

6 Κυμάνσεις

- Κύμα – ορισμός
- Είδη κυμάνσεων
- Οδεύοντα και στάσιμα κύματα

Μαρία Κατσικίνη
katsiki@auth.gr
users.auth.gr/katsiki

Σχέση δύναμης - κίνησης

Δύναμη σταθερή
εφαρμόζεται σε σώμα

→ Το σώμα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά
επιταχυνόμενη κίνηση

Δύναμη ανάλογη της
απομάκρυνσης ($F = -kx$)
εφαρμόζεται σε σώμα

→ Το σώμα εκτελεί αρμονική
ταλάντωση

Ταλαντώσεις = πηγές κυμάνσεων

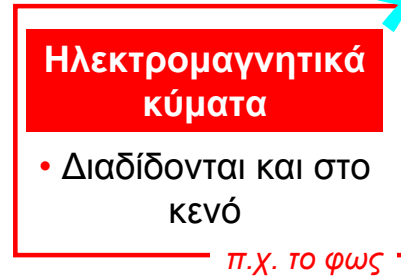
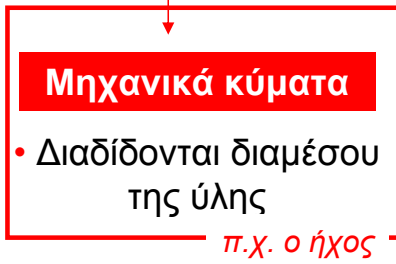
Κύμα

Διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια
από το ένα σημείο του μέσου σε
ένα άλλο χωρίς να μεταφέρει μάζα



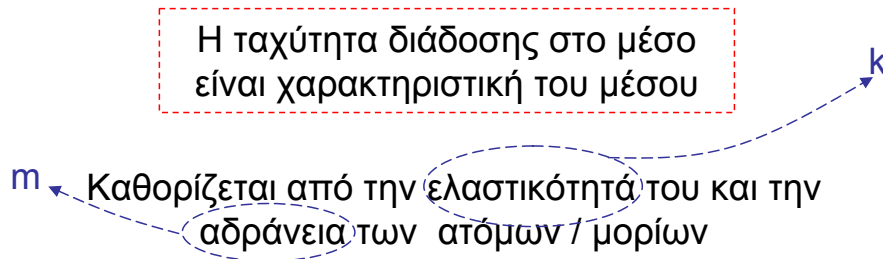
Διάδοση ενέργειας

Η μεταφορά ενέργειας σε ένα μέσο όπου διαδίδεται ένα κύμα γίνεται με τη βοήθεια των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων / ατόμων.



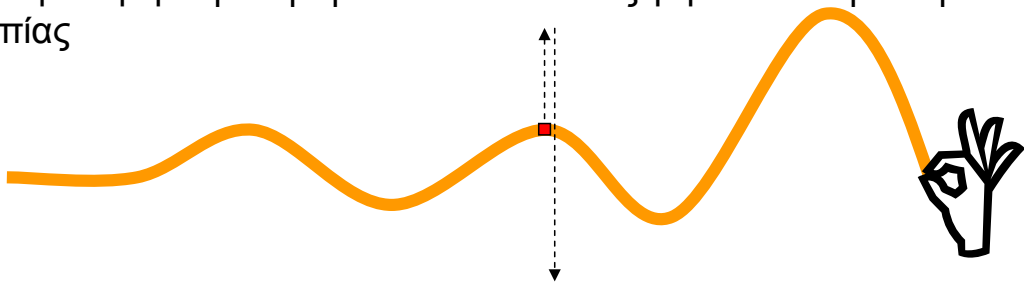
Μηχανικά κύματα:

1. Πηγή που προκαλεί τη διαταραχή / ταλάντωση
2. Μέσο που «διαταράσσεται»
3. Αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων / μορίων του μέσου



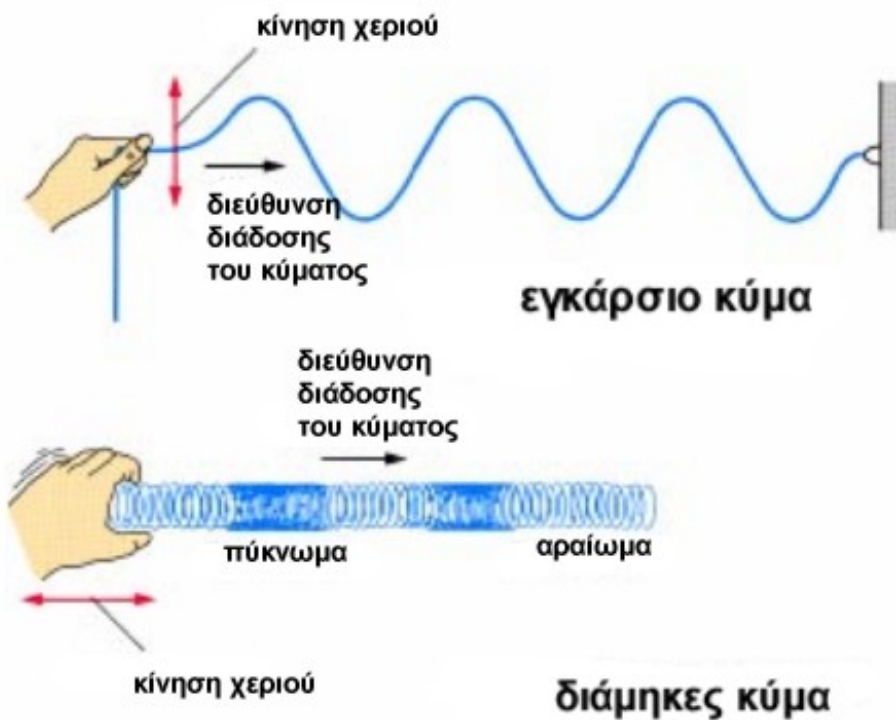
Μηχανικά κύματα

- Κατά τη διάδοση μίας κύμανσης σε ένα μέσο τα σωματίδια της ύλης δεν εκτελούν μεταφορική κίνηση αλλά ταλαντώσεις γύρω από τη θέση ισορροπίας



- Το είδος της ταλάντωσης που θα εκτελέσουν καθορίζεται από τη δύναμη η οποία παράγει το κύμα.
- Αρμονική δύναμη παράγει αρμονική ταλάντωση.
- Η διαταραχή διαδίδεται λόγω των δυνάμεων επαναφοράς που ασκούνται μεταξύ γειτονικών μορίων που τείνουν να τα επαναφέρουν στη θέση ισορροπίας

Εγκάρσια – διαμήκη κύματα



Εγκάρσιο κύμα

Κάθε τμήμα της χορδής ταλαντώνεται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

Διάμηκες κύμα

Κάθε τμήμα του ελατηρίου ταλαντώνεται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

Εγκάρσια – διαμήκη κύματα

- Στα στερεά διαδίδονται και διαμήκη και εγκάρσια κύματα
- Η ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών και εγκαρσίων κυμάτων είναι διαφορετική στο ίδιο μέσο
- Στα υγρά και τα αέρια διαδίδονται μόνο διαμήκη κύματα π.χ. ήχος



