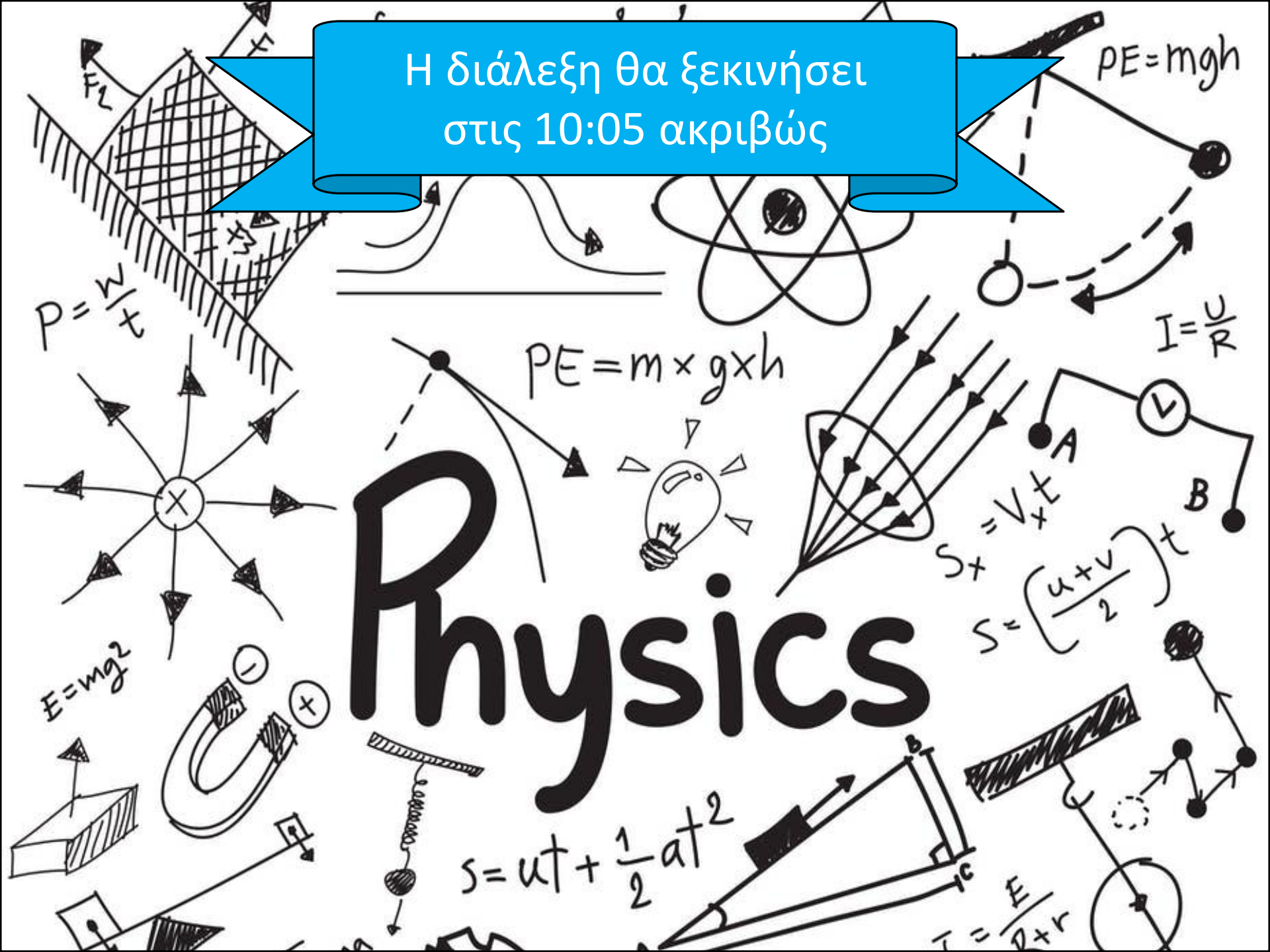


Η διάλεξη θα ξεκινήσει
στις 10:05 ακριβώς

Physics





Εικόνα: Ο Carlos Santana εκμεταλλεύεται τα στάσιμα κύματα στις χορδές του. Αλλάζει νότα στην κιθάρα του πιέζοντας τις χορδές σε διαφορετικά σημεία, μεγαλώνοντας ή μικραίνοντας το μήκος του τμήματος της χορδής που ταλαντώνεται.

Φυσική για Μηχανικούς

Υπέρθωση

Στάσιμα Κύματα



Εικόνα: Ο Carlos Santana εκμεταλλεύεται τα στάσιμα κύματα στις χορδές του. Αλλάζει νότα στην κιθάρα του πιέζοντας τις χορδές σε διαφορετικά σημεία, μεγαλώνοντας ή μικραίνοντας το μήκος του τμήματος της χορδής που ταλαντώνεται.

Φυσική για Μηχανικούς

Υπέρθωση

Στάσιμα Κύματα

Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

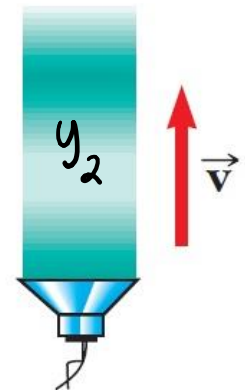
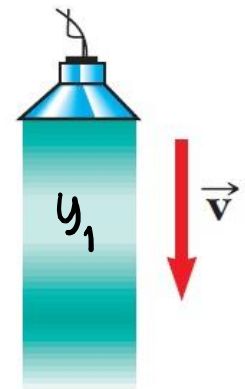
• Στάσιμα κύματα

- Κύματα αντικρουστά μεταξύ τους
 - Ίδια συχνότητα, μήκος κύματος, πλάτος
 - Αντίθετη ταχύτητα

- $y = y_1 + y_2$
 $= A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t)$
 $= (2A \sin(kx)) \cos(\omega t)$

- Η παραπάνω σχέση ορίζει ένα **στάσιμο κύμα**
 - Γενικότερα, **στάσιμη** λέγεται μια ταλάντωση με **στάσιμο περίγραμμα που αποτελείται από την υπέρθεση δυο όμοιων κυμάτων που ταξιδεύουν προς αντίθετες κατευθύνσεις**

$$\sin \theta \pm \sin \varphi = 2 \sin \left(\frac{\theta \pm \varphi}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta \mp \varphi}{2} \right)$$

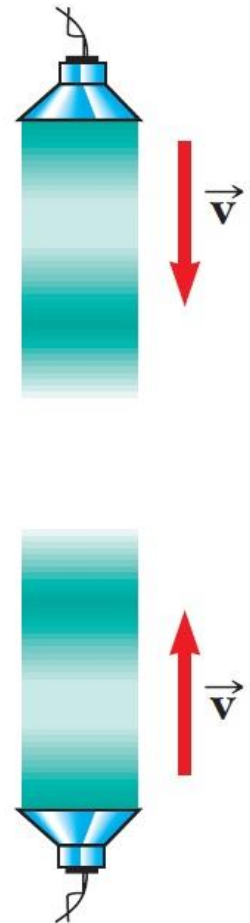


Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

- **Στάσιμα κύματα**

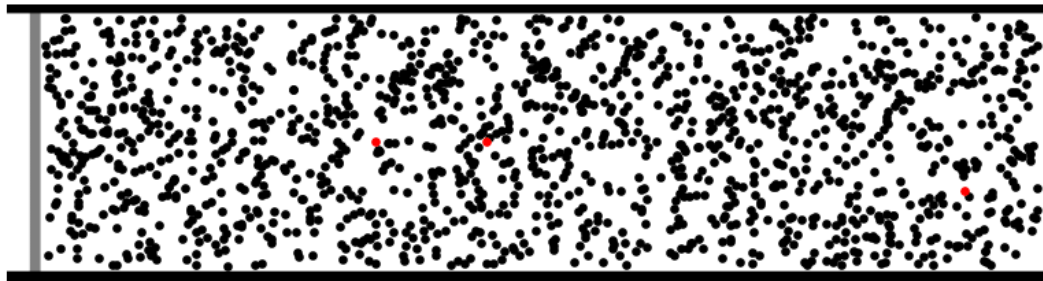
$$y = (2A \sin(kx)) \cos(\omega t)$$

- Παρατηρήστε ότι δεν εξαρτάται από την έκφραση $kx - \omega t$
- Άρα **δεν** είναι οδεύον κύμα
- Δεν υπάρχει η έννοια της διάδοσης της κίνησης σε ένα στάσιμο κύμα



