

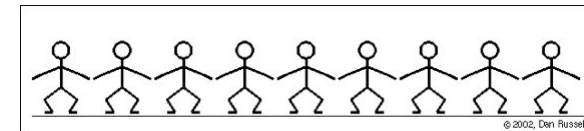
# Ακουστική και Ψυχοακουστική

## Διάλεξη 3: "Μέτρηση του Ήχου"

Φλώρος Ανδρέας  
Επίκουρος Καθηγητής

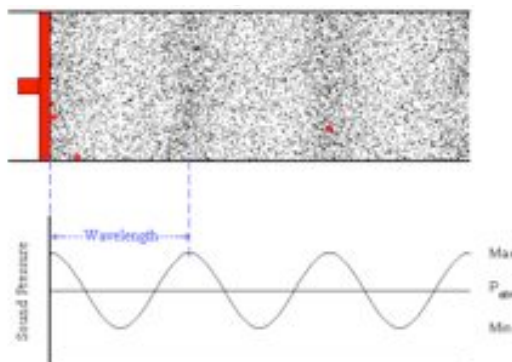
### Από το προηγούμενο μάθημα...

- Τί είναι ήχος;
  - Η μεταδιδόμενη μέσω του αέρα υπερ-πίεση ή υπο-πίεση που παράγεται από μια ηχητική πηγή
- Ο ήχος είναι ένα κύμα



### Από το προηγούμενο μάθημα...

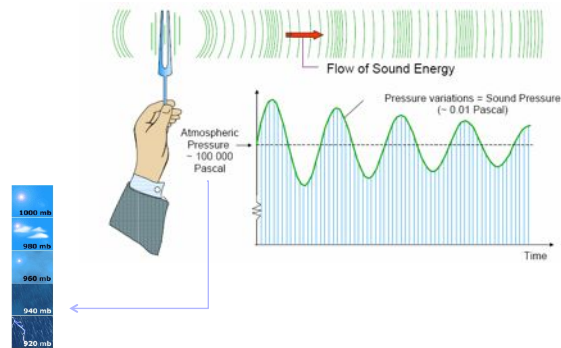
Παραγωγή - διάδοση ηχητικού κύματος



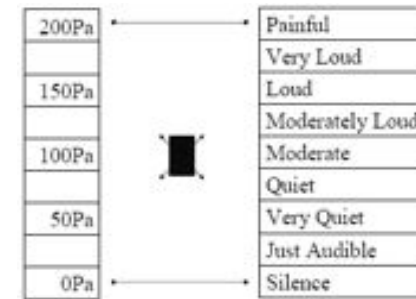
### Από το προηγούμενο μάθημα...

- Ακουστική πίεση ( $p$ )
  - Η υπερπίεση ή υποπίεση (σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση) που δημιουργείται κατά τη διάδοση του ηχητικού κύματος
- Πλάτος της πίεσης: Η μέγιστη διαφορά της στιγμιαίας πίεσης από την ατμοσφαιρική πίεση
  - Μονάδα μέτρησης το Pascal ( $N/m^2$ )
  - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ ατμόσφαιρα} \sim 10 \text{ m στήλης νερού}$
- Ηχητική ένταση ( $I$ )
  - Διανυσματικό μέγεθος
  - Εκφράζει την ενέργεια (ισχύ) ανά μονάδα επιφάνειας
- Μονάδα μέτρησης  $W/m^2$

## Ηχητική πίεση - Ορισμός

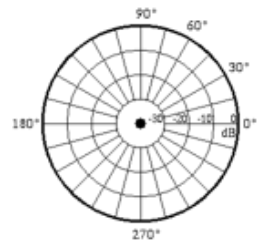
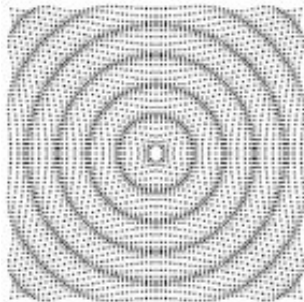


