

ΦΥΣΙΚΗ 2

έναρξη

9 Φεβρουαρίου 2026



Ευθύμιος ΣΚΟΡΔΑΣ

Κυματική - Οπτική

Ώρες διδασκαλίας

Δευτέρα	14:00-16:00 (Κυματική)
Τρίτη	09:00-11:00 (Θερμοδυναμική)
Παρασκευή	10:00-12:00 (10-11 Θερμοδυναμική, 11-12 Κυματική)

Σημειώσεις και Ιστοσελίδα του Μαθήματος

Η ιστοσελίδα του μαθήματος είναι η
<http://eclass.uoa.gr/courses/PHYS168/>
εκεί μπορείτε να βρείτε χρήσιμα έγγραφα
που αφορούν το μάθημα.

ΠΡΟΟΔΟΙ ΦΥΣΙΚΗΣ II (ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΑ), ΑΚΑΔ. ΕΤΟΣ 2025-2026

Δικαίωμα συμμετοχής στην 1^η πρόοδο (διάρκεια 2 ώρες) έχουν μόνο οι πρωτοετείς φοιτητές/ήτριες του Τμήματος Φυσικής (δηλαδή με Α.Μ. 11102025...) και οι φοιτητές/ήτριες του Τμήματος Μαθηματικών που έχουν επιλέξει το μάθημα.

- Η συμμετοχή στην 1^η πρόοδο είναι προαιρετική και δεν ακυρώνει το δικαίωμα της συμμετοχής στις κανονικές εξετάσεις του εξαμήνου.
- Στη 2^η πρόοδο (διάρκεια 2 ώρες) δικαίωμα συμμετοχής θα έχουν μόνο όσοι έλαβαν στην 1^η πρόοδο 40% και πάνω και εφόσον φυσικά επιθυμούν να εξεταστούν με τη μέθοδο των προόδων.
- Η 2^η πρόοδος θα δοθεί την ίδια μέρα και ώρα της κανονικής εξέτασης του μαθήματος και θα αφορά στις υπόλοιπες ενότητες του μαθήματος που θα διδαχθούν.
- Απαιτείται ΚΑΙ στη 2^η πρόοδο το ελάχιστο του 40% για να συνυπολογισθεί με τη 1^η πρόοδο.
- Ο μέσος όρος των δύο προόδων αποτελεί τον τελικό βαθμό του μαθήματος της Φυσικής II.
- Εναλλακτικά, μπορεί κάποιος ο οποίος δεν επιθυμεί να κάνει χρήση του δικαιώματος της προόδου, να συμμετάσχει στη κανονική εξεταστική με το σύνολο της ύλης και διάρκεια 3 ώρες.
- Το σύστημα με τις προόδους δεν ισχύει στην εξεταστική Σεπτεμβρίου ούτε μεταφέρεται σε άλλη χρονιά. Άρα γίνεται χρήση του μια φορά μόνο.

Σύντομη περιγραφή του μαθήματος

- **Κύματα (κυρίως εγκάρσια κύματα σε χορδή)**
 - ✓ Περιγραφή κύματος
 - ✓ Διαφορική Κυματική Εξίσωση
 - ✓ Ταχύτητα (φασική και ομαδική)
 - ✓ Επαλληλία
 - ✓ Ενέργεια & Ορμή (πηγή και διάδοση)
 - ✓ Στάσιμα κύματα
- **Οπτική**
 - ✓ Γεωμετρική οπτική (ανάκλαση & διάθλαση)
 - ✓ Κυματική οπτική (πόλωση, συμβολή & περίθλαση)

ΚΥΜΑΤΙΚΗ

I. Μηχανικά κύματα

- I. Τι είναι κύμα
- II. Κατηγορίες κυμάτων
- III. Μηχανικά κύματα → τύποι μηχανικών κυμάτων
- IV. Περιοδικά κύματα → βασικοί ορισμοί: Μήκος κύματος, Συχνότητα, Πλάτος, Φάση, Μαθηματική περιγραφή
- V. Ταχύτητα τρέχοντος (οδεύοντος) κύματος

Σχόλια των Einstein & Infeld για τα κυματικά φαινόμενα

Τα κουτσομπολία φτάνουν από την W στην NY χωρίς να ταξιδέψει κάποιος από τους κουτσομπόληδες.....

Κίνηση του κουτσομπολιού & κίνηση του κουτσομπόλη

Ο άνεμος που φυσάει σε αργό με σιτάρι προκαλεί μια κυματική κίνηση που διαδίδεται από την μια άκρη στη άλλη. Διακρίνουμε 2 διαφορετικά είδη κινήσεων:

Αυτήν της κυματικής διαταραχής &
Την μικρή ταλάντωση των σταχιών

Τα σώματα που αποτελούν το μέσο δια του οποίου διαδίδεται η διαταραχή εκτελούν μικρές ταλαντώσεις μόνον, αλλά η ολική κίνηση είναι η διάδοση του κύματος που οδεύει δια του μέσου.

Η καινούργια ιδέα εδώ είναι ότι για πρώτη φορά τώρα μελετούμε την κίνηση κάποιου που δεν είναι ύλη, αλλά ορμή και ενέργεια που διαδίδεται δια μέσω της ύλης.

(Einstein & Infeld. Απόσπασμα από το τι είναι κύμα)

Τί είναι κύμα

- Διάδοση μιας πεπερασμένης διαταραχής στο χώρο σε πεπερασμένο χρόνο
- Μεταφορά ενέργειας, χωρίς τη μεταφορά ύλης
- Σε άλλες περιπτώσεις απαιτείται υλικό μέσο για τη δημιουργία κύματος (μηχανικά κύματα) σε άλλες όχι (Η-Μ κύματα)
- Άρα για να δημιουργηθεί ένα κύμα χρειάζονται:
 - ΥΠΑΡΞΗ ΕΣΤΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΑΡΑΣΕΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΟΡΜΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ)
 - ΥΠΑΡΞΗ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ (ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) ΠΟΥ ΔΕΝ ΣΥΝΟΔΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΛΗΣ

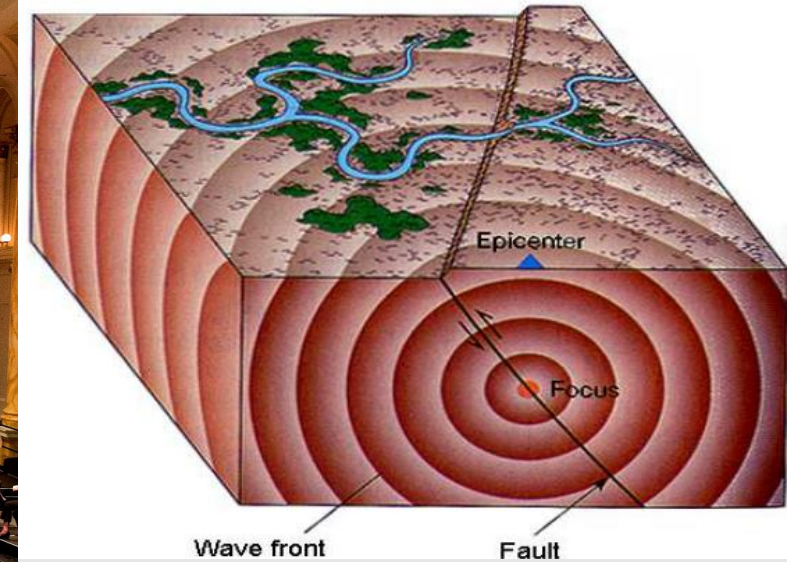
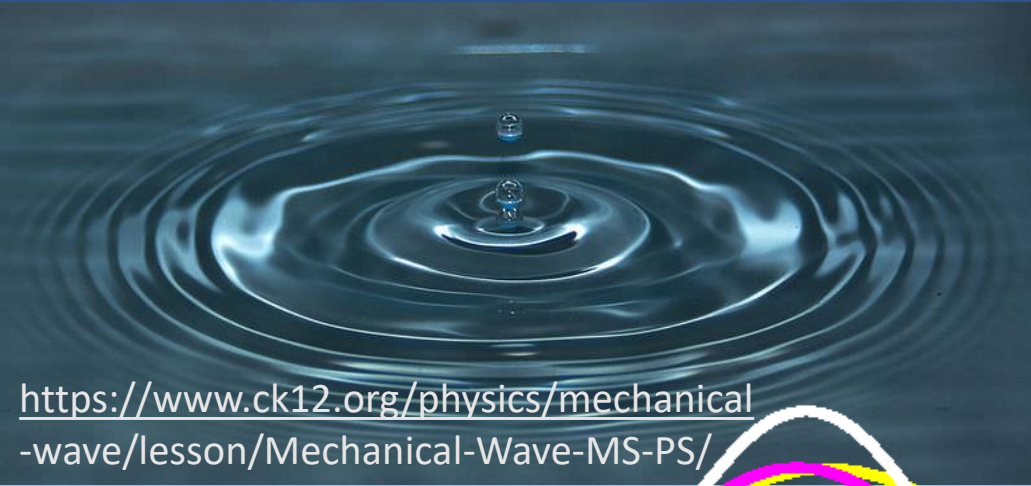
Κατηγορίες κυμάτων

- Μηχανικά κύματα – νόμοι Νεύτωνα – χρειάζονται υλικό μέσο
- Ηλεκτρομαγνητικά κύματα – δεν χρειάζονται υλικό μέσο (διάδοση και στο κενό)
- Κύματα ύλης (στοιχειώδη σωματίδια, ακόμα και άτομα, μόρια)

