

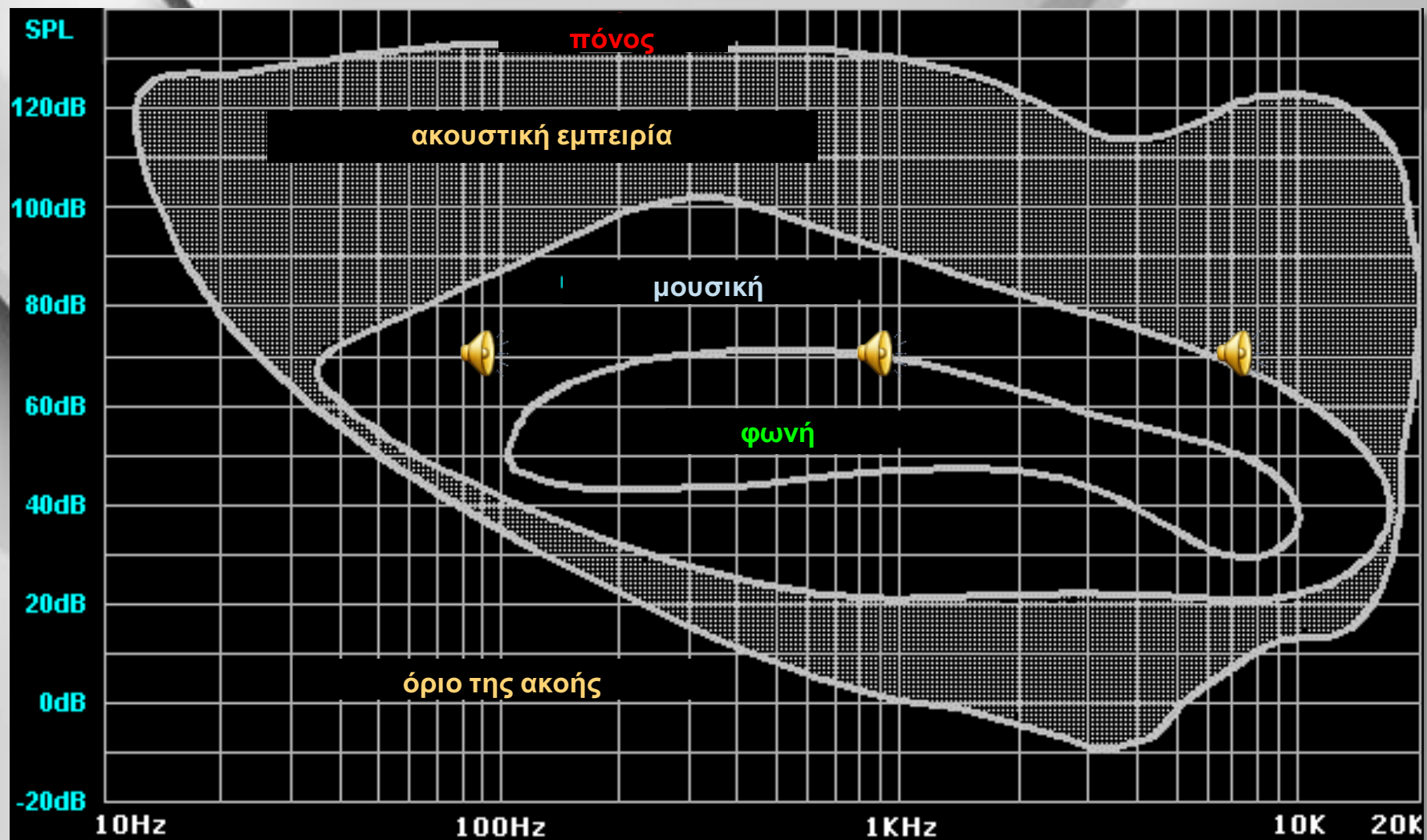
Ένα πανόραμα ακουστικής επιστήμης και ηχητικής μηχανικής

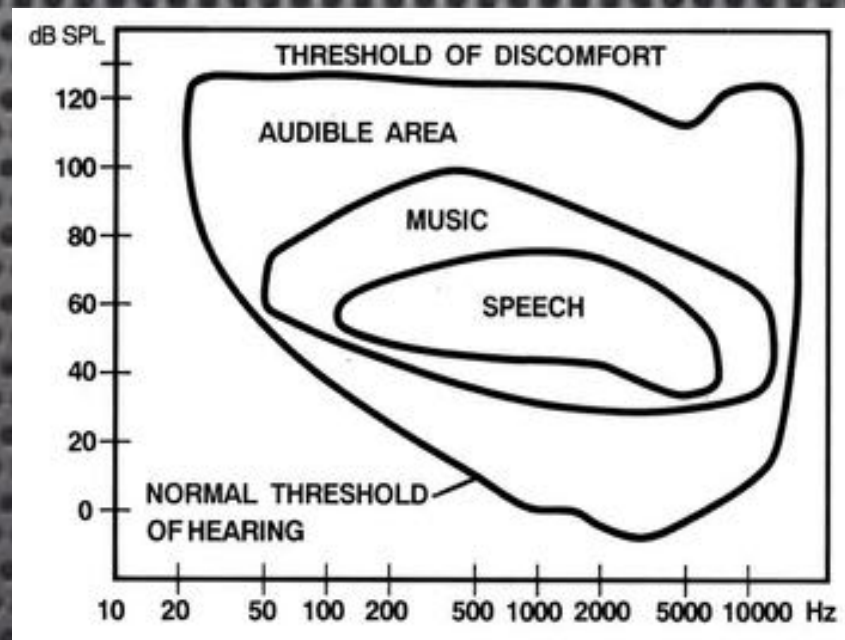
Μέρος Β

Ανδρέας Φλώρος

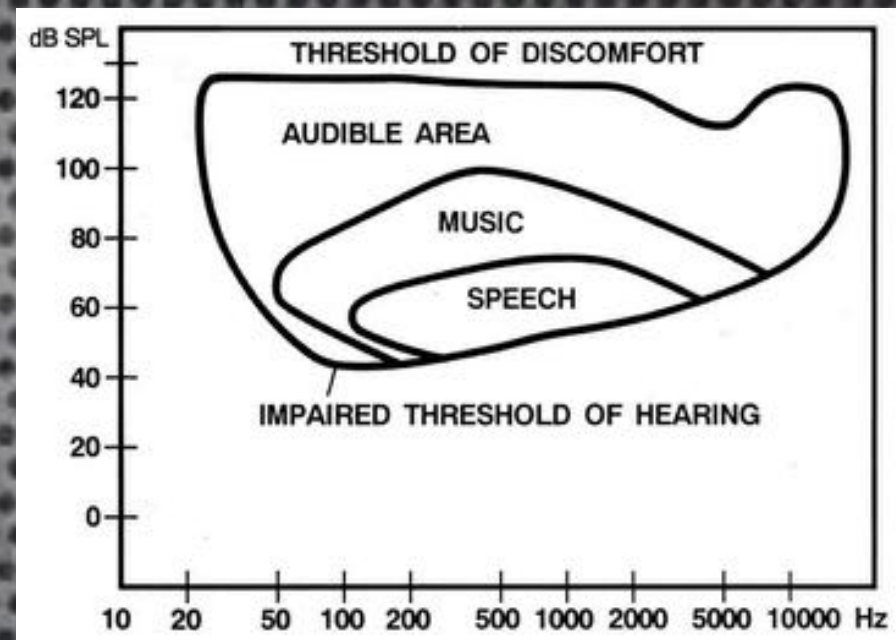
Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Τεχνολογίας Υπολογιστών
Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Ο «χάρτης» της ακουστικής εμπειρίας



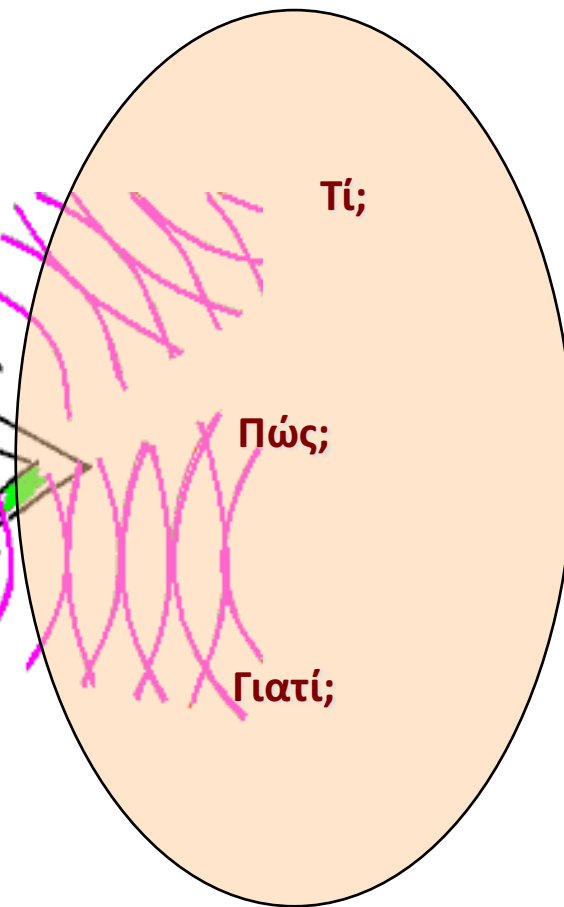
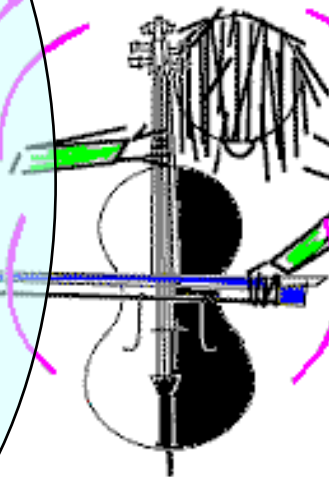
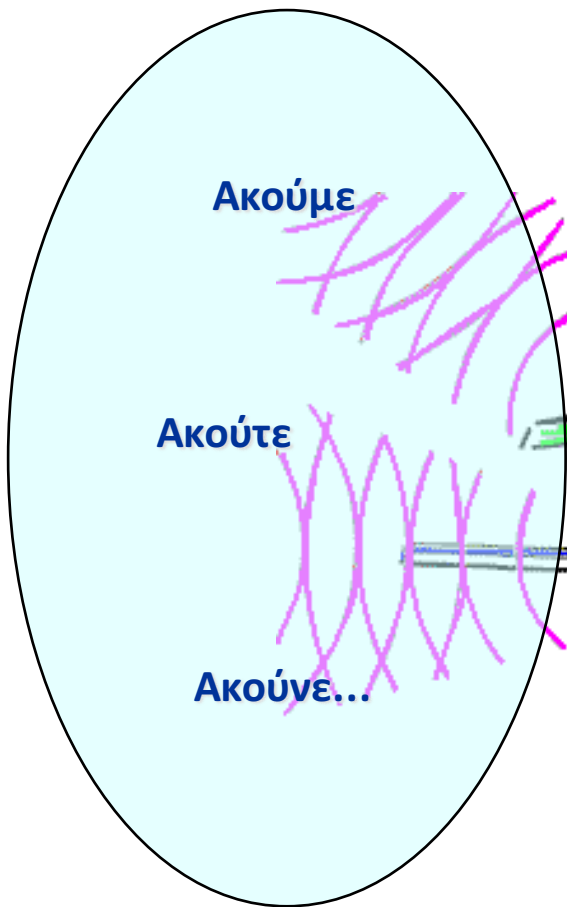


Κανονική ακοή



Μειωμένη ακοή

Ακουστική-Φυσιολογία αυτιού



Ψυχοακουστική-Αντίληψη

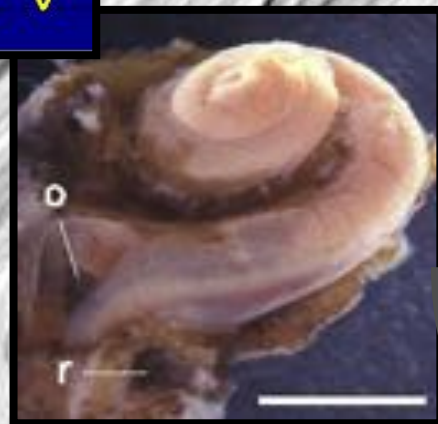
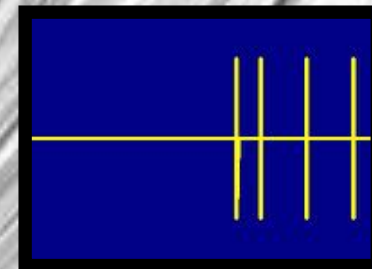
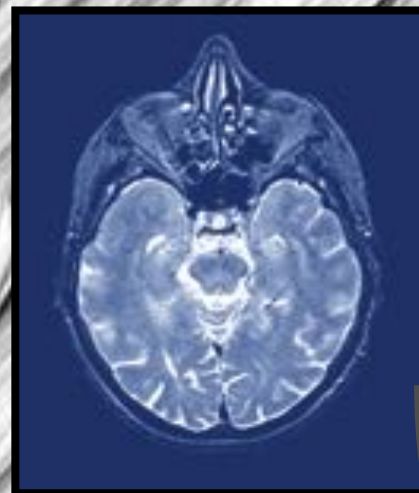
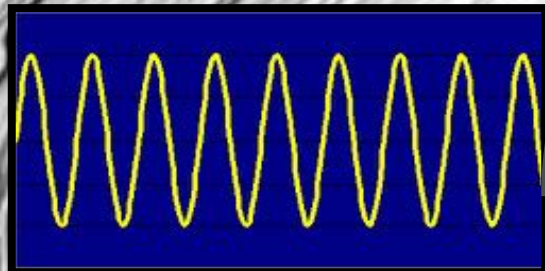


Οι συνιστώσες της ανθρώπινης ακοής

! " # \$ % &

! " # \$ (') * +

, - . * (/ 0 /



ακουστικο-μηχανικός μετατροπέας

ενισχυτής (μοχλός 33:1)

