



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)**

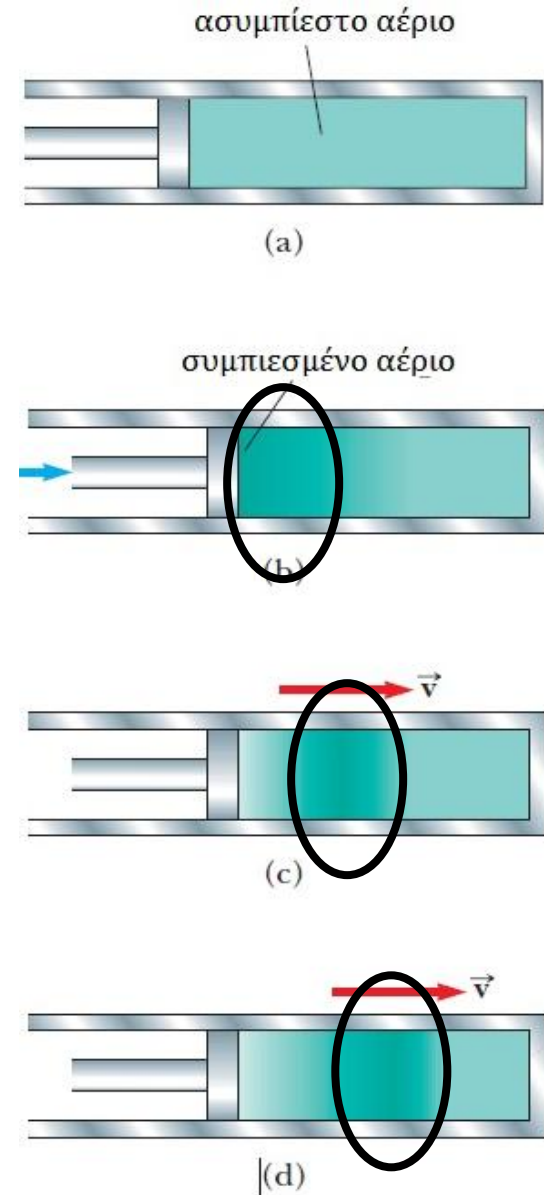
- Σφυρίχτρες σκύλων, επικοινωνία νυχτερίδων
    - Ιατρική απεικόνιση

# Ηχητικά Κύματα

- Θα επικεντρωθούμε σε ηχητικά (διαμήκη, κατά κανόνα) κύματα που ταξιδεύουν μέσω του **αέρα** και είναι **αντιληπτά** από τον άνθρωπο (ακουστικά κύματα)
- Θα συζητήσουμε για τις μεταβολές **θέσης και πίεσης των στοιχείων του μέσου** που σχετίζονται με (ημιτονοειδή) ηχητικά κύματα που ταξιδεύουν στον αέρα
- Θα ξεκινήσουμε με **ιδανικά** αέρια και **απλά** κύματα για να κατανοήσουμε τα φαινόμενα...
  - ...και στη συνέχεια θα περάσουμε σε ημιτονοειδή κύματα...
  - ...αρχικά στις δυο διαστάσεις και μετά στον τριδιάστατο χώρο

# Ηχητικά Κύματα

- Έμβολο σε ακινησία – (a)
  - Αέριο **ασυμπίεστο** 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  $\vec{u}$
- Η διάδοση συνεχίζεται – (d)



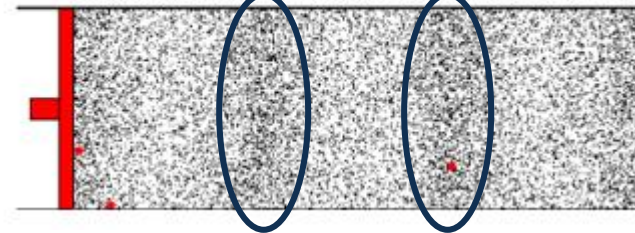
# Ηχητικά Κύματα

- 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

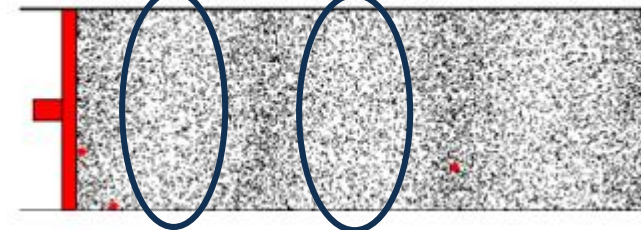
Acoustic Longitudinal Wave



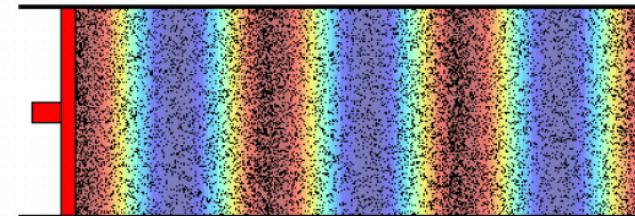
Acoustic Longitudinal Wave



Acoustic Longitudinal Wave



Longitudinal Wave

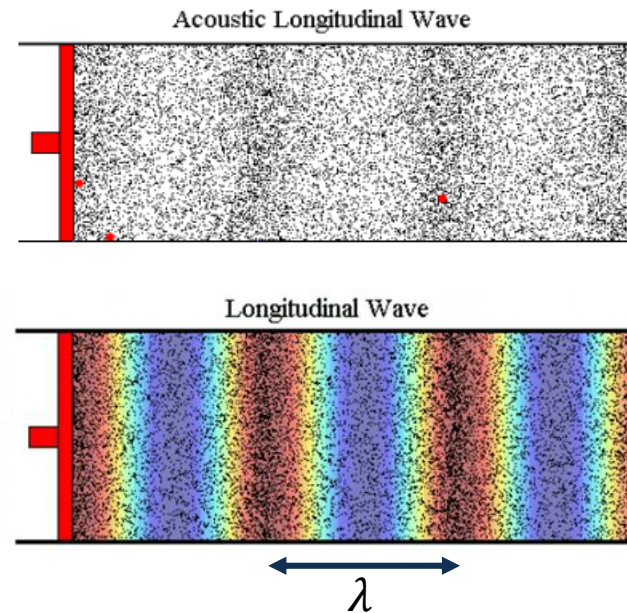


# Ηχητικά Κύματα

- Έμβολο σε απλή αρμονική ταλάντωση
- Απόσταση μεταξύ διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων
  - Μήκος κύματος  $\lambda$
- 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  $\Delta P$

- Η μεταβολή πίεσης σε κάθε θέση  $x$  γίνεται γύρω από μια τιμή ισορροπίας

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

όπου  $\Delta P_{max}$  η μέγιστη μεταβολή της πίεσης γύρω από την τιμή ισορροπίας

- Ο όρος  $\Delta P_{max}$  ονομάζεται **πλάτος πίεσης**

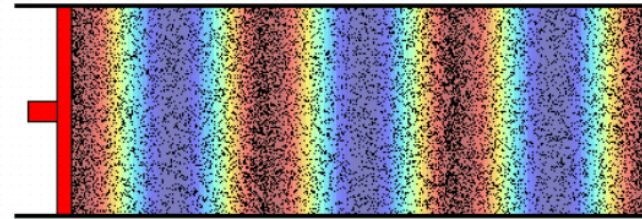
- Αποτελεί τη μέγιστη αύξηση (ή μείωση) της πίεσης λόγω του κύματος