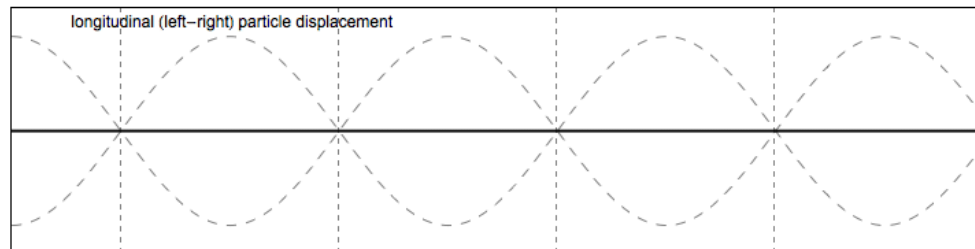
Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

◉ Στάσιμα κύματα

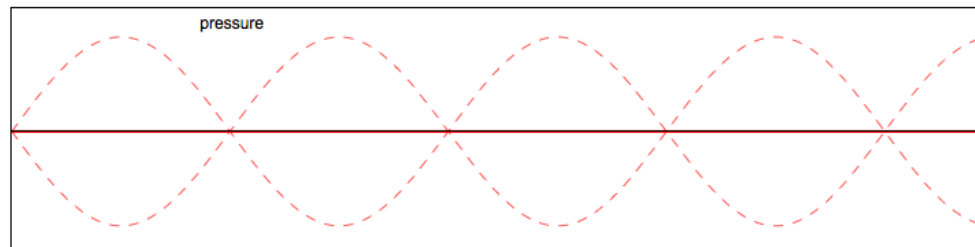


©2012, Dan Russell

Μετατόπιση



Πίεση



Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

- **Στάσιμα κύματα**

- Ας συγκρίνουμε:

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

και

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

$$= A(x) \cos(\omega t)$$

- Τι παρατηρείτε;

- Η δεύτερη περιγράφει μια ειδική μορφή της πρώτης

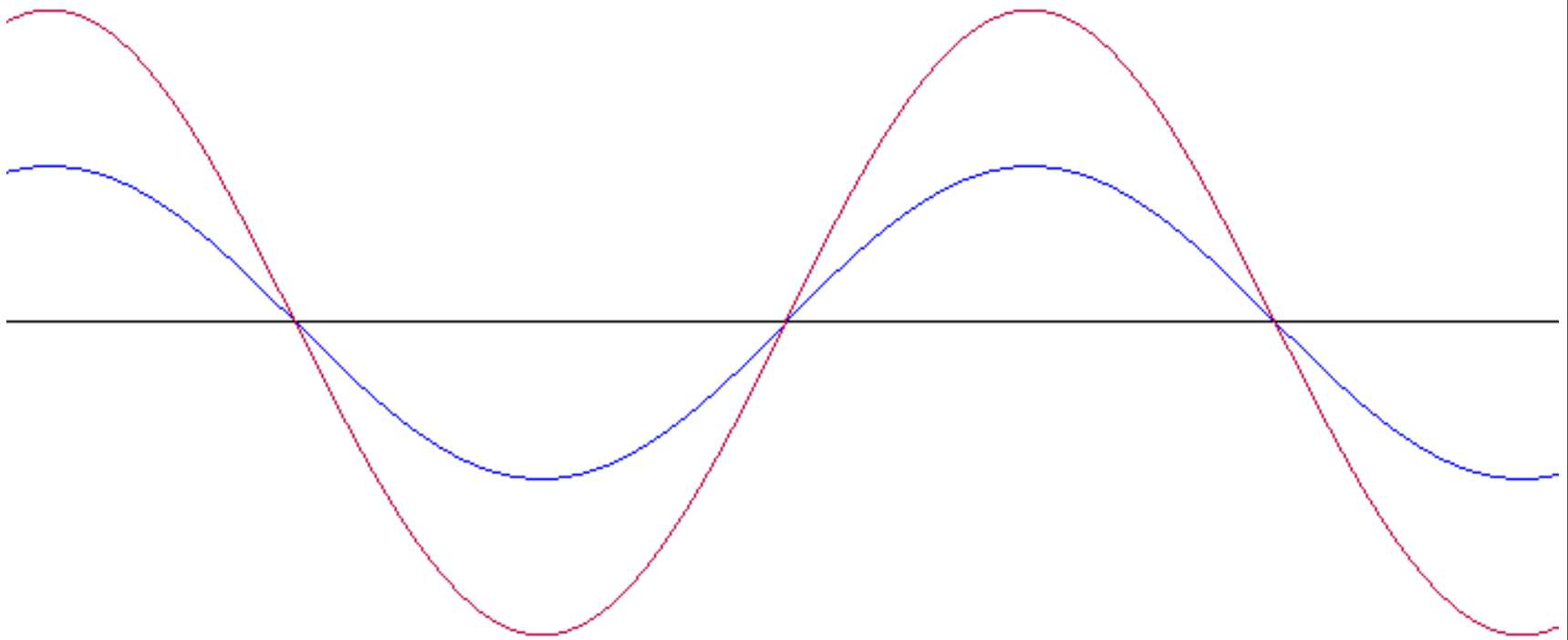
- $\varphi = 0$

- Κάθε στοιχείο που βρίσκεται στη **θέση** x εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση

- Το **πλάτος** της απλής αρμονικής κίνησης, $2A \sin(kx)$, ενός στοιχείου εξαρτάται από τη **θέση** του στοιχείου, x , στο μέσο

Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

- *Στάσιμα κύματα*



Στάσιμα Κύματα (επανάληψη...)

- Στάσιμα κύματα

Creating Standing Waves from Travelling Waves



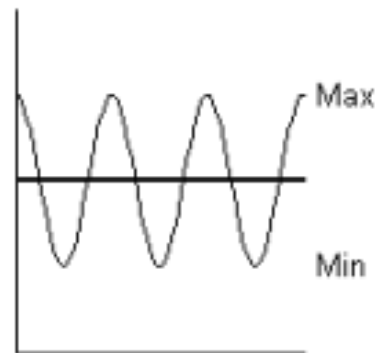
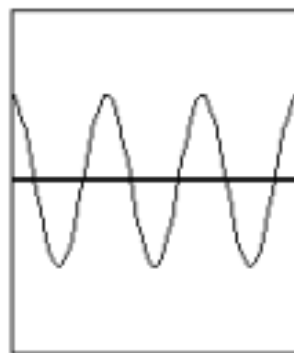
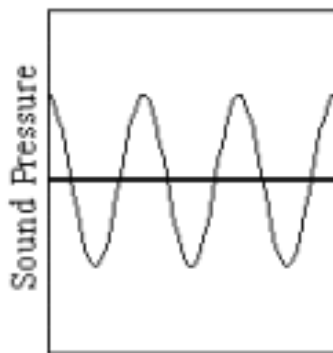
plane wave: →



plane wave: ←



plane waves: superposition



Στάσιμα Κύματα

- **Στάσιμα κύματα**

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

- Πότε μηδενίζεται το πλάτος; (δηλ. υπάρχουν στοιχεία του μέσου που ΔΕΝ ταλαντώνονται?)

- $kx = n\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} x = n\pi \Rightarrow x = \frac{n\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Τα σημεία αυτά λέγονται **δεσμοί** (*nodes*)

- Πότε μεγιστοποιείται το πλάτος; (δηλ. υπάρχουν στοιχεία του μέσου που ταλαντώνονται με το μέγιστο δυνατό πλάτος?)