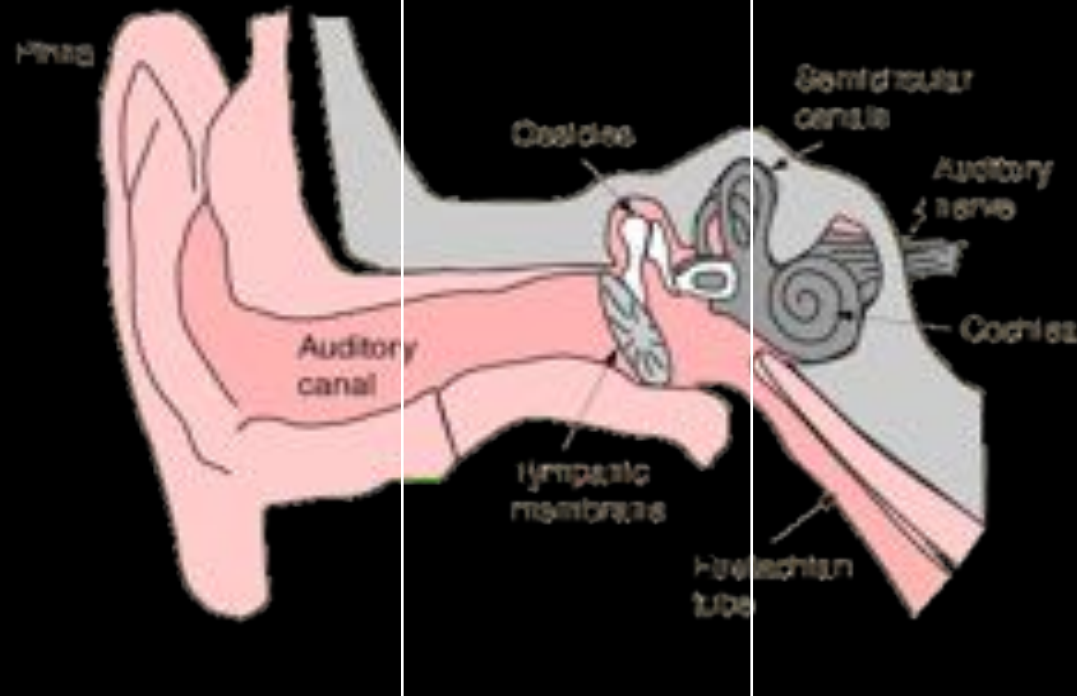
ακουστικό φίλτρο ως
προς γωνία
ακουστικός ενισχυτής
(x5)

εξωτερικό αυτί

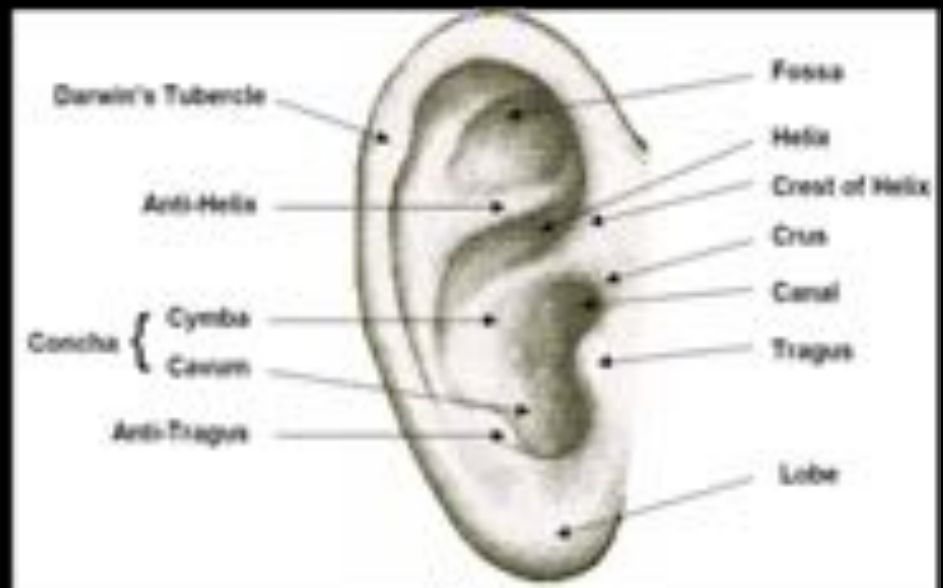
μέσο αυτί

εσωτερικό αυτί

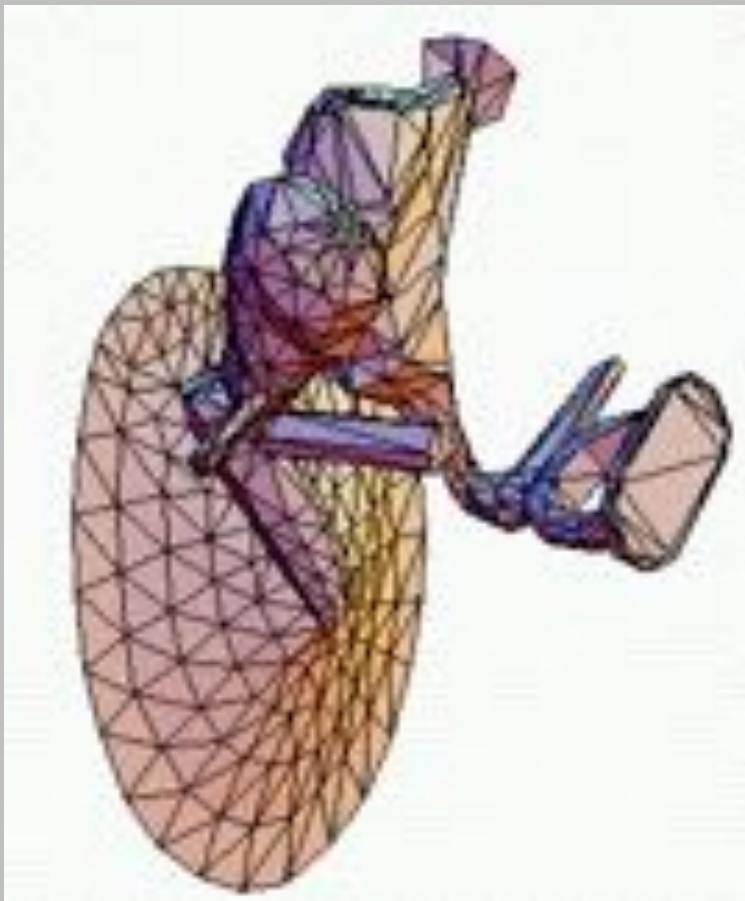
μηχανο-ηλεκτρικός
μετατροπέας
αναλυτής συχνότητας -
κωδικοποιητής



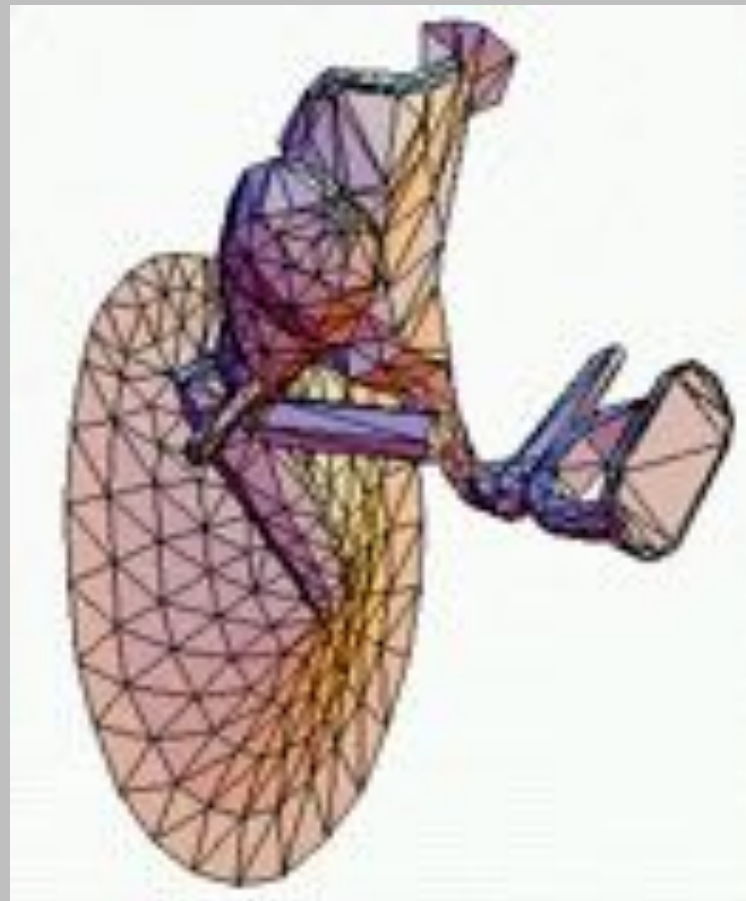
Το εξωτερικό αυτί



Το μέσο αυτί

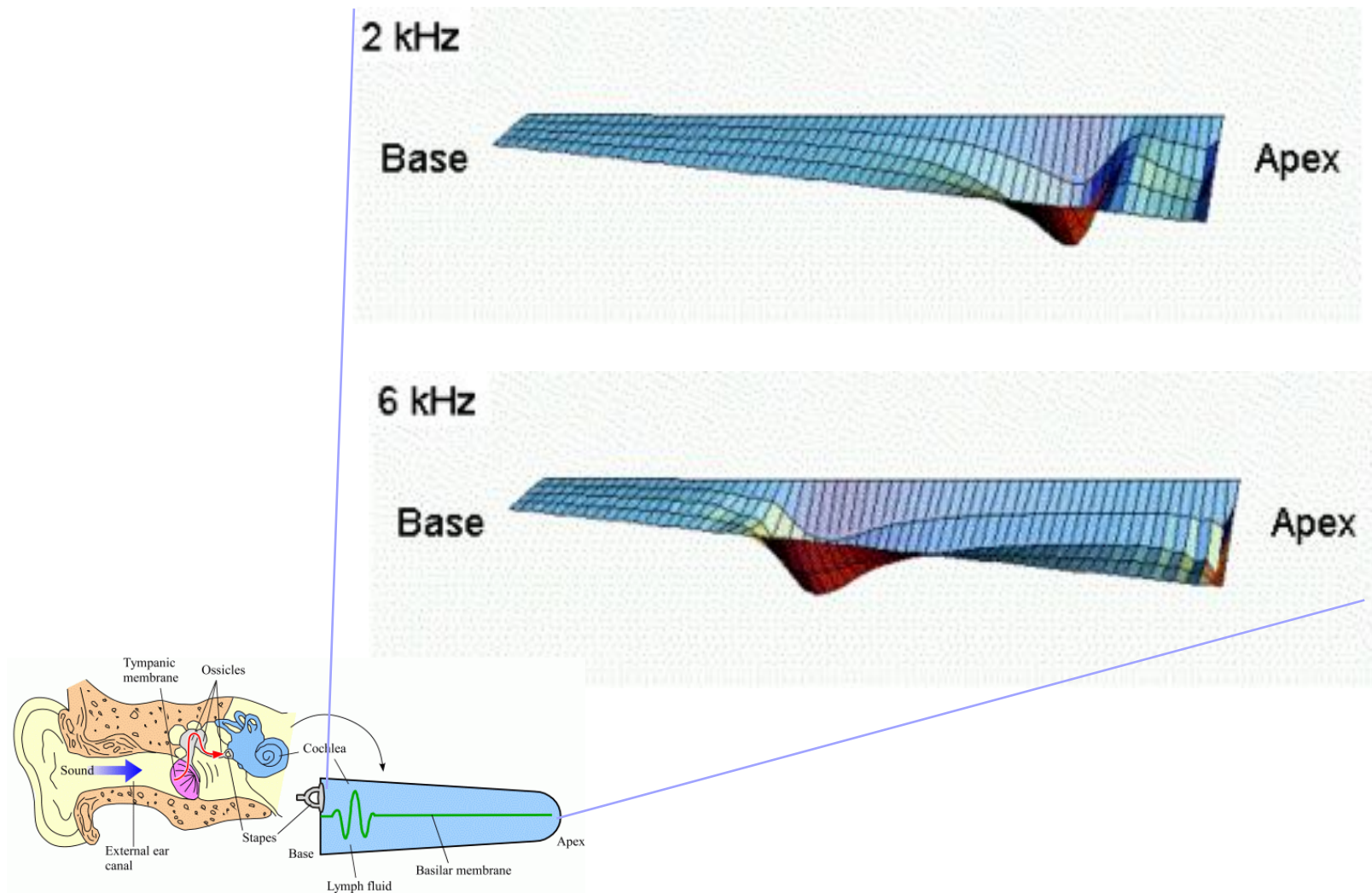


Ταλάντωση μέσου αυτιού με ημιτονική διέγερση **500Hz** και στάθμη ηχητικής πίεσης 80dB-SPL στην μεμβράνη του τύμπανου



Ταλάντωση μέσου αυτιού με ημιτονική διέγερση **2000Hz** και στάθμη ηχητικής πίεσης 80dB-SPL στην μεμβράνη του τύμπανου

Το εσωτερικό αυτί – αναλυτής φάσματος

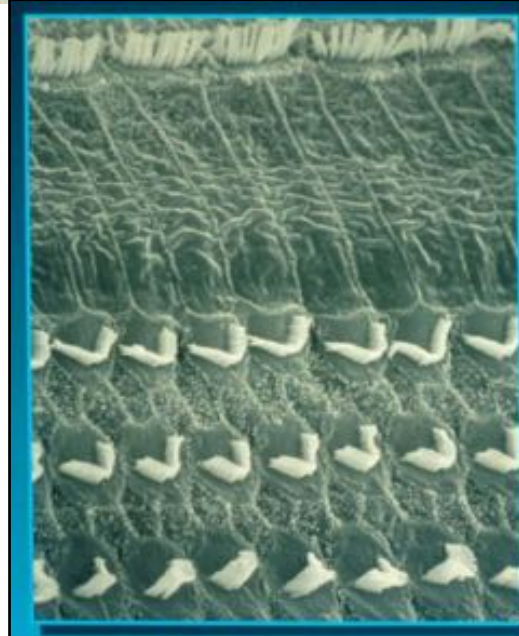
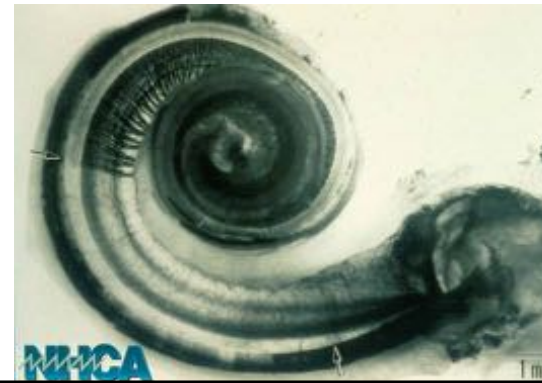