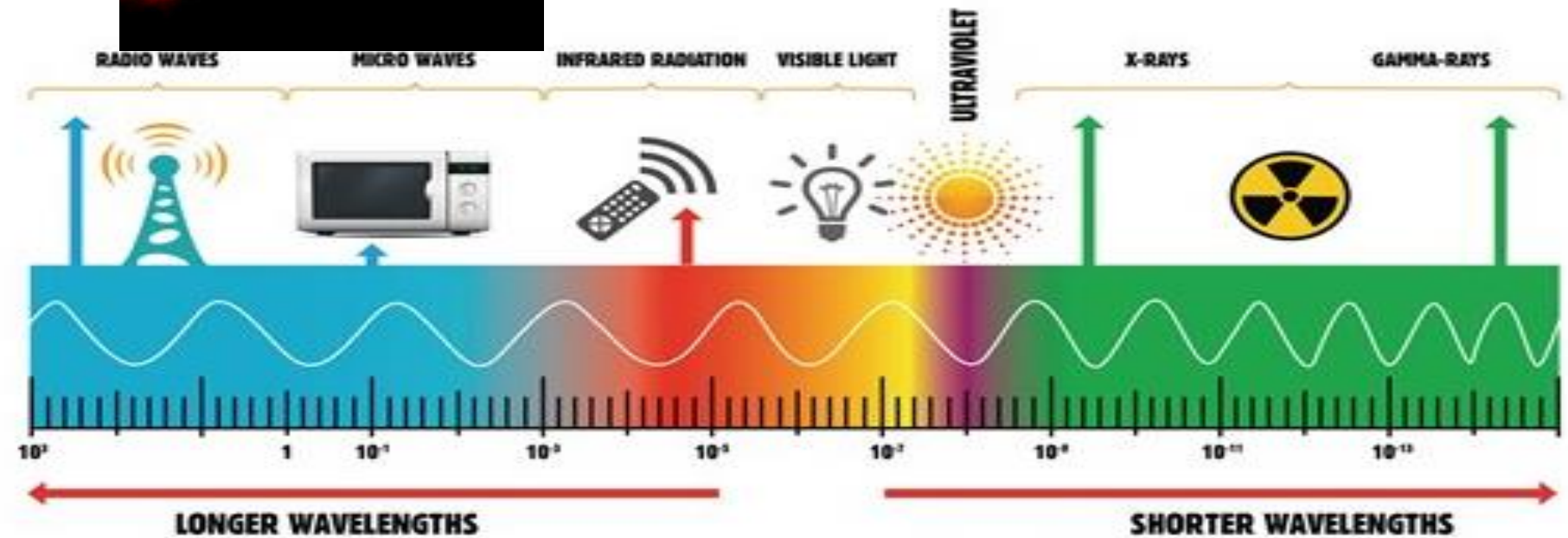
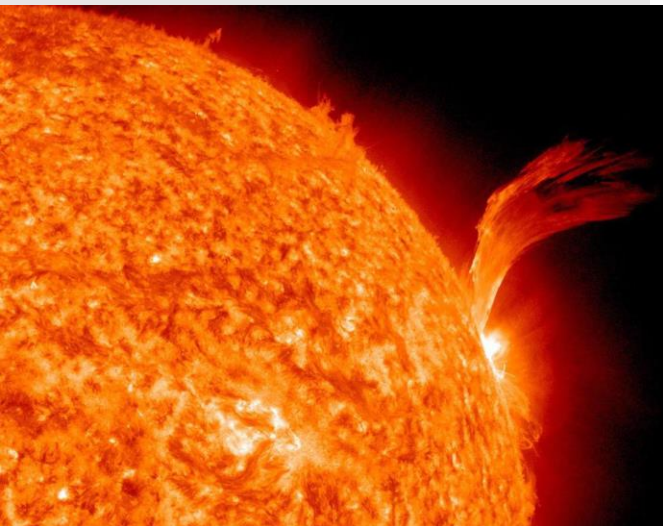
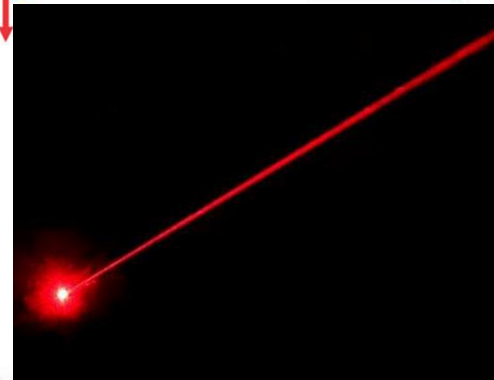
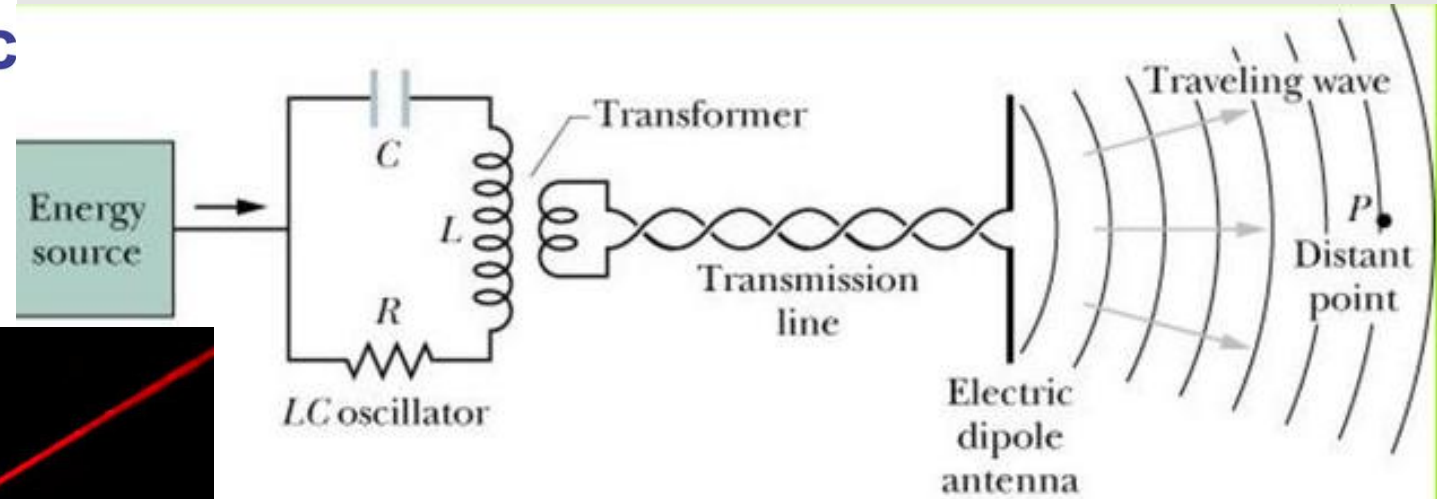
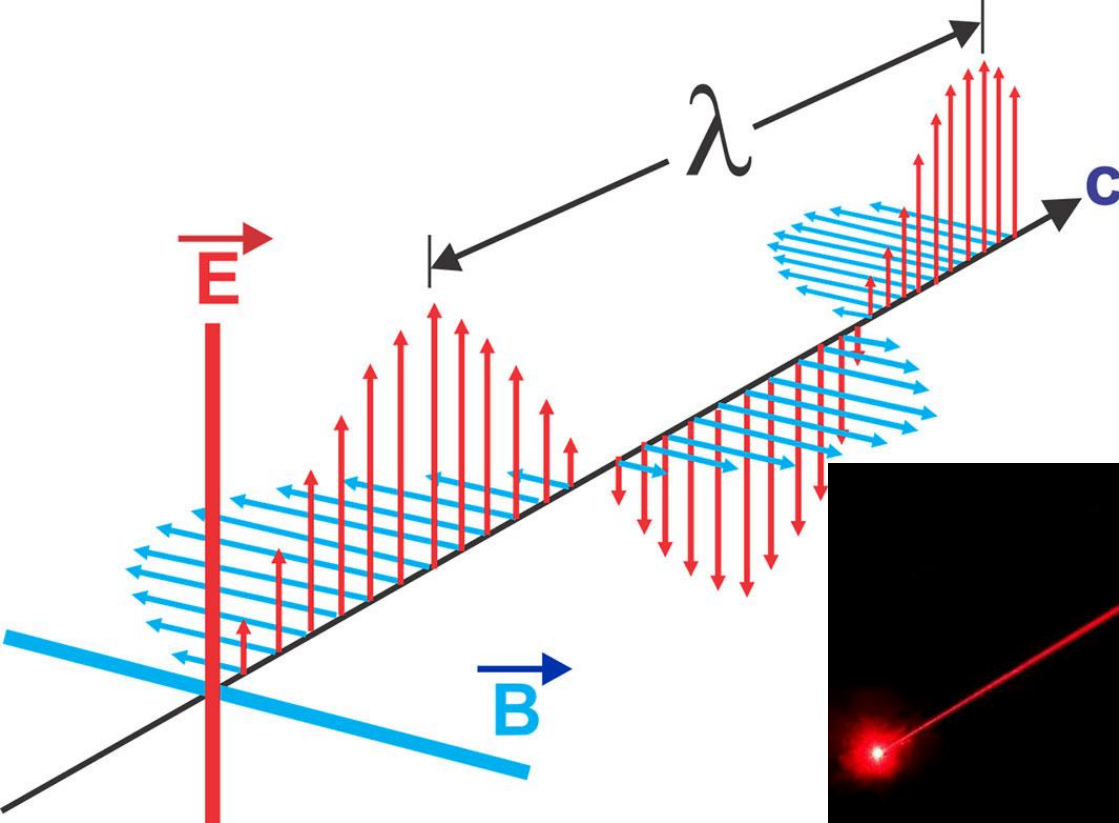
Το πιο κοινό χαρακτηριστικό είναι ότι το κύμα είναι μια διαταραχή κάποιου είδους, δηλαδή, μια αλλαγή από την κατάσταση ισορροπίας.

- Ένα κύμα σε χορδή διαταράσσει τη θέση των τμημάτων της χορδής.
- Ένα ηχητικό κύμα διαταράσσει την πίεση περιβάλλοντος.
- Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαταράσσει τις δυνάμεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων.