## Ηχητική πίεση - αντίληψη



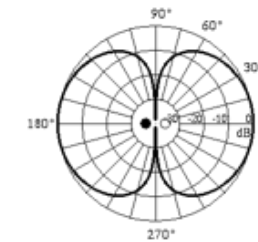
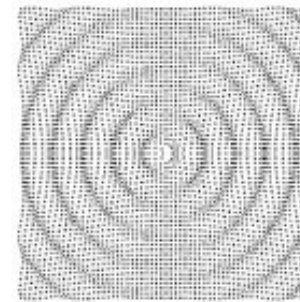
## Πώς παράγεται ο ήχος

- Μονοπολική ηχητική πηγή



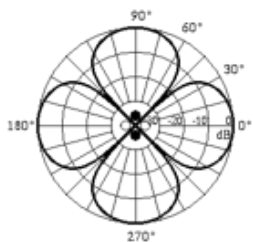
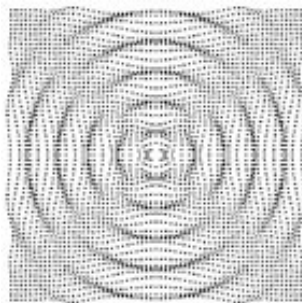
## Πώς παράγεται ο ήχος (2)

- Διπολική ηχητική πηγή



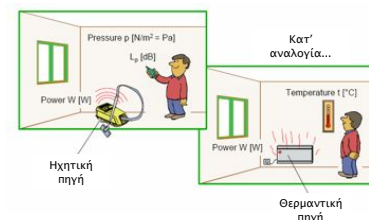
## Πώς παράγεται ο ήχος (3)

- Τετραπολική ηχητική πηγή

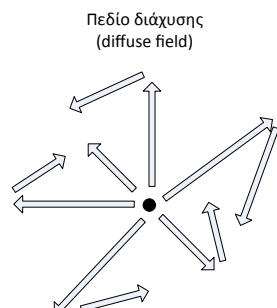
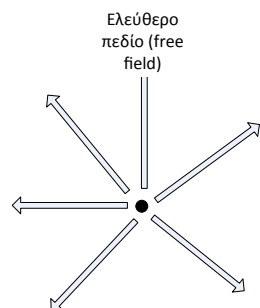


## Ποσοτικά χαρακτηριστικά ηχητικών πηγών

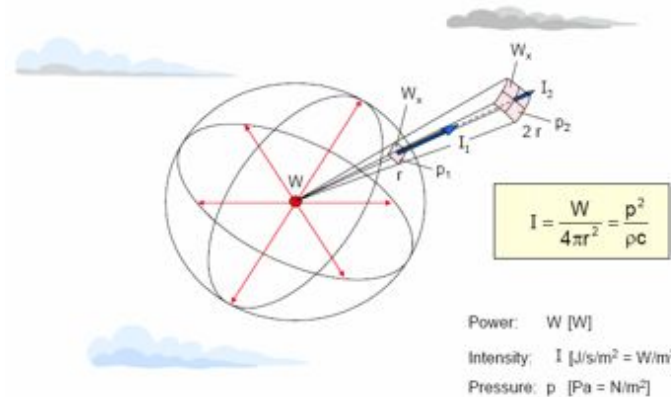
- Σε κάθε περίπτωση, βασικό χαρακτηριστικό μίας ηχητικής πηγής είναι η ακουστική ισχύς της (W)
- Μονάδα μέτρησης το Watt



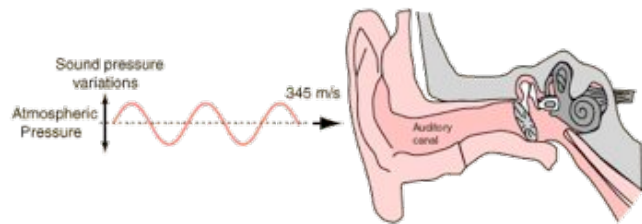
## Πώς διαδίδεται ο ήχος;



## Σχέση έντασης & ηχητικής πίεσης (ανοιχτό πεδίο)



## Δυναμική περιοχή ανθρώπινης ακοής



The ear has incredible sensitivity

Threshold of hearing  $I_0$  less than one billionth of atmospheric pressure.

and an incredible power range of operation!