- Αποδεικνύεται ότι

$$\Delta P_{max} = (u \rho \omega) s_{max}$$

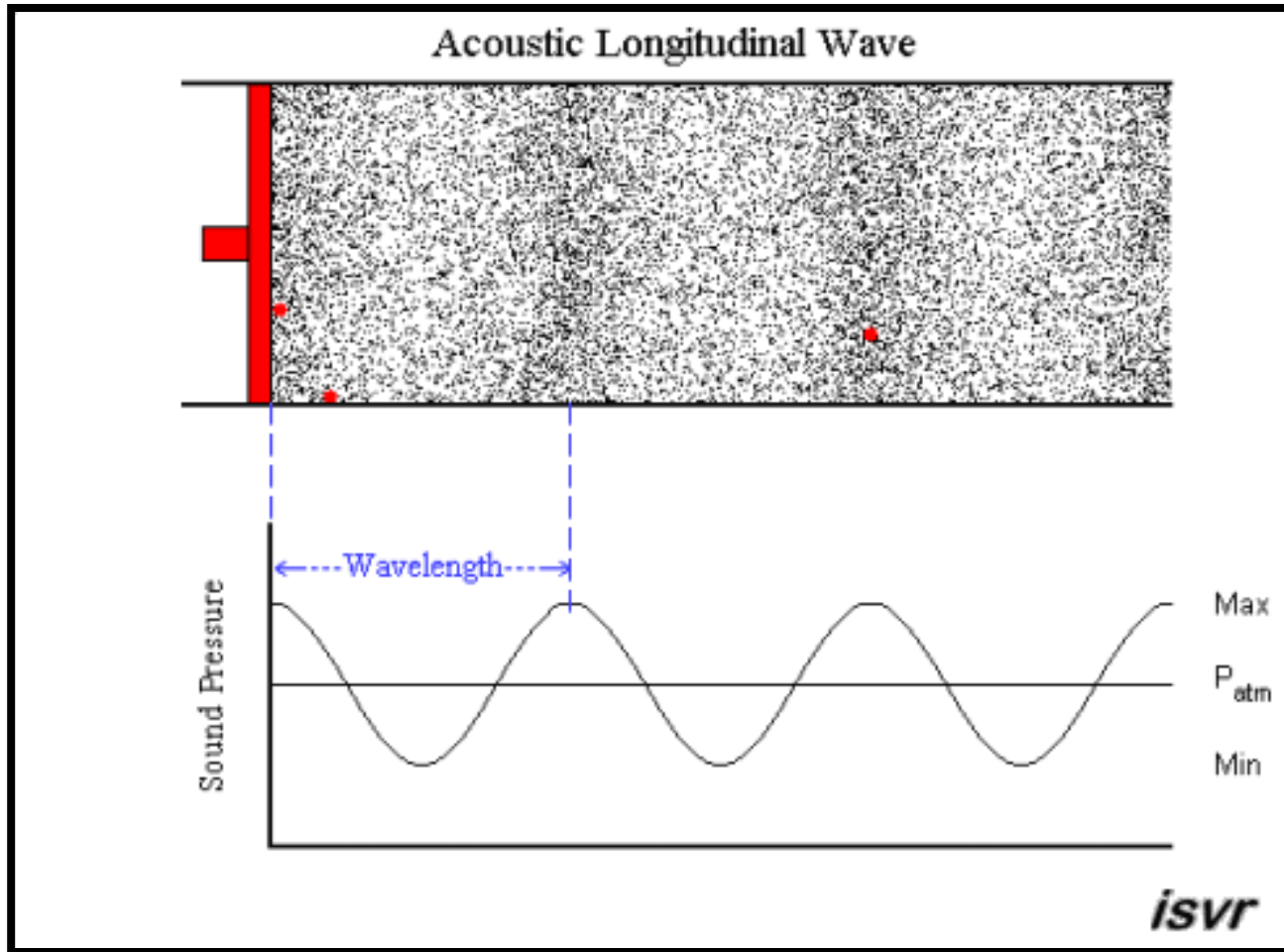
ταχύτητα διάδοσης  
πυκνότητα μέσου

Longitudinal Wave



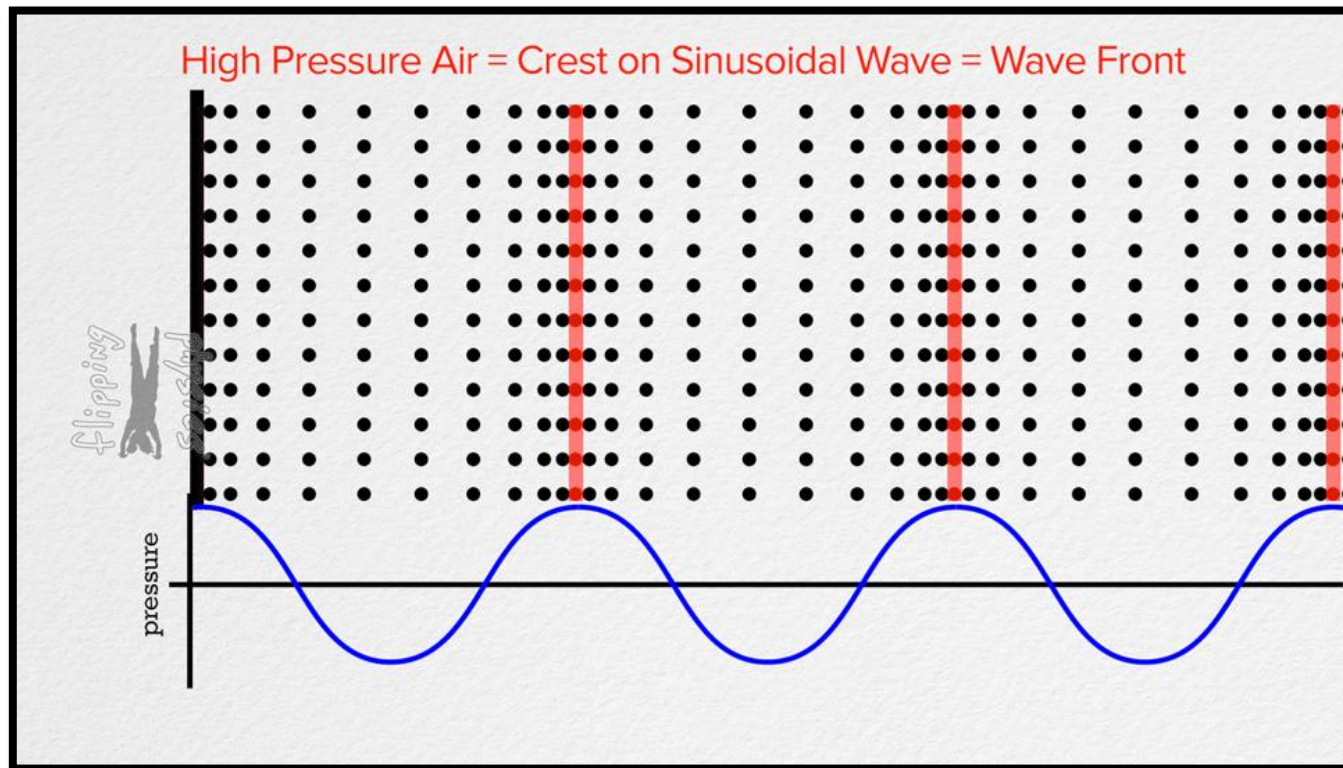
# Ηχητικά Κύματα

- Μεταβολή πίεσης αερίου  $\Delta P$



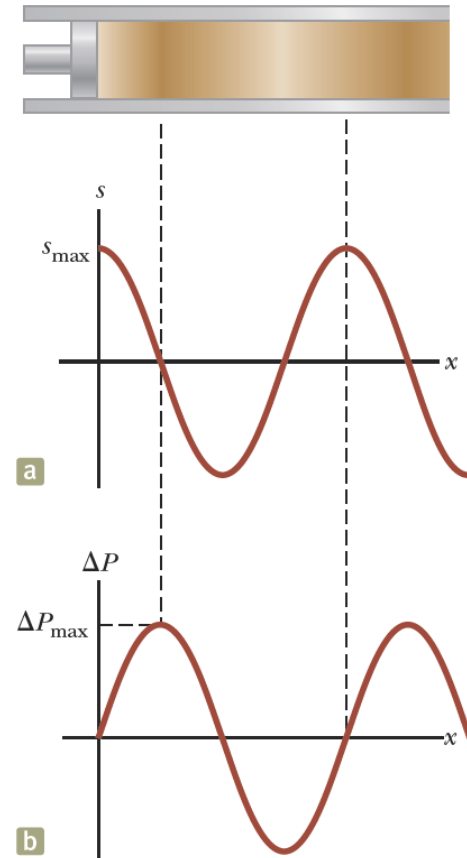
# Ηχητικά Κύματα

- Μεταβολή πίεσης αερίου  $\Delta P$



# Ηχητικά Κύματα

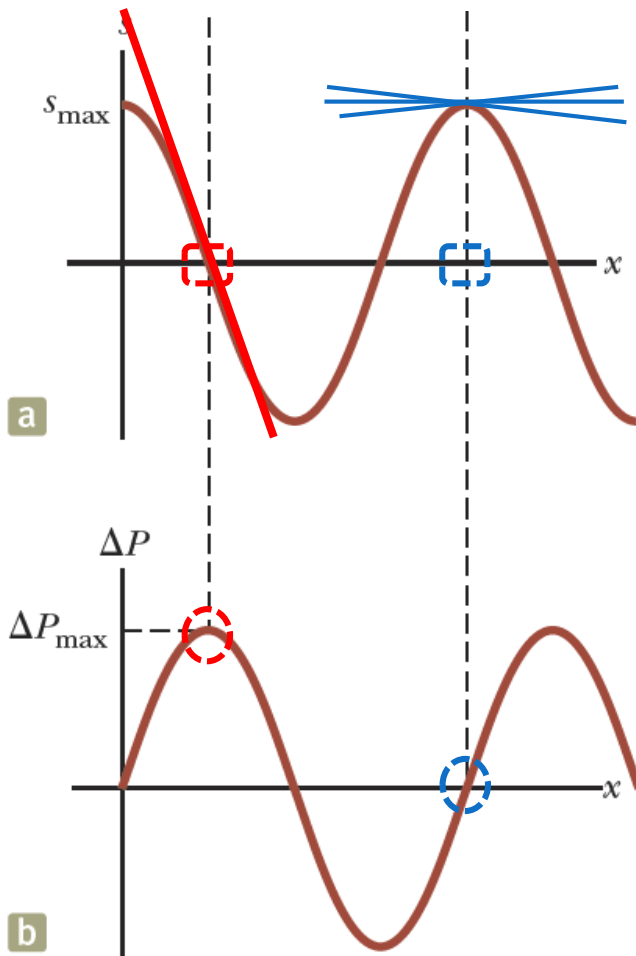
- Μεταβολή πίεσης αερίου  $\Delta P(x, t)$  και μετατόπισης  $s(x, t)$
- Η μετατόπιση που περιγράψαμε ως συνημιτονοειδής συνάρτηση οδηγεί σε μεταβολή πίεσης ως ημιτονοειδή συνάρτηση του  $kx - \omega t$ 
  - Διαφορά φάσης  $\pi/2$
  - Μεταβολή πίεσης μέγιστη (κατ' απόλυτη τιμή)  $\rightarrow$  μετατόπιση μηδενική!
  - Μετατόπιση μέγιστη (κατ' απόλυτη τιμή)  $\rightarrow$  μεταβολή πίεσης μηδενική!
- Η μεταβολή της πίεσης εξαρτάται από το πόσο τα **γειτονικά** στοιχειώδη τμήματα του αερίου **πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους** (δηλαδή από την **παράγωγο/κλίση** της μετατόπισης) ...
  - ...κι **όχι από το πόσο μακριά έχουν μετατοπιστεί όλα μαζί ως ομάδα** – γι' αυτό η πίεση και η μετατόπιση καταλήγουν σε διαφορά φάσης  $\pi/2$



