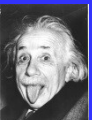
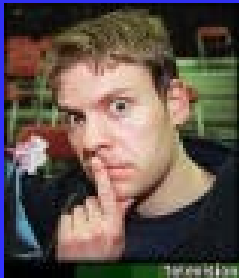


# ΗΧΟΣ



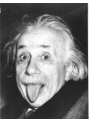
# Ηχητικά Κύματα

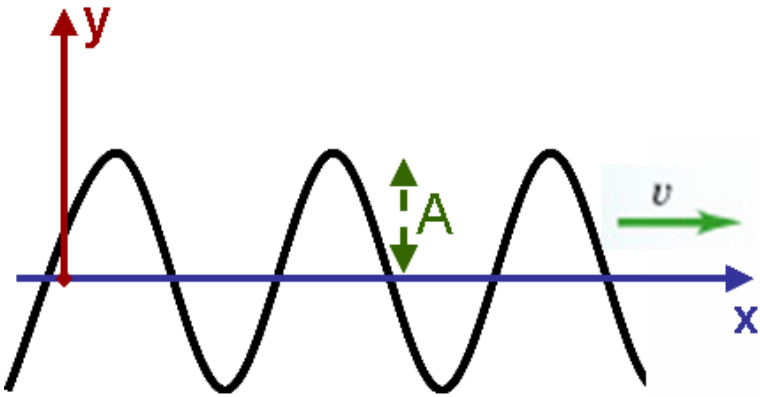


## Ορισμός

“**Ήχος** είναι η κίνηση του αέρα με μορφή κυμάτων πίεσης τα οποία ταξιδεύουν με ταχύτητα 344.4 μέτρα το δευτερόλεπτο.

Στερεά, υγρά και αέρια μπορούν μεταφέρουν τα ηχητικά κύματα, όχι όμως το κενό (ο ήχος έχει ανάγκη από κάποιο μέσον για να μεταφερθεί).





### *Τι είναι κύμα;*

Μια διαταραχή που διαδίδεται με πεπερασμένη ταχύτητα ονομάζεται κύμα

### *Σε τι διακρίνουμε τα κύματα;*

Ελαστικά κύματα:

προκαλούνται από κινήσεις σωμάτων σε ελαστικό μέσο και μεταφέρουν μηχανική ενέργεια

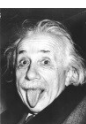
Ηλεκτρομαγνητικά κύματα:

ταυτόχρονη διάδοση Η και Μ πεδίου (καθέτων μαζί τους) οι εντάσεις των οποίων μεταβάλλονται περιοδικά.

### *Τι σημαίνει ότι το Η/Μ κύμα παρουσιάζει σωματιδιακές ιδιότητες;*

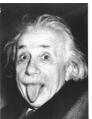
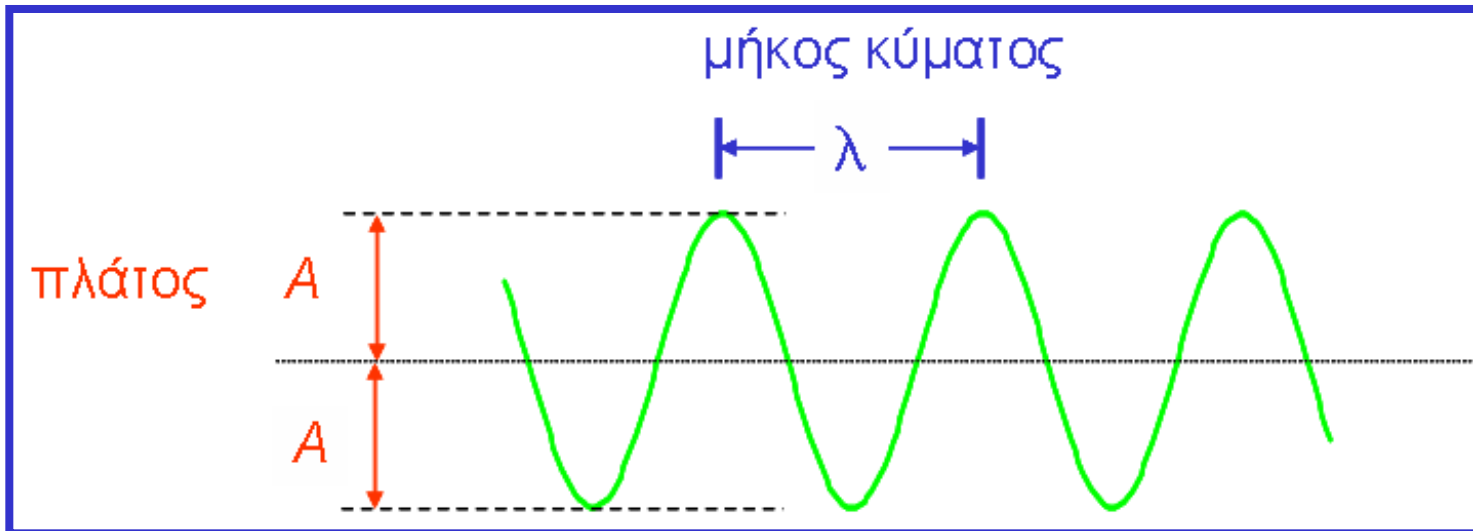
Η ενέργεια του απορροφάται και εκπέμπεται κατά συγκεκριμένες ποσότητες (κβάντα ενέργειας)

- π.χ. κβάντο ενέργειας Η/Μ πεδίου: φωτόνιο ( $E=hn$ )
- κβάντο ενέργειας πεδίου βαρύτητας: γκραβιτόνιο



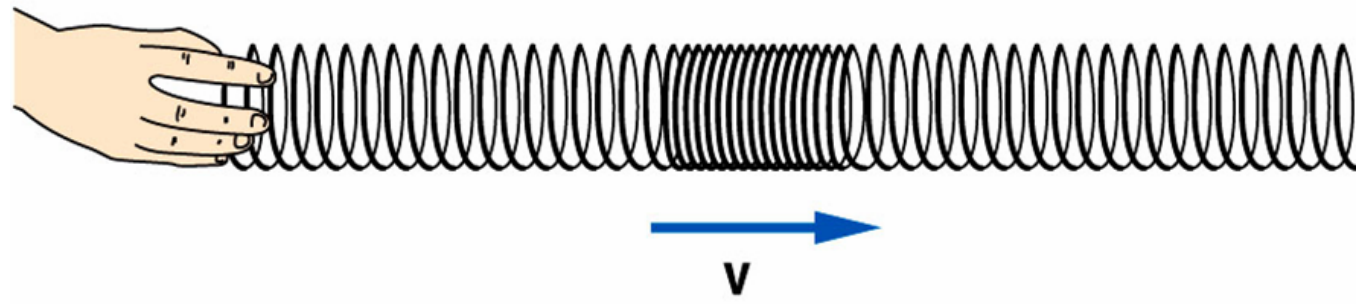
## Ιδιότητες κύματος

- **Μήκος κύματος:** Η απόσταση  $\lambda$  μεταξύ ίδιων σημείων στο κύμα
- **Πλάτος:** Η μέγιστη μετατόπιση  $A$  ενός σημείου στο κύμα.
- **Περίοδος:** Ο χρόνος  $T$  για ένα σημείο του κύματος για να κάνει μία πλήρη ταλάντωση.
- **Ταχύτητα:** Το όλο κύμα κινείται κατά ένα μήκος κύματος  $\lambda$  σε μία περίοδο  $T$  και έτσι η ταχύτητά του είναι  $v = \lambda/T$ .

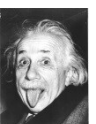
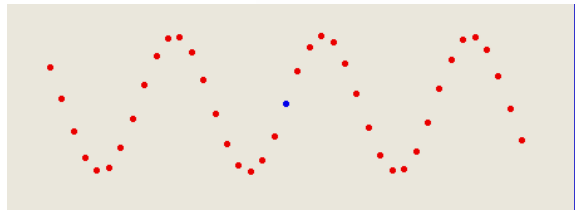
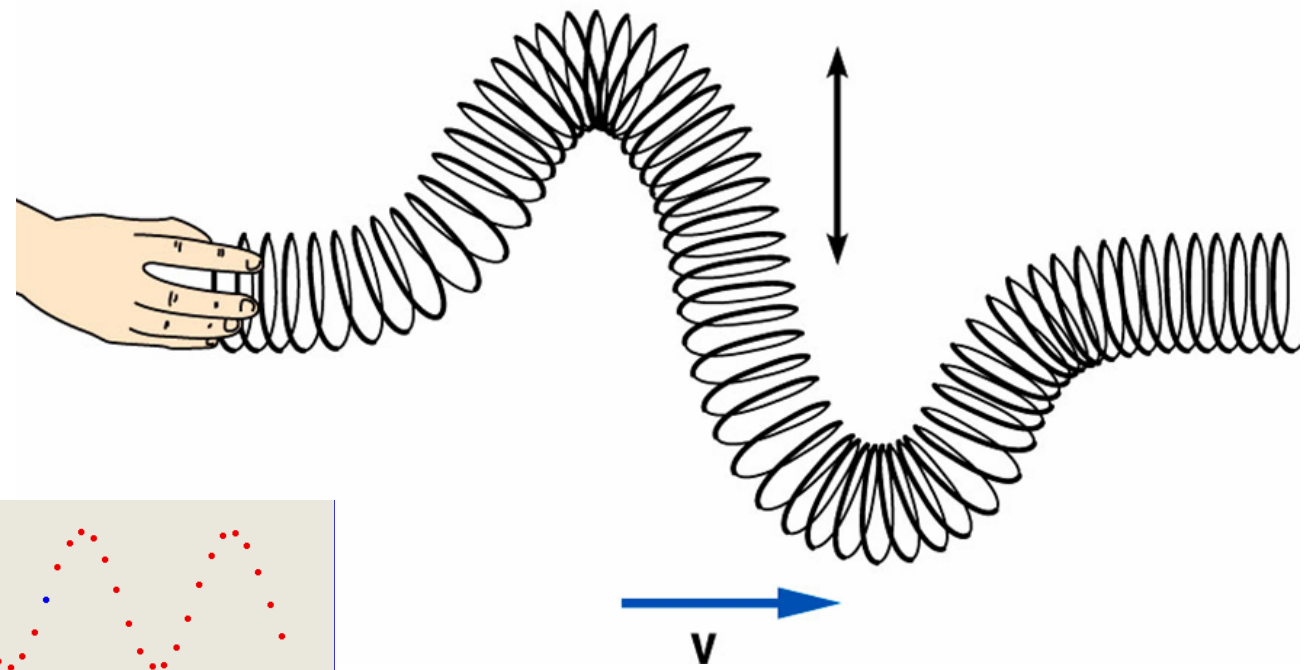




ΔΙΑΜΗΚΕΣ ΚΥΜΑ



ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΚΥΜΑ

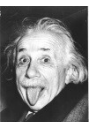
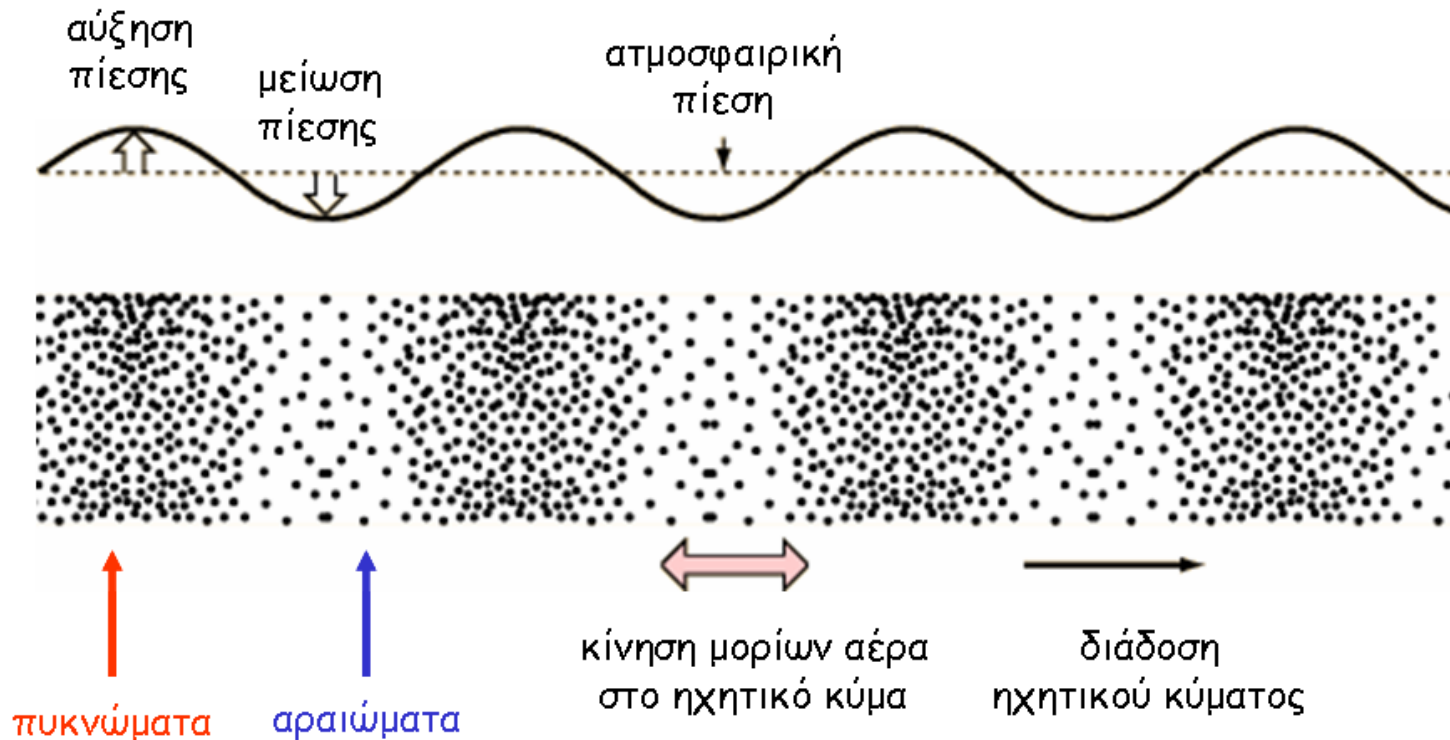


## Ελαστικά κύματα



Ένα **μέσον** αποτελείται από μεγάλο αριθμό σωματιδίων το καθένα από τα οποία συνδέεται με τα γειτονικά με ελαστικό υλικό.