Threshold of pain  $10^{13} I_0 = 10,000,000,000,000 I_0$

## Το σύστημα decibel - γιατί χρησιμοποιείται;

- Στην ακουστική οι μονάδες που χρησιμοποιούμε είναι **λογαριθμικές**
  - Μεγάλο εύρος τιμών
    - Π.χ. Η ηχητική πίεση από 20μPa έως  $10^8$ Pa
  - Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον ήχο «λογαριθμικά»

$$R = k \log S$$

– όπου

- R η αλλαγή της υποκειμενικής αντίληψης
- S η σχετική μεταβολή του ερεθίσματος που την προκαλεί
- k μια σταθερά

Ψυχοφυσικός Νόμος των Weber - Fechner

## Το σύστημα decibel - ορισμοί

- Μονάδα bel: ο λογάριθμος μιας αδιάστατης ποσότητας

$$A(\text{bel}) = \log \frac{k_1}{k_{\text{ref}}}$$

–  $k_1, k_{\text{ref}}$  τιμές με ίδιες μονάδες

- Μονάδα decibel (dB): το δέκατο της μονάδας bel

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{k_1}{k_{\text{ref}}}$$

- Σχετική μέτρηση μεγεθών

## Το σύστημα decibel - ηχητικές στάθμες

- Στάθμη ηχητικής πίεση (Sound Pressure Level – SPL ή  $L_p$ )

$$\text{dB} - \text{SPL} = 10 \log_{10} \left( \frac{p}{p_{\text{ref}}} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{p}{p_{\text{ref}}}, \quad p_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

- Στάθμη έντασης ήχου (Intensity Level – IL ή  $L_I$ )

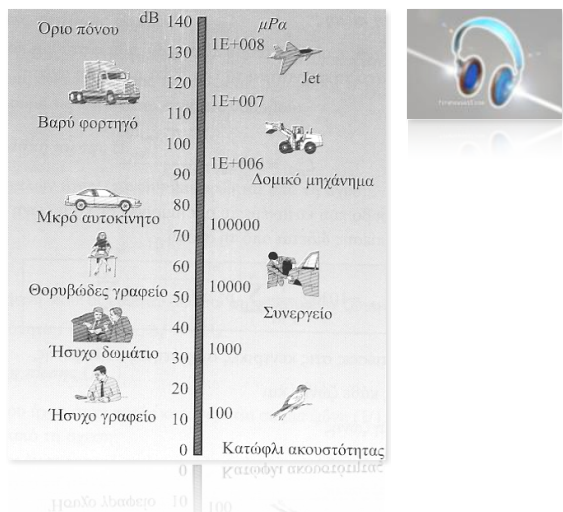
$$\text{dB} - \text{IL} = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_{\text{ref}}} \right), \quad I_{\text{ref}} = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- Στάθμη ισχύος ήχου (PoWer Level – PWL ή  $L_W$ )

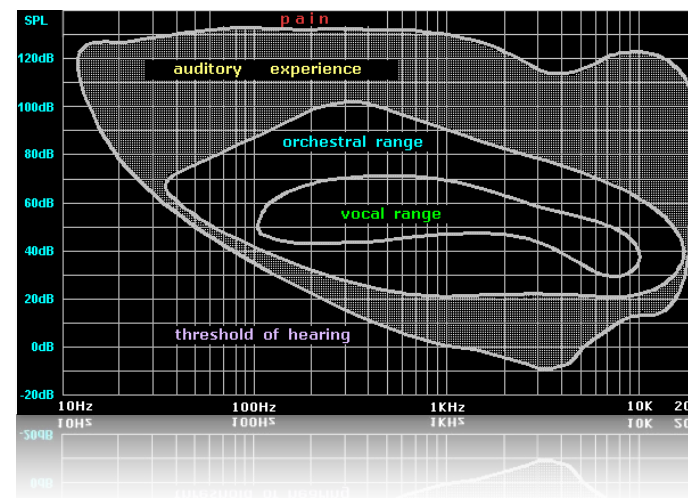
$$\text{dB} - \text{PWL} = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_{\text{ref}}} \right), \quad W_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W}$$