# Ηχητικά Κύματα

$$\Delta P(x, t) \propto -\frac{\partial}{\partial x} s(x, t)$$

## • Μεταβολή πίεσης αερίου $\Delta P(x, t)$ και μετατόπισης $s(x, t)$



- Δείτε την **μπλέ** ομάδα στοιχείων του αερίου
  - Η μετατόπισή τους είναι περίπου η ίδια
    - ...γύρω από την κορυφή του μεγίστου πλάτους
  - Οι εφαπτομένες στη γειτονιά αυτή έχουν λίγο-πολύ την ίδια κλίση (κοντά στο 0)
    - ...άρα μεταβολή πίεσης κοντά στο 0
- Δείτε την **κόκκινη** ομάδα στοιχείων του αερίου
  - Η μετατόπισή τους έχει «ποικιλία» ☺
  - Οι εφαπτομένες στη γειτονιά αυτή έχουν λίγο-πολύ την ίδια (αρνητική) κλίση (κοντά στη μέγιστη δυνατή)
    - ...άρα μεταβολή πίεσης μέγιστη!

# 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 που μόλις είδαμε, αν ακούσουμε τον κρότο του (βροντή) σε  $t$  δευτερόλεπτα?



# Ηχητικά Κύματα

Γιατί συμβαίνει αυτό???

## • 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) |
|----------------|-----------|------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| <b>Gases</b>   |           | <b>Liquids at 25°C</b> |           | <b>Solids<sup>a</sup></b> |           |
| 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     |

Αύξηση θερμοκρασίας  $\Rightarrow$  αύξηση  
κινητικής ενέργειας μορίων

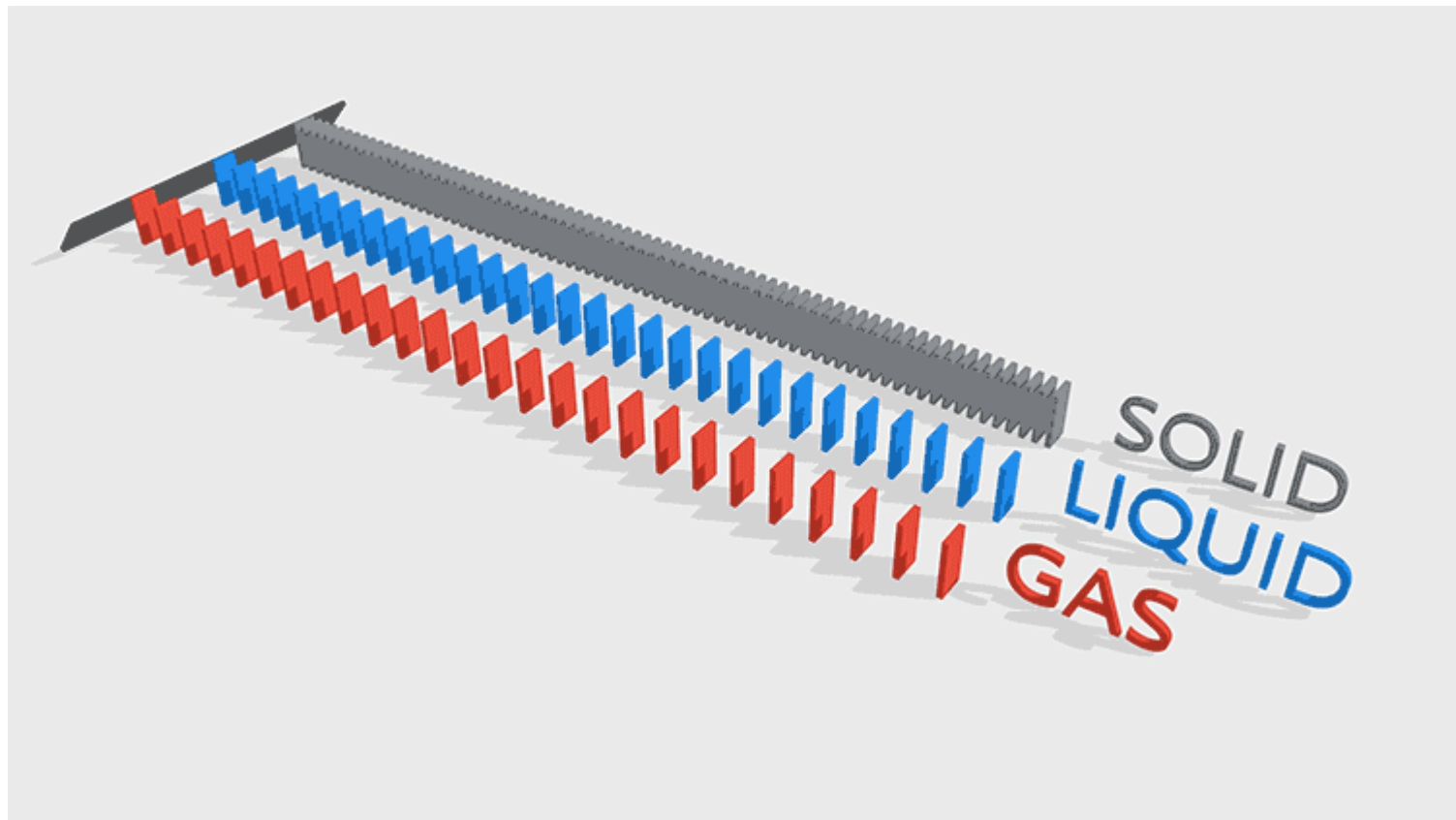
<sup>a</sup>Values given are for propagation of longitudinal waves in bulk media. Speeds for longitudinal waves in thin rods are smaller, and speeds of transverse waves in bulk are smaller yet.

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

$B$  = μέτρο ελαστικότητας όγκου  
 $\rho$  = πυκνότητα

# Ηχητικά Κύματα

- Ταχύτητα διάδοσης ήχου σε άλλα υλικά
- Ο πίνακας μας δείχνει ότι  $u_{\text{στερεα}} > u_{\text{υγρα}} > u_{\text{αερια}}$  . Γιατί??



# Ηχητικά Κύματα

- Ένταση περιοδικών ηχητικών κυμάτων

Μονάδα  
μέτρησης:  $\frac{W}{m^2}$

$$I = \frac{\text{Μέση Ισχύς}}{A} = \frac{P_{\text{avg}}}{A}$$

όπου  $P_{\text{avg}}$  η μέση ισχύς του κύματος και  $A$  το εμβαδό της επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης

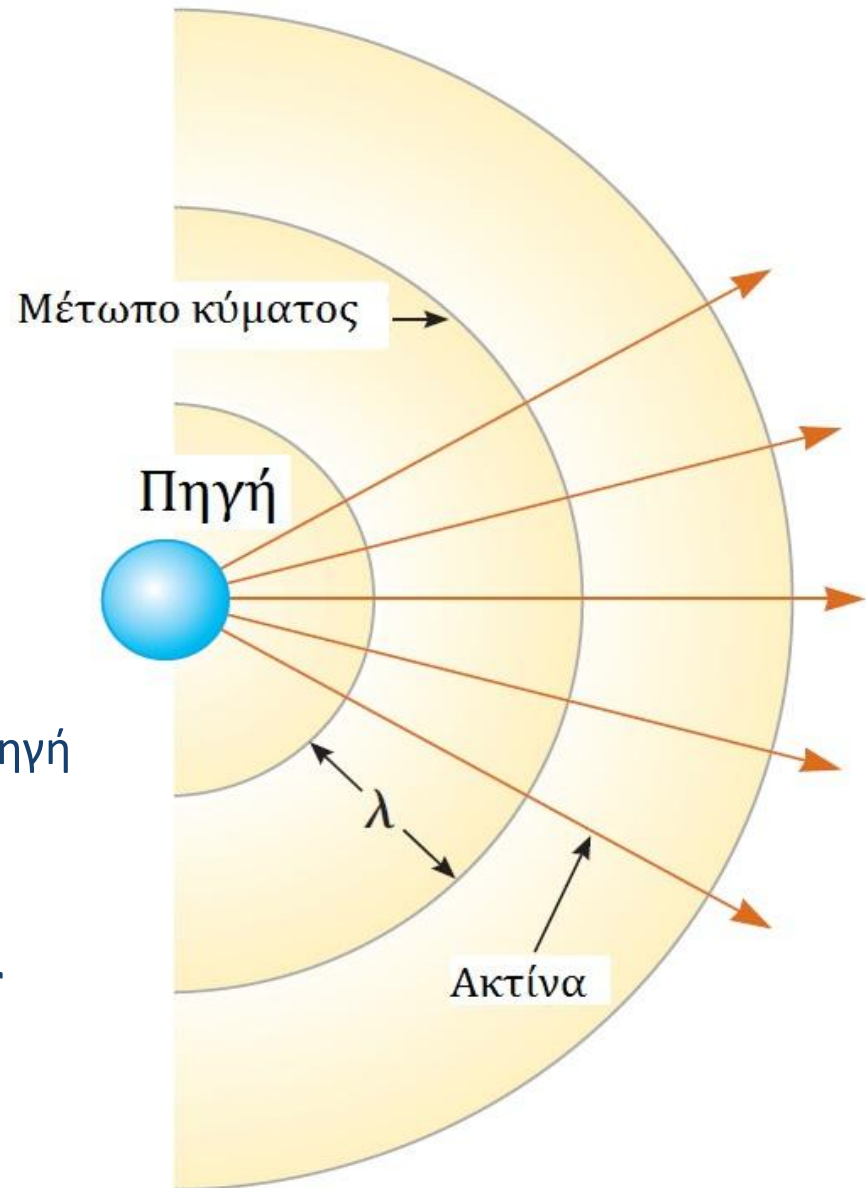
- Τα κύματα που είδαμε ως τώρα μοντελοποιούνταν ως διαμήκη κύματα
  - Διαδίδονταν σε ευθεία γραμμή
- Στην πράξη, τα ηχητικά κύματα διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις
  - Σφαιρικά κύματα
  - Ισοτροπική διάδοση → ίδια ένταση προς κάθε κατεύθυνση