- ✓ Μια μετατόπιση διαδίδεται στα σωματίδια που αποτελούν το υλικό με συγκεκριμένη ταχύτητα εξαρτώμενη από τις ιδιότητες του μέσου.
- ✓ Κατά την διάδοση ενός κύματος έχουμε μεταφορά ενέργειας χωρίς αντίστοιχη μεταφορά μάζας (αρμονική ταλάντωση γύρω από την θέση ισορροπίας)



## Τι είναι τα ηχητικά κύματα;



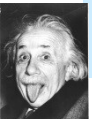
- ✓ Ένα παλλόμενο σώμα (μέσα σε ελαστικό μέσο) προκαλεί ένα μηχανικό κύμα.  
Εάν η συχνότητα της διαταραχής **διεγείρει το αισθητήριο της ακοής** τα κύματα ονομάζονται **ηχητικά**.
- ✓ **Εύρος ακουστικών συχνοτήτων:** 20 Hz - 20000 Hz
- ✓ λίγοι άνθρωποι αντιλαμβάνονται όλο το εύρος
- ✓ οι ηλικιωμένοι έχουν απώλεια ήχων συχνότητας > 10 000 Hz

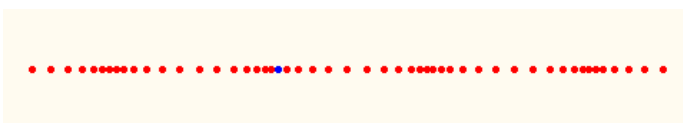
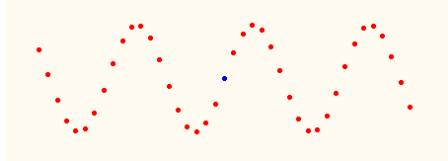
### Υπόηχοι < 20 Hz

- ✓ από φυσικά φαινόμενα (π.χ. σεισμικά κύματα, μεταβολές ατμοσφαιρικής πίεσης)
- ✓ από μηχανικά φαινόμενα (ανεμιστήρας στο σύστημα εξαερισμού - 10 Hz, ανοικτό παράθυρο σε κινούμενο αυτοκίνητο)
- ✓ μη ακουστές συχνότητες αλλά μπορεί να προκαλέσουν κεφαλαλγίες και βιολογικές διαταραχές

### Υπέρηχοι > 20000 Hz

- ✓ χρήση στην Ιατρική (π.χ. Μαιευτική)
- ✓ ακίνδυνοι για τον οργανισμό
- ✓ "ultrasound" να μην συγχέεται με "supersonic" (ταχύτητες > ήχου)





## Αρμονική Ταλάντωση - Εξίσωση Κύματος

Θεμελιώδης εξίσωση κυματικής:

$v$  = ταχύτητα διάδοσης

$\lambda$  = μήκος κύματος

$T$  = περίοδος κύμανσης

$f$  = συχνότητα ταλάντωσης

$$v = \lambda/T \text{ ή } v = \lambda f \text{ ή } \lambda = v/f$$

Ταλάντωση κάθετη στην διεύθυνση διαδόσεως: **εγκάρσιο κύμα**

Ταλάντωση παράλληλη στην διεύθυνση διαδόσεως: **διαμήκες κύμα**

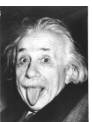
Μήκος κύματος στον αέρα (20° C): με  $v = 344 \text{ m/s}$  και  $f = 1000 \text{ Hz}$

$$\lambda = 344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 1000 \text{ s}^{-1} = \mathbf{0.344 \text{ m}}$$

Το κύμα μεταφέρει ενέργεια (δυναμική και κινητική).

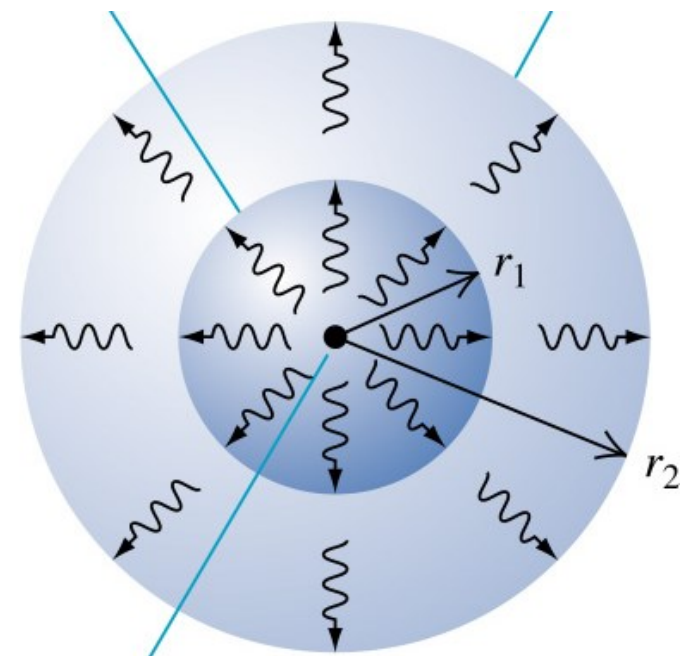
**Ένταση  $I$  ήχου:** η **ισχύς** (ενέργεια/sec -  $1 \text{ J/s} = 1 \text{ watt}$ ) η οποία μεταφέρεται από το ηχητικό κύμα μέσω μιας εγκάρσιας διατομής **εμβαδού  $1 \text{ m}^2$**  (μονάδα έντασης  $1 \text{ watt/m}^2$ )

Η ένταση δίδεται επίσης από την σχέση  $I = P^2/(2Z)$ , όπου  $P$  είναι η μέγιστη μεταβολή ως προς την ατμοσφαιρική πίεση και  $Z$  ακουστική εμπέδηση.



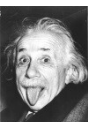


**Μέτωπο σφαιρικού κύματος:** επιφάνεια σφαίρας (σε ισότροπο μέσον μετά από χρόνο  $t$ ) με ακτίνα διαδόσεως  $= v \cdot t$  (σε μεγάλη απόσταση μπορεί να θεωρηθεί επίπεδο)



**Τι είναι η ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης ενός σώματος:**

- Όταν σε ένα σώμα ασκηθεί μία δύναμη που είναι ανάλογη της μετατόπισης τότε αυτό θα κάνει αρμονική ταλάντωση με γωνιακή συχνότητα  $\omega_0 (= \sqrt{k/m})$  όπου  $k$  η σταθερά επαναφοράς και  $m$  η μάζα του σώματος.
- Η  $\omega_0$  ονομάζεται **ιδιοσυχνότητα**.
- Το φαινόμενο κατά το οποίο ένα σώμα που μπορεί να ταλαντώνεται εκτελεί αρμονική ταλάντωση μεγίστου πλάτους διεγερόμενο από εξωτερικό αίτιο με συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητα ονομάζεται **συντονισμός**.



# Επίπεδο Έντασης των Ήχων: το DECIBEL (dB)

Μέτρηση της έντασης του ήχου:  $w/m^2$

Μονάδα μέτρησης του ήχου στην ακουστική: **bel** ή το **decibel (dB)**



ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται το dB είναι ότι:  
η ευαισθησία του αυτιού είναι λογαριθμική συνάρτηση της έντασης του ήχου

Είναι **σχετική μονάδα** γιατί συγκρίνει τις εντάσεις δύο ήχων:

Αν:

$I_1$ : ένταση ήχου 1

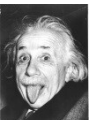
$I_2$ : ένταση ήχου 2

και  $I_2 = 10 I_1$

τότε  $\log_{10}(I_2 / I_1) = \log_{10}(10) = 1$

ή οι εντάσεις των δύο ήχων διαφέρουν κατά 1 bel

Επειδή το bel είναι μεγάλη μονάδα χρησιμοποιείται το dB (1 bel = 10 dB)



Το **επίπεδο έντασης του ήχου**  $L_2$ , όπως μετράται συνήθως, ορίζεται ως:

$$L_2(\text{dB}) = 10 \log_{10}(I_2/I_1)$$

και καθώς η Ένταση είναι ανάλογη του  $P^2$

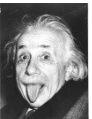
$$L_p(\text{dB}) = 20 \log_{10}(P_2/P_1)$$

Άρα για δύο ήχους με πιέσεις που διαφέρουν κατά ένα παράγοντα ίσο με 2 ( $P_2/P_1 = 2$ ) ισχύει:

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log_{10}(P_2/P_1) = 20 \log_{10}(2) = 20 (0.301) = 6 \text{ dB}$$

Για σύστημα **hi-fi** με **ομοιομορφία** ηχητικής εξόδου  $\pm 3$  dB (συνολική διακύμανση 6 dB) και για εύρος συχνοτήτων 30 έως 15000 Hz) η διακύμανση της πίεσης στο σύνολο των συχνοτήτων δεν ξεπερνά την τιμή  $P_2/P_1 = 2$ .

Η διακύμανση αυτή **δεν είναι παρατηρήσιμη** από το ανθρώπινο ουσ.



## Ηχητική Ένταση Αναφοράς

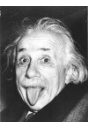
Ακουστικές δοκιμασίες: ηχητική ένταση (ή πίεση) αναφοράς:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2, \quad P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

Μια νότα 1000 Hz αυτής της έντασης μόλις που είναι ακουστή από άτομο με καλή ακοή

