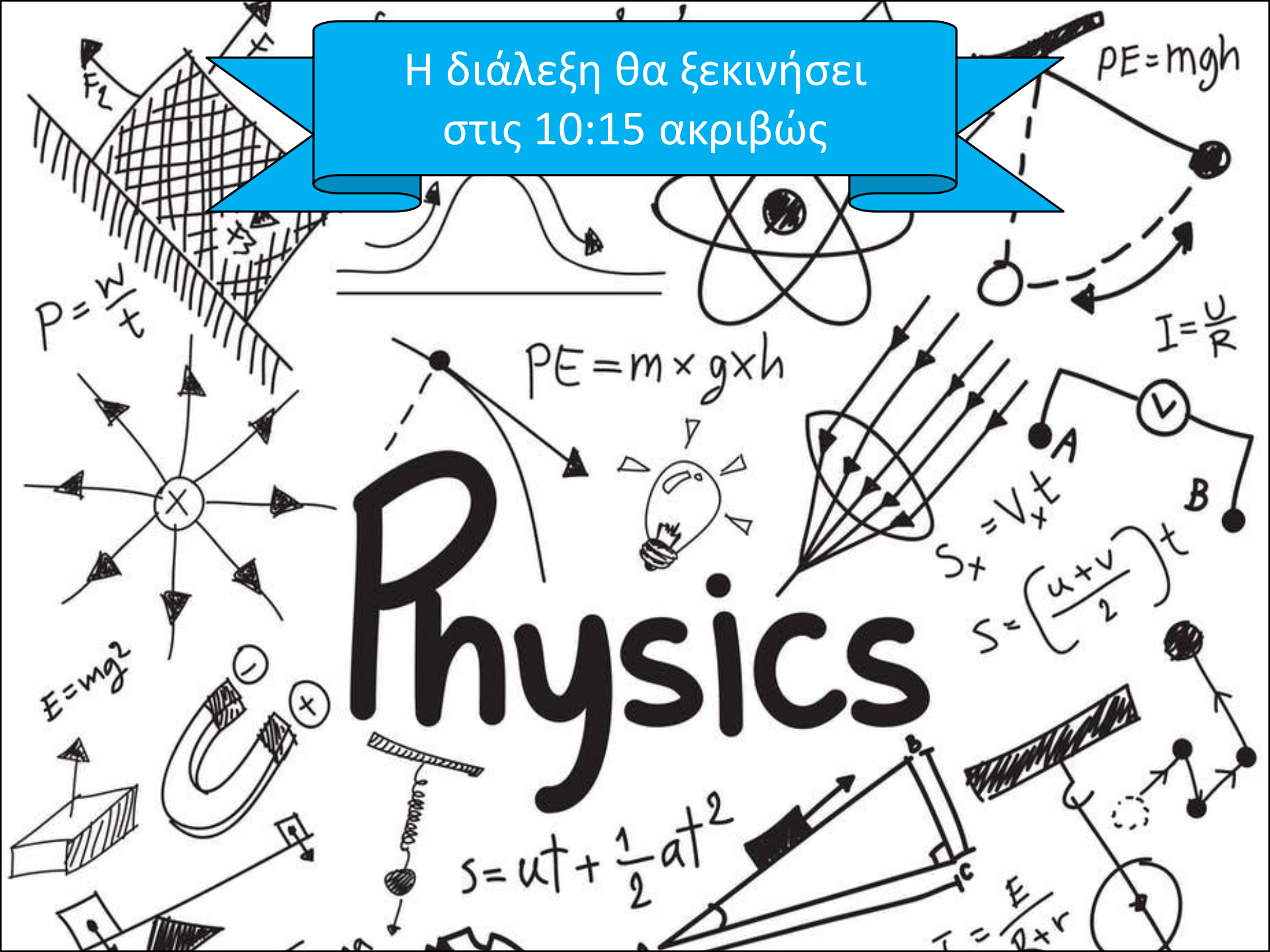


Η διάλεξη θα ξεκινήσει
στις 10:15 ακριβώς

Physics





Εικόνα: Ναυαγοςώστες στην Αυστραλία εκπαιδεύονται στην αντιμετώπιση μεγάλων κυμάτων. Τα κύματα που κινούνται στην επιφάνεια του νερού αποτελούν ένα παράδειγμα μηχανικών κυμάτων.

Φυσική για Μηχανικούς

Κύματα



Εικόνα: Ναυαγосώστες στην Αυστραλία εκπαιδεύονται στην αντιμετώπιση μεγάλων κυμάτων. Τα κύματα που κινούνται στην επιφάνεια του νερού αποτελούν ένα παράδειγμα μηχανικών κυμάτων.

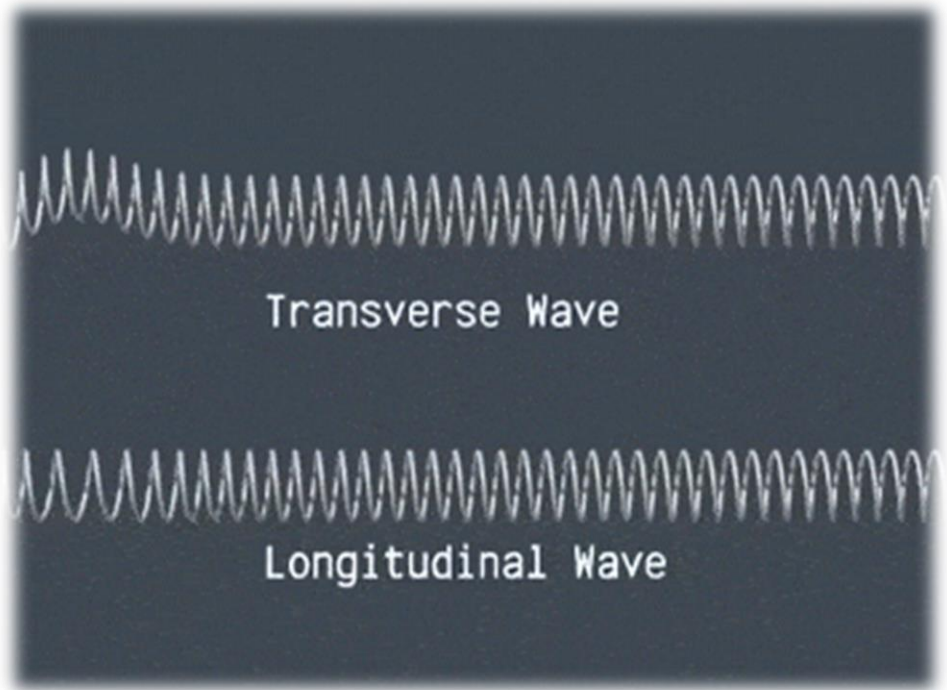
Φυσική για Μηχανικούς

Κύματα

Κύματα (review...)