## Σύγκριση ηχητικής πίεσης & στάθμης πίεσης



## Τα όρια της ανθρώπινης ακοής



## Το σύστημα decibel - σύνοψη μεγεθών

Ποσότητα	Στάθμη αναφοράς	Σύμβολο	Πολ/στής
Πίεση ήχου	0,00002 N/m <sup>2</sup>	dB-SPL ή L <sub>p</sub>	20
Ένταση ήχου	10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup>	dB-IL	10
Ισχύς ήχου	10 <sup>-12</sup> W	dB-PWL ή L <sub>w</sub>	10
Ηλεκτρ. ισχύς	10 <sup>-3</sup> W (ή 0,775V στα 600Ω)	dBm	10
Ηλεκτρ. τάση	1 V (ανεξάρτητα αντίστασης)	dBV	20
Ηλεκτρ. τάση	0,775 V στα 600Ω	dBv ή dBu	20

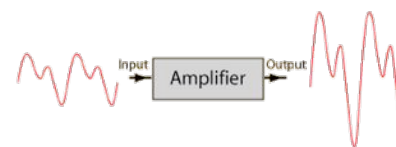
$$10 \log_{10} \left( \frac{V}{V_{ref}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left( \frac{V}{V_{ref}} \right)$$

Διπλασιασμός τάσης → +6dB  
 Διπλασιασμός ισχύος → +3dB

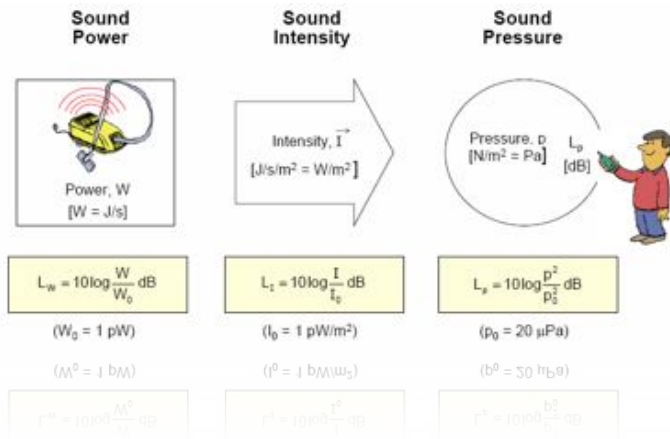
## Παράδειγμα: ενισχυτής τάσης

- Είσοδος: 10mV
- Έξοδος: 2V
- Ποιό είναι το κέρδος τάσης σε dB?

$$- G = 20 \log(V_{out}/V_{in}) = 46dB$$



## Χρήση μεγεθών



## Άσκηση 1

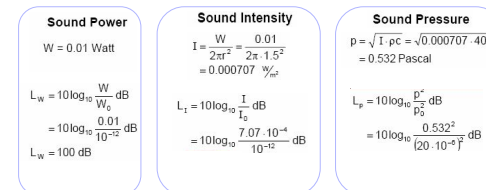
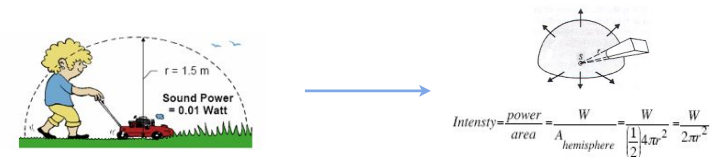
- Σημειακή ηχητική πηγή στο ελεύθερο πεδίο παράγει 0.01Watt. Ποιά η στάθμη ηχητικής πίεσης σε απόσταση 1.5 μέτρου;



