

Κεφάλαιο 5. Μηχανικά κύματα

5.1 Μηχανικά κύματα

1. Τι ονομάζεται κύμα και τι μηχανικό κύμα;

Κύμα ονομάζεται η διάδοση μιας διαταραχής που προκλήθηκε με κάποιο τρόπο σε ένα χώρο.

Η πιο σημαντική κατηγορία κυμάτων είναι τα μηχανικά κύματα. **Για να διαδοθούν τα μηχανικά κύματα, απαιτείται ένα μέσο διάδοσης.**

2. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των μηχανικών κυμάτων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των μηχανικών κυμάτων είναι τα εξής:

Για τη διάδοσή τους απαιτείται κάποιο μέσο διάδοσης.

Κατά τη διάδοσή τους μεταφέρουν ενέργεια.

Ένα μηχανικό κύμα μπορεί να μεταφέρει τη μηχανική ενέργεια από μέρος του μέσου σε ένα άλλο. Έτσι το κύμα που διαδίδεται στο σχοινί έχει ως μέσο διάδοσης το ίδιο το σχοινί, ενώ τα σεισμικά κύματα έχουν ως μέσο διάδοσης τα πετρώματα της Γης.

Η μεταφορά ενέργειας σε ένα μέσο διάδοσης γίνεται από κάθε σωματίδιο του μέσου στο γειτονικό του.

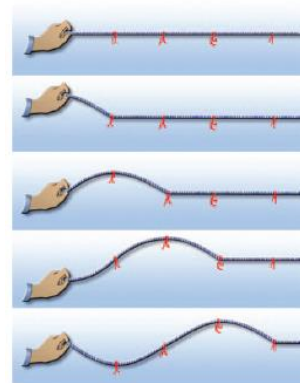
3. Ποια κύματα ονομάζονται εγκάρσια;

Τα μηχανικά κύματα διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο που κινούνται τα σωματίδια του μέσου διάδοσης.

Έτσι **αν τα σωματίδια του μέσου κινούνται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τα κύματα ονομάζονται εγκάρσια.**

Τα εγκάρσια κύματα **διαδίδονται μόνο στα στερεά** και στα εγκάρσια κύματα κατά τη διάδοσή τους **δημιουργούνται «όρη» και «κοιλιάδες».**

Παράδειγμα εγκάρσιων κυμάτων είναι η διαταραχή που μεταφέρεται μέσω ενός σχοινιού στην οποία ενώ το κύμα διαδίδεται κατά μήκος του σχοινιού η κίνηση των σωματιδίων είναι πάνω-κάτω.



4. Ποια κύματα ονομάζονται διαμήκη;

Αν τα σωματίδια του μέσου διάδοσης **κινούνται παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος**, τα κύματα ονομάζονται **διαμήκη**. Στα διαμήκη δημιουργούνται **«πυκνώματα» και «αραιώματα».**

Παράδειγμα διαμηκών κυμάτων είναι τα ηχητικά κύματα ή ακόμη και τα κύματα που διαδίδονται μέσω ενός ελατηρίου, όπου παρατηρούμε πυκνώματα και αραιώματα του ελατηρίου.



5. Τι είναι το επιφανειακό κύμα;

Το επιφανειακό κύμα είναι το κύμα που διαδίδεται στην επιφάνεια ενός υγρού στο οποίο τα σωματίδια του μέσου διάδοσης ταλαντώνονται και κάθετα και παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του μέσου.

Αυτό σημαίνει ότι το επιφανειακό κύμα είναι ένα μείγμα εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων και η τελική εικόνα του κύματος αυτού είναι να σχηματίζονται κυκλικές τροχιές.

5.2 Κύμα και ενέργεια

6. Ποιος είναι ο τρόπος παραγωγής και διάδοσή των κυμάτων;

Κάθε κύμα παράγεται από μια πηγή. Η πηγή αυτή θα πρέπει να εκτελεί ταλάντωση έτσι ώστε να δημιουργεί μια διαταραχή που θα μεταδοθεί μέσω του κύματος. Για να θέσουμε μια πηγή σε ταλάντωση πρέπει να του προσφέρουμε κάποια ενέργεια. Αυτή η ενέργεια μεταφέρεται από την πηγή στο κύμα και έπειτα διαδίδεται μέσω του κύματος.