- Κυματική κίνηση
 - Μεταφορά ενέργειας και όχι ύλης

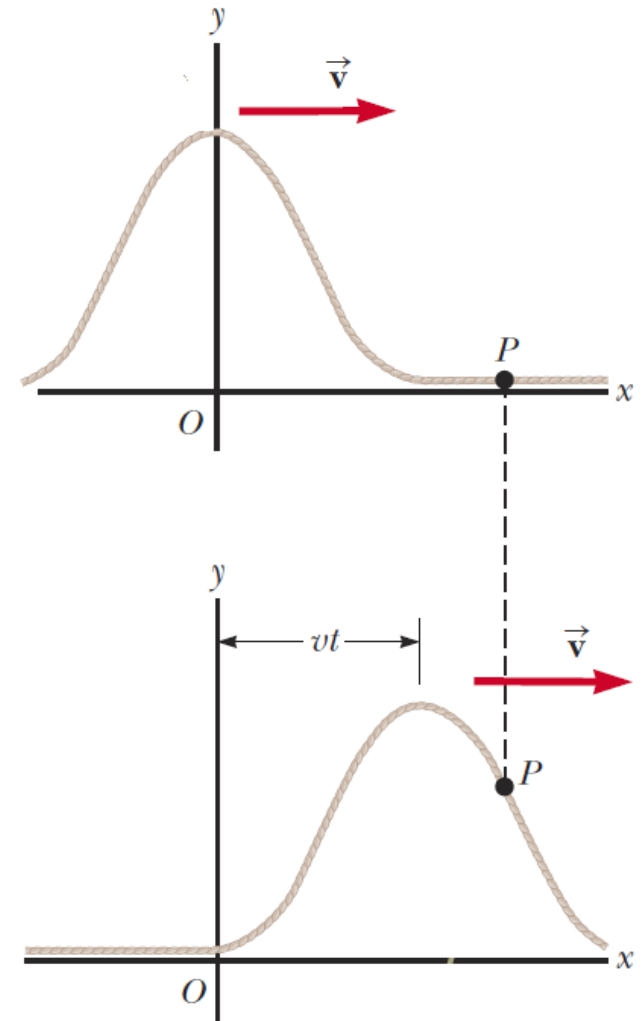
- Εγκάρσια κύματα



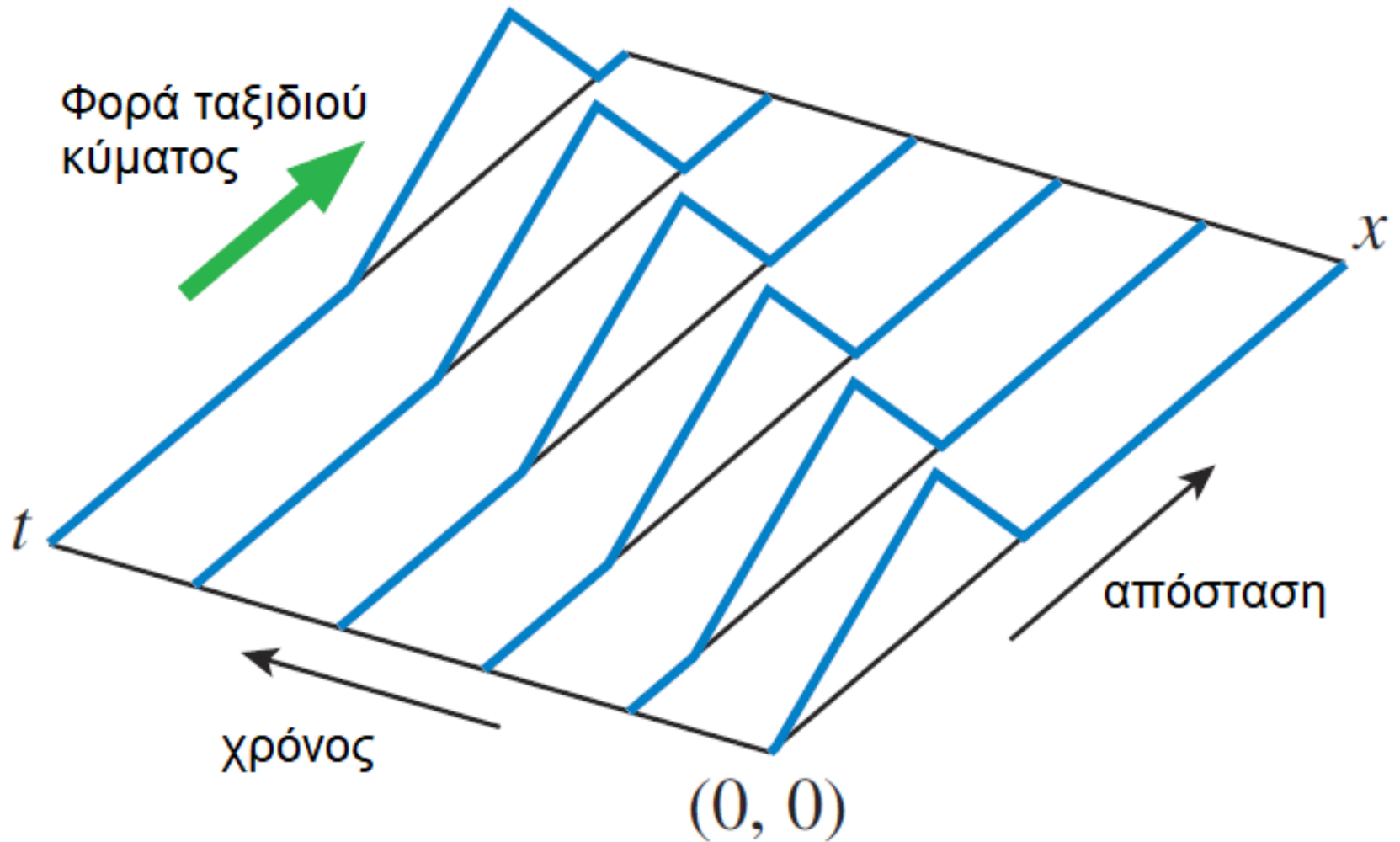
- Διαμήκη κύματα

Κύματα (review...)

- Κυματοσυνάρτηση – Συνάρτηση Κύματος $y(x, t)$
- Μετατόπιση y του στοιχείου ενός κύματος ως προς τη θέση του x τη χρονική στιγμή t
 - $y(x, t) = f(x - ut, t)$ → κίνηση προς τα δεξιά
 - $y(x, t) = f(x + ut, t)$ → κίνηση προς τα αριστερά
 - όπου u η ταχύτητα του παλμού
 - Για $t = \text{σταθερό}$, παρατηρούμε μια «φωτογραφία» του όλου κύματος για μια χρονική στιγμή
 - Για $x = \text{σταθερό}$, παρατηρούμε την κίνηση ενός στοιχείου του κύματος με την πάροδο του χρόνου



Κύματα (review...)



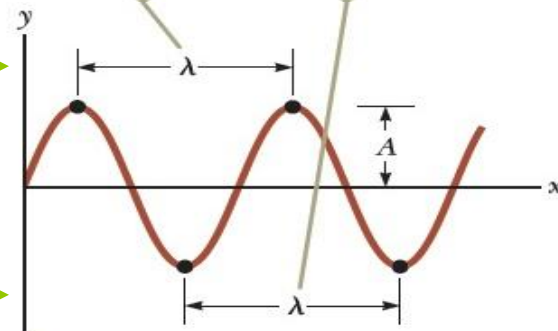
Κύματα (review...)

- Ημιτονοειδή κύματα

- Μήκος κύματος λ

- Απόσταση!

Το μήκος κύματος λ ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων.



a

- Περίοδος T

- Χρόνος!

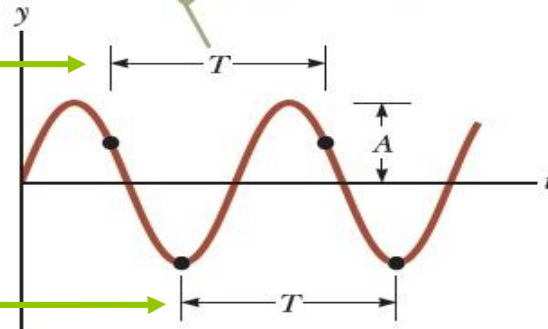
Η περίοδος T ενός κύματος είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το στοιχείο για να εκτελέσει μια πλήρη ταλάντωση ή το κύμα για να διατρέξει ένα μήκος κύματος.

- Συχνότητα f

- Αριθμός κορυφών ανά μονάδα χρόνου

- $f = 1/T$

- Μετρείται σε Hertz (Hz)



b

Κύματα (review...)