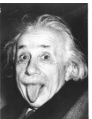
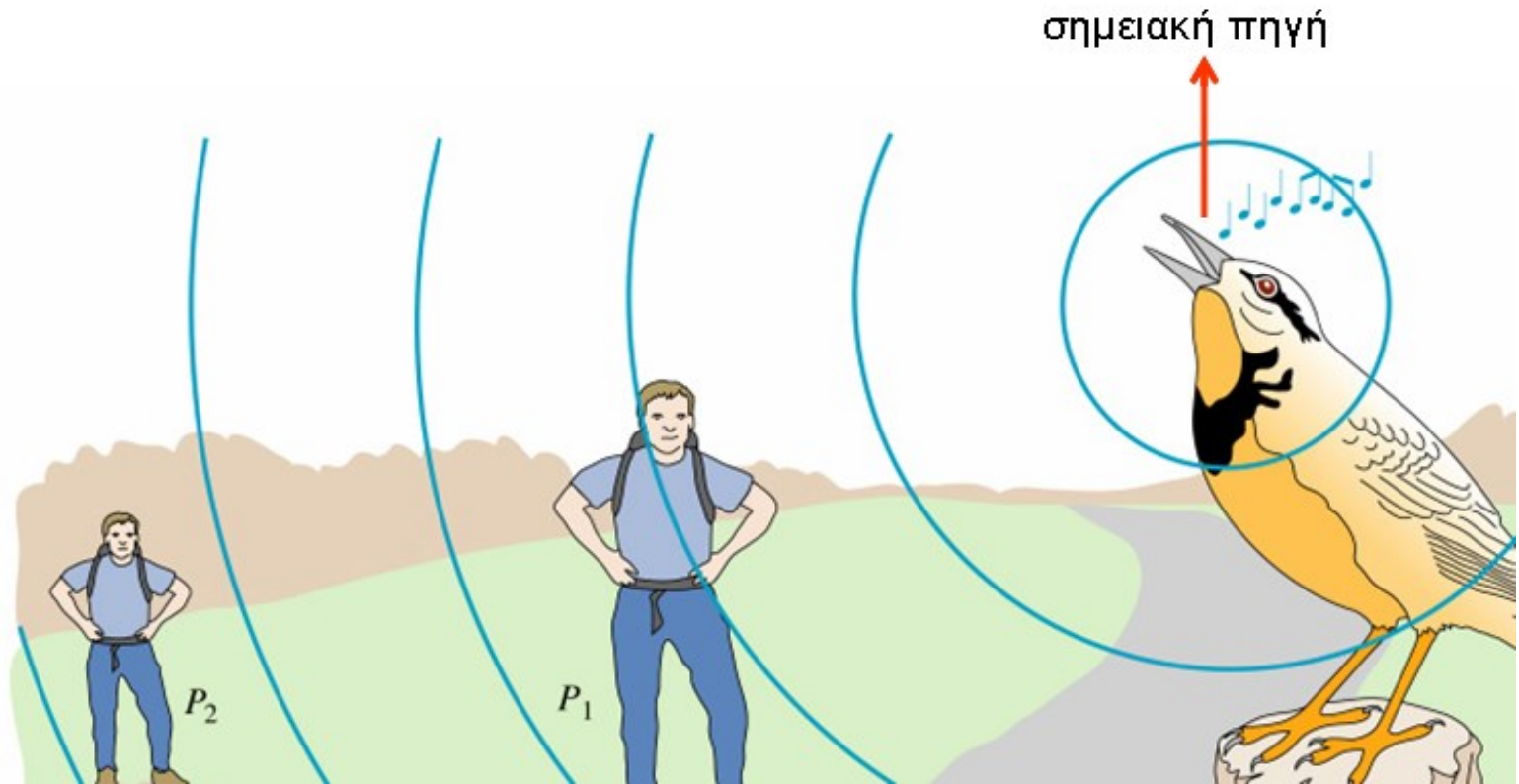
|                                    | <i>Ένταση<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>L<sub>1</sub> (dB)</i> |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Μόλις ακουστός ήχος                | 10 <sup>-12</sup>                   | 0                         |
| Ψίθυρος                            | 10 <sup>-10</sup>                   | 20                        |
| Μέση κατοικία                      | 10 <sup>-9</sup>                    | 30                        |
| Επαγγελματικό γραφείο              | 10 <sup>-7</sup>                    | 50                        |
| Ομιλία σε 1 m                      | 10 <sup>-6</sup>                    | 60                        |
| Πολυσύχναστος δρόμος               | 10 <sup>-5</sup>                    | 70                        |
| Υπόγειος σιδηρόδρομος ή αυτοκίνητο | 10 <sup>-3</sup>                    | 90                        |
| Ήχος που προκαλεί πόνο             | 10 <sup>0</sup>                     | 120                       |
| Απογείωση αεροσκάφους jet          | 10 <sup>1</sup>                     | 130                       |
| Εκτόξευση πυραύλου                 | 10 <sup>5</sup>                     | 170                       |

Ο πιο έντονος ήχος τον οποίο μπορεί να αντέξει το ανθρώπινο ουσ χωρίς πόνο είναι  $L_1=120 \text{ dB}$  το οποίο αντιστοιχεί σε  $I/I_0 = 10^{12}$  και  $P/P_0 = 10^6$



# Παράδειγμα

- Θεωρούμε μία πηγή ήχου.
- Θεωρούμε δύο παρατηρητές, εκ των οποίων ο ένας ευρίσκεται σε διπλάσια απόσταση από τον άλλο σε σχέση με την πηγή ήχου.
- Ποιά είναι η διαφορά (σε decibel) στην ένταση του ήχου όπως συλλαμβάνεται από τους δύο παρατηρητές;

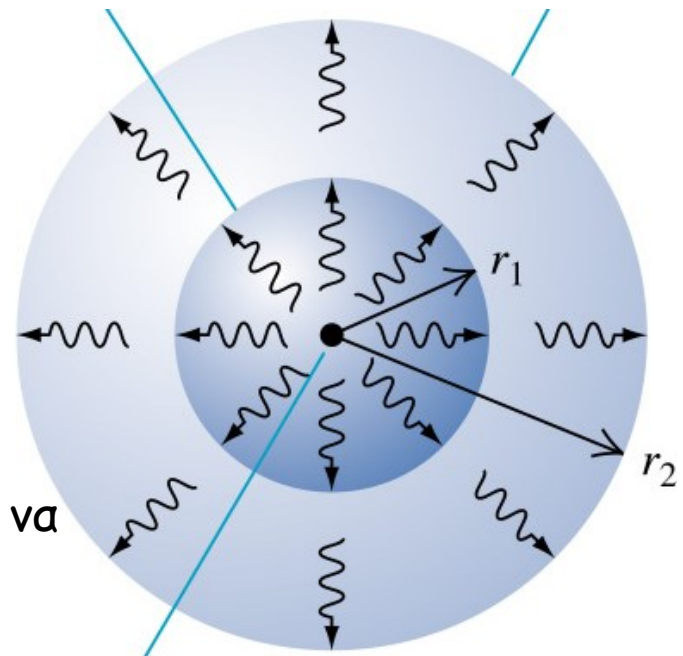


# DECIBEL

- Για να απαντηθεί η ερώτηση θα πρέπει να γνωρίζουμε την κατεύθυνση του εκπεμπόμενου ήχου.
- Ας υποθέσουμε ότι ο ήχος εκπέμπεται ομοιογενώς προς όλες τις κατευθύνσεις.

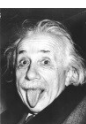
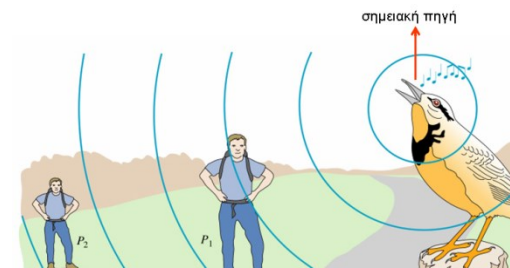
• Πως μεταβάλλεται η ένταση με την απόσταση  $r$  (απόσταση από την πηγή);

• Το κλειδί της απάντησης είναι η διατήρηση της ενέργειας

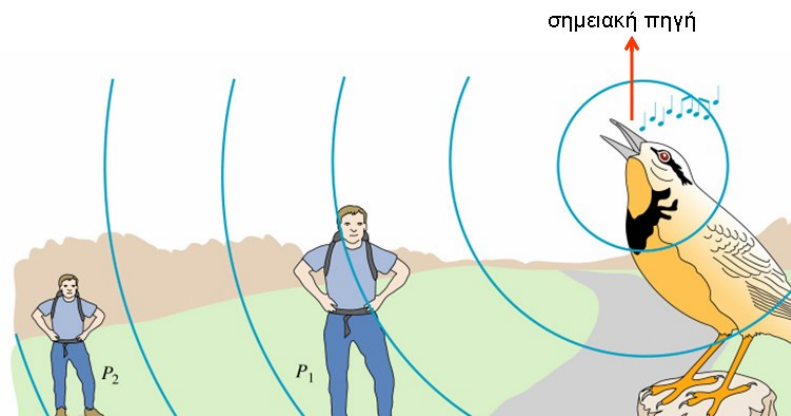


- Η συνολική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου η οποία διασχίζει μια σφαιρική επιφάνεια ακτίνας  $r_1$  πρέπει να είναι ίση με την συνολική ενέργεια η οποία διασχίζει μια σφαιρική επιφάνεια ακτίνας  $r_2$
- **Επιφάνεια** σφαίρας ακτίνας  $r$ :  $4\pi r^2$ .
- **Ένταση** = Ενέργεια/μονάδα χρόνου/μονάδα επιφανείας.
- Ενέργεια / χρόνο = Ένταση x επιφάνεια
- Ένταση<sub>1</sub> x επιφάνεια<sub>1</sub> = Ένταση<sub>2</sub> x επιφάνεια<sub>2</sub> = .....
- $4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2$

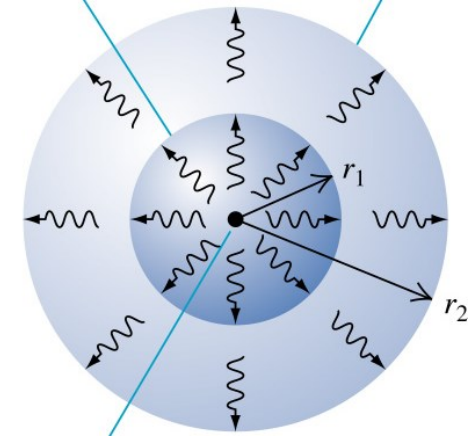
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



# DECIBEL



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



Η αρχική ερώτηση ήταν: ποιά είναι η διαφορά σε decibels όταν ο 2<sup>ος</sup> παρατηρητής ευρίσκεται 2 φορές μακρύτερα από τον 1<sup>ο</sup>.

$$r_2 = 2r_1 \Rightarrow I_1/I_2 = 4$$

Ορισμός του decibel:  $\beta = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0}$

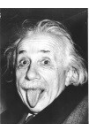
$$L_2(\text{dB}) = 10 \log_{10}(I_2/I_1)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = (10\text{dB})(\log \frac{I_2}{I_0} - \log \frac{I_1}{I_0})$$

$$\beta_2 - \beta_1 = (10\text{dB})(\log I_2 - \log I_0 - \log I_1 + \log I_0)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = (10\text{dB})(\log I_2 - \log I_1) = (10\text{dB}) \log \frac{I_2}{I_1}$$

$$\beta_2 - \beta_1 = (10\text{dB}) \log \frac{1}{4} = -6.0 \text{ dB}$$

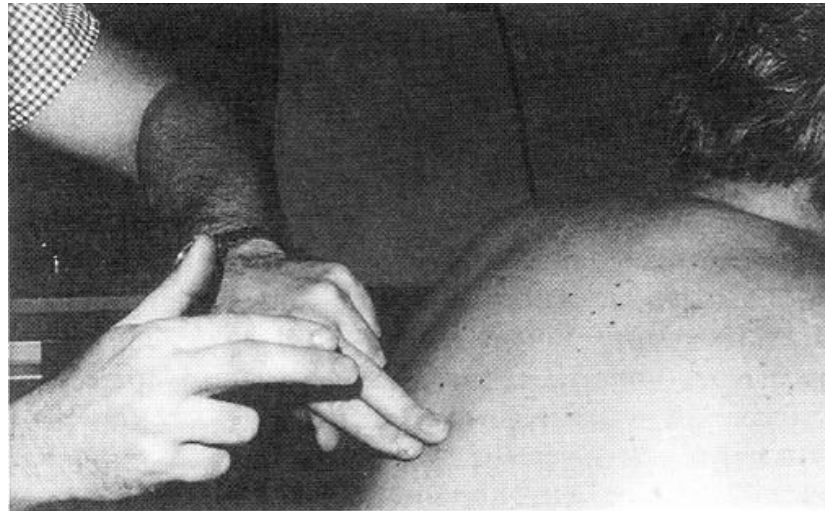


## Το σώμα ως τύμπανο (Η επίκρουση στην Ιατρική)

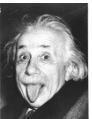
**Επίκρουση:** απο αρχαιοτάτων χρόνων (είναι ο τοίχος συμπαγής ή περιέχει κρύπτη; Το βαρέλι είναι άδειο ή γεμάτο;)

**Διαγνωστική:** L. Auenbrugger (μουσικός με πατέρα πανδοχέα), 1761  
«Περί της Επίκρουσης του Θώρακα»

“Ο ήχος που παράγεται με αυτόν τον τρόπο από υγιή θώρακα, μοιάζει με τον πνιγμένο ήχο ενός τυμπάνου το οποίο έχει καλυφθεί από χοντρό μάλλινο ύφασμα ή άλλο κάλυμμα”



Μέθοδος επίκρουσης του θώρακα από την ράχη: τα δάκτυλα του ενός χεριού κρατούνται πάνω στο δέρμα και επικρούονται με τα δάκτυλα του άλλου χεριού.





