

Ακουστική και Ψυχοακουστική

Διάλεξη 5: “Αντίληψη του ήχου”

Φλώρος Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

Από το προηγούμενο μάθημα...

- Κάθε ηχητικό σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως διαδοχή επιμέρους
 - Ακουστικών υποσυστημάτων
 - Ηλεκτρικών υποσυστημάτων
 - Ηλεκτροακουστικών υποσυστημάτων



Από το προηγούμενο μάθημα...

- Η παραπάνω θεώρηση επιτρέπει την μελέτη ακουστικών συστημάτων
 - Εννιαία προσέγγιση με μοντέλα συστημάτων
- Κάθε υποσύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως «φίλτρο»
 - Γραμμική λειτουργία επιθυμητή
 - Πιθανή μη γραμμική λειτουργία
 - Π.χ. Ψαλιδισμός κατά την ηχογράφιση
 - Έλεγχος μη γραμμικής λειτουργίας (εφόσον είναι εφικτός)



Από το προηγούμενο μάθημα...

- Γραμμικές παραμορφώσεις μόνο
 - $N(f)=0$
- Προσθετικός θόρυβος μόνο
 - $H(f)=1$
- Συνδιασμένες παραμορφώσεις
 - Συνδιασμός γραμμικών παραμορφώσεων και προσθετικού θορύβου
- Μη γραμμικές παραμορφώσεις
 - Έξοδος που εξαρτάται έντονα από την είσοδο
 - Π.χ. Ψαλιδισμός σήματος

Ο άνθρωπος ως ακουστικό υποσύστημα



Ακουστική αντίληψη

- Πώς ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον ήχο;
- Υπάρχει υποκειμενικότητα στην αντίληψη του ήχου;
- Όλοι οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε τα ίδια παρουσία ενός συγκεκριμένου ηχητικού ερεθίσματος;
 - Η μουσική σας μπορεί να είναι θόρυβος για κάποιους άλλους!
 - Ποιά η απόκριση του ανθρώπινου συστήματος ακοής;
- Τα υποκειμενικά μεγέθη της ακουστικής είναι εμπειρικά
 - Προκύπτουν από την στατιστική επεξεργασία μεγάλου αριθμού αντιπροσωπευτικών ατόμων

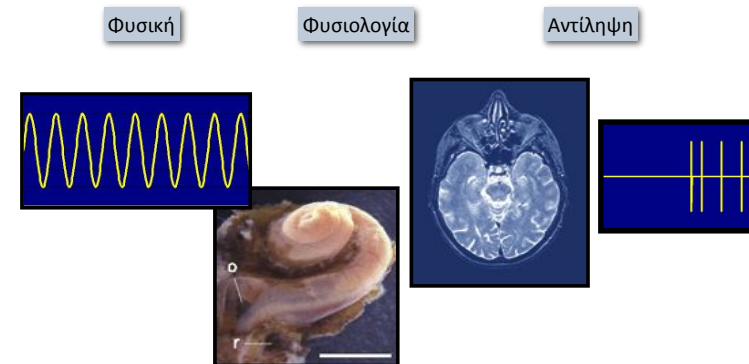


Η φυσιολογία της ανθρώπινης ακοής

- Τα ακουστικά κύματα γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο μέσω του αισθητηρίου της ακοής
- Δομή «ακουστικού οργάνου»
 - Το αυτί: μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε νευρικό ερέθισμα
 - Το ακουστικό νεύρο: μεταβιβάζει το νευρικό ερέθισμα στον εγκέφαλο
 - Το κέντρο ακουστικής αντίληψης: βρίσκεται στον εγκέφαλο
 - ▶ Μετατρέπει τα νευρικά ερεθίσματα σε ακουστική αντίληψη

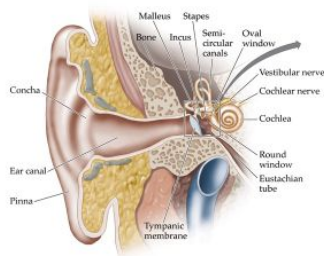


Η φυσιολογία της ανθρώπινης ακοής (2)