- Κυματοσυνάρτηση

$$y(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x \pm ut) + \varphi\right)$$

- Ταχύτητα διάδοσης

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

- Κυματαριθμός

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

- Κυκλική συχνότητα

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

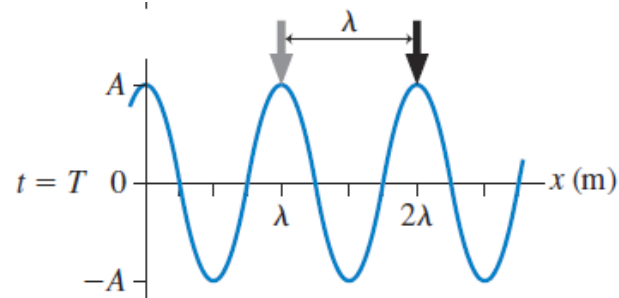
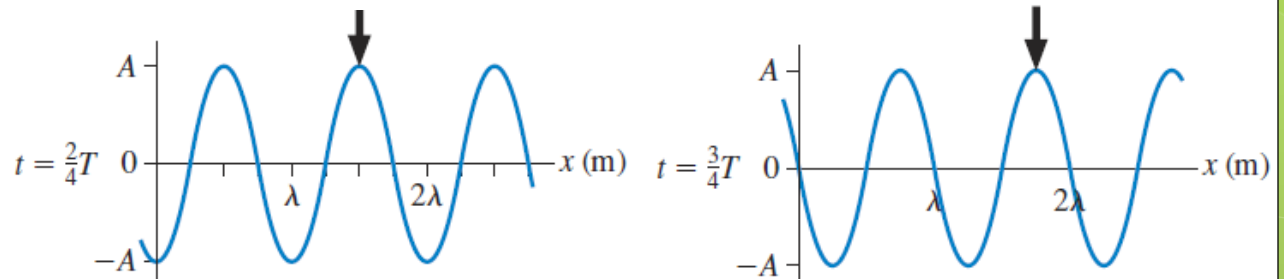
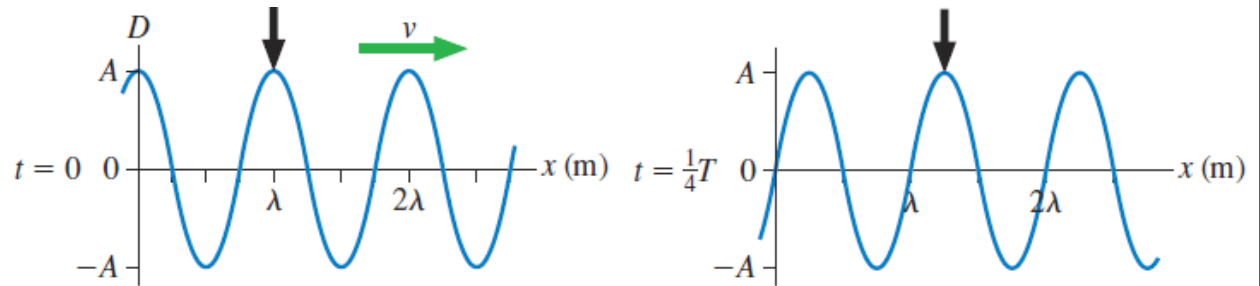
- Οπότε

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

Κύματα

- Ταχύτητα διάδοσης

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$



Το μήκος κύματος αποτελεί «συνέπεια» ενός κύματος συχνότητας f που ταξιδεύει σε μέσο στο οποίο η ταχύτητα του κύματος ισούται με u

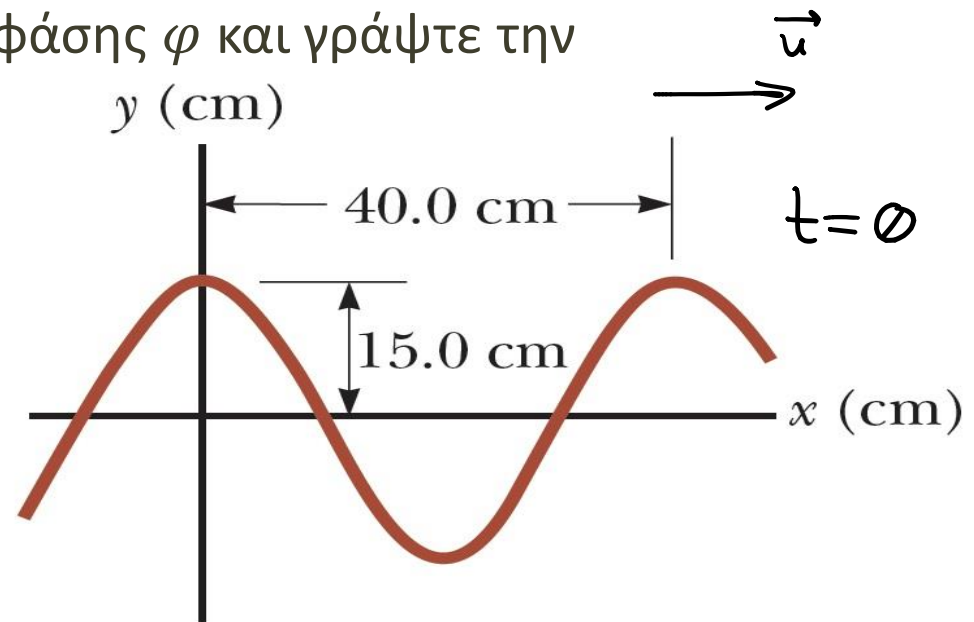
Κύματα

- Παράδειγμα:

- Ημιτονοειδές κύμα που διαδίδεται στην θετική κατεύθυνση του x -άξονα έχει πλάτος 15 cm, μήκος 40 cm, και συχνότητα 8 Hz. Η χρονική στιγμή $t = 0$ φαίνεται στο σχήμα.

- A) Βρείτε τα k , T , ω , u .

- B) Βρείτε τη σταθερά φάσης φ και γράψτε την κυματοσυνάρτηση.



Κύματα

◉ Παράδειγμα – Λύση:

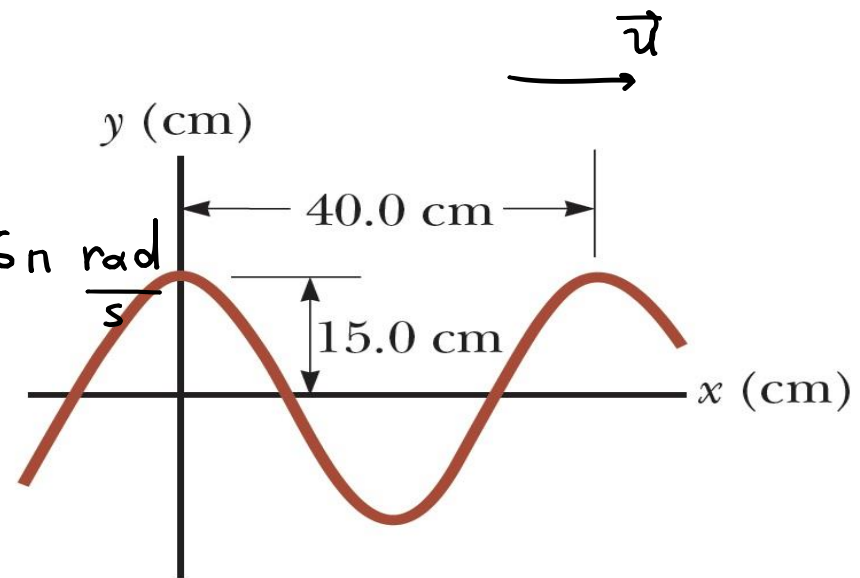
- ◉ Ημιτονοειδές κύμα που διαδίδεται στην θετική κατεύθυνση του x -άξονα έχει πλάτος 15 cm, μήκος 40 cm, και συχνότητα 8 Hz. Η χρονική στιγμή $t = 0$ φαίνεται στο σχήμα.
- ◉ A) Βρείτε τα k , T , ω , u .

Είναι: $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.4} = 5\pi \text{ rad/m}$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8} \text{ sec}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 8 = 16\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$u = \lambda f = 0.4 \cdot 8 \\ = 3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Κύματα

* Άρα

○ Παράδειγμα – Λύση:

$$y(x,t) = 0.15 \sin\left(5\pi x - 16\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$$

- Ημιτονοειδές κύμα που διαδίδεται στην θετική κατεύθυνση του x -άξονα έχει πλάτος 15 cm, μήκος 40 cm, και συχνότητα 8 Hz. Η χρονική στιγμή $t = 0$ φαίνεται στο σχήμα.
- Β) Βρείτε τη σταθερά φάσης φ και γράψτε την κυματοσυνάρτηση.