## Το Στηθοσκόπιο

### Κύριες Εφαρμογές:

- ✓ Καρδιά
- ✓ Πνεύμονες
- ✓ Αρθρώσεις
- ✓ Εστενωμένες αρτηρίες



**Ακρόαση με στηθοσκόπιο: έμμεση ακρόαση ή απλώς ακρόαση  
R.T. Laennec (1818):**

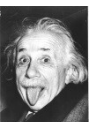


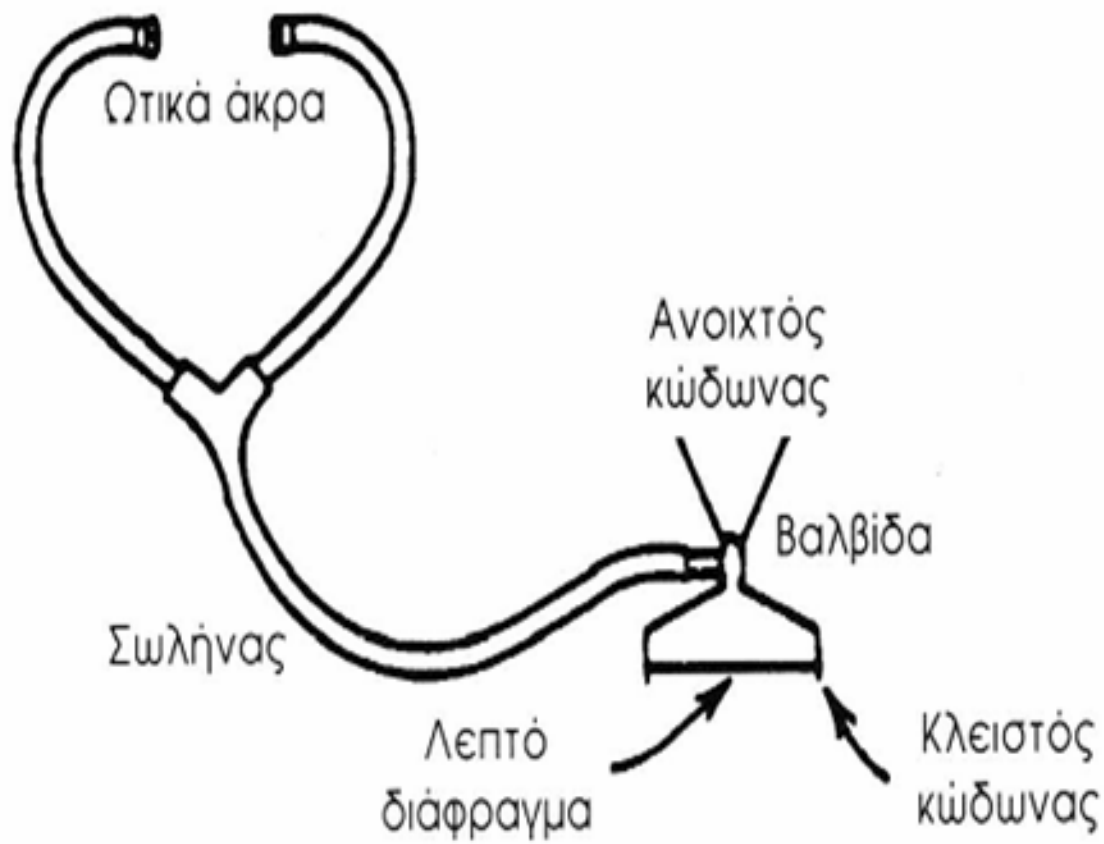
Μέχρι το 1818 μοναδικές διαθέσιμες μέθοδοι για ακρόαση του θώρακα:

- ✓ Ψηλάφιση
- ✓ Επίκρουση
- ✓ Άμεση ακρόαση (περιστασιακά)

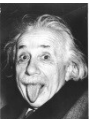
Ο Laennec κατασκεύασε κοίλο ξύλινο κύλινδρο μήκους 30 cm και εσωτερικής διαμέτρου 1 cm (εξωτ. διάμετρος 4 cm). Ονομα: στηθοσκόπιο (stethoscope)

**σήμερα χρησιμοποιούμε ακόμη την αρχή λειτουργίας του Laennec**





Σχηματική Παράσταση Στηθοσκοπίου



$$\omega_0 (= \sqrt{k/m})$$

## Στηθοσκόπιο



### Ανοικτός Κώδωνας:

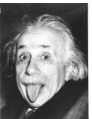
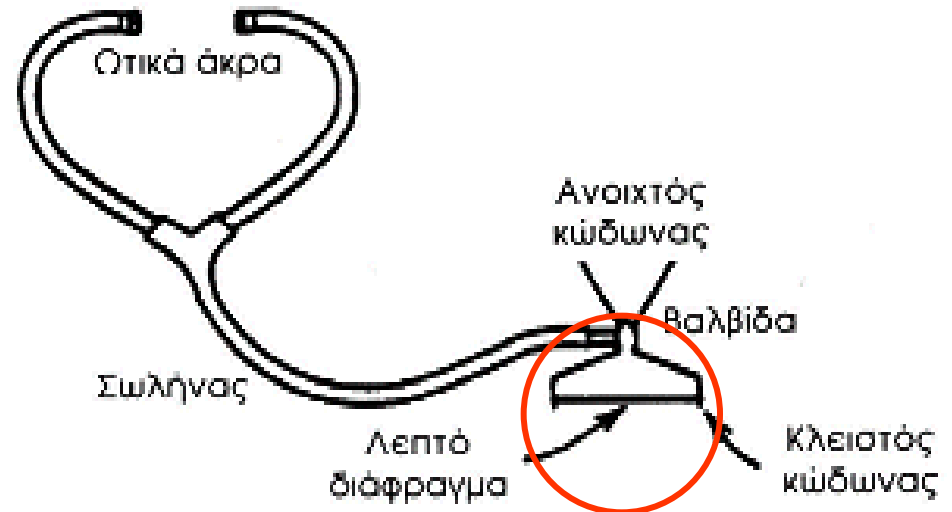
- ❑ χρησιμεύει στην προσαρμογή της εμπέδησης μεταξύ δέρματος και αέρα
- ❑ με ανοικτό κώδωνα το δέρμα συμπεριφέρεται σαν διάφραγμα. Έχει μια **ιδιοσυχνότητα** συντονισμού στην οποία διαδίδει τους ήχους της καρδιάς πιο αποτελεσματικά
- ❑ Η **συχνότητα συντονισμού** ελέγχεται από:
  - **διάμετρο του κώδωνα** (μεγαλύτερη διάμετρος κώδωνα, χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού δέρματος)
  - **πίεση κώδωνα πάνω στο δέρμα** (μεγαλύτερη πίεση στο δέρμα, μεγαλύτερη συχνότητα συντονισμού)
  - με **συνδυασμό μεγέθους κώδωνα και μεταβολής πίεσης** (άρα και τάσης δέρματος) μπορεί να αυξηθεί το εύρος των ήχων ενδιαφέροντος

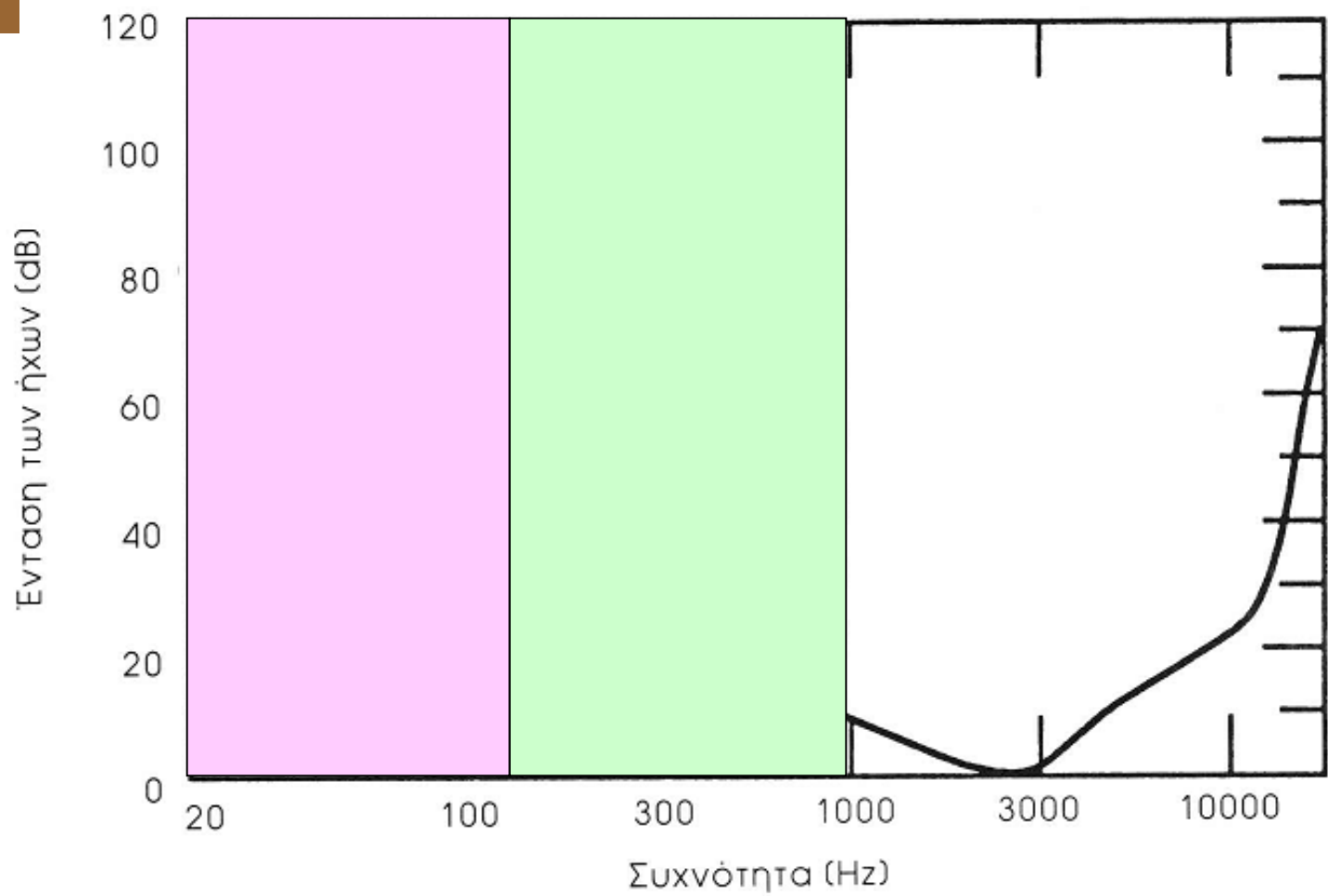


## Στηθοσκόπιο

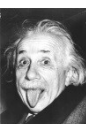
### Κλειστός Κώδωνας:

- Είναι απλά ένας κώδωνας με **διάφραγμα γνωστής συχνότητας συντονισμού** (συνήθως υψηλής) ο οποίος αφαιρεί τους ήχους χαμηλής συχνότητας
- Η συχνότητα συντονισμού ελέγχεται όπως στον ανοικτό κώδωνα
- χρησιμεύει κυρίως για τους ήχους των **πνευμόνων** ( $f$  πνευμόνων  $>$   $f$  καρδιάς)

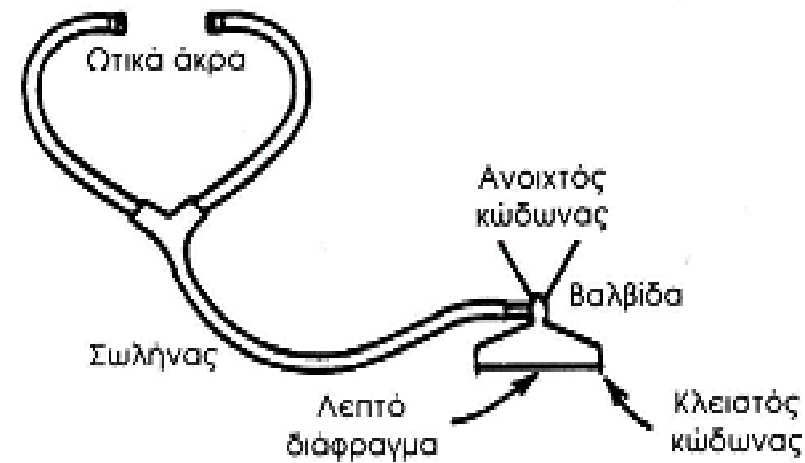




**Εικόνα 10.5.** Οι περισσότεροι από τους καρδιακούς ήχους είναι χαμηλής συχνότητας, στην περιοχή όπου η ευαισθησία του ανθρώπινου ωτός δεν είναι καλή. Οι πνεύμονες γενικά παράγουν υψηλότερες συχνότητες. Η καμπύλη παριστά το κατώφλι ακοής για ανθρώπους με καλή ακοή. Μερικοί από τους ήχους της καρδιάς και των πνευμόνων βρίσκονται κάτω από αυτό το κατώφλι.

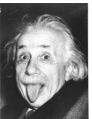


## Στηθοσκόπιο



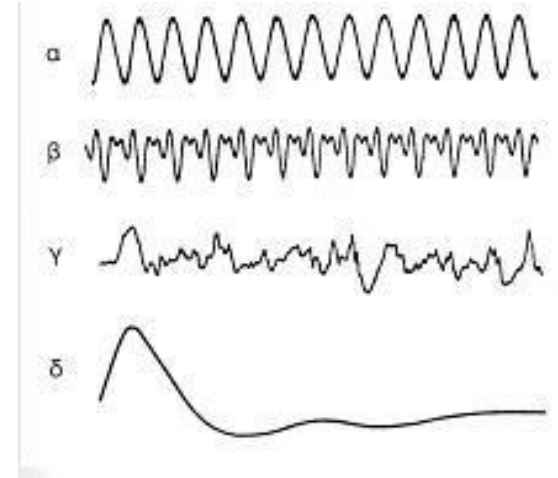
### Βέλτιστο Σχήμα για το Στηθοσκόπιο:

- ✓ Όγκος **κώδωνα** όσο το δυνατόν μικρότερος (μικρότερος όγκος αερίου στον κώδωνα, μεγαλύτερη η μεταβολή πίεσης για δεδομένη κίνηση του διαφράγματος)
- ✓ Όγκος **σωλήνων** μικρός
- ✓ **Απώλεια ήχων** λόγω τριβής στα τοιχώματά των σωλήνων, η μικρότερη δυνατή
- ✓ **Διάμετρος** σωλήνα πολύ μικρή → μεγάλες τριβές
- ✓ **Διάμετρος** σωλήνα πολύ μεγάλη → όγκος αέρα πολύ μεγάλος
- ✓ **Συμβιβαστική λύση**: σωλήνας μήκους 25 cm και διαμέτρου 0.3 cm
- ✓ Απόλυτη εφαρμογή των ωστικών άκρων στα **ώτα** (η διαρροή αέρα μειώνει τους ήχους που ακούγονται)
  - χαμηλότερη συχνότητα, μεγαλύτερη **διαρροή**
  - κακή εφαρμογή, αντιληπτός ο **θόρυβος** υποστρώματος



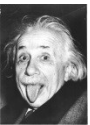
*Ποιά είναι τα είδη ήχων;*

- Απλοί:** ημιτονοειδή κύματα
- Σύνθετοι:** σύνθετα ημιτονοειδή κύματα (μπορούν να αναλυθούν σε επί μέρους απλές κυμάνσεις).
- Θόρυβοι:** ήχοι χωρίς σταθερό και ορισμένο φάσμα συχνοτήτων
- Κρότοι:** ήχοι με απότομη μεταβολή της εντάσεώς τους και πολύ μικρή διάρκεια.



