

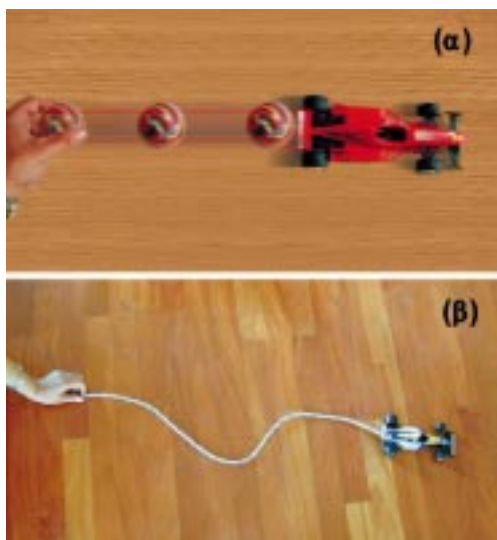
# Μηχανικά κύματα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6



Εικόνα 6.1

Μέσω του κύματος μεταφέρεται ενέργεια στον αθλητή και η ταχύτητά του αυξάνεται.



Εικόνα 6.2

(α) Ενέργεια μεταφέρεται από τη μπάλα στο αμαξάκι κατά την κρούση.

(β) Ενέργεια μεταφέρεται μέσω του σκοινιού στο αμαξάκι.

Όταν βρίσκεσαι σε μια ακρογιαλιά μπορείς να απολαύσεις τα κύματα της θάλασσας. Η αίσθηση είναι πιο έντονη όταν παρακολουθείς και πολύ περισσότερο όταν συμμετέχεις σε μια κυματοδρομία το γνωστό surfing (σέρφινγκ) με ή χωρίς πανί.

Όταν ο αθλητής της κυματοδρομίας κινείται «μαζί» με το κύμα τότε μπορεί να αποκτήσει πολύ μεγάλη ταχύτητα, οπότε η κινητική του ενέργεια αυξάνεται σημαντικά.

*Τι είναι το κύμα της θάλασσας; Μετατοπίζεται το νερό μαζί με το κύμα; Υπάρχει σχέση ανάμεσα στα θαλάσσια κύματα, τα σεισμικά κύματα, τον ήχο, το φως;*

Σε αυτή την ενότητα θα αναζητήσουμε απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα.

### 6.1 Μηχανικά κύματα

Αν ρίξεις μια μπάλα προς ένα αμαξάκι, και συγκρουστεί με αυτό, το αμαξάκι θα μετακινηθεί. Η μπάλα κινείται προς το αμαξάκι και συγκρούεται με αυτό. Το αμαξάκι αποκτά κινητική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται κινητική ενέργεια από τη μπάλα στο αμαξάκι.

Αν δέσεις στο αμαξάκι ένα σκοινί, το τεντώσεις και κουνήσεις την ελεύθερη άκρη του δεξιά – αριστερά, το αμαξάκι θα μετακινηθεί. Το σκοινί θα παραμένει στη θέση του. Το αμαξάκι αποκτά κινητική ενέργεια.

*Με ποιο τρόπο μεταφέρθηκε, στη περίπτωση αυτή, ενέργεια στο αμαξάκι;*

Λέμε ότι μέσω του σκοινιού διαδίδεται ένα κύμα το οποίο μεταφέρει ενέργεια. Κύματα μπορούν να δημιουργηθούν οποτεδήποτε ένα σύστημα, όπως για παράδειγμα ο αέρας, η επιφάνεια της θάλασσας, ένα σκοινί, ο φλοιός της Γης κ.λ.π., διαταράσσεται από την κατάσταση ισορροπίας του και η **ενέργεια** ταξιδεύει από μια περιοχή του συστήματος σε μια άλλη.

### Είδη κυμάτων

Τα κύματα στο νερό, τα κύματα που διαδίδονται κατά μήκος ενός σκοινιού ή ελατηρίου, τα ηχητικά και τα σεισμικά

κύματα λέγονται **μηχανικά κύματα**. Ονομάζονται έτσι γιατί όλα αυτά τα κύματα μεταφέρουν μηχανική ενέργεια. Η ενέργεια των μηχανικών κυμάτων μεταφέρεται μέσω του νερού, του αέρα, των πετρωμάτων στο εσωτερικό της Γης καθώς και των ελατήριων ή των σκοινιών. Η δημιουργία κάθε είδους μηχανικού κύματος απαιτεί κάποιο **υλικό**, μέσα **στο οποίο διαδίδεται η μηχανική ενέργεια**. Το υλικό αυτό **ονομάζεται μέσο διάδοσης του κύματος**.

Έτσι τα μηχανικά κύματα έχουν δύο βασικά, κοινά χαρακτηριστικά:

- α) Διαδίδονται μέσα στα υλικά μέσα.
- β) Με τα μηχανικά κύματα μεταφέρεται μηχανική ενέργεια.

*Με ποιο τρόπο όμως διαδίδεται το κύμα σ' ένα μέσο;*

Κατά τη διέλευση του κύματος, τα σωματίδια του μέσου διάδοσης μετακινούνται από τις θέσεις ισορροπίας τους. Ταυτόχρονα αλληλεπιδρούν με δυνάμεις. Μέσω των δυνάμεων αυτών, η κίνηση μεταφέρεται από σωματίδιο σε σωματίδιο.

Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους κυμάτων, ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης.

Αν ταλαντώσεις το ένα άκρο τεντωμένου ελατηρίου που βρίσκεται σε λείο πάτωμα, κάθετα στον άξονά του, η παραμόρφωση «ταξιδεύει» κατά μήκος του ελατηρίου (εικόνα 6.3). Η μετατόπιση, ωστόσο, των σπειρών από τη θέση ισορροπίας τους, είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Αν κουνήσεις πάνω-κάτω το άκρο οριζόντιου τεντωμένου σκοινιού, η παραμόρφωση ταξιδεύει κατά μήκος του σκοινιού. Διαδοχικά τμήματα του σκοινιού κάνουν την ίδια κίνηση που προκαλέσαμε στο άκρο του, αλλά σε επόμενους χρόνους. Τα σωματίδια του σκοινιού μετατοπίζονται κάθετα στη διεύθυνση του.

Στα δυο προηγούμενα παραδείγματα **τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος**. Ένα τέτοιο κύμα ονομάζεται **εγκάρσιο κύμα**.

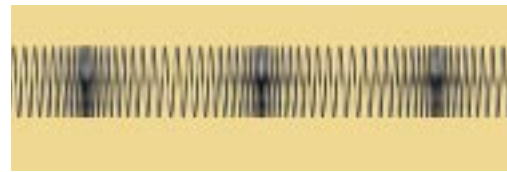
Τα κύματα στις χορδές της κιθάρας ή του πιάνου είναι επίσης εγκάρσια κύματα. Εγκάρσια κύματα διαδίδονται μόνο στα στερεά σώματα.

Στο ελατήριο είναι δυνατόν να διαδοθεί και ένας άλλος τύπος κύματος. Αν στο ένα άκρο του ελατηρίου πλησιάσουμε με τα δυο μας χέρια τις σπείρες του ελατηρίου έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα πύκνωμα και μετά τις αφήσουμε ελεύ-



**Εικόνα 6.3**

Οι σπείρες του ελατηρίου κινούνται κάθετα προς τη διεύθυνση που διαδίδεται η διαταραχή.



**Εικόνα 6.4**

Οι σπείρες κινούνται παράλληλα προς τη διεύθυνση που διαδίδεται η διαταραχή, έτσι σε άλλες θέσεις πλησιάζουν, πυκνώνουν και σε άλλες θέσεις απομακρύνονται, αραιώνουν.



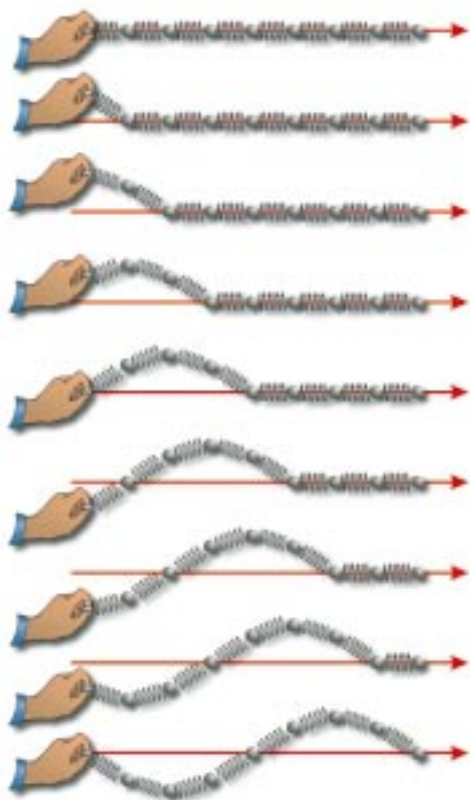
**Εικόνα 6.5**

Καθώς το έμβολο κινείται εξαναγκάζει τα μόρια του αέρα, που βρίσκονται πίσω από αυτό, σε άλλες θέσεις να πλησιάσουν, πυκνώσουν και σε άλλες θέσεις να απομακρυνθούν, αραιώσουν. Έτσι κατά μήκος του σωλήνα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα.



**Εικόνα 6.6**

Στην άκρη της λεκάνης κυματισμών με τη βοήθεια του χάρακα δημιουργούμε μια διαταραχή στην επιφάνεια του νερού. Η διαταραχή διαδίδεται σε όλη την επιφάνεια του υγρού.



**Εικόνα 6.7**

Το σφαιρίδιο αρχικά ισορροπεί. Καθώς το χέρι κινεί το ένα άκρο του ελατηρίου ασκούνται δυνάμεις στα γειτονικά σφαιρίδια, έτσι το σφαιρίδιο απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας και εκτελεί τελικά ταλάντωση γύρω από αυτή. Με αυτό το τρόπο ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος του ελατηρίου θέτοντας σε ταλάντωση όλα τα σφαιρίδια.

θερες τότε το πύκνωμα των σπειρών διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου (εικόνα 6.4).