Είναι:

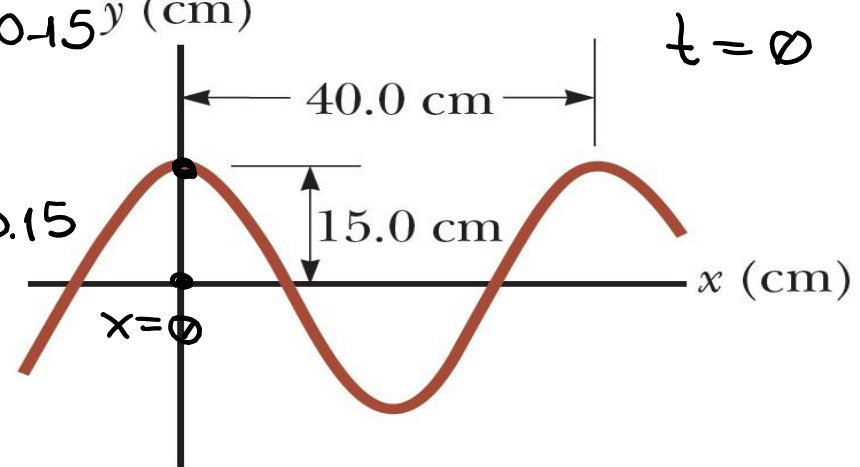
$$y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi) \xrightarrow{t=0} y(x,0) = A \sin(kx + \varphi)$$

$$\text{Για } x=0, y(0,0) = A \sin(\varphi) = 0.15 \text{ y (cm)}$$

Άρα

$$A \sin \varphi = 0.15 \Rightarrow 0.15 \sin \varphi = 0.15$$

$$\Leftrightarrow \sin \varphi = 1 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2} *$$



Κύματα

○ Ημιτονοειδή κύματα

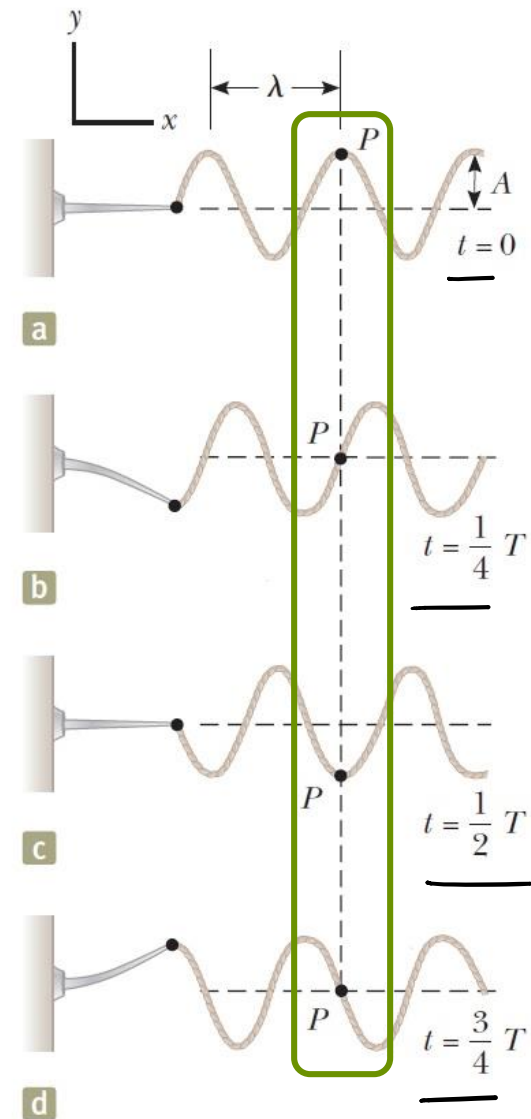
- Κυματοσυνάρτηση που περιγράφει το κύμα του σχήματος (για $t = 0$ όπως στο σχήμα):

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

- Άρα περιγράφει και την κίνηση κάθε σημείου του, όπως π.χ. το P
- Εγκάρσια ταχύτητα και επιτάχυνση του στοιχείου P

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

$$a_y = \frac{\partial v_y}{\partial t} = -\omega^2 A \sin(kx - \omega t)$$



Κύματα

- Ταχύτητα Διάδοσης v κύματος σε τεντωμένο νήμα

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

όπου T η τάση του νήματος, και μ η μάζα του νήματος ανά μονάδα μήκους

- Μάζα ανά μονάδα μήκους

$$\mu = \frac{m}{l}$$

- Λέγεται και γραμμική πυκνότητα μάζας

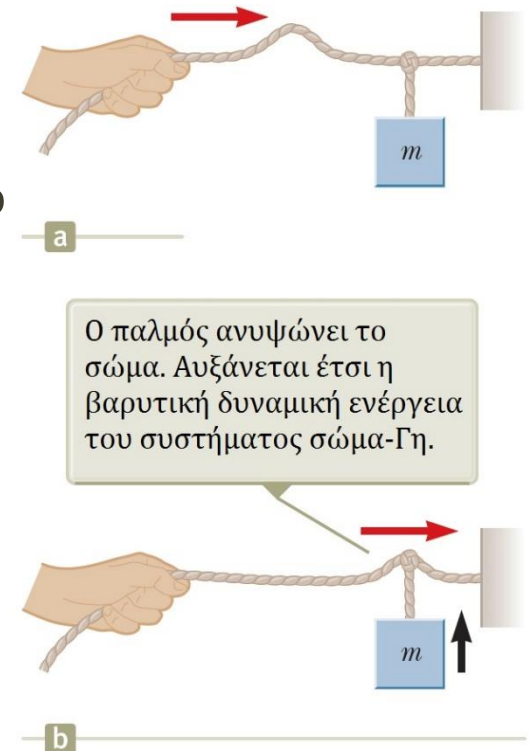
Κύματα

● Μεταφορά ενέργειας σε νήμα

- Είπαμε ότι στα μηχανικά κύματα μεταφέρεται ενέργεια
- Που πηγαίνει αυτή η ενέργεια;

● Παράδειγμα:

- Έστω το {σώμα + Γη} ως μη απομονωμένο σύστημα
- Ενέργεια λόγω έργου (χέρι)
 - Εξωτερική στο σύστημα
- Διάδοση κατά μήκος του νήματος
- Ανύψωση σώματος
 - Μεταβολή δυναμικής ενέργειας συστήματος Γη-σώμα

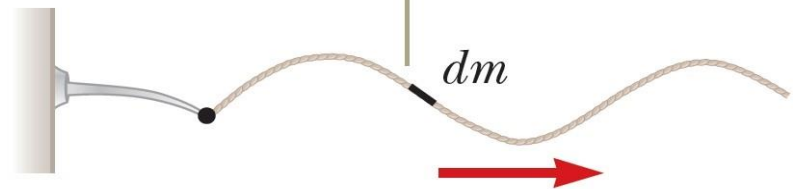


Κύματα

○ Μεταφορά ενέργειας σε νήμα

- Ας θεωρήσουμε ένα απειροστά μικρό τμήμα του νήματος μήκους dx και μάζας dm
- Εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση (y -άξονα)!
- Άρα έχει κινητική και δυναμική ενέργεια!

Κάθε απειροστά μικρό (στοιχειώδες) τμήμα του νήματος εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, και άρα έχει δυναμική και κινητική ενέργεια.