Το εσωτερικό αυτί – απώλεια ακοής

κανονική
ακοή



απώλεια
ακοής

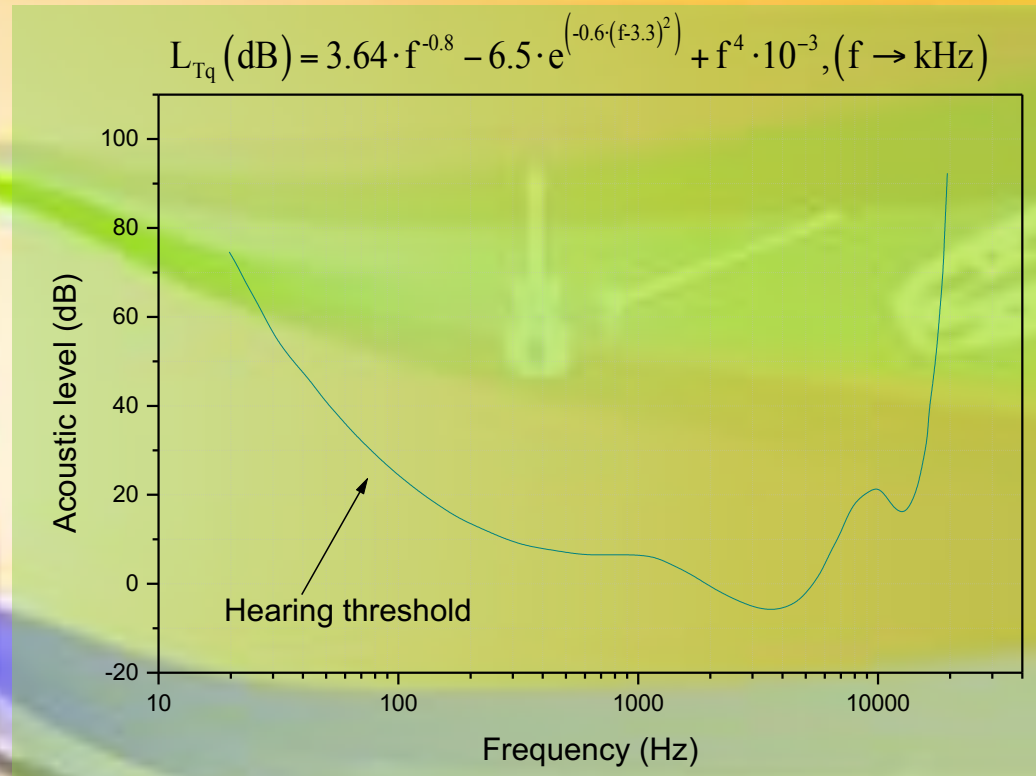




Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής

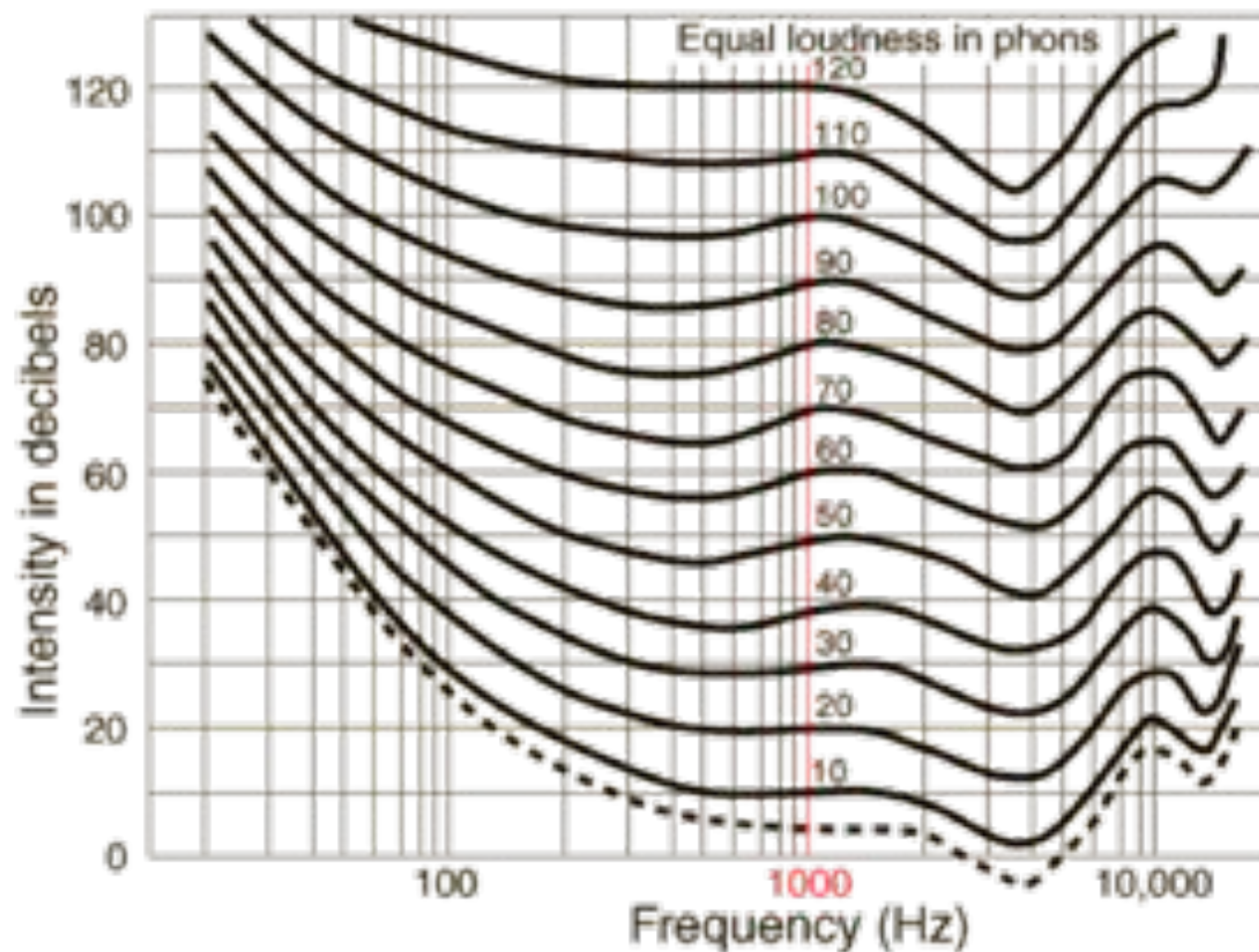
Ακουστότητα

- Ακουστότητα (loudness)
 - Πόσο έντονα ακούγεται ένας ήχος;
 - Η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη στάθμη του ήχου
 - Η ακουστότητα δύο τόνων ίδιας έντασης και διαφορετικών συχνοτήτων είναι διαφορετική
 - Αύξηση της έντασης του ήχου οδηγεί σε (μη ανάλογη) αύξηση της ακουστότητας
 - Εξάρτηση από τη συχνότητα
 - Όρια ακοής τα 16Hz και 20kHz
 - Κατώφλι ακουστότητας (Minimum Audible Field - MAF)

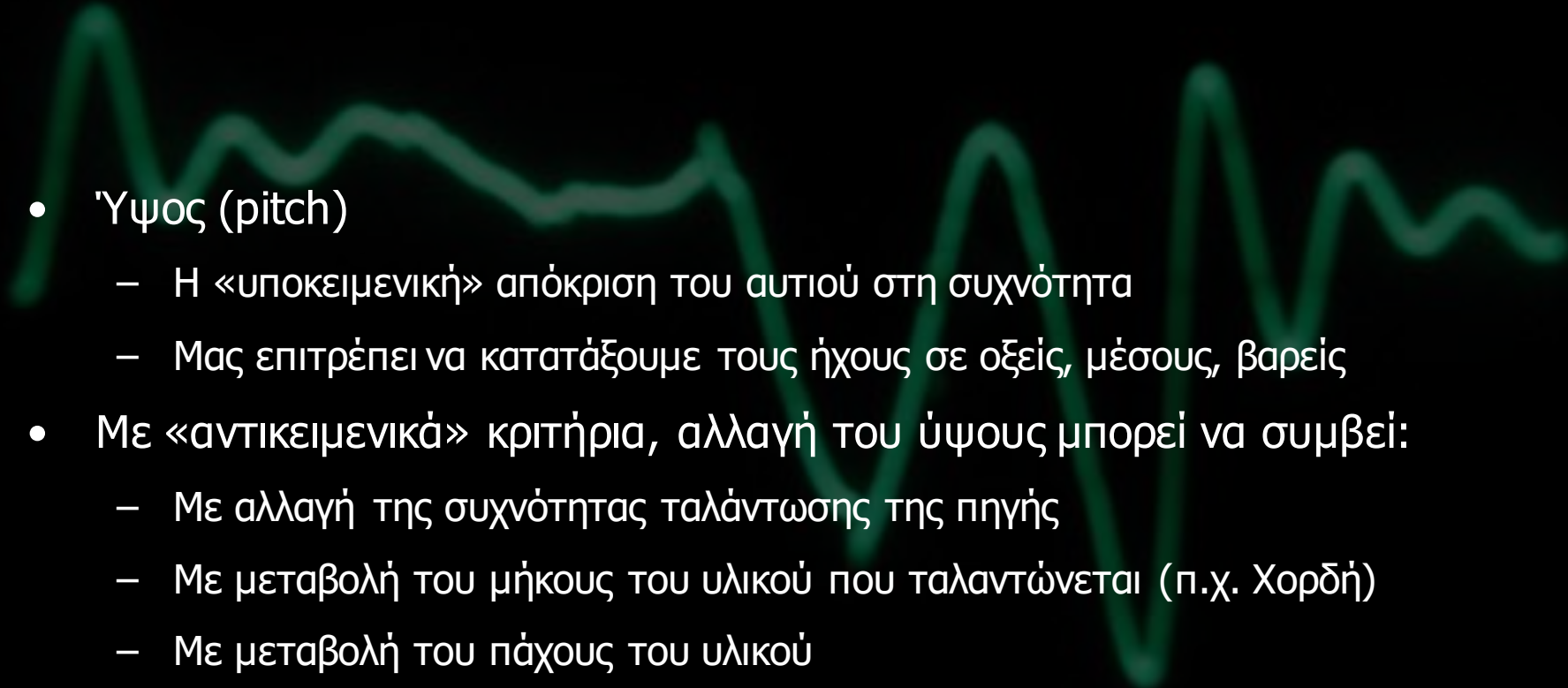


Μονάδα μέτρησης το phon:
Τόνος συχνότητας 1kHz έχει ακουστότητα τόσα phons, όσο και η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB

Καμπύλες ίσης ακουστότητας



Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής - Ύψος

- 
- Ύψος (pitch)
 - Η «υποκειμενική» απόκριση του αυτιού στη συχνότητα
 - Μας επιτρέπει να κατατάξουμε τους ήχους σε οξείς, μέσους, βαρείς
 - Με «αντικειμενικά» κριτήρια, αλλαγή του ύψους μπορεί να συμβεί:
 - Με αλλαγή της συχνότητας ταλάντωσης της πηγής
 - Με μεταβολή του μήκους του υλικού που ταλαντώνεται (π.χ. Χορδή)
 - Με μεταβολή του πάχους του υλικού

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ύψος (συν.)

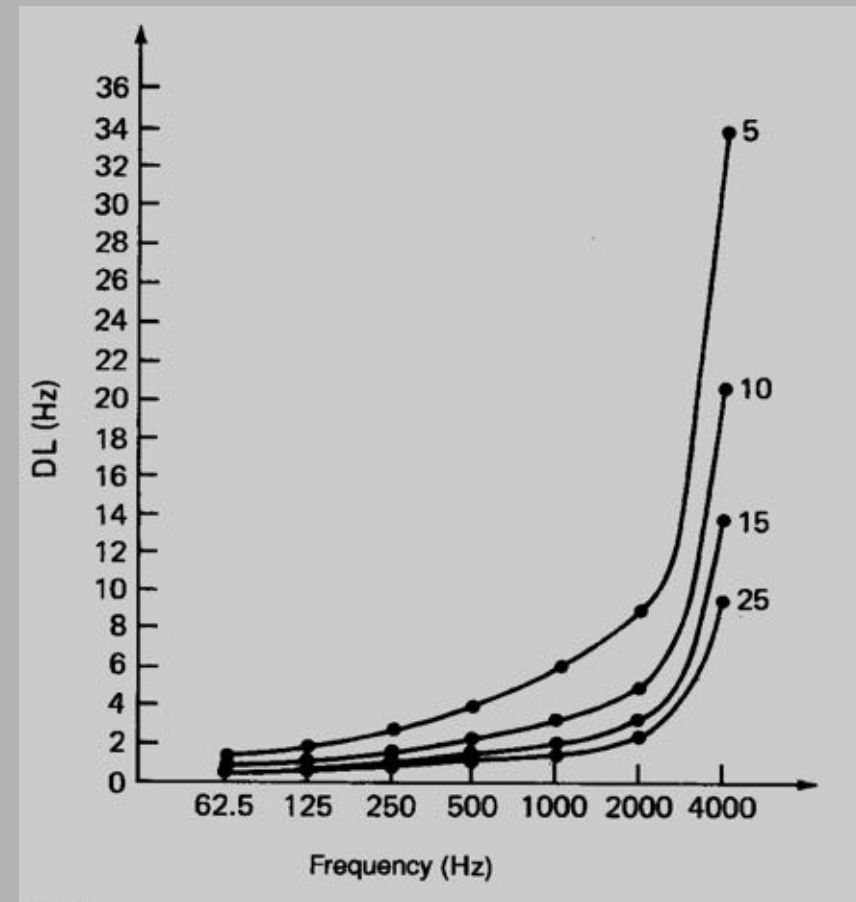
- Το ύψος μεταβάλλεται μη γραμμικά με τη συχνότητα
 - Ίσες μεταβολές στη συχνότητα δεν προκαλούν ίδιες μεταβολές στην «αίσθηση» του ύψους
 - Καθοριστικό ρόλο παίζει και η στάθμη του ήχου
 - Αν η στάθμη ενός τόνου 180Hz αυξηθεί χωρίς αλλαγή της συχνότητας, η αίσθηση του ύψους χαμηλώνει
 - Φαινόμενο ιδιαίτερα ισχυρό για συχνότητες μικρότερες των 300Hz
 - Από 500 έως 3000Hz η στάθμη δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το ύψος
 - Πάνω από 4000Hz η αίσθηση του ύψους για την ίδια συχνότητα αυξάνει με τη στάθμη

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ύψος (συν.)

