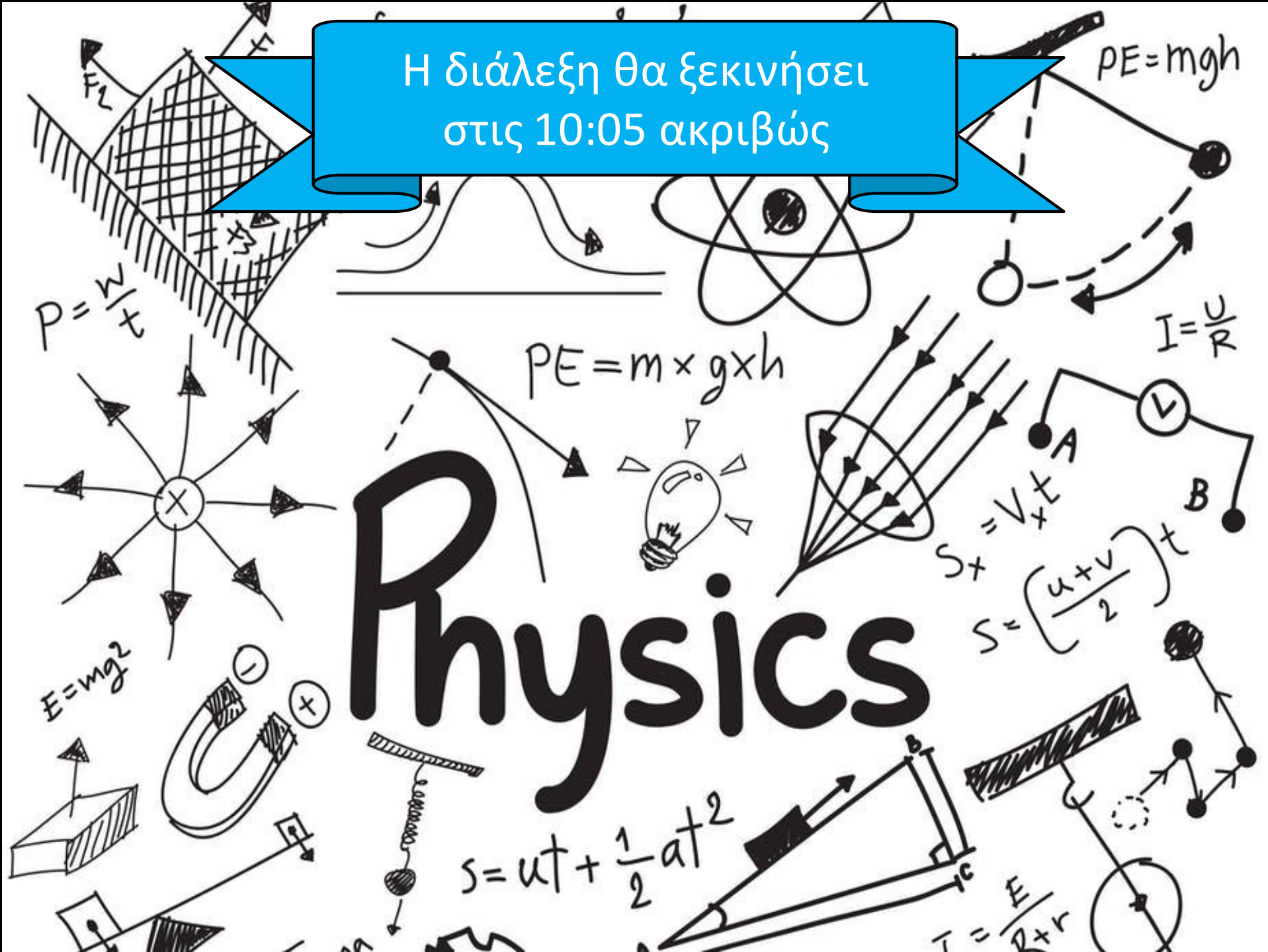


Η διάλεξη θα ξεκινήσει
στις 10:05 ακριβώς

Physics





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 (review...)

- 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

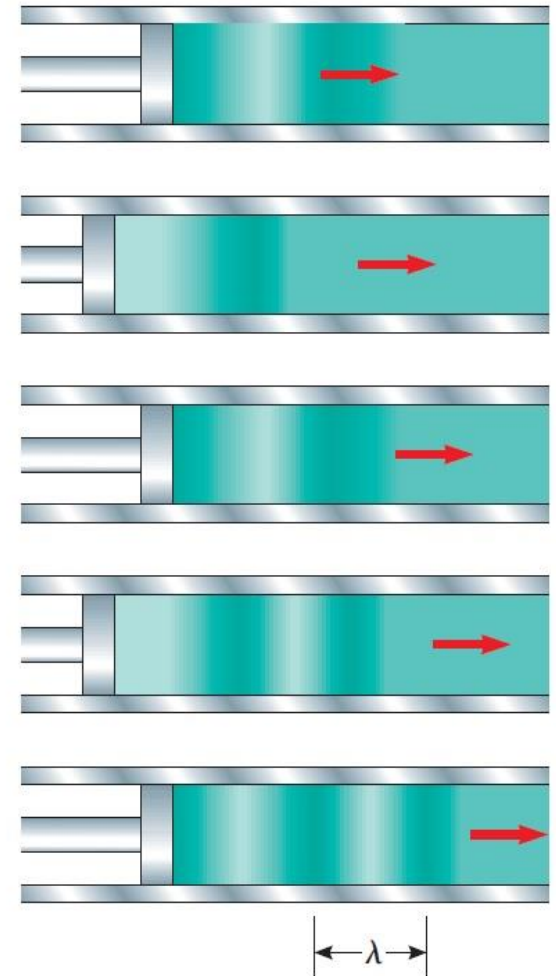
$$s(x, t) = s_{max} \cos(kx - \omega t)$$

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

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

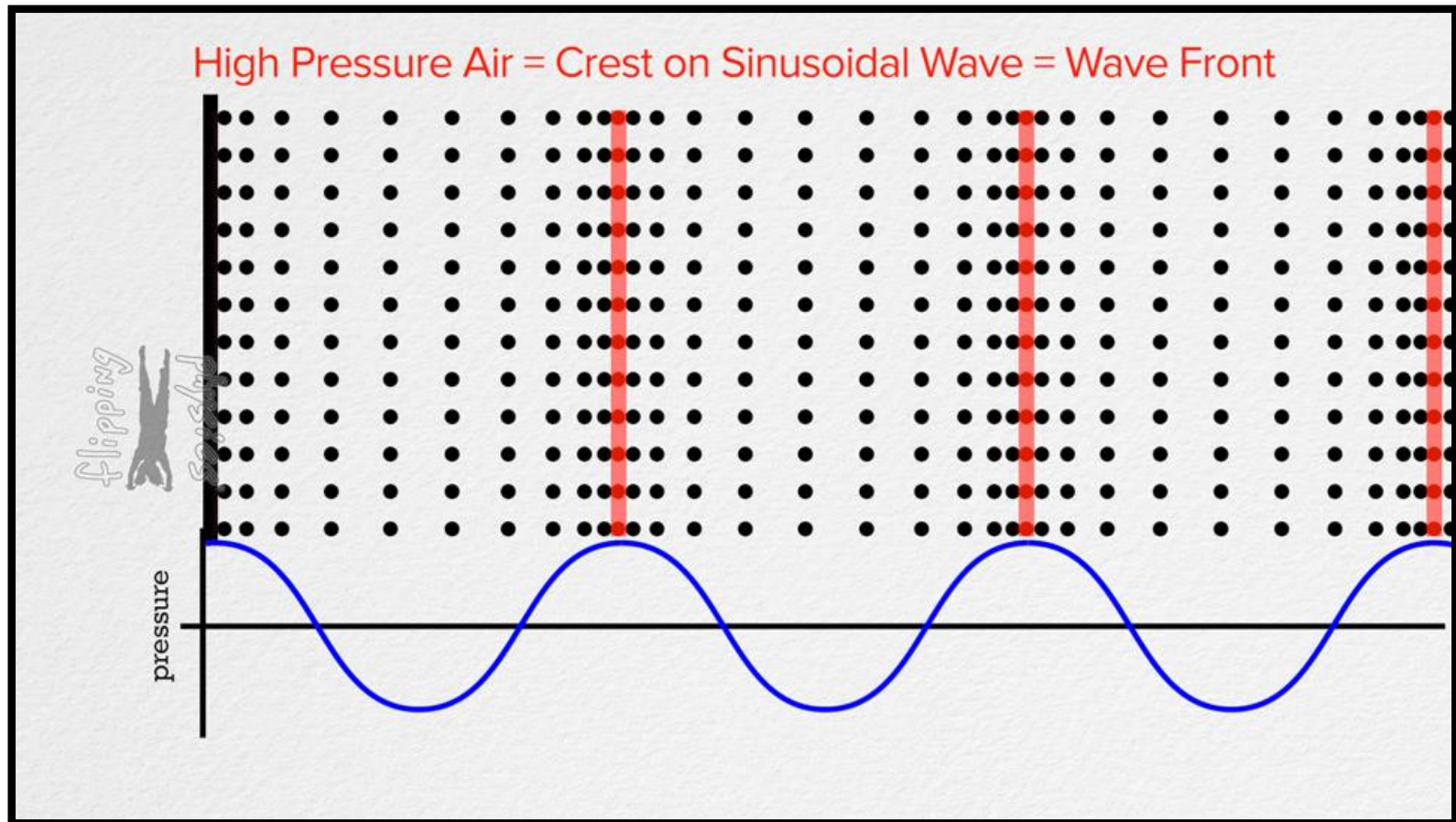
όπου ΔP_{max} η μέγιστη μεταβολή της πίεσης γύρω από την τιμή ισορροπίας