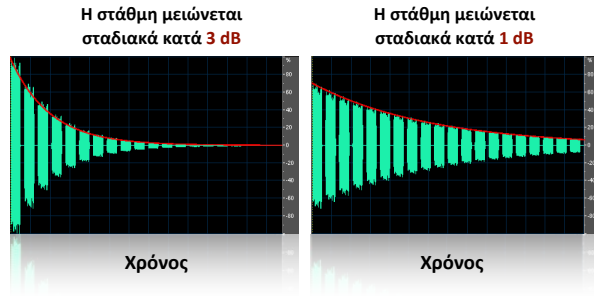
## Άσκηση 2

- Ομιλητής (σφαιρική πηγή) παράγει ήχο ισχύος 0.001W που φθάνει σε μικρόφωνο σε απόσταση 2 μέτρων. Στον ίδιο χώρο λειτουργεί κι ένα σύστημα εξερισμού (σφαιρική πηγή) ισχύος 0.0005W.
- Προσδιορίστε την ηχητική στάθμη στη θέση του μικροφώνου μόνο από τον ομιλητή
- Υπολογίστε την ελάχιστη απόσταση που πρέπει να τοποθετηθεί το σύστημα εξερισμού ώστε στη θέση του μικροφώνου να υπάρχει διαφορά στάθμης 20dB μεταξύ των δύο ηχητικών πηγών

## Παράδειγμα: η μηχανή του γκαζον

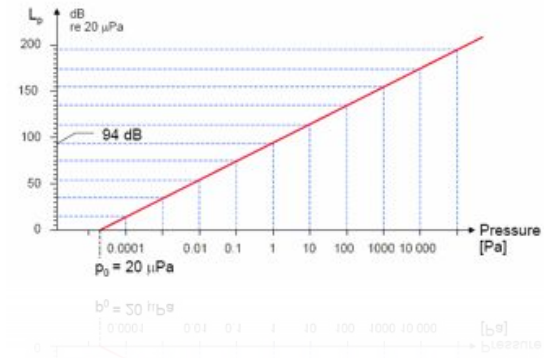


## Παράδειγμα: αντίληψη ηχοστάθμης

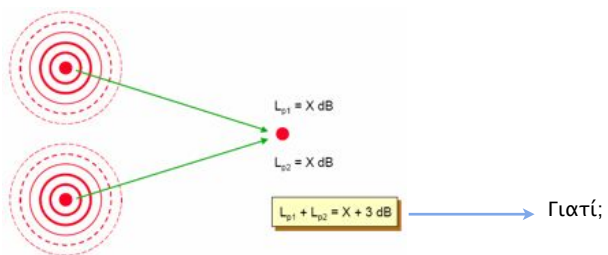


## Εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού ηχοστάθμης

- Χρήση διαγράμματος



## Παράδειγμα: δύο ηχητικές πηγές



## Πρόσθεση πολλαπλών ηχητικών πηγών

- Πολλαπλές ηχητικές πηγές
  - Χωρίς συσχέτιση (ασυσχέτιστες)

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \left( \frac{p_1}{p_{\text{ref}}} \right)^2 + \left( \frac{p_2}{p_{\text{ref}}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{p_n}{p_{\text{ref}}} \right)^2 \right)$$

- Επειδή

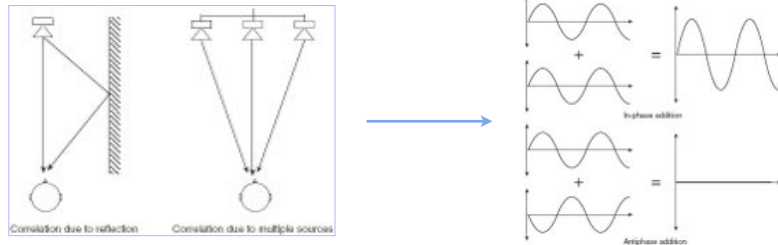
$$\left( \frac{p_i}{p_{\text{ref}}} \right)^2 = 10^{\frac{L_i}{10}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- Τότε