- Μονάδα μέτρησης το Mel (Melody)
 - Ήχος συχνότητας 1kHz και στάθμης 60dB έχει ύψος 1000Mel
 - 2000Mel: ο ήχος που (υποκειμενικά) έχει διπλάσιο ύψος από τον προηγούμενο ανεξαρτήτως συχνότητας
- Ο άνθρωπος έχει περιορισμένη διακριτική ικανότητα συχνοτήτων
 - Εάν οι κεντρικές συχνότητες f_1 και f_2 δύο ήχων είναι πολύ κοντινές, ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος έως αδύνατος
 - Οι περιοχές της βασικής μεμβράνης που διεγείρονται είναι πολύ κοντά
 - Διακρότημα: $\Delta f < 16\text{Hz}$
 - Ο εγκέφαλος «αναγνωρίζει» ήχο με συχνότητα $(f_1 + f_2)/2$ και πλάτους που μεταβάλλεται με συχνότητα $(f_1 - f_2)/2$
 - $f_1 > f_2$

Just Noticeable Differences (JND)

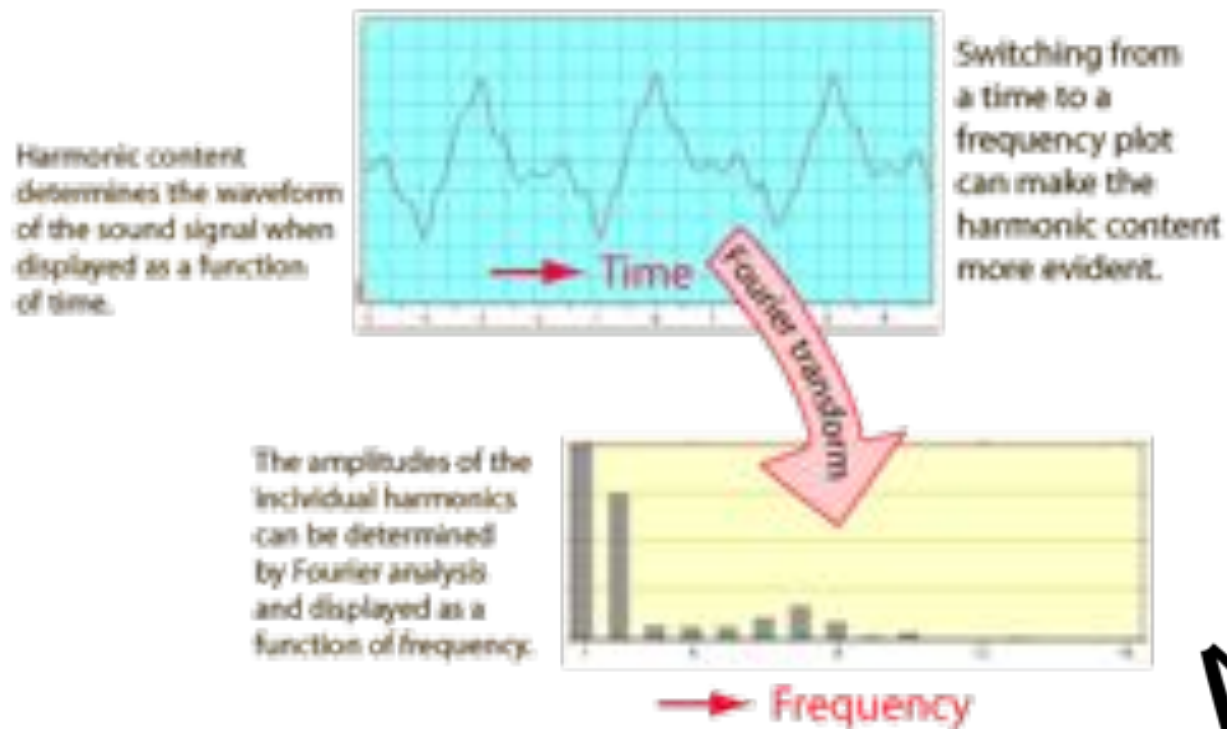
- Μόλις ακουστή διαφορά του ύψους
- Συνάρτηση της
 - συχνότητας
 - της έντασης της ακουστότητας
- Για το μεγαλύτερο εύρος της ακουστικής περιοχής συχνοτήτων, η διακριτική ικανότητα του ανθρώπου είναι τα 3Hz
- Μεγάλη εξάρτηση από άνθρωπο σε άνθρωπο
 - Μουσική εκπαίδευση



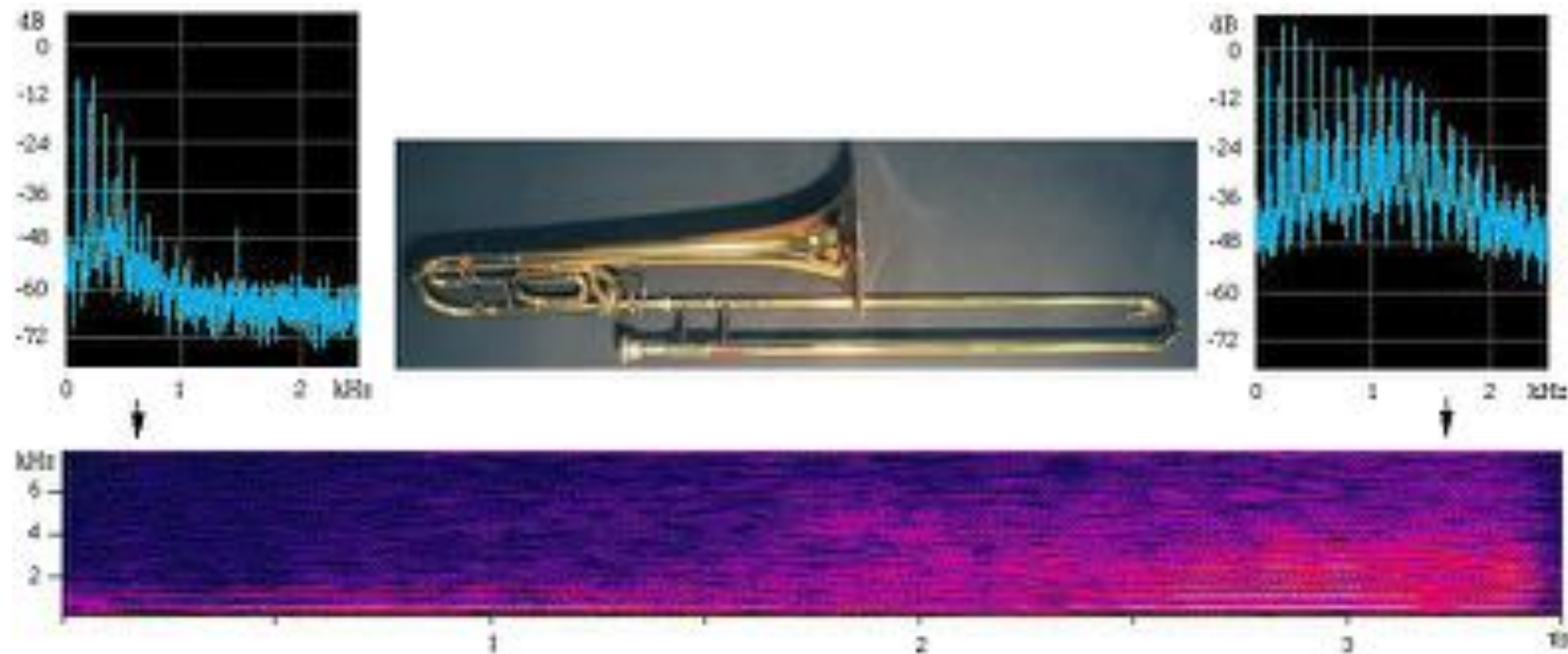
Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Χροιά

- Χροιά (timbre): *«Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου που κάνουν δυνατό το διαχωρισμό δύο τόνων της ίδιας έντασης και θεμελιώδους συχνότητας»*
- Χρησιμοποιείται κυρίως για τον χαρακτηρισμό ήχων μουσικών οργάνων και ανθρώπινης φωνής
 - Π.χ. Φλάουτο και όμποε ακούγονται διαφορετικά αν και παίζουν την ίδια νότα
- Η διαφοροποίηση της χροιάς οφείλεται κυρίως στη διαφορά του πλήθους και της σχετικής στάθμης των αρμονικών ως προς τη στάθμη της θεμελιώδους συχνότητας
 - Ο αντίστοιχος φυσικός όρος είναι το φάσμα...

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Χροιά (συν.)

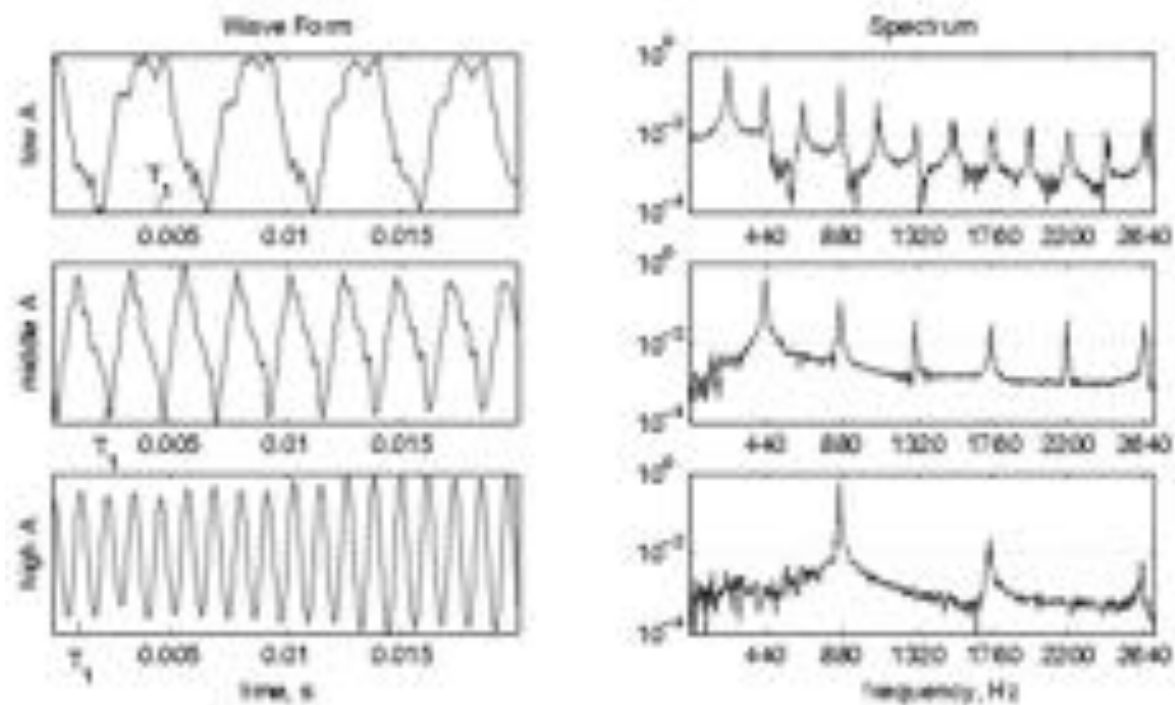


Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Χροιά (συν.)



Demo: Trombone crescendo

Παράδειγμα: νότες πιάνου

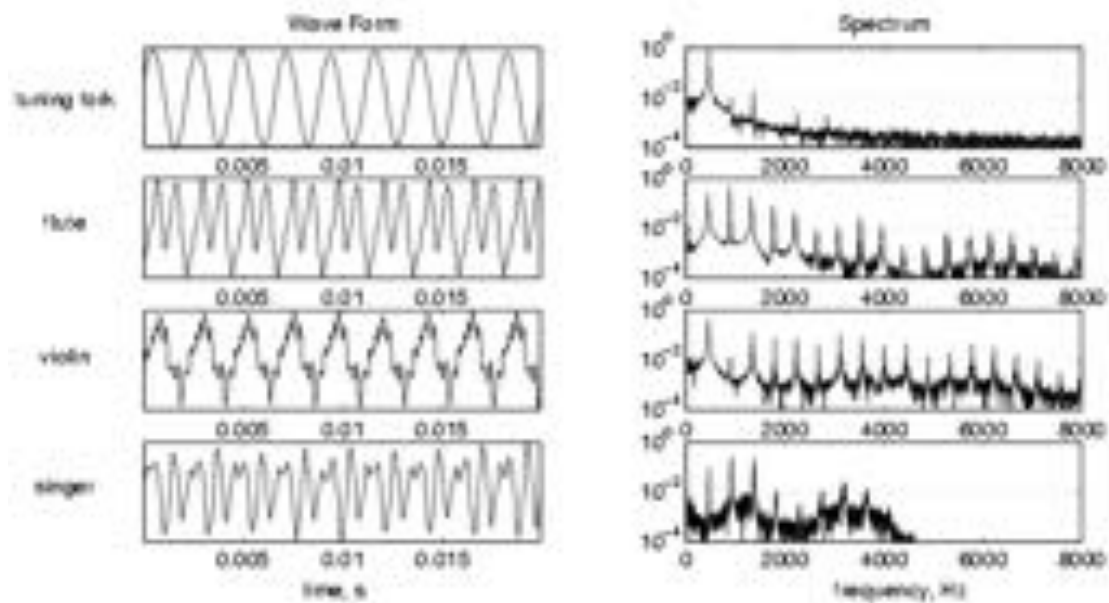


A3 (low A)

A4 (middle A)

A5 (high A)