Κύματα

- Μεταφορά ενέργειας σε νήμα

$$\mu = \frac{m}{\ell} = \frac{dm}{dx}$$

- Κινητική ενέργεια για ένα στοιχείο νήματος

$$dK = \frac{1}{2}(dm)v_y^2 = \frac{1}{2}(\mu dx)v_y^2 \quad (t = 0) \quad = \frac{1}{2}\mu\omega^2 A^2 \cos^2(kx)dx$$

- Ολοκληρώνοντας για ένα μήκος κύματος

$$K_\lambda = \int dK = \frac{1}{2}\mu\omega^2 A^2 \int_0^\lambda \cos^2(kx)dx = \frac{1}{4}\mu\omega^2 A^2 \lambda$$

- Δυναμική ενέργεια (με όμοιο τρόπο)

$$U_\lambda = \frac{1}{4}\mu\omega^2 A^2 \lambda$$

Κύματα

- **Μεταφορά ενέργειας σε νήμα**

- Η συνολική ενέργεια σε ένα μήκος κύματος ισούται με το άθροισμα κινητικής και δυναμικής

$$E_{mech} = K + U = E_{\lambda} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \lambda$$

- **Ρυθμός μεταφοράς ενέργειας (= Ισχύς)**

$$P = \frac{T_{MK}}{\Delta t} = \frac{E_{\lambda}}{T} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \frac{\lambda}{T} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 v$$



Εικόνα: Τα αυτιά του ανθρώπου έχουν εξελιχθεί να ακούν και να ερμηνεύουν ηχητικά κύματα ως φωνή ή ως ήχους. Κάποια ζώα, όπως το είδος αλεπούς με τα αυτιά νυχτερίδας, έχουν αυτιά που είναι προσαρμοσμένα να ακούν πολύ αδύναμους ήχους.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηχητικά Κύματα



Εικόνα: Τα αυτιά του ανθρώπου έχουν εξελιχθεί να ακούν και να ερμηνεύουν ηχητικά κύματα ως φωνή ή ως ήχους. Κάποια ζώα, όπως το είδος αλεπούς με τα αυτιά νυχτερίδας, έχουν αυτιά που είναι προσαρμοσμένα να ακούν πολύ αδύναμους ήχους.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηχητικά Κύματα

Ηχητικά Κύματα

- Τρεις κατηγορίες ηχητικών κυμάτων

- **Ακουστικά κύματα**

- Μουσική, φωνή

- **Κύματα υποήχων (υπόηχοι)**

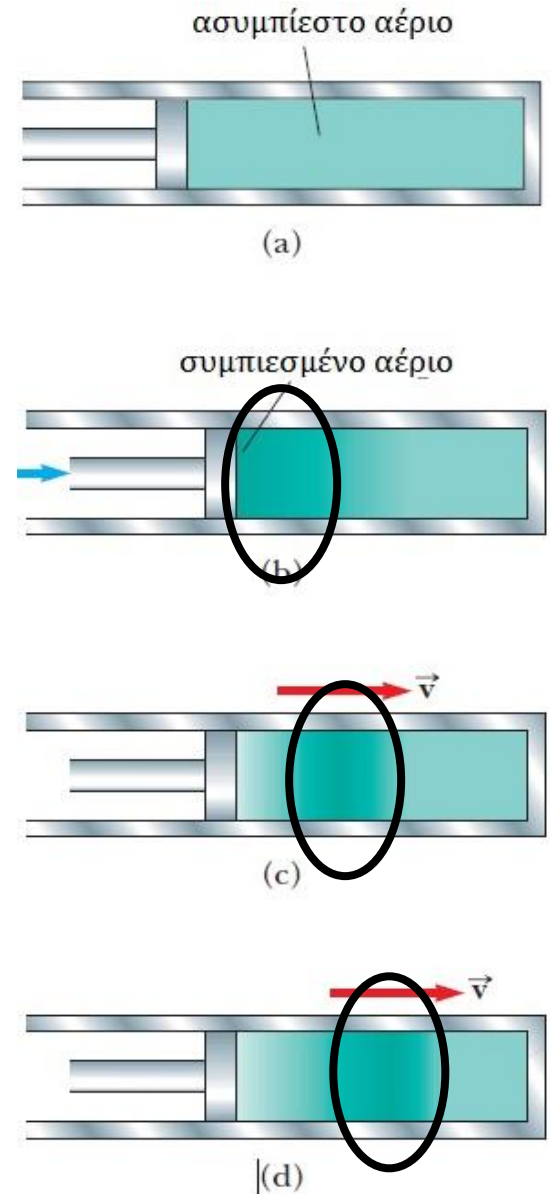
- Ελέφαντες, φάλαινες, και άλλα ζώα επικοινωνούν με υπόηχους
 - Έντονα φυσικά φαινόμενα παράγουν υπόηχους
 - Καταιγίδες, κατολισθήσεις, σεισμοί, ηφαιστειακή δραστηριότητα κ.α.

- **Κύματα υπερήχων (υπέρηχοι)**

- Σφυρίχτρες σκύλων, επικοινωνία νυχτερίδων
 - Ιατρική απεικόνιση

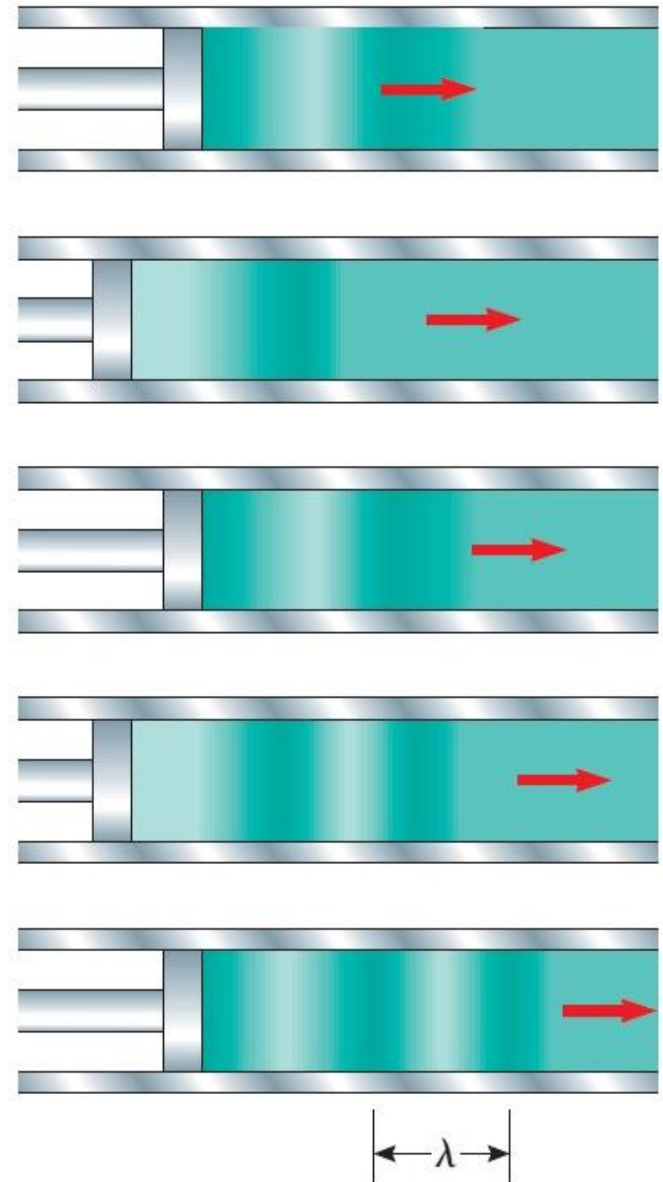
Ηχητικά Κύματα

- Έμβολο σε ακινησία – (a)
 - Αέριο ασυμπιεστο και σε ομοιόμορφη κατανομή
- Έμβολο σε κίνηση προς τα δεξιά – (b)
 - Πίεση και πυκνότητα αερίου μπροστά στο έμβολο είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο υπόλοιπο μέρος του
- Έμβολο σε ακινησία – (c)
 - Διάμηκες κύμα διαδίδεται με ταχύτητα v
- Η διάδοση συνεχίζεται – (d)



Ηχητικά Κύματα

- Έμβολο σε απλή αρμονική ταλάντωση
 - Πίεση προς τα εμπρός
 - Περιοχές συμπίεσης (σκούρο)
 - Πυκνώματα
 - Τράβηγμα προς τα πίσω
 - Περιοχές αραιώσης (ανοιχτό)
 - Αραιώματα
- Διάδοση με ταχύτητα ήχου στο μέσο

