρησιμοποιείται, συνήθως, για να προσδιορίσει την κίνηση της ροής σε κατεύθυνση αντίθετη από τον ανιχνευτή.

Το κίτρινο ή το πράσινο χρώμα χρησιμοποιούνται ως ένδειξη τυρβώδους ροής που δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και η οποία είναι αποτέλεσμα στένωσης

Βιολογικές επιδράσεις υπερήχων

Οι πιθανές βιολογικές επιδράσεις τους σχετίζονται με το ποσό της ενέργειας που απορροφάται από τον ανθρώπινο οργανισμό και από το αν αυτή η απορρόφηση μπορεί να προκαλέσει βλάβες.

Το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας είναι και το μέγεθος που θέτει περιορισμούς στην ασφάλεια της χρήσης τους.

Παρόλο που οι βιολογικές επιδράσεις των υπερήχων στον ανθρώπινο οργανισμό δεν μας είναι απόλυτα γνωστές, είναι σίγουρο ότι οι υπέρηχοι είναι μία σχετικά ασφαλής απεικονιστική μέθοδος και σίγουρα ασφαλέστερη από άλλες απεικονιστικές τεχνικές, όπως αυτές που στηρίζονται στις ακτίνες -Χ.

Με βάση λοιπόν την υπάρχουσα γνώση, είναι κοινά αποδεκτό ότι χρήση των υπέρηχων στη διαγνωστική Ιατρική θεωρείται ασφαλής.

Στην περιοχή των λίγων MHz (μέχρι σήμερα) δεν έχουν παρατηρηθεί βιολογικά αποτελέσματα σε ιστούς θηλαστικών που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία εντάσεως μικρότερης από 100 mW/cm^2 .

Επιπλέον για χρόνο έκθεσης σε υπερήχους από 1-500 sec, δεν έχουν παρατηρηθεί βιολογικά αποτελέσματα και για ακόμη μεγαλύτερες εντάσεις αρκεί το γινόμενο του χρόνου επί την ένταση να είναι μικρότερο από 50 J/cm^2 .

Συνοπτικά

- α) Βιολογικά αποτελέσματα όπως καταστροφή ερυθρών κυττάρων, αποσύνθεση DNA κλπ. παρατηρούνται σε υψηλές τιμές έντασης.
- β) Δεν αποδείχθηκε καμία σχέση με γενετικά αποτελέσματα ούτε με καρκινογένεση.

Οι κύριοι μηχανισμοί δράσης των υπερήχων που μπορούν να προκαλέσουν βιολογικά αποτελέσματα είναι ο θερμικός μηχανισμός και η σπηλαιοποίηση.

Κατά τον θερμικό μηχανισμό, η ενέργεια των υπερήχων που απορροφάται από τους ιστούς μετατρέπεται σε θερμότητα και εμφανίζεται σαν αύξηση της θερμοκρασίας.

Αν και η παροδική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια ενός παλμού είναι κλάσμα του ενός °C, η τελική αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει τους λίγους βαθμούς εξαιτίας του φαινομένου της συσσώρευσης.

Εάν τα διαστήματα ανάμεσα στους παλμούς είναι αρκετά μεγάλα ώστε να απαχθεί η θερμότητα, τότε η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αμελητέα.

Σπηλαιοποίηση

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει την συμπεριφορά φυσαλίδων σε ρευστό που ακτινοβολείται με υπερήχους.

Σε υψηλές εντάσεις δημιουργούνται ξαφνικά φυσαλίδες από μικρούς πυρήνες. Το φαινόμενο ονομάζεται παροδική σπηλαιοποίηση. Όταν σπάσει η φυσαλίδα δημιουργείται ένα ισχυρό κύμα πίεσεως και αναπτύσσονται τοπικά υψηλές θερμοκρασίες που καταστρέφουν τους ιστούς.

Επίσης είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ελεύθερες ρίζες που είναι ιδιαίτερα βιολογικά δραστικές.

Σταθερή σπηλαιοποίηση: Σε χαμηλότερες εντάσεις, φυσαλίδες αέρα που προϋπάρχουν στο υγρό συντονίζονται και αρχίζουν να ταλαντώνονται.