*Ποιά είναι τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά των ήχων;*

- Η **συχνότητα** ( $f$ ) του κύματος
- Η **ταχύτητα** ( $v$ ) διαδόσεως του κύματος
- Το **πλάτος ταλαντώσεως ή η ένταση του κύματος** που είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους



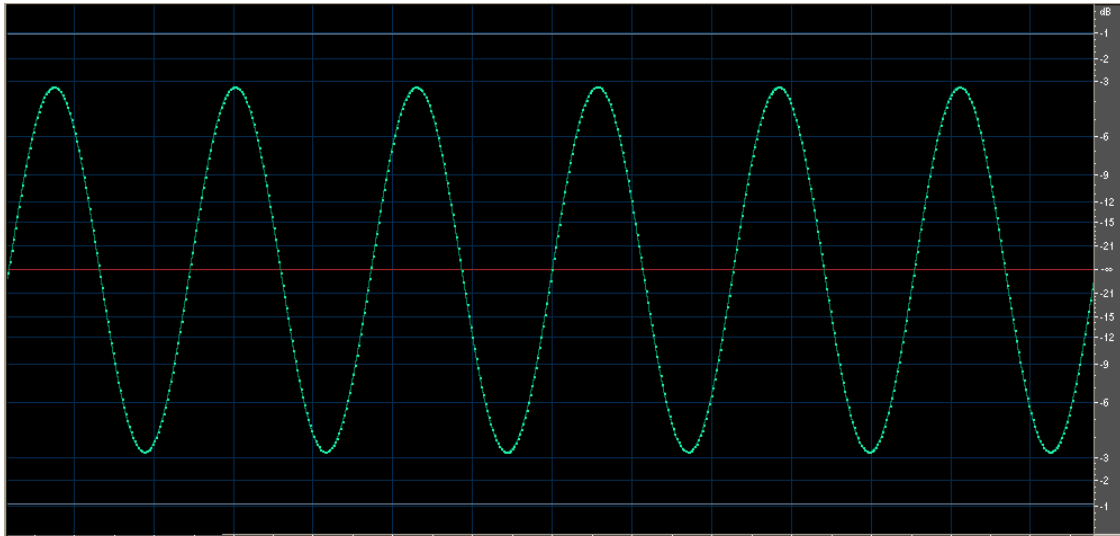
- Ύψος:** διακρίνονται οι ήχοι σε **οξείς και βαρείς**.  
 φυσικό αίτιο: **συχνότητα ηχητικής πηγής** (μεγαλύτερη συχνότητα, οξύτερος ήχος)
- Ακουστότητα:** χαρακτηρίζει το μέγεθος του ακουστικού αισθήματος (**δυνατός ή ασθενής ήχος**).  
 Εξαρτάται από την ένταση και από την συχνότητα.  
 Για την ίδια  $I$  (διαφορετικής  $f$ ): η ένταση του υποκειμενικού συναισθήματος είναι διαφορετική (η απόκριση του αισθητηρίου οργάνου διαφέρει)  
 Για κάθε  $f$  υπάρχει συγκεκριμένο εύρος εντάσεων ακουστών ήχων.  
 ✓ Κατώτερο όριο: όριο ακουστότητας  
 ✓ Ανώτατο όριο: όριο πόνου  
 Νόμος Weber-Fechner: Ένταση υποκειμενικού συναισθήματος ανάλογη του λογαρίθμου της έντασης του κύματος.
- Χροιά:** Το γνώρισμα με το οποίο **διακρίνουμε** δύο σύνθετους ήχους **ίδιου ύψους και ακουστότητας προερχομένους από διαφορετικές πηγές**.  
 (Η χροιά ενός σύνθετου ήχου καθορίζεται από τον λόγο του πλάτους κάθε ενός αρμονικού προς το πλάτος του θεμελιώδους - Θεώρημα Fourier)



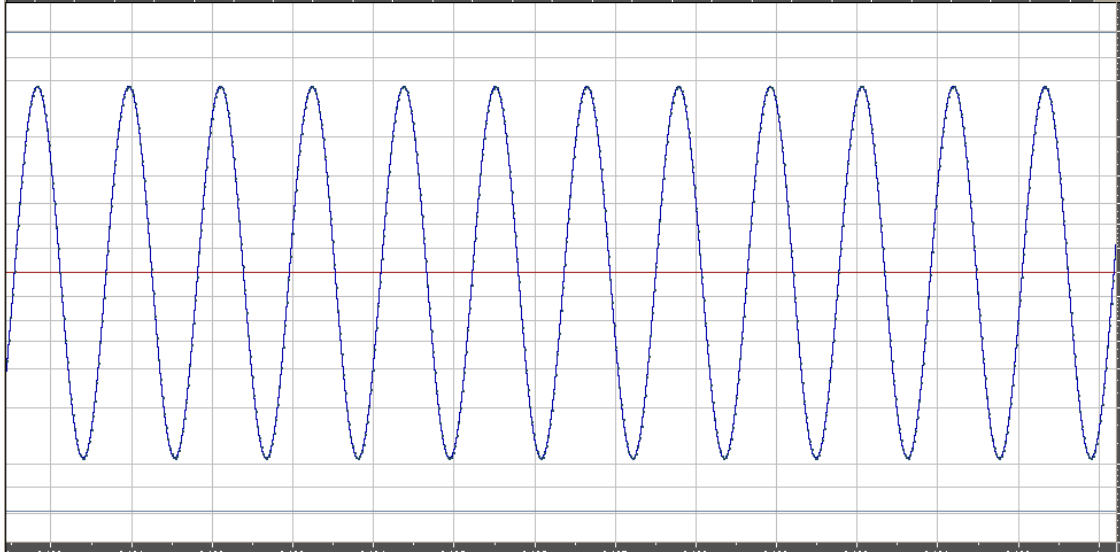


# Μουσική

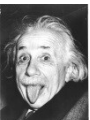
Ο διπλασιασμός ή υποδιπλασιασμός μιας συχνότητας αντιπροσωπεύει μία οκτάβα.



440 Hz

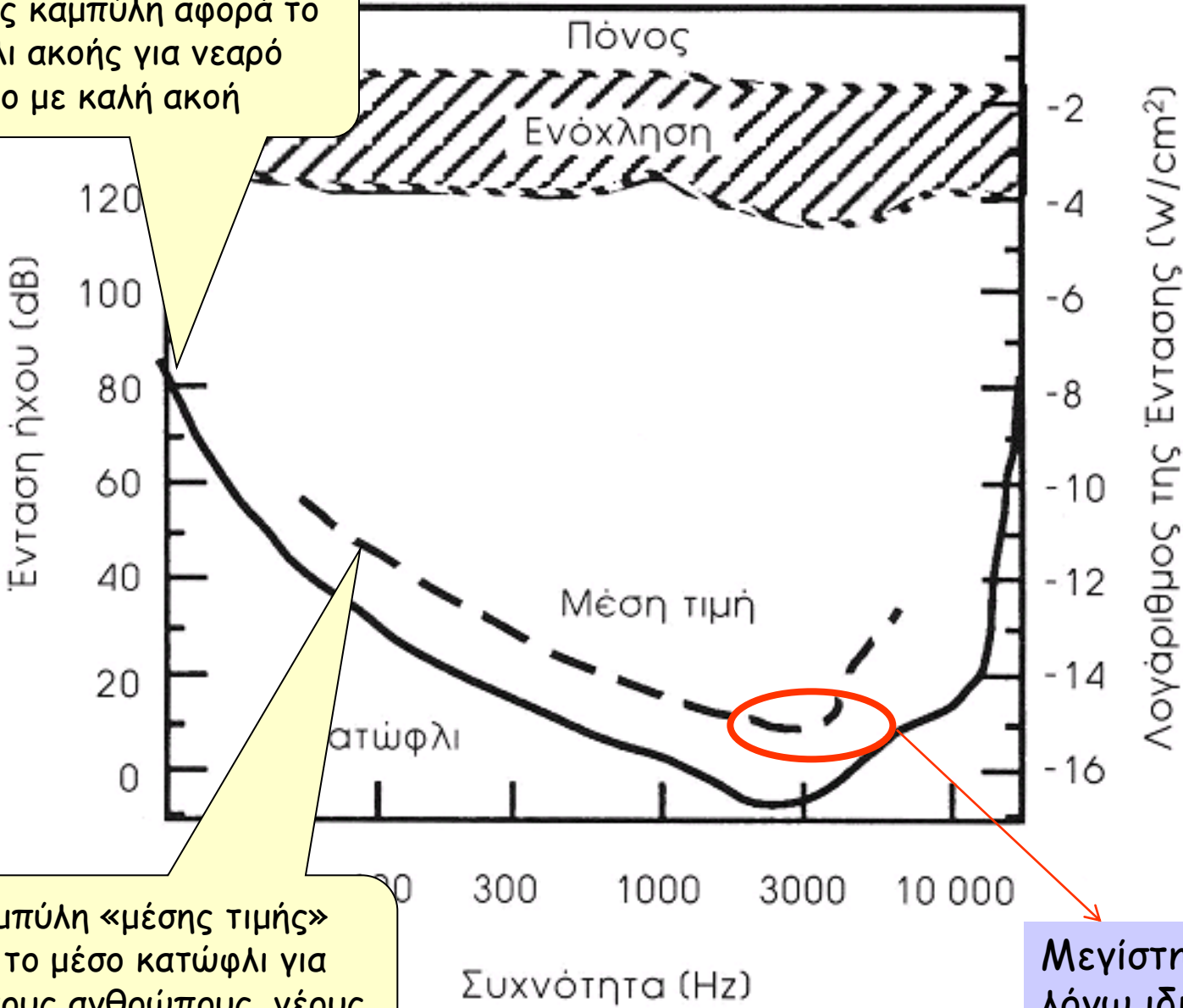


880 Hz



# Η ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΟΥ ΩΤΟΣ

Η συνεχής καμπύλη αφορά το κατώφλι ακοής για νεαρό άτομο με καλή ακοή



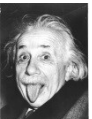
Η καμπύλη «μέσης τιμής» είναι το μέσο κατώφλι για όλους τους ανθρώπους, νέους και ηλικιωμένους

Μεγίστη ευαισθησία λόγω ιδιοσυχνότητας έξω ωτός





ΦΥΣΙΚΗ  
του ΩΤΟΣ και της ΑΚΟΗΣ



Η αίσθηση της ακοής επιτελείται από την συνεργασία 3 συνιστωσών:

1. του **μηχανικού συστήματος** που συλλέγει και μεταδίδει τις ηχητικές πληροφορίες ώστε να διεγερθούν τα τριχωτά κύτταρα στον κοχλία
2. των **αισθητηρίων κυττάρων** που παράγουν τα δυναμικά δράσης καθώς και των **κοχλιακών νεύρων** που μεταδίδουν αυτά τα δυναμικά
3. του **ακουστικού φλοιού** (τμήμα του εγκεφάλου) που αποκωδικοποιεί και μεταφράζει τα σήματα των κοχλιακών νεύρων