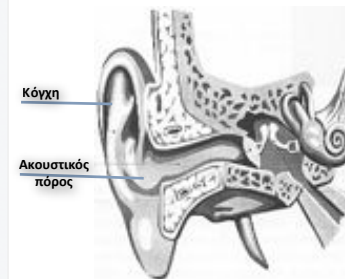
Η φυσιολογία του αυτιού

- Λειτουργία παρόμοια με μικρόφωνα μεμβράνης
 - Διαφορετική καμπύλη απόκρισης (μη επίπεδη)
 - Υψηλή ευαισθησία κοντά στις συχνότητες ομιλίας
 - Χαμηλότερη ευαισθησία στις υπόλοιπες συχνότητες
- Το αυτί αποτελείται από τρία μέρη:
 - Το εξωτερικό
 - Το μέσο
 - Το εσωτερικό (έσω αυτί)



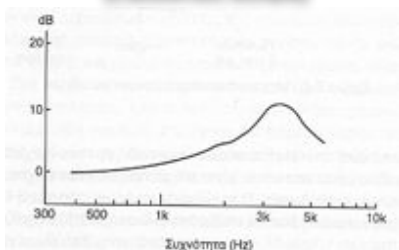
Η φυσιολογία του αυτιού - το εξωτερικό αυτί

- Κόγχη
 - συγκεντρώνει το ηχητικό κύμα
 - το μεταφέρει στον ακουστικό πόρο
- Ακουστικός πόρος
 - Μήκος περίπου 6.5cm
 - Προσαρμόζει τη μηχανική σύνθετη αντίσταση του τυμπάνου στην ειδική σύνθετη αντίσταση του αέρα
 - Βέλτιστη προσαρμογή στην περιοχή των 800Hz
- Συντονισμός γύρω στα 3000Hz



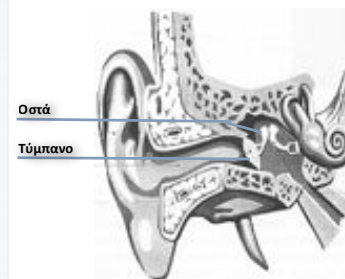
Η φυσιολογία του αυτιού - το εξωτερικό αυτί (2)

Απόκριση συχνότητας ακουστικού πόρου
(ή ακουστικού σωλήνα)



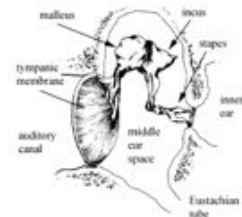
Η φυσιολογία του αυτιού - το μέσο αυτί

- Χωρίζεται από το έξω αυτί με το τύμπανο
- Ο ήχος διεγείρει το τύμπανο σε ταλάντωση
 - Στα 1000Hz το χαμηλότερο πλάτος ταλάντωσης του τυμπάνου που ανιχνεύεται είναι το 1/10 της διαμέτρου του μορίου του υδρογόνου
- Το παραγόμενο ερέθισμα μεταφέρεται μηχανικά στο εσωτερικό αυτί μέσω τριών οστών

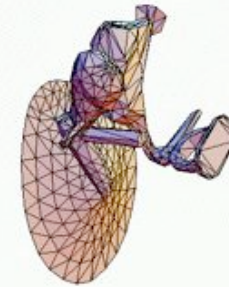


Η φυσιολογία του αυτιού - το μέσο αυτί (2)

- Οστά μέσου αυτιού
 - Σφύρα (malleus)
 - Άκμονας (incus)
 - Αναβολέας (stapes)
- Τα οστά αυτά συνδέονται με μυϊκούς ιστούς οι οποίοι περιορίζουν μεγάλα πλάτη κίνησης
- Μεταφέρουν μηχανικά το ερέθισμα στο έσω αυτί (κοχλία)