- Ο όρος ΔP_{max} ονομάζεται πλάτος πίεσης



Ηχητικά Κύματα (review...)

- Μεταβολή πίεσης αερίου ΔP



Ηχητικά Κύματα (review...)

- Ταχύτητα διάδοσης ήχου στον αέρα

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

όπου T_c η θερμοκρασία του αέρα

- Ένταση ηχητικών κυμάτων

$$I = \frac{(Iσχύς)_{μεση}}{A}$$

όπου A το εμβαδό της επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης

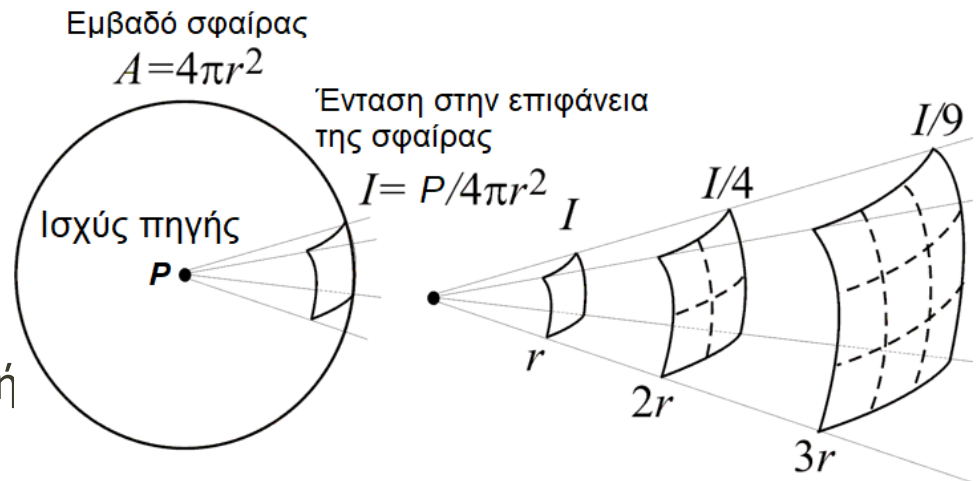
- Στην πράξη, τα κύματα διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις
 - Σφαιρικά κύματα

Ηχητικά Κύματα (review...)

- Σφαιρικό κύμα

- Μέτωπο κύματος

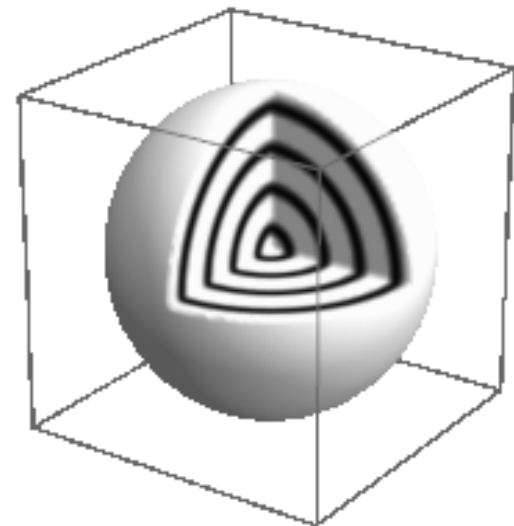
- Επιφάνεια όπου η φάση $(kr - \omega t + \varphi)$ του κύματος έχει ίδια τιμή



- Ακτίνες

- Ευθείες που ξεκινούν απ' την πηγή
- Δείχνουν την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος

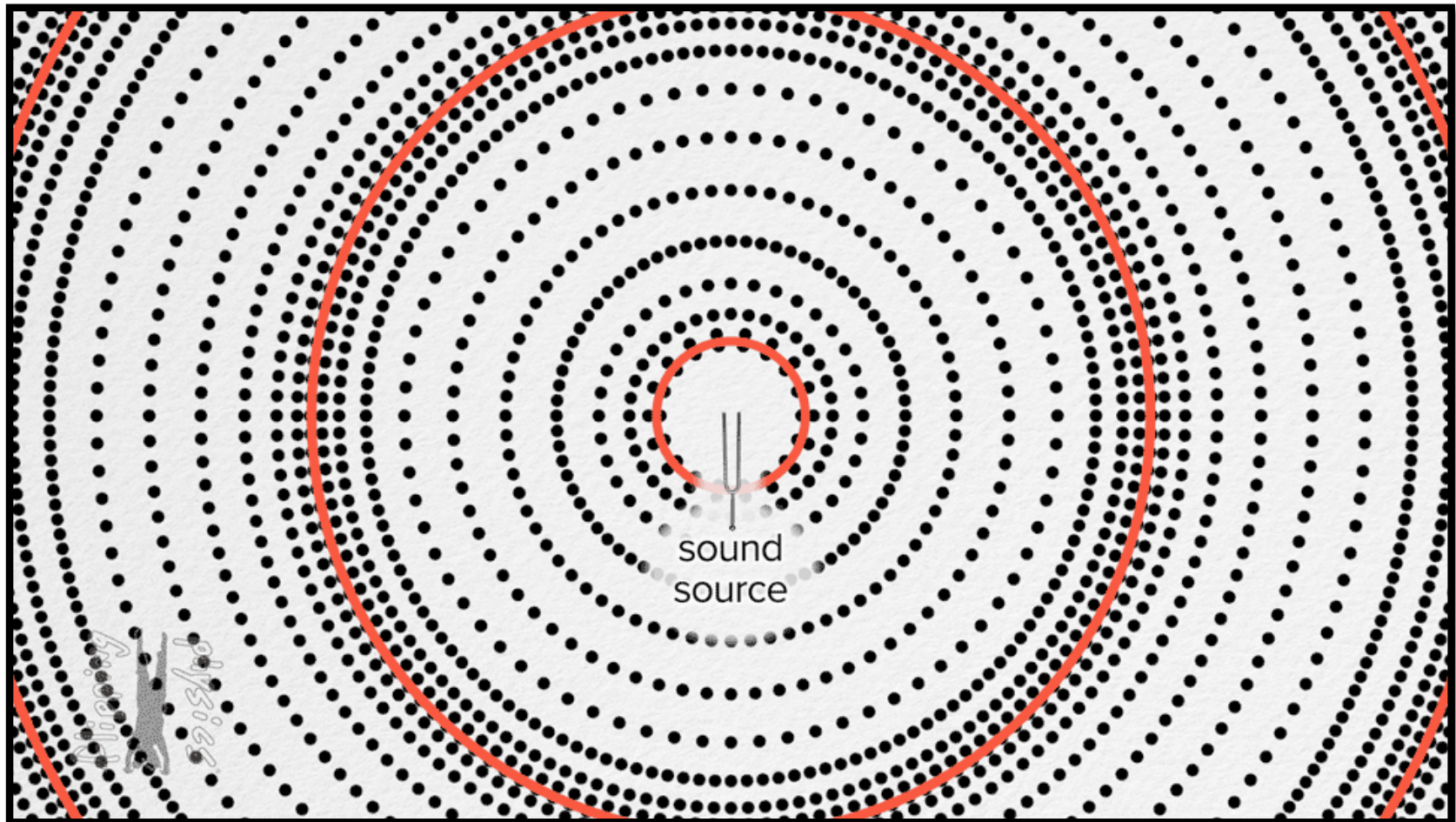
- Ένταση κύματος σε απόσταση r



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

Εμβαδό μετώπου

Ηχητικά Κύματα (review...)