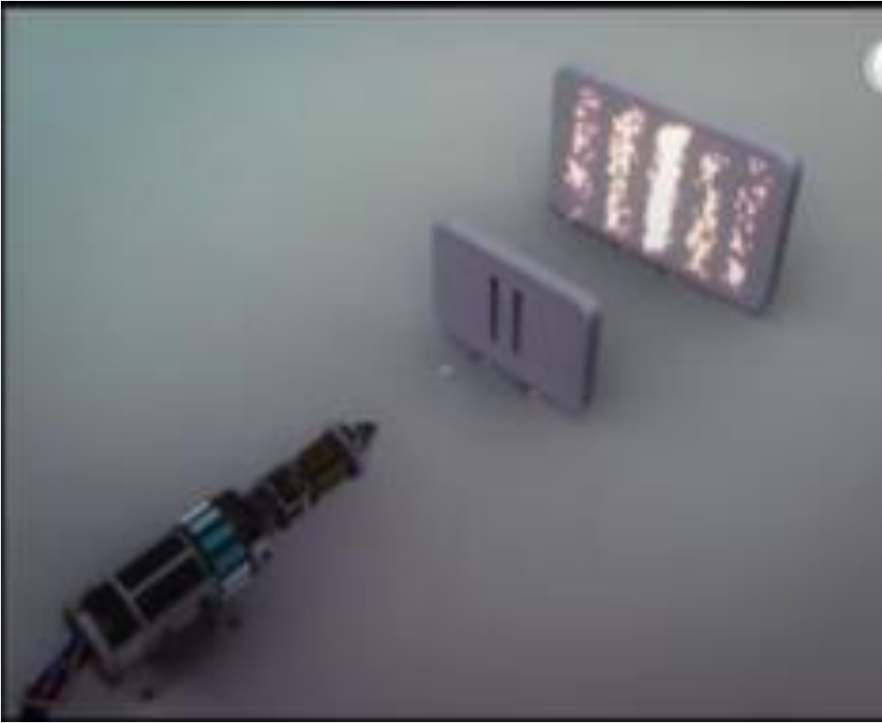
Μηχανικά κύματα



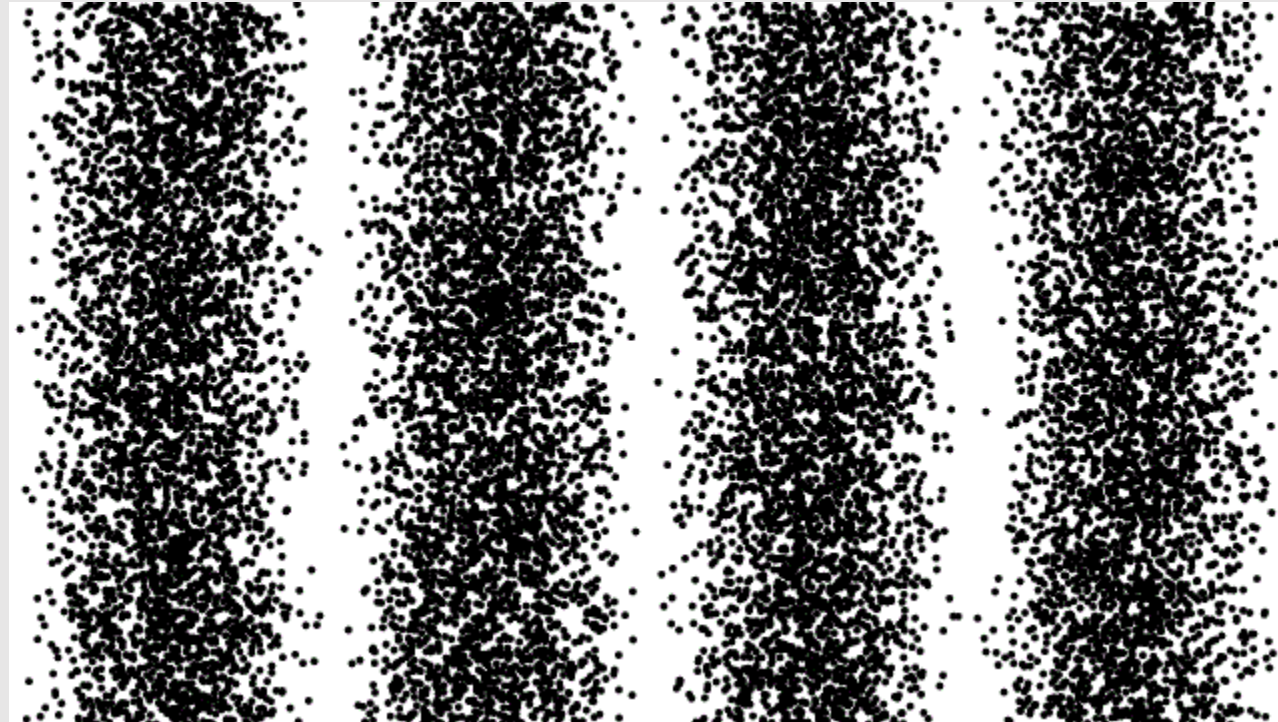
Ηλεκτρομαγνητικά κύματα



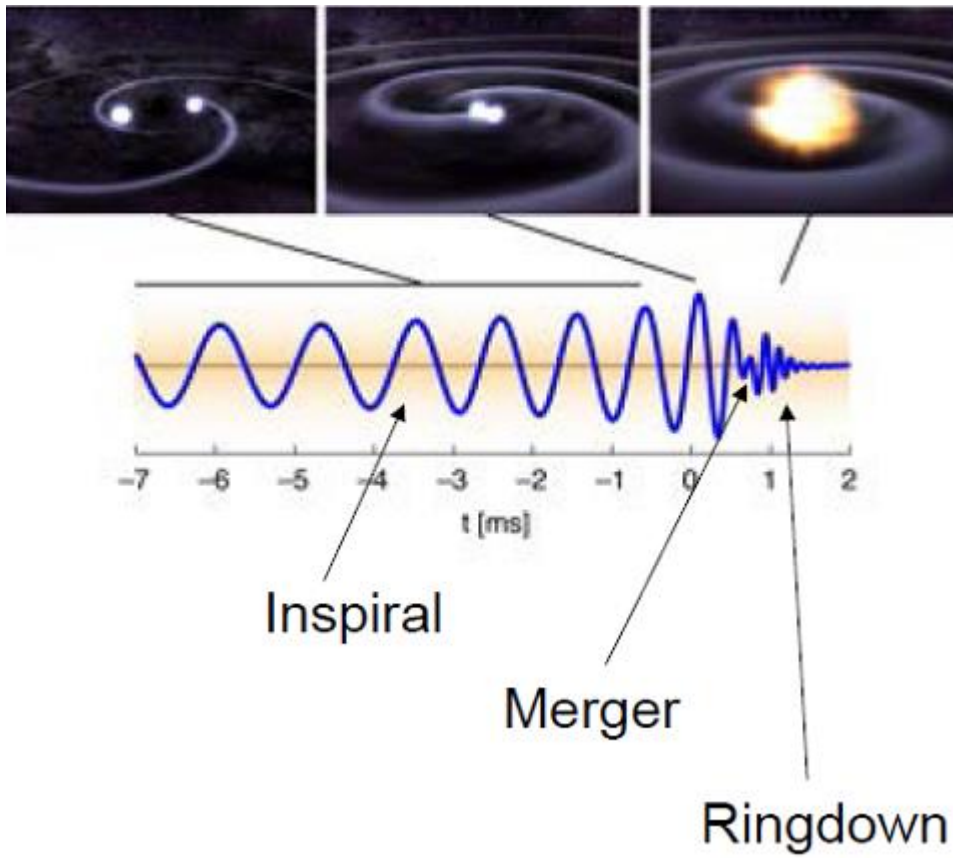
Κύματα ύλης



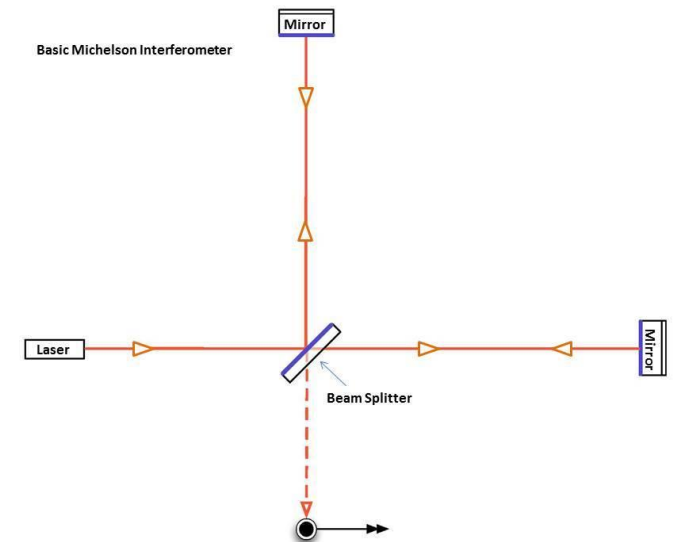
Particle impacts make visible the interference pattern of waves [Source: Thierry Dugnolle/Wikimedia](#)



Βαρυτικά κύματα

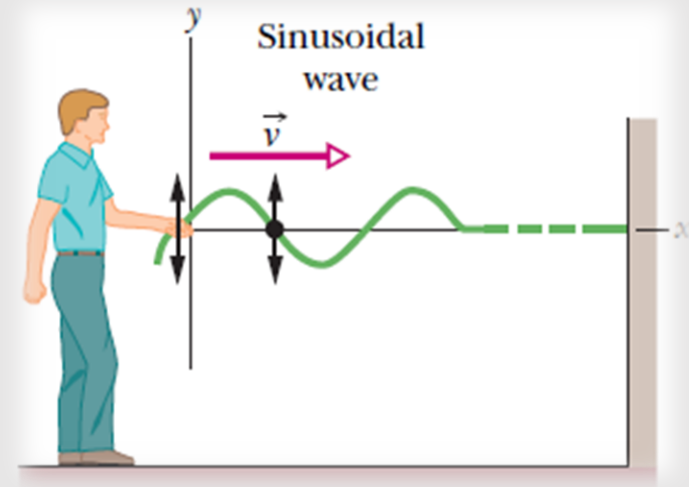


- «διακυμάνσεις» στην καμπυλότητα του χωρόχρονου
- Επιταχυνόμενες μάζες προκαλούν τέτοιες διακυμάνσεις (τεράστιες μάζες και ακραίες επιταχύνσεις)
- Αυτές οι διακυμάνσεις διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός → βαρυτικό κύμα



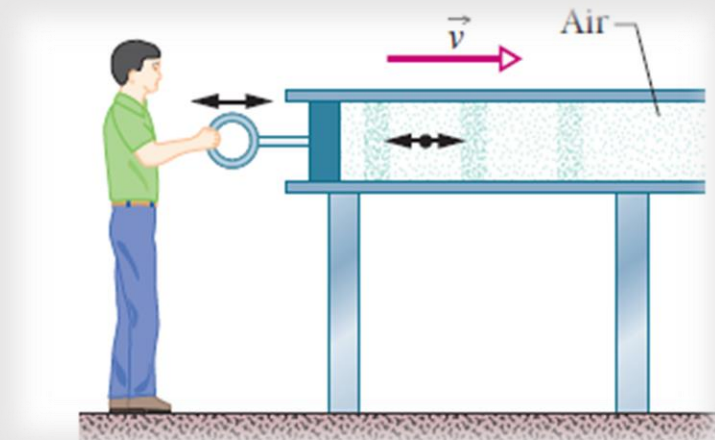
Εγκάρσια κύματα

Διαταραχή κάθετη στη διεύθυνση
διάδοσης του κύματος



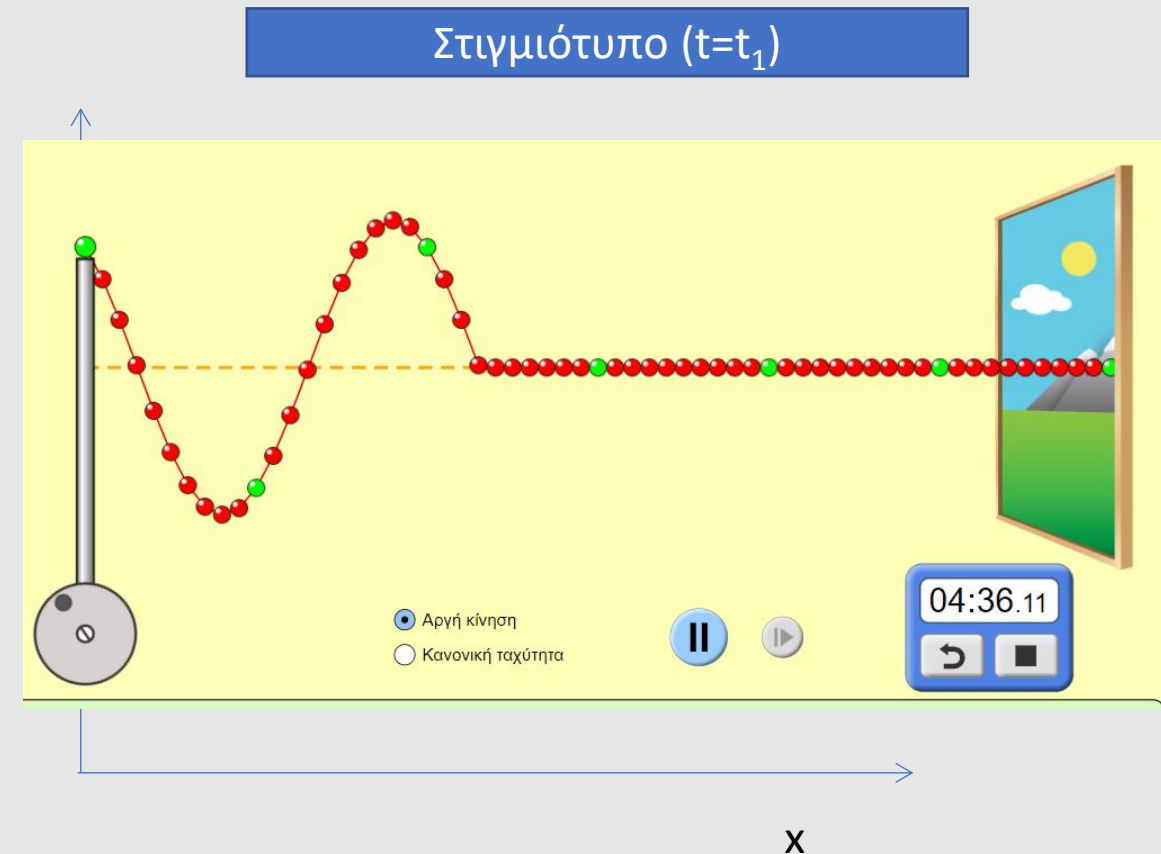
Διαμήκη κύματα

Διαταραχή παράλληλη στη διεύθυνση
διάδοσης του κύματος



Μηχανικά κύματα – το παράδειγμα της διάδοσης εγκάρσιου κύματος σε μία χορδή

- Εγκάρσιο κύμα σε τεντωμένη χορδή.
- Ασκούμε μία εγκάρσια δύναμη στο άκρο της τεντωμένης χορδής, που κινεί τη χορδή πάνω κάτω, παράγοντας μία παραμόρφωση, που ταξιδεύει κατά μήκος της χορδής, (χάρη στη τάση της χορδής).
- Αν το άκρο της χορδής κινείται περιοδικά (π.χ. απλή αρμονική ταλάντωση), τότε κάθε «στοιχείο» της χορδής κάνει περιοδική κίνηση καθώς το κύμα διαδίδεται, οπότε έχουμε **περιοδικό κύμα**



ΠΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ Η ΔΙΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ;

ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΗ
ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ
ΚΑΙ ΤΗ ΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΥ
ΧΩΡΟΥ ΚΑΘΕ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ.

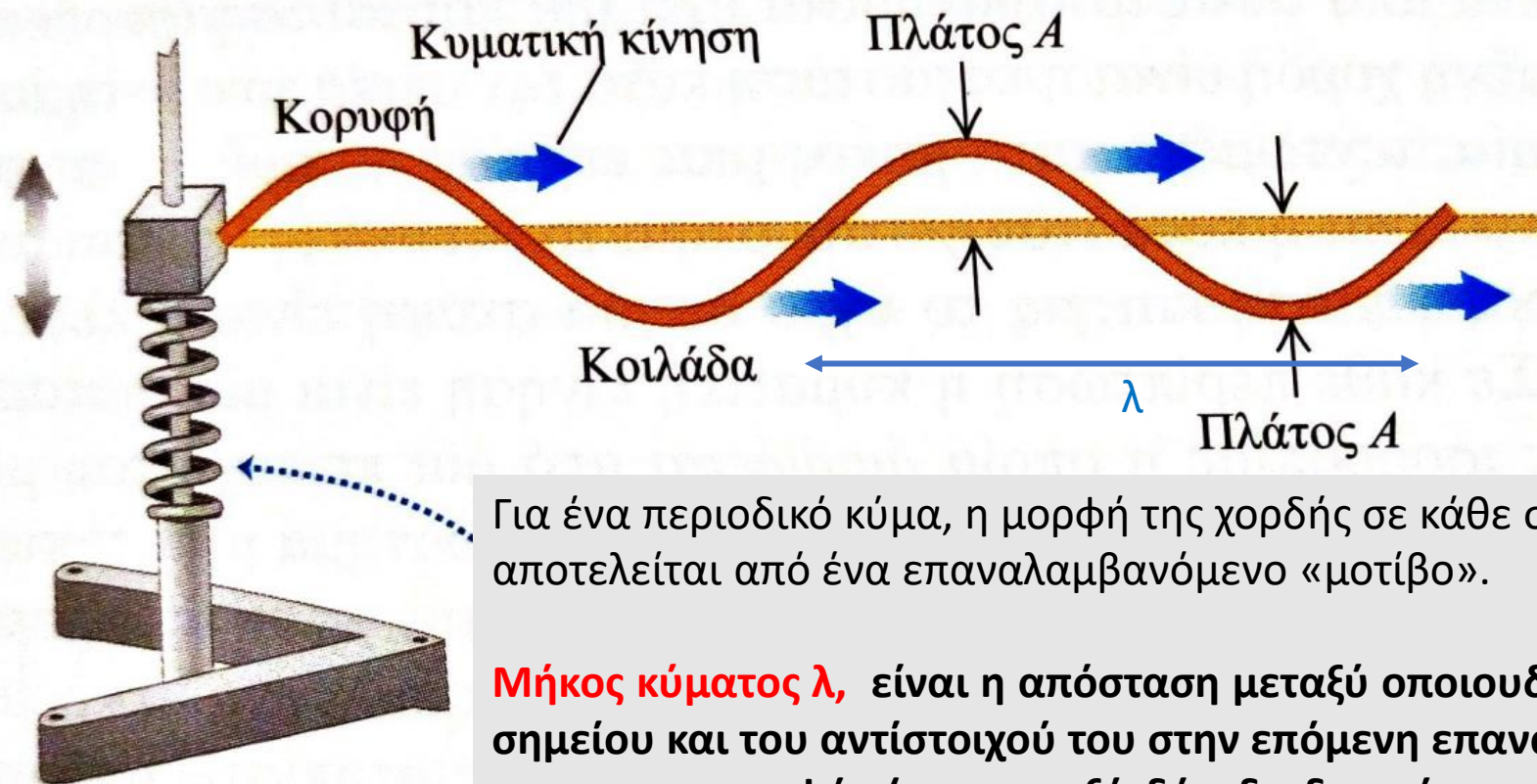
$$y=h(x,t)$$

Ημιτονοειδής Συνάρτηση:

$$y(x,t)=y_m \sin(kx \pm \omega t)$$

$$y(x,t) = y_m \sin(kx \pm \omega t)$$

Μήκος Κύματος λ

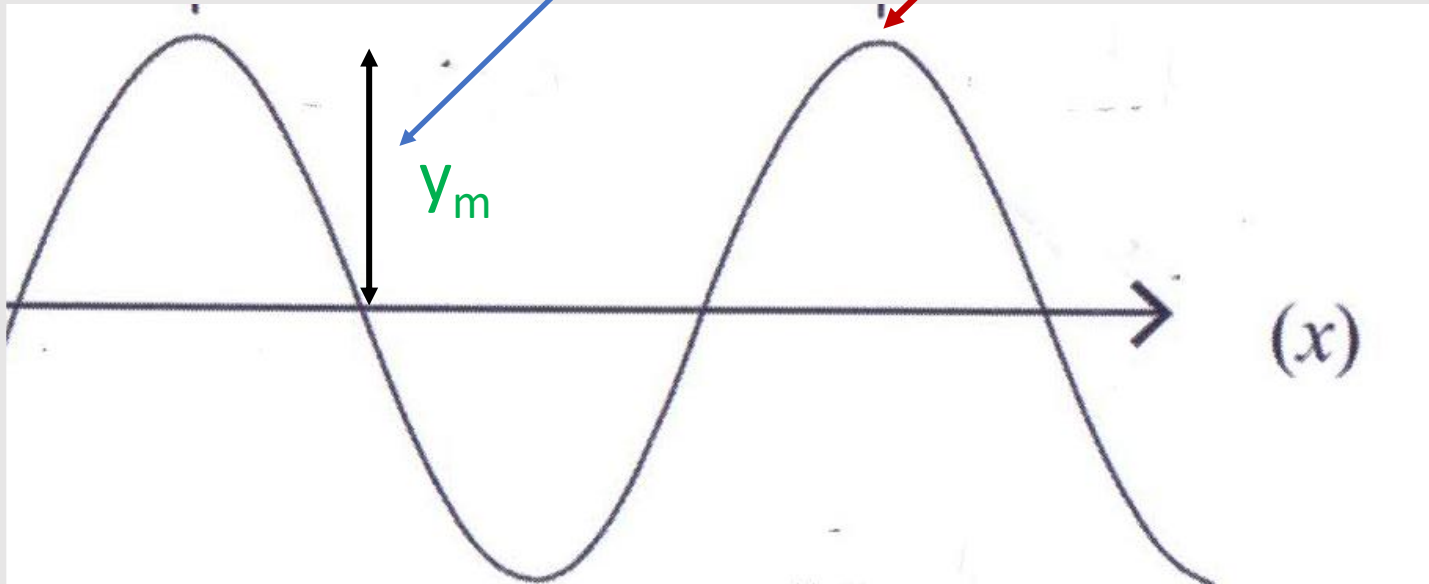


Για ένα περιοδικό κύμα, η μορφή της χορδής σε κάθε στιγμή αποτελείται από ένα επαναλαμβανόμενο «μοτίβο».

Μήκος κύματος λ , είναι η απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε σημείου και του αντίστοιχού του στην επόμενη επανάληψη της κυματομορφής (π.χ. μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων)

Πλάτος & Φάση

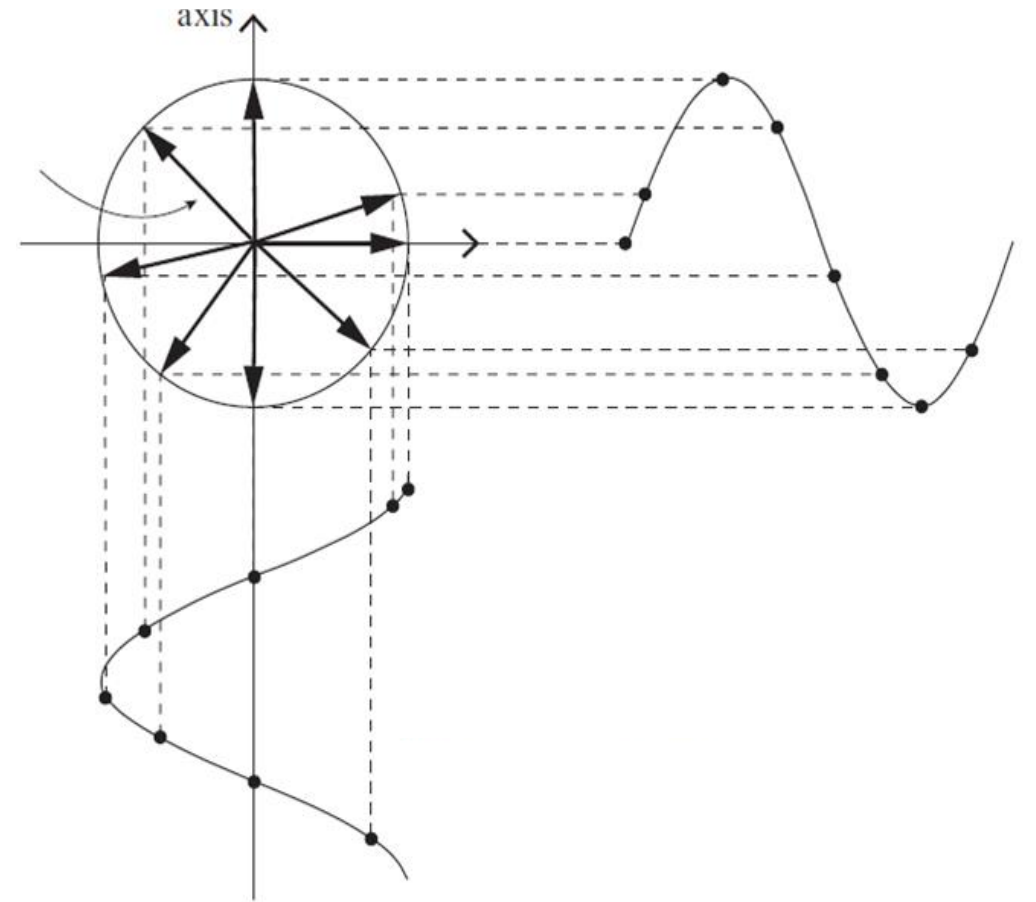
$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$$



Η φάση του κύματος είναι το **όρισμα του ημιτόνου** $\varphi = kx - \omega t$

Καθώς το κύμα σαρώνει το στοιχείο της χορδής της θέσης, η φάση μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο. Πλήρης κύκλος:
 $\varphi = 0 \rightarrow 2\pi$

Οι φάσορες (στρεφόμενο άνυσμα) είναι εξαιρετικά χρήσιμοι στην ανάλυση των κυμάτων. Όπως φαίνεται στο δεξιό τμήμα του σχήματος, **καθώς η φάση περιστρέφεται**, η προβολή του φάσορα στον y - άξονα καταγράφει ένα ημιτονοειδές κύμα καθώς αυξάνεται η γωνία. Και, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος, **η προβολή του φάσορα στον x - άξονα** καταγράφει ένα συνημιτονοειδές κύμα καθώς αυξάνεται η γωνία.



Κυματαριθμός k

Τα δύο άκρα του μήκους κύματος λ ($x=x_1$ & $x=x_1+\lambda$) θα έχουν την ίδια μετατόπιση y .

Για το στιγμιότυπο $t=0$, $y(x,0)=y_m \sin(kx)$ έχουμε:

$$y_m \sin(kx_1) = y_m \sin[k(x_1+\lambda)] = y_m \sin(kx_1+k\lambda)$$

Μιά συνάρτηση ημιτόνου επαναλαμβάνεται όταν η γωνία αυξηθεί κατά 2π rad. Συνεπώς

$$k\lambda = 2\pi,$$

$$k = 2\pi/\lambda \text{ (rad/m)}$$

Περίοδος T, Γωνιακή συχνότητα, Συχνότητα

Για τη θέση $x=0$, $y(0,t)=y_m \sin(-\omega t)=-y_m \sin(\omega t)$

Ορίζουμε την **περίοδο** ταλάντωσης T ως τον χρόνο που χρειάζεται κάθε σημείο της χορδής για να εκτελέσει μία πλήρη ταλάντωση.

$$-y_m \sin(\omega t_1) = -y_m \sin \omega(t_1 + T) = -y_m \sin(\omega t_1 + \omega T)$$

Ισχύει για $\omega T = 2\pi$

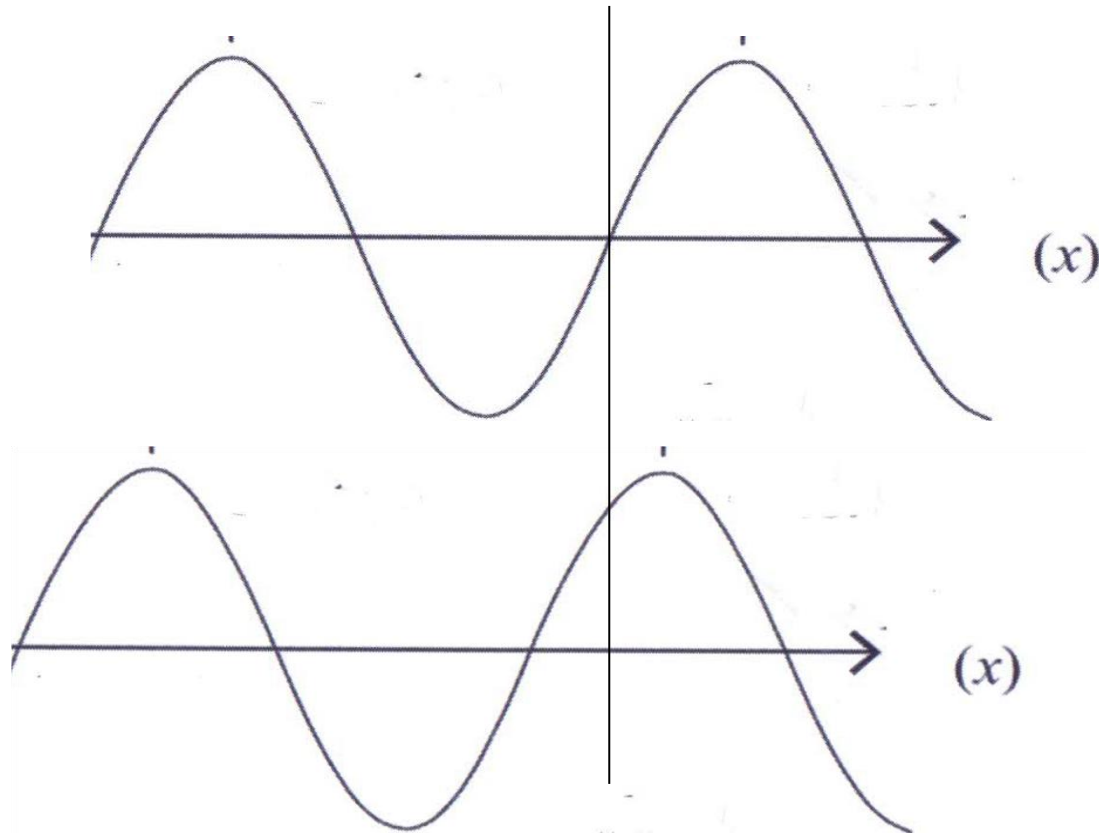
$$\omega = 2\pi/T \text{ (rad/sec)}$$

Γωνιακή συχνότητα

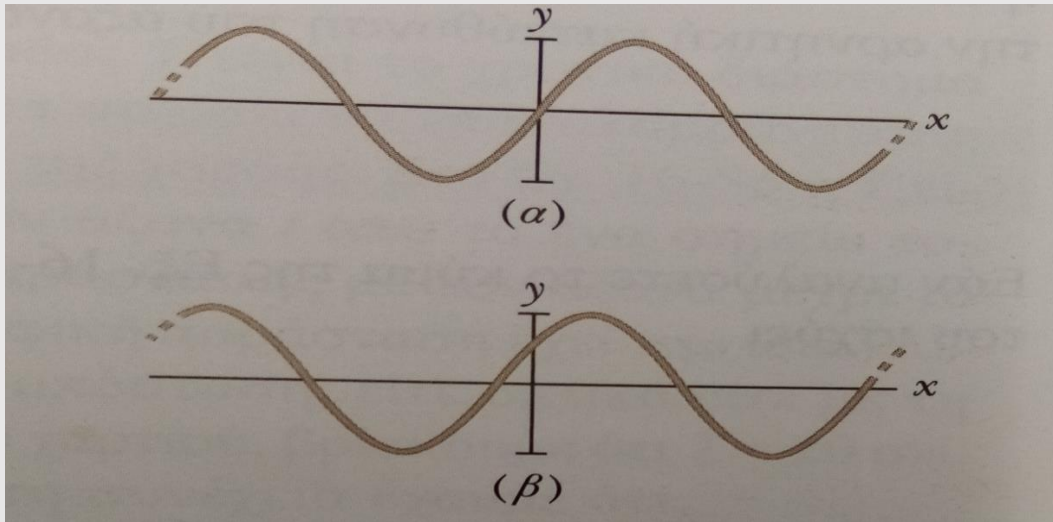
$$\text{Συχνότητα: } f = 1/T = \omega/2\pi$$