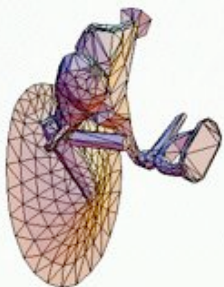


Η φυσιολογία του αυτιού - το μέσο αυτί (3)



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

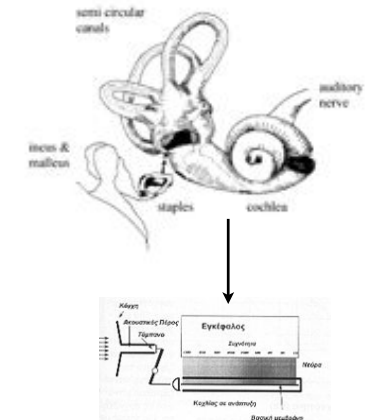
Η φυσιολογία του αυτιού - το μέσο αυτί (4)



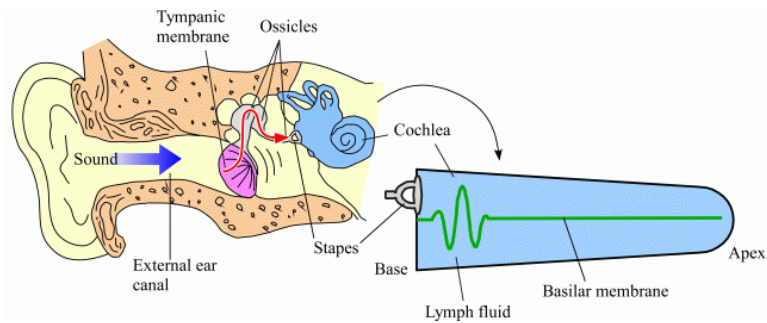
Ταλάντωση μέσου αυτιού με ημιτονική διέγερση **2000Hz** και στάθμη ηχητικής πίεσης 80dB-SPL στην μεμβράνη του τύμπανου

Η φυσιολογία του αυτιού - το έσω αυτί

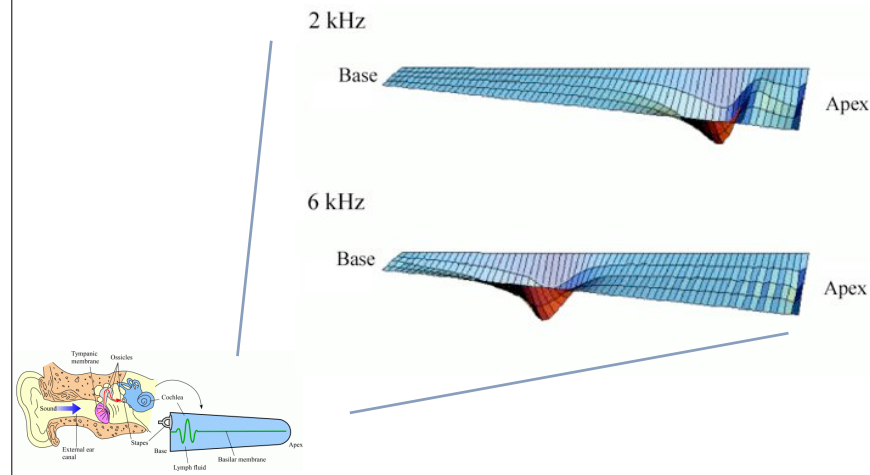
- Ο κοχλίας πραγματοποιεί φασματική «ανάλυση» του ήχου
 - Κατά μήκος του κοχλίου υπάρχει η βασική μεμβράνη
 - 23000-24000 απολήξεις τριχιδίων
 - Κάθε τριχίδιο κινείται ανάλογα με τη συχνότητα εισόδου
- Το πιεζοηλεκτρικό ερέθισμα που προκύπτει μεταφέρεται μέσω νευρών στον εγκέφαλο
- Μήκος κοχλίου 35χιλ.