Ηχητικά Κύματα (review...)

- **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 : μετρίεται σε Decibel (dB)
- Κατώφλι ακοής: 0 dB
- Όριο πόνου: 120-130 dB

Ηχητικά Κύματα

○ Παράδειγμα:

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

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.

Είναι
$$\beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{2 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 10^{-12}} =$$

$$= 10 \log_{10} (2 \cdot 10^5) = 10 \log_{10} 2 + 10 \log_{10} 10^5$$

$$= 10 \log_{10} 2 + 5 \cdot 10 \log_{10} 10 \quad \underbrace{\approx 3}$$

$$= 10 \log_{10} 2 + 50 \log_{10} 10 = 50 + 10 \log_{10} 2$$

$$\approx 53 \text{ dB}$$

$$\bullet \log a^b = b \log a$$

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 $2 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$.

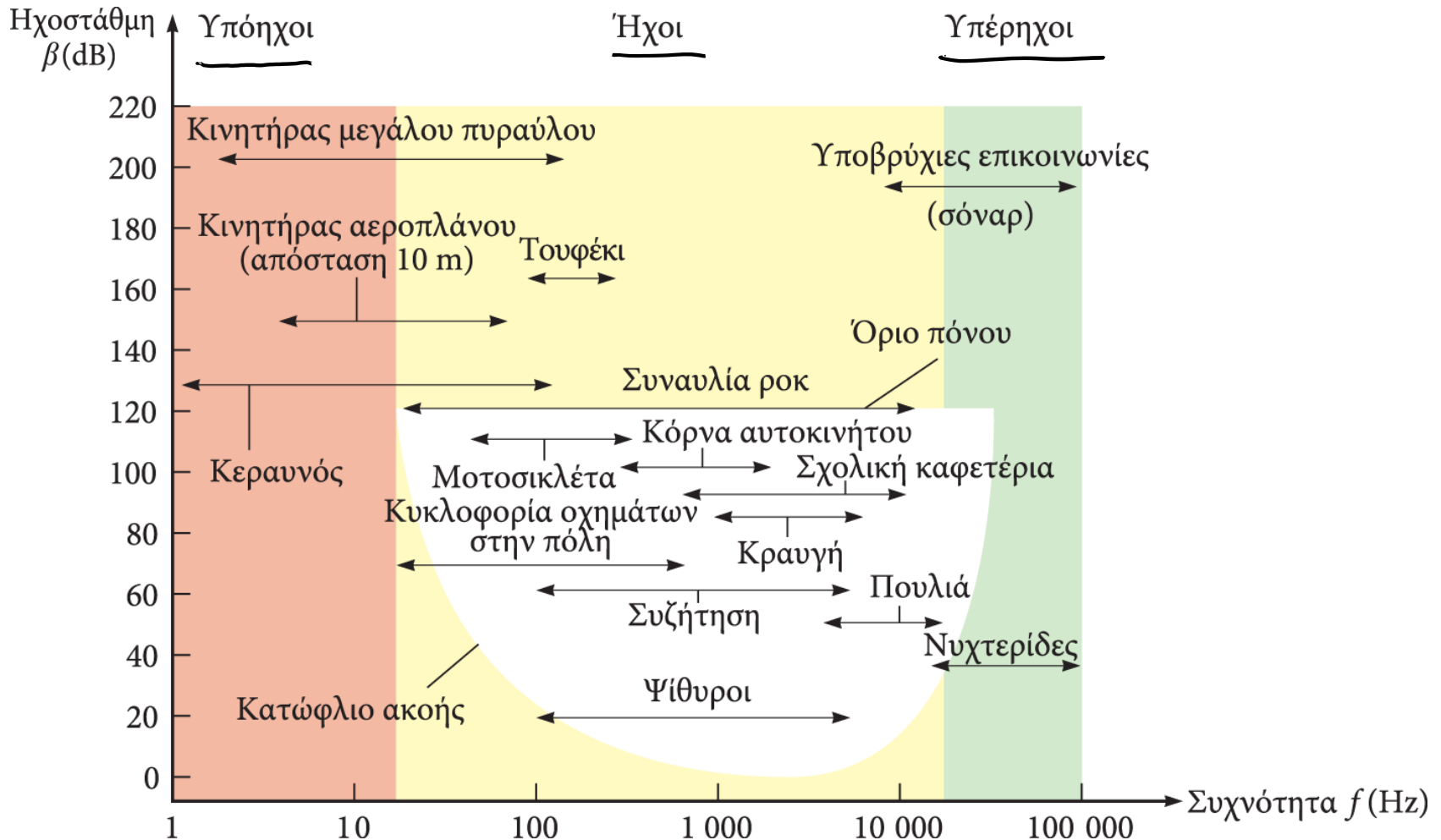
Β) Βρείτε την ηχοστάθμη που ακούει ο εργάτης όταν λειτουργούν και οι δυο μηχανές.

Είναι

$$\begin{aligned} \beta' &= 10 \log_{10} \frac{I'}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{2I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{4 \cdot 10^{-7}}{10^{-12}} \\ &= 10 \log_{10} (4 \cdot 10^5) = 10 \log_{10} 4 + 10 \log_{10} 10^5 \\ &= 10 \log_{10} 4 + 50 \cancel{\log_{10} 10} = 10 \log_{10} 4 + 50 \\ &= 10 \log_{10} 2^2 + 50 = \underbrace{20 \log_{10} 2}_{\approx 6} + 50 \\ &\approx 56 \text{ dB} \end{aligned}$$

Ηχητικά Κύματα

Ακουστότητα και Συχνότητα – Ψυχοακουστική



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)

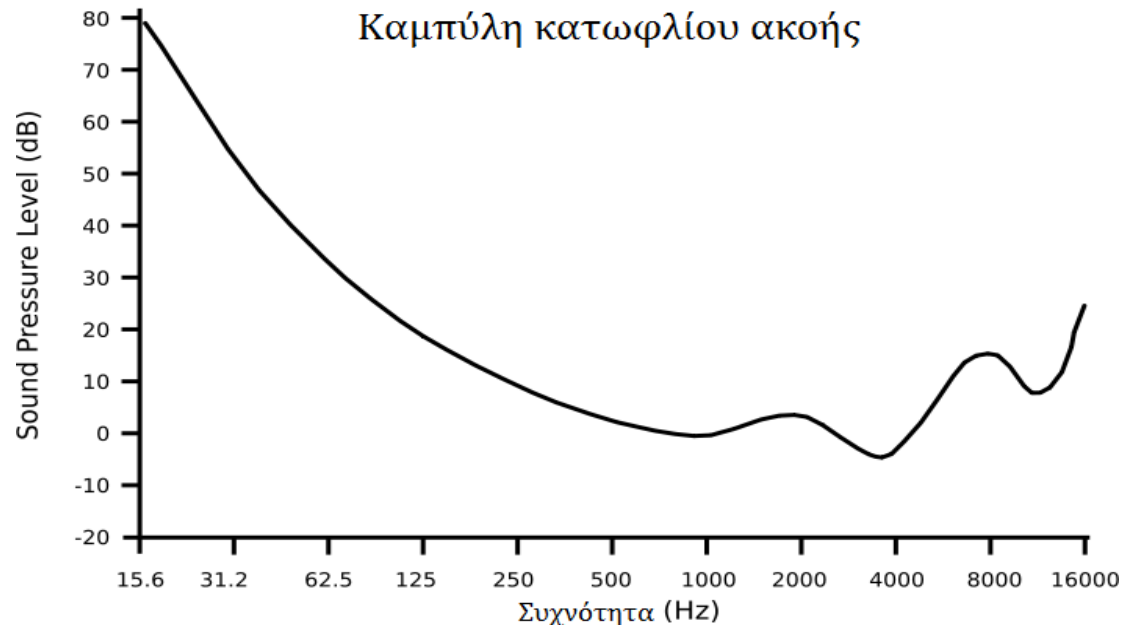
- Γ. Κάποιοι ήχοι επικαλύπτουν άλλους γειτονικούς