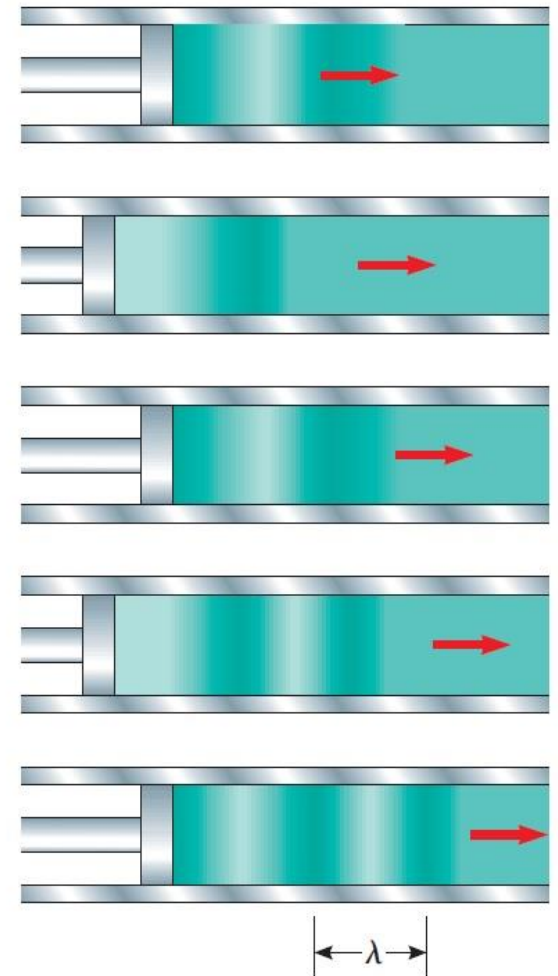


Ηχητικά Κύματα

- ◉ Έμβολο σε απλή αρμονική ταλάντωση
- ◉ Απόσταση μεταξύ διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων
 - ◉ Μήκος κύματος λ
- ◉ Κάθε μικρός όγκος αερίου εκτελεί απλή αρμονική κίνηση παράλληλη προς τη διεύθυνση διάδοσης

$$s(x, t) = s_{max} \cos(kx - \omega t)$$

- ◉ Ο όρος s_{max} δηλώνει το πλάτος μετατόπισης
 - ◉ Είναι η μέγιστη μετατόπιση ενός στοιχείου από τη θέση ισορροπίας



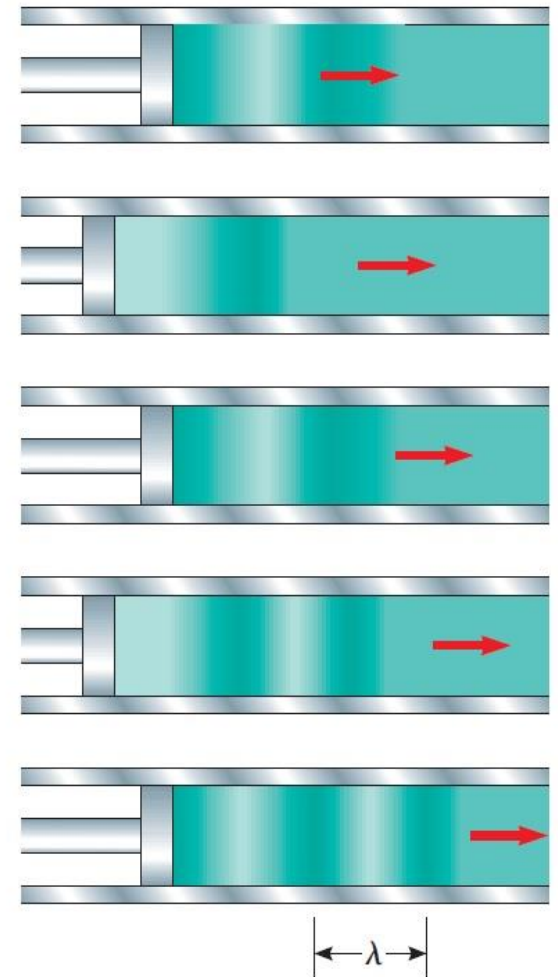
Ηχητικά Κύματα

- Μεταβολή πίεσης αερίου ΔP

$$\Delta P(x, t) = \Delta P_{max} \sin(kx - \omega t)$$

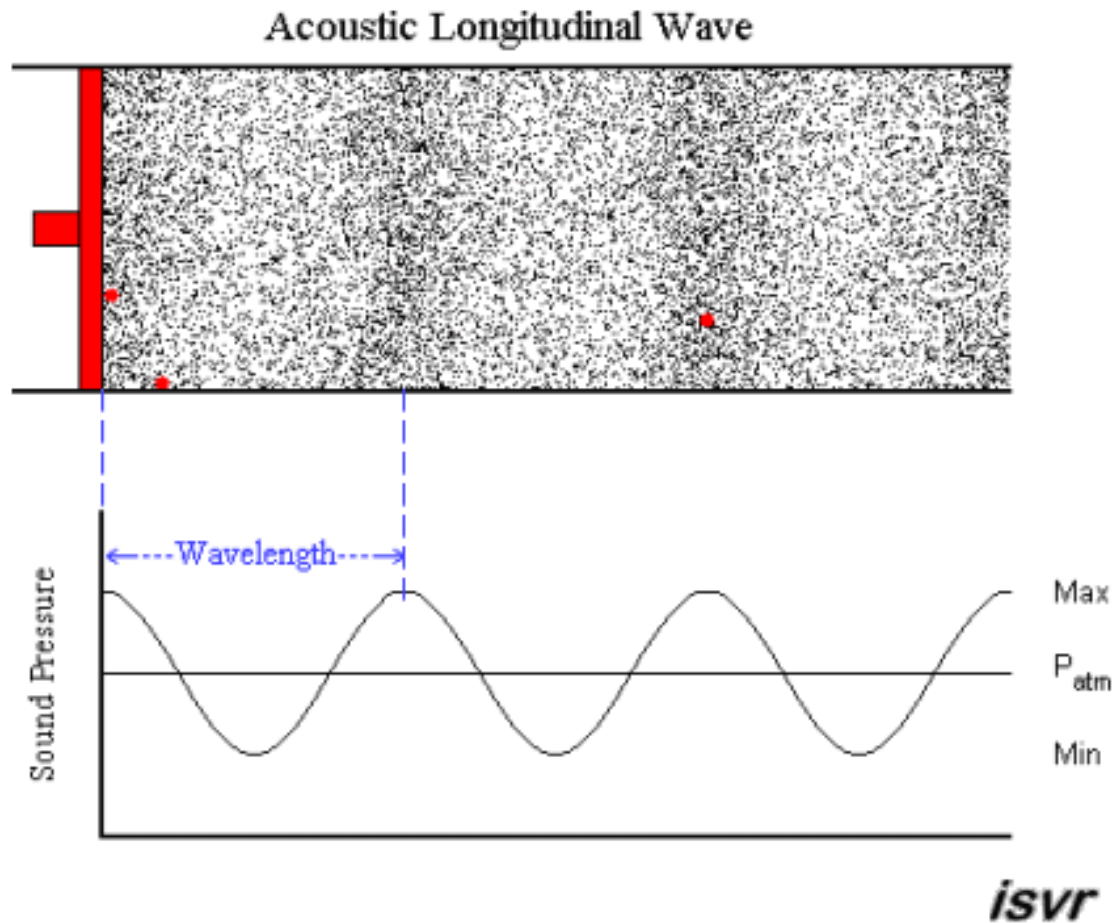
όπου ΔP_{max} η μέγιστη μεταβολή της πίεσης γύρω από την τιμή ισορροπίας