Παράδειγμα: η νότα A4

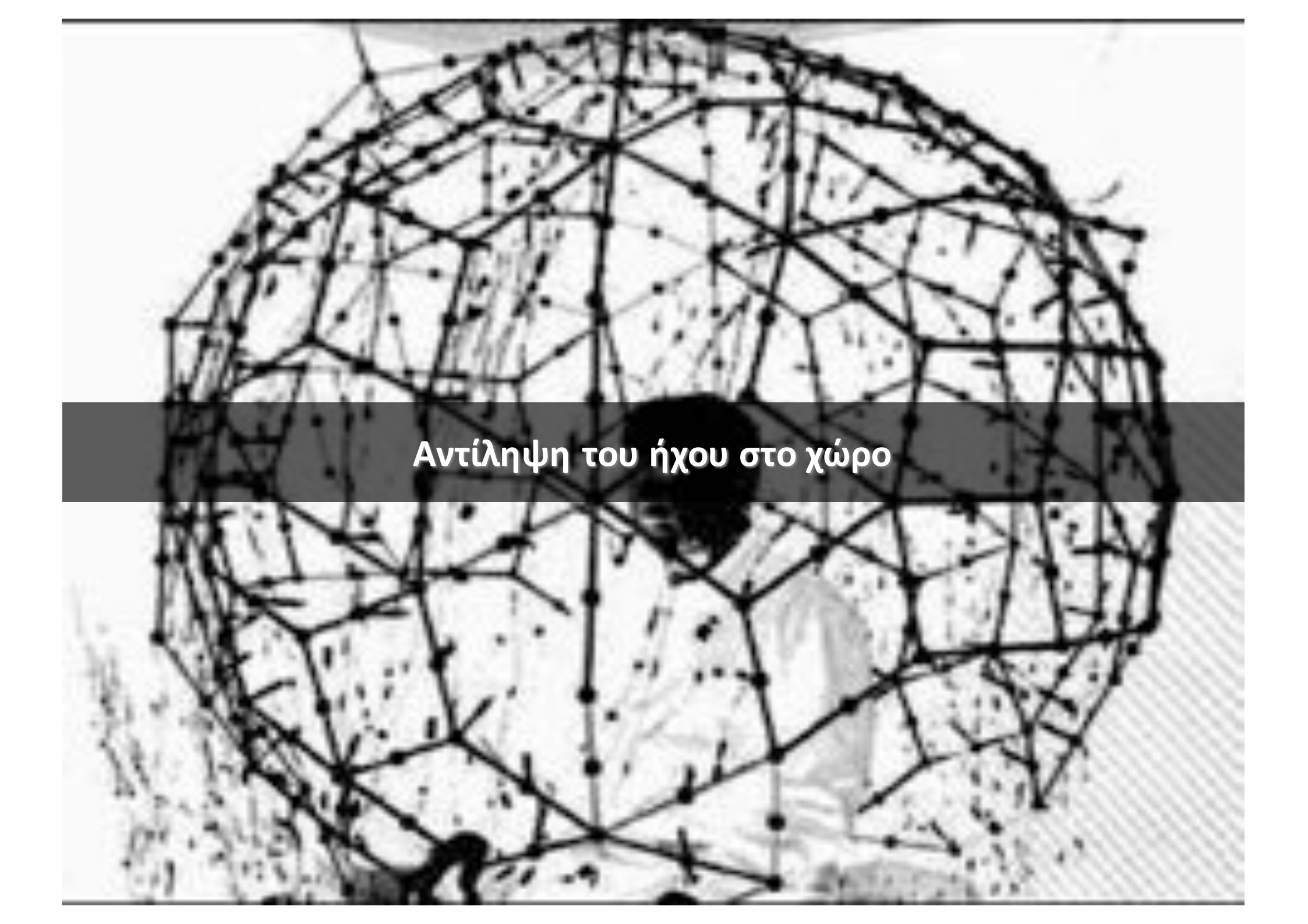


Διαπασών

Φλάουτο

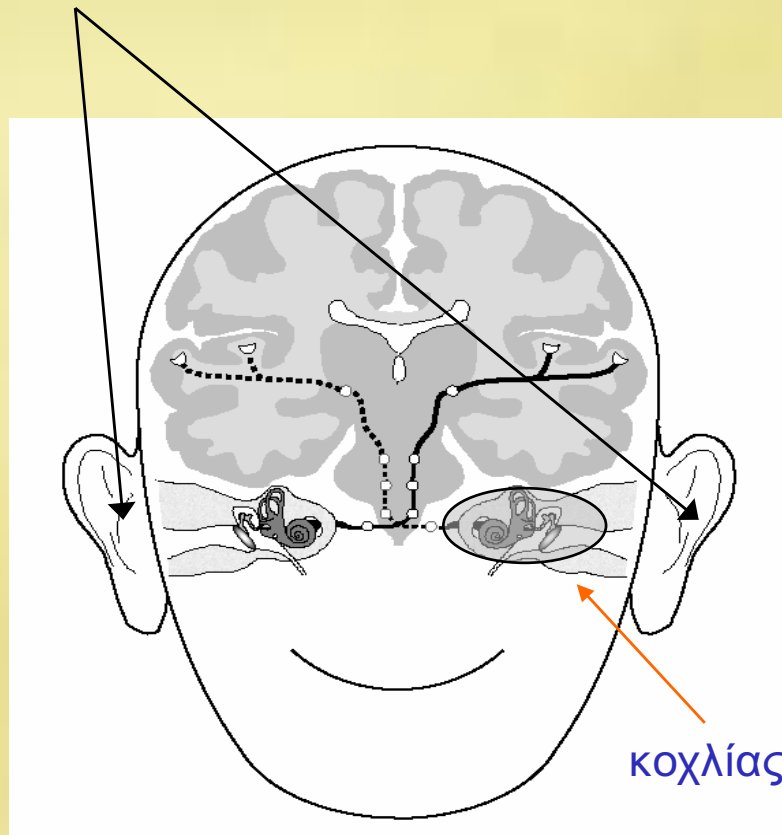
Βιολί

Τραγουδιστής

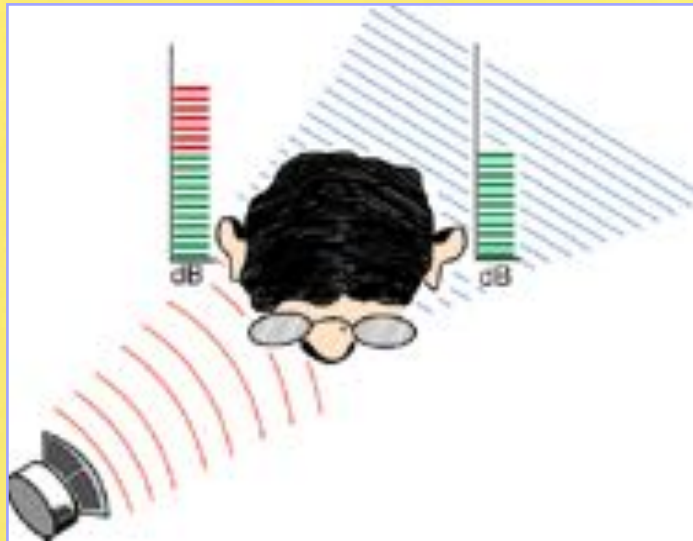


Αντίληψη του ήχου στο χώρο

Αντίληψη ηχητικών
πηγών στο χώρο



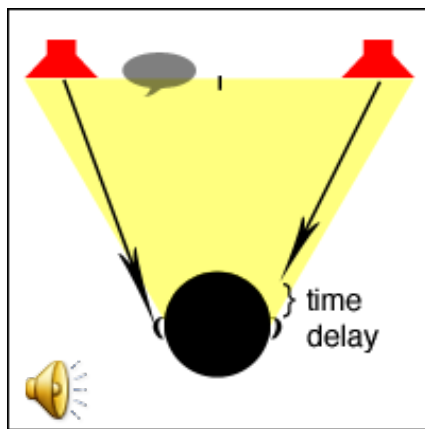
Interaural Level Difference (ILD)



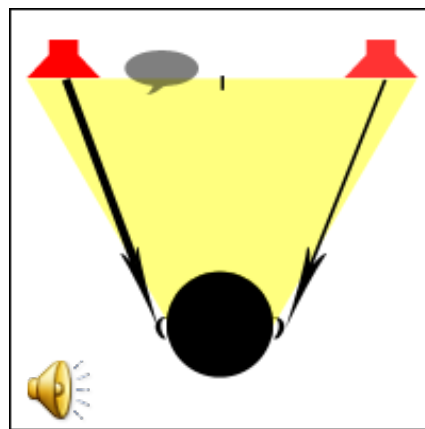
Interaural Time Difference (ITD)



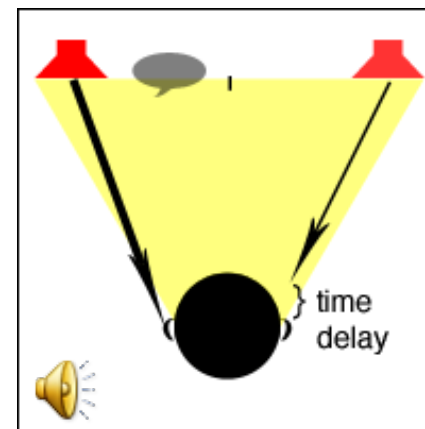
Η απλή περίπτωση χωρικής ηχογράφησης: στερεοφωνία



Το δεξί ηχείο έχει καθυστέρηση σε σχέση με το αριστερό

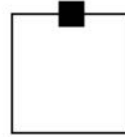


Το δεξί ηχείο έχει κέρδος -3dB σε σχέση με το αριστερό

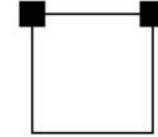


Συνδυασμός των δύο περιπτώσεων





VS



Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

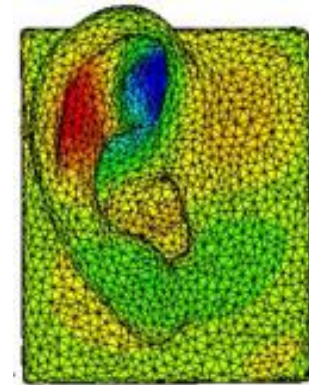
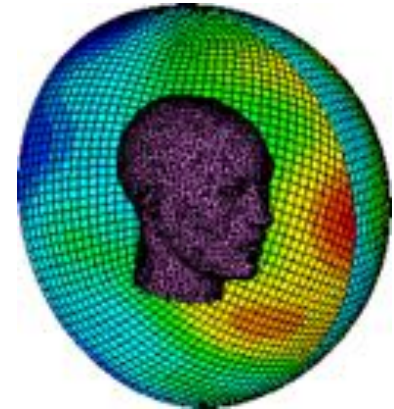


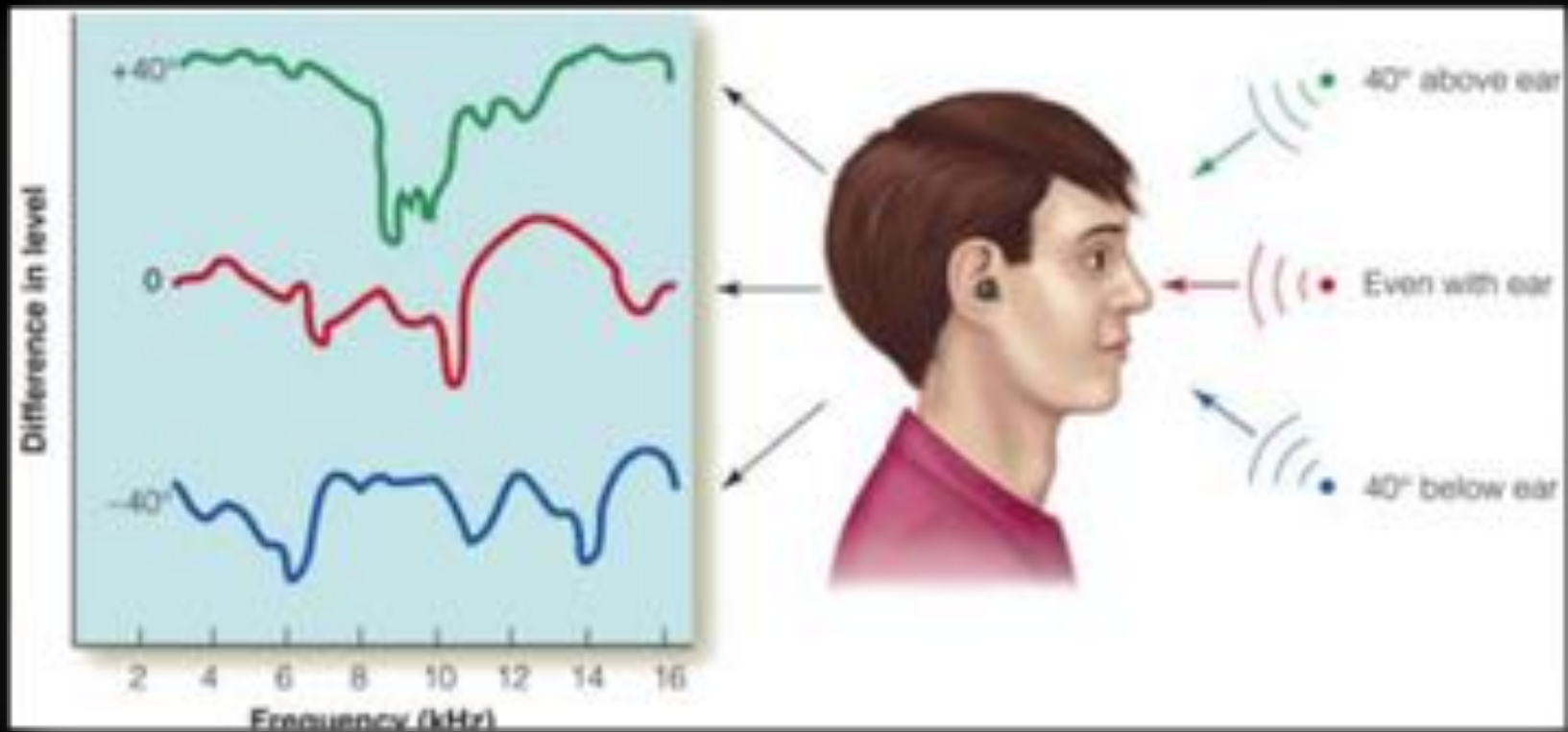
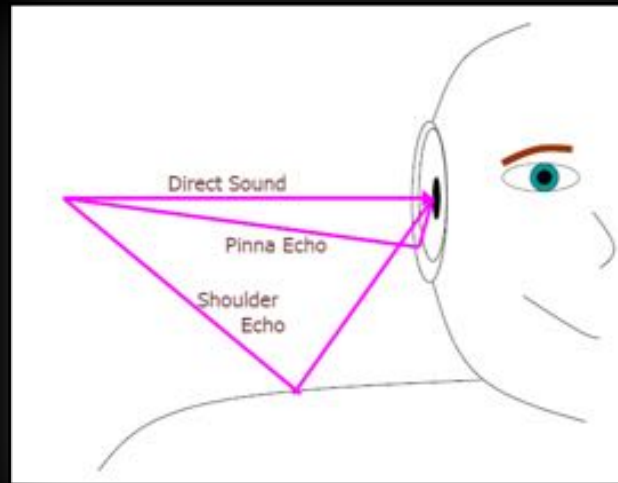
Μονοφωνικό