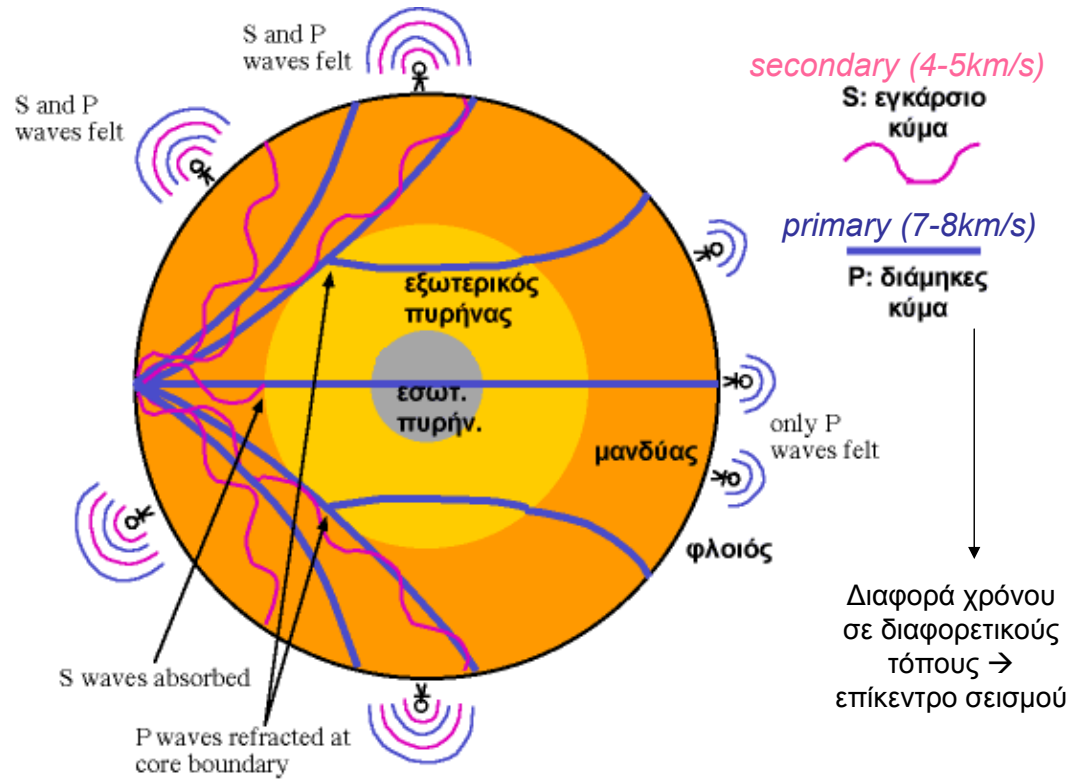
Το διαπασών αναγκάζει τα μόρια του αέρα να δονούνται μπρος - πίσω και να σχηματίζονται πυκνώματα και αραιώματα

Εγκάρσια – διαμήκη κύματα

Σεισμικά κύματα

● Στα **στερεά** διαδίδονται και **διαμήκη** και **εγκάρσια** κύματα

● Στα **υγρά** και τα **αέρια** διαδίδονται μόνο **διαμήκη** κύματα



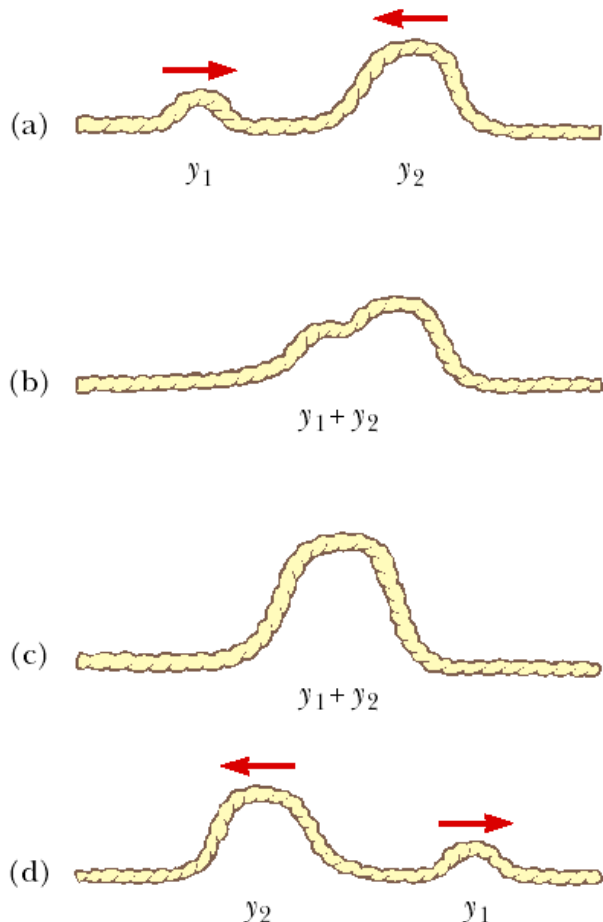
Από τη μελέτη των σεισμικών κυμάτων λαμβάνουμε πληροφορίες για τη δομή των πετρωμάτων και το εσωτερικό της Γης.

www.astronomynotes.com

Αρχή της επαλληλίας

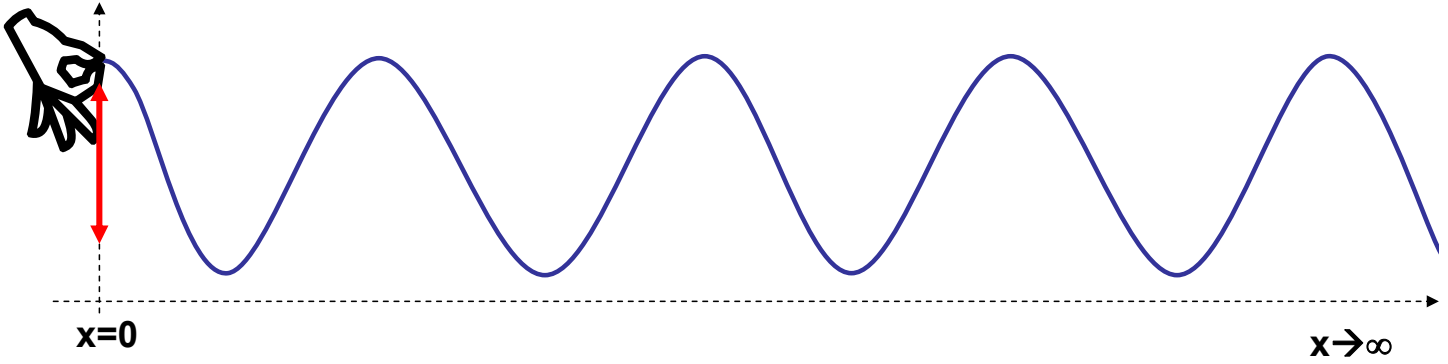
Όταν σε ένα μέσο διαδίδονται δύο ή περισσότερα οδεύοντα κύματα, η ολική διαταραχή είναι άθροισμα* τον επί μέρους διαταραχών

... δηλαδή το ένα κύμα διαπερνά το άλλο χωρίς να διαταράσσεται



* Ισχύει για κυμάνσεις μικρού πλάτους

Αρμονικά οδεύοντα κύματα



Το χέρι αναγκάζει ένα αρχικά τεντωμένο νήμα να κινηθεί (στο σημείο $x=0$) αρμονικά

$$y(0) = A \cos \omega t$$

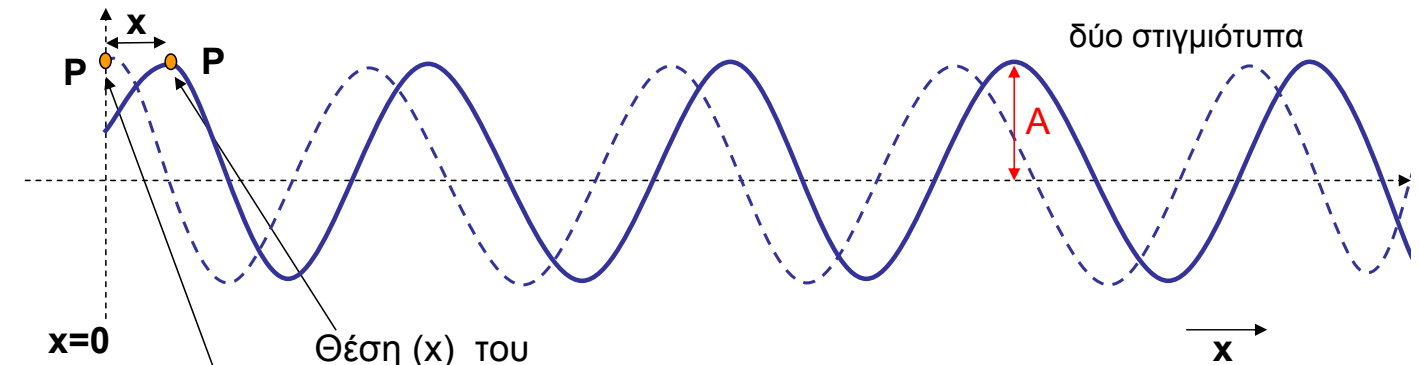
$$y(0, t) = A \cos \omega t$$

θέση x χρονική στιγμή t

Ποιά είναι η μετατόπιση (y) του κάθε σημείου του νήματος (x) σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t ;