- Ο όρος ΔP_{max} ονομάζεται πλάτος πίεσης



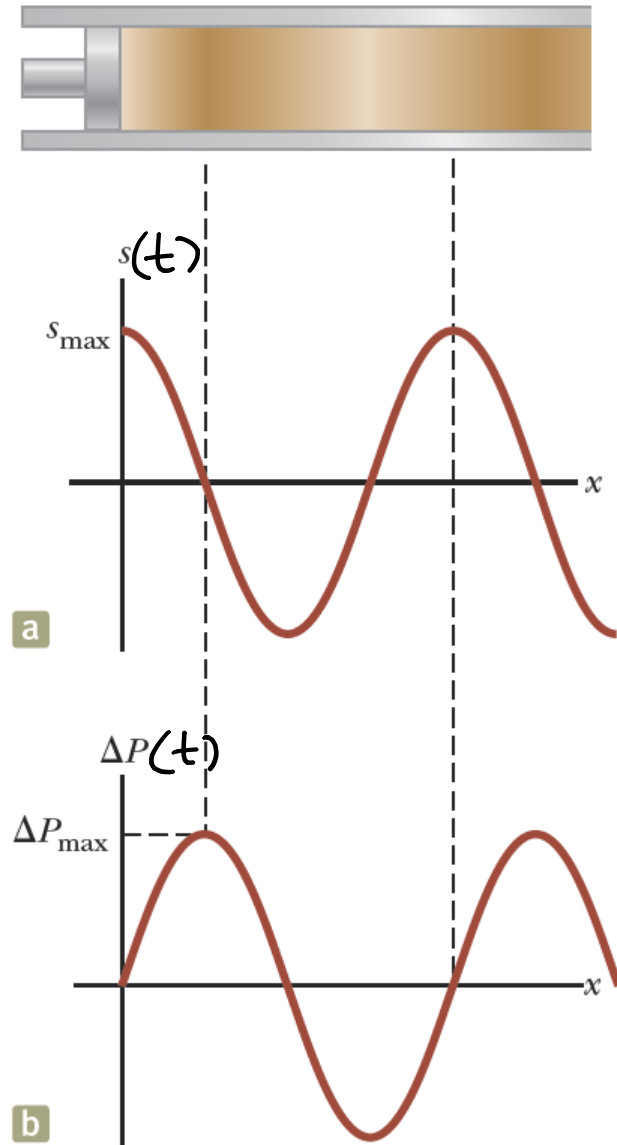
Ηχητικά Κύματα

- Μεταβολή πίεσης αερίου ΔP



Ηχητικά Κύματα

- Μεταβολή πίεσης αερίου $\Delta P(x, t)$ και μετατόπισης $s(x, t)$
- Η μετατόπιση που περιγράψαμε ως συνημιτονοειδής συνάρτηση οδηγεί σε μεταβολή πίεσης ως ημιτονοειδή συνάρτηση
- Διαφορά φάσης $\pi/2$
- Μεταβολή πίεσης μέγιστη \rightarrow μετατόπιση μηδενική!
- Μετατόπιση μέγιστη \rightarrow μεταβολή πίεσης μηδενική!



Ηχητικά Κύματα

- Ταχύτητα διάδοσης ήχου στον αέρα

$$u = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}}$$

όπου T_c η θερμοκρασία του αέρα (σε βαθμούς C)

- **Παράδειγμα:**

- Πώς θα μετρήσουμε σε πόση απόσταση από μας έπεσε ένας κεραυνός, αν ακούσουμε τον κρότο του σε t δευτερόλεπτα?



Ηχητικά Κύματα

Αύξηση θερμοκρασίας \Rightarrow αύξηση
κινητικής ενέργειας μορίων

• Ταχύτητα διάδοσης ήχου σε άλλα υλικά

Table 17.1 Speed of Sound in Various Media

Medium	v (m/s)	Medium	v (m/s)	Medium	v (m/s)
Gases		Liquids at 25°C		Solids^a	
Hydrogen (0°C)	1 286	Glycerol	1 904	Pyrex glass	5 640
Helium (0°C)	972	Seawater	1 533	Iron	5 950
Air (20°C)	343	Water	1 493	Aluminum	6 420
Air (0°C)	331	Mercury	1 450	Brass	4 700
Oxygen (0°C)	317	Kerosene	1 324	Copper	5 010
		Methyl alcohol	1 143	Gold	3 240
		Carbon tetrachloride	926	Lucite	2 680
				Lead	1 960
				Rubber	1 600

^aValues given are for propagation of longitudinal waves in bulk media. Speeds for longitudinal waves in thin rods are smaller, and speeds of transverse waves in bulk are smaller yet.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B = μέτρο ελαστικότητας όγκου
 ρ = πυκνότητα

Ηχητικά Κύματα

- ◉ Ένταση περιοδικών ηχητικών κυμάτων

$$I = \frac{\text{Μέση Ισχύς}}{A}$$

όπου A το εμβαδό της επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης

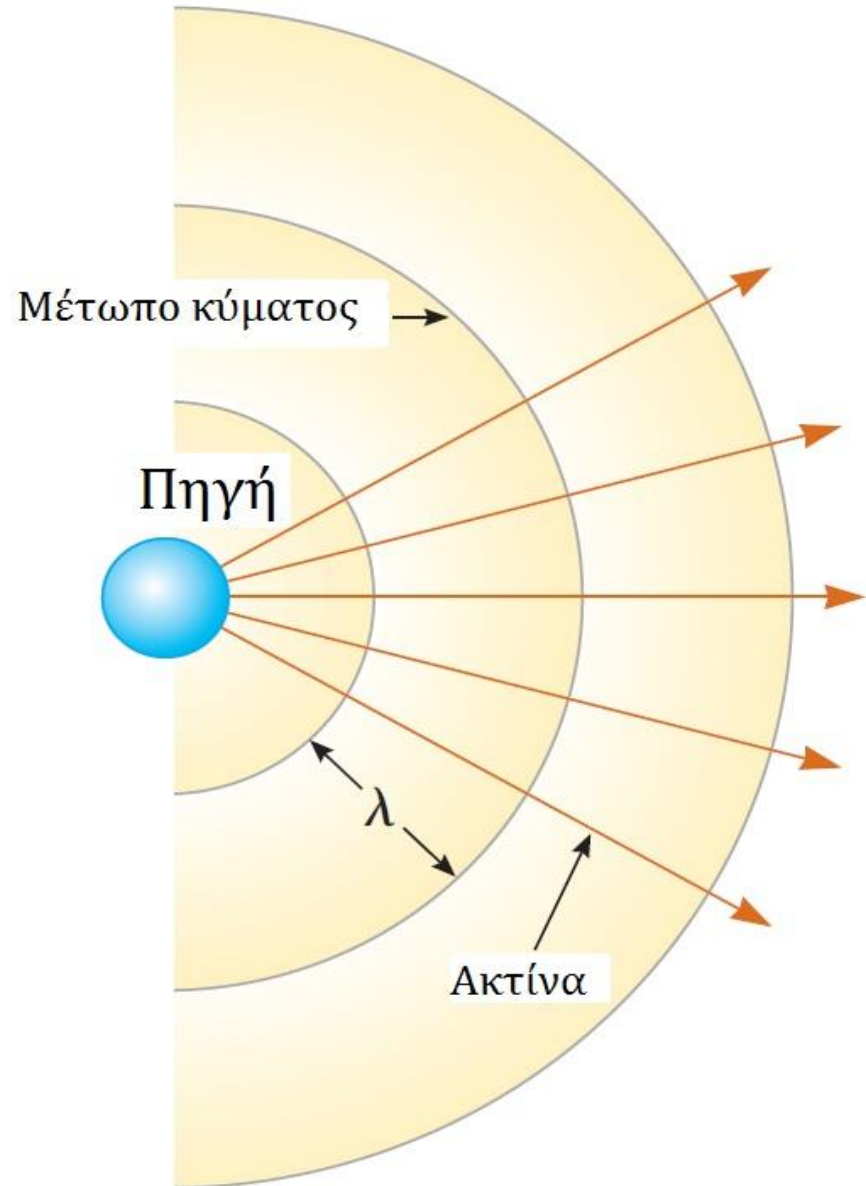
- ◉ Τα κύματα που είδαμε ως τώρα μοντελοποιούνταν ως διαμήκη κύματα
 - ◉ Διαδίδονταν σε ευθεία γραμμή
- ◉ Στην πράξη, τα κύματα διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις
 - ◉ Σφαιρικά κύματα

Ηχητικά Κύματα

- Σφαιρικό κύμα
 - Ομόκεντρα κυκλικά τόξα
- Μέτωπο κύματος
 - Επιφάνεια όπου η φάση $(kx - \omega t + \varphi)$ του κύματος έχει ίδια τιμή
- Ακτίνες
 - Ευθείες που ξεκινούν απ' την πηγή
 - Δείχνουν την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος
- Ένταση κύματος σε απόσταση r