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \text{ dB}$$

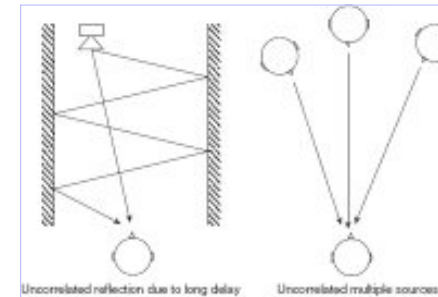
## Πρόσθεση πολλαπλών ηχητικών πηγών (2)

- Γιατί οι ηχητικές πηγές πρέπει να είναι ασυσχέτιστες;
  - Παράδειγμα: συσχετισμένες ηχητικές πηγές



## Πρόσθεση πολλαπλών ηχητικών πηγών (3)

- Ασυσχέτιστες ηχητικές πηγές



## Άσκηση 3

- Δύο ηχητικές πηγές εκπέμπουν ηχητικά κύματα διαφορετικής συχνότητας. Αν η στάθμη ηχητικής πίεσης σε μία συγκεκριμένη θέση του πεδίου είναι 75 και 80 dB-SPL αντίστοιχα, βρείτε τη συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης εξαιτίας των δύο πηγών.

**Συστήματα μέτρησης ηχητικού σήματος και θορύβου**



## Ορισμός του θορύβου

- Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 263.1
  - «Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο»
  - «Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος»



## Κατηγορίες θορύβου

- Θόρυβος περιβάλλοντος (ambient noise)
  - «Ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες πηγές που δεν μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης»
  - Παράδειγμα: ο θόρυβος ενός κλιματιστικού σε μια αίθουσα διδασκαλίας
- Θόρυβος βάθους (background noise)
  - «Ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν μας ενδιαφέρουν»
- Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (263.1)
  - **Σταθερός θόρυβος:** παρουσιάζει αμελητέες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης
  - **Μεταβλητός θόρυβος:** ο θόρυβος που δεν είναι σταθερός
  - **Κυμαινόμενος θόρυβος:** η στάθμη του αλλάζει συνεχώς σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης/παρατήρησης

## Μέτρηση θορύβου

- Η μέτρηση της στιγμιαίας ηχητικής στάθμης δεν είναι ακριβής
- Ειδικά για κυμαινόμενο θόρυβο

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0(t)} \right)^2 dt$$

- Μέτρηση ισοδύναμης στάθμης θορύβου (dB)

$$L_p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_{pk}$$



## Συστήματα μέτρησης ηχητικής πίεσης

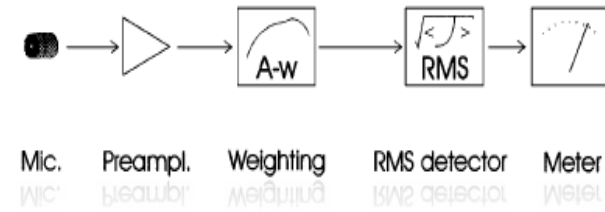


## Συστήματα μέτρησης ηχητικής πίεσης (2)

- Τυπικές προδιαγραφές εξοπλισμού
  - Meets IEC651, ANSI 1.4 Type 2 Standards
  - Accuracy:  $\pm 1.5\text{dB}$
  - Resolution: 0.1dB
  - Frequency: 31.5HZ ~ 8KHZ
  - Display: Large 0.65" LCD with Back Light
  - A & C Frequency Weighting
  - Sound Meter Range: 30 to 130 dB(A), 30 to 130 dB(C)
  - Fast and Slow Time Weighting