Αρμονικά οδεύοντα κύματα

Εξίσωση κύματος



$x=0$ Θέση (x) του σημείου P τη χρονική στιγμή t
 Θέση ($x=0$) του σημείου P τη χρονική στιγμή t'

Το κύμα οδεύει με ταχύτητα u

Η χρονική στιγμή t διαφέρει από την t' κατά x/u

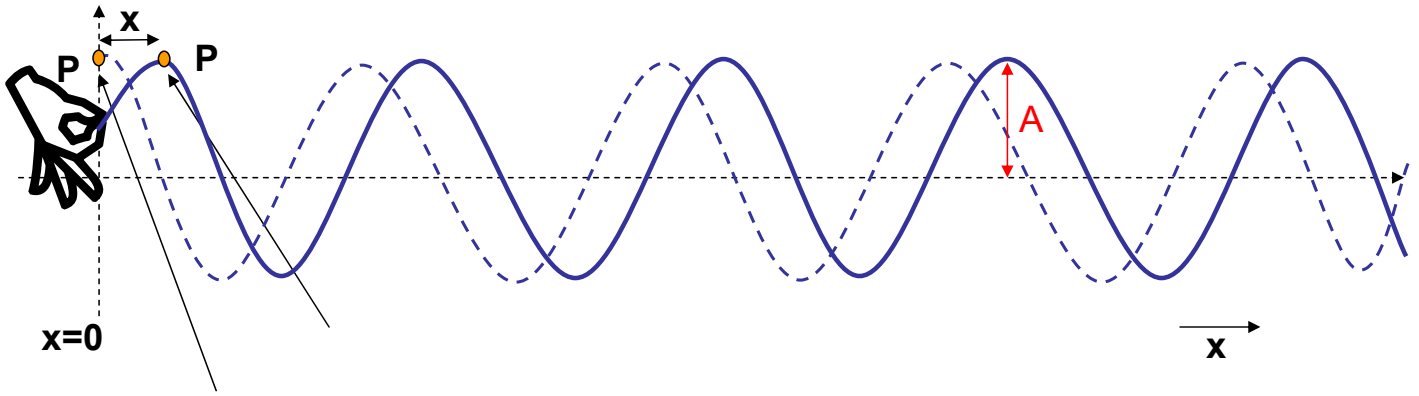
Σημείο της κυματομορφής με σταθερή απομάκρυνση (σταθερή φάση) π.χ. $y=A$

$$t = t' + \frac{x}{u}$$

$$y(0, t') = A \cos(\omega t')$$

Αρμονικά οδεύοντα κύματα

Εξίσωση κύματος



$$y(x, t) = y(0, t') = A \cos(\omega t')$$

$$y(0, t') = A \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right)$$

$t' = t - \frac{x}{v}$

$$k = \frac{\omega}{v}$$

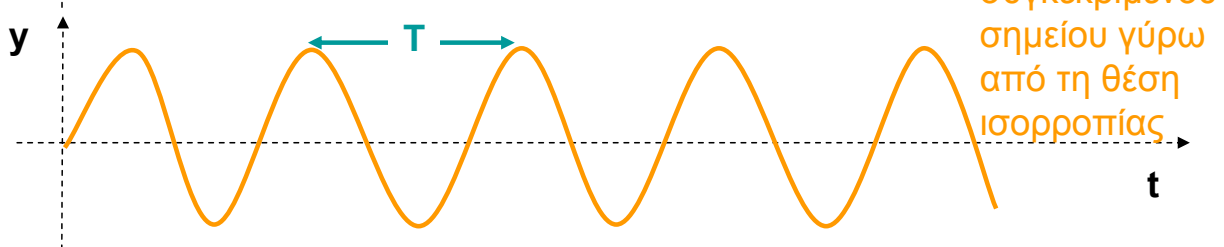
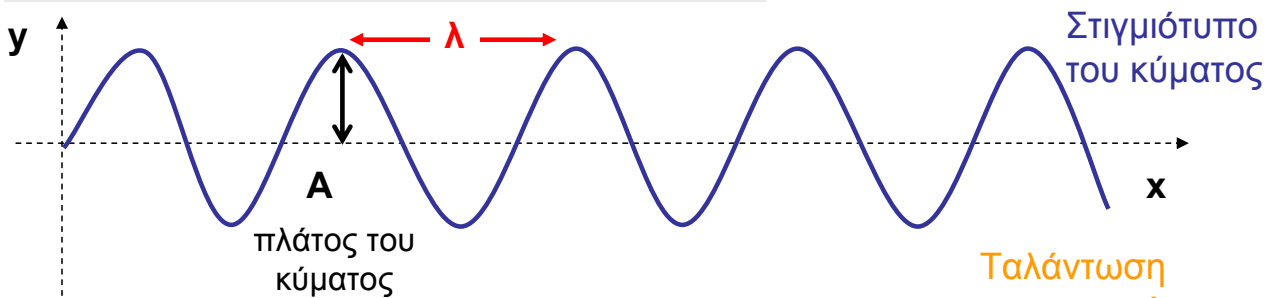
$k \rightarrow$ κυματάριθμος
(λόγος δύο ταχυτήτων)

$$y(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

$$y(x, t) = A \cos(\omega t + kx)$$

Διάδοση προς t' αριστερά

Αρμονικά οδεύοντα κύματα



ταχύτητα κύματος (ταχύτητα φάσης): ταχύτητα με την οποία κινούνται οι επιφάνειες ίσης φάσης π.χ. όρη

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Μήκος κύματος: απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου

Περίοδος

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$k \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$ **Κυματάριθος:** εκφράζει πόσες φορές στη μονάδα του μήκους το κύμα έχει ίδια φάση [μονάδες rad/m, m⁻¹, cm⁻¹]

$\omega \equiv \frac{2\pi}{T}$ **Κυκλική συχνότητα:** εκφράζει πόσες φορές στη μονάδα του χρόνου το κύμα έχει ίδια φάση [μονάδες rad/sec, sec⁻¹]

$$\frac{\omega}{k} = \frac{\frac{2\pi}{T}}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \frac{\lambda}{T} = v \quad \longrightarrow \quad v = \frac{\omega}{k}$$

Άσκηση

Ένας ψαράς παρατηρεί ότι η βάρκα του κινείται πάνω – κάτω περιοδικά λόγω των κυμάτων στην επιφάνεια του νερού. Απαιτούνται 3sec ώστε η βάρκα να φτάσει από το ανώτατο στο κατώτατο σημείο, μια ολική απόσταση 0.8m. Ο ψαράς βλέπει ότι οι κορυφές των κυμάτων απέχουν 8m.

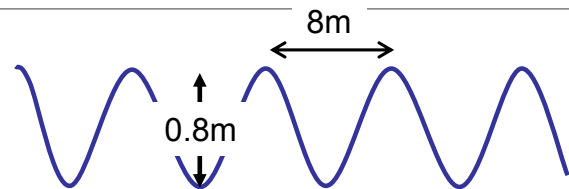
- α) Πόσο γρήγορα ταξιδεύουν τα κύματα;
β) Πόσο είναι το πλάτος του κάθε κύματος;

α) $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{3 \cdot 2} = \frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{8} = \frac{\pi}{4} \text{ rad/m}$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\frac{\pi}{3}}{\frac{\pi}{4}} = \frac{4}{3} \text{ m/s}$$

β) $A = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ m}$



Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής

$$v = \frac{\lambda}{T} \xrightarrow{f = \frac{1}{T}} v = \lambda \cdot f$$

Units: $\frac{m}{s}$, m , $s^{-1} (Hz)$

Η **ταχύτητα διάδοσης** ενός κύματος εξαρτάται από το μέσο στο οποίο διαδίδεται

Η **συχνότητα** του κύματος δεν εξαρτάται από το μέσο

Το **μήκος κύματος** εξαρτάται από το μέσο στο οποίο διαδίδεται το κύμα

ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ

$$y(x, t) = A \cos(\omega t \mp kx)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

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

$$v = \lambda f$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Μονάδες:

$$k \longrightarrow \text{rad/m}$$

$$\lambda \longrightarrow \text{m}$$

$$\omega \longrightarrow \text{rad/s}$$

$$T \longrightarrow \text{s}$$

$$f \longrightarrow \text{Hz}$$

Άσκηση

Αρμονικό ημιτονοειδές κύμα πλάτους A και συχνότητας 16500Hz διαδίδεται κατά τη διεύθυνση $-x$ με σταθερή ταχύτητα 330m/s . Να γραφεί η εξίσωσή του αν για $t=0$ και $x=0$ είναι $y=A/2$.