**Κώφωση και βαρηκοΐα:** δυσλειτουργία του 1 ή 2 ή 3

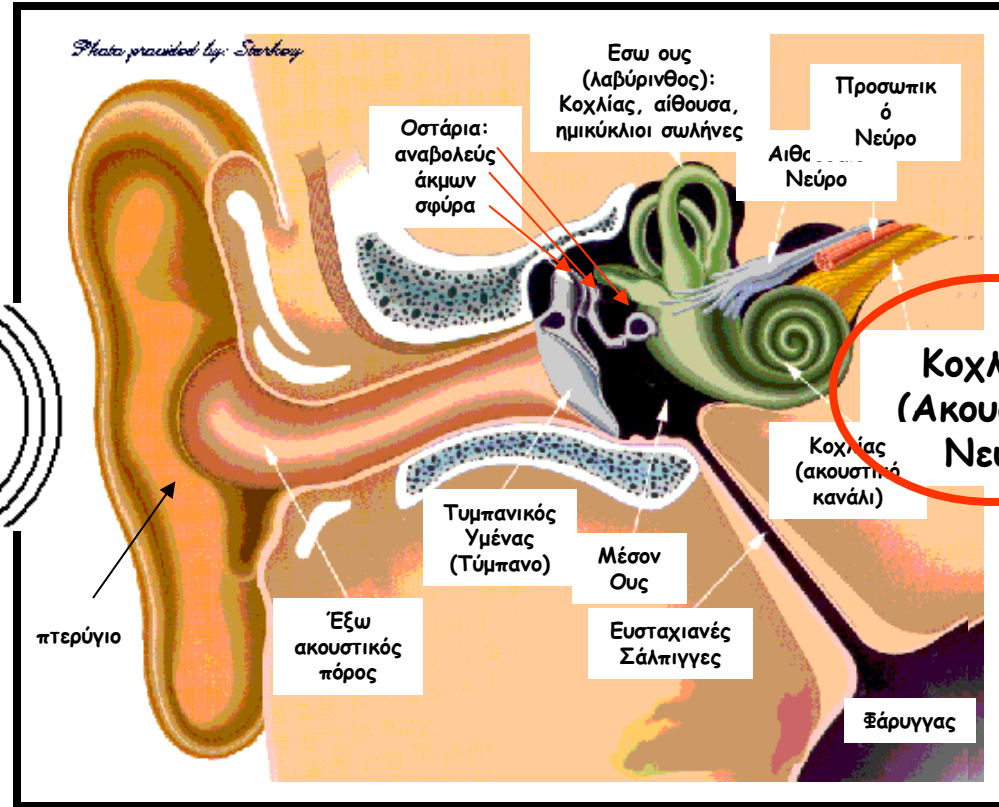
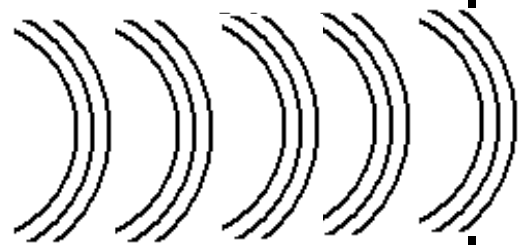
Και τα τρία μέρη περιέχουν φυσική αλλά γνωρίζουμε πολύ περισσότερα για την φυσική του 1 παρά των 2 και 3.

- ✓ 1<sup>η</sup> σύγχρονη θεωρία λειτουργίας του ωτός: **Hermann von Helmholtz** (φυσικός 1821-1894)
- ✓ Κατανόηση φυσικής του ωτός: **Georg Von Bekesey** (μηχανικός 1900-1970 βραβείο Νόμπελ)

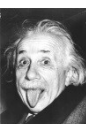
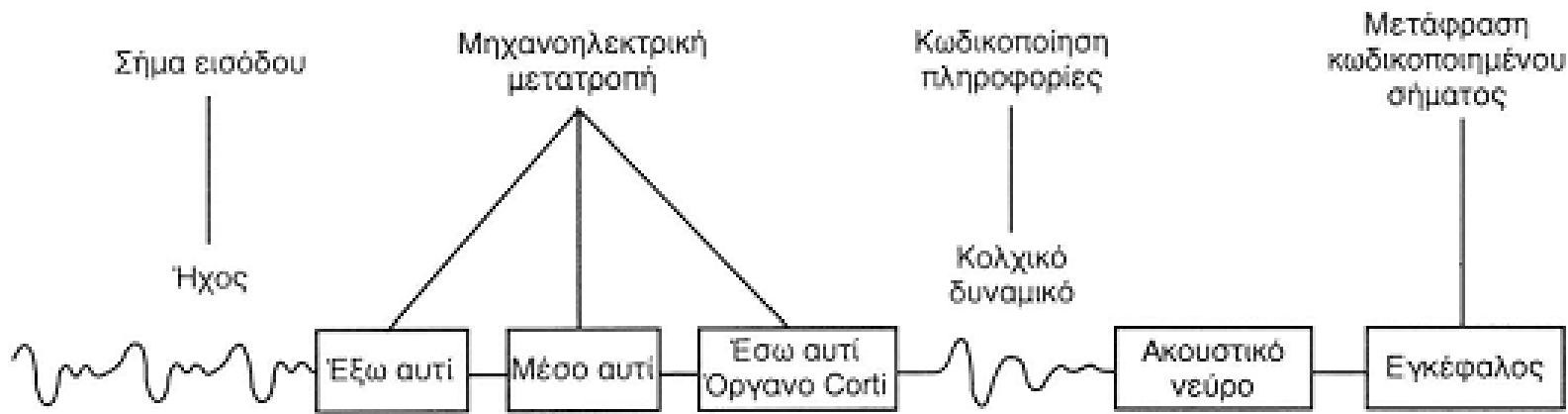


# μετατροπéας

ασθενή μηχανικά  
ηχητικά κύματα  
του αέρα



ηλεκτρικές  
ώσεις



Το ακουστικό όργανο  
μπορεί να διαιρεθεί  
σε τρία μέρη

**ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΟΥΣ**

**ΜΕΣΟΝ ΟΥΣ**

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΟΥΣ**

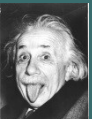
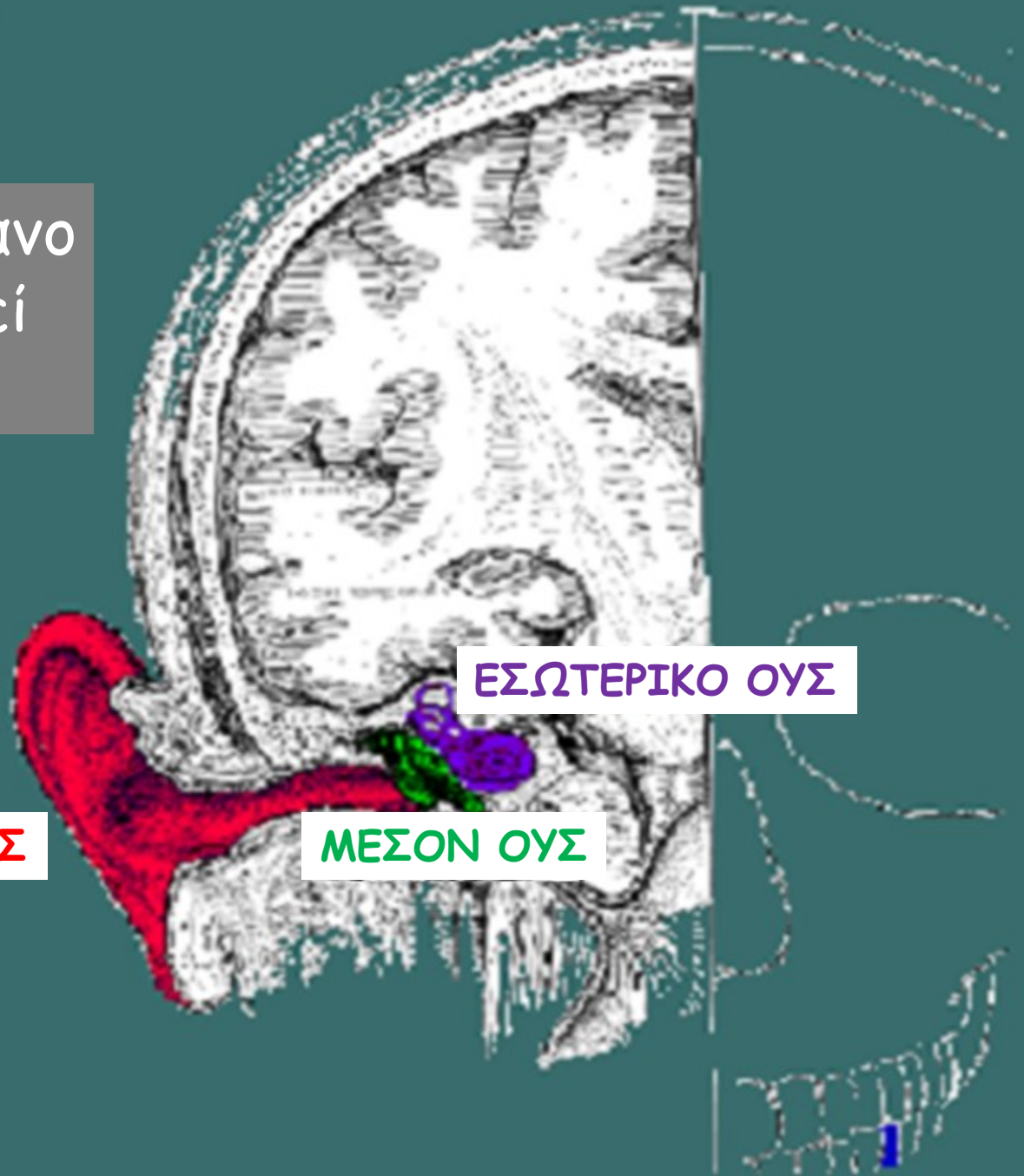


Photo provided by: Starkey

ΕΞΩ ΟΥΣ

ΕΣΩ ΟΥΣ

ΜΕΣΟΝ ΟΥΣ

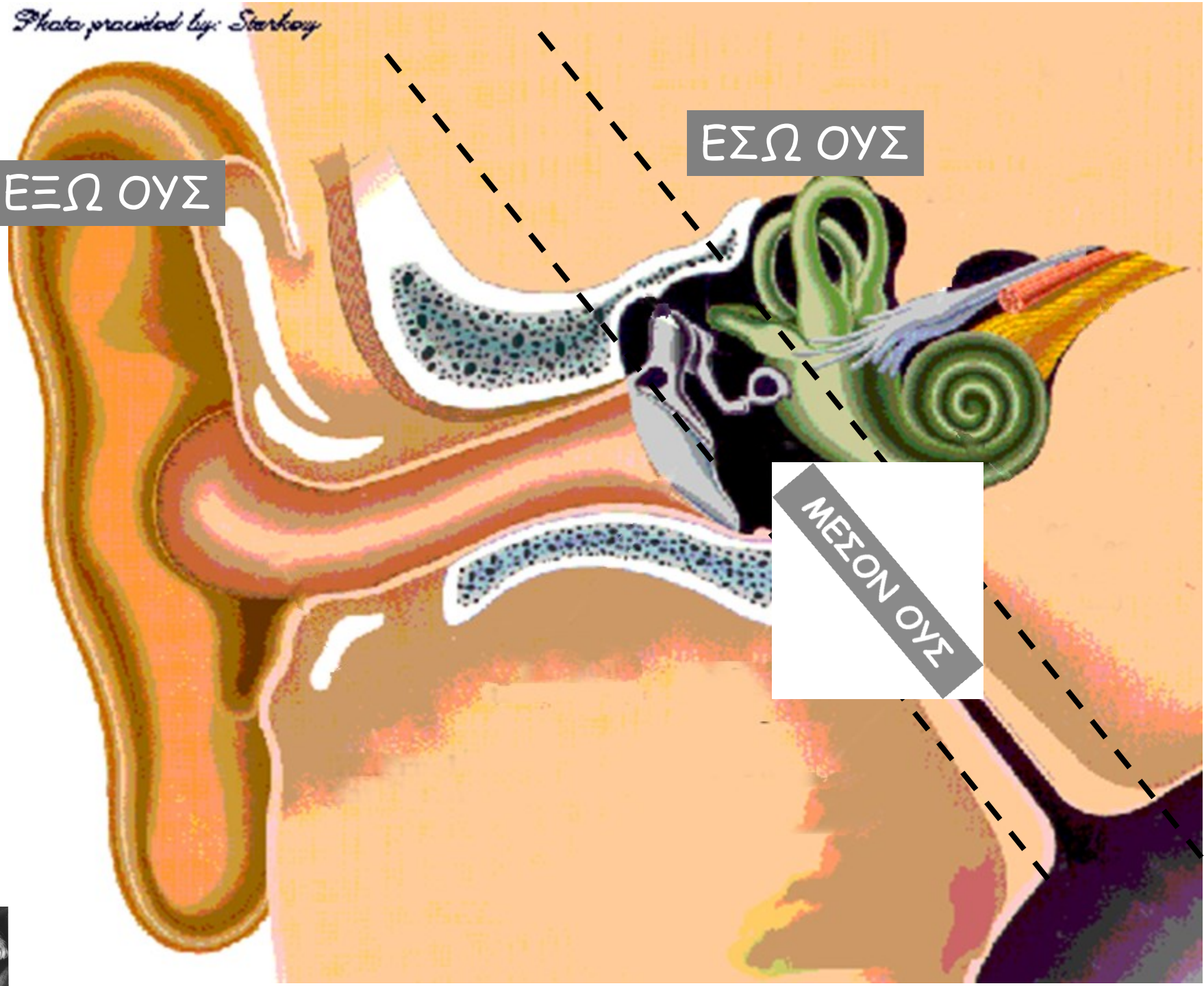
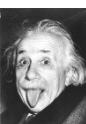