Σταθερά φάσης

$$y(x,t)=y_m \sin(kx \pm \omega t + \varphi)$$



Σταθερά φάσης φ_o



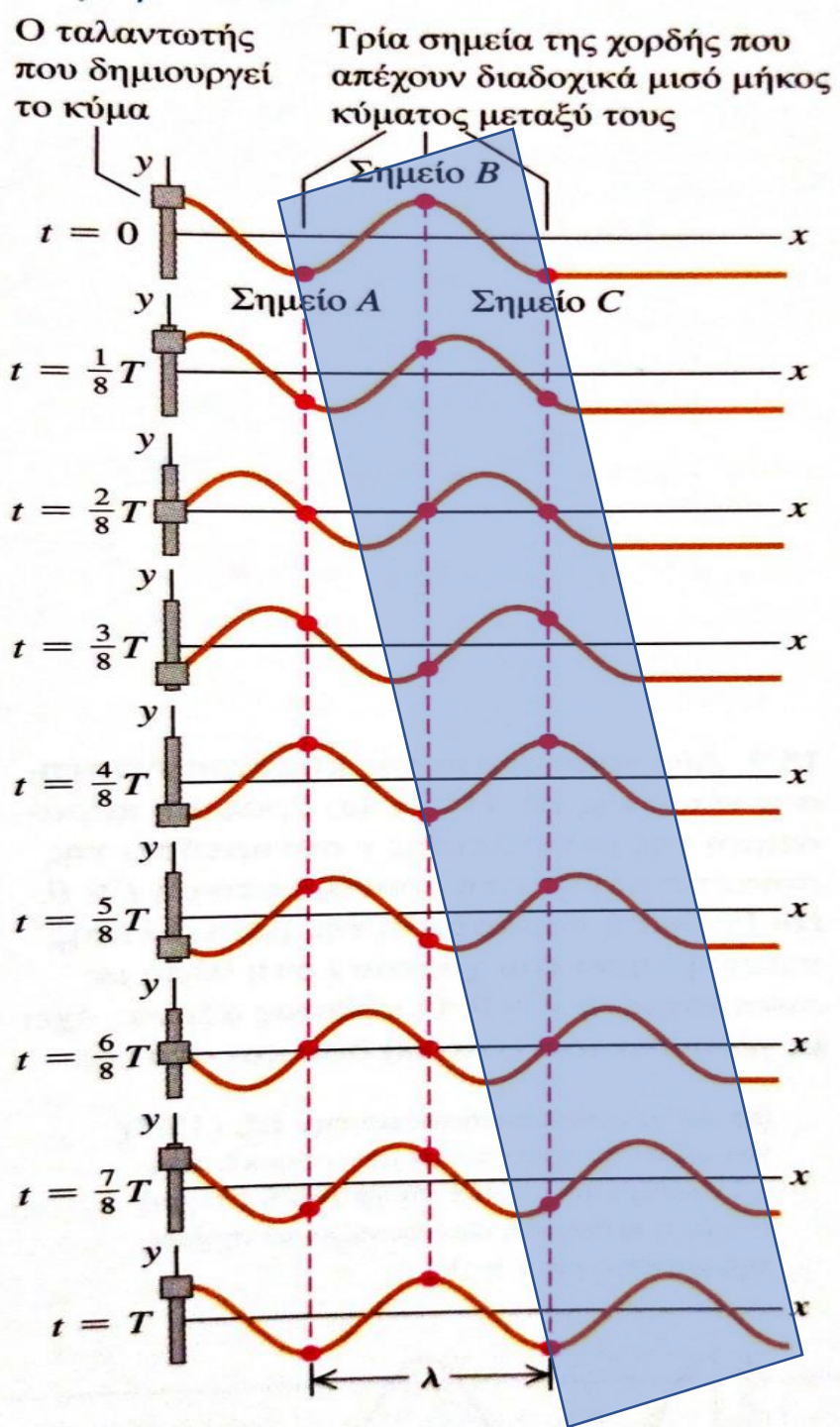
$$\varphi_o = 0$$

$$\varphi_o = \pi/5$$

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi_o)$$

Θετική τιμή του φ_o μετατοπίζει την καμπύλη προς τα αριστερά (προς τα αρνητικά του άξονα x)

Αρνητική τιμή του φ_o μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά (προς τα θετικά του άξονα x»)



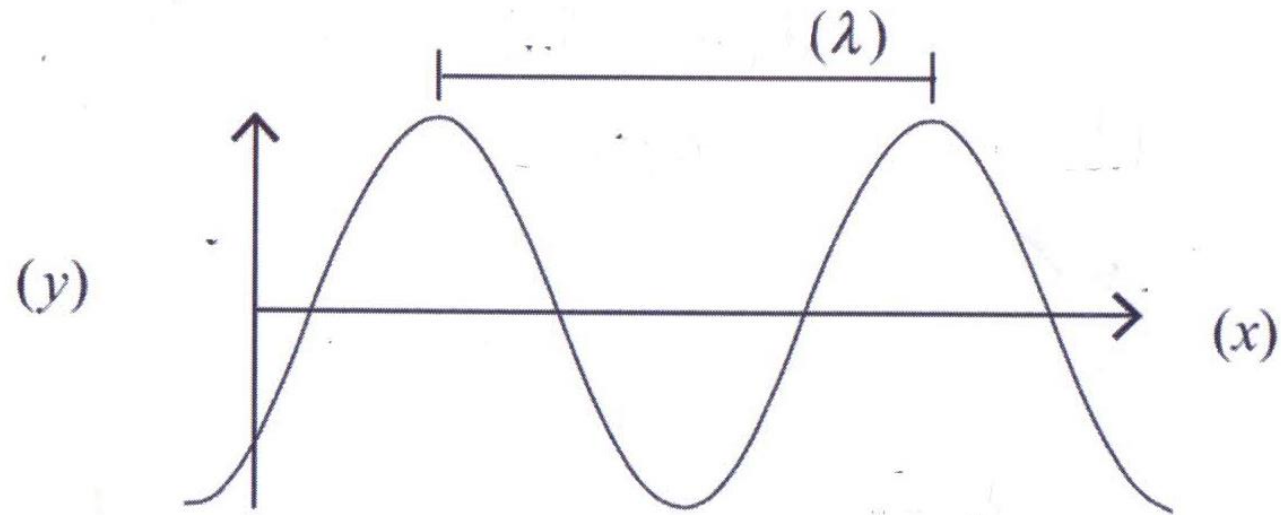
Σχέση περιόδου – μήκους κύματος

- Το κυματικό μοτίβο οδεύει με σταθερή ταχύτητα v προς τα δεξιά και προχωρά απόσταση λ μέσα σε μία περίοδο.
- Άρα η ταχύτητα διάδοσης του κύματος θα είναι

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

όπου $f = 1/T$ η συχνότητα με την οποία ταλαντώνονται όλα τα σημεία της χορδής (όπου έχει διαδοθεί το κύμα)

Στα μηχανικά κύματα, η ταχύτητα διάδοσης καθορίζεται από τις μηχανικές ιδιότητες του μέσου (αν αυξήσω τη συχνότητα, θα μειωθεί το μήκος κύματος, έτσι ώστε το γινόμενο να παραμείνει σταθερό)



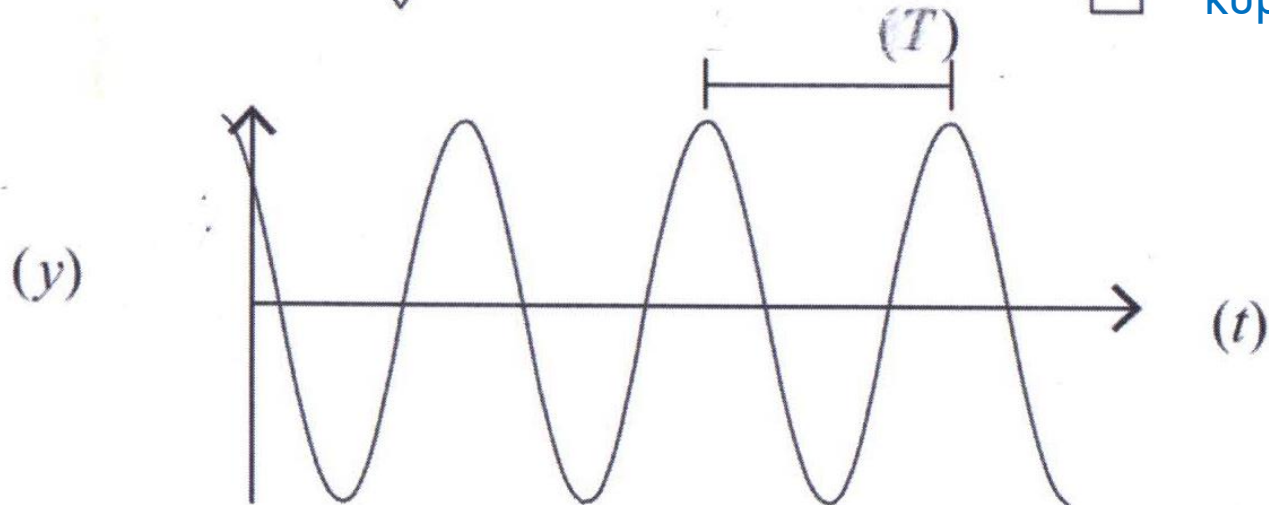
Για αλλαγή του οριζόντιου άξονα



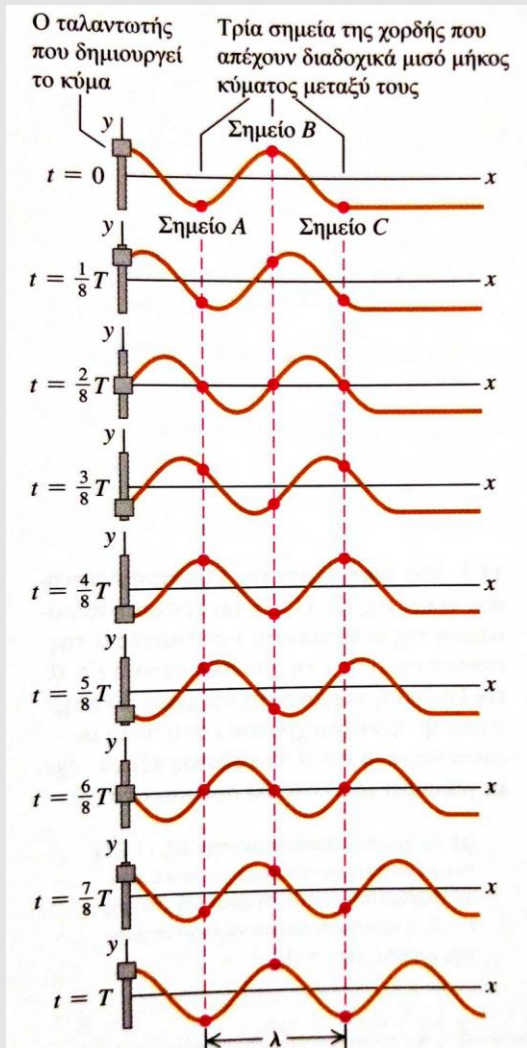
Διαιρούμε με την ταχύτητα κύματος



Πολλαπλασιάζουμε με την ταχύτητα του κύματος



Πως θα περιγράψω μαθηματικά το αρμονικό κύμα που διαδίδεται κατά μήκος της τεντωμένης χορδής



Έστω ένα στοιχειώδες τμήμα της χορδής στη θέση $x=0$. Κατά τη διάρκεια της κυματικής κίνησης, το στοιχειώδες αυτό τμήμα θα ταλαντώνεται αρμονικά γύρω από τη θέση ισορροπίας ($y=0$), με συχνότητα f και πλάτος y_m .