διάδοση κατά $-x$

$$y(x, t) = A \cos(\omega t + kx + \varphi)$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 16500 = 103673 \text{ rad/s}$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi \cdot 16500}{330} = 100\pi [\text{rad/m}]$$

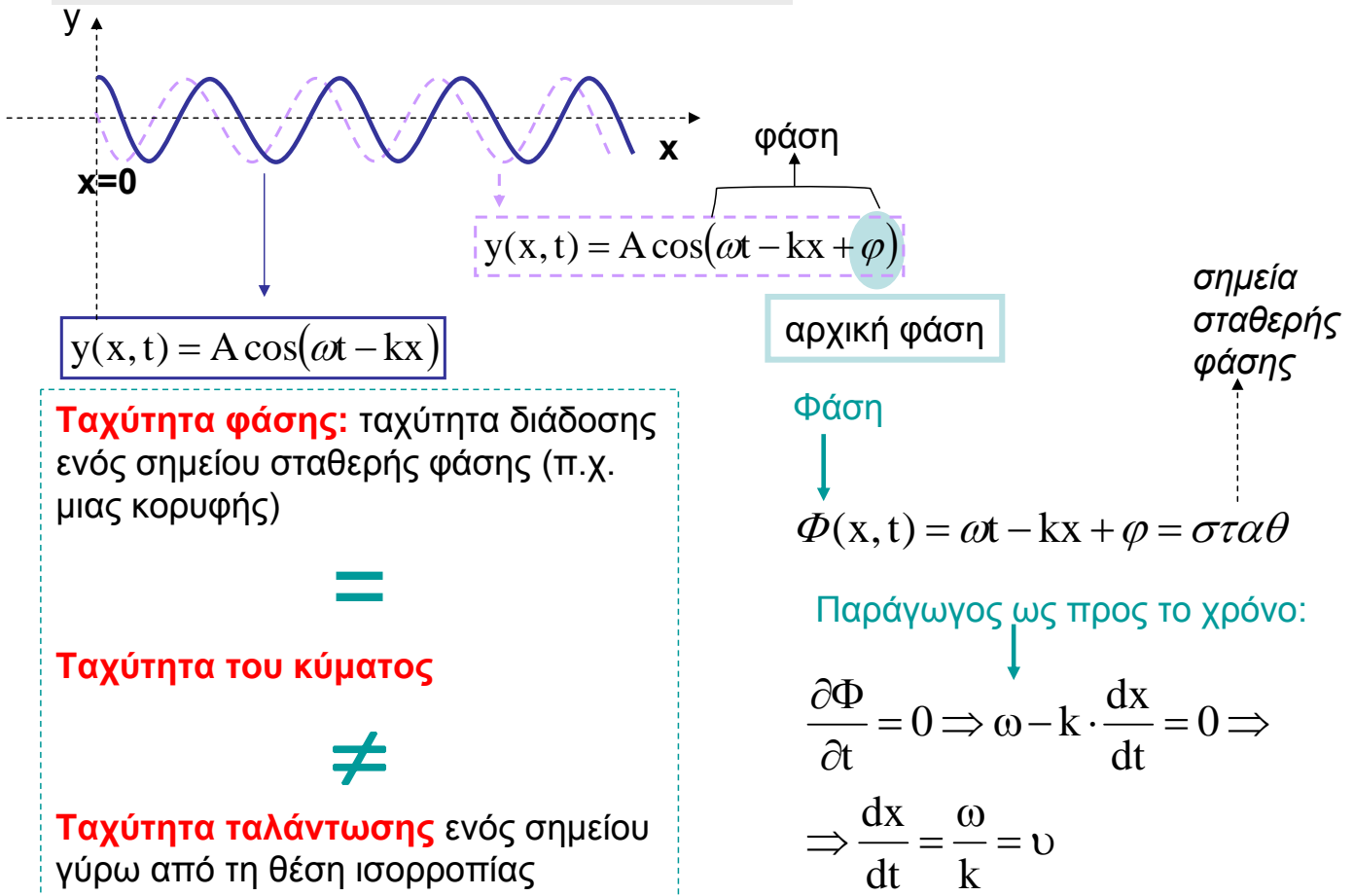
Για $t=0$ και $x=0$: $y=A/2$

$$y(0,0) = A \cos \varphi = \frac{A}{2} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{1}{2} \Rightarrow \varphi = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$$

$$y(x, t) = A \cos\left(103673t + 314.16x + \frac{\pi}{3}\right) \Rightarrow y(x, t) = A \cos\left[2\pi\left(16500t + 50x + \frac{1}{6}\right)\right]$$

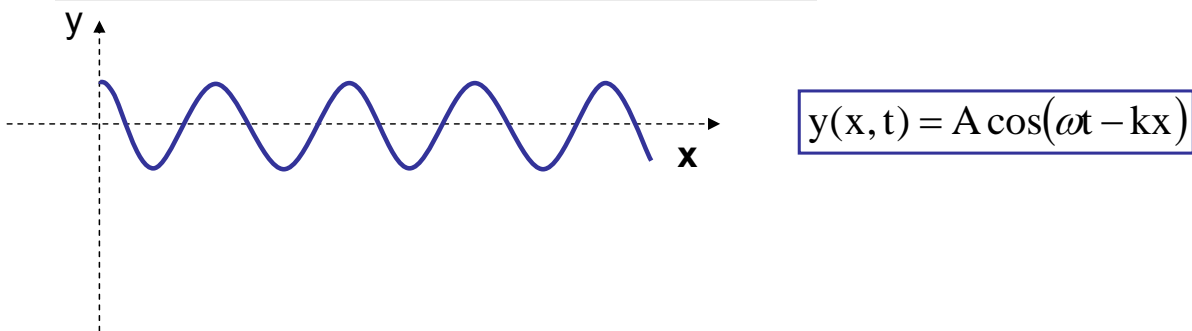
Αρμονικά οδεύοντα κύματα

Εξίσωση κύματος



Αρμονικά οδεύοντα κύματα

Εξίσωση κύματος



Εγκάρσια ταχύτητα : ταχύτητα ταλάντωσης ενός σημείου γύρω από τη θέση ισορροπίας

$$v_y = \frac{\partial y}{\partial t} = -A\omega \sin(\omega t - kx)$$

$$v_y^{\max} = A\omega \quad \text{σε σημεία } y=0$$

Εγκάρσια επιτάχυνση : επιτάχυνση ενός σημείου γύρω από τη θέση ισορροπίας

$$\alpha_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t - kx)$$

$$\alpha_y^{\max} = A\omega^2 \quad \text{σε σημεία } y=\max=\pm A$$

Άσκηση

Αρμονικό ημιτονοειδές κύμα μήκους κύματος 2.00m και πλάτους 0.100m διαδίδεται σε χορδή με ταχύτητα 1.00m/s προς τα δεξιά. Για $t=0$ το αριστερό άκρο της χορδής βρίσκεται σε $y=0$. Να βρεθούν: (α) η συχνότητα και η κυκλική συχνότητα, (β) ο κυματάριθμος, (γ) η κυματοσυνάρτηση (εξίσωση κύματος). Να βρεθεί η εξίσωση κίνησης (δ) για το αριστερό άκρο της χορδής και (ε) για σημείο που απέχει 1.5m δεξιά του αριστερού άκρου. Ποια είναι η μέγιστη ταχύτητα του κάθε σημείου της χορδής;

Συχνότητα: $v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1.00}{2.00} = 0.500\text{Hz}$

Κυκλική συχνότητα: $\omega = 2\pi \cdot 0.500 = 3.14 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