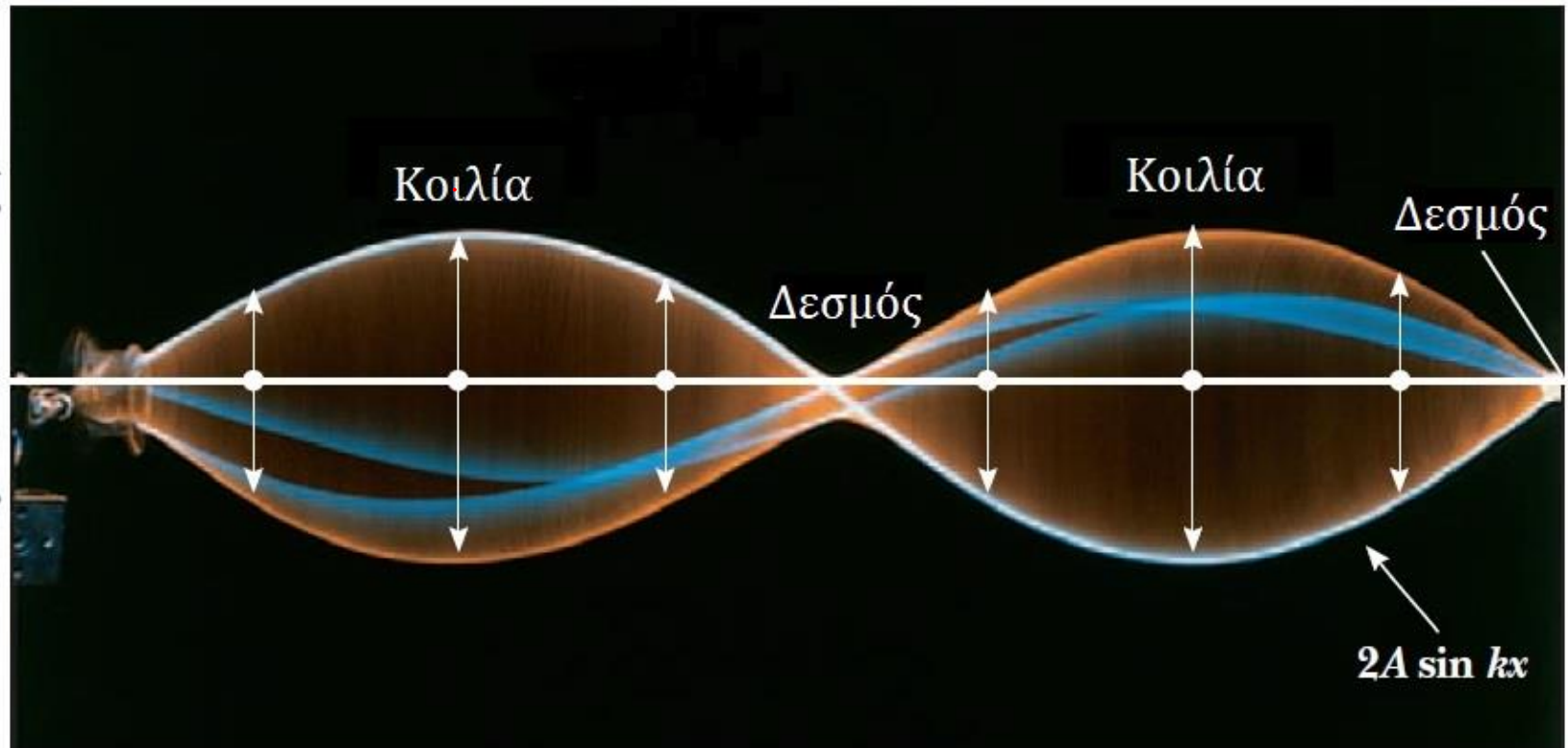
- $kx = n\pi \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} x = n\pi \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow x = \frac{(2n+1)\lambda}{4}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Τα σημεία αυτά λέγονται **κοιλίες (ή αντιδεσμοί)** (*antinodes*)

Στάσιμα Κύματα

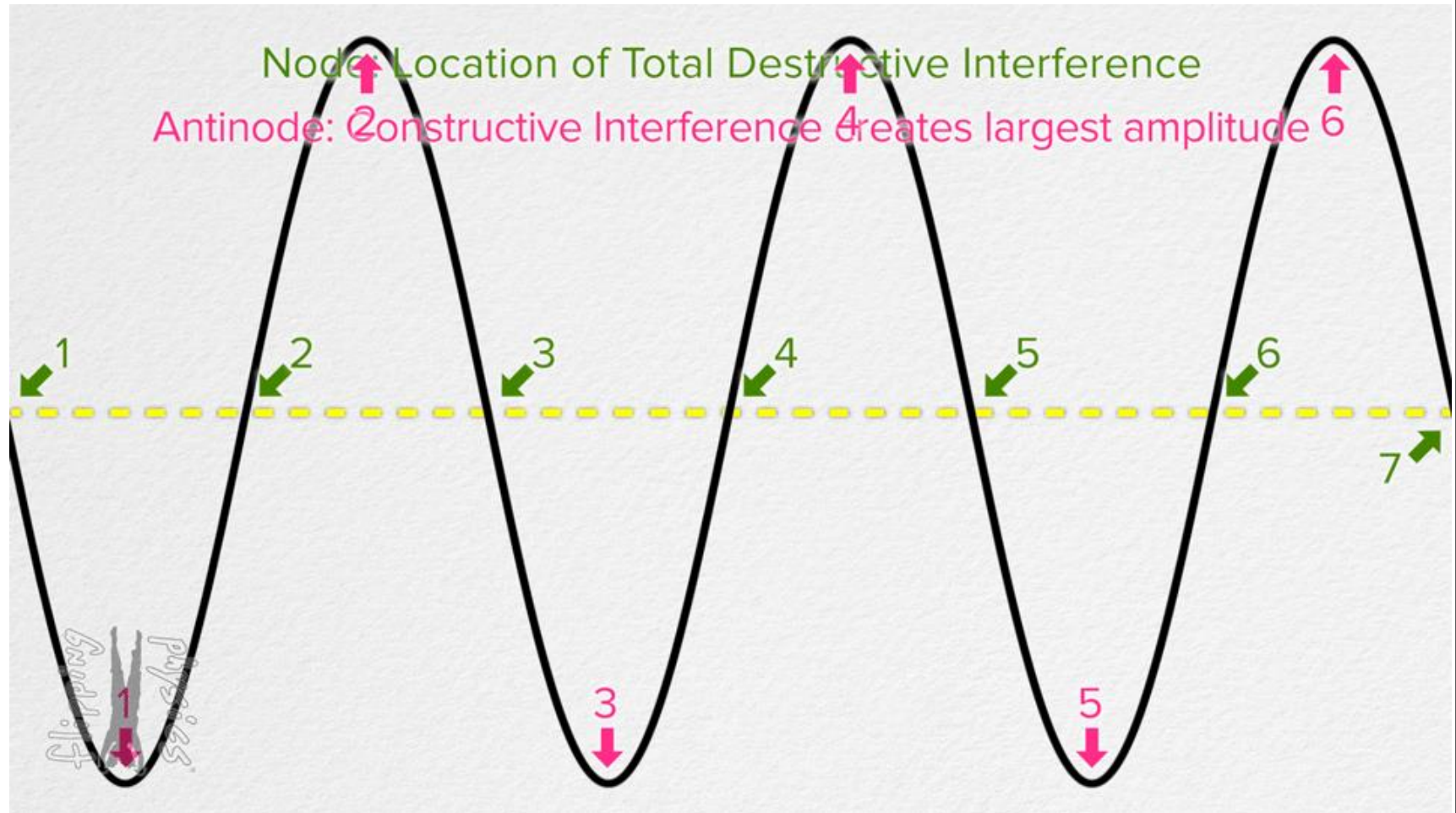
- Στάσιμα κύματα

© 1991 Richard Megna/Fundamental Photographs



Στάσιμα Κύματα

● Στάσιμα κύματα



Στάσιμα Κύματα

- *Στάσιμα κύματα*

- Άρα εύκολα συμπεραίνει κανείς από τα προηγούμενα:

- Απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κοιλιών $= \frac{\lambda}{2}$

- Απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών δεσμών $= \frac{\lambda}{2}$

- Απόσταση μεταξύ δεσμού και επόμενης κοιλίας $= \frac{\lambda}{4}$

Στάσιμα Κύματα

● Παράδειγμα:

- Δυο κύματα τα οποία διαδίδονται προς αντίθετες κατευθύνσεις, δημιουργούν ένα στάσιμο κύμα. Οι επιμέρους κυματοσυναρτήσεις είναι

$$y_1(x, t) = 4 \sin(3x - 2t)$$

$$y_2(x, t) = 4 \sin(3x + 2t)$$

με x, y να μετρώνται σε εκατοστά και ο χρόνος σε δευτερόλεπτα.

- Α) Βρείτε το πλάτος της απλής αρμονικής κίνησης για το στοιχείο του μέσου που βρίσκεται στη θέση $x = 2.3$ εκατοστά.
- Β) Βρείτε τις θέσεις των δεσμών και των κοιλιών αν το ένα άκρο της χορδής βρίσκεται στο σημείο $x = 0$.