Στερεοφωνικό

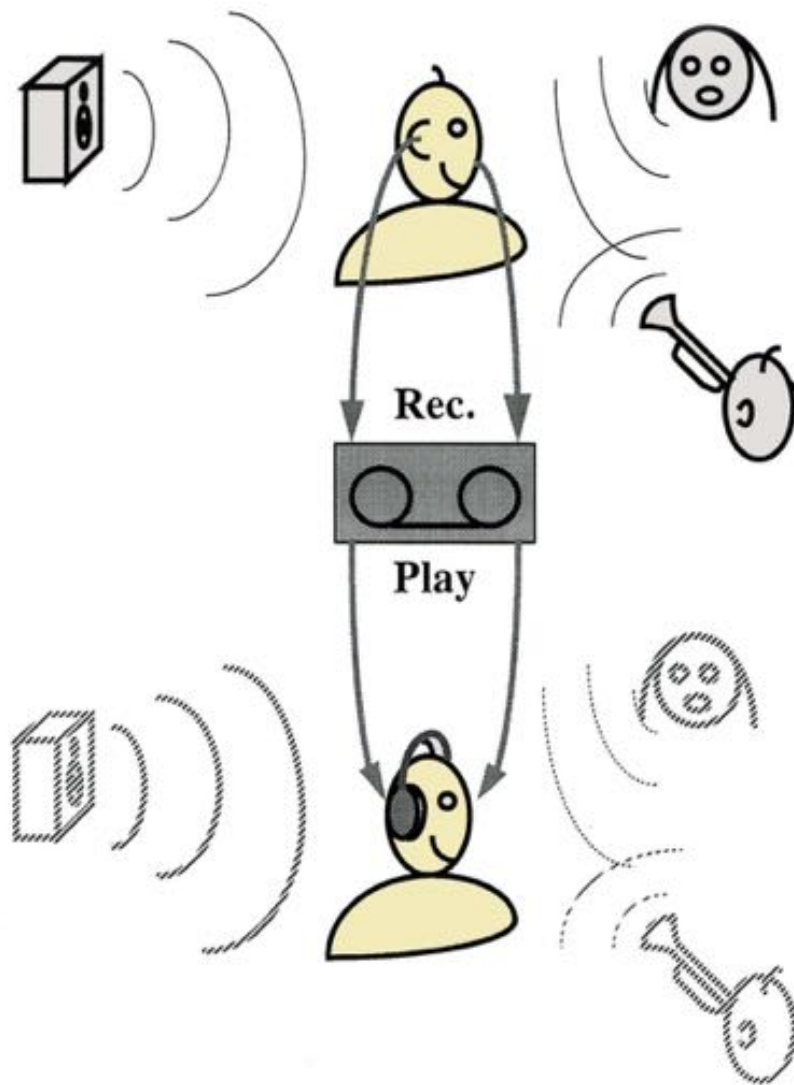
Αμφιωτική ακουστική – Binaural hearing

- Το ανθρώπινο «έξω» αυτί
 - Λειτουργεί ως «φίλτρο»
 - Head Related Transfer Functions (HRTFs)
 - ή Anatomical Transfer Functions (ATFs)
- Μέτρηση φίλτρου
 - Εξάρτηση από γωνίες άφιξης
 - Εξάρτηση από μορφολογία αυτιού
 - Επίδραση στήθους, ώμων κ.λ.π.
 - Μοναδικές για κάθε άνθρωπο
- Χρήση γενικευμένων HRTFs
 - Μέσες τιμές





Αυθεντικότητα ηχητικής αναπαραγωγής



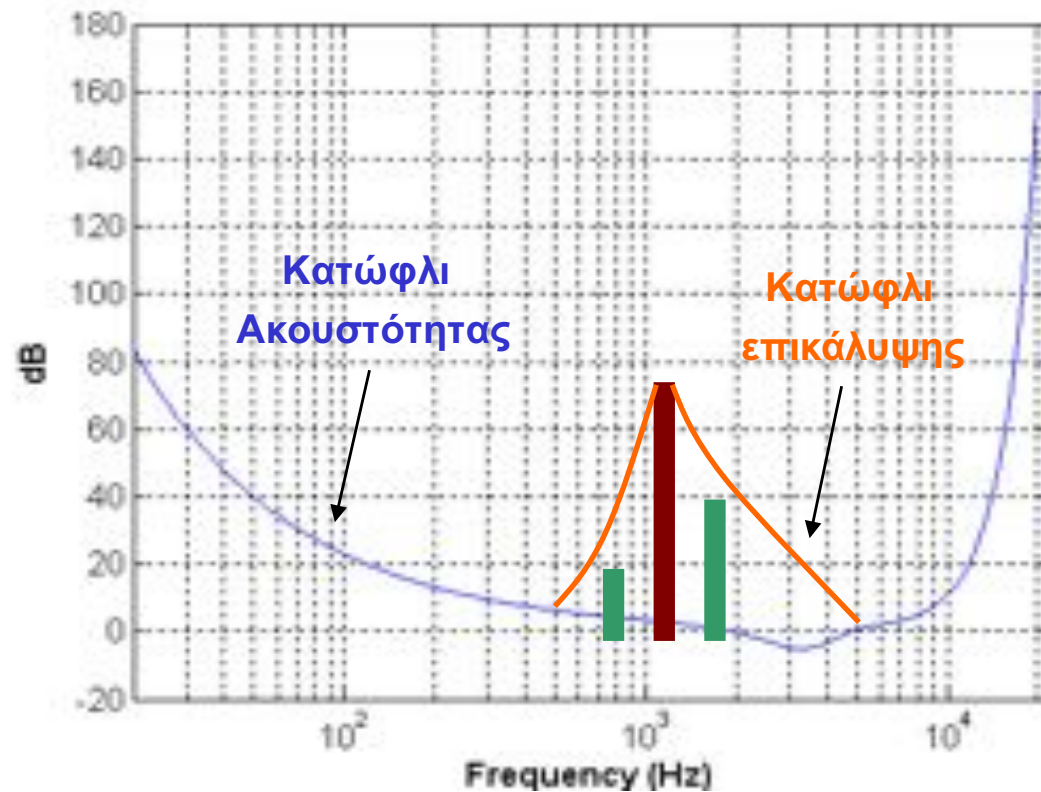
Ας ακούσουμε κάτι ακόμα...



Μουσική 1

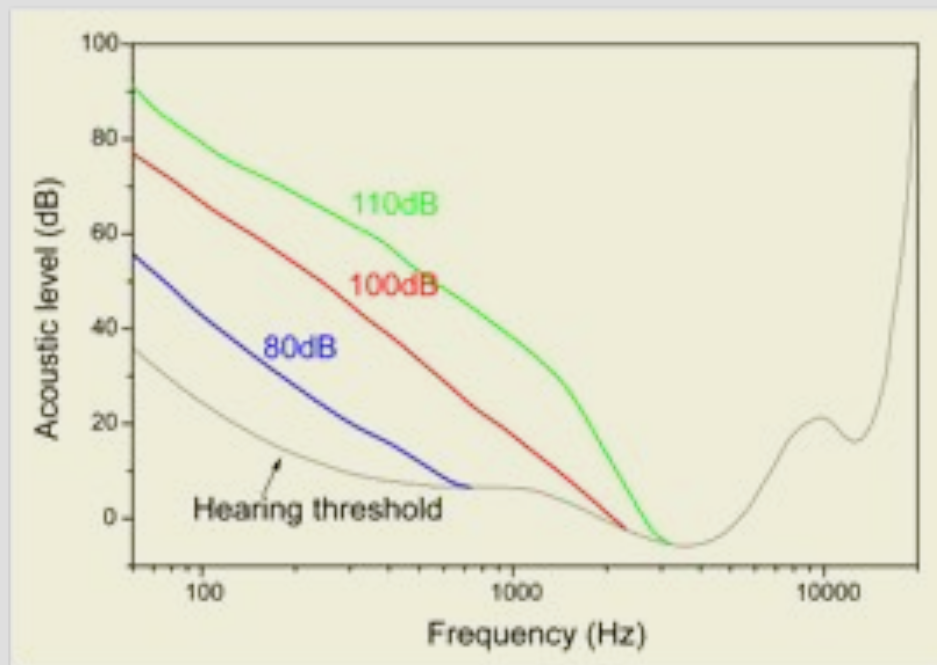
Μουσική 2

Σύνθετοι μηχανισμοί ακοής & αντίληψη

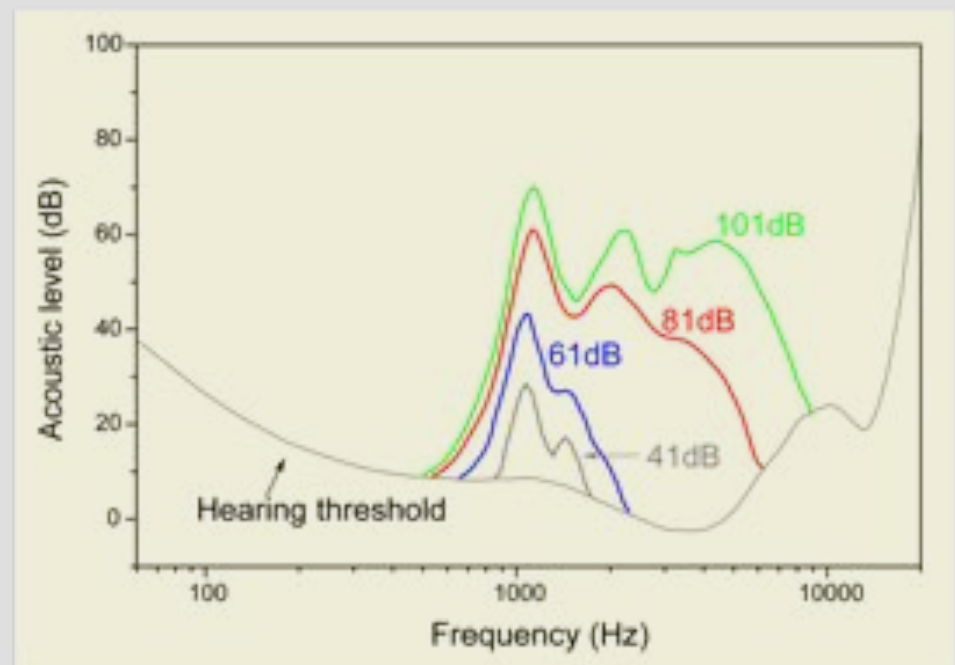


Masker sound
Masked sound

Κατώφλι ακουστικής επικάλυψης για
ημιτονικό σήμα
50Hz μεταβλητού πλάτους



Κατώφλι ακουστικής επικάλυψης για
ημιτονικό σήμα
1kHz μεταβλητού πλάτους



Παράδειγμα 1

Παράδειγμα 2

Παράδειγμα 3

Παράδειγμα 1 (1000)

Παράδειγμα 2 (500)

Παράδειγμα 3 (200)

Παράδειγμα 4 (100)

Παράδειγμα 5 (1000)

Παράδειγμα 6 (500)



COMPACT
disc
DIGITAL AUDIO



Διαφορά

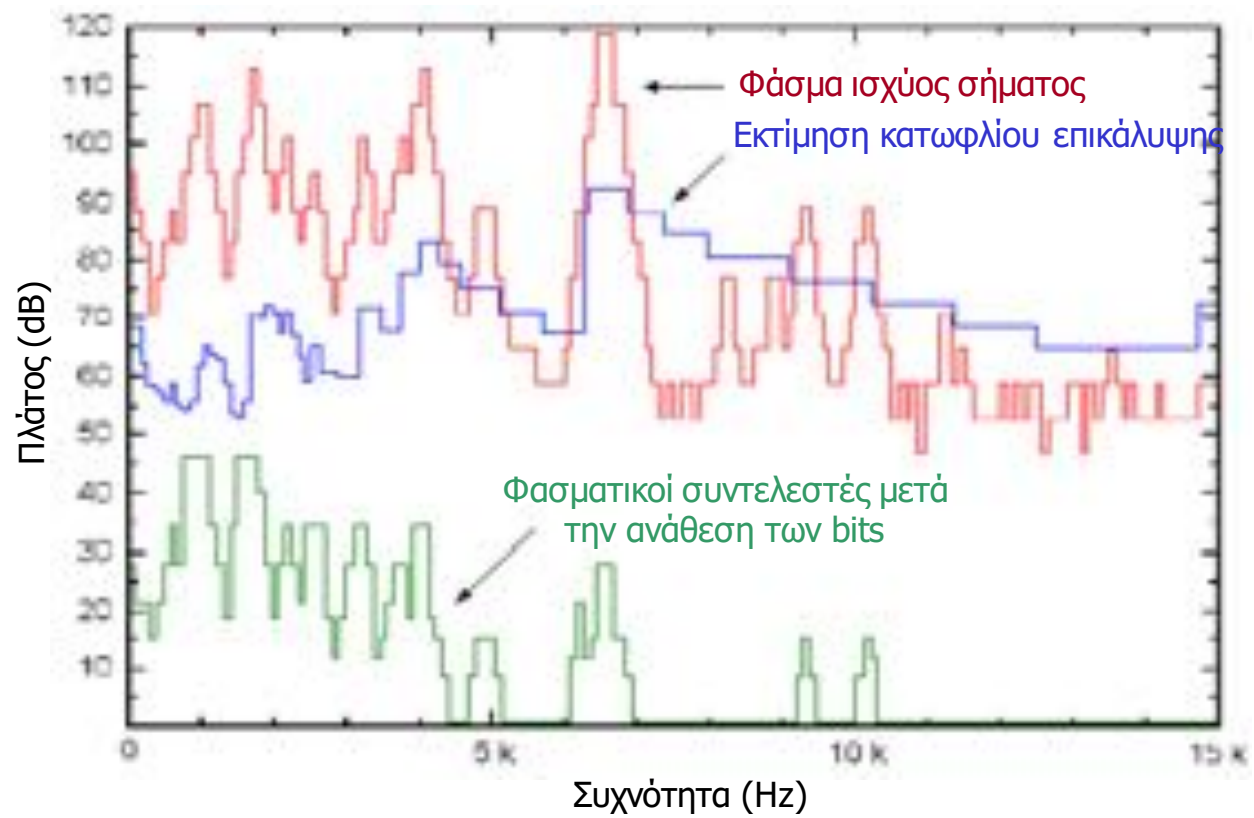
Μουσική 1

Μουσική II

MP3



MENU





Τί είναι θόρυβος;