Ας υποθέσουμε ότι η μετατόπιση y του στοιχείου κατακόρυφα από τη θέση ισορροπίας δίνεται από μία συνάρτηση ημιτόνου

$$y(x=0, t) = y_m \sin \omega t = y_m \sin 2\pi f t$$

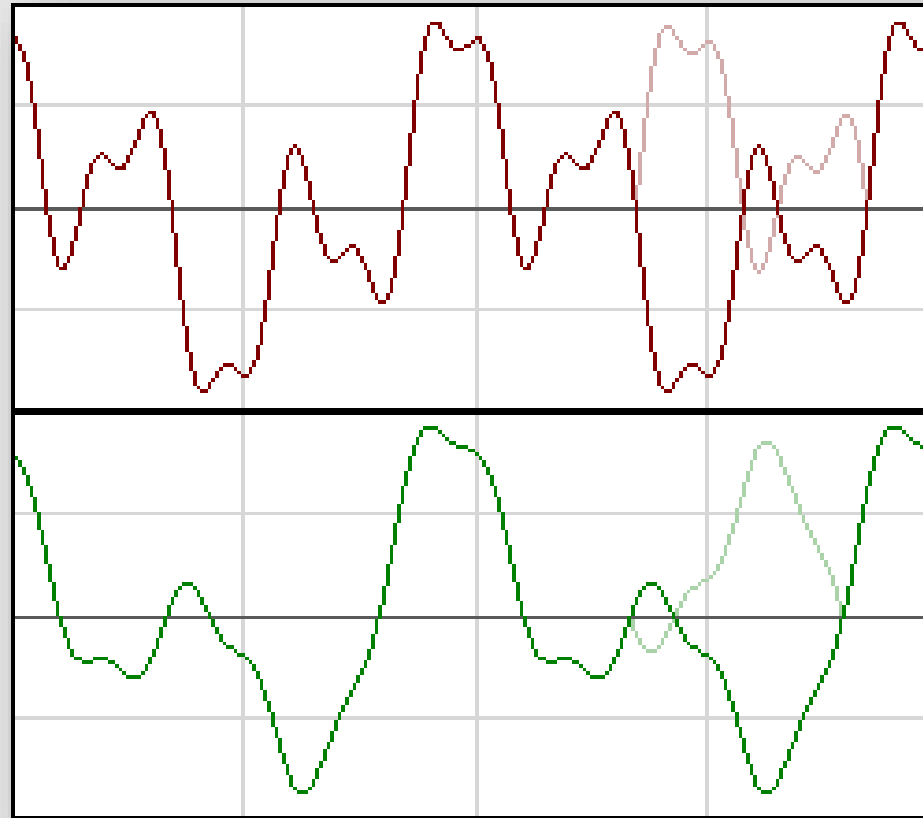
Η κυματική διαταραχή ταξιδεύει από το $x=0$ σε ένα σημείο x μέσα σε χρόνο $t = \frac{x}{v}$, όπου $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

Η κίνηση του σημείου x τη στιγμή t είναι ίδια με τη κίνηση του σημείου 0 σε προγενέστερο χρόνο, $t = \frac{x}{v}$

Άρα $y(x, t) = y_m \sin \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] = y_m \sin(kx - \omega t)$, όπου $\frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} = k$

Αυτό ισχύει για διάδοση του κύματος προς τα δεξιά (θετικά). Για διάδοση προς τα αρνητικά, ο τύπος γίνεται

$$y(x, t) = y_m \sin \omega \left(\frac{x}{v} + t \right) = y_m \sin(kx + \omega t),$$



Με τον ίδιο τρόπο μπορώ να περιγράψω ένα κύμα που διαδίδεται κατά μήκος της χορδής με σχήμα του δεν είναι μία ημιτονοειδής συνάρτηση αλλά μία άλλη συνάρτηση ***h*** :

$$y(x, t) = h(kx \pm \omega t)$$

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t)$$

- Το πλάτος του κύματος y_m είναι το μέτρο της μέγιστης μετατόπισης των στοιχείων της χορδής από τη θέση ισορροπίας καθώς το κύμα διέρχεται από αυτά.
- Η φάση του κύματος είναι το όρισμα του ημιτόνου $\varphi = kx - \omega t$
Καθώς το κύμα σαρώνει το στοιχείο της χορδής της θέσης, η φάση μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο Πλήρης κύκλος: $\phi=0 \rightarrow 2\pi$
- Μήκος κύματος: εξ ορισμού για μια χρονική στιγμή t_1 ,

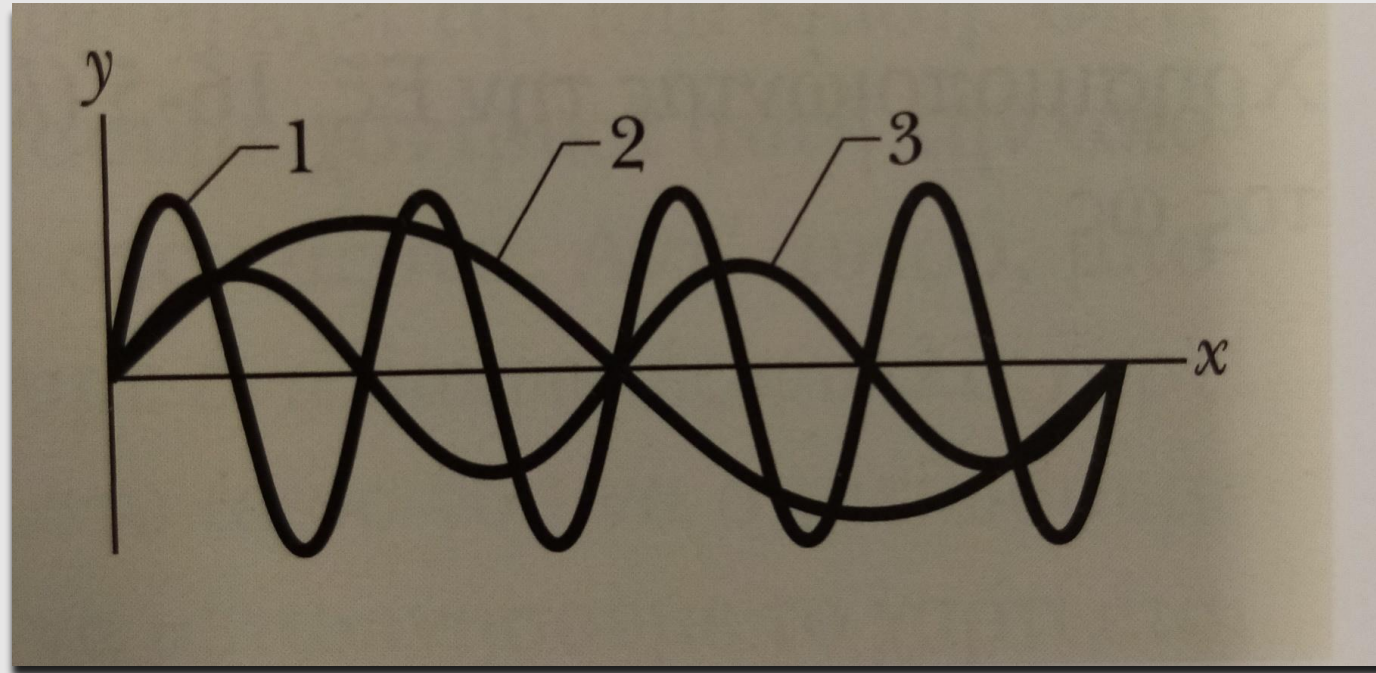
$$y_m \sin(kx - \omega t_1) = y_m \sin(k(x + \lambda) - \omega t_1) \Rightarrow$$

$$(kx - \omega t_1) = (k(x + \lambda) - \omega t_1) + 2\pi \Rightarrow k\lambda = 2\pi \text{ (όπως περιμέναμε)}$$
- Περίοδος ταλάντωσης ενός κύματος T , ο χρόνος που χρειάζεται το στοιχείο της χορδής για να εκτελέσει μία πλήρη ταλάντωση
Θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$y_m \sin(kx_1 - \omega t) = y_m \sin(kx_1 - \omega(t + T)) \Rightarrow (kx_1 - \omega t) = (kx_1 - \omega(t + T)) + 2\pi \Rightarrow \omega T = 2\pi \Rightarrow \omega = 2\pi/T \text{ (όπως περιμέναμε) κυκλική συχνότητα}$$

$$f = 1/T \text{ συχνότητα}$$

Quiz 1



(a) $\phi = 2x - 4t$

(b) $\phi = 4x - 8t$

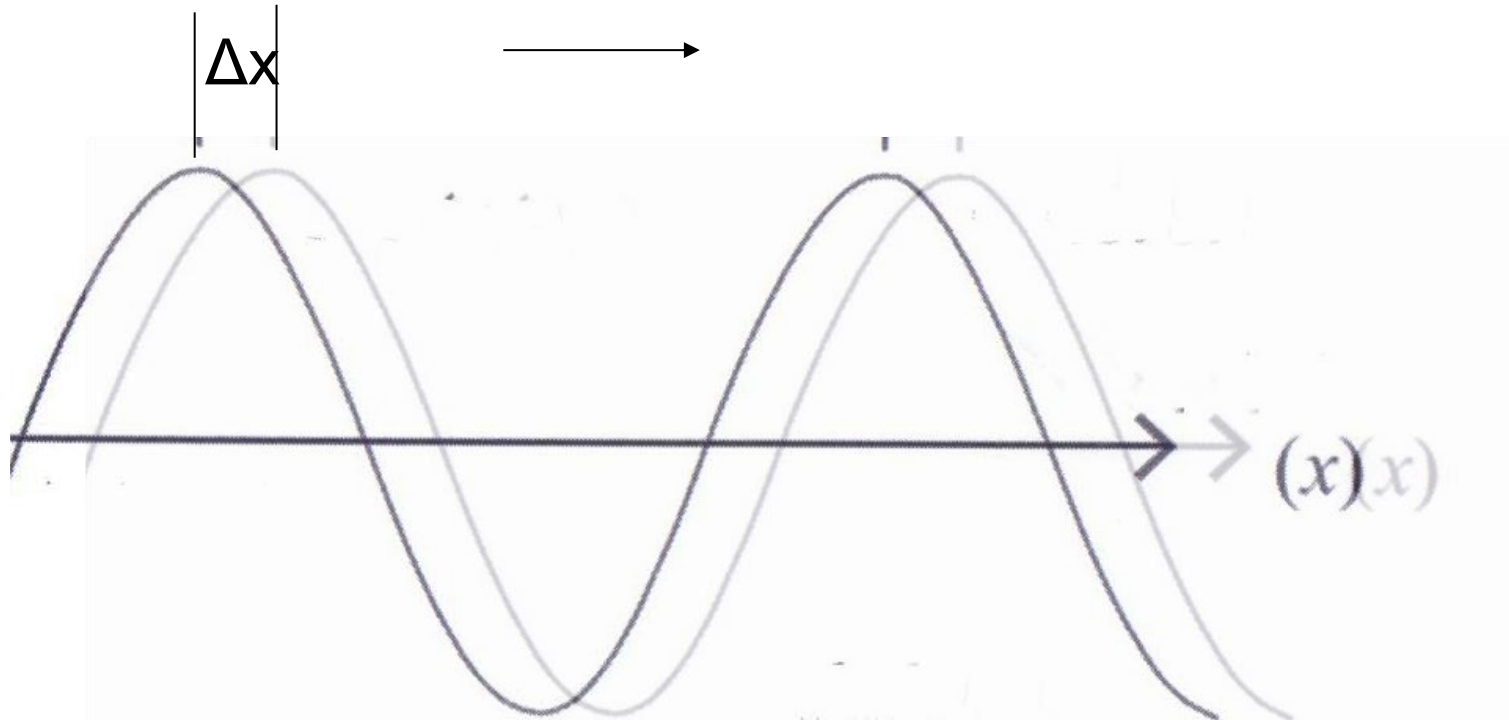
(c) $\phi = 8x - 16t$

1

2

3

Ταχύτητα οδεύοντος κύματος

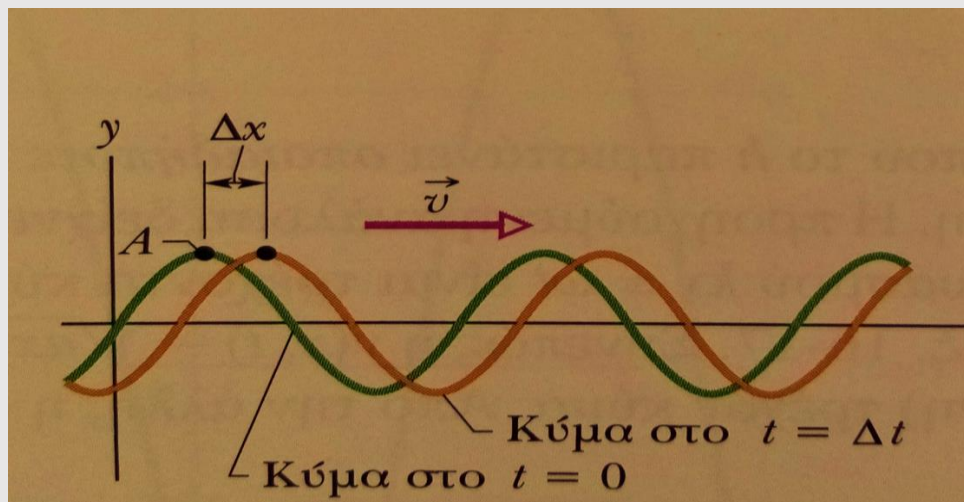


Η κορυφή διατηρεί τη μετατόπισή της καθώς κινείται συνεπώς η φάση παραμένει σταθερή, δηλαδή, $kx - \omega t = \text{const}$. Τα x , t αυξάνονται που σημαίνει ότι το κύμα κινείται δεξιά.

Ταχύτητα του τρέχοντος κύματος

Προσοχή: τα υλικά
σημεία στη χορδή
ΔΕΝ διατηρούν τη
φάση τους
σταθερή!!