Στην εικόνα 6.5 βλέπεις ένα σωλήνα ο οποίος είναι κλειστός στο ένα άκρο του ενώ το άλλο κλείνεται με ένα έμβολο που έχει τη δυνατότητα να κινείται. Αν μετακινήσεις το έμβολο μπρος – πίσω, τότε στο χώρο μέσα στον σωλήνα που είναι ακριβώς πίσω από το έμβολο δημιουργούνται στρώματα αέρα μικρής και μεγάλης πίεσης ή μικρής και μεγάλης πυκνότητας, αντίστοιχα (πυκνώματα – αραιώματα). Τα πυκνώματα και αραιώματα αυτά διαδίδονται κατά μήκος του σωλήνα μέσα στο υγρό ή στο αέριο αντίστοιχα.

Σ' αυτά τα παραδείγματα, **τα σωματίδια του μέσου μέσα στο οποίο διαδίδεται το κύμα ταλαντώνονται κατά την ίδια διεύθυνση που διαδίδεται το κύμα**. Ένα τέτοιο κύμα ονομάζεται **διάμηκες κύμα**. Παράδειγμα διαμήκους κύματος είναι τα ηχητικά κύματα. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια.



#### Ένας άλλος τύπος κύματος: το επιφανειακό κύμα

Αν και τα κύματα που δημιουργούνται στο βάθος μιας λίμνης ή της θάλασσας είναι διαμήκη, τα κύματα που δημιουργούνται στην επιφάνεια του νερού δεν μοιάζουν με αυτά.

Καθώς διαδίδεται ένα κύμα στην επιφάνεια ενός υγρού τα σωματίδια κινούνται, τόσο παράλληλα όσο και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, με τελικό αποτέλεσμα οι τροχιές τους να είναι κυκλικές. Το κύμα που διαδίδεται με αυτό τον τρόπο αποτελεί ένα μίγμα εγκαρσίων και διαμηκών κυμάτων και ονομάζεται επιφανειακό κύμα.

## Κύμα και Ενέργεια

*Πώς παράγονται τα κύματα;*

Τα κύματα της θάλασσας δημιουργούνται συνήθως εξαιτίας των ανέμων. Η μηχανική τους ενέργεια προέρχεται από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας των ανέμων.

Κράτησε με το χέρι σου το άκρο ενός ελατηρίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.7. Το ελατήριο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Τίναξε απότομα το άκρο και γρήγορα επανέφερε το στη αρχική του θέση. Τότε θα δεις έναν παλμό, μια διαταραχή, να ταξιδεύει από το ένα άκρο του ελατη-

ρίου στο άλλο. Κάθε σφαιρίδιο του ελατηρίου βρίσκονταν αρχικά σε ισορροπία. Όταν φθάσει σ' αυτό ο παλμός τότε μετατοπίζεται από τη θέση όπου ισορροπούσε. Η διαταραχή δεν είναι παρά η μετατόπιση των σφαιριδίων του ελατηρίου από τις θέσεις ισορροπίας τους.

Μεταξύ των γειτονικών σπειρών του ελατηρίου ασκούνται δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές επαναφέρουν κάθε σφαιρίδιο στην αρχική θέση ισορροπίας του. Ταυτόχρονα μέσω του έργου που παράγουν μεταφέρουν ενέργεια από σφαιρίδιο σε σφαιρίδιο. Έτσι κάθε σφαιρίδιο θα μετατοπισθεί με τη σειρά του από τη θέση ισορροπίας του.

Ο παλμός ταξιδεύει μεταφέροντας ενέργεια. Τα σφαιρίδια μετατοπίζονται και επιστρέφουν στην αρχική θέση ισορροπίας τους όταν η ενέργεια που προσέλαβαν μεταφερθεί στα επόμενα. Έτσι, αυτή η κίνηση διαδίδεται τελικά σε **όλα τα σφαιρίδια του ελατηρίου**. Λέμε τότε ότι ένα **κύμα** διαδίδεται κατά μήκος του ελατηρίου. Το κύμα μεταφέρει ενέργεια σε κάθε σφαιρίδιο του ελατηρίου χωρίς τη μεταφορά ύλης.

Μια πηγή που **ταλαντώνεται** μπορεί να παράγει κύμα. Σ' αυτή την περίπτωση η πηγή προσφέρει **συνεχώς** ενέργεια η οποία μεταφέρεται σε όλα τα σωματίδια του υλικού σώματος, μέσω του κύματος, χωρίς να μεταφέρεται ύλη.



#### Φίδι 1

Δέσε ένα κομμάτι κορδέλας ή νήματος στο μέσον ενός μακριού σπειροειδούς ελατηρίου. Με ένα φίλο σου τέντωσε το ελατήριο στο διπλάσιο του αρχικού του μήκους. Ενώ ο φίλος σου κρατάει το ένα άκρο του ελατηρίου εσύ κούνησε γρήγορα το άλλο άκρο πλάγια. Περιέγραψε την κίνησή της κορδέλας. Αυτή η κίνηση δείχνει την διάδοση ενός εγκάρσιου κύματος. *Μετατοπίζεται η κορδέλα κατά τη διεύθυνση του ελατηρίου;*

#### Φίδι 2

Πιάσε σφικτά το ελατήριο με τα δύο σου χέρια. Μετακίνησε τα χέρια σου, ώστε οι σπείρες του ελατηρίου που βρίσκονται μεταξύ τους, να πλησιάζουν. Έτσι δημιουργείται μια περιοχή μεγαλύτερης πυκνότητας σπειρών (πύκνωμα). Ελευθέρωσε τις σπείρες. Το πύκνωμα θα κινηθεί κατά μήκος του ελατηρίου. Περιέγραψε την κίνηση της κορδέλας, κατά τη διάδοση του διαμήκους κύματος στο ελατήριο.



## Κατάδυση στη Φυσική



### Τα κύματα του Μάξγουελ και του Ντε Μπρέϊγ ή Ηλεκτρομαγνητικά και Υλικά κύματα



Δεν είναι όμως όλα τα κύματα μηχανικά. Τα φωτεινά κύματα, με τα οποία διαδίδεται το φως, τα ραδιοκύματα, με τα οποία φθάνει το σήμα στο ραδιόφωνο και την τηλεόραση, οι ακτίνες Χ, οι ακτίνες γ κλπ, είναι **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**. Για την διάδοσή τους δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη κάποιου μέσου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται και στο κενό. Η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός.

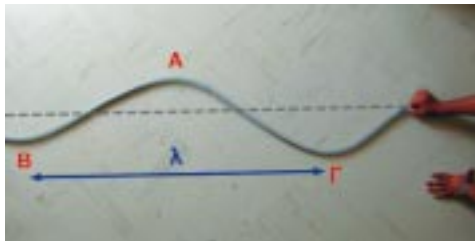
Υπάρχει και ένα τρίτο είδος κύματος: **τα υλικά κύματα**. Τα ηλεκτρόνια και άλλα σωματίδια δείχνουν κυματική συμπεριφορά κάτω από ορισμένες συνθήκες. Αυτή η συμπεριφορά περιγράφεται με τη βοήθεια της Κβαντικής Μηχανικής. Η Κβαντική Μηχανική είναι μια θεωρία που διατυπώθηκε προκειμένου ερμηνευθεί η δομή των ατόμων και των μορίων και γενικότερα για να μελετηθούν οι κινήσεις των ατομικών και υποατομικών σωματιδίων, τα οποία περιορίζονται σε πολύ μικρή περιοχή του χώρου και ανταλλάσσουν μεταξύ τους πολύ μικρά ποσά ενέργειας. Κάποια στοιχεία της Κβαντικής θεωρίας θα γνωρίσετε στο Λύκειο.





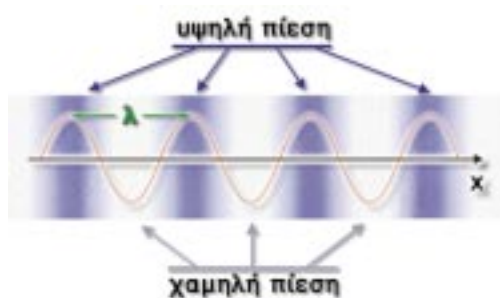
**Εικόνα 6.8**

Ταλαντώνουμε την άκρη του σκοινιού. Τελικά όλα τα σημεία του σκοινιού θα εκτελούν ταλάντωση.



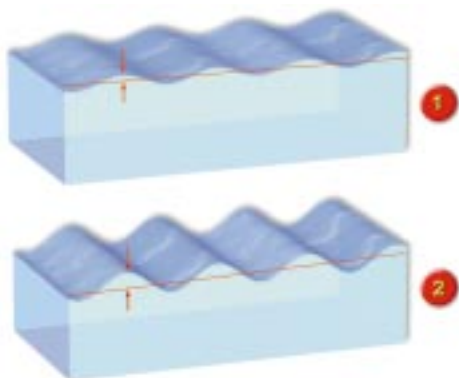
**Εικόνα 6.9**

Τα Β και Γ έχουν την ίδια χρονική στιγμή την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας (αρχική θέση του σκοινιού) τότε  $BΓ = λ$ .



**Εικόνα 6.10**

Το μήκος κύματος  $λ$  είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων. Η καμπύλη παριστάνει τις μεταβολές της πίεσης.



**Εικόνα 6.11**

Το κύμα που έχει μεγαλύτερο πλάτος (2) μεταφέρει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από το κύμα με το μικρότερο πλάτος (1).

## 6.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

Σ' ένα σκοινί διαδίδεται κύμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.8. Σ' ένα σημείο του σκοινιού δένουμε ένα κομμάτι ταινίας. Το σημείο (κομμάτι της ταινίας) ταλαντώνεται πάνω – κάτω ενώ η διαταραχή (σημειώνεται με κόκκινο βέλος) προχωρεί σταθερά προς τα δεξιά. Τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται το σκοινί, καθώς και κάθε άλλου μέσου, στο οποίο διαδίδεται ένα παρόμοιο κύμα, εκτελούν ταλαντώσεις. Η **περίοδος  $T$**  και **συχνότητα  $f$**  αυτών των ταλαντώσεων ονομάζονται περίοδος και συχνότητα του κύματος αντίστοιχα.