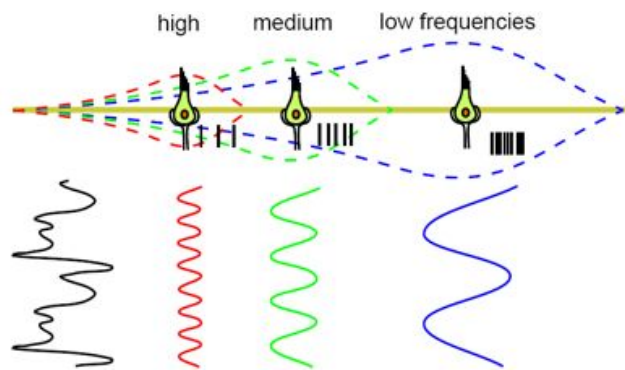
Η φυσιολογία του αυτιού - το έσω αυτί (2)



Η φυσιολογία του αυτιού - το έσω αυτί (3)



Η φυσιολογία του αυτιού - το έσω αυτί (4)

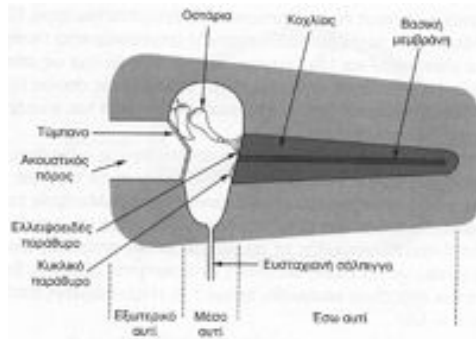


Η φυσιολογία του αυτιού - το έσω αυτί (5)

- Κοχλίας: κανόνας «σταθερής απόστασης»
- Δύο συχνότητες οκτάβας (f και $2f$)
 - Διεγείρουν απόσταση της τάξης των 3.5mm
 - Σταθερή απόσταση για σταθερό λόγο συχνότητων (οκτάβας)



Η φυσιολογία του ανθρώπινου αυτιού - Σύνοψη

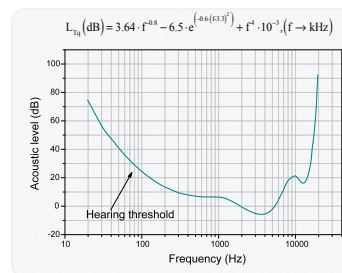


Η απόκριση του συστήματος της ανθρώπινης ακοής

- Η απόκριση του αυτιού στα δύο χαρακτηριστικά του ήχου δεν είναι γραμμική
 - Στάθμη (ένταση)
 - Συχνότητα
- Το αυτί μπορεί να διακρίνει περίπου
 - 280 διαφορετικές στάθμες
 - 1400 συχνότητες
- Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την απόκριση του αυτιού είναι
 - Η ακουστότητα
 - Το ύψος
 - Η χροιά

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ακουστότητα

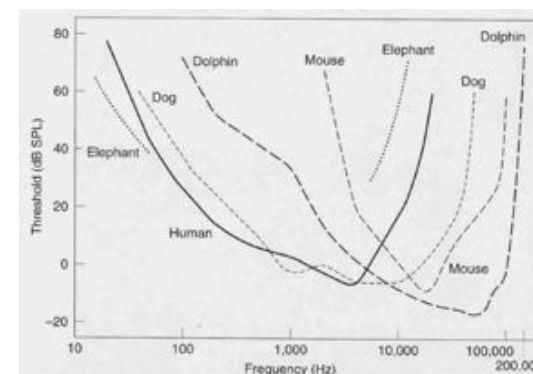
- Ακουστότητα (loudness)
 - Πόσο έντονα ακούγεται ένας ήχος;
 - Η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη στάθμη του ήχου
- Η ακουστότητα δύο τόνων ίδιας έντασης και διαφορετικών συχνοτήτων είναι διαφορετική
 - Αύξηση της έντασης του ήχου οδηγεί σε (μη ανάλογη) αύξηση της ακουστότητας
- Εξάρτηση από τη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