- Το φαινόμενο του masking (masking effect)

Ηχητικά Κύματα

- Παράδειγμα εφαρμογής:

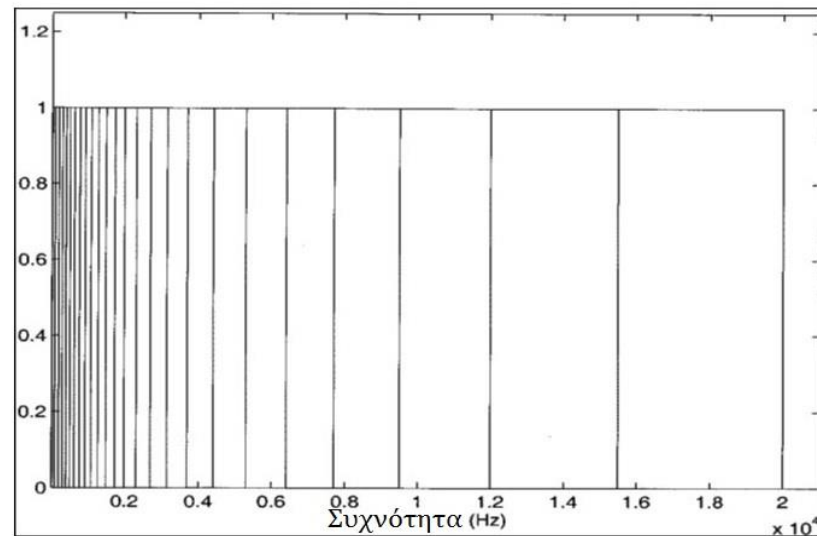
- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Α. Εξάλειψη ήχων που δεν ακούγονται (< κατώφλι ακοής)
 - Μπορούμε να τους αφαιρέσουμε
 - Ό,τι βρίσκεται κάτω από το κατώφλι, δε χρειάζεται να αποθηκευτεί



Ηχητικά Κύματα

- Παράδειγμα εφαρμογής:

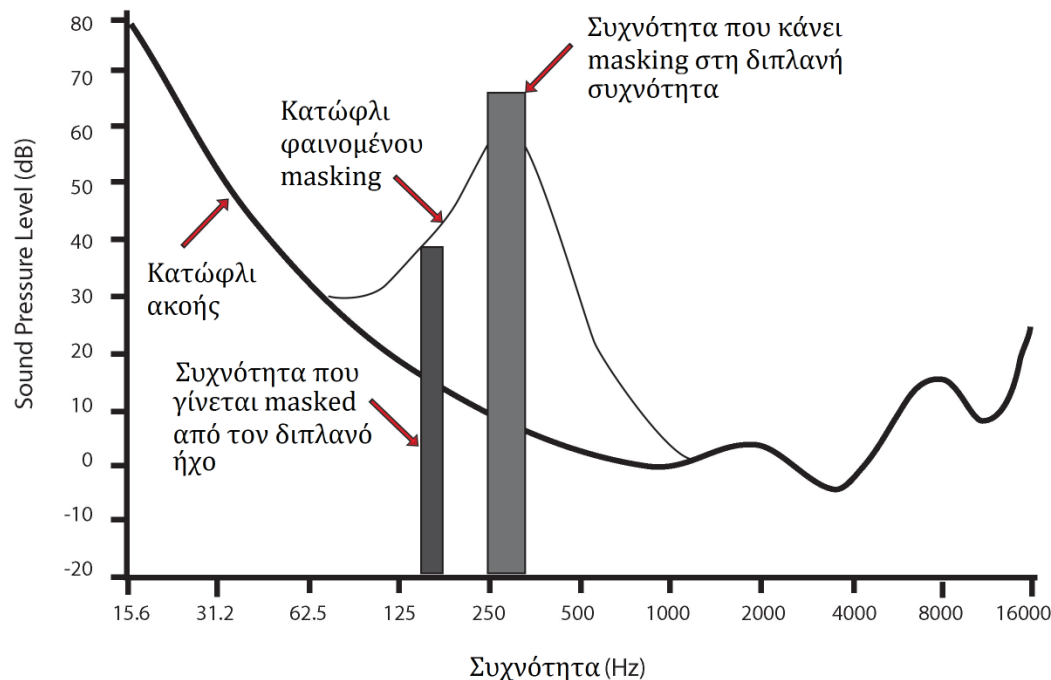
- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Β. Κάποιοι ήχοι είναι πιο «ευαίσθητοι» από άλλους
 - Χρήση κρίσιμων ευρών ζώνης (critical bands)
 - Διαφορετική «βαρύτητα» σε κάθε ζώνη
 - Διαφορετική «ευαισθησία» του αυτιού σε κάθε ζώνη



Ηχητικά Κύματα

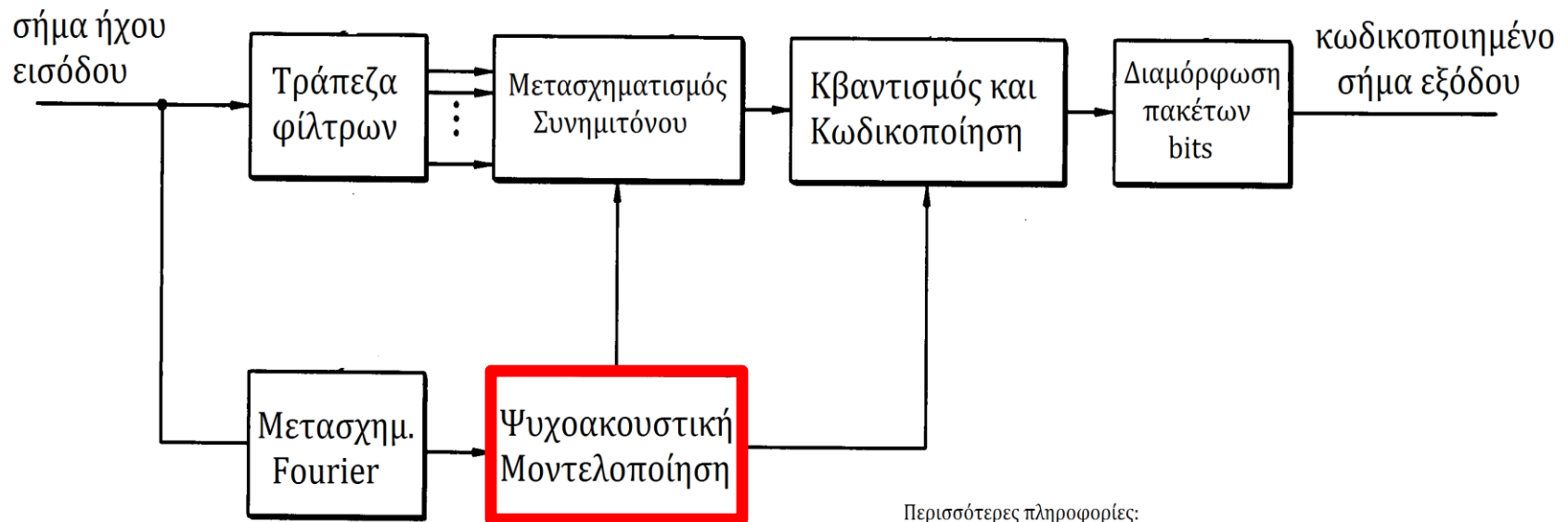
- Παράδειγμα εφαρμογής:

- Συμπίεση ήχου (MP3 standard)
- Γ. Masking effect
 - 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)
 - Απλοποιημένο διάγραμμα



Περισσότερες πληροφορίες:
<http://www.cns.nyu.edu/~msl/courses/2223/Readings/IEEEXplore-1.pdf>

Ηχητικά Κύματα

◉ Το φαινόμενο Doppler

- ◉ Άκρως συχνή εμπειρία!
- ◉ Ένα όχημα με σειρήνα μας πλησιάζει και απομακρύνεται από μας
 - ◉ Το ακούμε με υψηλότερη συχνότητα καθώς έρχεται προς εμάς
 - ◉ Το ακούμε με χαμηλότερη συχνότητα καθώς απομακρύνεται

Doppler effect

Στάσιμη πηγή ήχου



Πηγή ήχου που πλησιάζει



Παρατηρητής

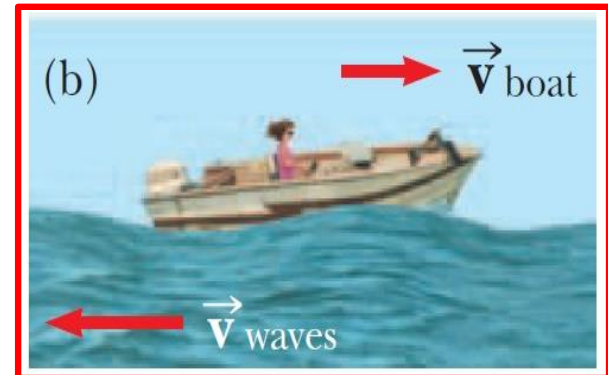
Πηγή ήχου που απομακρύνεται



Ηχητικά Κύματα

• Το φαινόμενο Doppler

- Διαισθητική κατανόηση
 - Κύματα χτυπούν την ακίνητη βάρκα με περίοδο T
 - Αν προχωρήσει η βάρκα προς την πηγή, κάθε κυματισμός θα φτάνει γρηγορότερα απ' ό,τι πριν
 - Λόγω της κίνησής μας προς την πηγή
 - Μετράμε περίοδο $T' < T$
- Τα κύματα φτάνουν «πιο συχνά» στη βάρκα
 - $f' = 1/T' > f = 1/T$

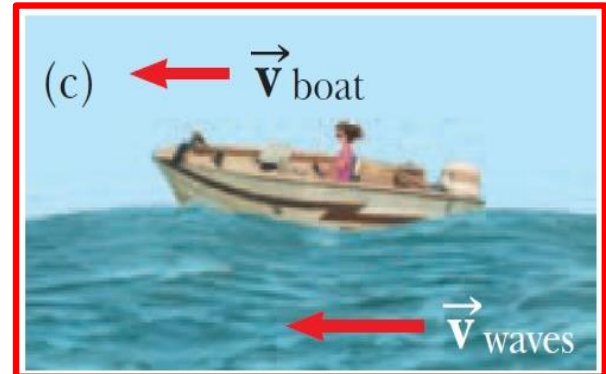
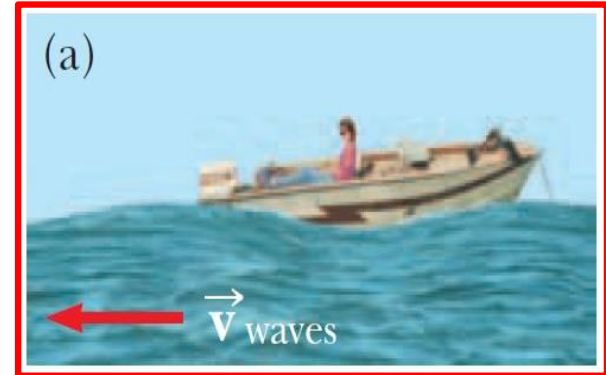


Ηχητικά Κύματα

• Το φαινόμενο Doppler

• Διαισθητική κατανόηση

- Κύματα χτυπούν την ακίνητη βάρκα με περίοδο T
- Αν προχωρήσει η βάρκα μακριά από την πηγή, κάθε κυματισμός θα φτάνει αργότερα απ' ό,τι πριν
 - Λόγω της κίνησής μας μακριά από την πηγή
- Μετράμε περίοδο $T' > T$
- Τα κύματα φτάνουν «πιο αραιά» στη βάρκα
 - $f' = 1/T' < f = 1/T$



Ηχητικά Κύματα

- Το φαινόμενο Doppler
 - Ευθέως ανάλογα για μια ηχητική πηγή



Ηχητικά Κύματα

- Το φαινόμενο Doppler

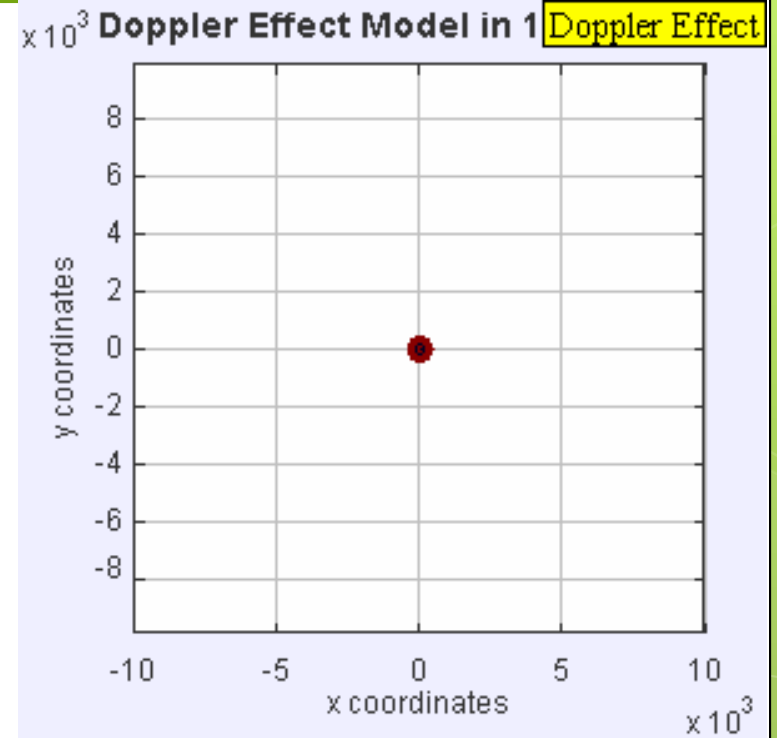
- Στάσιμη πηγή

- Συχνότητα πηγής f

- Περίοδος T

- Μήκος κύματος λ

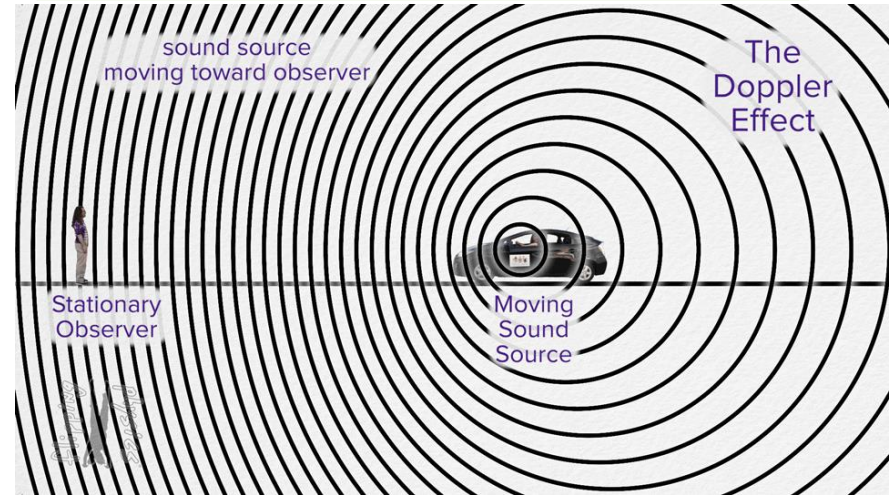
- Ένας ακίνητος παρατηρητής αντιλαμβάνεται τη συχνότητα f της πηγής