Αν κάποια στιγμή πάρουμε μια φωτογραφία του παλλόμενου σκοινιού τότε έχουμε ένα **στιγμιότυπο** ολόκληρου του κύματος (εικόνα 6.9). Από την εικόνα προκύπτει ότι η μορφή του κύματος επαναλαμβάνεται ίδια σε κανονικές αποστάσεις. Η μικρότερη απόσταση μεταξύ δυο σημείων με την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας και την ίδια κατεύθυνση κίνησης ονομάζεται **μήκος κύματος** και συμβολίζεται με  $λ$ . Σ' ένα **εγκάρσιο κύμα** σχηματίζονται «**όρη**» και «**κοιλιάδες**». Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση δυο διαδοχικών κοιλιάδων ή δυο διαδοχικών ορέων.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ρευστό μέσα στο οποίο διαδίδεται ένα **διάμηκες κύμα**. Τότε οι μεταβολές της πίεσης προκαλούν την επαναφορά των σωματιδίων του μέσου στη θέση ισορροπίας τους. Έτσι δημιουργούνται περιοχές αυξημένης πίεσης (πυκνότητας) **πυκνώματα** και περιοχές μειωμένης πίεσης, **αραιώματα**. Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση μεταξύ διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.

Μια χορδή μπορεί να διεγερθεί αν την κτυπήσουμε με μικρή ή μεγάλη δύναμη. Ένας ήχος μπορεί να είναι δυνατός ή ασθενής. Ένα θαλάσσιο κύμα μπορεί να είναι ένα γιγάντιο παλιρροϊκό κύμα ή ένας ελαφρύς κυματισμός. Στα παραδείγματα αυτά λέμε ότι τα κύματα έχουν διαφορετικό πλάτος.

**Πλάτος του κύματος ονομάζεται το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου, στο οποίο διαδίδεται το κύμα.** Μέσω του κύματος μεταφέρεται ενέργεια από ένα σημείο του μέσου, στο οποίο διαδίδεται, σε άλλο. Το πλάτος του κύματος σχετίζεται με το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται μέσω του κύματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο μεγαλύτερη και η ενέργεια που μεταφέρεται. Τα μεγάλα θαλάσσια κύματα μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια απ' ότι τα μικρά.

*Πόσο γρήγορα διαδίδεται ένα κύμα;*

Όπως προκύπτει από τις εικόνες 6.9 και 6.11 σε χρόνο μιας περιόδου  $T$  η διαταραχή διανύει απόσταση ίση με ένα μήκος κύματος  $\lambda$ . Σύμφωνα με τον ορισμό της ταχύτητας  $u$  προκύπτει η εξίσωση:

$$u = \frac{\lambda}{T}, \text{ επειδή όμως}$$

$$\frac{1}{T} = f, \text{ όπου } f \text{ η συχνότητα,}$$

η προηγούμενη σχέση παίρνει τη μορφή:

$$u = \lambda \cdot f$$

η σχέση αυτή ονομάζεται **θεμελιώδης νόμος της κυματικής**, ή με λέξεις:

Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σ' ένα μέσο είναι ανάλογη της συχνότητας και του μήκους κύματος.

Η ταχύτητα δεν εξαρτάται από το πλάτος του κύματος. Εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα από ότι τα διαμήκη.



### Το Φίδι 2

#### Το κύμα έχει ταχύτητα.

Άπλωσε στο πάτωμα ένα μακρύ ελατήριο μήκους 4 ή 5 μέτρων και κράτα το ένα του άκρο. Ένας φίλος σου ας κρατήσει το άλλο άκρο του ελατηρίου, ώστε να διατηρείται τεντωμένο. Μετακίνησε απότομα το άκρο του ελατηρίου που κρατάς, κάθετα στο ελατήριο και επανέφερε το στην αρχική του θέση.

*Τι είδους παλμός σχηματίζεται;*

Μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται ο παλμός για να ταξιδέψει κατά μήκος του ελατηρίου.

Άλλαξε το πλάτος του παλμού και μέτρησε το χρόνο άφιξής του στο άλλο άκρο του ελατηρίου.

*Η μεταβολή του πλάτους επηρέασε την ταχύτητα διάδοσης του κύματος; Εξήγησε.*

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένα ηχητικό κύμα με συχνότητα 262Hz έχει μήκος κύματος 1,29m. Πόση είναι η ταχύτητα του κύματος;

### Δεδομένα

$$f = 262\text{Hz}$$

μήκος κύματος:

$$\lambda = 1,29\text{m}$$

### Ζητούμενα

Ταχύτητα διάδοσης του κύματος:  
 $u$

### Βασική εξίσωση

$$u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f$$

### Λύση

$$u = \lambda \cdot f$$

$$u = 1,29\text{ m} \cdot 262 \frac{1}{\text{s}}$$

$$u = 338 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



## Κατάδυση στη Φυσική

### Κυματικά φαινόμενα

Τα κύματα που σχηματίζονται σ' ένα σκοινί ή σ' ένα ελατήριο διαδίδονται σε μια γραμμή (μια διάσταση). Τα κύματα στην επιφάνεια του νερού διαδίδονται σε μια επιφάνεια (δυο διαστάσεις) και για

αυτό ονομάζονται και επιφανειακά κύματα. Ο ήχος και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο χώρο, δηλαδή σε τρεις διαστάσεις.

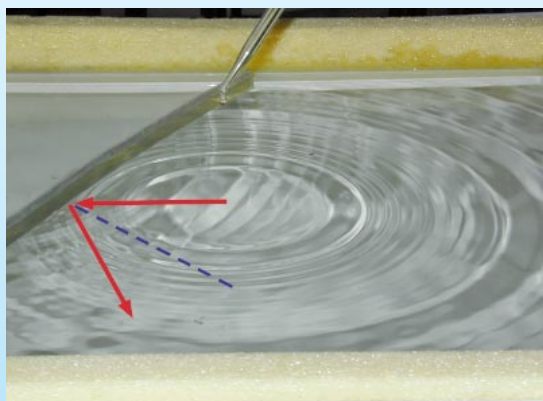
Για την επίδειξη των ιδιοτήτων των επιφανειακών κυμάτων χρησιμοποιούμε τη συσκευή κυματισμών. Μια τέτοια συσκευή περιέχει ένα λεπτό στρώμα νερού. Μια ακίδα που ταλαντώνεται παράγει κύματα ορισμένης συχνότητας. Μια λάμπα πάνω από τη συσκευή παράγει σκιές κάτω από τη συσκευή που δείχνουν τις θέσεις των κορυφών των κυμάτων.

#### **Ανάκλαση και διάθλαση των μηχανικών κυμάτων**

Με τη συσκευή κυματισμών μπορούμε να μελετήσουμε την αλλαγή στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων όταν αυτά συναντήσουν ένα εμπόδιο ή αλλάξουν μέσο διάδοσης (ανάκλαση και διάθλαση).

##### **Ανάκλαση**

Αν ένα κύμα κατευθύνεται προς ένα εμπόδιο, δηλαδή προς ένα επίπεδο στερεό τοίχωμα, τότε το κύμα θα ανακλαστεί. Στην διπλανή εικόνα το αρχικό κύμα κινείται προς τα πάνω ενώ το ανακλώμενο κύμα κινείται προς τα δεξιά. Η κατεύθυνση κίνησης των κυμάτων που διαδίδονται σε δυο ή τρεις διαστάσεις συχνά παριστάνεται με ακτίνες (θυμηθείτε τις φωτεινές ακτίνες). Όμως προσοχή!! Μια ακτίνα δείχνει μόνο τη κατεύθυνση διάδοσης του κύματος και όχι το πραγματικό κύμα. Κατά τη μελέτη της ανάκλασης των κυμάτων συνήθως σχεδιάζουμε την κάθετη στο εμπόδιο και ορίζουμε τη γωνία πρόσπτωσης  $\pi$  και την γωνία ανάκλασης  $\alpha$ . Με τη μέτρηση των γωνιών προκύπτει ο νόμος της ανάκλασης που λει ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης.



##### **Διάθλαση**

Με τη βοήθεια μιας συσκευής κυματισμών μπορούμε να μελετήσουμε επίσης τη συμπεριφορά των κυμάτων καθώς διαδίδονται από ένα μέσο σε ένα άλλο. Τοποθετούμε ένα γυάλινο πιάτο στον πυθμένα της συσκευής. Το νερό πάνω από το πιάτο έχει μικρότερο βάθος συγκριτικά με το υπόλοιπο νερό της συσκευής. Η ταχύτητα των κυμάτων εξαρτάται από το βάθος του νερού. Έτσι το νερό πάνω από το πιάτο συμπεριφέρεται σαν ένα διαφορετικό μέσο. Καθώς το κύμα διαδίδεται από το

βαθύ προς το ρηχό νερό η διεύθυνση τους αλλάζει και το μήκος κύματος μειώνεται. Επειδή το κύμα στο ρηχό νερό προέρχεται από το κύμα που διαδίδεται στο βαθύ νερό, η συχνότητα τους είναι η ίδια. Από την εξίσωση  $v = \lambda \cdot f$  η μείωση του μήκους κύματος σημαίνει ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη σε νερό μικρότερου βάθους. Έστω τα κύματα πλησιάζουν τη διαχωριστική επιφάνεια με μια αρχική γωνία, δηλαδή η διεύθυνση της ακτίνας δεν είναι παράλληλη με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Σ' αυτή την περίπτωση όχι μόνο ελαττώνεται το μήκος κύματος αλλά επίσης αλλάζει η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Το φαινόμενο της μεταβολής της στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων **στο σύνορο μεταξύ δυο διαφορετικών μέσων ονομάζεται διάθλαση.**



### Σεισμικά κύματα.

#### Τα σεισμικά κύματα:

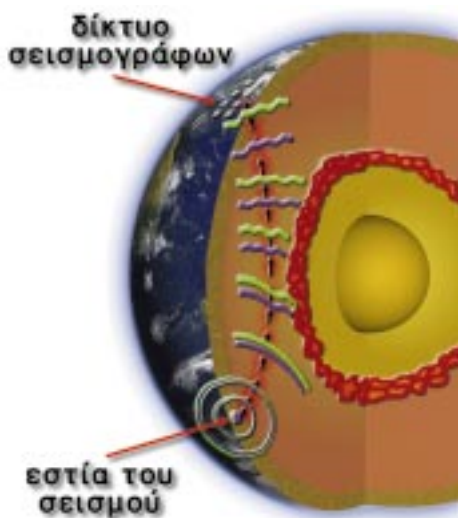
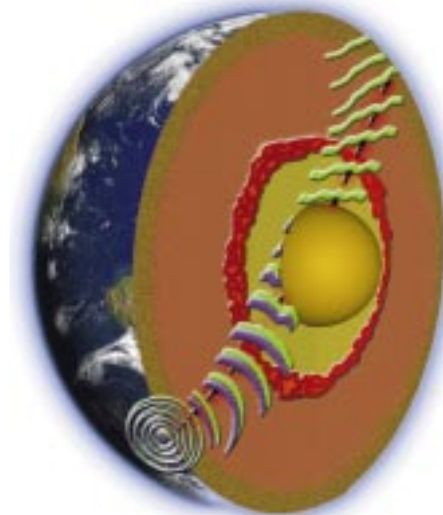
##### Φακός του εσωτερικού της Γης

Ένας σεισμός παράγει δυο είδη κυμάτων.