Στάσιμα Κύματα

● Παράδειγμα - Λύση:

- Οι επιμέρους κυματοσυναρτήσεις είναι

$$\begin{aligned} y_1 &= 4 \sin(3x - 2t) \\ y_2 &= 4 \sin(3x + 2t) \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} A \sin(kx \pm \omega t) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \nearrow \\ \frac{2\pi}{\lambda} \end{array}$$

- Α) Βρείτε το πλάτος της απλής αρμονικής κίνησης για το στοιχείο του μέσου που βρίσκεται στη θέση $x = 2.3$ εκατοστά.
- Β) Βρείτε τις θέσεις των δεσμών και των κοιλιών αν το ένα άκρο της χορδής βρίσκεται στο σημείο $x = 0$.

$$\begin{aligned} \text{Α) Είναι } y(x,t) &= y_1(x,t) + y_2(x,t) = 4 (\sin(3x - 2t) + \sin(3x + 2t)) \\ &= 8 \sin(3x) \cos(2t). \text{ Το πλάτος είναι } 8 \sin(3x). \end{aligned}$$

Για $x = 2.3$, το πλάτος παίρνει την τιμή $8 \sin(3 \cdot 2.3) \approx 4.6 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{Β) Δεσφοί: } x &= \frac{n\lambda}{2}, n = 0, 1, 2, \dots \\ \text{Είναι } k &= 3 = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{3} \text{ cm} \end{aligned} \quad \left\{ \Rightarrow x_d = \frac{n\pi}{3}, n = 0, 1, 2, \dots \right.$$

$$\text{Αντιδεσφοί: } x = \frac{2n+1}{4} \cdot \lambda \Rightarrow x_a = \frac{(2n+1)\pi}{6}, n = 0, 1, 2, \dots$$

Στάσιμα Κύματα

○ Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

- Θεωρήστε το νήμα της εικόνας

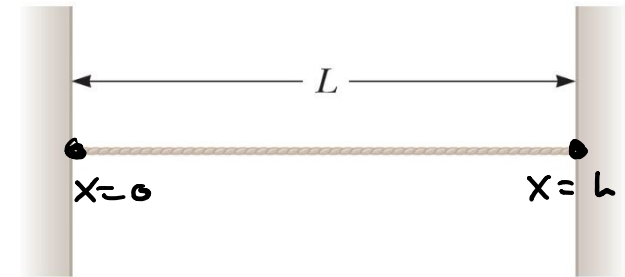
- Χορδή κιθάρας, πιάνου

- Οριακή συνθήκη: το νήμα έχει υποχρεωτικά δεσμούς στα άκρα!

- Αν διεγείρουμε το νήμα στο μέσο του, δυο ημιτονοειδή κύματα θα ταξιδέψουν προς αντίθετες κατευθύνσεις

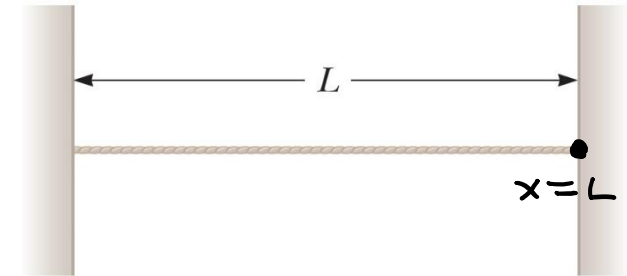
- Όταν φτάσουν στα άκρα του νήματος, θα ανακλαστούν με ίδιο πλάτος και συχνότητα

- Αυτές είναι οι συνθήκες για δημιουργία ενός στάσιμου κύματος!



Στάσιμα Κύματα

• Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

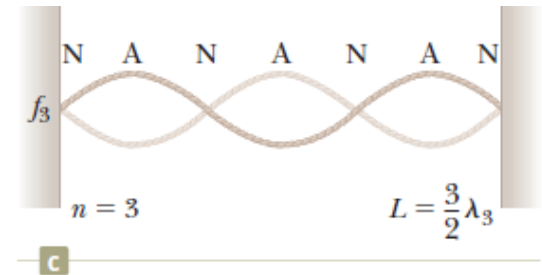
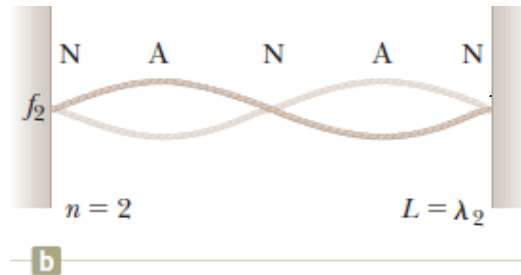
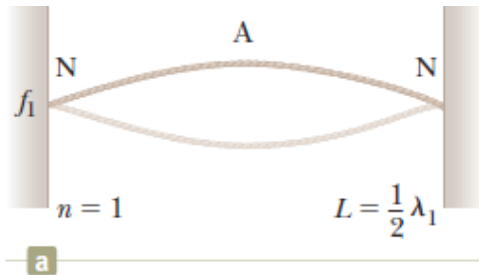


- Οριακή συνθήκη: το νήμα έχει υποχρεωτικά δεσμούς στα άκρα!
 - Άρα το μήκος κύματος είναι προκαθορισμένο
 - $2A \sin kL = 0 \Rightarrow kL = \frac{2\pi}{\lambda} L = n\pi \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$
 - Όπως και η συχνότητά του $\omega = \lambda f$
- Η οριακή συνθήκη προκαλεί ένα συγκεκριμένο αριθμό διακριτών στάσιμων κυμάτων στο νήμα, που λέγονται **κανονικοί τρόποι** ή **ιδιομορφές (modes)**
 - Καθεμία έχει τη δική της συχνότητα, η οποία υπολογίζεται εύκολα
- Το φαινόμενο όπου μόνο συγκεκριμένες συχνότητες ταλάντωσης οδηγούν σε στάσιμο κύμα λέγεται **κβαντισμός**

Στάσιμα Κύματα

Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

- Κανονικός τρόπος (mode) n
- Περιγράφεται ως η ταλάντωση που έχει οριακές συνθήκες στα άκρα της (δεσμοί) και κάθε δεσμός απέχει $\frac{1}{4}$ του μήκους κύματος από τον επόμενο/προηγούμενο αντιδεσμό



- Μήκη κύματος

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, n \in \mathbb{N}$$

- Φυσικές συχνότητες

$$f_n = \frac{u}{\lambda_n} = n \frac{u}{2L} = n f_1, n \in \mathbb{N}$$

- Για νήμα τάσης T και γραμμικής πυκνότητας μ ,

$$u = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}, n \in \mathbb{N}$$

Στάσιμα Κύματα

- Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

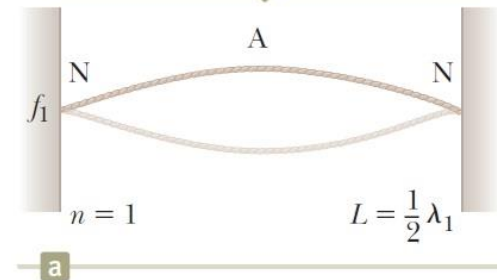
- Κανονικές μορφές (modes) n

- Για $n = 1$, η συχνότητα αυτή λέγεται **θεμελιώδης συχνότητα**

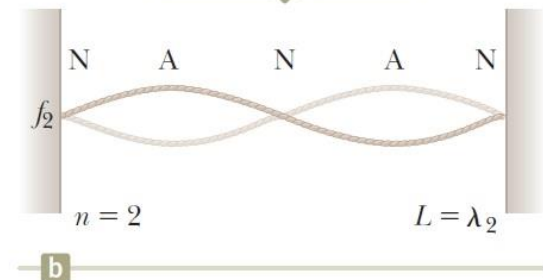
- Οι υπόλοιπες είναι ακέραιες πολλαπλάσιες αυτής $f_n = n f_1$

- Συχνότητες κανονικών τρόπων που παρουσιάζουν αυτήν την ακέραια πολλαπλάσια σχέση δημιουργούν μια **αρμονική σειρά** και οι τρόποι αυτοί λέγονται **αρμονικές**

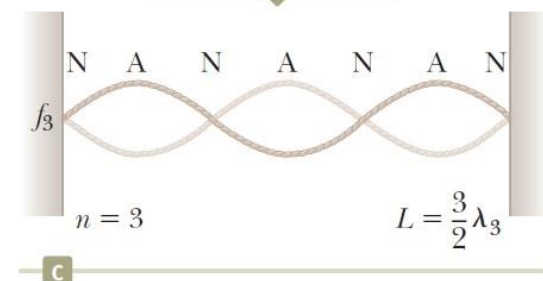
Πρώτη αρμονική (θεμελιώδης)



Δεύτερη αρμονική



Τρίτη αρμονική

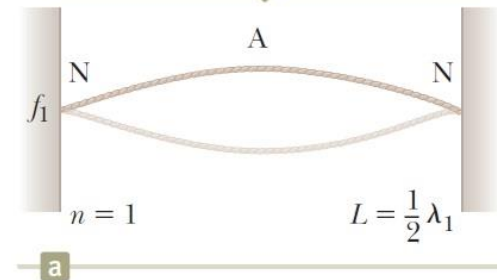


Στάσιμα Κύματα

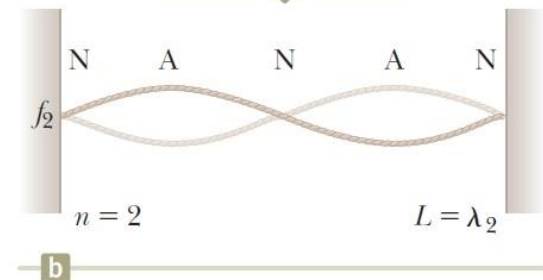
• Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