- ... ο ανεπιθύμητος, ενοχλητικός ή και απλός δυσάρεστος για τον άνθρωπο ήχος
- προκαλεί ανεπιθύμητες παρενέργειες
 - απώλεια ακοής
 - ενόχληση
 - δυσκολία στην επικοινωνία

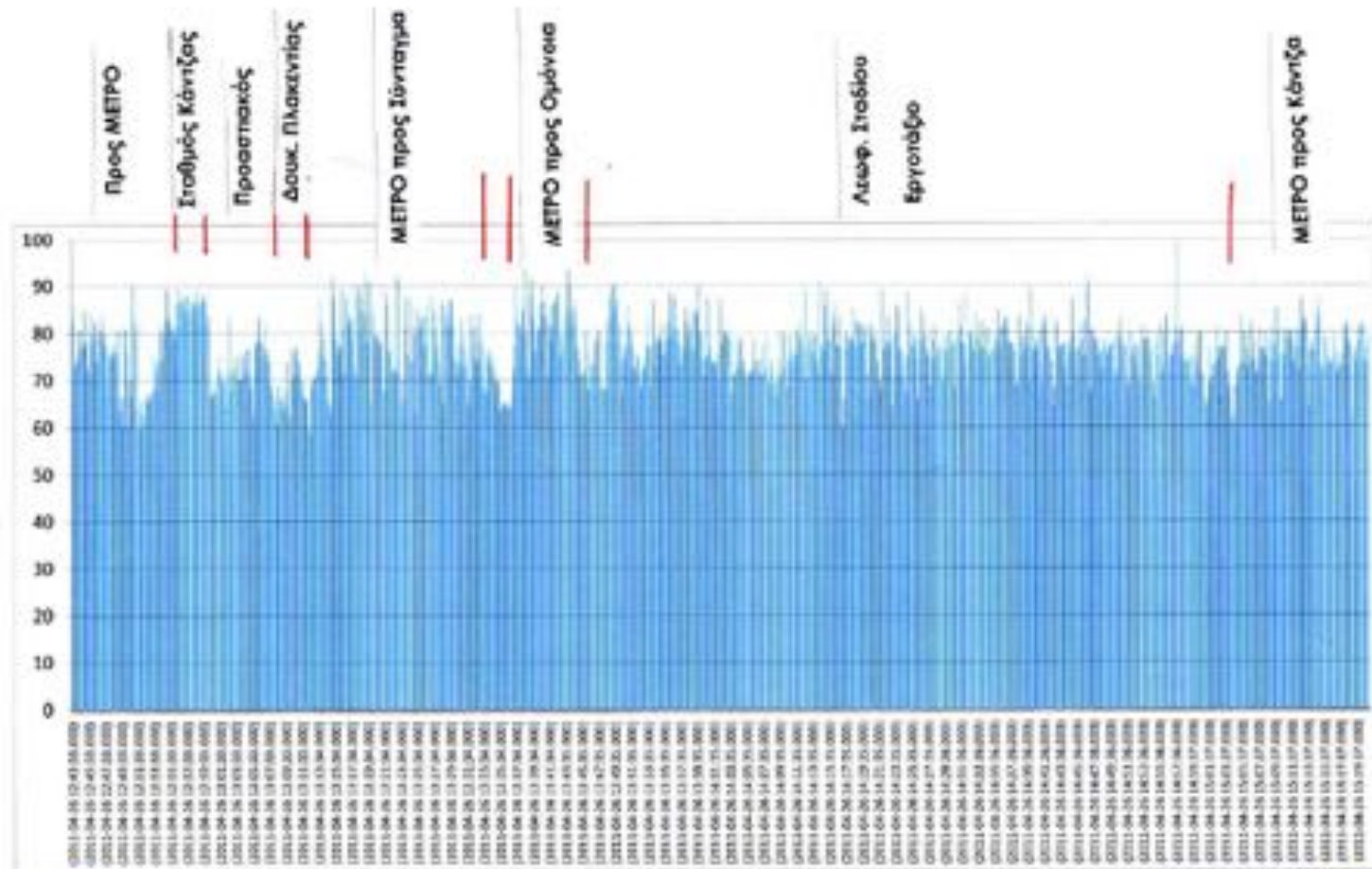
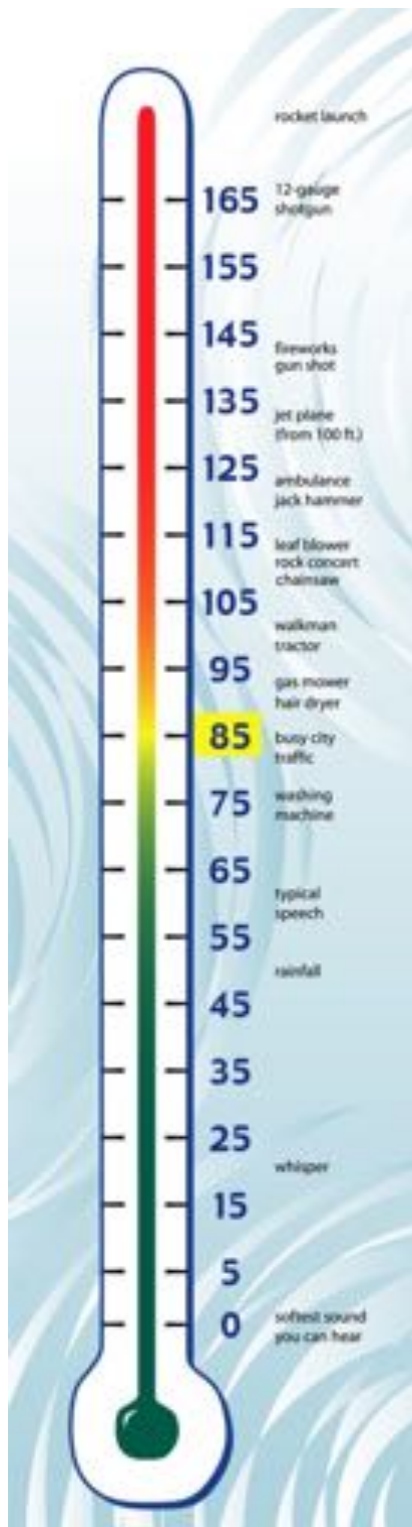




- Δύο πολύ διαφορετικές πηγές ήχου
- Δυο παρόμοια φάσματα ήχου
- Εντελώς διαφορετική αντίδραση του ανθρώπου



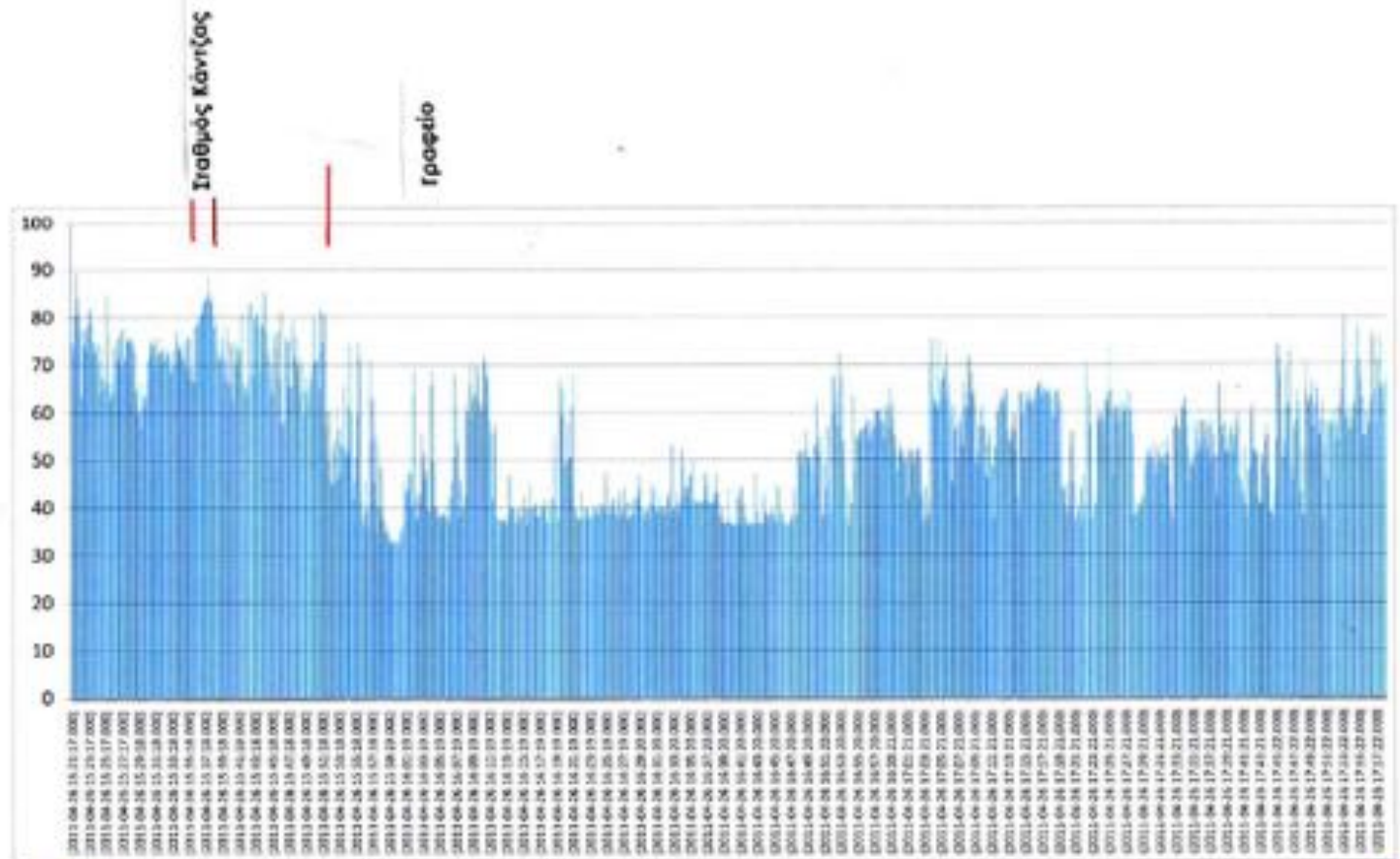
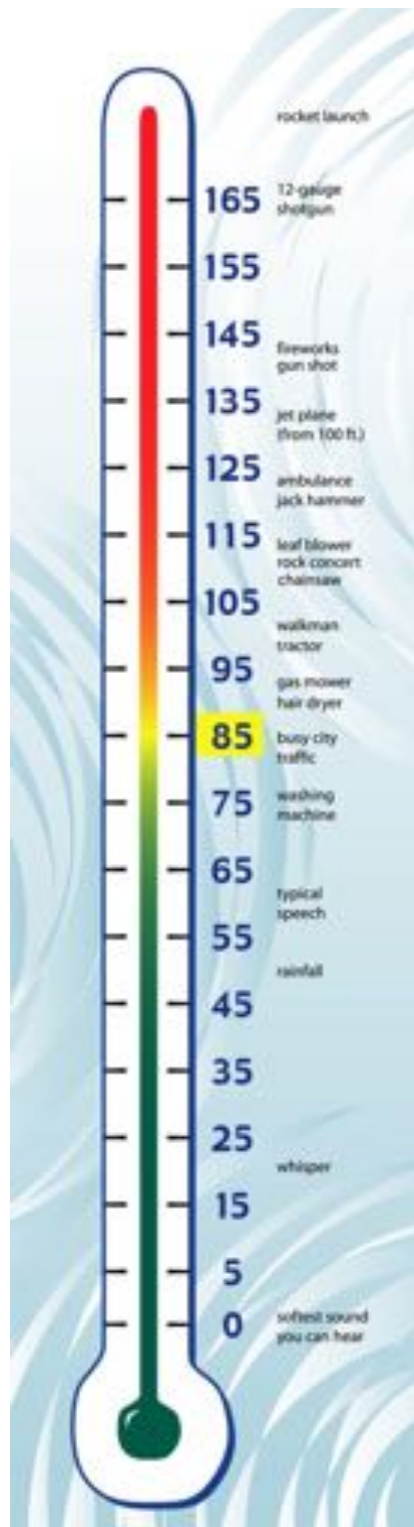
Ο θόρυβος στην καθημερινότητά μας ...