# Ηχητικά Κύματα

- Σφαιρικό κύμα
  - Ομόκεντρα κυκλικά τόξα
- Μέτωπο κύματος
  - Επιφάνεια όπου η φάση  $(kr - \omega t + \varphi)$  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

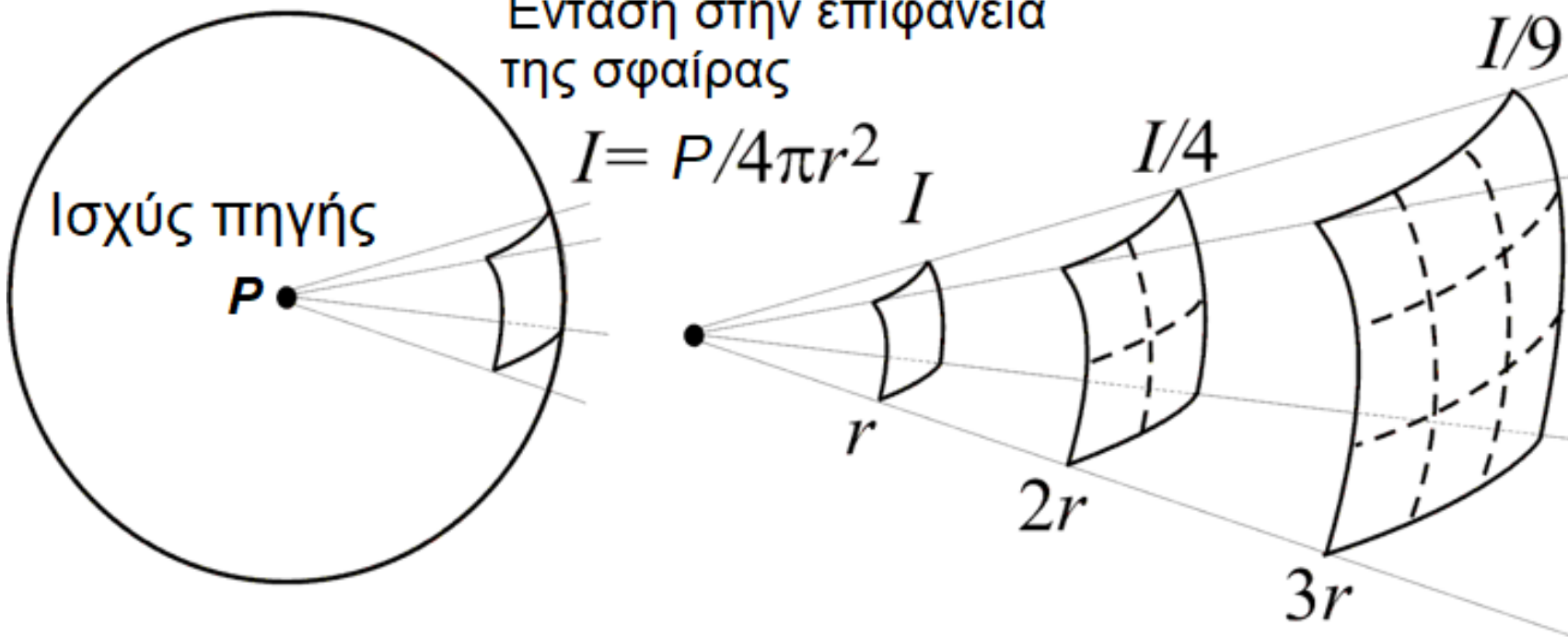
$$A = 4\pi r^2$$

Ένταση στην επιφάνεια  
της σφαίρας

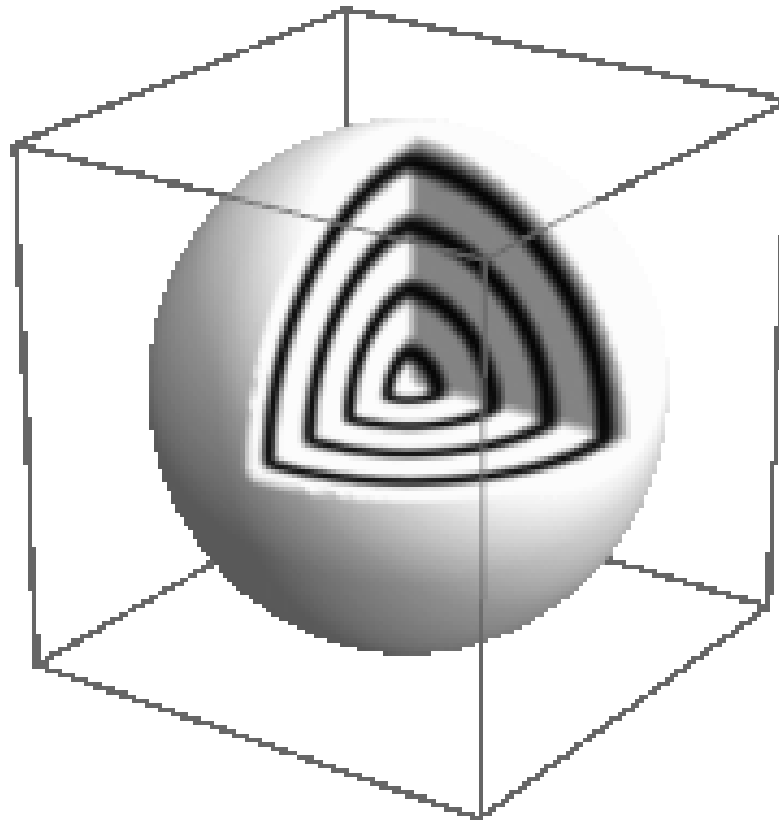
$$I = P / 4\pi r^2$$

Ισχύς πηγής

$P$

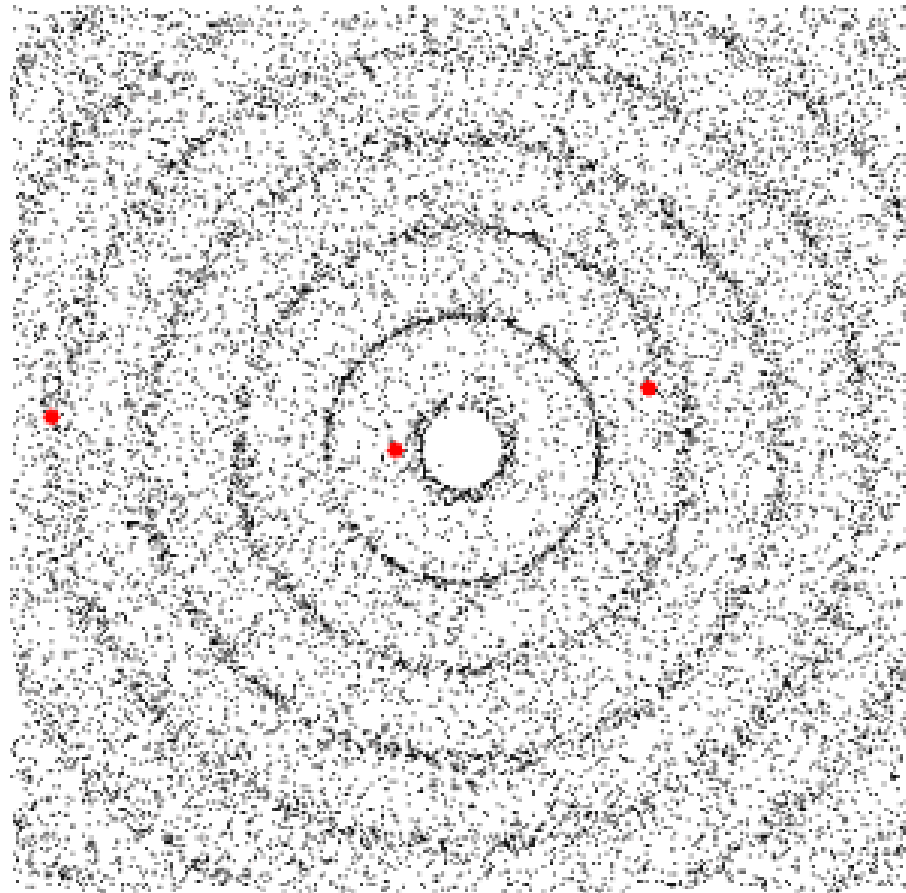


# Ηχητικά Κύματα



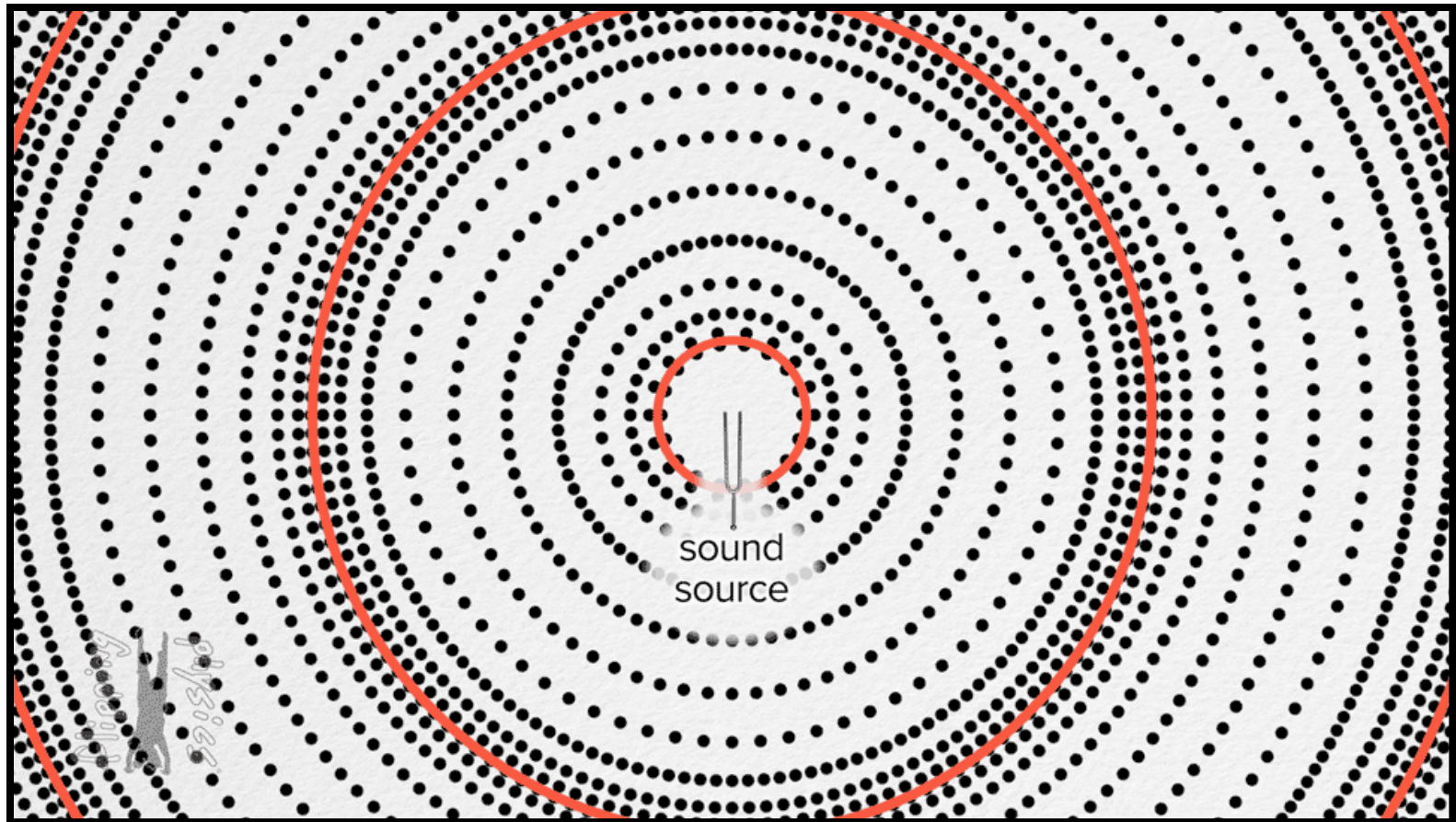
# Ηχητικά Κύματα

Acoustic Monopole

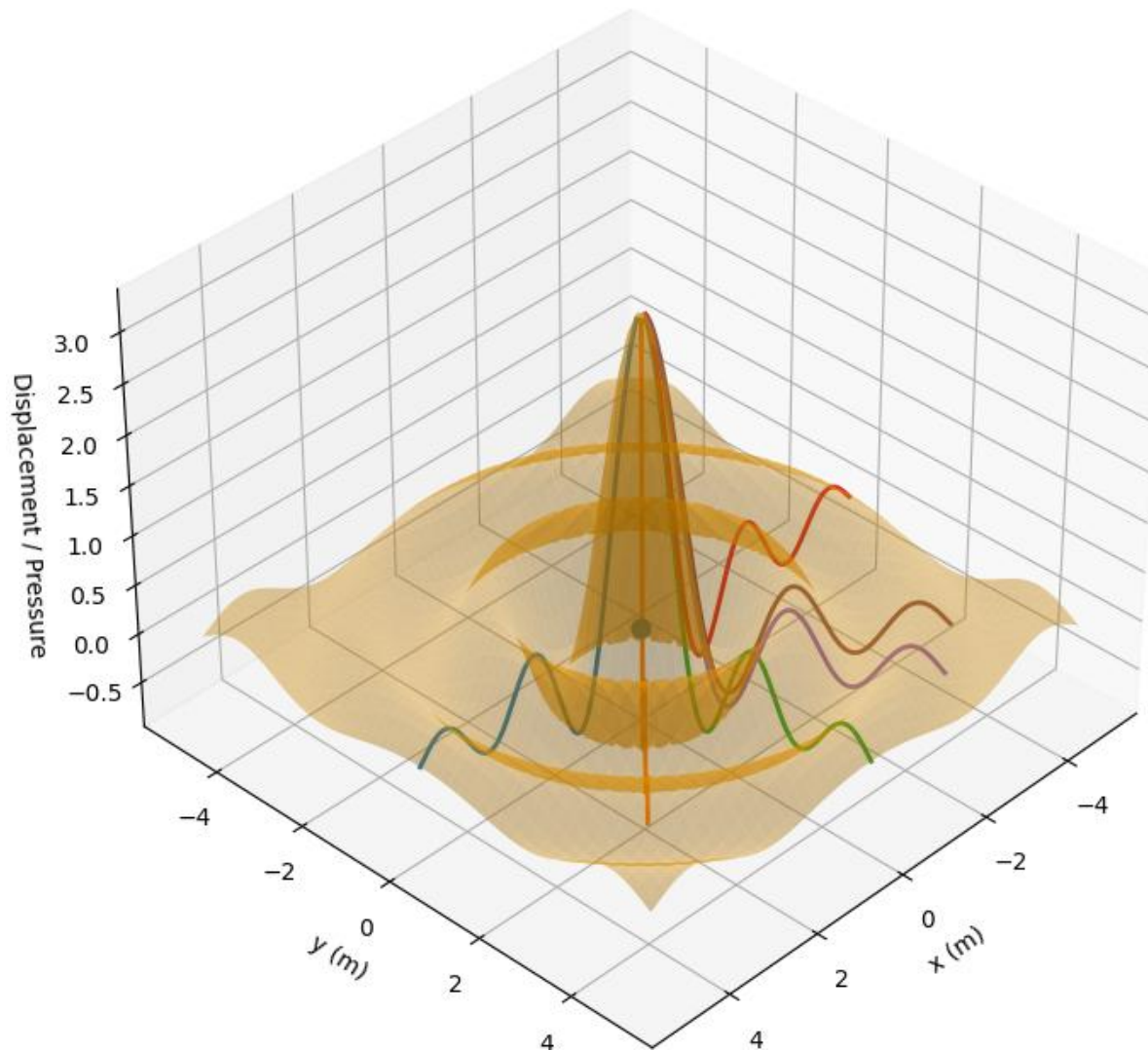


*isvr*

# Ηχητικά Κύματα

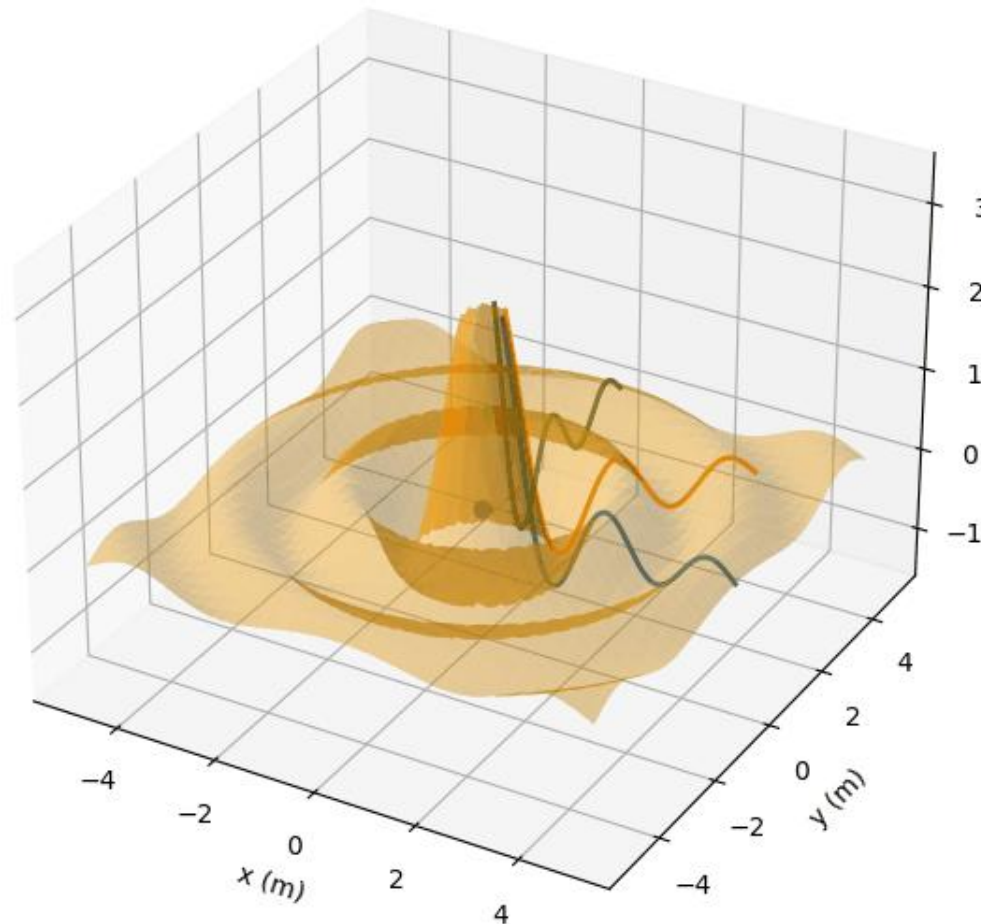


# Ηχητικά Κύματα



# Ηχητικά Κύματα

3D Radial Sound Wave from a Point Source



# Ηχητικά Κύματα

- Οι ασθενέστεροι ήχοι που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί στη συχνότητα των 1000 Hz έχουν ένταση περίπου  $10^{-12} \frac{W}{m^2}$
- Αυτό είναι το λεγόμενο **κατώφλι ακοής** (στα 1000 Hz).
- Οι δυνατότεροι ήχοι που μπορούμε να ακούσουμε (χωρίς πόνο) είναι έντασης  $1 \frac{W}{m^2}$
- Λόγος μέγιστης προς ελάχιστη ένταση:  $10^{12}$  !!!

# Ηχητικά Κύματα

[Click here for a more interesting dB range 😊](#)

## ◉ Ηχοστάθμη

- ◉ Μεγάλο εύρος εντάσεων αντιληπτό απ' το αυτί μας
- ◉ Μια λογαριθμική κλίμακα είναι βολικότερη
- ◉ **Ηχοστάθμη (sound level)**

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

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

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