Κυματάριθμος: $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{2} = 3.14 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$

Κυματοσυνάρτηση: $y(x, t) = A \sin(\omega t - kx) \Rightarrow y(x, t)[\text{m}] = 0.100 \sin(3.14t[\text{sec}] - 3.14x[\text{m}])$

Εξ. κίν. αριστερού άκρου: $y(x, t) = 0.100 \sin(3.14t)$

Εξ. κίν. αρ. άκρο+1.5m: $y(x, t) = 0.100 \sin(3.14t - 3.14 \cdot 1.5) = 0.100 \sin(3.14t - 4.71)$

Μέγιστη ταχύτητα: $v^{\text{max}} = A\omega = 0.100 \cdot 3.14 = 0.314 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

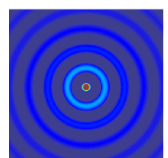
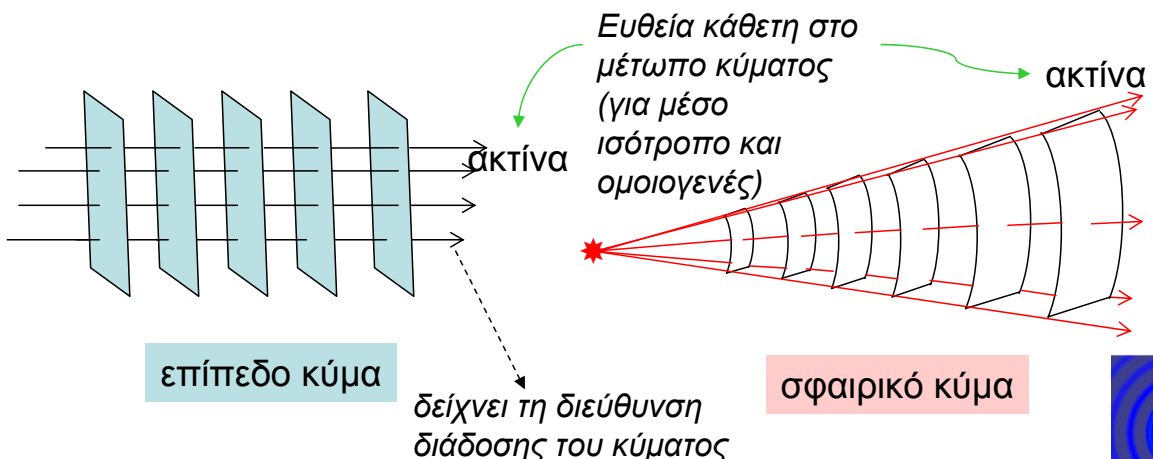
Επίπεδο – σφαιρικό κύμα

Μέτωπο κύματος : γεωμετρικός τόπος των σημείων ίσης φάσης

ισοφασική επιφάνεια

$$\Phi(x, t) = \omega t - kx + \varphi = \text{σταθ}$$

Όλα τα σημεία της
ισοφασικής επιφάνειας
δέχονται την ίδια διαταραχή
για μια ορισμένη χρονική στιγμή



Άσκηση

Τα ηχητικά κύματα από ένα ηχείο διασκορπίζονται σχεδόν ισότροπα προς όλες τις κατευθύνσεις όταν τα μήκη κύματος είναι μεγάλα συγκριτικά με τη διάμετρο του ηχείου. Όταν το μήκος κύματος είναι μικρό σχετικά με τη διάμετρο του ηχείου μεγάλο μέρος της ηχητικής ενέργειας εκπέμπεται προς τα μπρος. Για ηχείο διαμέτρου 20cm υπολογίστε τη συχνότητα για την οποία το μήκος κύματος των ηχητικών κυμάτων στον αέρα ($v=344\text{m/s}^2$) είναι:

- α) 10 φορές μεγαλύτερο από τη διάσταση του ηχείου
β) ίσο προς τη διάμετρο του ηχείου
γ) 1/10 της διαμέτρου του ηχείου

α) $\lambda = 10 \cdot 20 = 200\text{cm} = 2\text{m}$ $\Rightarrow v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{344}{2} = 172\text{Hz}$ ~σφαιρικό κύμα

β) $\lambda = 20\text{cm} = 0.2\text{m}$ $\Rightarrow v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{344}{0.2} = 1720\text{Hz}$

β) $\lambda = \frac{20}{10}\text{cm} = 0.02\text{m}$ $\Rightarrow v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{344}{0.02} = 17.2\text{MHz}$ ~επίπεδο κύμα

Άσκηση

Κύμα έχει συχνότητα $f=500\text{Hz}$ και ταχύτητα $v=330\text{m/s}$.

- α) Πόσο απέχουν δύο σημεία με διαφορά φάσης 60° για συγκεκριμένη χρονική στιγμή;
β) Ποια είναι η διαφορά φάσης μεταξύ δύο απομακρύνσεων σ' ένα ορισμένο σημείο σε στιγμές που διαφέρουν κατά 10^{-3}sec ;

α) Φάση σημείου στη θέση 1: $\omega t - kx_1 + \varphi$
Φάση σημείου στη θέση 2: $\omega t - kx_2 + \varphi$

$$\Delta\Phi = \omega t - kx_1 + \varphi - (\omega t - kx_2 + \varphi) = \frac{\pi}{3} \Rightarrow k(x_2 - x_1) = \frac{\pi}{3} \Rightarrow x_2 - x_1 = \frac{1}{k} \frac{\pi}{3} \Rightarrow$$

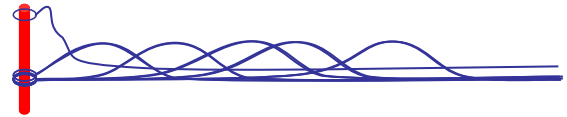
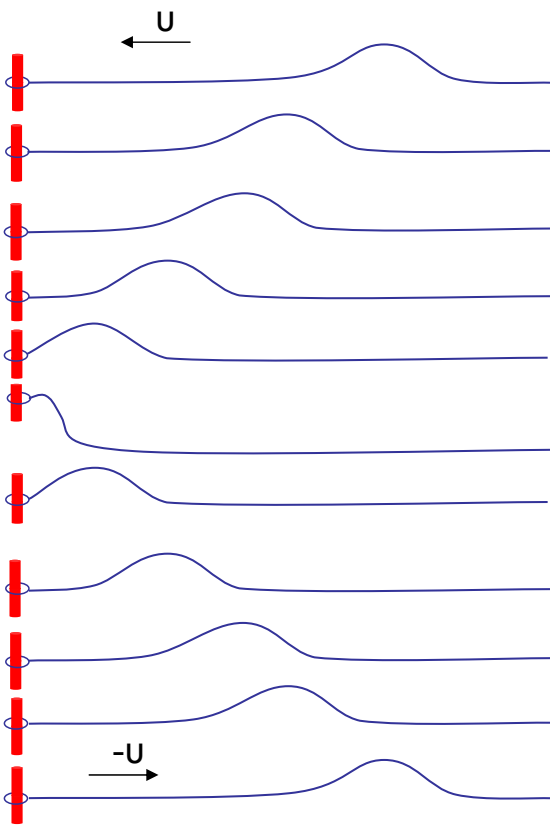
$$\Rightarrow x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\pi}{3} = \frac{v}{f} \frac{\pi}{3} = \frac{330}{500} \frac{\pi}{3} = \frac{110}{1000} = 0.11\text{m}$$

β) Φάση σημείου τη χρονική στιγμή t_1 : $\omega t_1 - kx + \varphi$
Φάση σημείου τη χρονική στιγμή t_2 : $\omega t_2 - kx + \varphi$

$$\Delta\Phi = \omega t_1 - kx + \varphi - (\omega t_2 - kx + \varphi) = \omega(t_1 - t_2) = -2\pi 500 \cdot 10^{-3} = -\pi$$