↑
12⁴⁵

↑
15²⁰





↑
15²⁰

↑
18²⁰



Επίδραση του θορύβου

Συνεχόμενη στάθμη θορύβου

20dB(A)

40dB(A)

60dB(A)

80dB(A)

100dB(A)

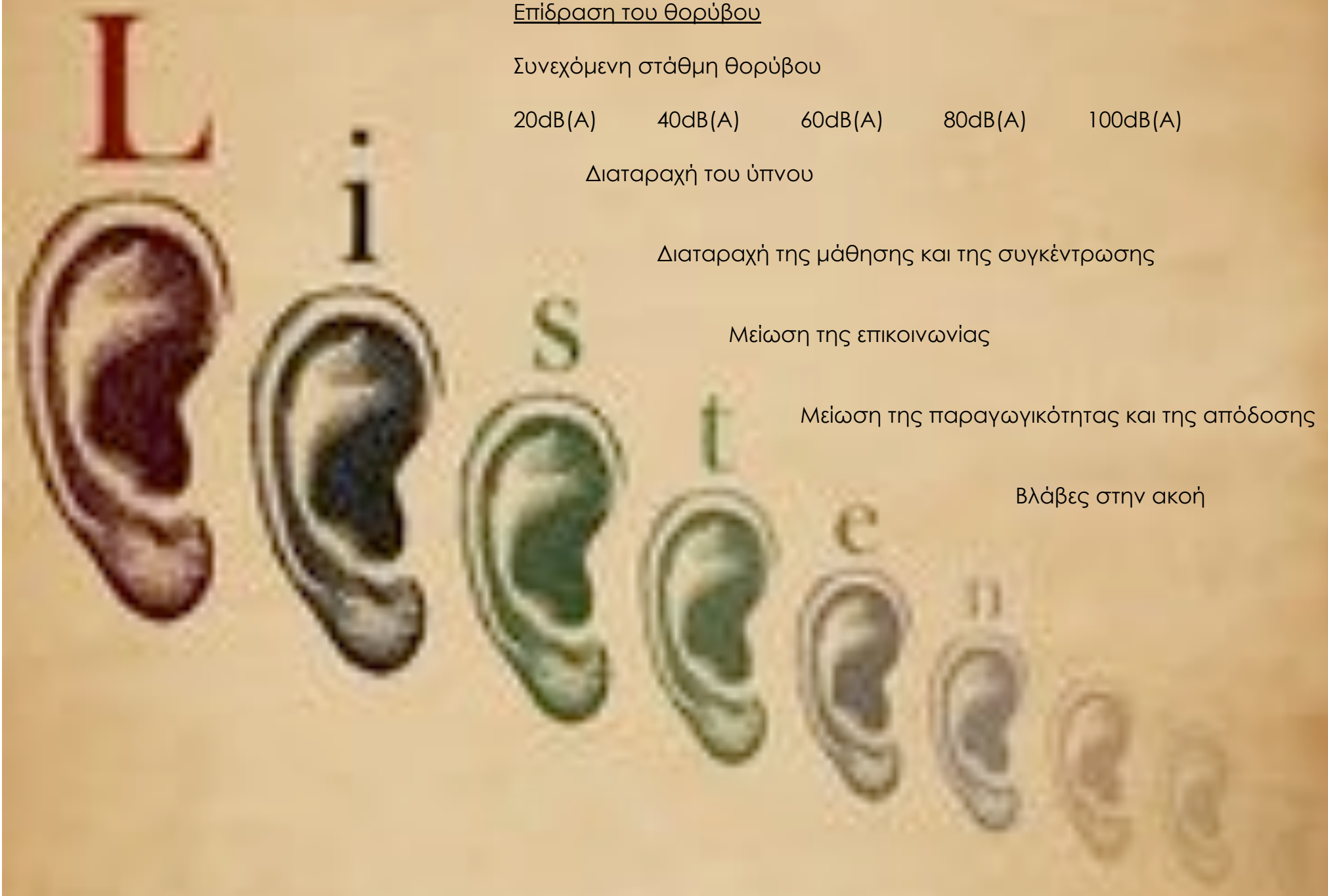
Διαταραχή του ύπνου

Διαταραχή της μάθησης και της συγκέντρωσης

Μείωση της επικοινωνίας

Μείωση της παραγωγικότητας και της απόδοσης

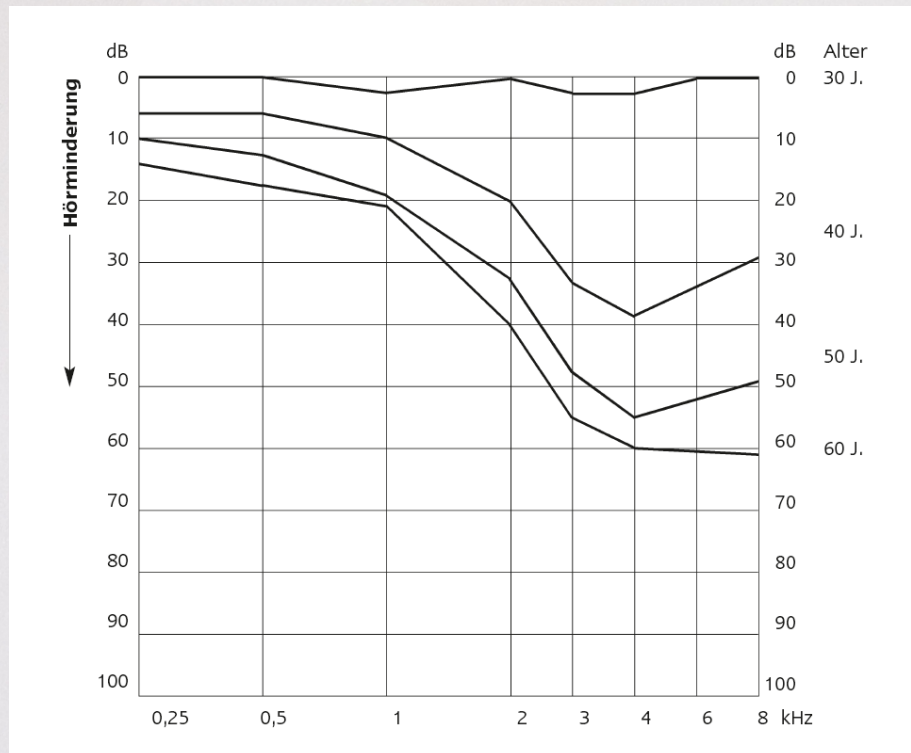
Βλάβες στην ακοή



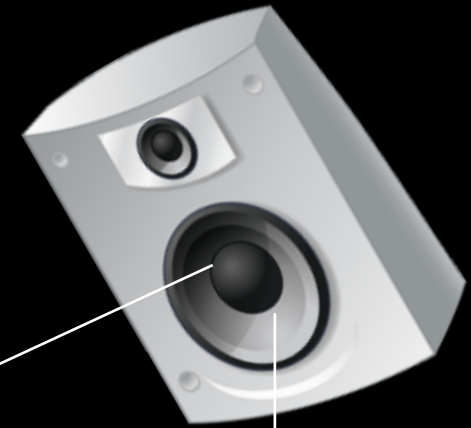
Οι συνέπειες του θορύβου

- Μειώνει την ποιότητα ζωής
- Αυξάνει το στρες
- Επηρεάζει την απόδοση πνευματικής εργασίας και μειώνει τη δυνατότητα στην συγκέντρωση
- Η απώλεια της ακοής λόγω θορύβων συμβαίνει σιγά σιγά, χωρίς πόνο
- Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε δυνατούς ήχους οδηγεί σε μόνιμη απώλεια ακοής
- Η χρόνια έκθεση στον θόρυβο μπορεί να οδηγήσει σε
 - υπέρταση
 - κάρδιο-αγγειακά νοσήματα

Η ακοή μειώνεται με την χρόνια έκθεση σε υψηλές ηχοστάθμες και με την ηλικία



Ο εργάτης εργάστηκε δέκα χρόνια (30 – 40) σε ένα εργασιακό περιβάλλον με πολύ υψηλή ηχοστάθμη $\geq 90\text{dB(A)}$ για 8 ώρες την ημέρα. Μετά βρήκε μια θέση σε μια περιοχή με ηχοστάθμες $\leq 80\text{ dB(A)}$. Κάθε δέκα χρόνια έγινε μια ακομέτρηση.





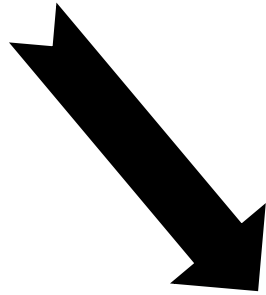
	$L_{Aeq, 8h}$	Equivalent levels for time indicated (trade-off 3 dB)
1 ^ο επίπεδο δράσης: προστασία (προτείνεται)	80 dB(A)	83 dB(A)-4hr ¹³ ; 86 dB(A)-2hr; 89 dB(A)-1hr; 92 dB(A)-30min ¹⁴ ; 95 dB(A)-15min; 98 dB(A)-8min; 101 dB(A)-4min; 104 dB(A)-2min; 107 dB(A)-1min
2 ^ο επίπεδο δράσης: προστασία (υποχρεωτική)	85 dB(A)	88 dB(A)-4hr; 91 dB(A)-2hr; 94 dB(A)-1hr; 97 dB(A)-30min; 100 dB(A)-15min; 105 dB(A)-5min; 111 dB(A)-1min
3 ^ο επίπεδο δράσης: μέγιστη έκθεση	87 dB(A)	



Ατομική ακρόαση – απομόνωση σε υψηλές στάθμες



110dB



Continuous dB	Permissible Exposure Time
85 dB	8 Hours
88 dB	4 hours
91 dB	2 hours
94 dB	1 hour
97 dB	30 minutes
100 dB	15 minutes
103 dB	7.5 minutes
106 dB	3.75 minutes (< 4 min)
109 dB	1.875 minutes (< 2 min)
112 dB	.9375 min (~ 1 min)
115 dB	.46875 min (~ 30 sec)



... ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΔΕΣ ΤΗΣ ...

Tinnitus
(Left +5dB – Μουσική)

Tinnitus
(Left +5dB – Ομιλία)

Μουσική - 40 ετών με απώλεια ακοής:
Tinnitus: Left +3dB
Ροζ θόρυβος -5dB

Μουσική - 40 ετών με απώλεια ακοής:
Tinnitus: Left +0dB
Ροζ θόρυβος -10dB

Ομιλία - 40 ετών με απώλεια ακοής:
Tinnitus: Left +3dB
Ροζ θόρυβος -5dB

Μουσική - 40 ετών με απώλεια ακοής:
Tinnitus: Left +0dB
Ροζ θόρυβος -10dB

Η ακουστική εκπαίδευση στην Ελλάδα





=





=



Παγκόσμια Ημέρα Ευαισθητοποίησης
κατά του Θορύβου

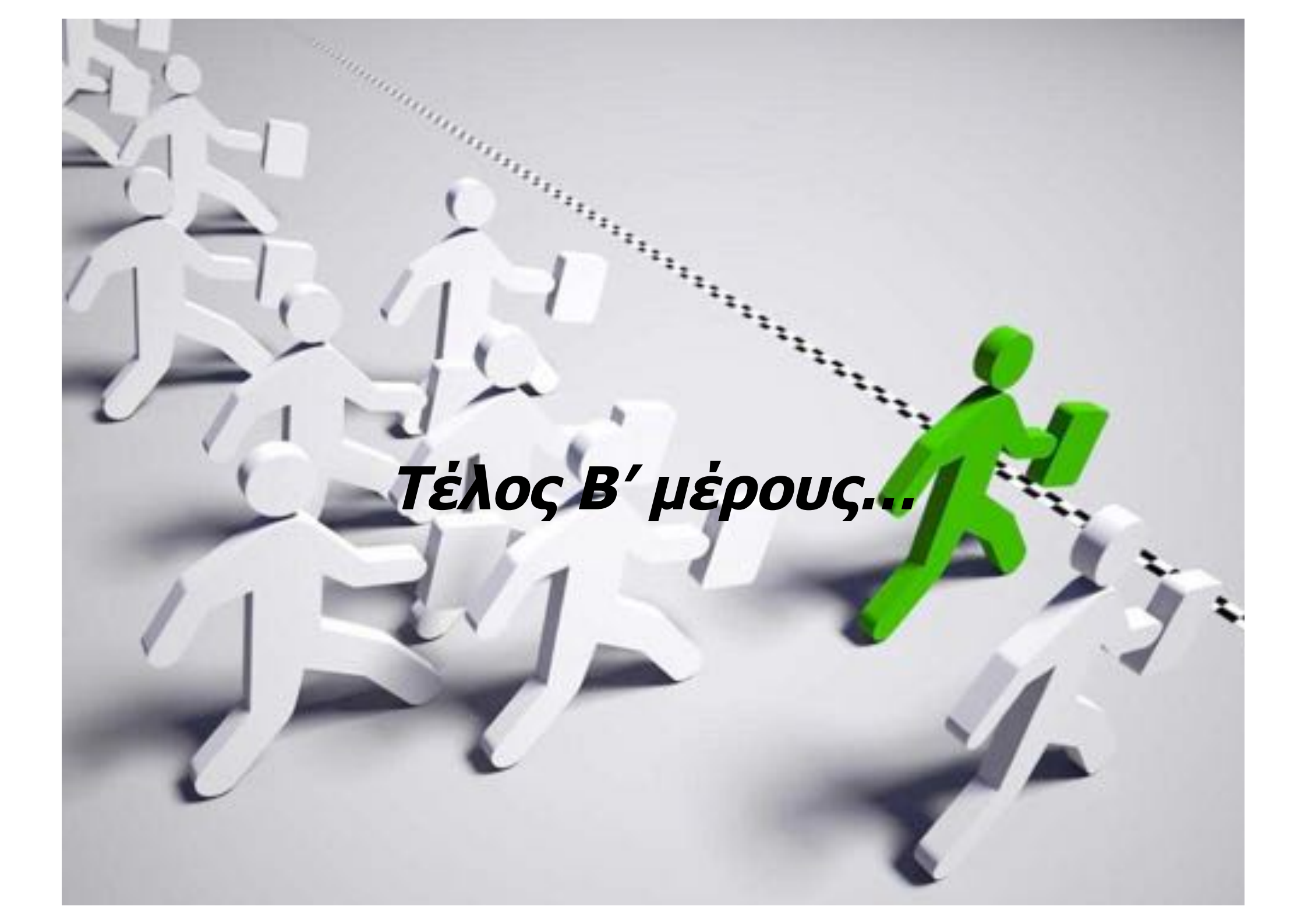
30 Απριλίου 2014

Ελληνικό
Ινστιτούτο
Ακουστικής

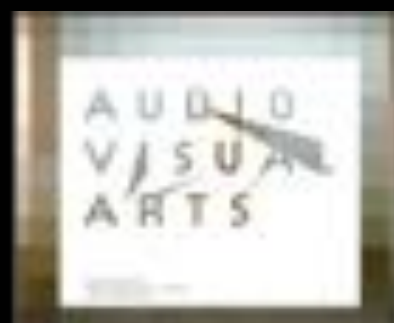


Ο θόρυβος
βλάπτει σοβαρά
την υγεία



A 3D illustration of a race. A group of white, stylized human figures are running towards the right, carrying briefcases. They are slightly out of focus. In the foreground, a single green figure is running towards the left, also carrying a briefcase, and is in sharp focus. A dashed line runs diagonally across the scene, separating the two groups. The background is a plain, light gray.

Τέλος Β' μέρους...



Ανδρέας Φλώρος

floros@ionio.gr

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