# Ηχητικά Κύματα

## ◉ Παράδειγμα:

- ◉ Δυο ίδιες μηχανές βρίσκονται στην ίδια απόσταση από έναν εργάτη. Η ένταση του ήχου που λαμβάνει ο εργάτης κατά τη λειτουργία κάθε μηχανής είναι ίση με  $2 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$ .
  - A) Βρείτε την ηχοστάθμη που ακούει ο εργάτης όταν λειτουργεί η μια μηχανή.
  - B) Βρείτε την ηχοστάθμη που ακούει ο εργάτης όταν λειτουργούν και οι δυο μηχανές.
  - Γ) Αν ο εργάτης δε λαμβάνει την ίδια ένταση ήχου από κάθε μηχανή αλλά γνωρίζει ότι αυτές βρίσκονται σε απόσταση  $r_1 = 10 \text{ m}$  και  $r_2 = 20 \text{ m}$  αντίστοιχα, τότε ποιός είναι ο λόγος των εντάσεών τους?

# Ηχητικά Κύματα

## • Παράδειγμα – Λύση:

- Δυο ίδιες μηχανές βρίσκονται στην ίδια απόσταση από έναν εργάτη. Η ένταση του ήχου κατά τη λειτουργία κάθε μηχανής είναι ίση με  $2 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$ .

A) Βρείτε την ηχοστάθμη που ακούει ο εργάτης όταν λειτουργεί η μια μηχανή.

$$\beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{2 \cdot 10^{-7}}{10^{-12}} = 10 \log_{10} (2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{12})$$

$$= 10 \log_{10} (2 \cdot 10^5) = 10 \log_{10} 2 + \underbrace{10 \log_{10} 10^5}_{50 \log_{10} 10 = 50 \cdot 1 = 50}$$

$$= 50 + \underbrace{10 \log_{10} 2}_{3 \text{ dB}} \approx 53 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \\ \log(ab) &= \log(a) + \log(b) \\ \log(a^b) &= b \log(a)\end{aligned}$$

# Ηχητικά Κύματα

## • Παράδειγμα – Λύση:

- Δυο ίδιες μηχανές βρίσκονται στην ίδια απόσταση από έναν εργάτη. Η ένταση του ήχου κατά τη λειτουργία κάθε μηχανής είναι ίση με  $2 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$ .