- Είδαμε ήδη πως μπορούμε να βρούμε τη ταχύτητα με την οποία μετατοπίζεται η κυματομορφή κατά μήκος του άξονα, ποιοτικά.
- Πιο αυστηρά μπορούμε να την βρούμε ως εξής:



Καθώς το κύμα διαδίδεται, κάθε σημείο της διαδιδόμενης κυματομορφής (π.χ. το «νοητό» σημείο A που αντιστοιχεί σε μια κορυφή) διατηρεί τη μετατόπισή του y , άρα η αντίστοιχη φάση είναι σταθερή

$$kx - \omega t = \text{const} \Rightarrow k \frac{dx}{dt} - \omega = 0 \Rightarrow v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{\frac{2\pi}{T}}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \frac{\lambda}{T} \text{ όπως είχαμε βρει και προηγουμένως}$$

Quiz 2

Να κατατάξετε τα παρακάτω κύματα ως προς (α) τη ταχύτητα διάδοσης του κύματος, και (β) τη μέγιστη ταχύτητα κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (εγκάρσια ταχύτητα), με πρώτη τη μεγαλύτερη τιμή

1. $y(x, t) = 2\sin(4x - 2t)$

2. $y(x, t) = \sin(3x - 4t)$

3. $y(x, t) = 2\sin(3x - 3t)$

$$(\alpha) v = \omega/k \quad (\beta) \frac{dy(x, t)}{dt} = -y_m \omega \cos(kx - \omega t) \Rightarrow \left| \left(\frac{dy(x, t)}{dt} \right)_{max} \right| = y_m \omega$$

$$(\alpha) 2, 3, 1 \quad (\beta) 3, 1=2$$

Κυματοσυναρτήσεις

$$y(x, t) = f(x, t)$$

$$y = f(x, t),$$

$$\psi = f(x, t).$$

Έτσι μια εξίσωση όπως η $y = f(x, t)$ σημαίνει ότι η τιμή της μετατόπισης (y) εξαρτάται τόσο από την θέση (x) όσο και από τον χρόνο (t) στην οποία μετράτε το κύμα

Η επιλογή της συνάρτησης f καθορίζει το σχήμα του κύματος,
οι εξισώσεις σας λένε ότι η κύμανση του κύματος σε οποιοδήποτε σημείο ή χρόνο εξαρτάται από το σχήμα του κύματος και τη θέση του.

Παρατήρηση:

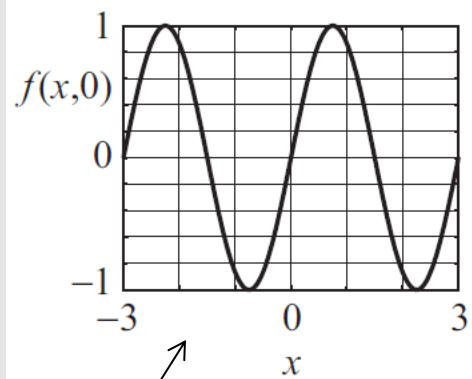
Μπορούμε να γράψουμε την ημιτονοειδή συνάρτηση για ένα οδεύον κύμα με διαφορετικούς τρόπους

$$y(x,t) = y_m \sin(kx \pm \omega t)$$

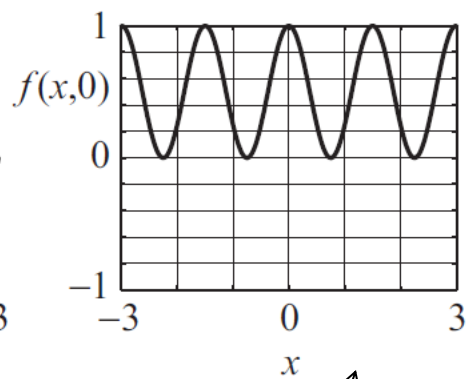
$$y(x,t) = A \sin[2\pi(x/\lambda \pm t/T)]$$

$$y(x,t) = A \sin[\omega(x/v \pm t)]$$

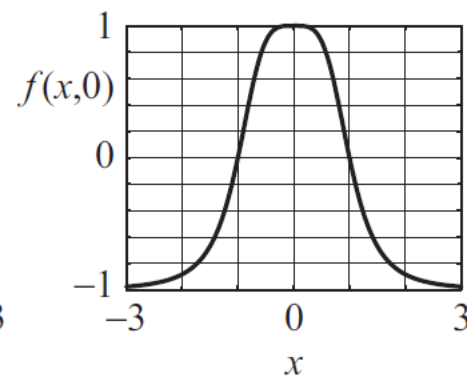
$$y(x,t) = A \sin[k(x \pm vt)]$$



(a)



(b)



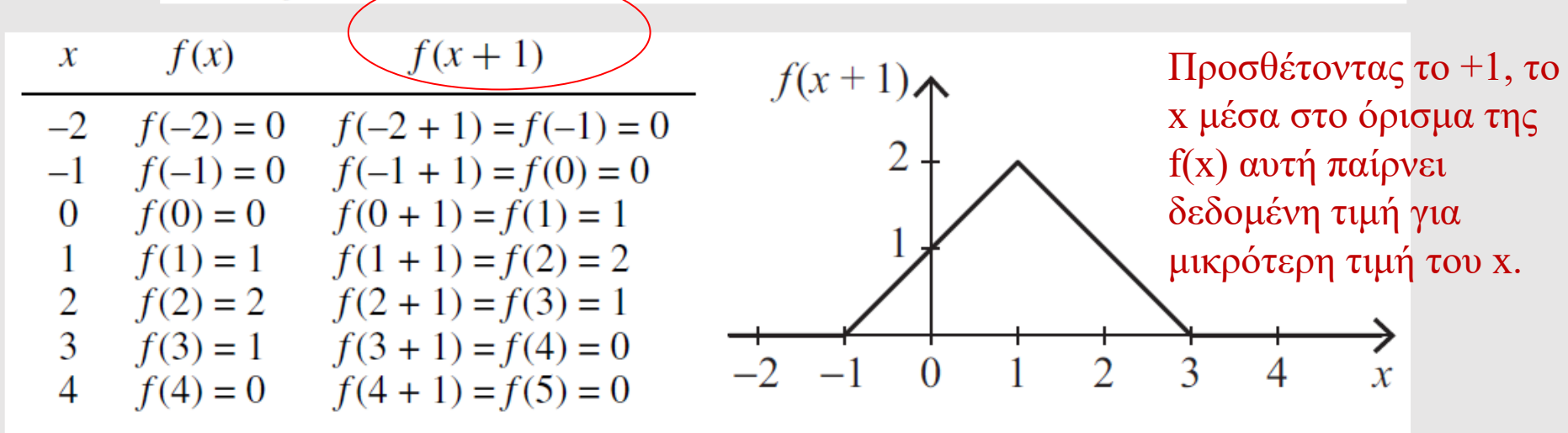
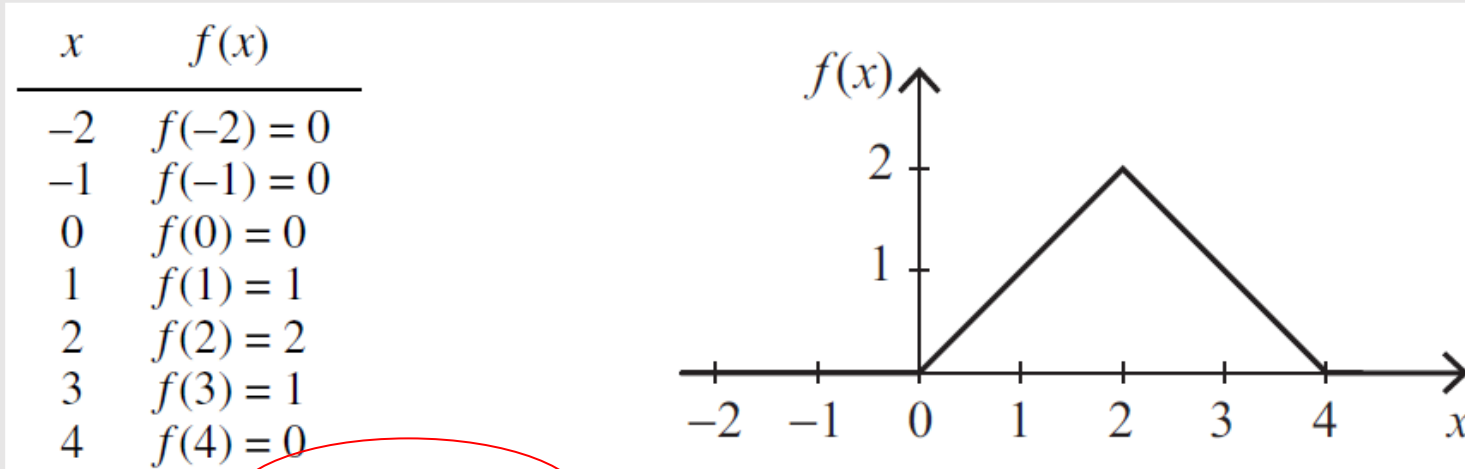
(c)

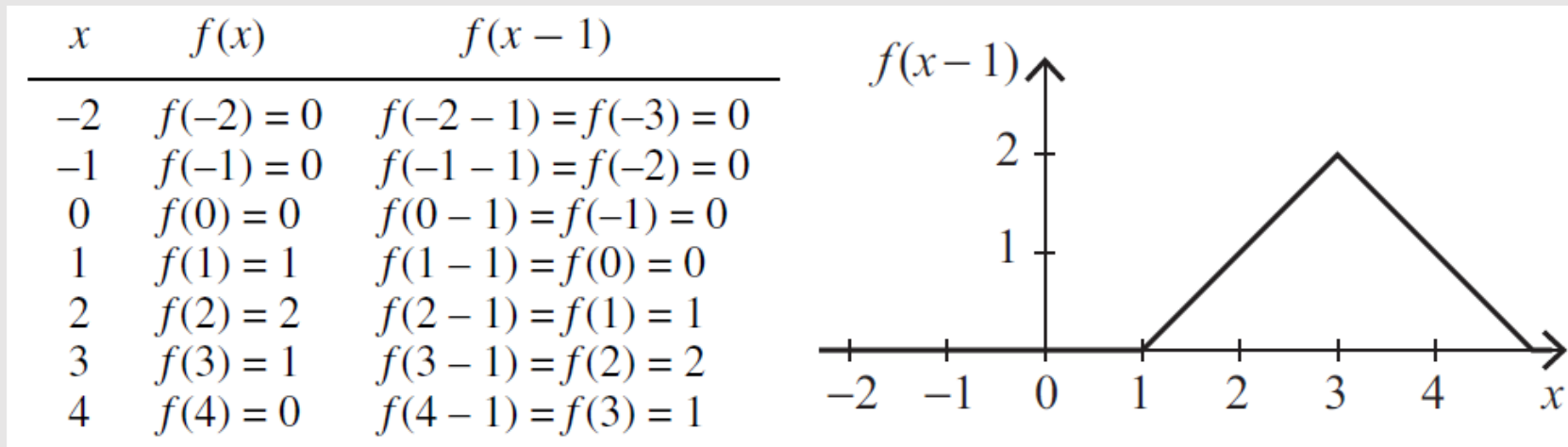
$$y = f(x, 0) = A \sin(kx),$$

$$y = f(x, 0) = A[\cos(kx)]^2$$

$$y = f(x, 0) = \frac{1}{ax^4 + b}.$$

Για να κατανοήσουμε πώς το μέτρο της ταχύτητας και η κατεύθυνση ενσωματώνεται στην εξ. $y=f(x\pm vt)$ θα εξετάσουμε τι συμβαίνει σε μία συνάρτηση $f(x)$ εάν προσθέσουμε ή αφαιρέσουμε έναν όρο, π.χ., $f(x+1)$ ή $f(x-1)$.



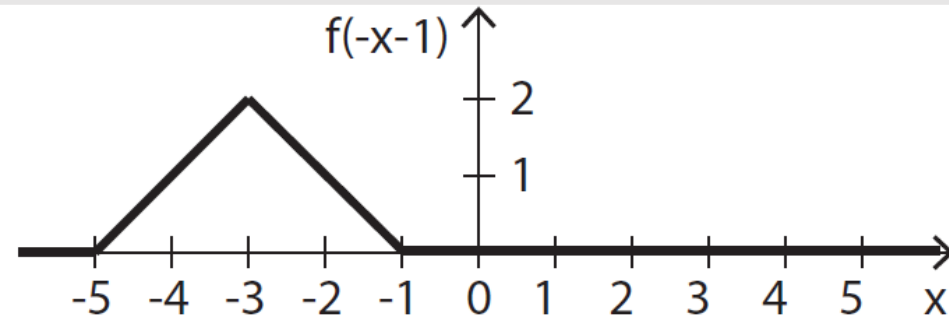
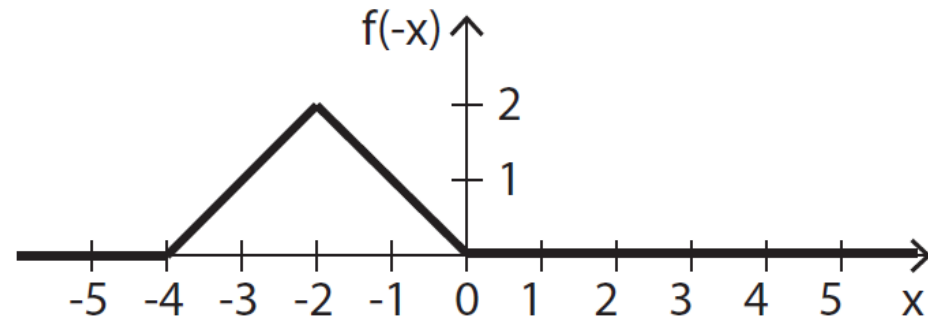


Ερώτηση: Η προσθήκη μιας θετικής σταθεράς μετατοπίζει πάντα τη συνάρτηση στην αρνητική x -κατεύθυνση;