Πρωτεύοντα κύματα (κύματα P) που είναι διαμήκη και δευτερεύοντα κύματα (κύματα S) που είναι εγκάρσια.

Οι γεωφυσικοί μελετώντας τα σεισμικά κύματα με τη βοήθεια των σειсмоγράφων, βρήκαν ότι τα διαμήκη κύματα μπορούν να περάσουν από τον πυρήνα της Γης ενώ τα εγκάρσια δεν μπορούν.

Από αυτό το δεδομένο συμπεράναν ότι ο πυρήνας της Γης είναι σε ρευστή κατάσταση. Οι ταχύτητες των δυο κυμάτων εξαρτώνται από τη πυκνότητα του πετρώματος μέσω του οποίου διαδίδεται το κύμα. Από την πυκνότητα του πυρήνα της Γης προκύπτει ότι αυτός αποτελείται μάλλον από λειωμένο σίδηρο.



#### Προσδιορισμός της εστίας του σεισμού.

Όπως είδαμε, η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων είναι μεγαλύτερη από αυτή των εγκάρσιων κυμάτων. Το γεγονός αυτό αξιοποιείται από τους σεισμολόγους για τον προσδιορισμό της πηγής των σεισμικών κυμάτων (εστία του σεισμού). Όταν σε ένα σημείο του στερεού φλοιού της Γης εκδηλωθεί μια σεισμική δόνηση, από το σημείο αυτό φεύγουν εγκάρσια και διαμήκη σεισμικά κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης με διαφορετικές ταχύτητες και επομένως φθάνουν στους σειсмоγράφους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Από τη χρονική διαφορά των αφίξεων των κυμάτων και γνωρίζοντας τις τιμές των ταχυτήτων διάδοσής, προσδιορίζεται η απόσταση της εστίας από το σταθμό που βρίσκεται ο σειсмоγράφος.

#### Κатаστροφικά αποτελέσματα του σεισμού

Από τι εξαρτάται η έκταση των καταστροφών που προκαλεί ένας σεισμός; Κατ' αρχήν από την ενέργεια που βγαίνει από την εστία του σεισμού ή όπως λέμε από το μέγεθος M του σεισμού. Η μέτρηση του μεγέθους γίνεται συνήθως με χρήση της κλίμακας Richter (Ρίχτερ). Σ' αυτή τη κλίμακα αύ-



ξηση μεγέθους κατά 1 βαθμό, π.χ. από 5 σε 6 Ρίχτερ, σημαίνει ότι δέκα φορές περισσότερη ενέργεια εκλύεται από την εστία του σεισμού. Από τον ορισμό του μεγέθους προκύπτει ότι είναι το ίδιο είτε το μετράμε από την Αθήνα είτε από την Θεσσαλονίκη είτε από την Κωνσταντινούπολη.

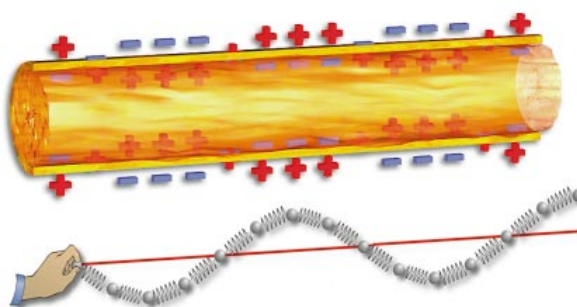
Καθώς τα σεισμικά κύματα διαδίδονται, εξασθενούν γιατί μέρος της ενέργειας τους μετατρέπεται σε θερμική. Ο βαθμός εξασθένησης εξαρτάται από την απόσταση αλλά και από το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται τα κύματα. Τα αποτελέσματα του σεισμού σ' ένα συγκεκριμένο τόπο στην επιφάνεια του εδάφους τα εκφράζουμε με την ένταση. Την ένταση την μετράμε συνήθως με χρήση της 12βάθμιας κλίμακας Mercalli (Μερκάλι). Έτσι ο ίδιος σεισμός μπορεί να έχει ένταση π.χ. 6,2 βαθμούς Μερκάλι στην πόλη Α και 8 βαθμούς στη Β ή ακόμη και 9 βαθμούς σε άλλη συνοικία της πόλης Β (με χειρότερο υπέδαφος όσον αφορά τη σεισμική συμπεριφορά)



### Σύνδεση με τη Βιολογία

#### Τα νευρικά κύτταρα

Ένα νευρικό κύτταρο σ' ένα ζώο μεταφέρει πληροφορία με τη μορφή των παλμών. Οι παλμοί κινούνται κατά μήκος ενός κυλινδρικού μέρους του κύτταρου που μοιάζει με σωλήνα και ονομάζεται νευρίτης. Ένας παλμός δημιουργείται ως εξής: Θετικά φορτισμένα ιόντα Νατρίου κινούνται απότομα από το εξωτερικό στο εσωτερικό του νευρίτη. Στη συνέχεια τα θετικά ιόντα Καλίου γρήγορα βγαίνουν από το νευρίτη. Όλη αυτή η εναλλαγή των ιόντων γίνεται μέσα σ' ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αμέσως μετά τα ιόντα του Νατρίου και του Καλίου επιστρέφουν στις κανονικές τους θέσεις.



Ο παλμός κινείται κατά μήκος του νευρίτη γιατί η κίνηση των ιόντων σε μια περιοχή προκαλεί την κίνηση των ιόντων στη γειτονική περιοχή, όπως ακριβώς η μετατόπιση μιας σπείρας ενός ελατηρίου προκαλεί μετατόπιση της γειτονικής της.

Κανονικά το εσωτερικό του νευρίτη είναι αρνητικά φορτισμένο αλλά η ξαφνική είσοδος των ιόντων Νατρίου μετατρέπει το φορτίο σε θετικό.

Επειδή τα ιόντα κινούνται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του παλμού πρόκειται για ένα εγκάρσιο κύμα, που διαδίδεται με ταχύτητα η οποία φθάνει τα  $120 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

## 6.3 Ήχος

Ο ήχος και η μουσική αποτελούν σημαντικά στοιχεία της ανθρώπινης εμπειρίας. Οι πρωτόγονοι άνθρωποι παρήγαν ήχους όχι μόνο με τις φωνές τους αλλά και με το τύμπανο, τα κρόταλα και τις σφυρίχτρες. Τα έγχορδα όργανα έχουν ιστορία τουλάχιστον 3000 ετών.

Μερικά ζώα προκειμένου να επιβιώσουν, χρησιμοποιούν ήχους με πολύ μεγάλη συχνότητα που δεν γίνονται αντιληπτοί από τους ανθρώπους. Οι νυχτερίδες κυνηγούν έντομα εκπέμποντας ήχους πολύ υψηλής συχνότητας. Από τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα (ηχώ) διαπιστώνουν τη θέση, την απόσταση, το μέγεθος και τη σχετική ταχύτητα του εντόμου. Επιπλέον οι νυχτερίδες που κυνηγούν στα δάση, καταφέρνουν να διακρίνουν τα έντομα από τη βλάστηση. Με παρόμοιο τρόπο, τα δελφίνια εκπέμπουν υπερήχους υπό μορφή σφυριγμάτων. Η ηχώ παρέχει στο δελφίνι πληροφορίες για το περιβάλλον του σε αποστάσεις μεγαλύτερες απ' ό,τι η όραση του μέσα στο νερό. Τα δελφίνια χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες κυρίως για τον εντοπισμό μικρών ψαριών με τα οποία τρέφονται.

Γενικά, τα έμβια όντα χρησιμοποιούν τους ήχους για να αποκτήσουν πληροφορίες που αφορούν το περιβάλλον τους και για να επικοινωνήσουν με άλλα όντα μέσω της ομιλίας και της μουσικής.

### Ηχητικά κύματα

Ο ήχος είναι ένα διάμηκες μηχανικό κύμα που παράγεται από τις δονήσεις των σωμάτων. Το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο σε ηχητικά κύματα περιορισμένης περιοχής συχνοτήτων (από 20Hz, έως 20 000Hz).

Ο ήχος, που διαδίδεται στον αέρα, παράγεται όταν ένα σώμα ταλαντώνεται μέσα σ' αυτόν. Οι ταλαντώσεις του σώματος προκαλούν κίνηση των μορίων του αέρα οπότε δημιουργούνται περιοδικές μεταβολές στην πίεση. Τα μόρια συγκρούονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα οι μεταβολές της πίεσης (πυκνώματα, αραιώματα) να διαδίδονται δια μέσου του αέρα. Έτσι, η πίεση του αέρα μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή (εικόνα 6.13). Επειδή τα μόρια του αέρα κινούνται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη κύματα. Μέσω των συγκρούσεων των μορίων μεταφέρεται ενέργεια από μόριο σε μόριο. Έτσι το κύμα μεταφέρει στο χώρο την ενέργεια ταλάντωσης της πηγής.



Εικόνα 6.12

Νυχτερίδα. Το ζωντανό ηχητικό ραντάρ.



#### Παραγωγή ήχου

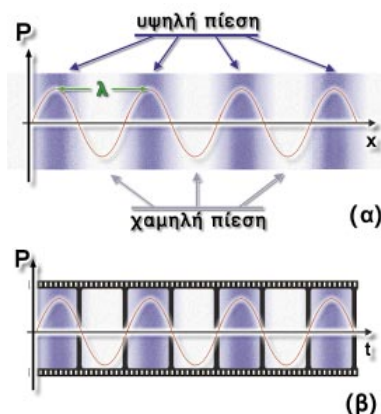
Τοποθέτησε ένα πλαστικό χάρακα πάνω στο θρανίο σου, ώστε ο μισός να προεξέχει. Κράτα σταθερά το μέρος του χάρακα που είναι πάνω στο θρανίο. Τράβηξε την ελεύθερη άκρη του χάρακα και αφήστε την ελεύθερη.