Το μέσο στο οποίο γίνεται η διάδοση του κύματος αποτελείται από μικροσκοπικά μόρια ή σωματίδια. Αυτά είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά της ενέργειας στα κύματα. Τα σωματίδια του μέσου διάδοσης εκτελούν ταλαντώσεις ίδιες με αυτές της πηγής αποκτώντας ενέργεια από το προηγούμενό τους σωματίδιο. Έτσι τη μεταδίδουν στο αμέσως γειτονικό τους και με αυτή τη διαδικασία συνεχίζεται η διάδοση. Πρέπει να τονιστεί ότι **το κύμα μεταφέρει ενέργεια όχι ύλη.**

5.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος

7. Ποια τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μηχανικών κυμάτων.

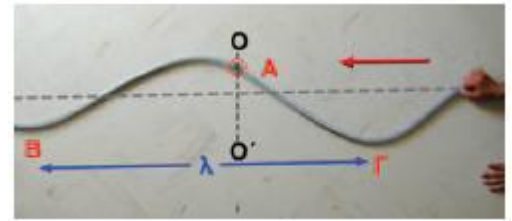
Τα χαρακτηριστικά φυσικά μεγέθη των κυμάτων είναι:

Η συχνότητα, Η περίοδος, Το πλάτος ταλάντωσης των σωματιδίων., Η ταχύτητα., Το μήκος κύματος του κύματος. Η συχνότητα και η περίοδος του κύματος είναι ίδιες με τη συχνότητα και την περίοδο των σωματιδίων του μέσου που μεταφέρουν το κύμα. Τα σωματίδια εκτελούν ταλαντώσεις με όλα τα χαρακτηριστικά, δηλαδή συχνότητα f , περίοδο T και πλάτος A ταλάντωσης.

8. Τι ονομάζεται μήκος κύματος;

Μήκος κύματος είναι η απόσταση που διανύει ένα κύμα στο χρονικό διάστημα μιας περιόδου. Με άλλα λόγια είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων με την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας και την ίδια κατεύθυνση κίνησης.

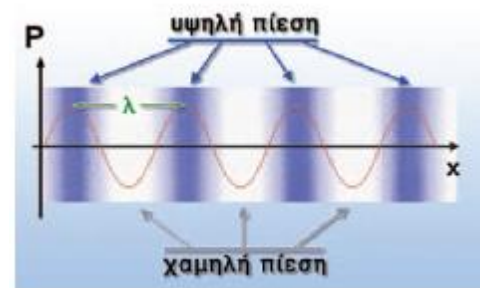
Αν τραβήξουμε μια φωτογραφία ενός κύματος κάποια χρονική στιγμή, θα πάρουμε το στιγμιότυπο του κύματος. Ένα στιγμιότυπο του κύματος από το οποίο διακρίνεται το μήκος κύματος φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εγκάρσια κύματα και μήκος κύματος
Τα Β και Γ έχουν την ίδια χρονική στιγμή την ίδια απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας (αρχική θέση του σχοινιού) $B\Gamma = \lambda$.

9. Ποια η διαφορά εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων όσον αφορά τη μορφή των κυμάτων που διαδίδονται.

Παρατηρώντας τις κυματομορφές των εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων παρατηρούμε δύο σημαντικές διαφορές. Στα εγκάρσια σχηματίζονται όρη και κοιλάδες, ενώ στα διαμήκη κύματα σχηματίζονται πυκνώματα και αραιώματα. **Το μήκος κύματος στα εγκάρσια κύματα είναι η απόσταση δύο διαδοχικών ορέων.** Στα διαμήκη υπάρχουν περιοχές αυξημένης πίεσης (πυκνώματα) και περιοχές χαμηλής πίεσης (αραιώματα). **Το μήκος κύματος στα διαμήκη κύματα ισούται με την απόσταση δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.**



Διαμήκη κύματα και μήκος κύματος
Το μήκος κύματος λ είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων. Η καμπύλη παριστάνει τις μεταβολές της πίεσης.

10. Τι είναι το πλάτος του κύματος;

Το πλάτος του κύματος ισούται με το πλάτος ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης του κύματος. Το πλάτος ενός κύματος σχετίζεται άμεσα με το ποσό της ενέργειας που μεταφέρει ένα κύμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό της ενέργειας που μεταφέρει το κύμα.

Έτσι κατανοούμε εύκολα ότι κύματα με μεγάλα πλάτη μεταφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Τα παλιρροϊκά κύματα, για παράδειγμα, είναι κύματα με ενέργεια ικανή να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές.

11. Τι είναι ο Θεμελιώδης νόμος της κυματικής;

Η σχέση $v = \lambda \cdot f$ ονομάζεται **θεμελιώδης νόμος της κυματικής**. Η ταχύτητα του κύματος σε ένα μέσο ισούται με το γινόμενο της συχνότητάς του επί το μήκος κύματος.