Β) Βρείτε την ηχοστάθμη που ακούει ο εργάτης όταν λειτουργούν και οι δυο μηχανές.

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log_{10} \frac{2I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{4 \cdot 10^{-7}}{10^{-12}} = 10 \log_{10} (4 \cdot 10^5) = \\ &= 10 \log_{10} 4 + \underbrace{10 \log_{10} 10^5}_{50} = 50 + \underbrace{10 \log_{10} 4}_{6 \text{ dB}} \approx 56 \text{ dB}\end{aligned}$$

Παρατηρείτε ότι διπλασιασμός της έντασης  $I$  σημαίνει αύξηση της ηχοστάθμης κατά 3 dB περίπου.

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \\ \log(ab) &= \log(a) + \log(b) \\ \log(a^b) &= b \log(a)\end{aligned}$$

# Ηχητικά Κύματα

$$I = \frac{P_{avg}}{4\pi r^2}$$

## • Παράδειγμα – Λύση:

- Γ) Αν ο εργάτης δε λαμβάνει την ίδια ένταση ήχου από κάθε μηχανή αλλά γνωρίζει ότι αυτές βρίσκονται σε απόσταση  $r_1 = 10 \text{ m}$  και  $r_2 = 20 \text{ m}$  αντίστοιχα, τότε ποιος είναι ο λόγος των εντάσεών τους?

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

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}$$

$$I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}$$

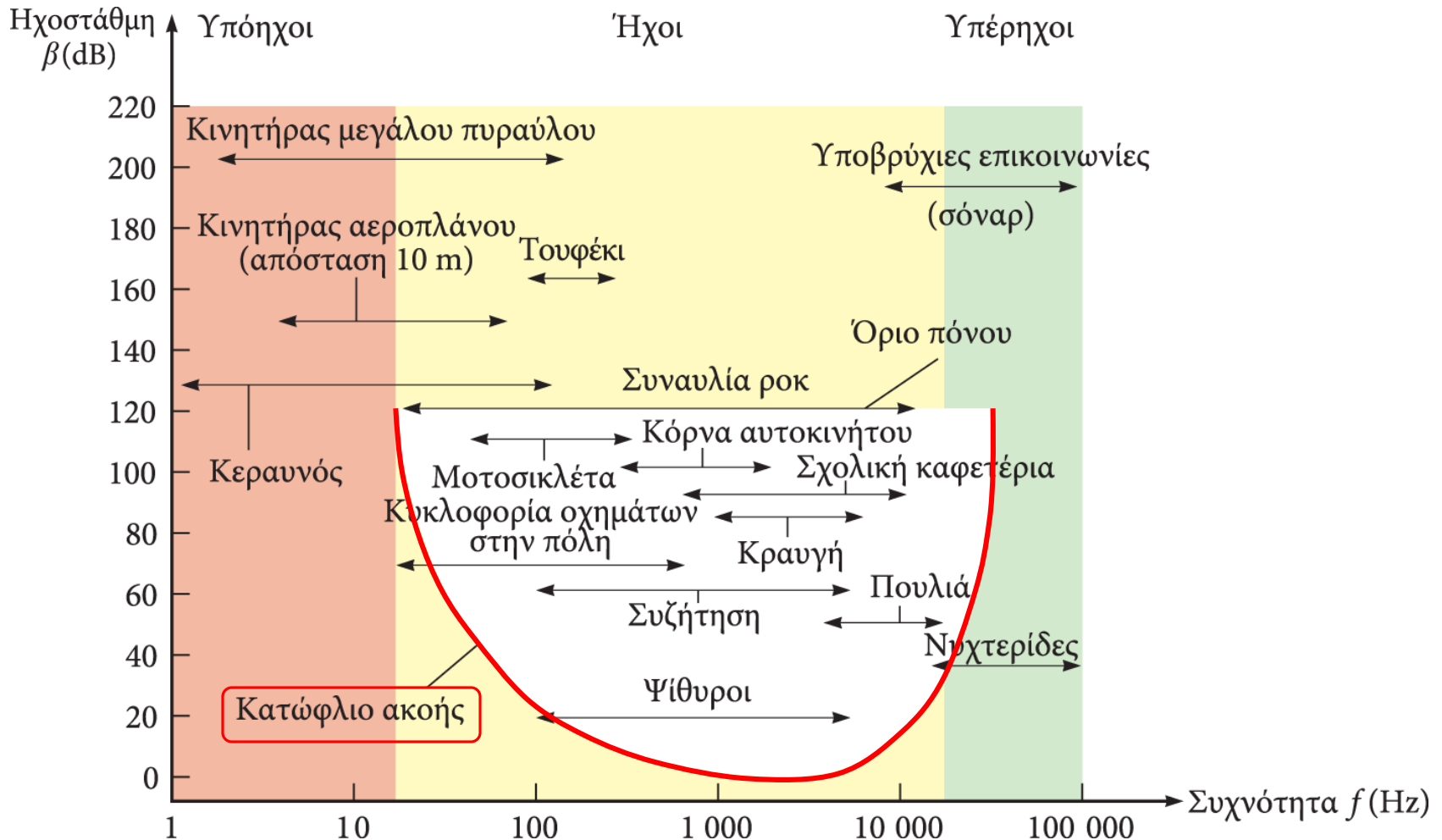
$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2} \\ I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2} \end{array} \right\} \Rightarrow$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{\cancel{P}}{4\pi r_1^2}}{\frac{\cancel{P}}{4\pi r_2^2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