Ταλαντώνεται ο χάρακας;

Παράγεται ήχος;

Αύξησε το μήκος του χάρακα που προεξέχει και επανάλαβε τα ίδια.

Ο ήχος που παράγεται τώρα από το χάρακα είναι ίδιος με τον προηγούμενο;



Εικόνα 6.13

- (α) Η μεταβολή της πίεσης του αέρα κατά τη διεύθυνση διάδοσης του ηχητικού κύματος, σε μια ορισμένη χρονική στιγμή.  
(β) Η μεταβολή της πίεσης σε μια μικρή περιοχή του αέρα, σε συνάρτηση με το χρόνο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ

**Ταχύτητα του ήχου σε διάφορα υλικά**

Υλικό	Ταχύτητα του ήχου ( $\frac{m}{s}$ )
<b>Αέρια</b>	
Αέρας (20°C)	344
Ήλιο (20°C)	999
Υδρογόνο (20°C)	1330
<b>Υγρά</b>	
Υγρό Ήλιο (-269°C)	211
Υδράργυρος (20°C)	1451
Νερό (0°C)	1402
Νερό (20°C)	1482
Νερό (100°C)	1543
<b>Στερεά</b>	
Κόκαλο	3445
Ορείχαλκος	3480
Γυαλί pyrex	5170
Χάλυβας	5000

Τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν τα κοινά χαρακτηριστικά των μηχανικών κυμάτων: πλάτος, συχνότητα, μήκος κύματος και ταχύτητα διάδοσης. Το μήκος κύματος ενός ηχητικού κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών πυκνωμάτων (περιοχών μεγίστης πίεσης) ή αραιωμάτων (περιοχών ελάχιστης πίεσης). Η συχνότητα και το μήκος κύματος συνδέονται με την ταχύτητα διάδοσης μέσω της γνωστής εξίσωσης της κυματικής:

$$u = \lambda \cdot f$$

*Που διαδίδεται ο ήχος;*

Όταν βυθίσουμε το κεφάλι μας στο νερό της θάλασσας άκουμε τον ήχο της μηχανής μιας βάρκας, που κινείται κοντά μας. Οι ινδιάνοι άκουγαν το τραίνο από μεγάλη απόσταση, φέρνοντας το αφτί τους σε επαφή με τις γραμμές. Όμως ο ήχος του κουδουνιού δεν ακούγεται, αν το τοποθετήσουμε μέσα σε χώρο από τον οποίο έχουμε αφαιρέσει τον αέρα με μια αντλία.

**Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε όλα τα μέσα: στερεά, υγρά, αέρια.** Δεν διαδίδονται στο κενό γιατί εκεί δεν υπάρχουν μόρια για να αλληλεπιδράσουν, ώστε να μεταφερθεί η μηχανική ενέργεια του ηχητικού κύματος.

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι μεγαλύτερη στα στερεά απ' ό,τι στα υγρά και στα υγρά μεγαλύτερη από ό,τι στα αέρια. Επίσης η ταχύτητα του ήχου αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου μέσα στο οποίο διαδίδεται, επειδή αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης των μορίων. Στον πίνακα ΙΙΙ φαίνονται οι ταχύτητες διάδοσης του ήχου σε διάφορα υλικά.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ**

**Το μήκος κύματος του ήχου.** Ένα ηχητικό κύμα έχει συχνότητα 229Hz. Αν ο ήχος διαδίδεται στον αέρα με ταχύτητα  $343 \frac{m}{s}$ , να βρεις το μήκος κύματος.

<b>Δεδομένα:</b>	<b>Ζητούμενα:</b>
Συχνότητα: $f = 229\text{Hz}$	μήκος κύματος: $\lambda$
Ταχύτητα διάδοσης του κύματος: $u = 343 \frac{m}{s}$	<b>Βασική εξίσωση:</b> $u_{\text{κύματος}} = \lambda \cdot f$

**Λύση:**

$$u = \lambda f \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{u}{f} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{343 \frac{m}{s}}{229 \text{Hz}} \quad \text{ή} \quad \lambda = 1,5\text{m}$$



### Μεταφορά ενέργειας από κύμα

Χρησιμοποίησε πλακίδια του ντόμινο για να παραστήσεις τα μόρια ενός υγρού.

- Τοποθέτησε 50 πλακίδια στο θρανίο ώστε να απέχουν 1cm το ένα από το άλλο.
- Σπρώξε το τελευταίο πλακίδιο ώστε να αρχίσει η αλυσιδωτή κίνηση.  
Μεταδίδεται η διαταραχή σε όλα τα πλακίδια;
- Τοποθέτησε τα πλακίδια πιο κοντά, ώστε το μοντέλο να θεωρηθεί ότι παριστάνει τη διάδοση ενός κύματος σε στερεό.
- Μέτρησε το χρόνο που χρειάζεται για τη διάδοση του κύματος στην ίδια απόσταση.
- Σύγκρινε τις ταχύτητες διάδοσης του κύματος στις δύο περιπτώσεις. Σχολίασε τα αποτελέσματά σου.



### Σπάζοντας το φράγμα του ήχου

Το πηλίκο της ταχύτητας ενός αντικειμένου που κινείται γρήγορα προς την ταχύτητα του ήχου συνήθως εκφράζεται ως αριθμός Μάχ (Mach):  $\text{Αριθμός Μάχ} = \frac{u_{\text{αντικειμένου}}}{u_{\text{ήχου}}}$

Όταν  $u_{\text{αντικειμένου}} > u_{\text{ήχου}}$  λέμε ότι το σώμα κινείται με υπερηχητική ταχύτητα.

Σ' αυτήν την περίπτωση παράγεται ένα «μέτωπο» κωνικού κύματος, που ονομάζεται κρουστικό κύμα. Η ενέργεια του κρουστικού κύματος συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του κώνου και είναι η αιτία που προκαλεί το «ηχητικό μπούμ» των αεριωθουμένων αεροπλάνων. Επειδή αυτό το κύμα είναι δυνατόν να προκαλέσει καταστροφές σε κτίρια, δεν επιτρέπεται στ' αεροσκάφη να αναπτύσσουν υπερηχητικές ταχύτητες σε χαμηλά ύψη.

Το κροτάλισμα του μαστιγίου είναι ένα ηχητικό μπούμ σε πολύ μικρή κλίμακα. Παράγεται γιατί η ουρά του μαστιγίου κινείται ταχύτερα από τον ήχο.

Τα κρουστικά κύματα χρησιμοποιούνται για την συντριβή λίθων του νεφρού ή της χολής χωρίς χειρουργική επέμβαση, μια τεχνική που λέγεται εξωσωματική λιθοτριψία. Ένα κρουστικό κύμα παράγεται έξω από το σώμα και στη συνέχεια εστιάζεται με τη βοήθεια ενός συστήματος ηχητικών κατόπτρων και φακών, ώστε η ενέργεια του να κατευθύνεται προς τον λίθο. Όταν η πίεση που ασκείται στο λίθο υπερβεί την αντοχή του, τότε ο λίθος συντρίβεται σε μικρά κομμάτια που απομακρύνονται με άλλες αναίμακτες μεθόδους. Αυτή η τεχνική απαιτεί βέβαια ακριβή προσδιορισμό της θέσης του λίθου, κάτι που επιτυγχάνεται με τεχνικές απεικόνισης με υπερήχους.

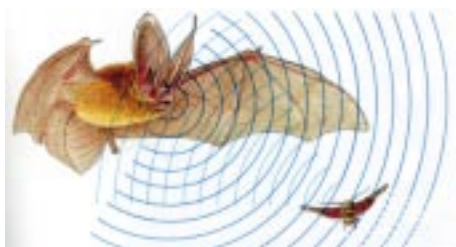






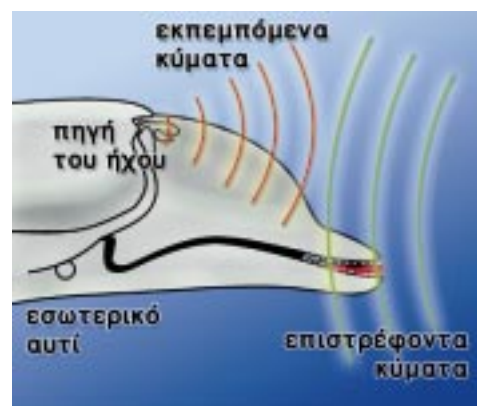
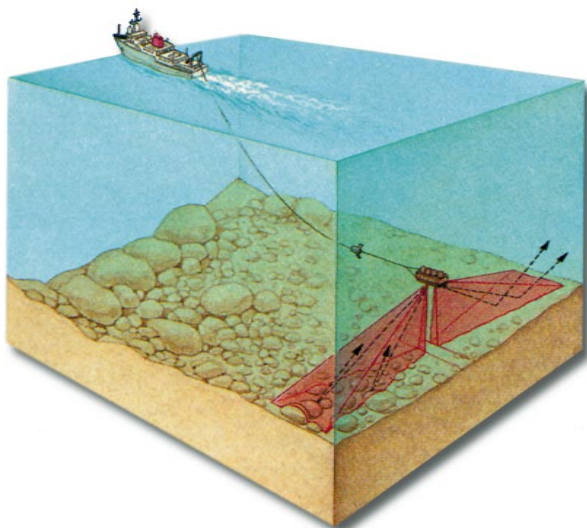
### Ηχώ και υπέρηχοι

Τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν τις γενικές ιδιότητες των άλλων κυμάτων. Έτσι, ανακλώνται από αντικείμενα, όπως είναι οι τοίχοι ενός δωματίου. Το φαινόμενο της ανάκλασης ενός ηχητικού κύματος ονομάζεται ηχώ. Ο χρόνος που χρειάζεται ώστε η ηχώ να επιστρέψει στο σημείο όπου βρίσκεται η πηγή του κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή και τον ανακλαστήρα.