Διάδοση σε μέσο που έχει όρια

Ανάκλαση σε ελεύθερο άκρο

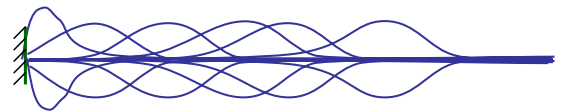
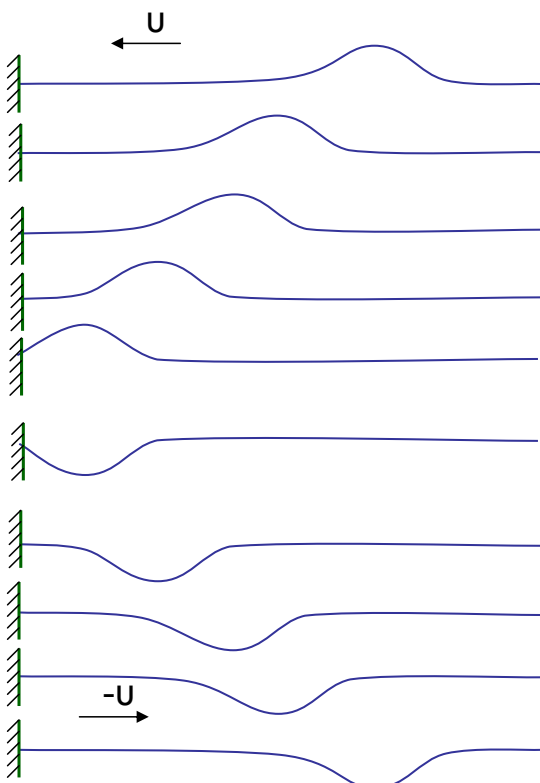


Παλμός διαδίδεται σε τεντωμένη χορδή με ελεύθερο άκρο (δεμένο σε δακτύλιο που κινείται χωρίς τριβές).

- Φτάνει στο ελεύθερο άκρο
- Η χορδή ασκεί δύναμη στο δακτύλιο → ο δακτύλιος επιταχύνεται
- Όταν απομακρυνθεί ο δακτύλιος σε απόσταση ίση με το πλάτος του παλμού, κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση υπό την επίδραση της τάσης της χορδής
- Δημιουργείται παλμός που διαδίδεται προς την αντίθετη κατεύθυνση (ανάκλαση κύματος)
- Ανακλώμενο και διαδιδόμενο κύμα έχουν **διαφορά φάσης 0°** στο ελεύθερο άκρο

Διάδοση σε μέσο που έχει όρια

Ανάκλαση σε σταθερό άκρο

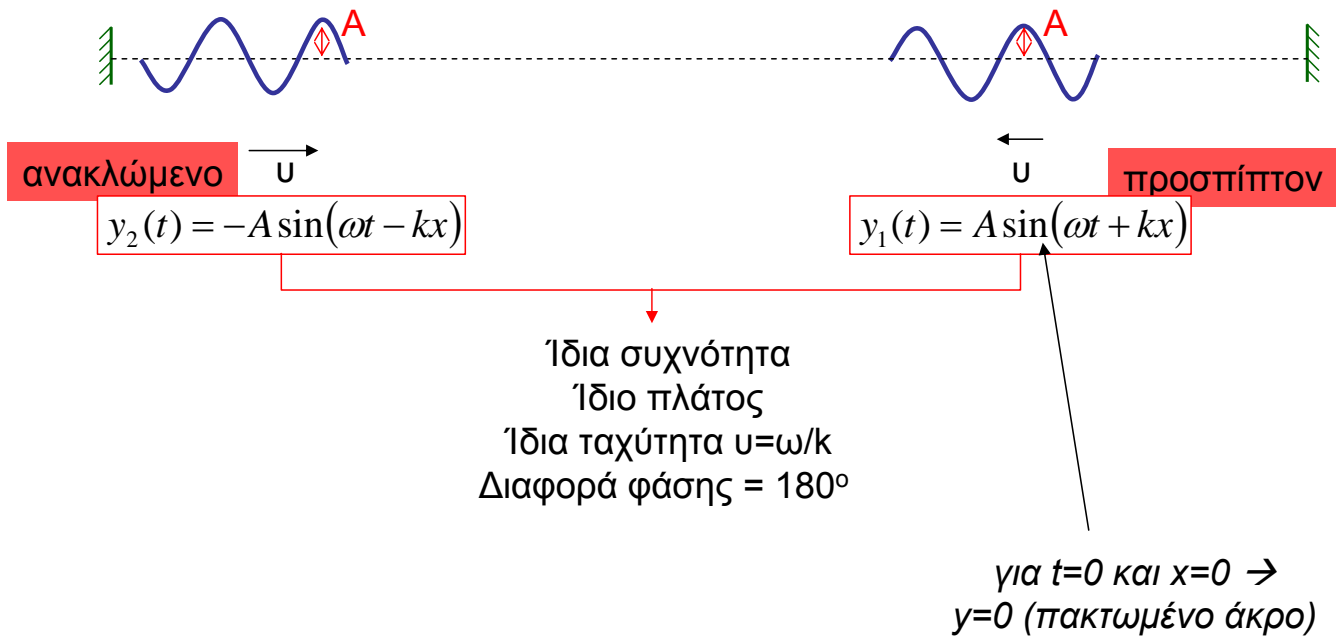


Παλμός διαδίδεται σε τεντωμένη χορδή με πακτωμένο άκρο (έστω στερεωμένο με ένα καρφί).

- Φτάνει στο σταθερό άκρο (καρφί) το οποίο δεν μπορεί να κινηθεί
- Γ' νόμος Newton: η χορδή ασκεί δύναμη στο καρφί → το καρφί ασκεί ίση και αντίθετη δύναμη στη χορδή
- Δημιουργείται παλμός που διαδίδεται προς την αντίθετη κατεύθυνση (ανάκλαση κύματος)
- Αρχή επαλληλίας → ανακλώμενο και διαδιδόμενο κύμα έχουν **διαφορά φάσης 180°** στο σταθερό άκρο

Στάσιμα κύματα

Ημιτονοειδής διαταραχή διαδίδεται σε χορδή με πακτωμένα άκρα
 Το κύμα συνεχώς ανακλάται στα δύο άκρα
 Επαλληλία κυμάτων $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$



Στάσιμα κύματα

$$y_2(t) = -A \sin(\omega t - kx)$$

$$y_1(t) = A \sin(\omega t + kx)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= y_1(t) + y_2(t) = A \sin(\omega t + kx) - A \sin(\omega t - kx) = \\ &= A[\sin(\omega t + kx) - \sin(\omega t - kx)] = \\ &= A(\sin \omega t \cos kx + \cos \omega t \sin kx - \sin \omega t \cos kx + \cos \omega t \sin kx) = \\ &= 2A \sin kx \cos \omega t \end{aligned}$$

Εξίσωση στάσιμου κύματος

$$y(x, t) = 2A \sin kx \cos \omega t$$

Πλάτος
χωρική μεταβολή

Φάση
εξάρτηση μόνο από το χρόνο

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B$$

Στάσιμα κύματα

$$y(t) = 2A \sin kx \cos \omega t$$

αρμονική ταλάντωση

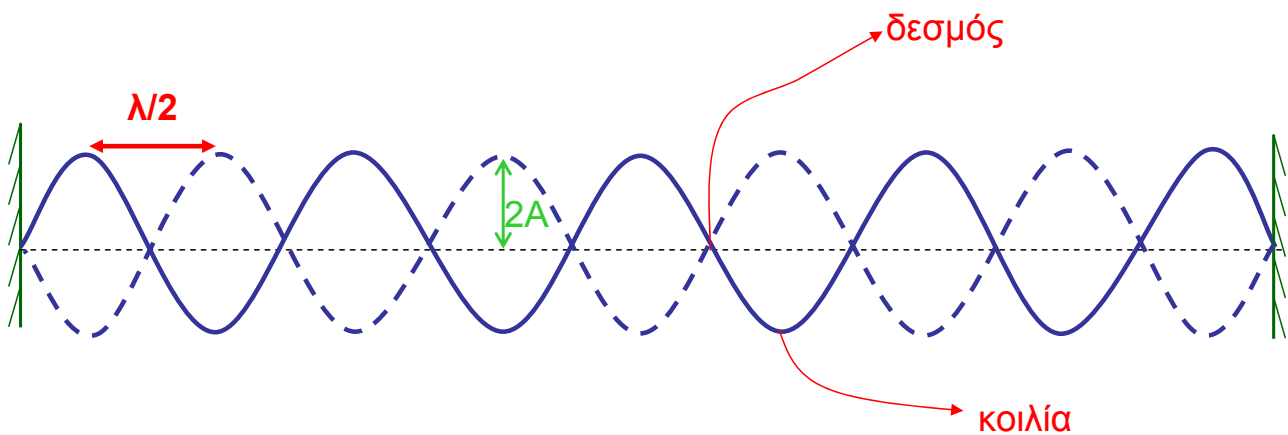
Θέσεις μέγιστου πλάτους:

$$kx = (2m+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{2\pi} (2m+1)\frac{\pi}{2} \Rightarrow x = (2m+1)\frac{\lambda}{4} \quad \text{ΚΟΙΛΙΑ}$$