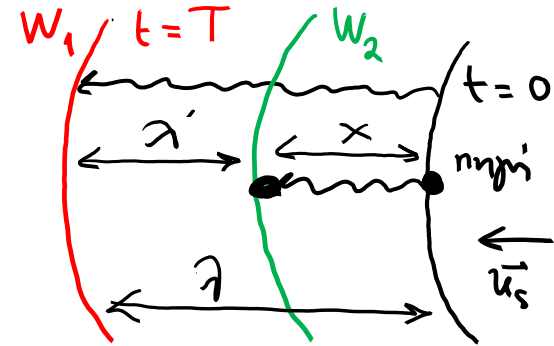
Ηχητικά Κύματα

• Το φαινόμενο Doppler

- Κινούμενη πηγή
 - Προς τον παρατηρητή
- Συχνότητα πηγής f
- Περίοδος T
- Μήκος κύματος λ
- Ταχύτητα πηγής u_s



$$x = u_s T$$



- Ένας ακίνητος παρατηρητής αντιλαμβάνεται συχνότητα

$$f' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{u}{\lambda - \frac{u_s}{f}} = \frac{u}{\left(\frac{u}{f}\right) - \left(\frac{u_s}{f}\right)} = \left(\frac{u}{u - u_s}\right) f = \left(\frac{1}{1 - u_s/u}\right) f$$

$\downarrow$
 $\lambda - u_s T$

Ηχητικά Κύματα

○ Το φαινόμενο Doppler

○ Κινούμενη πηγή

○ Μακριά από τον παρατηρητή

○ Συχνότητα πηγής f

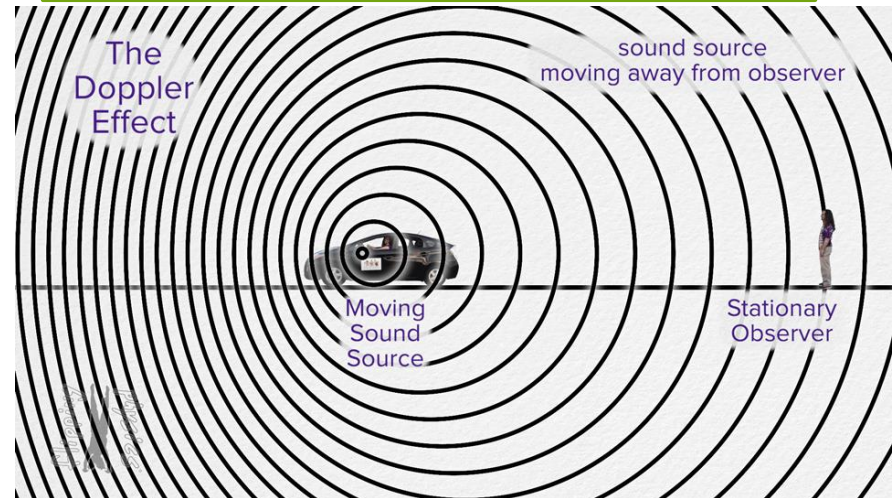
○ Περίοδος T

○ Μήκος κύματος λ

○ Ταχύτητα πηγής u_s

○ Ένας ακίνητος παρατηρητής αντιλαμβάνεται συχνότητα

$$f' = \frac{u}{\lambda'} = \frac{u}{\lambda + \frac{u_s}{f}} = \frac{u}{\left(\frac{u}{f}\right) + \left(\frac{u_s}{f}\right)} = \left(\frac{u}{u + u_s}\right) f = \left(\frac{1}{1 + u_s/u}\right) f$$



Ηχητικά Κύματα

○ Το φαινόμενο Doppler

○ Κινούμενος παρατηρητής

○ Πλησιάζει την πηγή

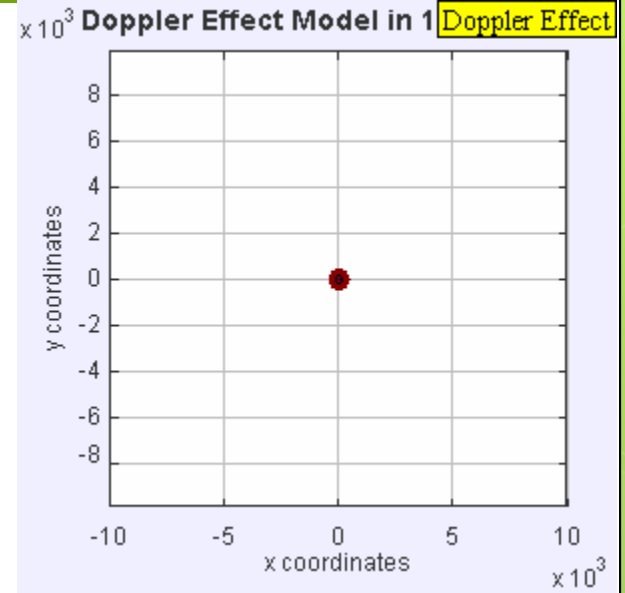
○ Συχνότητα πηγής f

○ Περίοδος T

○ Μήκος κύματος λ

○ Ταχύτητα παρατηρητή u_o

○ Ένας κινούμενος παρατηρητής που πλησιάζει την πηγή αντιλαμβάνεται συχνότητα

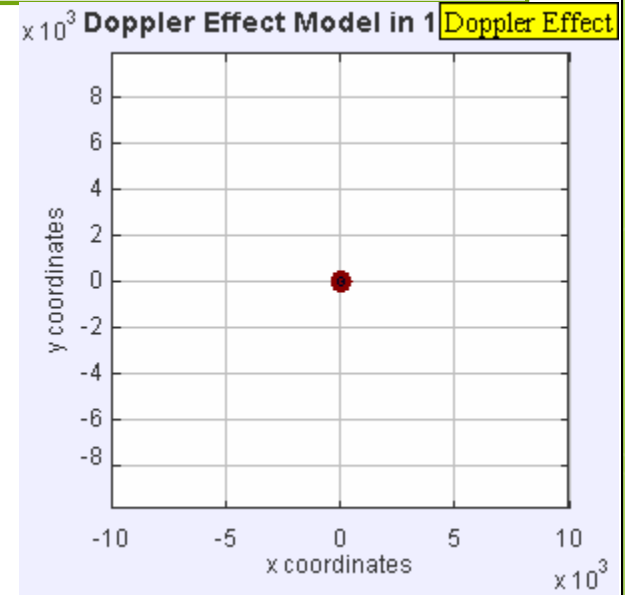


$$f' = \frac{u'}{\lambda} = \left(\frac{u + u_o}{u} \right) f = \left(1 + \frac{u_o}{u} \right) f$$

Ηχητικά Κύματα

○ Το φαινόμενο Doppler

- Κινούμενος παρατηρητής
 - Απομακρύνεται από την πηγή
- Συχνότητα πηγής f
- Περίοδος T
- Μήκος κύματος λ
- Ταχύτητα παρατηρητή u_o



- Ένας κινούμενος παρατηρητής που απομακρύνεται από την πηγή αντιλαμβάνεται συχνότητα

$$f' = \frac{u'}{\lambda} = \left(\frac{u - u_o}{u} \right) f = \left(1 - \frac{u_o}{u} \right) f$$

Ηχητικά Κύματα

• Το φαινόμενο Doppler

- Κίνηση και των δυο
- Συχνότητα πηγής f
- Περίοδος T
- Μήκος κύματος λ
- Ταχύτητα παρατηρητή u_o
- Ταχύτητα πηγής u_s

- Ένας κινούμενος παρατηρητής αντιλαμβάνεται συχνότητα μιας κινούμενης πηγής

$$\underset{\substack{\text{συχνότητα} \\ \text{αντιληπτή} \\ \text{παρατηρητή}}}{f'} = \left(\frac{\overset{\text{ταχ. ήχου}}{u \pm u_o}}{\underset{\text{ταχύτητα πηγής}}{u \pm u_s}} \right) f \rightarrow \underset{\text{συχν. πηγής}}{f}$$

Πώς επιλέγουμε πρόσημα στη σχέση αυτή?