Ιδιαίτερη σημασία στη φύση αλλά και στην τεχνολογία παρουσιάζει η ανάκλαση των υπερήχων. Τα δελφίνια αλλά και οι νυχτερίδες εκπέμπουν υπερήχους τους οποίους χρησιμοποιούν για να προσανατολίζονται και να εντοπίζουν το θήραμα τους. Στο εργαστήριο και για τις διάφορες εφαρμογές οι υπέρηχοι παράγονται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με χρήση ενός μετατροπέα, μια συσκευής που μοιάζει με μεγάφωνο.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των υπερήχων είναι ότι διαδίδονται σε μικρές δέσμες, όπως οι φωτεινές ακτίνες



και μπορούν να εστιάζονται με τη βοήθεια ηχητικών κατόπτρων και φακών. Με ανάκλαση των υπερήχων που εκπέμπουν κάποιες φωτογραφικές μηχανές ή κατάλληλοι αισθητήρες μπορούμε να καθορίσουμε τη θέση ακίνητων ή κινούμενων αντικειμένων. Μια άλλη ιδιότητα των υπερήχων είναι ότι διαδίδονται χωρίς μεγάλη απορρόφηση μάζα στο νερό. Αυτή η ιδιότητα οδήγησε στην εφεύρεση το 1917 από τον Γάλλο Πωλ Λανζεβέν (Langevin) του σονάρ (sonar).

Αρχικά το σονάρ χρησιμοποιήθηκε από τα πλοία για τον εντοπισμό των παγόβουνων. Με τη χρησιμοποίηση του σονάρ κατά τον Β Παγκόσμιο πόλεμο δημιουργήθηκε ένας νέος κλάδος της επιστήμης, η Ωκεανογραφία.

Οι υπέρηχοι έχουν σημαντικές εφαρμογές στην Ιατρική. Εστιασμένες δέσμες υπερηχητικών κυμάτων διεισδύουν στο σώμα και ανακλώνται από εσωτερικά όργανα ή ιστούς. Στη συνέχεια με ηλεκτρονική επεξεργασία παράγονται εικόνες των οργάνων αυτών. Η απεικόνιση με υπερήχους χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των κινήσεων και των χαρακτηριστικών του εμβρύου, στον εντοπισμό όγκων αλλά και στη μελέτη των βαλβίδων της καρδιάς. Οι υπέρηχοι διακρίνουν πιο εύκολα διαφορετικούς ιστούς απ' ότι οι ακτίνες Χ. Έχουν μικρότερες συνέπειες στους ζωντανούς ιστούς απ' ότι οι ακτίνες Χ.

Από την άλλη μεριά υπέρηχοι με μεγάλη ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλεκτική καταστροφή παθολογικών ιστών και άρα στη θεραπεία της αρθρίτιδας και ορισμένων καρκινικών όγκων.



## 6.4 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του Ήχου

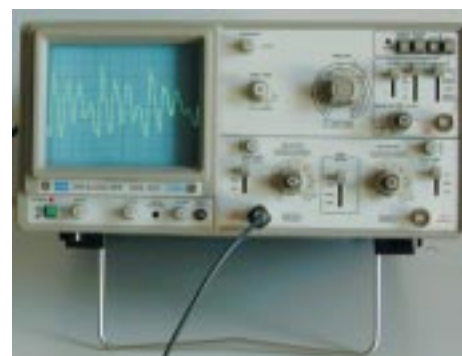
Τα φυσικά μεγέθη, που χρησιμοποιούμε στη Φυσική για να περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων, είναι η συχνότητα, το μήκος κύματος και το πλάτος.

Η ανίχνευση των ηχητικών κυμάτων γίνεται με δέκτες που τίθενται σε ταλάντωση. Τέτοιοι δέκτες είναι για παράδειγμα, η μεμβράνη που έχουν τα μικρόφωνα. Συνδέοντας κατάλληλα το μικρόφωνο με παλμογράφο μπορούμε να έχουμε και μια εικόνα στιγμιότυπο του ηχητικού κύματος που ανιχνεύουμε.

Στους ανθρώπους, ο ήχος ανιχνεύεται από τα τύμπανα των αυτιών και ερμηνεύεται από τον εγκέφαλο. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά συνδέονται με τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον ήχο.

Ύψος του ήχου ονομάζεται το υποκειμενικό χαρακτηριστικό σύμφωνα με το οποίο διακρίνουμε έναν οξύ ή ψηλό ήχο από ένα βαρύ ή χαμηλό ήχο. Το ύψος καθορίζεται από τη συχνότητα του ηχητικού κύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο ψηλότερος είναι ο ήχος. Το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο σε ήχους με συχνότητα μεγαλύτερη από 20Hz και μικρότερη από 20.000Hz. Κύματα με συχνότητα μικρότερη των 20Hz ονομάζονται υπόηχοι ενώ με συχνότητα μεγαλύτερη των 20.000Hz ονομάζονται υπέρηχοι.

Τα όρια των ακουστών ήχων διαφέρουν ελαφρά από άνθρωπο σε άνθρωπο. Για παράδειγμα, ένας νέος άνθρωπος αντιλαμβάνεται βαρύτερους και υψηλότερους ήχους απ' ότι



Εικόνα 6.14

Το ηχητικό κύμα γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο. Μπορεί, επίσης, να παρασταθεί στην οθόνη του παλμογράφου.



Εικόνα 6.15

Ο τζίτζικας αν και παράγει ήχους από 7.000 – 100.000Hz, τρίβοντας τα πόδια του σε μια σκληρή μεμβράνη στη κοιλιά του, ακούει ελάχιστους από αυτούς.

ένας ηλικιωμένος. Σημαντικότερη διαφορά παρατηρείται μεταξύ των διαφορετικών ειδών ζώων, όπως φαίνεται στον πίνακα IV.

Αν χτυπήσουμε δυνατά το διαπασών ή αν τραβήξουμε

**Πίνακας IV**  
**Συχνότητες ακουστών ήχων**

	Άνθρωπος	16Hz-20.000Hz
	Σκύλος	15Hz-50.000Hz
	Γάτα	60Hz-65.000Hz
	Τζίτζικας	100Hz-15.000Hz
	Δελφίνι	150Hz-150.000Hz
	Νυχτερίδα	100Hz-120.000Hz

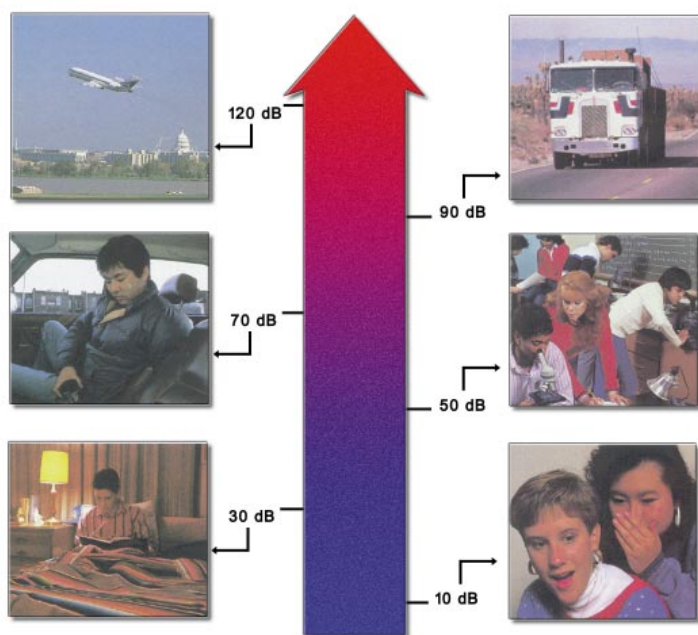
πιο δυνατά τη χορδή μιας κιθάρας τότε πάλλονται με μεγαλύτερο πλάτος. Συγχρόνως ακούμε ισχυρότερο ήχο.

**Ακουστότητα** του ήχου λέγεται το χαρακτηριστικό με το οποίο ξεχωρίζουμε τους ήχους σε ισχυρούς και λιγότερο ισχυρούς, ασθενείς κ.λ.π. Η ακουστότητα καθορίζεται κυρίως από την **ένταση** του ηχητικού κύματος. Δηλαδή από την ηχητική ενέργεια που φθάνει στο αυτί μας κάθε δευτερόλεπτο. Η ένταση του ήχου είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του ηχητικού κύματος. Η ακουστότητα εκτός από την ένταση εξαρτάται και από την συχνότητα του ήχου. Το ανθρώπινο αυτί είναι πιο ευαίσθητο στις μεσαίες συχνότητες (περίπου 1.000 Hz) απ' ό τι στις χαμηλές και τις υψηλές συχνότητες.

Για τη μέτρηση της στάθμης της έντασης χρησιμοποιείται η κλίμακα ντεσιμπέλ (decibel, dB), η οποία βασίζεται στις μεταβολές της πίεσης του αέρα δηλαδή το πλάτος του κύματος. Τα μηδέν ντεσιμπέλ αντιστοιχούν σε ήχο που μόλις ακούγεται ενώ ο ήχος 120dB προκαλεί πόνο στα αυτιά. Μια αύξηση της στάθμης της έντασης κατά 10 dB γίνεται αντιληπτή από τους περισσότερους ανθρώπους σαν ήχος δύο φορές ισχυρότερος.

Μπορούμε να ξεχωρίσουμε δυο ήχους που προέρχονται

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΧΟΥ

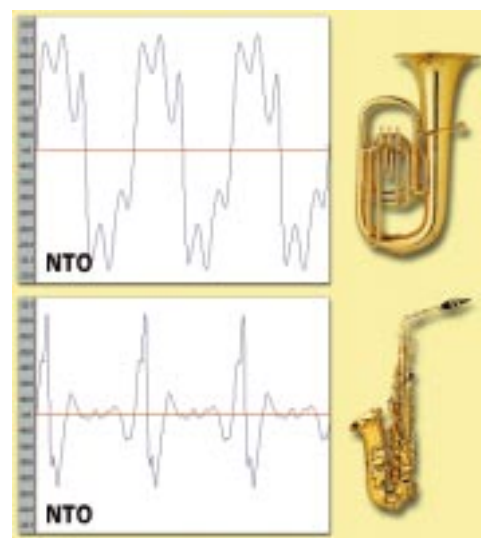
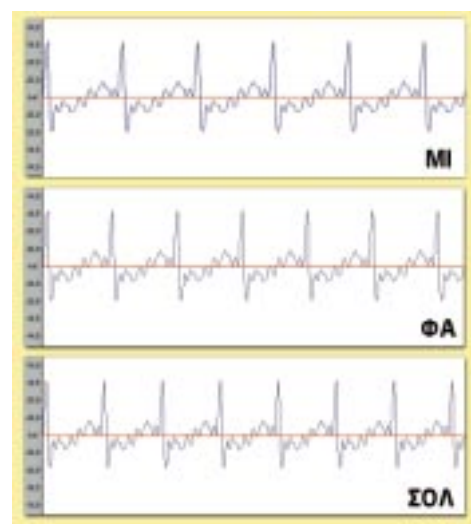


Εικόνα 6.16

από δύο διαφορετικά μουσικά όργανα, λόγου χάρη βιολί και κλαρίνο, ακόμα και αν οι ήχοι έχουν το ίδιο ύψος και τη ίδια ακουστότητα. Το υποκειμενικό χαρακτηριστικό με το οποίο διακρίνουμε τις πηγές των ήχων, λέγεται **χροιά**.