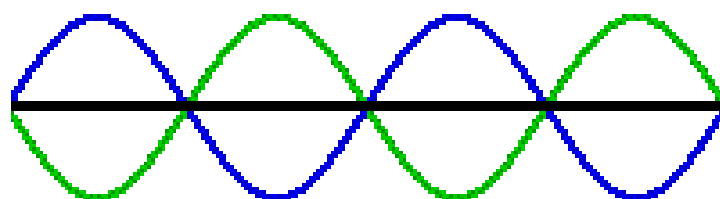
Θέσεις μηδενισμού του πλάτους:

$$kx = n\pi \Rightarrow x = \frac{\lambda}{2\pi} n\pi \Rightarrow x = n\frac{\lambda}{2} \quad \text{ΔΕΣΜΟΣ}$$

Στάσιμα κύματα



στάσιμο κύμα



Άσκηση

Δύο κύματα διαδίδονται σε χορδή με πακτωμένα τα δύο άκρα. Ένα κινείται στην κατεύθυνση $+x$ με ταχύτητα 84.0m/s , έχει πλάτος 15mm και συχνότητα 120Hz . Το άλλο είναι ίδιο εκτός του ότι διαδίδεται στην κατεύθυνση $-x$. Το κύμα που προκύπτει είναι επαλληλία των δύο αυτών κυμάτων. (α) Να βρεθούν τα σημεία της χορδής που δεν κινούνται καθόλου υποθέτοντας ότι ένα εξ' αυτών είναι στο $x=0$, (β) να βρείτε την κυματοσυνάρτηση (y) να βρείτε το πλάτος στα σημεία μέγιστης ταλάντωσης

(α) σημεία που δεν κινούνται καθόλου = δεσμοί $\rightarrow x=m(\lambda/2)$

$$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{84}{120} = 0.7\text{m} \quad \text{Θέσεις δεσμών: } 0, 0.35, 0.7 \dots$$

(β) κυματοσυνάρτηση: $y = 2A \sin(kx)\cos(\omega t)$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{6.28}{0.7} = 8.97 \frac{\text{rad}}{\text{m}} \quad \omega = 2\pi f = 6.28 \cdot 120 = 754 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$y[\text{m}] = 0.03 \sin(8.97x[\text{m}])\cos(754t[\text{sec}])$$

(γ) πλάτος στα σημεία μέγιστης ταλάντωσης: $2A = 0.03\text{m}$

Στάσιμα κύματα σε τεντωμένη χορδή

Μήκος χορδής: $L = m \frac{\lambda}{2}$ \rightarrow άκρα χορδής = δεσμοί

συνθήκη δημιουργίας
στάσιμου κύματος σε χορδή
μήκους L

Συχνότητες ταλάντωσης της χορδής: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\frac{2L}{m}} \Rightarrow f = m \frac{v}{2L}$