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Εμβαδό μετώπου



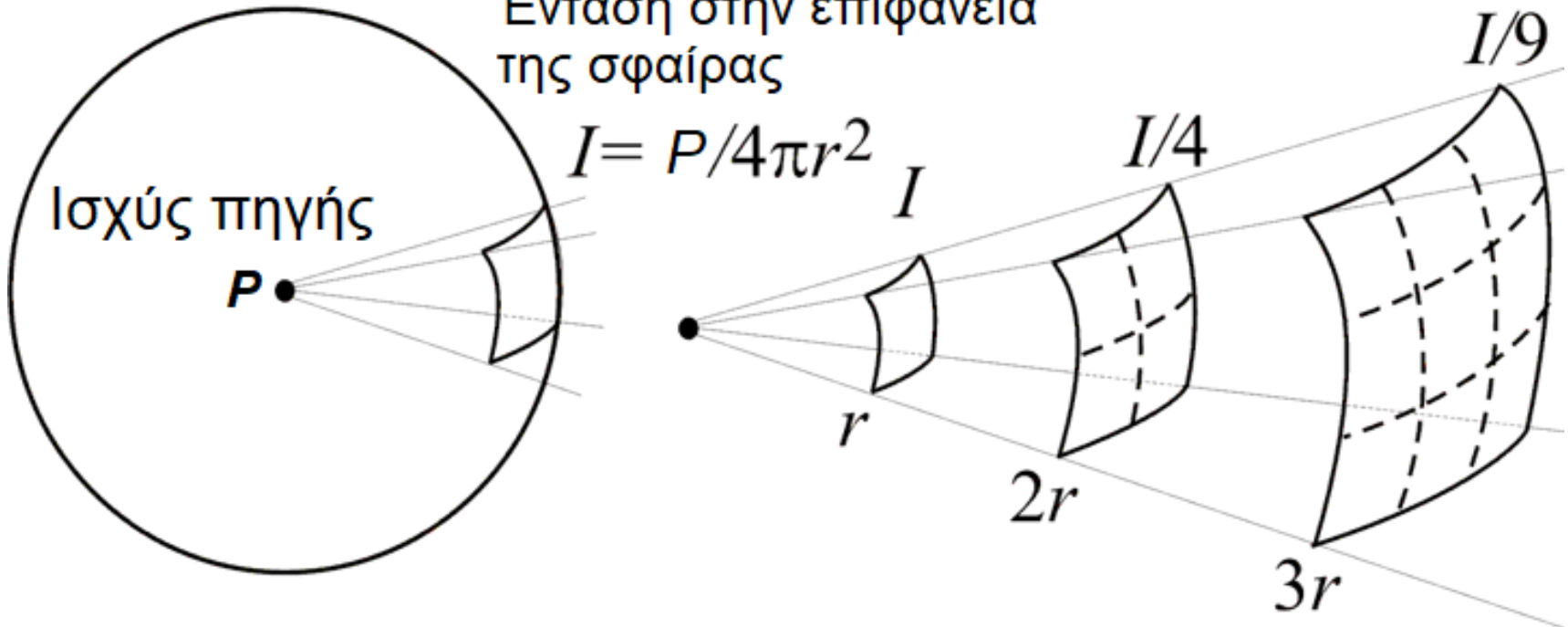
Ηχητικά Κύματα

Εμβαδό σφαίρας

$$A = 4\pi r^2$$

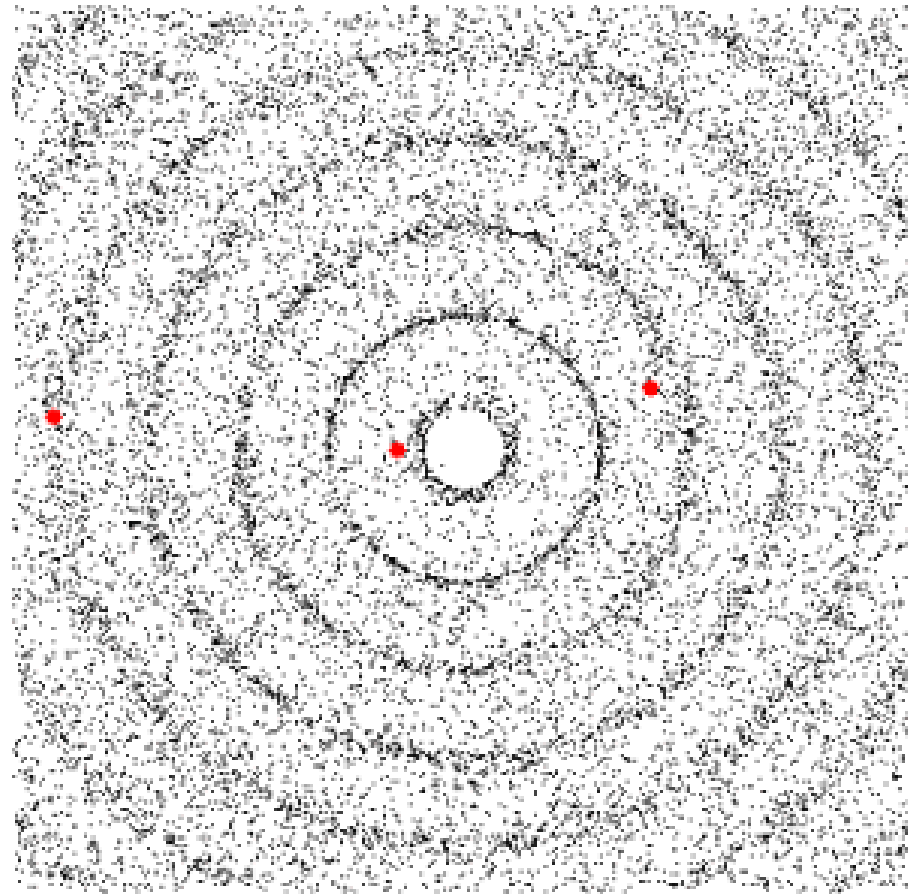
Ένταση στην επιφάνεια
της σφαίρας

$$I = P / 4\pi r^2$$



Ηχητικά Κύματα

Acoustic Monopole



Ηχητικά Κύματα

- Οι ασθενέστεροι ήχοι που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί στη συχνότητα των 1000 Hz έχουν ένταση περίπου $10^{-12} \frac{W}{m^2} = I$
- Αυτό είναι το λεγόμενο **κατώφλι ακοής**.
- Οι δυνατότεροι ήχοι που μπορούμε να ακούσουμε (χωρίς πόνο) είναι έντασης $1 \frac{W}{m^2}$.
- Αποδεικνύεται ότι για τις τιμές ταχύτητας και πυκνότητας αέρα $u = 343 \frac{m}{s}$, και $\rho = 1.2 \frac{kg}{m^3}$, το πλάτος πίεσης και μετατόπισης είναι:

Για τον χαμηλότερης έντασης ήχο:

$$\Delta P_{max} = 2.87 \times 10^{-5} \frac{N}{m^2}, \quad s_{max} = 1.11 \times 10^{-11} m$$

Για τον υψηλότερης έντασης ήχο:

$$\Delta P_{max} = 28.7 \frac{N}{m^2}, \quad s_{max} = 1.11 \times 10^{-5} m$$

Ηχητικά Κύματα

○ Εύρος έντασης

- Μεγάλο εύρος εντάσεων αντιληπτό απ' το αυτί
- Μια λογαριθμική κλίμακα είναι βολικότερη
- **Ηχοστάθμη**

$$\beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

- I_0 : ένταση αναφοράς (κατώφλι ακοής)
- $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$
 - Για συχνότητες 1000 Hz
 - Στην πραγματικότητα, είναι μεταβλητή
- β : μετριέται σε Decibel (dB)
 - Προς τιμήν του A. G. Bell
- Κατώφλι ακοής: 0 dB
- Όριο πόνου: 120-130 dB

Sound Levels	
Source of Sound	β (dB)
Nearby jet airplane	150
Jackhammer; machine gun	130
Siren; rock concert	120
Subway; power lawn mower	100
Busy traffic	80
Vacuum cleaner	70
Normal conversation	60
Mosquito buzzing	40
Whisper	30
Rustling leaves	10
Threshold of hearing	0



Τέλος Διάλεξης