Photo provided by: Starbong

Εσω ους (λαβύρινθος):  
Κοχλίας, αίθουσα,  
ημικύκλιοι σωλήνες

**ΕΣΩ ΟΥΣ**

**ΕΞΩ ΟΥΣ**

Οστάρια:  
αναβολεύς  
άκμων  
σφύρα

Αιθουσαίο Νεύρο  
Προσωπικό Νεύρο

Κοχλιακό  
(Ακουστικό)  
Νεύρο

Τυμπανικός  
Υμένος  
(Τύμπανο)

Έξω  
ακουστικός  
πόρος

**ΜΕΣΩΝ ΟΥΣ**

Κοχλίας  
(ακουστικό  
κανάλι)

**ΕΥΣΤΑΧΙΑΝΕΣ  
ΣΑΛΠΙΓΓΕΣ**

πτερύγιο

Φάρυγ

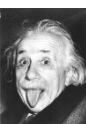




Photo provided by: Starkey

ΕΞΩ ΟΥΣ

ΕΣΩ ΟΥΣ

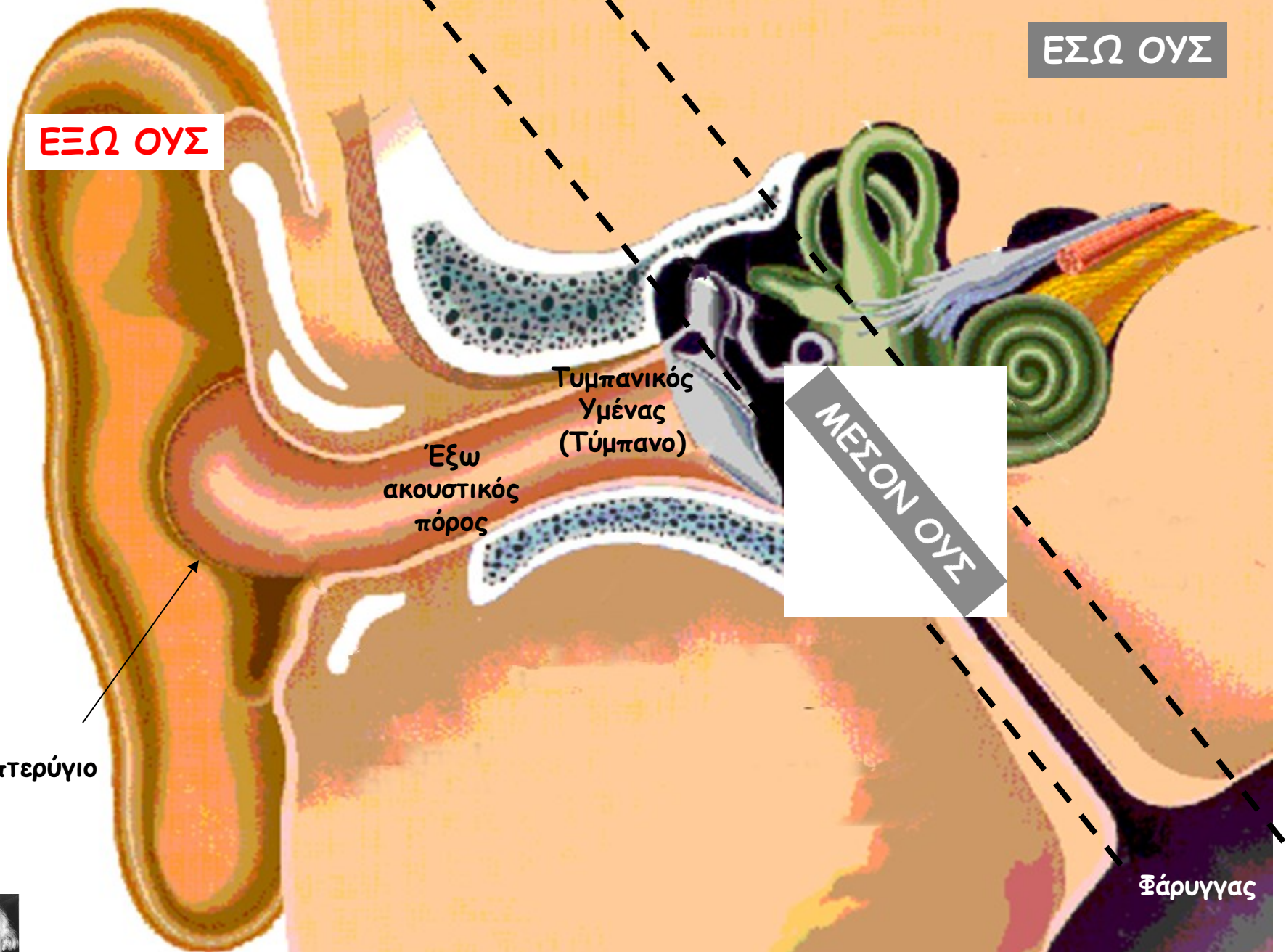
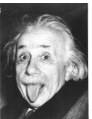
Τυμπανικός  
Υμένας  
(Τύμπανο)

Έξω  
ακουστικός  
πόρος

ΜΕΣΟΝ ΟΥΣ

πτερύγιο

Ψάρυγγας



ΕΞΩ ΟΥΣ

### Πτερύγιο:

- το λιγότερο σημαντικό τμήμα του ακουστικού συστήματος
- συνεισφέρει μόνο ως χοάνη στην αγωγή των ηχητικών κυμάτων στον ακουστικό πόρο
- σε μερικά ζώα παίζει σημαντικό ρόλο στην συλλογή
- μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς παρατηρήσιμη απώλεια της ακοής
- πολλά ζώα (και ο άνθρωπος) διαθέτουν μυς για την κίνηση των πτερυγίων (π.χ. ο ίππος διαθέτει 17 μυς/ους, ο άνθρωπος διαθέτει 9 ατροφικούς μυς/ους)

πτερύγιο

Ξάρυγγας

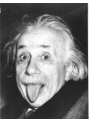


Photo provided by: Starkey

**ΕΞΩ ΟΥΣ**

Τυμπανικός  
Υμένος  
(Τύμπανο)

Έξω  
ακουστικός  
πόρος

**Εξω ακουστικός πόρος**

συντελεί και στην αύξηση της ευαισθησίας του  
ωτός στην περιοχή των 3000 έως 4000 Hz (σαν  
σωλήνας μουσικού οργάνου, κλειστός στο ένα άκρο  
με συχνότητα συντονισμού στα 3300 Hz =>  
βέλτιστη ευαισθησία ωτός).

Φάρυγγας

πτερύγιο

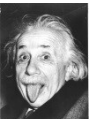


Photo provided by: Starboy

ΕΞΩ ΟΥΣ

πτερύγιο

Έξω  
ακουστικός  
πόρος

Τυμπανικός  
Υμένας  
(Τύμπανο)

**Τύμπανο:**

- πάχος 0.1 mm, εμβαδόν 65 mm<sup>2</sup>
- μεταφέρει τις ταλαντώσεις του αέρα στα οστά του μέσου ωτός
- σε ηχητικές πιέσεις πάνω από 160 dB το τύμπανο μπορεί να υποστεί διάτρηση.

Φάρυγγας

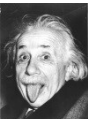


Photo provided by: Starkey

ΕΞΩ ΟΥΣ

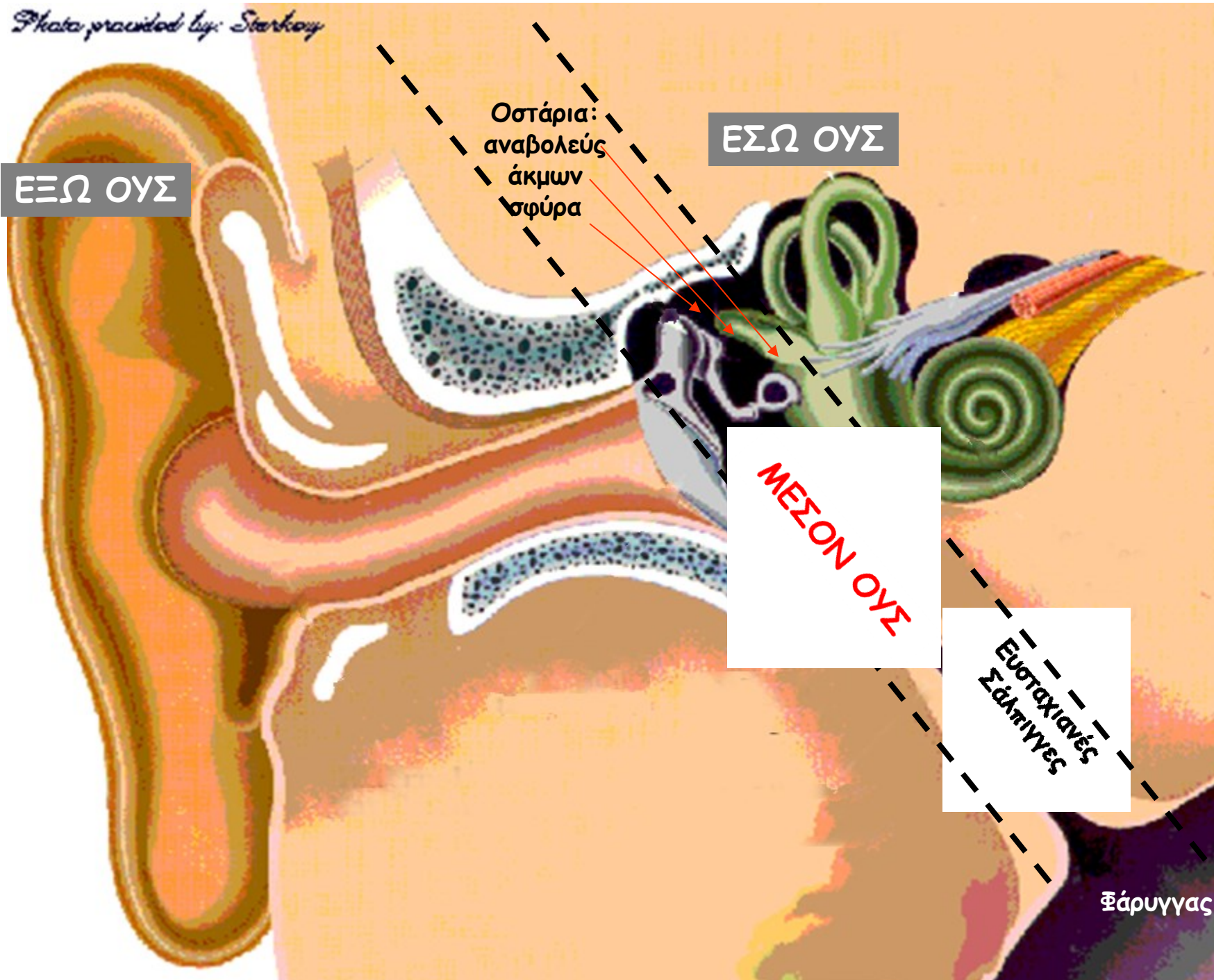
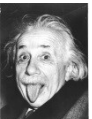
Οστάρια:  
αναβολεύς  
άκμων  
σφύρα

ΕΣΩ ΟΥΣ

ΜΕΣΟΝ ΟΥΣ

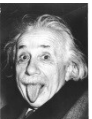
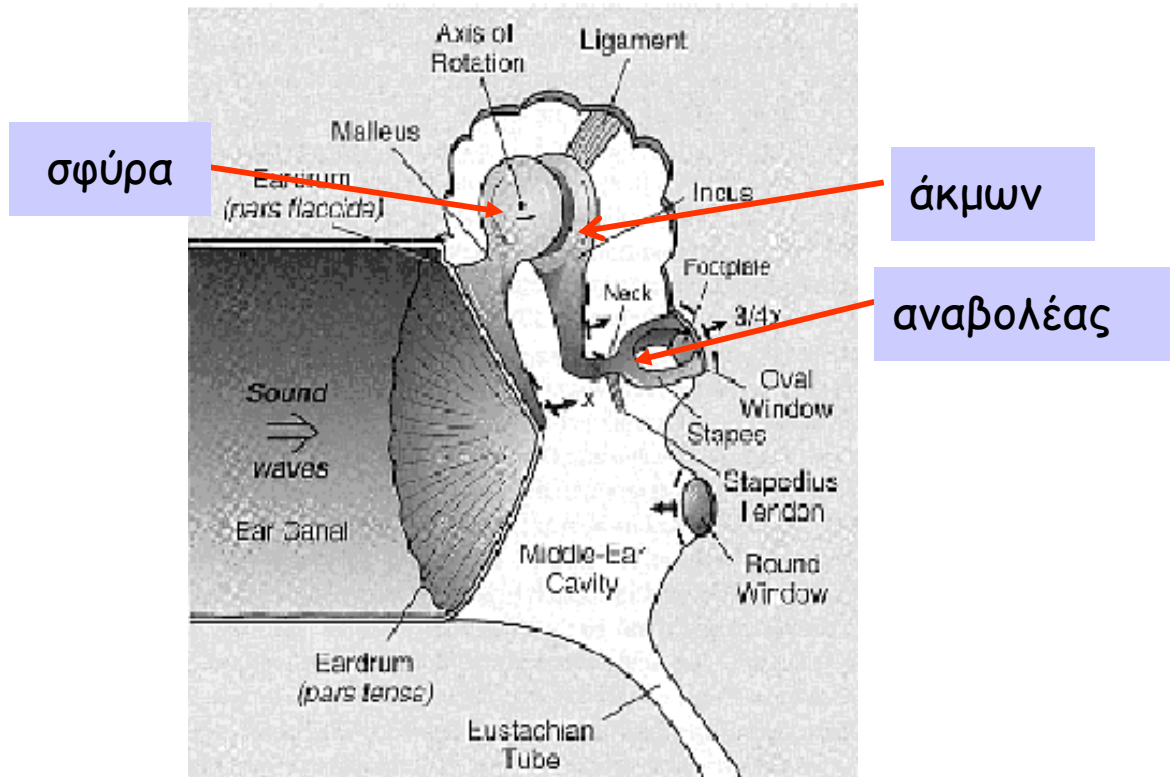
Ευσταχιανές  
Σάλπιγγες