Απάντηση: Όχι αν έχετε μια συνάρτηση όπως $f(-x + 1)$. Σε αυτή την περίπτωση, η συνάρτηση μετατοπίζεται στη θετική x -κατεύθυνση σε σχέση με την $f(-x)$ επειδή το πρόσημο του όρου x είναι αρνητικό και η σταθερά (1) θετική. Ομοίως, η $f(-x - 1)$ μετατοπίζεται στην αρνητική x -διεύθυνση

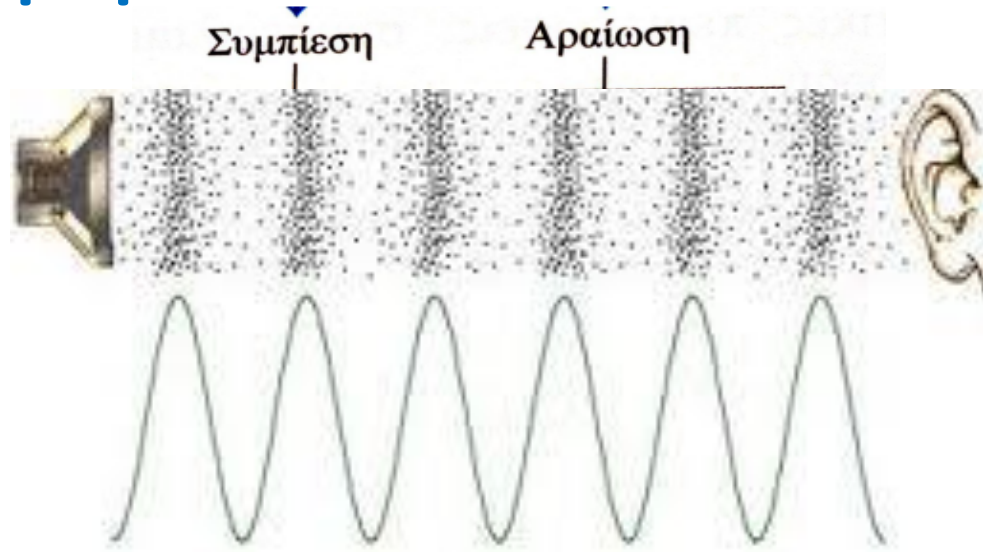
Δείξτε ότι η κυματοσυνάρτηση $f(-x-1)$ μετατοπίζεται
στο αρνητική- x διεύθυνση σε σχέση με την
κυματοσυνάρτηση $f(-x)$.

x	$f(-x)$	$f(-x-1)$
-5	$f(+5)=0$	$f(+5-1)=f(+4)=0$
-4	$f(+4)=0$	$f(+4-1)=f(+3)=1$
-3	$f(+3)=1$	$f(+3-1)=f(+2)=2$
-2	$f(+2)=2$	$f(+2-1)=f(+1)=1$
-1	$f(+1)=1$	$f(+1-1)=f(0)=0$
0	$f(0)=0$	$f(0-1)=f(-1)=0$
1	$f(-1)=0$	$f(-1-1)=f(-2)=0$
2	$f(-2)=0$	$f(-2-1)=f(-3)=0$



Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορείτε να προσδιορίσετε εάν μια συνάρτηση μετατοπίζεται αριστερά ή δεξιά απλά κοιτάζοντας το πρόσημο του πρόσθετου όρου στο όρισμα. Πρέπει να συγκρίνετε το πρόσημο του πρόσθετου όρου με το πρόσημο του όρου x . Εάν αυτά τα πρόσημα είναι τα ίδια, η συνάρτηση μετατοπίζεται στην αρνητική κατεύθυνση x , και αν αυτά τα πρόσημα είναι αντίθετα, η συνάρτηση μετατοπίζεται στην θετική κατεύθυνση x .

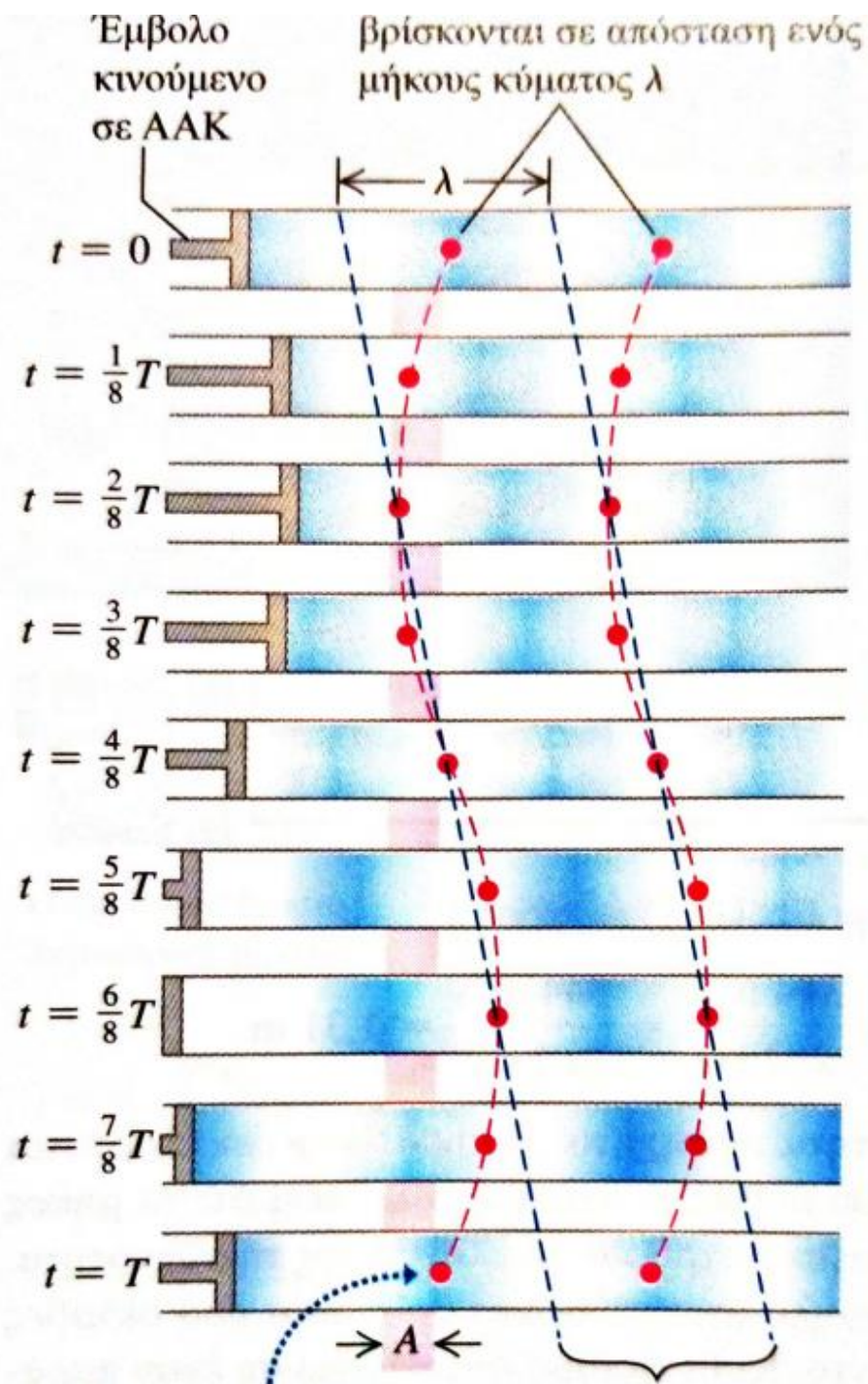
Διαμήκη κύματα



Πρίν από την εκπομπή από το ηχείο, η πίεση ήταν σε όλα τα σημεία σταθερή, ίση με την ατμοσφαιρική $P_{\text{ατμ}}$. Μετά την εκπομπή, έχουμε σημεία όπου η πίεση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της $P_{\text{ατμ}}$. Το φυσικό μέγεθος $\Delta P(x, y, z, t) = P(x, y, z, t) - P_{\text{ατμ}}$ είναι ένα κατάλληλο μέγεθος για την περιγραφή της διαταραχής που έχει προκληθεί.

- Η κίνηση των «τμημάτων» του αέρα είναι παράλληλη προς την διάδοση της διαταραχής
- Το μήκος κύματος είναι η απόσταση από το ένα πύκνωμα στο άλλο ή από το ένα αραιώμα στο άλλο
- Το «μοτίβο» των πυκνωμάτων και αραιωμάτων κινείται σταθερά προς τα δεξιά, όπως ακριβώς οι κορυφές και οι κοιλάδες στο εγκάρσιο κύμα

Διαμήκη κύματα



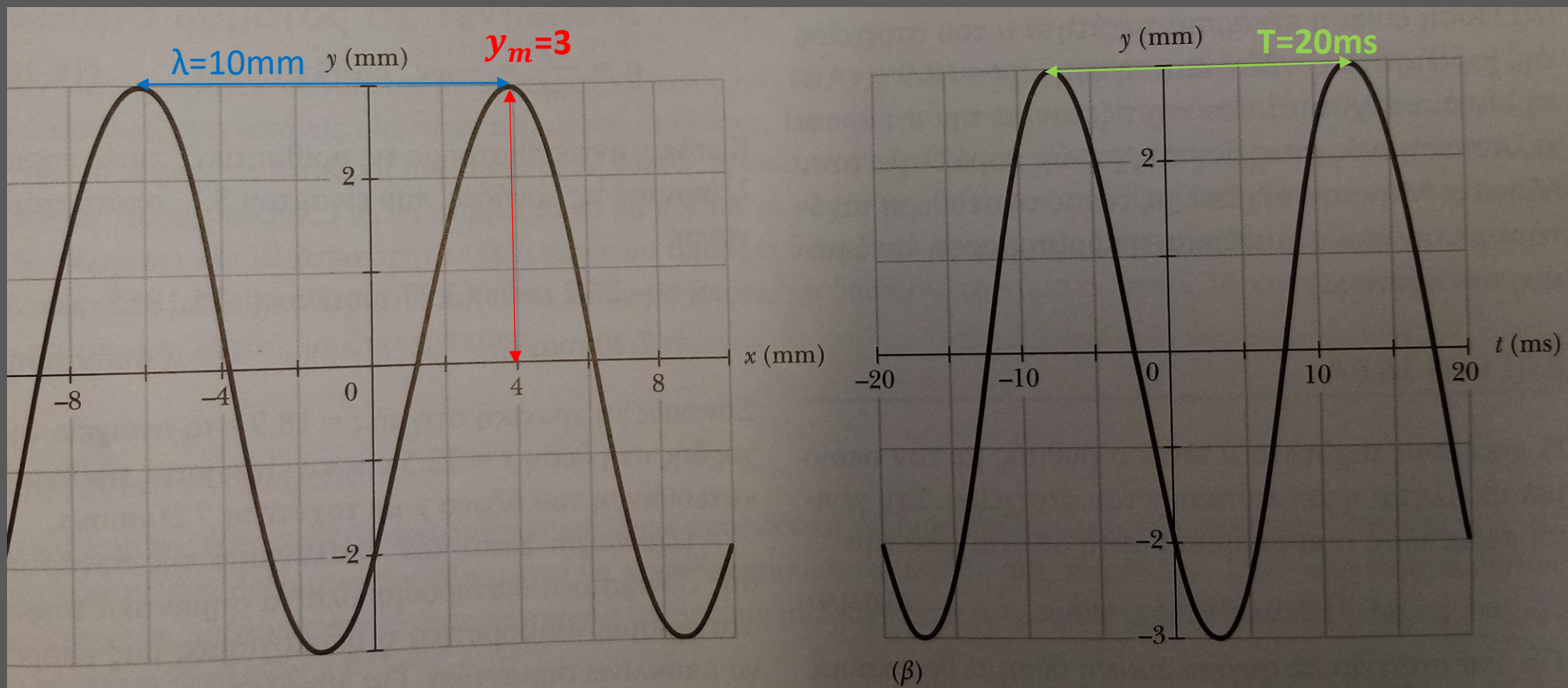
Πρόβλημα 1

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi_o)$$

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/10\text{mm} = 200\pi\text{m}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi/20\text{ms} = 100\pi\text{s}^{-1}$$

$$\varphi_o = -0.73\text{rad}$$



$$x=0, t=0 \ y=-2\text{mm} \ \acute{\alpha}\rho\alpha \ y(0, 0) = y_m \sin(k \cdot 0 - \omega \cdot 0 + \varphi_o) \Rightarrow \sin \varphi_o = \frac{-2}{3} \Rightarrow \varphi_o = \sin^{-1}\left(-\frac{2}{3}\right) = -0.73\text{rad}$$

Πρόβλημα 2

$$y(x, t) = 0.00327 \sin(72.1x - 2.72t)$$

Βρείτε:

α) την εγκάρσια ταχύτητα στο $x=22.5\text{cm}$ και $t=18.9\text{s}$

β) την εγκάρσια επιτάχυνση

$$\alpha) \frac{\partial y}{\partial t} = 0.00327 \times (-2.72) \cos(72.1 \times 0.225 - 2.72 \times 18.9) = 7.2 \text{ mm/s}$$

$$\beta) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -0.00327 \times (-2.72)^2 \times \sin(72.1 \times 0.225 - 2.72 \times 18.9) = -14.2 \text{ mm/s}^2$$