12. Από τι εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος;

Η ταχύτητα δεν εξαρτάται από το πλάτος του κύματος.

Εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης. Στο ίδιο μέσο διάδοσης τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα απ' ότι τα διαμήκη.

13. Παράδειγμα Άσκησης 1

Ένα εγκάρσιο κύμα έχει συχνότητα $f = 4 \text{ Hz}$ και διαδίδεται με ταχύτητα $v = 8 \text{ m/s}$. Να βρείτε: α) το μήκος κύματος και β) την περίοδο

Λύση

$$\alpha) v = \lambda \cdot f \Rightarrow 8 = \lambda \cdot 4 \Rightarrow \lambda = \frac{8}{4} = 2\text{m} \quad \beta) T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4} = 0,25\text{s}$$

14. Παράδειγμα Άσκησης 2

Δύο διαδοχικά πυκνώματα ενός διαμήκους κύματος απέχουν 25 cm και το κύμα διαδίδεται με ταχύτητα $v = 2 \text{ m/s}$. α) να βρείτε τη συχνότητα του κύματος και β) να βρείτε την περίοδο του κύματος

Λύση

α) Το μήκος κύματος είναι $\lambda=25\text{cm}=0,25\text{m}$, οπότε $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2 = 0,25 \cdot f \Rightarrow f = \frac{2}{0,25} = 8\text{Hz}$

β) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8} = 0,125\text{s}$

15. Παράδειγμα Άσκησης 3

Κύμα που έχει δημιουργήσει ένα διερχόμενο σκάφος φτάνει σε μια σημαδούρα η οποία αρχίζει να ταλαντώνεται υπό την επίδραση του κύματος. Η σημαδούρα εκτελεί 4 πλήρεις ταλαντώσεις σε χρόνο 5 s , ενώ δύο διαδοχικά όρη του κύματος απέχουν 2 m. Να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Λύση

Η συχνότητα του κύματος είναι: $f = \frac{N}{\Delta t} = \frac{4}{5} = 0,8\text{Hz}$

Το μήκος κύματος είναι $\lambda=2\text{m}$, οπότε έχουμε: $v = \lambda \cdot f = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5.4 Ήχος

16. Πως παράγονται τα ηχητικά κύματα;

Τα μηχανικά κύματα διαδίδονται μέσω των σωματιδίων του μέσου διάδοσης όταν αυτά μεταφέρουν την ενέργεια στο διπλανό τους σωματίδιο. Στα ηχητικά κύματα το μέσο διάδοσης είναι ο αέρας. Έτσι τα σωματίδια (μόρια) του αέρα εκτελούν ταλαντώσεις και με τον τρόπο αυτό δημιουργούν τα ηχητικά κύματα.

Επειδή τα μόρια του αέρα εκτελούν ταλαντώσεις παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης των ηχητικών κυμάτων, συμπεραίνουμε ότι τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη κύματα.

17. Ποιο το εύρος των συχνοτήτων των κυμάτων που γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί; Τι είναι οι υπόηχοι και τι οι υπέρηχοι;

Είναι γνωστό ότι τα κύματα έχουν κάποιες συχνότητες. Όταν η συχνότητα των ηχητικών κυμάτων πάρει τιμές από 20Hz μέχρι 20000Hz, τότε μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί. Στην περίπτωση αυτή τα ηχητικά κύματα ονομάζονται απλώς ήχος.

Αν η συχνότητα των ηχητικών κυμάτων είναι μικρότερη των 20Hz, τότε τα ηχητικά κύματα ονομάζονται **υπόηχοι**, ενώ αν η συχνότητα ξεπεράσει τα 20000Hz, τα ηχητικά κύματα ονομάζονται **υπέρηχοι**.

Πολλά ζώα επικοινωνούν σε συχνότητες πολύ μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί.

18. Ποια τα χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων.

Τα χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων είναι ίδια με εκείνα των απλών κυμάτων. Δηλαδή α) συχνότητα f, β) περίοδος T, γ) πλάτος A, δ) ταχύτητα διάδοσης u και ε) μήκος κύματος λ.

Το μήκος κύματος ενός ηχητικού κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή δύο διαδοχικών αραιωμάτων.

Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στον αέρα έχει υπολογιστεί και είναι περίπου 340m/s.