1. Πηγή ή παρατηρητής **κινούνται ο ένας προς τον άλλο**: πρόσημα που αυξάνουν το f'
2. Πηγή ή παρατηρητής **απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο**: πρόσημα που μειώνουν το f'
3. Οι ταχύτητες εννοούνται πάντα κατά **μέτρο**!

Ηχητικά Κύματα

● Παράδειγμα:

- Το ξυπνητήρι σας παράγει έναν ήχο συχνότητας 600 Hz. Ένα πρωί, «κολλάει» και δεν μπορείτε να το κλείσετε. Στην απελπισία σας, το πετάτε («αφήνετε») από το παράθυρο. Αν υποθέσετε ότι η ταχύτητα του ήχου είναι 343 m/s, και ότι βρίσκεστε στον 4^ο όροφο (15 m από το έδαφος), τι συχνότητα θα ακούσετε λίγο πριν γίνει κομματάκια;



Ηχητικά Κύματα

$$(1) : f' = \frac{v}{v + u_s} f = \frac{v}{v + |u_B|} f \approx 571 \text{ Hz}$$

● Παράδειγμα - Λύση:

- Το ξυπνητήρι σας παράγει έναν ήχο συχνότητας 600 Hz. Στην απελπισία σας, το πετάτε (αφήνετε) από το παράθυρο. Αν η ταχύτητα του ήχου είναι 343 m/s, και βρίσκεστε 15 m από το έδαφος, τι συχνότητα θα ακούσετε λίγο πριν γίνει κομματάκια;

Για να χρησιμοποιήσουμε την (1), θέλουμε την ταχύτητα της πηγής, στη θέση (B).

Έχουμε:

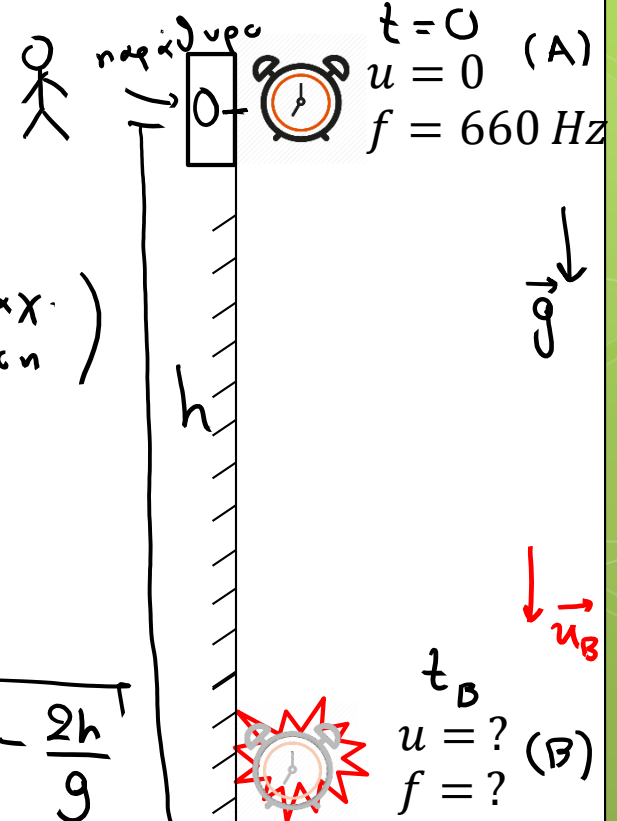
$$y_B = y_A + u_{Ay} t - \frac{1}{2} g t^2 \quad \left(\begin{array}{l} \text{επιταχ.} \\ \text{κίνηση} \end{array} \right)$$

$$h = 0 + 0 \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = \sqrt{-\frac{2h}{g}} \quad (h < 0!)$$

Άρα

$$u_B = u_A - g t = 0 - g t = -g \sqrt{-\frac{2h}{g}}$$



Ηχητικά Κύματα

● Παράδειγμα:

- Από το ηχείο ενός πλανόδιου πωλητή που κινείται με σταθερή ταχύτητα εκπέμπεται ένα ημίτονο στα 210 Hz. Όταν βρίσκεστε στα 10 m από το ηχείο, μετράτε την ηχοστάθμη του ήχου και τη βρίσκετε στα 95 dB στα 208 Hz. Πόσο χρόνο θα πάρει μέχρι η ηχοστάθμη να πέσει στα ανεκτά επίπεδα των 55 dB? Υποθέστε ότι η θερμοκρασία είναι 20° C.

Δεδομένα : σταθερή ταχύτητα : $u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

ηχοστάθμες : β_1, β_2 : $\beta_i = 10 \log_{10} (I_i/I_0)$

συχνότητες εκπομπής και αντίληψης : f, f'

Άγνωστα : $u, \Delta x, \Delta t$

$$f' = \frac{u \pm u_o}{u \pm u_s} f$$

Ζητούμενο : Δt (χρόνος), άρα χρειάζεται $u, \Delta x$ ← ταχύτητα ηχητικής πηγής ← μετατόπιση από 10m σε ? m

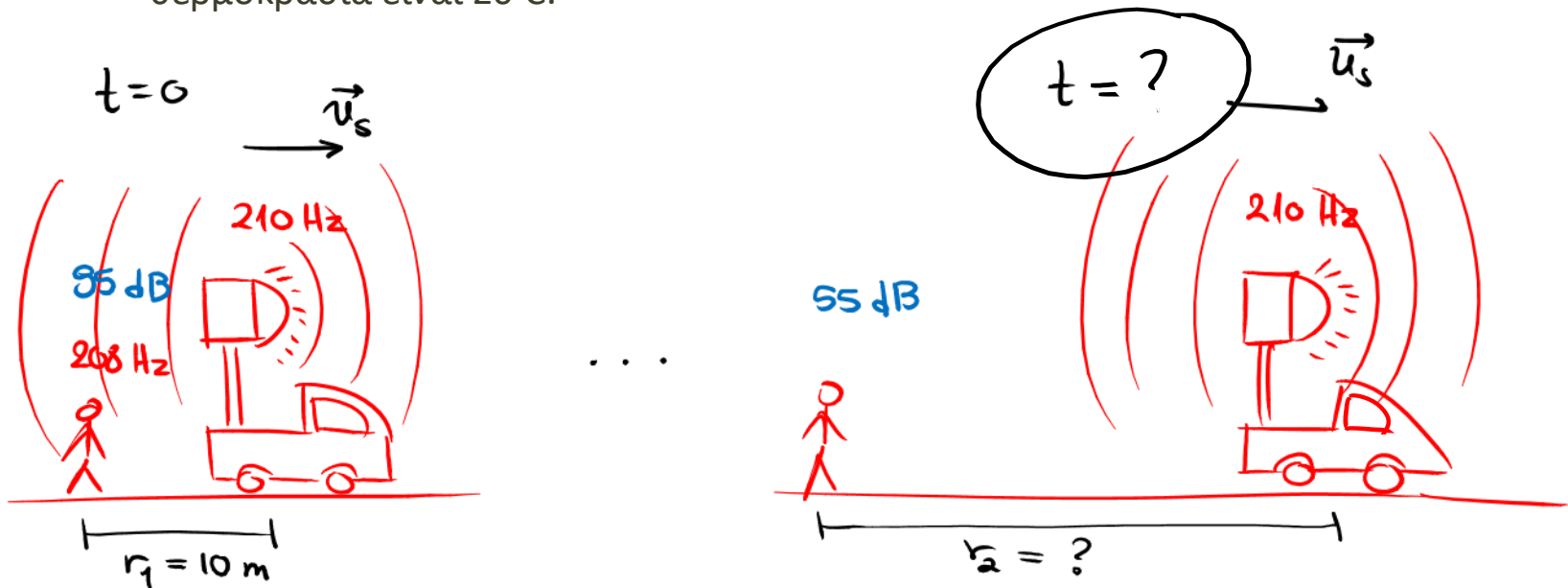
Ηχητικά Κύματα

• Παράδειγμα – Λύση:

- Από το ηχείο ενός πλανόδιου πωλητή που κινείται με σταθερή ταχύτητα εκπέμπεται ένα ημίτονο στα 210 Hz. Όταν βρίσκεστε στα 10 m από το ηχείο, μετράτε την ηχοστάθμη του ήχου και τη βρίσκετε στα 95 dB στα 208 Hz. Πόσο χρόνο θα πάρει μέχρι η ηχοστάθμη να πέσει στα ανεκτά επίπεδα των 55 dB? Υποθέστε ότι η θερμοκρασία είναι 20 C.

$$\beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \cdot \quad u_{\text{ήχου}} = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}}$$

$$f' = \frac{u}{u + u_s} f \quad \cdot \quad I = \frac{P_{\text{αυθ}}}{4\pi r^2}$$



Ηχητικά Κύματα

● Παράδειγμα – Λύση:

- Από το ηχείο ενός πλανόδιου πωλητή που κινείται με σταθερή ταχύτητα εκπέμπεται ένα ημίτονο στα 210 Hz. Όταν βρίσκεστε στα 10 m από το ηχείο, μετράτε την ηχοστάθμη του ήχου και τη βρίσκετε στα 95 dB στα 208 Hz. Πόσο χρόνο θα πάρει μέχρι η ηχοστάθμη να πέσει στα ανεκτά επίπεδα των 55 dB? Υποθέστε ότι η θερμοκρασία είναι 20 C.

Αρχικά, $u_{\text{ήχου}} = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}} \quad T_c = 20^\circ\text{C} \quad 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} = u$ ταχύτητα ήχου

Ενικός, $f' = \left(\frac{u}{u + v_s} \right) f \Rightarrow v_s = \left(\frac{f}{f' - 1} \right) u \approx 3.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ταχύτητα ηχηρ. (πωλητή)

Ενικός, $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow I = 10^{\frac{\beta}{10}} I_0$ Σχέση ηχοστάθμης - έντασης

Αρα

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = 10^{\frac{95}{10}} I_0 \\ I_2 = 10^{\frac{55}{10}} I_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{10^{9.5}}{10^{5.5}} = 10^4 \text{ (L)}$$

Ηχητικά Κύματα

● Παράδειγμα – Λύση:

- Από το ηχείο ενός πλανόδιου πωλητή που κινείται με σταθερή ταχύτητα εκπέμπεται ένα ημίτονο στα 210 Hz. Όταν βρίσκεστε στα 10 m από το ηχείο, μετράτε την ηχοστάθμη του ήχου και τη βρίσκετε στα 95 dB στα 208 Hz. Πόσο χρόνο θα πάρει μέχρι η ηχοστάθμη να πέσει στα ανεκτά επίπεδα των 55 dB? Υποθέστε ότι η θερμοκρασία είναι 20 C.

Από τη σχέση $I = \frac{P}{4\pi r^2}$, $I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right. \Rightarrow$

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

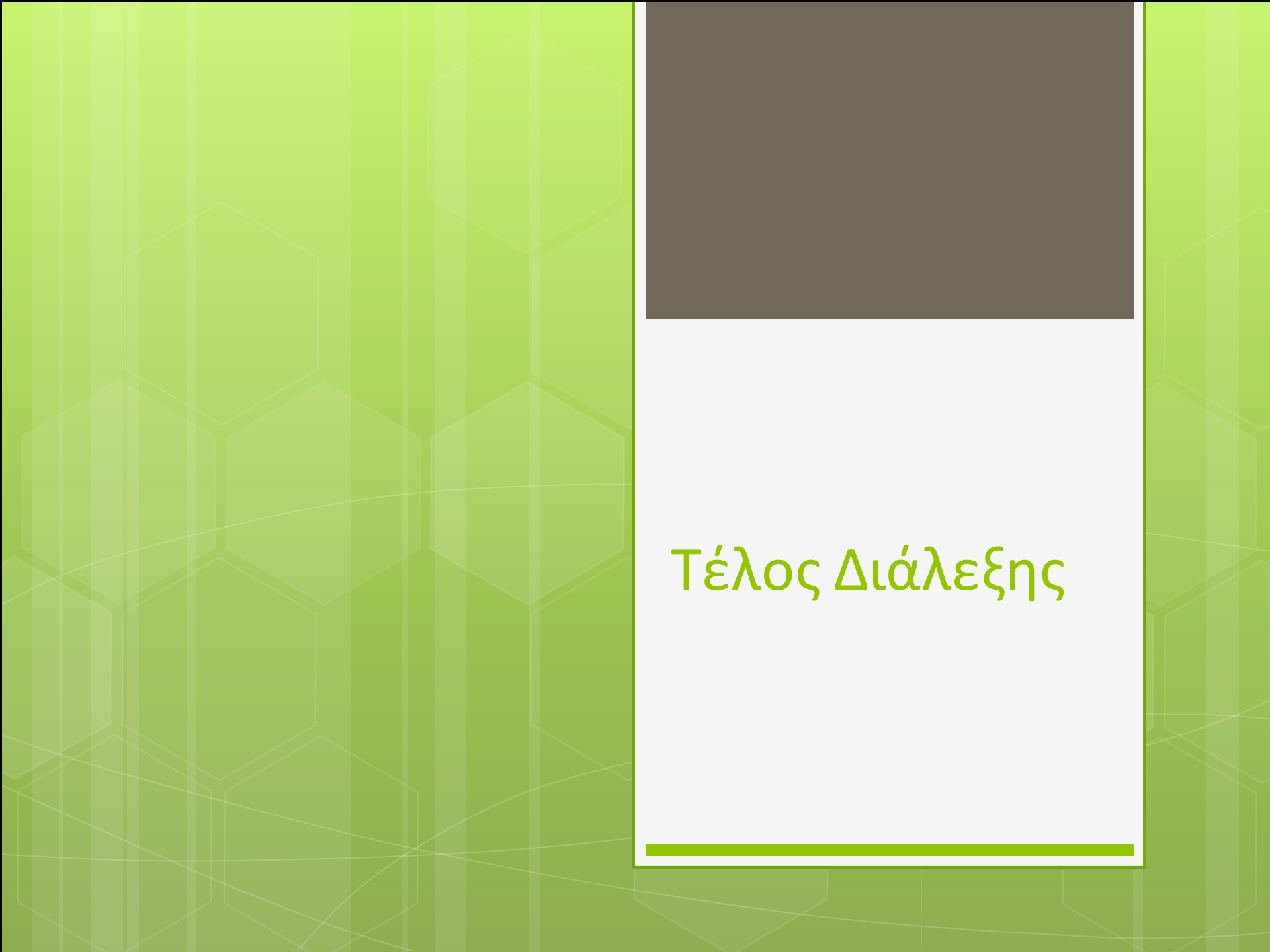
$\Rightarrow \left(\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \quad (2)$

σχέση έντασης
ανάστασης
από πηγή

ΚΙΝΗΤΙΚΗ
σταθ. ταχ.
 $* u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

Οπότε $\frac{r_2^2}{r_1^2} \stackrel{(1)}{=} 10^4 \Rightarrow r_2^2 = 10^4 \cdot r_1^2 = 10^4 \cdot 10^2 = 10^6 \Rightarrow$

$\Rightarrow r_2 = 10^3 = 1000 \text{ m}$. Τέλος, $* t = \frac{r_2 - r_1}{u_s} = \frac{990}{33} = 300 \text{ sec}$
" 5 λεπτά



Τέλος Διάλεξης