$$\text{Άρα } \frac{I_1}{I_2} = 4$$

# Ηχητικά Κύματα

## Ακουστότητα και Συχνότητα – Ψυχοακουστική



# Ηχητικά Κύματα

- ◉ **Ψυχοακουστική:**

- ◉ Η επιστήμη που μελετά πως αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι τον ήχο
- ◉ Δεν ακούμε όλοι με τον ίδιο τρόπο! 😊
- ◉ Παίζει μεγάλο ρόλο το τι **νομίζουμε** ότι ακούμε
- ◉ Δυο συνιστώσες:
  - ◉ Φυσιολογία του ήχου (πως το σώμα μας λαμβάνει τον ήχο)
  - ◉ Ψυχολογία του ήχου (πως ερμηνεύει ο εγκέφαλός μας τον ήχο)
- ◉ Ακούμε μόνο ένα μικρό τμήμα του ακουστικού φάσματος
- ◉ Από 20 Hz ως περίπου 20000 Hz

# Ηχητικά Κύματα

## ◉ Ψυχοακουστική:

- ◉ Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη του ήχου
  - ◉ Ηλικία
  - ◉ Σχήμα και μέγεθος αυτιού
  - ◉ Οστική πυκνότητα
  - ◉ Σωματικό βάρος
- ◉ Φυσιολογικοί παράγοντες επηρεάζουν το «τι» μπορούμε να ακούσουμε...
- ◉ ...αλλά ο εγκέφαλός μας αποφασίζει «πως» το ακούμε! 😊
  - ◉ Π.χ. «πτώση ενός ποτηριού σε ένα μπαρ» vs «πτώση ενός ποτηριού τη νύχτα στο σπίτι μας» → **context (πλαίσιο)**

# Ηχητικά Κύματα

- Ψυχοακουστική: **context (πλαίσιο)**
- Ακούστε μια-μια τις παρακάτω δυο ακολουθίες ήχων
- Επικεντρωθείτε στους **δυο τελευταίους** τόνους (θα τους αναγνωρίσετε από μια παύση που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών τόνων και των δυο τελευταίων) καθεμιάς



- Πιστεύετε ότι το ζεύγος των τελευταίων τόνων της 1<sup>ης</sup> ηχογράφησης είναι συχνотικά/ακουστικά το ίδιο με της 2<sup>ης</sup>;
- Ακούστε τους τώρα **απομονωμένους** από τους υπόλοιπους



# Ηχητικά Κύματα

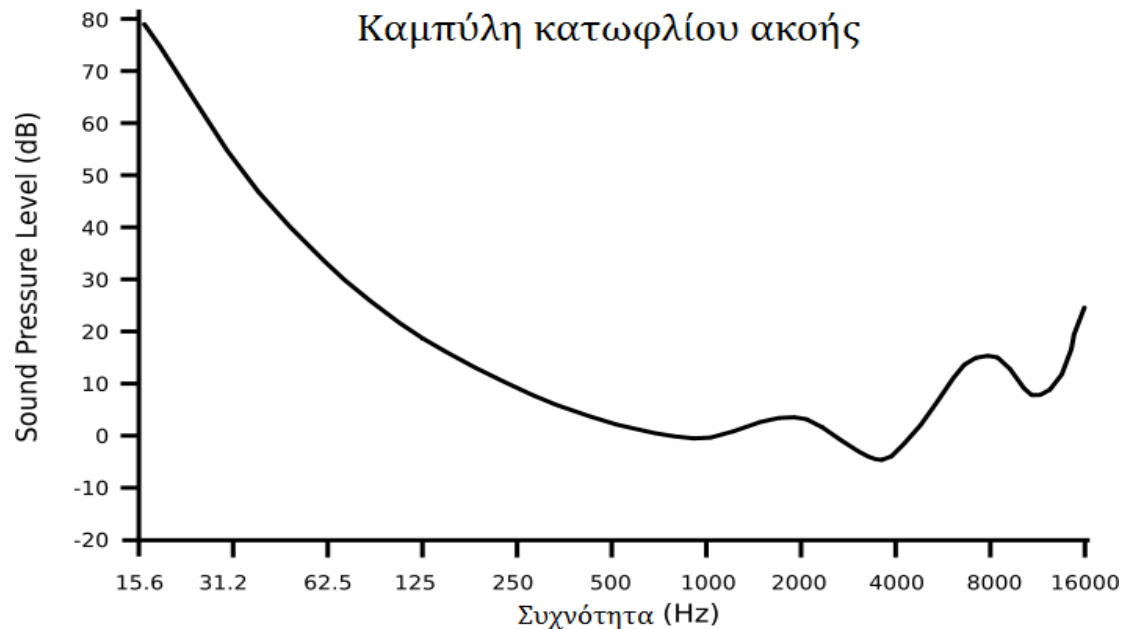
- ◉ Παράδειγμα εφαρμογής:

- ◉ Συμπίεση ήχου (MPEG3 standard – MP3)
- ◉ Τρεις σημαντικοί παράγοντες
  - ◉ Α. Εξάλειψη ήχων που δεν ακούγονται ( $<$  κατώφλι ακοής)
    - ◉ Μπορούμε να τους αφαιρέσουμε (μην αποθηκεύσουμε)
  - ◉ Β. Κάποιοι ήχοι είναι πιο «ευαίσθητοι» από άλλους
    - ◉ Χρήση κρίσιμων ευρών ζώνης (critical bands)
  - ◉ Γ. Κάποιοι ήχοι επικαλύπτουν άλλους γειτονικούς
    - ◉ Το φαινόμενο του masking (masking effect)

# Ηχητικά Κύματα

- Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Α. Εξάλειψη ήχων που δεν ακούγονται ( $<$  κατώφλι ακοής)
  - Μπορούμε να τους αφαιρέσουμε
  - Ό,τι βρίσκεται κάτω από το κατώφλι, δε χρειάζεται να αποθηκευτεί



# Ηχητικά Κύματα

Ρυθμίστε μέτρια προς χαμηλά  
την ένταση των ηχείων σας!

- Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Α. Εξάλειψη ήχων που δεν ακούγονται (< κατώφλι ακοής)
- Μπορείτε να ακούσετε τους ήχους αριστερά?
- Αυτούς δεξιά?

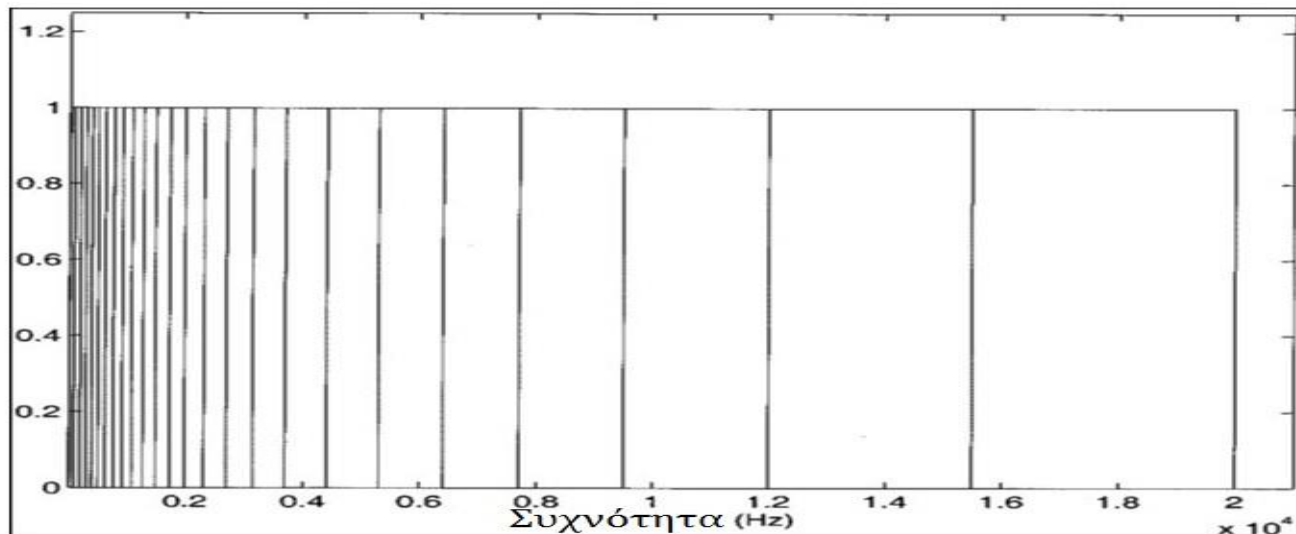


- Κάθε γραμμή είναι ένας τόνος στην ίδια συχνότητα αλλά σε διαφορετική ηχοστάθμη (**πάνω** από το κατώφλι ακοής (αριστερή στήλη), **κάτω** από το κατώφλι ακοής (δεξιά στήλη))

# Ηχητικά Κύματα

- Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Β. Κάποιοι ήχοι είναι πιο «ευαίσθητοι» από άλλους
  - Χρήση κρίσιμων ευρών ζώνης (critical bands)
  - Διαφορετική «βαρύτητα» σε κάθε ζώνη
  - Διαφορετική «ευαισθησία» του αυτιού σε κάθε ζώνη



# Ηχητικά Κύματα

Ρυθμίστε μέτρια προς χαμηλά  
την ένταση των ηχείων σας!

- Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπύεση ήχου (MP3 standard)
- Β. Κάποιοι ήχοι είναι πιο «ευαίσθητοι» από άλλους

500 Hz



550 Hz



6300 Hz



6500 Hz

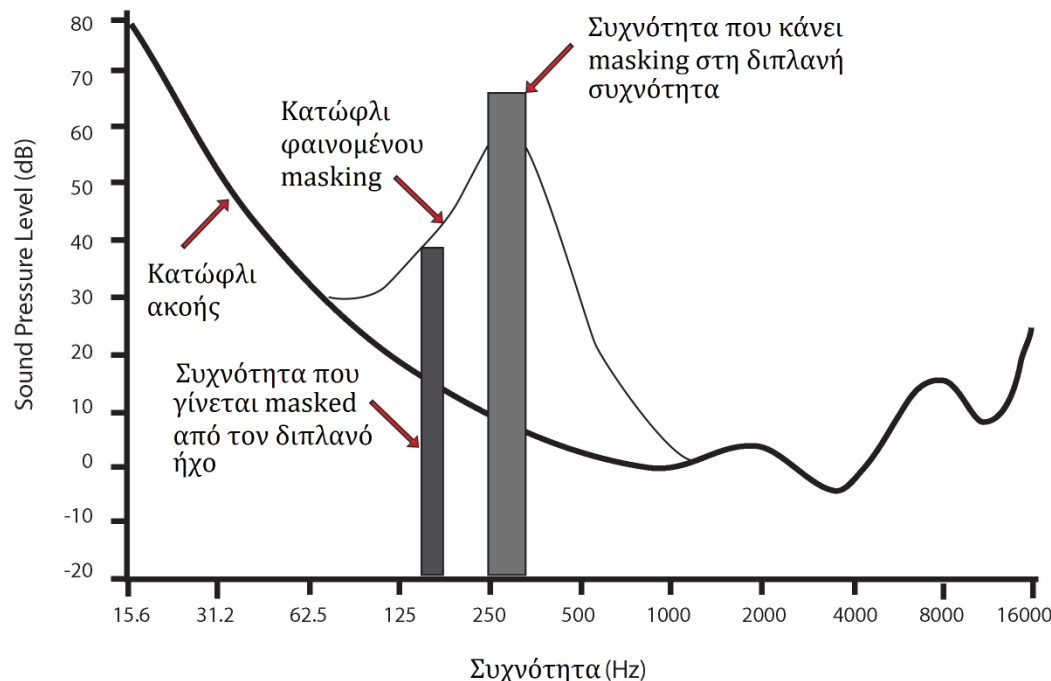


- Διακρίνετε με την ίδια **ευκολία** τη διαφορά των 50 Hz στο πρώτο ζεύγος και τη διαφορά των 200 Hz στο δεύτερο ζεύγος?

# Ηχητικά Κύματα

- Παράδειγμα εφαρμογής:

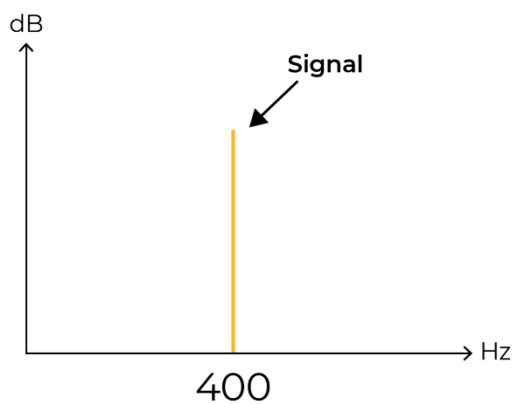
- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Γ. Masking effect (σε χρόνο και συχνότητα)
  - Ένας πιο δυνατός ήχος μπορεί να επικαλύψει ένα γειτονικό του
  - Η πληροφορία του γειτονικού ήχου δε χρειάζεται να αποθηκευτεί



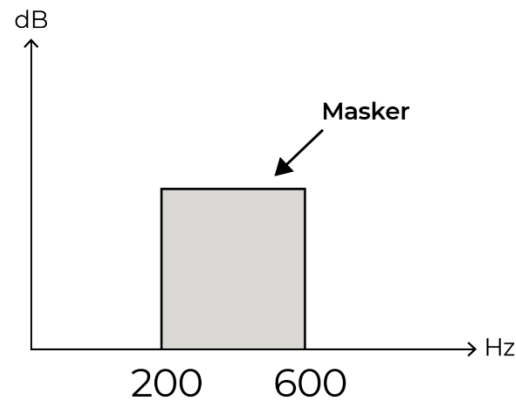
# Ηχητικά Κύματα

- ◉ Παράδειγμα εφαρμογής:

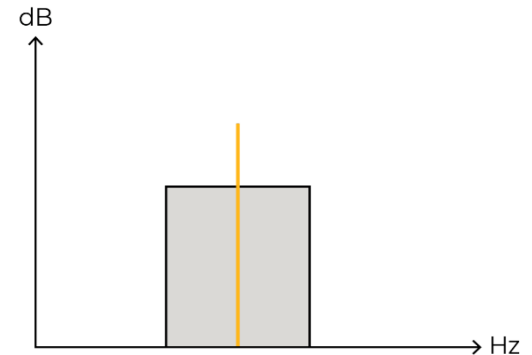
- ◉ Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- ◉ Γ. Masking effect (σε χρόνο και **συχνότητα**)



Pure 400Hz tone



200-600Hz pink noise



Tone + noise

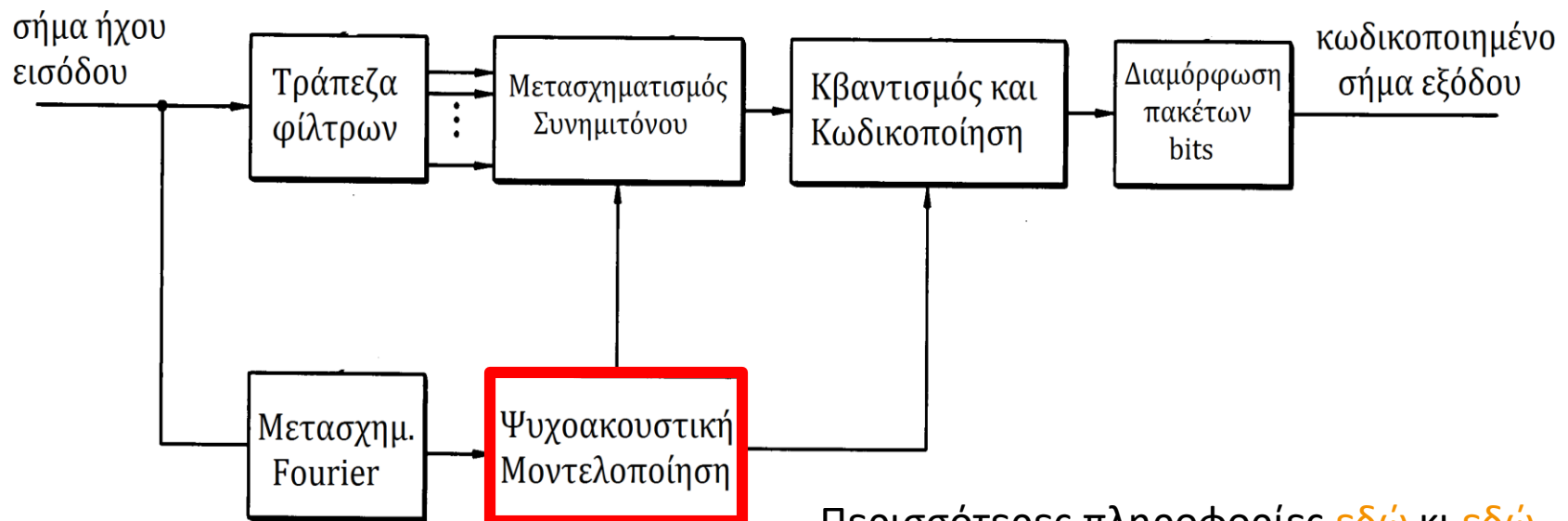


- ◉ Ακούστε τα παραπάνω από αριστερά → δεξιά. Μπορείτε να ακούσετε τον τόνο των 400 Hz στην 3<sup>η</sup> περίπτωση?

# Ηχητικά Κύματα

## ● Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Απλοποιημένο διάγραμμα



Περισσότερες πληροφορίες [εδώ](#) κι [εδώ](#)  
(ΔΕΝ είναι «εύπεπτα» κείμενα).



Τέλος Διάλεξης

---