- Για να παρουσιαστεί μια μόνο αρμονική, πρέπει να διεγείρουμε το νήμα ώστε να πάρει το σχήμα της επιθυμητής αρμονικής
 - Αφού το διεγείρουμε, το νήμα θα ταλαντωθεί στην αντίστοιχη συχνότητα
 - Δύσκολο να επιτευχθεί για τις περισσότερες αρμονικές
- Αν διεγείρουμε το νήμα με τυχαίο τρόπο, μόνο κύματα που ικανοποιούν τις οριακές συνθήκες θα «επιζήσουν» στο νήμα
 - Αυτά είναι οι αρμονικές ☺

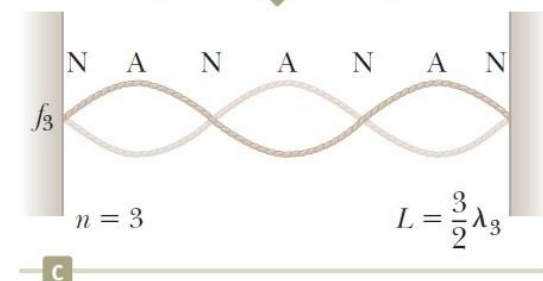
Πρώτη αρμονική (θεμελιώδης)



Δεύτερη αρμονική



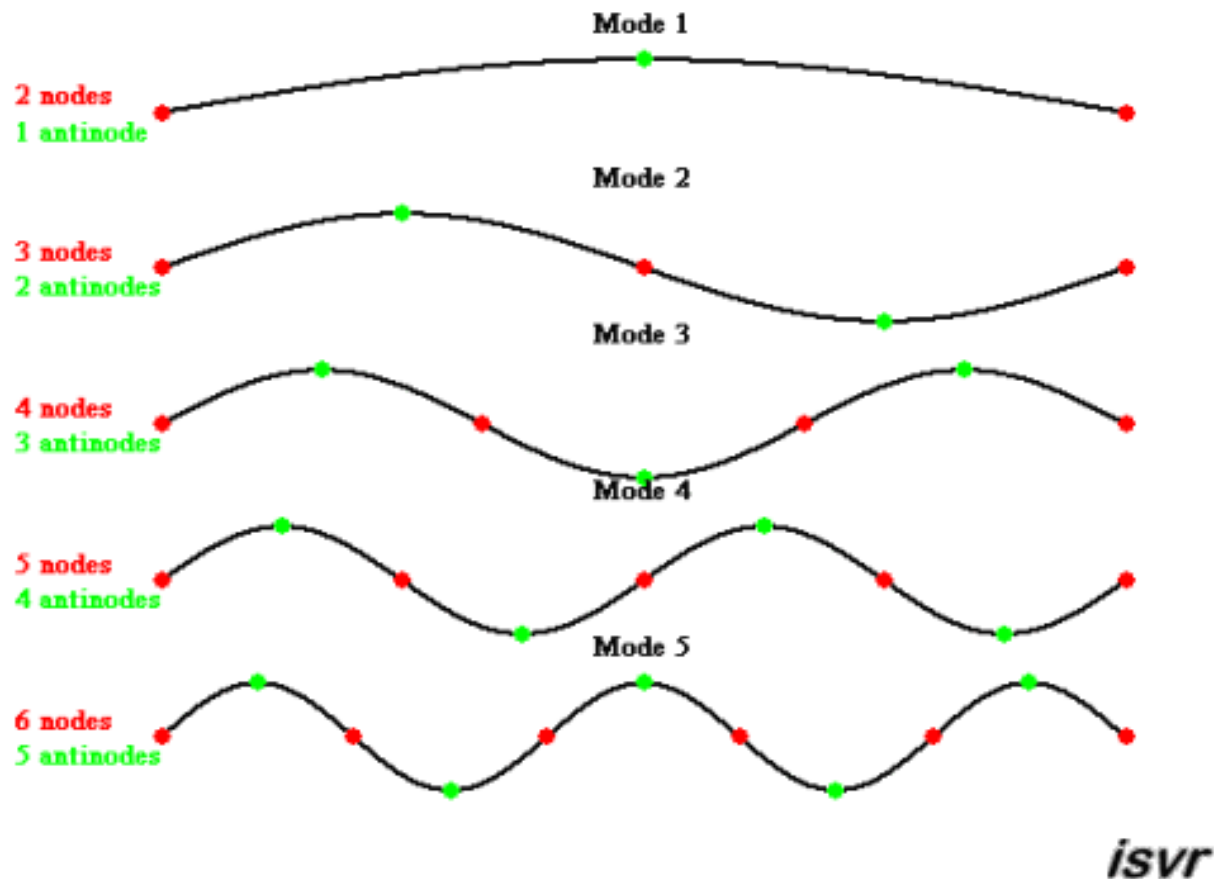
Τρίτη αρμονική



Στάσιμα Κύματα

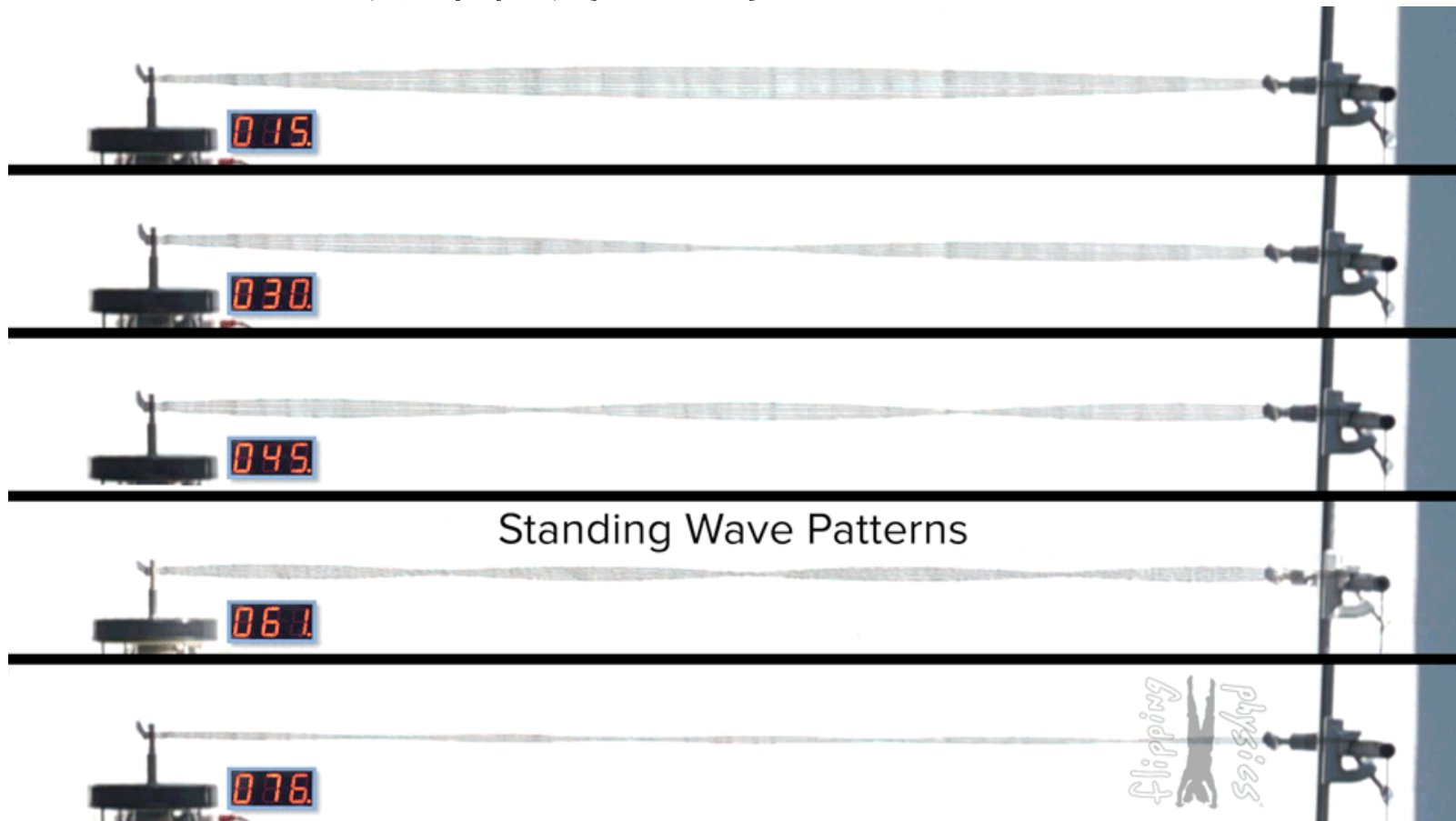
- Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες
- Κανονικές μορφές (modes) n

node = δεσμός
antinode = ανυψωτός



Στάσιμα Κύματα

- Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες
 - Κανονικές μορφές (modes) n