## Συστήματα μέτρησης ηχητικής πίεσης (3)



## Συστήματα μέτρησης ηχητικής πίεσης (4)

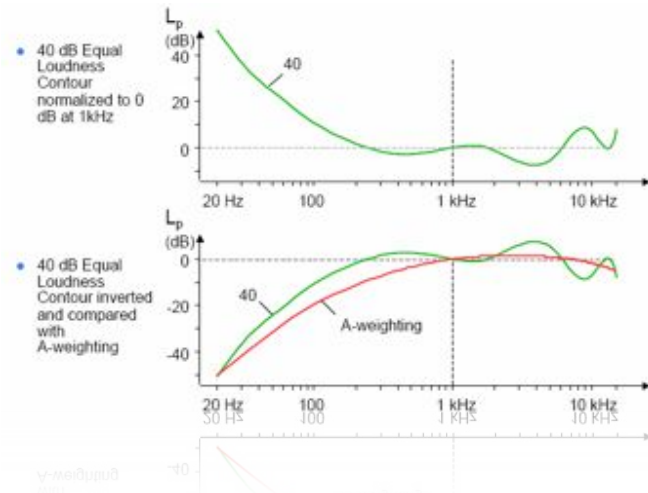
- IEC International Standard 651 "Sound Level Meters"
  - Ορίζει 4 «κλάσεις» ακρίβειας - ανοχής
    - ▶ Type 0: precision laboratory use
    - ▶ Type 1: general purpose
    - ▶ Type 2: low price
    - ▶ Type 3: not used in practice (too wide tolerances)



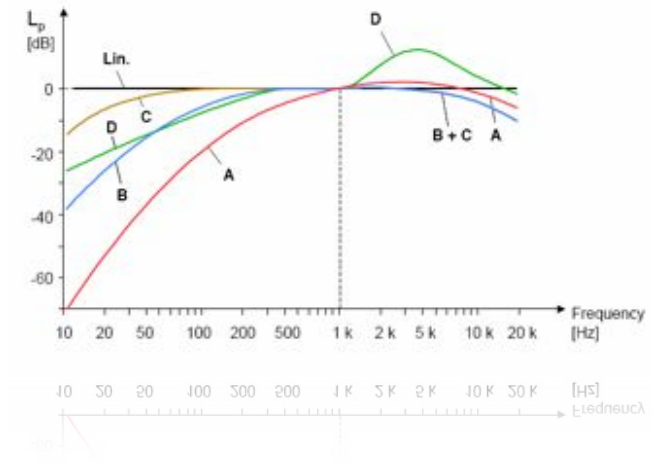
## Ζυγισμένη μέτρηση θορύβου

- Πολλές φορές μας ενδιαφέρει η μέτρηση της καταληπτότητας του θορύβου από τον άνθρωπο
  - Καμπύλες ίσης ακουστότητας (phon)
  - Δύσκολη υλοποίηση
- Ζύγιση των μετρούμενων τιμών πίεσης με καμπύλες
- Φίλτρα A, B, C, D
  - Π.χ. Μέτρηση σε dB(A)
- Φίλτρο A
  - Για μεσαίες εντάσεις
- Φίλτρο B, C
  - Για υψηλές εντάσεις

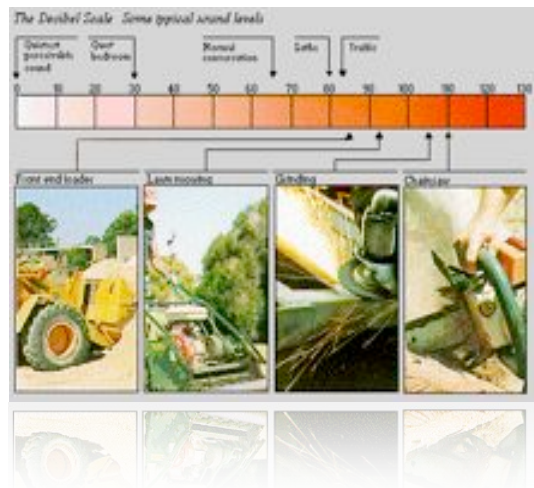
## Ζυγισμένη μέτρηση θορύβου (2)

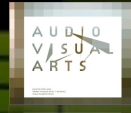


## Ζυγισμένη μέτρηση θορύβου (3)



## Ο θόρυβος στην καθημερινή ζωή





**Ανδρέας Φλώρος**

[floros@ionio.gr](mailto:floros@ionio.gr)

<http://www.ionio.gr/~floros>