19. Σε ποια μέσα μπορούν να διαδίδονται τα ηχητικά κύματα;

Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σε όλα τα μέσα, δηλαδή στερεά, υγρά και αέρια. Δεν διαδίδονται στο κενό λόγω της έλλειψης μορίων του αέρα. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια δεν μπορεί να μεταφερθεί στο κενό.

Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων είναι μεγαλύτερη στα στερεά σώματα από ότι στα υγρά και στα αέρια. Επίσης στα υγρά η ταχύτητα διάδοσης είναι μεγαλύτερη από ότι στα αέρια.

5.5 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.

20. Ποια είναι τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι εκείνα που συνδέονται με τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον ήχο και είναι τα εξής:

Το ύψος.

Η ακουστότητα.

Η χροιά.

21. Τι γνωρίζετε για το ύψος, ακουστότητα και χροιά ως χαρακτηριστικά του ήχου;

Με το **ύψος** διακρίνουμε έναν οξύ ή ψηλό ήχο από έναν βαρύ ή χαμηλό ήχο. Το **ύψος** καθορίζεται από τη **συχνότητα** του ηχητικού κύματος. Για μεγαλύτερες συχνότητες έχουμε ψηλότερο ήχο.

Η **ακουστότητα** του ήχου είναι το χαρακτηριστικό με το οποίο **ξεχωρίζουμε τους ισχυρούς και λιγότερο**

ισχυρούς ή ασθενείς ήχους. Η ακουστότητα καθορίζεται από την ένταση του ηχητικού κύματος δηλαδή από την ηχητική ενέργεια που φτάνει στο αυτί μας κάθε δευτερόλεπτο.

Η χροιά μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε δύο ήχους που προέρχονται από δύο διαφορετικά όργανα, ακόμη και αν οι ήχοι έχουν το ίδιο ύψος και την ίδια ακουστότητα. Η χροιά καθορίζεται από την κυματομορφή του ηχητικού κύματος.

22. Τι είναι η Κλίμακα ντεσιμπέλ;

Η κλίμακα ντεσιμπέλ (decibel dB) είναι χρήσιμη για τη μέτρηση της στάθμης του ήχου, η οποία βασίζεται στο πλάτος του κύματος.

Το μηδέν της κλίμακας αυτής αντιστοιχεί σε ήχο που μόλις ακούγεται, ενώ ο ήχος από ένα αεροπλάνο που φτάνει τα 120dB προκαλεί πόνο στο αυτί του ανθρώπου.

Αύξηση κατά 10dB αντιστοιχεί σε ήχο έντασης 10 φορές μεγαλύτερης ενώ αύξηση κατά 20dB αντιστοιχεί σε ένταση 100 φορές μεγαλύτερη. Αύξηση της έντασης κατά 10dB αντιστοιχεί συνήθως περίπου σε ήχο διπλάσιας ακουστότητας από τον άνθρωπο.

23. Παράδειγμα Άσκησης 1

Σε συνηθισμένες συνθήκες η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων στον αέρα είναι 340m/s και στο νερό 1500m/s.

α) Ένα ηχητικό κύμα συχνότητας 200Hz, που διαδίδεται στον αέρα, τι μήκος κύματος έχει;

β) Πόση γίνεται η συχνότητα και πόσο το μήκος του προηγούμενου κύματος όταν αυτό μπει στο νερό;

Λύση

α) $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 340 = \lambda \cdot 200 \Rightarrow \lambda = \frac{340}{200} = 1,7m$ β) όταν το κύμα αλλάξει υλικό θα έχει την ίδια συχνότητα

που είχε πριν $f=200\text{Hz}$, οπότε το μήκος κύματος θα είναι: $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 1500 = \lambda \cdot 200 \Rightarrow \lambda = \frac{1500}{200} = 7,5m$

24. Παράδειγμα Άσκησης 2

Ένα ηχητικό κύμα προκαλείται από μία πηγή που ταλαντώνεται με συχνότητα $f = 200 \text{ Hz}$ και διαδίδεται στον αέρα. Η απόσταση δύο διαδοχικών πυκνωμάτων του κύματος είναι 170 cm. α) να βρείτε την ταχύτητα διάδοσης του κύματος, β) να βρείτε σε πόσο χρόνο το κύμα θα διαδοθεί κατά 6,8 km.

Λύση

α) Το μήκος κύματος είναι $\lambda=170\text{cm}=1,7m$, οπότε $v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 1,7 \cdot 200 = 340 \text{ m/s}$

β) Η απόσταση είναι $6,8\text{km}=6800m$, οπότε από τον τύπο $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 340 = \frac{6800}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{6800}{340} = 20s$