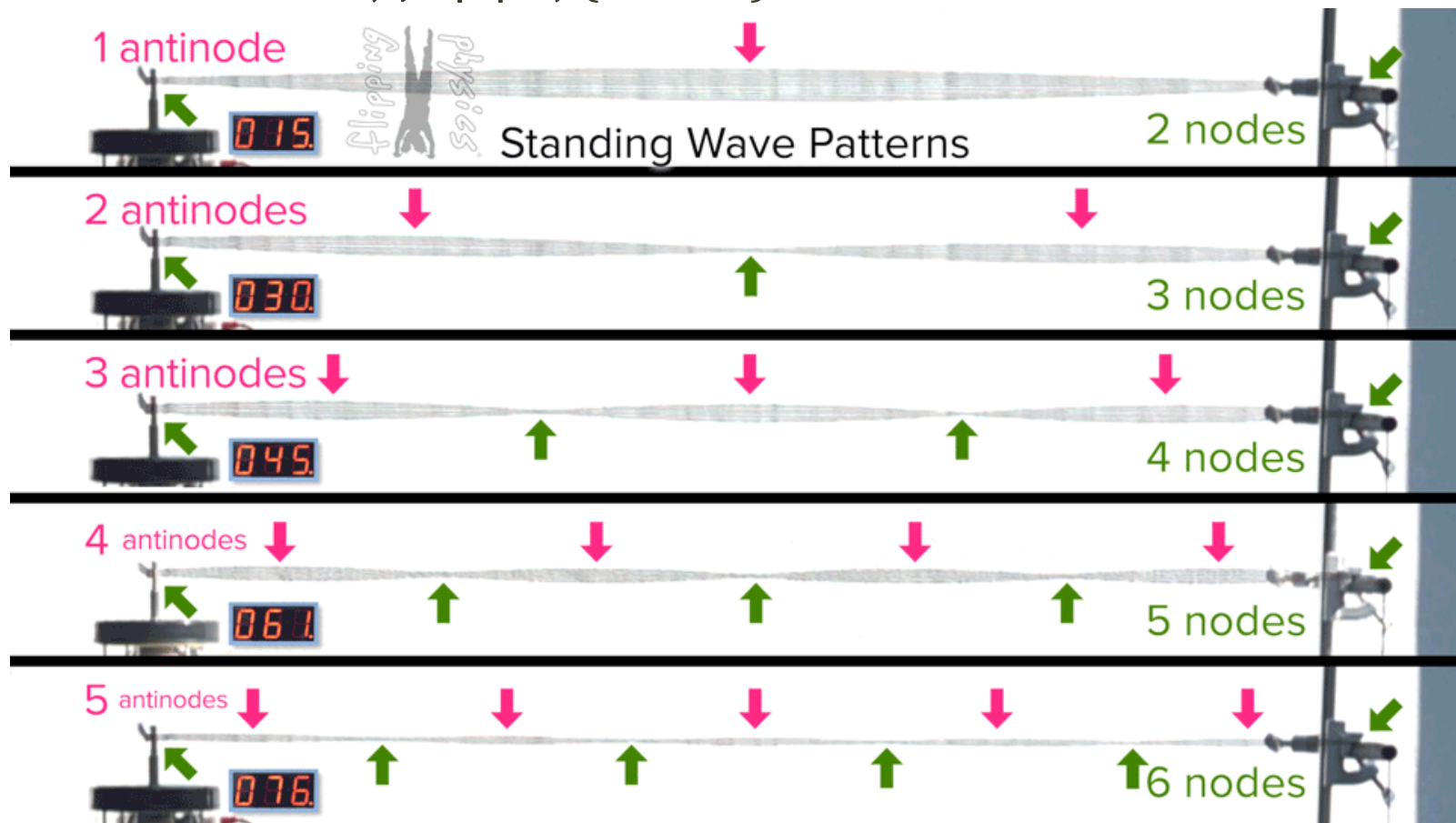


Στάσιμα Κύματα

Κύματα υπό Οριακές Συνθήκες

Κανονικές μορφές (modes) n

node = δεσμός
antinode = ανυδεσμός



Στάσιμα Κύματα

◉ Διακροτήματα

- ◉ Μελετήσαμε φαινόμενα συμβολής κυμάτων με την ίδια συχνότητα
 - ◉ Ανάλογα με τη θέση κάθε στοιχείου είχαμε διαφορετικό πλάτος ταλάντωσης του στοιχείου – **χωρική συμβολή**
- ◉ Τι θα συμβεί αν τα συμβαλλόμενα κύματα έχουν λίγο διαφορετική συχνότητα?
 - ◉ Σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου τα κύματα τότε θα είναι σε φάση και τότε θα είναι εκτός φάσης
 - ◉ Δηλ. υπάρχει χρονική εναλλαγή μεταξύ καταστρεπτικής και ενισχυτικής συμβολής
 - ◉ Αυτό ονομάζεται **χρονική συμβολή**
- ◉ **Διακρότημα** ονομάζεται η περιοδική μεταβολή του πλάτους σε ένα δεδομένο σημείο λόγω της υπέρθεσης δυο κυμάτων με λίγο διαφορετικές συχνότητες

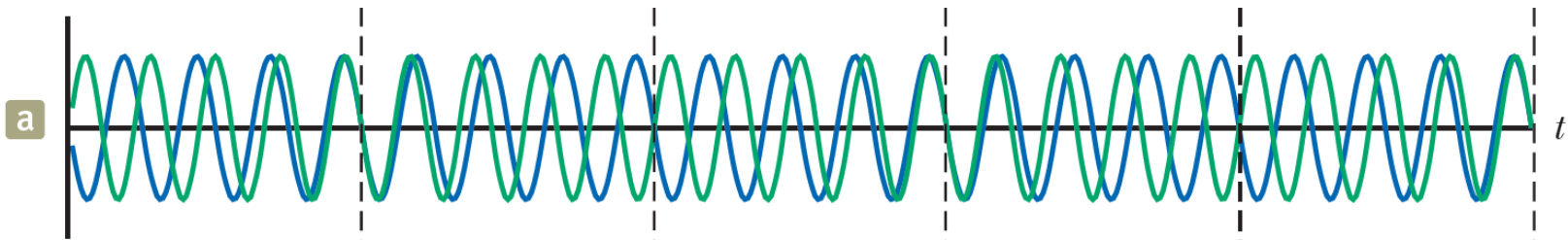
Στάσιμα Κύματα

$$\cos \theta + \cos \varphi = 2 \cos \left(\frac{\theta + \varphi}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta - \varphi}{2} \right)$$

• Διακροτήματα

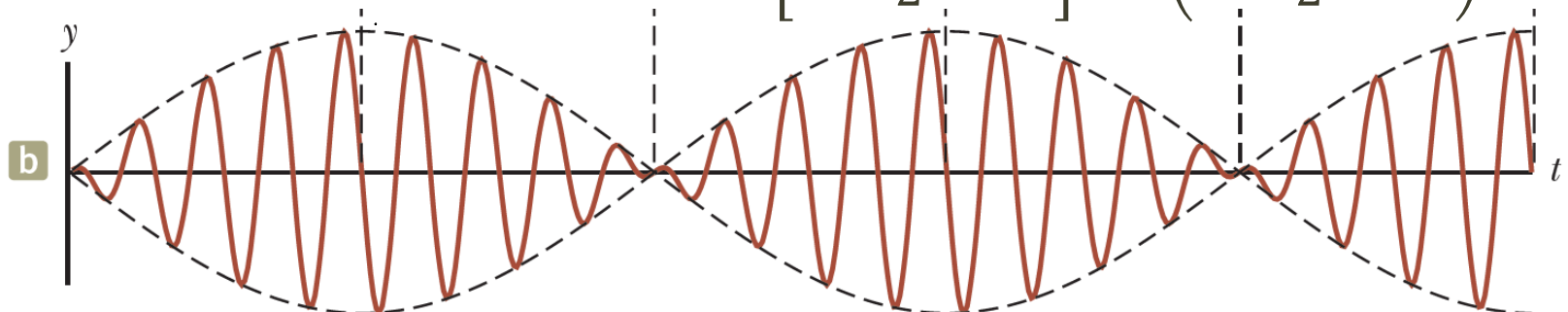
- Έστω οι συχνότητες f_1 και f_2 για δυο κύματα με ίσα πλάτη
- Οι σχέσεις που τα περιγράφουν είναι

$$y_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad , \quad y_2(t) = A \cos(2\pi f_2 t)$$