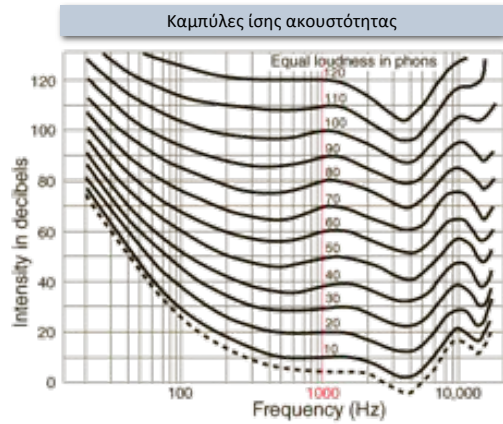
Μονάδα μέτρησης το phon:
 Τόνος συχνότητας 1kHz έχει ακουστότητα τόσα phons, όσο και η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB

Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ακουστότητα (2)

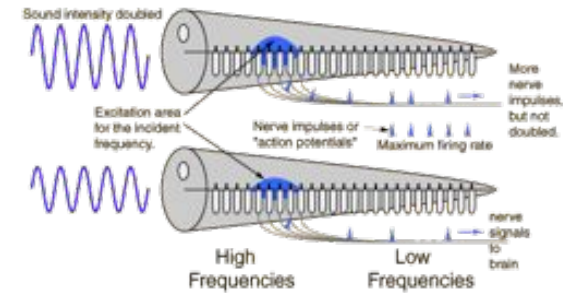
- Καμπύλες ακουστότητας διαφόρων ειδών



Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ακουστότητα (3)



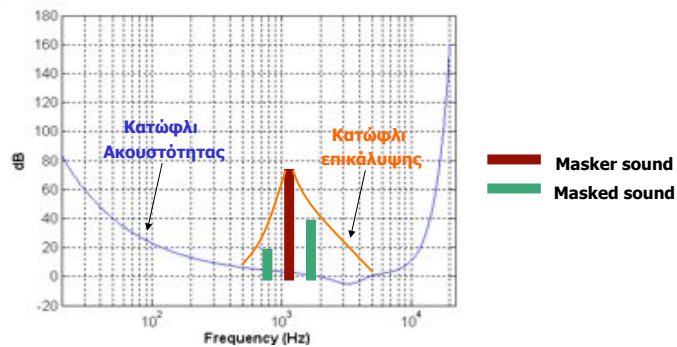
Υποκειμενικά χαρακτηριστικά ακοής – Ακουστότητα



Το φαινόμενο της ακουστικής επικάλυψης

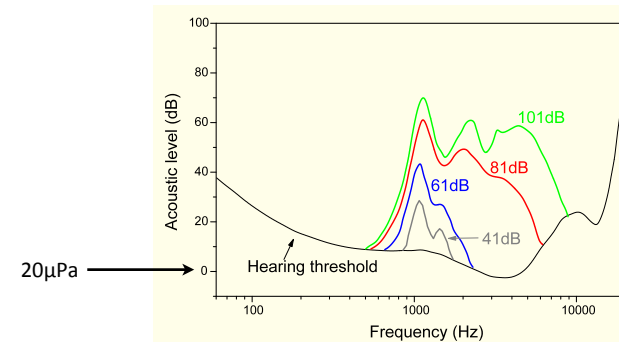
- Masking effect

- Η ύπαρξη ενός ήχου μεταβάλλει το κατώφλι ακουστότητας



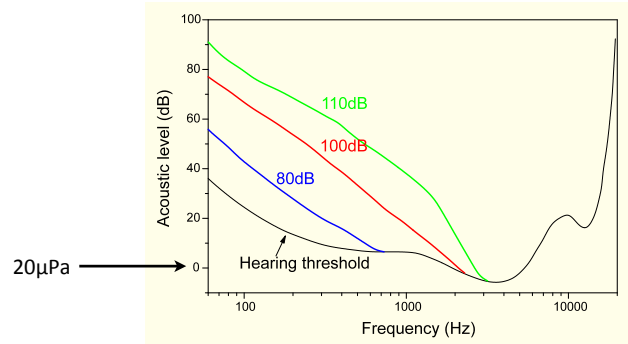
Το φαινόμενο της ακουστικής επικάλυψης (2)