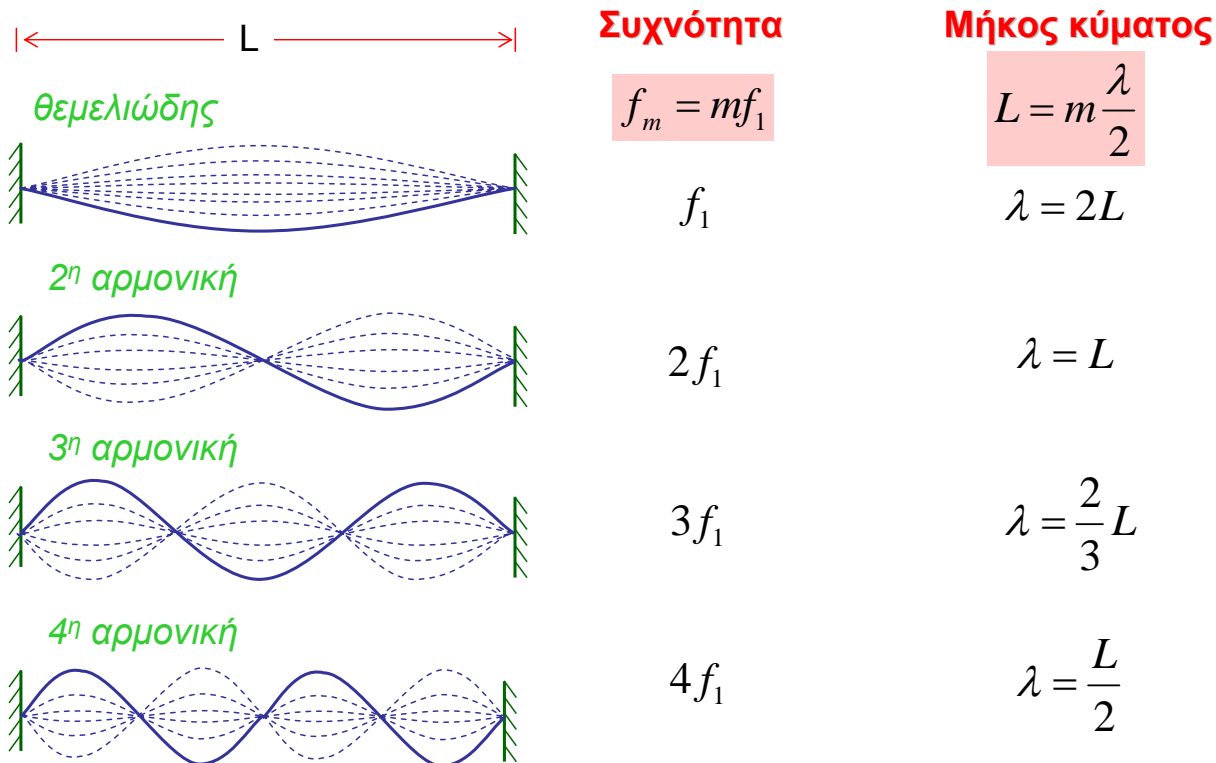
Ιδιοσυχνότητες
ταλάντωσης της
χορδής

Θεμελιώδης συχνότητα $\rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$

Ανώτερες αρμονικές $\rightarrow f_m = m f_1 \quad (m=2,3,4\dots)$

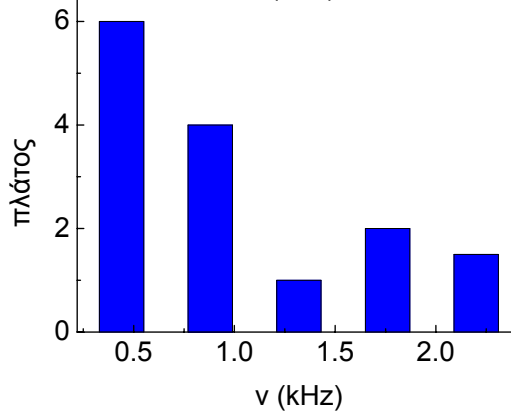
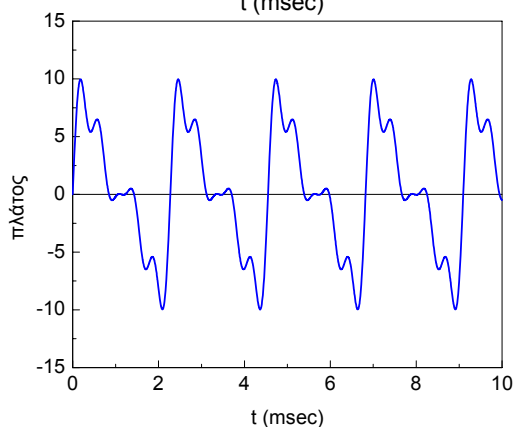
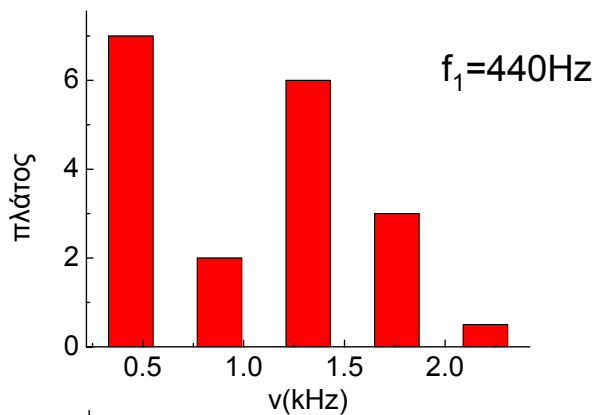
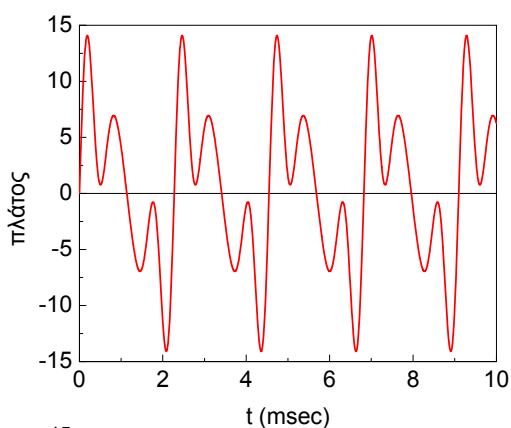
Στάσιμα κύματα σε τεντωμένη χορδή

Μία χορδή μπορεί να πάλλεται ταυτόχρονα στη θεμελιώδη συχνότητα και σε όλες τις αρμονικές της

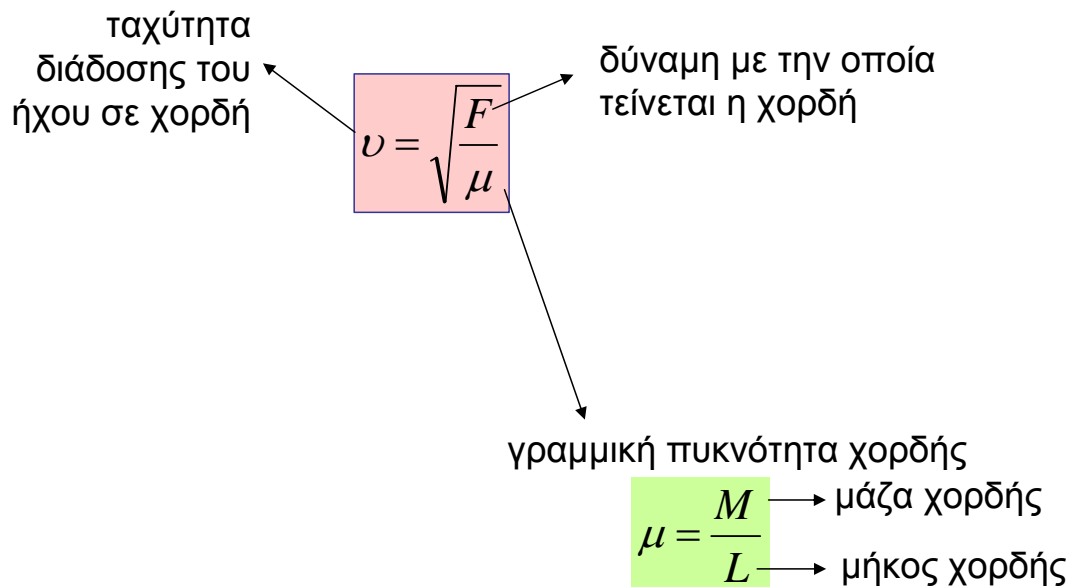


Στάσιμα κύματα σε τεντωμένη χορδή

Η χροιά του ήχου που παράγεται από δονούμενη χορδή καθορίζεται από τη σχετική ένταση των αρμονικών ως προς τη θεμελιώδη συχνότητα



Ταχύτητα κύματος σε χορδή



Άσκηση

Η χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να παράγει χορδή μήκους 2m είναι 40Hz, όταν τείνεται με μια δύναμη 320N. Ποια είναι η μάζα της χορδής;

Θεμελιώδης συχνότητα: 40 Hz

Μήκος κύματος θεμελιώδους αρμονικής: $L = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2L = 2 \cdot 2 = 4m$

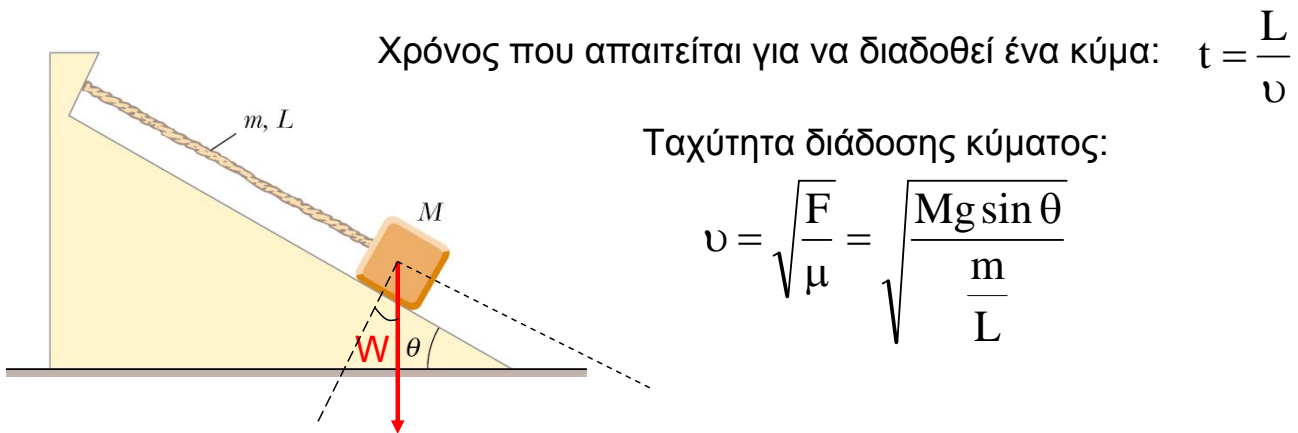
Ταχύτητα διάδοσης: $v = \lambda \cdot f = 4 \cdot 40 = 160 \frac{m}{sec}$

Γραμμική πυκνότητα: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \mu = \frac{F}{v^2} = \frac{320}{160^2} = \frac{1}{80} \frac{kg}{m}$

Μάζα χορδής: $\mu = \frac{M}{L} \Rightarrow M = \mu \cdot L = \frac{1}{80} \cdot 2 = 0.025kg = 25gr$

Άσκηση

Σώμα μάζας M , που είναι δεμένο με μία χορδή, ισορροπεί πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης θ . Το μήκος της χορδής είναι L και η μάζα της m μπορεί να θεωρηθεί πολύ μικρή σε σχέση με τη μάζα M . Πόσος χρόνος απαιτείται για να διαδοθεί ένα εγκάρσιο κύμα από το ένα άκρο της χορδής στο άλλο;



$$\text{Άρα: } t = \frac{L}{v} = \frac{L}{\sqrt{\frac{LMg \sin \theta}{m}}} = \sqrt{\frac{mL^2}{LMg \sin \theta}} = \sqrt{\frac{mL}{Mg \sin \theta}}$$

Άσκηση

Τα δύο άκρα ελαφριάς χορδής μάζας 10gr και μήκους $L=3\text{m}$ είναι στερεωμένα σε δύο τοίχους που απέχουν απόσταση $D=2\text{m}$. Δύο σώματα μάζας $M=2\text{kg}$ κρέμονται όπως φαίνεται στο σχήμα. Πόσος χρόνος απαιτείται ώστε ένας παλμός να διαδοθεί από το σημείο A στο B ; ($g=9.8 \text{ m/s}^2$)