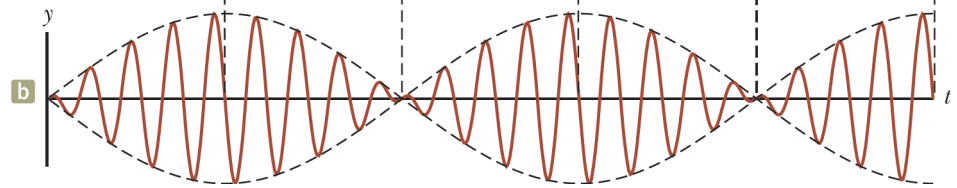
- Το συνολικό κύμα θα δίνεται ως

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = 2A \cos \left[\frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2} t \right] \cos \left(\frac{2\pi(f_1 + f_2)}{2} t \right)$$



Στάσιμα Κύματα

● Διακροτήματα



$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = 2A \cos \left[\frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2} t \right] \cos \left(\frac{2\pi(f_1 + f_2)}{2} t \right)$$

- Η διακεκομμένη γραμμή ονομάζεται **περιβάλλουσα (envelope)**
- Είναι

$$y_{\text{περ}}(t) = 2A \cos \left[\frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2} t \right]$$

600 Hz



- Η παραπάνω συνάρτηση εμφανίζει ακρότατα όταν

596 Hz



$$\cos \left[\frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2} t \right] = \pm 1$$

- Άρα υπάρχουν δυο μέγιστα σε κάθε περίοδο της περιβάλλουσας
- Συχνότητα διακροτήματος

Beat @ 4 Hz

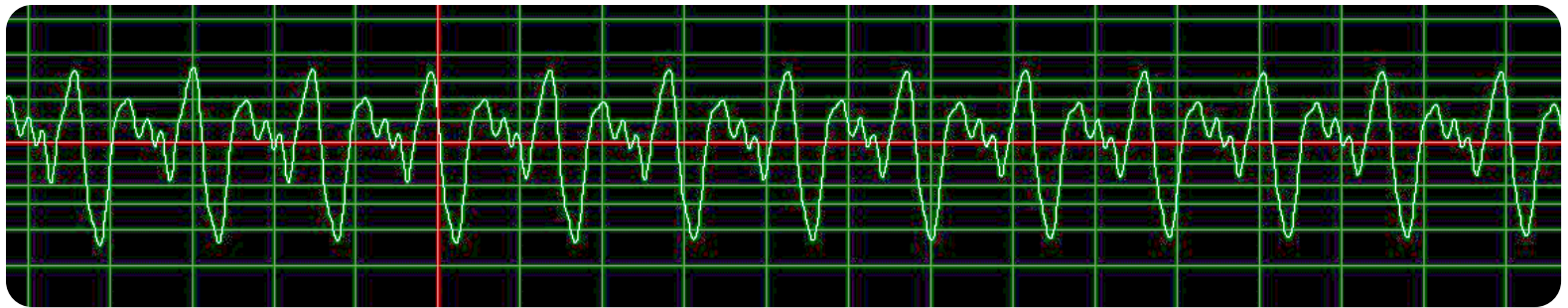
$$f_{\text{beat}} = \frac{2|f_1 - f_2|}{2} = |f_1 - f_2|$$



Στάσιμα Κύματα

- Μη-ημιτονοειδή κύματα

- Πολλά κύματα δεν είναι ημιτονοειδή
- Αν όμως είναι **περιοδικά**, τότε μπορούν να αναπαρασταθούν ως άθροισμα ημιτόνων και συνημιτόνων
- Παίξιμο μιας νότας στην κιθάρα



- Το άθροισμα αυτό βρίσκεται μέσω μιας τεχνικής που ονομάζεται **θεώρημα Fourier**
- Το αντίστοιχο άθροισμα ονομάζεται **Σειρά Fourier**



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». ☺ (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρικά Πεδία



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». ☺ (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρικά Πεδία

Ηλεκτρομαγνητισμός

- Μελέτη των φαινομένων που σχετίζονται με τον **ηλεκτρισμό** και το **μαγνητισμό**
- Νόμοι του Ηλεκτρομαγνητισμού
 - Πανταχού παρόντες: smartphones, τηλεοράσεις, ηλεκτροκινητήρες, Η/Υ, επιταχυντές σωματιδίων, κ.α.
- Ηλεκτρικός → ήλεκτρο (αρχ. Ελλ.) = κεχριμπάρι (απολιθωμένη ρητίνη, παράγωγο των κωνοφόρων δένδρων)
- Μαγνητικός → Μαγνησία Μ. Ασίας (σημερινή Μανίσα, κοντά στη Σμύρνη) → περιοχή που βρέθηκε για πρώτη φορά ο μαγνητίτης
- Επιστήμονες: Oersted, Ampere, Weber, Faraday, Henry, **Maxwell**
 - **James Clerk Maxwell : Isaac Newton του ηλεκτρομαγνητισμού**



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». ☺ (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρικά Πεδία



Εικόνα: Μητέρα και κόρη απολαμβάνουν την επίδραση της ηλεκτρικής φόρτισης των σωμάτων τους. Κάθε μια ξεχωριστή τρίχα των μαλλιών τους φορτίζεται και προκύπτει μια απωθητική δύναμη μεταξύ των τριχών, με αποτέλεσμα να «σηκώνονται οι τρίχες τους». ☺ (Courtesy of Resonance Research Corporation)

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρομαγνητισμός
Ηλεκτρικά Πεδία

Ηλεκτρικά Πεδία

- Όλοι έχετε “δει” ηλεκτρικά πεδία γύρω σας
 - Τρίψτε ένα μπαλόνι στα μαλλιά σας και θα δείτε ότι έλκει κομματάκια χαρτιού
- Μια τέτοια συμπεριφορά της ύλης αναφέρεται ως **ηλεκτρική φόρτιση**
- Απλά πειράματα έδειξαν ότι υπάρχουν δυο είδη ηλεκτρικού φορτίου (B. Franklin)
 - Ονομάστηκαν *θετικό* και *αρνητικό φορτίο*
 - Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο
 - Τα πρωτόνια έχουν θετικό φορτίο
- **Φορτία ίδιου προσήμου απωθούνται**
- **Φορτία αντίθετου προσήμου έλκονται**

Ηλεκτρικά Πεδία

- ◉ Διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου
 - ◉ ...σε απομονωμένο σύστημα
 - ◉ Μεταφορά φορτίου από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο
 - ◉ Το ένα φορτίζεται θετικά, το άλλο αρνητικά
 - ◉ Ποιος είναι όμως ο «μεταφορέας» του φορτίου;
 - ◉ Ξέρουμε πλέον ότι τα **ηλεκτρόνια** μεταφέρουν φορτίο
 - ◉ Ηλεκτρόνια μεταφέρονται από ένα υλικό σε ένα άλλο, δημιουργώντας θετικό ή αρνητικό φορτίο
- ◉ Το 1909, ο Milikan ανακάλυψε ότι το ηλεκτρικό φορτίο q συμβαίνει στη φύση σε ακέραια πολλαπλάσια ενός στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου e $q = Ne, N \in \mathbb{Z}$
 - ◉ Λέμε ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι **κβαντισμένο**
 - ◉ Ηλεκτρόνιο: φορτίο $-e$
 - ◉ Πρωτόνιο: φορτίο $+e$

Ηλεκτρικά Πεδία

◉ *Κατηγοριοποίηση υλικών*

- ◉ **Αγωγοί:** υλικά όπου κάποια ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα και δεν είναι δεσμευμένα σε άτομα, και μπορούν να κινηθούν σχετικά ελεύθερα στο υλικό
 - ◉ Όταν φορτιστούν, το φορτίο κατανέμεται σε όλη την επιφάνεια του υλικού
- ◉ **Μονωτές:** υλικά που όλα τα ηλεκτρόνιά τους είναι δεσμευμένα σε άτομα και δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα
 - ◉ Όταν φορτιστούν, το φορτίο κατανέμεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή
- ◉ **Ημιαγωγοί:** με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ατόμων στο υλικό, εναλλάσσονται από αγωγοί σε μονωτές

Ηλεκτρικά Πεδία

- **Ο νόμος του Coulomb**

- Ο Charles Coulomb ανακάλυψε το μέτρο των ηλεκτρικών δυνάμεων ανάμεσα σε ακίνητα φορτισμένα σωματίδια
- Από τα πειράματά του προέκυψε ότι **η ηλεκτρική δύναμη ανάμεσα σε δυο ακίνητα φορτισμένα σωματίδια q_1, q_2 (μηδενικού μεγέθους - σημειακά) που απέχουν απόσταση r μεταξύ τους δίνεται από τη σχέση**

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

όπου k_e ονομάζεται σταθερά του Coulomb

Ηλεκτρικά Πεδία

- **Ο νόμος του Coulomb**

- Πειράματα έδειξαν ότι η ηλεκτρική δύναμη είναι συντηρητική
- Μονάδα μέτρησης στο S.I. : Newton (N)
- Σταθερά k_e