*Από τι όμως εξαρτάται η χροιά;*

Αν με τη βοήθεια ενός μικροφώνου, απεικονίσουμε στην οθόνη του παλμογράφου, τους ήχους που προέρχονται από διαφορετικά όργανα, τα οποία παίζουν την ίδια νότα, παρατηρούμε ότι οι μορφές τους είναι διαφορετικές (εικόνα 6.17β). Η χροιά είναι εκείνο το χαρακτηριστικό του ήχου χάρη στο οποίο μπορούμε να αναγνωρίσουμε τους ανθρώπους από τις φωνές τους.



Εικόνα 6.17

- Εικόνες στην οθόνη του παλμογράφου:
- από διαφορετικές νότες που προέρχονται από το ίδιο όργανο
  - της ίδιας νότας που προέρχεται από διαφορετικά μουσικά όργανα.





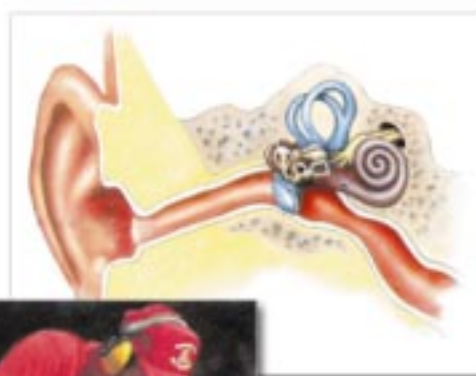
### Στάθμη θορύβου

Οι νόμοι της ακουστικής εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση ενός πολύ σοβαρού περιβαλλοντικού προβλήματος, της ηχορύπανσης. Ο σχεδιασμός αθόρυβων συγκοινωνιακών οχημάτων προϋποθέτει τη μελέτη της παραγωγής και της διάδοσης του ήχου σε κινητήρες, τροχούς και εξαρτήματα ανάρτησης.

Το οργάνιδιο του εσωτερικού αφτιού, που διεγείρεται από τους ήχους, ονομάζεται «όργανο του Κορτί». Οι ήχοι υπερβολικής έντασης καταστρέφουν τα κύτταρα του οργάνου Κορτί, γεγονός που οδηγεί συχνά σε βλάβη της ακοής. Το συχνό άκουσμα της μουσικής, όπως η ντίσκο, σε υψηλή ένταση (100 με 200dB) μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη κώφωση.

Τα στερεοφωνικά ακουστικά δημιουργούν παρόμοιους κινδύνους όταν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη ένταση. Πολλοί νεαροί μουσικοί της ροκ (και κάποιοι οπαδοί τους) έχουν γίνει βαρήκοοι όπως συμβαίνει συνήθως σε άτομα ηλικίας άνω των 65 ετών.

Προσοχή λοιπόν! Μην καταστρέφετε την ακοή σας και το λεπτό αίσθημα της μουσικής εκθέτοντας τα αυτιά σας σε πολύ δυνατούς ήχους.



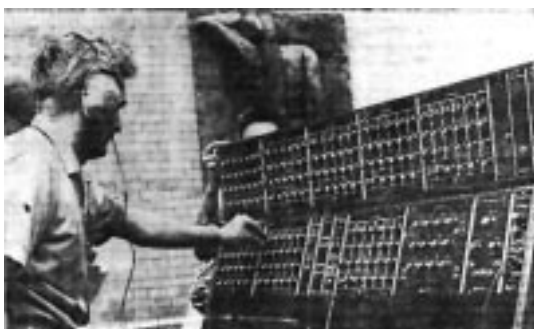
Οι σύγχρονοι φορητοί αναπαραγωγείς ήχου έχουν ειδικό πλήκτρο περιορισμού της έντασής του, για να μην προκαλεί βλάβες στο αυτί μας (Ear Guard).



## Φυσική και τεχνολογία

### Συνθετική μουσική

Εκτός από τα συμβατικά μουσικά όργανα υπάρχουν και τα ηλεκτρονικά, τα γνωστά ως συνθεζαΐζερ. Το 1964 ο Αμερικανός Ρόμπερτ Μουγκ κατασκεύασε ένα συνθεζαΐζερ το οποίο όχι μόνο μιμνήσκοντο ήχους υπαρχόντων οργάνων αλλά παρήγαγε και ήχους οι οποίοι δεν είχαν ακουστεί ποτέ πριν. Σαν αποτέλεσμα συνθέτες και εκτελεστές απέκτησαν τη δυνατότητα νέων δημιουργικών αναζητήσεων. Τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα έχουν αξιοσημείωτες διαφορές από τα συμβατικά. Αντί να έχουν χορδές, γλωσσίδες στήλες αέρα ή μεμβράνες χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές διατάξεις παραγωγής ήχων.



Το συνθεζαΐζερ του Μούγκ χρησιμοποιεί τα αναλογικά ηλεκτρονικά της εποχής του. Δηλαδή, ο ήχος παράγεται από τις παλμικές κινήσεις της μεμβράνης ενός μεγάφωνου. Αυτές δημιουργούν μεταβολές στην πίεση του αέρα. Το πλάτος των μεταβολών είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του μεγάφωνου, δηλαδή διπλάσια τάση προκαλεί και διπλάσια μεταβολή στην πίεση του αέρα.

Σήμερα τα περισσότερα συνθεζαΐζερ χρησιμοποιούν ψηφιακά ηλεκτρονικά. Αριθμοί που αποθηκεύονται στην μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή μετατρέπονται σε ηλεκτρική τάση που μεταφέρεται στο μεγάφωνο. Ο συνθέτης και ο μουσικός μπορούν να χρησιμοποιούν ένα πληκτρολόγιο, όπως εκείνο του πιάνου, ώστε να διαλέγουν το ύψος της μουσικής νότας. Στη συνέχεια ο υπολογιστής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας κυματομορφής ώστε να παραχθεί η επιθυμητή χροιά του ήχου. Από τη στιγμή που το αποτέλεσμα έχει αποθηκευθεί στη μνήμη του υπολογιστή, ο μουσικός μπορεί να προσθέσει τους ήχους άλλων οργάνων ώστε να δημιουργηθεί μια ολόκληρη ορχήστρα.

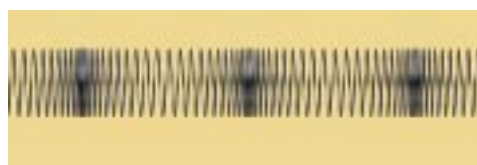






## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Να αντιστοιχήσεις τα παρακάτω είδη των κυμάτων με τον τρόπο κίνησης των σωματιδίων του ελαστικού μέσου.

Είδος κύματος	Τρόπος ταλάντωσης
Εγκάρσιο κύμα	Κυκλική κίνηση
Διάμηκες κύμα	Ταλάντωση παράλληλη προς την διεύθυνση διάδοσης
Επιφανειακό κύμα	Ταλάντωση κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης



2. Σε ποια μέσα (στερεά, υγρά, αέρια) διαδίδονται τα εγκάρσια μηχανικά κύματα και σε ποια τα διαμήκη;
3. Ο Γιώργος κρατάει στο χέρι του μια μεταλλική ράβδο μήκους 1m και κτυπάει το ένα άκρο της με ένα σφυρί. Πρώτα σε διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα της ράβδου και μετά σε διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα της. Τι είδους κύματα παράγει ο Γιώργος και στις και στις δυο περιπτώσεις;
4. Να χαρακτηρίσεις κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις ως σωστή ή λάθος:
- Τα κύματα μεταφέρουν ύλη και ενέργεια.
  - Το μήκος κύματος ισούται με την απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ορέων ή κοιλάδων
  - Η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται από το πλάτος του κύματος
  - Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο περισσότερη ενέργεια μεταφέρεται από ένα κύμα
  - Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι τα διαμήκη
5. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:  
 Κύμα ονομάζεται η διάδοση μιας ..... από μια περιοχή σε άλλη. Τα κύματα μεταφέρουν ..... χωρίς να μεταφέρουν ..... Τα μηχανικά κύματα διαδίδονται μόνο σε κάποιο ..... μέσο. Στα εγκάρσια κύματα σχηματίζονται «.....» και «.....» ενώ στα διαμήκη ..... και ..... Η απόσταση μεταξύ δυο σημείων με την ίδια απομάκρυνση και την ίδια κατεύθυνση κίνησης ονομάζεται ..... Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος ισούται με το γινόμενο του ..... επί την .....
6. Σημείωσε τις σωστές απαντήσεις:  
 Κατά τη διάδοση των κυμάτων που δείχνονται στις εικόνες τι μεταφέρεται αντίστοιχα:  
 α) ύλη    β) ενέργεια    γ) ενέργεια και ύλη    δ) όρη και κοιλάδες    ε) πυκνώματα και αραιώματα;