Κατώφλι ακουστικής επικάλυψης για ημιτονικό σήμα 1kHz μεταβλητού πλάτους



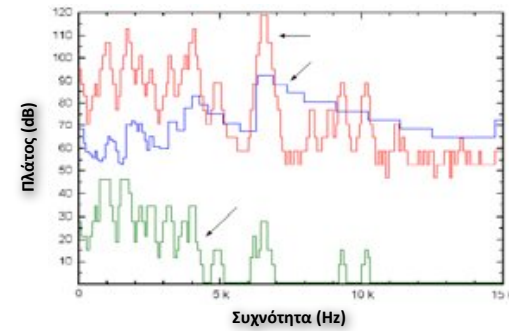
Το φαινόμενο της ακουστικής επικάλυψης (3)

Κατώφλι ακουστικής επικάλυψης για ημιτονικό σήμα 50Hz μεταβλητού πλάτους

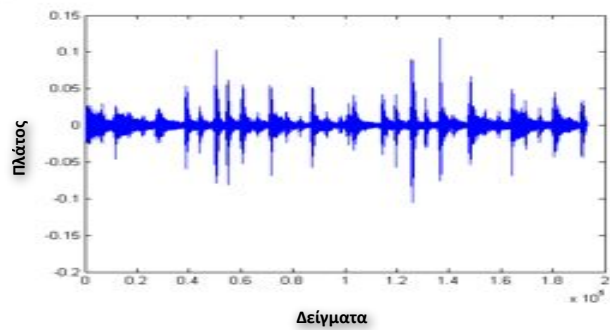


Εφαρμογές φαινομένου ακουστικής επικάλυψης

- Ψυχοακουστικά μοντέλα συμπίεσης

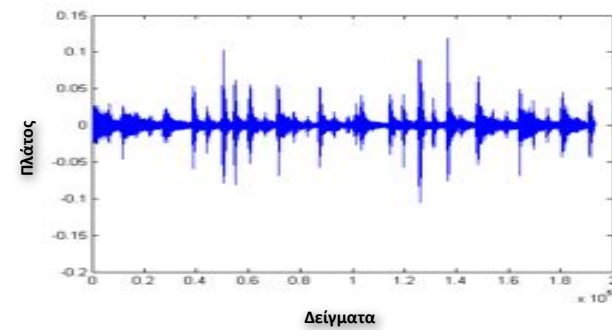


Η κωδικοποίηση MPEG1-Layer III



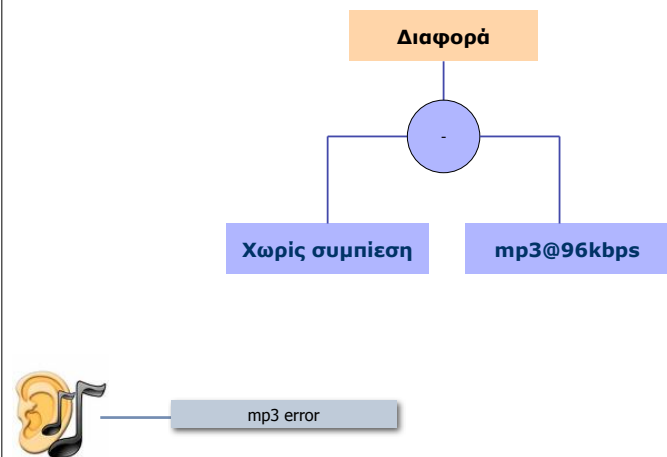
CD Quality (μη συμπίεσμένο)

Η κωδικοποίηση MPEG1-Layer III



mp3@96kbps

Η κωδικοποίηση MPEG1-Layer III



Εργαστηριακή άσκηση

- Εύρεση του ακουστού σφάλματος mp3 κωδικοποίησης
- Για διάφορα bitrate κωδικοποίησης



Τέλος (για σήμερα)....

Ανδρέας Φλώρος
floros@ionio.gr
<http://www.ionio.gr/~floros>