- $k_e = 8.987 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \sim 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

- Επίσης, γράφεται ως $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

- όπου $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$, και λέγεται **διηλεκτρική σταθερά του κενού**

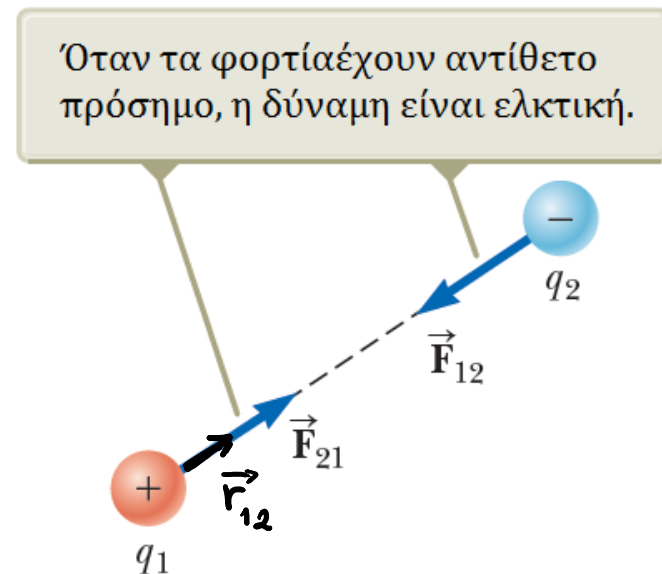
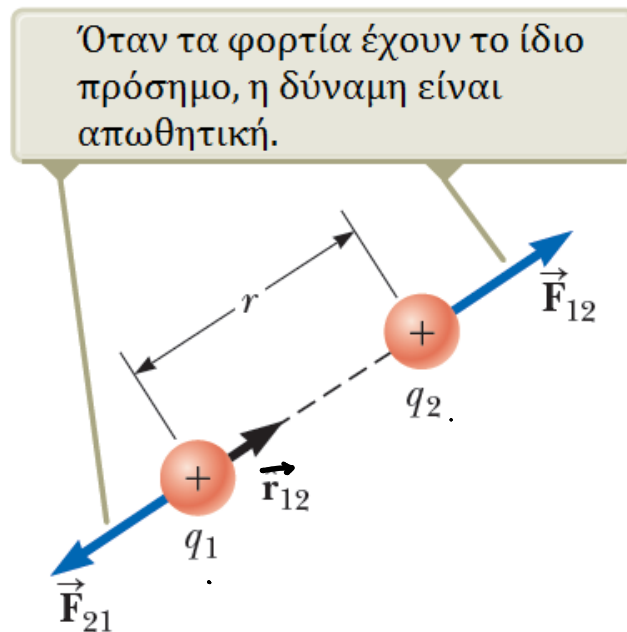
- Το μικρότερο ελεύθερο φορτίο που έχει βρεθεί στη φύση είναι $e = 1.602 \times 10^{-19} C$
 - C = Coulomb: μη θεμελιώδης μονάδα μέτρησης
 - Εξαρτάται από άλλες μονάδες που θα δούμε στη συνέχεια

Ηλεκτρικά Πεδία

- Ο νόμος του *Coulomb* – Διανυσματική μορφή

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

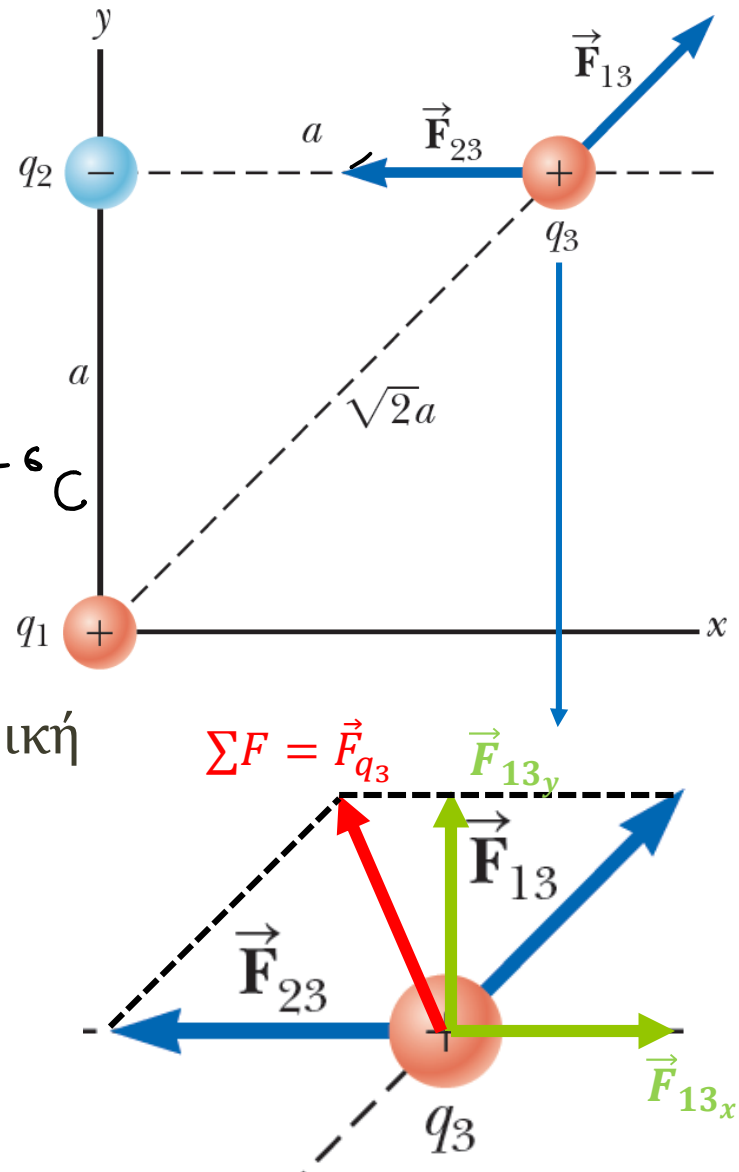
- με $\vec{r}_{12}$ το μοναδιαίο διάνυσμα από το φορτίο 1 στο φορτίο 2



Ηλεκτρικά Πεδία

Παράδειγμα:

- Τρία σημειακά φορτία βρίσκονται στις γωνίες ενός ισοσκελούς ορθογωνίου τριγώνου όπως στο σχήμα.
Δίδεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$.
Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη που ασκείται στο q_3 .



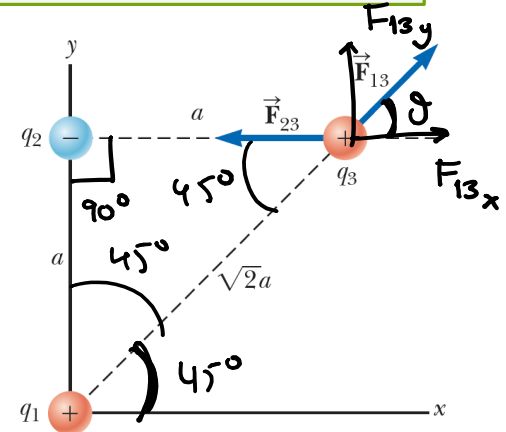
Ηλεκτρικά Πεδία

● Παράδειγμα - Λύση:

- Δίδεται ότι $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ και $a = 0.1 \text{ m}$. Βρείτε τη συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη στο q_3 .

$$* |F_{q_3}| = 7.97 \text{ N}$$

$$\varphi = 98^\circ$$



Είναι $\sum \vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13}$. Αναλύουμε κατά άξονες:

Πριν αναλύσουμε, έχουμε:

$$F_{13} = k_e \frac{|q_1| |q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = k_e \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0.01} = \dots \simeq 11.2 \text{ N}$$

$$F_{23} = k_e \frac{|q_2| |q_3|}{a^2} = k_e \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{0.01} = \dots \simeq 9.0 \text{ N} \quad 7.9 \text{ N}$$

$$x\text{-άξονα: } F_{q_{3x}} = F_{13x} - F_{23} = F_{13} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - F_{23} = 11.2 \frac{\sqrt{2}}{2} - 9.0 \simeq -1.1 \text{ N}$$

$$y\text{-άξονα: } F_{q_{3y}} = F_{13y} = F_{13} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = 11.2 \frac{\sqrt{2}}{2} \simeq 7.9 \text{ N}$$

$$\text{Άρα } \sum \vec{F}_{q_3} = \vec{F}_{q_{3x}} + \vec{F}_{q_{3y}} = -1.1 \cdot \vec{i} + 7.9 \cdot \vec{j} \text{ N} *$$



Συνεχίζεται... 😊