7. Λέμε ότι ένα κύμα μεταφέρει ενέργεια. Από πού προέρχεται αυτή η ενέργεια;
8. Τι είδους κίνηση εκτελούν τα σωματίδια ενός μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα μηχανικό κύμα; Πως συνδέονται η περίοδος, η συχνότητα, και το πλάτος του κύματος με τα χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής της κίνησης;
9. Πόση απόσταση διανύει ένα κύμα σε χρόνο μιας περιόδου;
10. Γιατί βλέπουμε την αστραπή πριν ακούσουμε τη βροντή;
11. Ένα κύμα διαδίδεται σε κάποιο μέσο. Αν διπλασιασθεί η συχνότητα του κύματος, πως μεταβάλλεται:  
α) η περίοδος του κύματος                      β) το μήκος του κύματος;
12. Βύθισε το δάκτυλό σου περιοδικά σε μια λεκάνη με νερό ώστε να δημιουργήσεις κυκλικά κύματα. Πως θα επηρεασθεί το μήκος κύματος αν κινείς το δάκτυλό σου πιο γρήγορα;
13.  Να χαρακτηρίσεις κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις ως σωστή ή λάθος:  
α) Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται και στο κενό.  
β) Όλα τα κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός  
γ) Το φως είναι μηχανική κύμα  
δ) Τα υλικά κύματα εκφράζουν την κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων
14.  Από ποια φαινόμενα προκύπτει ότι τα μηχανικά κύματα συμπεριφέρονται όπως το φως;
15.  Κατά τη διάδοση ενός κύματος τι παριστάνουμε με την ακτίνα; Όταν ένα κύμα προσπίπτει πάνω σ' ένα εμπόδιο η αρχική και η τελική ακτίνα σχηματίζουν με την κάθετη στο εμπόδιο από μια γωνία. Πως λέγονται αυτές οι γωνίες και με ποια σχέση συνδέονται;
16.  Όταν ένα μηχανικό κύμα διαδίδεται από ένα μέσο σε άλλο ποια από τα παρακάτω μεγέθη μεταβάλλονται; α) η ταχύτητα                      β) η συχνότητα                      γ) το μήκος κύματος
17. Να συμπληρώσεις το παρακάτω κείμενο:  
Ο ήχος είναι ένα ..... μηχανικό κύμα. Ήχος παράγεται όταν ένα σώμα ..... Τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν τα κοινά χαρακτηριστικά των ..... κυμάτων.
18. Που διαδίδονται τα ηχητικά κύματα;
19. Ένα ξυπνητήρι τοποθετείται σ' ένα γυάλινο κώδωνα που συνδέεται με μια αντλία. Όταν ο αέρας αφαιρείται από τον κώδωνα δεν ακούγεται κανένας ήχος. Εξήγησε γιατί.







20.  Ποια είναι η χαρακτηριστικότερη διαφορά μεταξύ ηχητικών και φωτεινών κυμάτων;
21. Πως εξηγείται το γεγονός ότι ο ήχος δεν διαδίδεται στο κενό;
22. Κατάταξε τα υλικά μέσα (υγρά, στερεά, αέρια) κατά σειρά αυξανόμενης τιμής της ταχύτητας διάδοσης του ήχου στο εσωτερικό τους.
23. Το 19<sup>ο</sup> αιώνα οι Ινδιάνοι της Αμερικής ακουμπούσαν τα αυτιά τους στις σιδηροτροχιές για να αντιληφθούν πιο γρήγορα ότι πλησιάζει ένα τρένο. Γιατί αυτή η μέθοδος ήταν αποδοτική;
24.  Κάθεσαι στη γραμμή τερματισμού σ' ένα δρόμο 100m και θέλεις να μετρήσεις το χρόνο του ταχύτερου αθλητή. Πότε θα πρέπει να ξεκινήσεις το χρονόμετρο σου. Όταν δεις τον καπνό από το πιστόλι του αφέτη ή όταν ακούσεις τον ήχο της πιστολιάς; Αν υπάρχει διαφορά να την εξηγήσεις.
25. Μια σειρήνα εκπέμπει ήχο. Πως μεταβάλλεται η ταχύτητα του ήχου όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα; Πως επηρεάζονται η συχνότητα του ήχου της σειρήνας και το μήκος κύματος;
26. Ποια είναι τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου;
27. Αντιστοίχησε κάθε ένα από τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου με ένα από παρακάτω αντικειμενικά χαρακτηριστικά.


Αντικειμενικό χαρακτηριστικό	Υποκειμενικό χαρακτηριστικό
α) συχνότητα,	
β) ένταση	
γ) κυματομορφή	

28. Αν αυξηθεί το ύψος ενός ήχου τι μεταβολή προκαλείται
- στην ταχύτητα διάδοσης
  - στη συχνότητα
  - στο μήκος κύματος
  - στο πλάτος του ηχητικού κύματος;
29. Ένα συγκρότημα ροκ παίζει σε μια στάθμη έντασης 80-dB. Πόσες φορές ισχυρότερο ήχο αντιλαμβάνεται ένας ακροατής όταν η στάθμη έντασης ανέβει
- στα 90-dB
  - 100-dB

## Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ

1. Ένα θαλάσσιο κύμα έχει μήκος 10m και περίοδο 2s. Πόση είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος;
2. Σ' ένα ρηχό πιάτο σχηματίζονται κύματα νερού με συχνότητα 5Hz και μήκος κύματος 6cm. Να βρεθούν
  - α) η ταχύτητα των κυμάτων,
  - β) η περίοδος των κυμάτων
3. Ένα παιδί ρίχνει πέτρες σε μια λίμνη με συχνότητα 12 πέτρες το λεπτό. Στην επιφάνεια της λίμνης δημιουργούνται κύματα νερού που διαδίδονται κατά 40m σε 20s. Να βρεις:
  - α) την περίοδο των κυμάτων
  - β) το μήκος κύματος.
4.  Μια πηγή εκπέμπει κίτρινο φως που έχει μήκος κύματος στον αέρα  $6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  η ταχύτητα των φωτεινών κυμάτων στον αέρα είναι ίση με  $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
  - α) πόση είναι η συχνότητα του κίτρινου φωτός
  - β) Μεταβάλλεται αυτή η συχνότητα όταν το φως διαδίδεται στο νερό; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.
5. Σε μια σεισμική δόνηση παράχθηκαν εγκάρσια κύματα που διαδίδονται με ταχύτητα  $5 \frac{\text{Km}}{\text{s}}$  και διαμήκη κύματα που διαδίδονται με ταχύτητα  $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  ένας σειсмоγράφος βρίσκεται σε απόσταση 400km από την εστία του σεισμού. Ποιο είδος κυμάτων καταγράφηκε πρώτο από τον σειсмоγράφο. Με πόση χρονική καθυστέρηση καταγράφηκε το δεύτερο κύμα;
6.  Ένα ραδιοφωνικό κύμα που είναι είδος ηλεκτρομαγνητικού κύματος, έχει συχνότητα 100MHz ( $100 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ ). Ποιο είναι το μήκος κύματος;
7. Ο Γιάννης ακούει τον ήχο μιας βροντής μετά από 10s αφού βλέπει την αστραπή. Αν γνωρίζεις ότι ο ήχος στον αέρα διαδίδεται με ταχύτητα  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  μπορείς να υπολογίσεις σε απόσταση από το σημείο που βρίσκεται ο Γιάννης έπεσε ο κεραυνός;
8. Ένα ταχύπλοο σκάφος παράγει ηχητικά κύματα με συχνότητα 400Hz. Αν το μήκος κύματος στο νερό είναι 3,5m. Πόση είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο νερό;
9. Υπέρηχοι με συχνότητα 500 MHz μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή εικόνων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Εάν η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο σώμα μας είναι  $1,5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , όσο και στο αλατόνερο, πόσο είναι το μήκος κύματος των υπερήχων στο σώμα μας;



10. Ο ήχος μιας καμπάνας που βρίσκεται σε απόσταση 510m ακούγεται 1,5s μετά την παραγωγή του.  
 α) Πόση είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα;  
 β) Το ηχητικό κύμα έχει συχνότητα 200Hz. Πόση είναι η περίοδος του;
11.  Ένας ορειβάτης φωνάζει μπροστά από ένα κατακόρυφο βράχο που βρίσκεται σε απόσταση 680m. Η ηχώ ακούγεται 4s αργότερα.  
 α) Πόση είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα;  
 β) Το μήκος κύματος του ηχητικού κύματος είναι ίσο με 0,75m. Πόση είναι η συχνότητα του κύματος;
12. Ένα όπλο εκपुरσοκροτεί σε μια κοιλάδα με παράλληλα κατακόρυφα τοιχώματα. Η ηχώ από τα τοιχώματα ακούγεται 2s μετά την εκपुरσοκρότηση του όπλου. Η ηχώ από το δεύτερο τοίχωμα ακούγεται 2s μετά την πρώτη ηχώ. Πόσο είναι το πλάτος της κοιλάδας;

## Περίληψη κεφαλαίου 6: Μηχανικά κύματα

- Κύμα ονομάζεται η διάδοση μιας διαταραχής από μια περιοχή σε άλλη.
- Τα κύματα μεταφέρουν ενέργεια χωρίς μεταφορά ύλης.
- Τα μηχανικά κύματα, όπως τα κύματα σε σχοινί ή τα ηχητικά, απαιτούν κάποιο μέσο για τη διάδοσης. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως το φως και τα ραδιοκύματα, διαδίδονται και στο κενό.
- Στα εγκάρσια κύματα τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Στα διαμήκη κύματα τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Στα επιφανειακά κύματα τα σωματίδια του μέσου κινούνται σε κυκλικές τροχιές.
- Περίοδος και συχνότητα ενός μηχανικού κύματος ονομάζεται η περίοδος και η συχνότητα των ταλαντώσεων των σωματιδίων του μέσου στο οποίο διαδίδεται το κύμα.
- Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος ισούται με το γινόμενο του μήκους κύματος επί την συχνότητα.
- Ο ήχος είναι ένα διάμηκες μηχανικό κύμα που διαδίδεται στον αέρα. Ήχος παράγεται όταν ένα σώμα ταλαντώνεται, οπότε δημιουργούνται μεταβολές στην πίεση του αέρα.
- Τα ηχητικά κύματα παρουσιάζουν τα κοινά χαρακτηριστικά των μηχανικών κυμάτων. Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε όλα τα μέσα: στερεά, υγρά, αέρια. Δεν διαδίδονται στο κενό. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου μειώνεται κατά σειρά από τα στερεά στα υγρά στα αέρια.
- Με το ύψος διακρίνουμε έναν οξύ από έναν βαρύ ήχο. Το ύψος καθορίζεται από τη συχνότητα.
- Με την ακουστότητα διακρίνουμε του ήχους σε ισχυρούς και ασθενείς. Η ακουστότητα καθορίζεται από την ενέργεια που φθάνει στο αυτί μας στη μονάδα του χρόνου.

### Β Α Σ Ι Κ Ο Ι Ο Ρ Ο Ι

Εγκάρσιο κύμα	Μήκος κύματος
Διάμηκες κύμα	Πλάτος
Επιφανειακό κύμα	Ύψος
Περίοδος	Ακουστότητα
Συχνότητα	Χροιά