Φάρυγγας

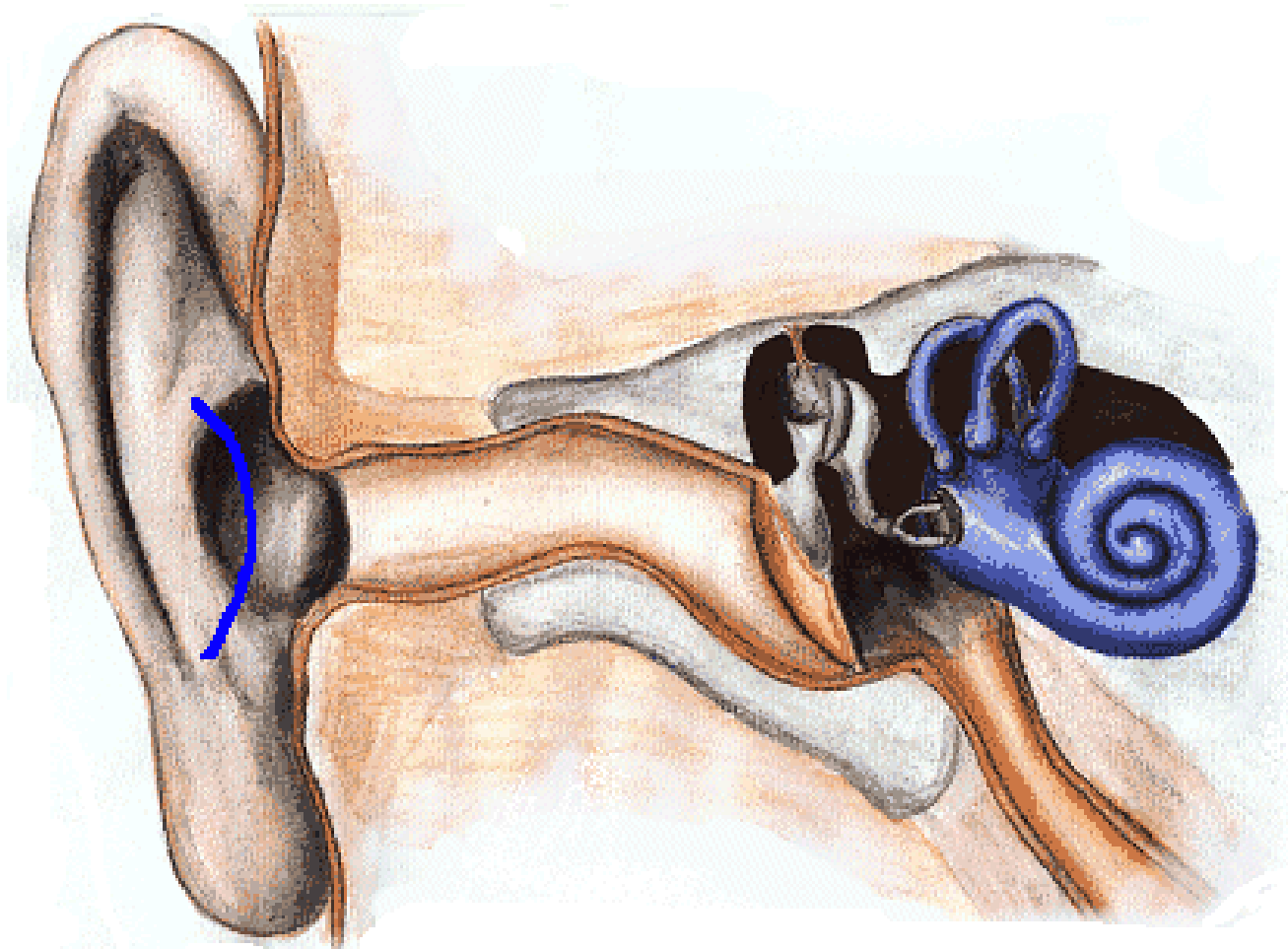


## ΜΕΣΟ ΟΥΣ

- ✓ Κύριο χαρακτηριστικό: τα τρία μικρά οστά (πλήρως ανεπτυγμένα πριν την γέννηση, το έμβρυο ακούει)
- ✓ σημαντικός ρόλος για την εμπέδηση τυμπάνου με την εμπέδηση των γεμάτων υγρό κλιμάκων του κοχλία



## ΜΕΣΟΝ ΟΥΣ



Διάδοση ταλαντώσεων στα οστά του κρανίου ασθενής (ακόμα και για μεγάλες δονήσεις)

### Ενίσχυση ηχητικής πίεσης:

- τα οστάρια δρουν σαν μοχλός
- μεγάλο το εμβαδόν του **τυμπάνου** σε σχέση με το εμβαδόν της **ωοειδούς θύρας** (η  $\Omega \cdot \Theta$  αντιστοιχεί στην αιθουσαία κλίμακα του κοχλία και επ'αυτής εφαρμόζεται η βάση του αναβολέα)

$$\text{Ροπή}(F_m \cdot L_m) = \text{Ροπή}(F_o \cdot L_o)$$

$$\text{αλλά: } F_m = P_m \cdot A_m \text{ και } F_o = P_o \cdot A_o$$

$$\text{και } P_m A_m L_m = P_o A_o L_o$$

$$\Rightarrow (P_o/P_m) = (A_m/A_o)(L_m/L_o)$$

Ενίσχυση δύναμης  $L_m/L_o = 1.3$

Εμβαδόν Τυμπάνου/Εμβαδόν Αναβολέα = 15

Συνολική Ενίσχυση = 20

Το μέσο ους παρέχει ενίσχυση στον λόγο των πιέσεων κατά 26 dB

$$(\text{επίπεδο πίεσης ήχου } L_p = 20 \log_{10}(P_o/P_m) = 20 \log_{10}(20) = 26)$$

Εαν ο ήχος προσέκρουε κατ'ευθείαν στην ωοειδή θυρίδα θα είχε ποσοστό ανάκλασης 99,9%!!!

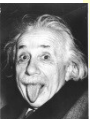
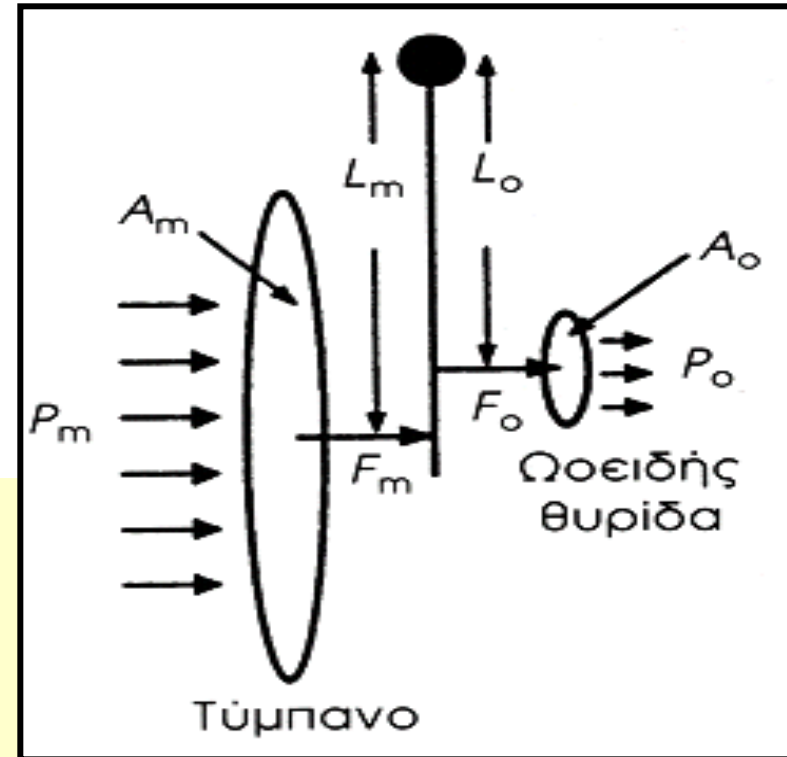
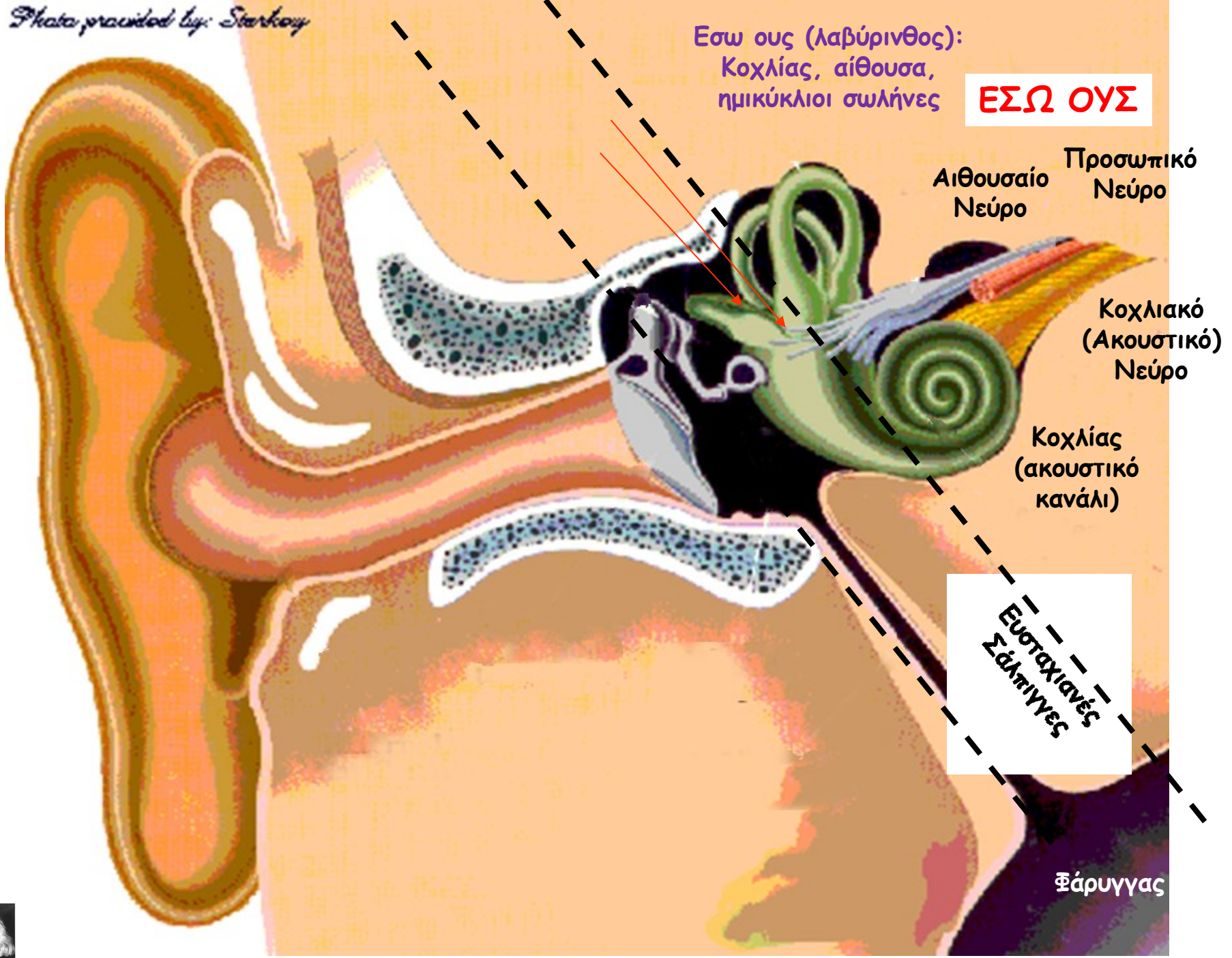




Photo provided by: Starbong



Εσω ους (λαβύρινθος):  
Κοχλίας, αίθουσα,  
ημικύκλιοι σωλήνες

**ΕΣΩ ΟΥΣ**

Αιθουσαίο Νεύρο  
Προσωπικό Νεύρο

Κοχλιακό (Ακουστικό) Νεύρο

Κοχλίας (ακουστικό κανάλι)

Ευσταχιανές Σάλπιγγες

Φάρυγγας

