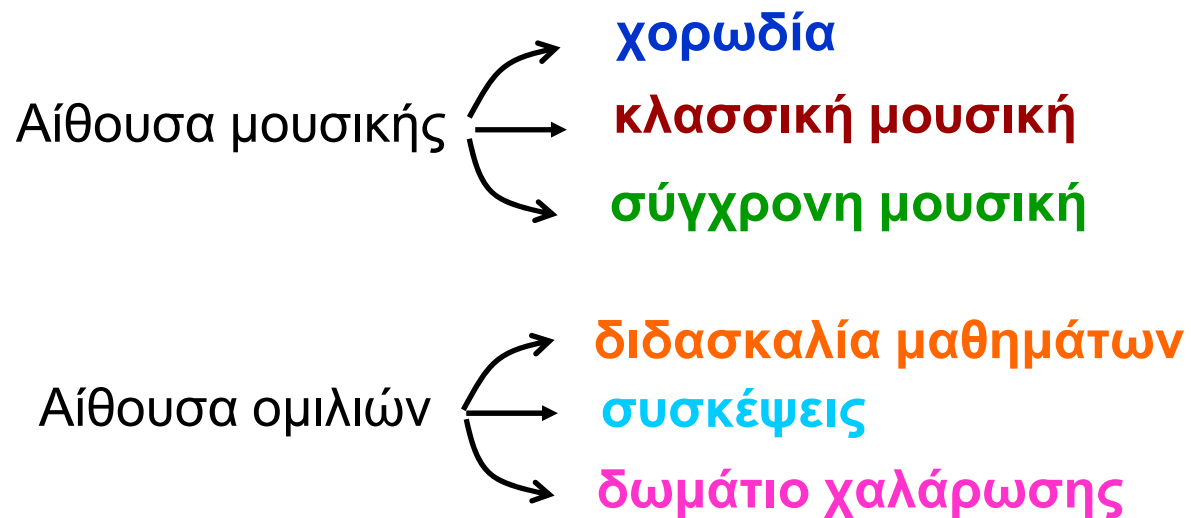


Ακουστική κλειστών χώρων

ακουστικά χαρακτηριστικά μιας αίθουσας

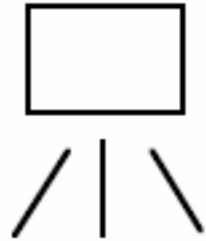
ανάλογα με τη χρήση της



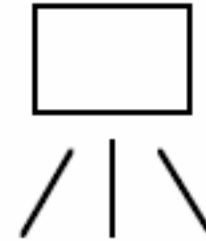
Τι ακούς και πως το ακούς εξαρτάται από το περιβάλλον σου

Είναι αδύνατον να μιλήσουμε για τη συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων που εκπέμπονται από μια πηγή, διαδίδονται στο χώρο και λαμβάνονται από ένα δέκτη χωρίς να λάβουμε υπόψη τον περιβάλλοντα χώρο της πηγής και του δέκτη.

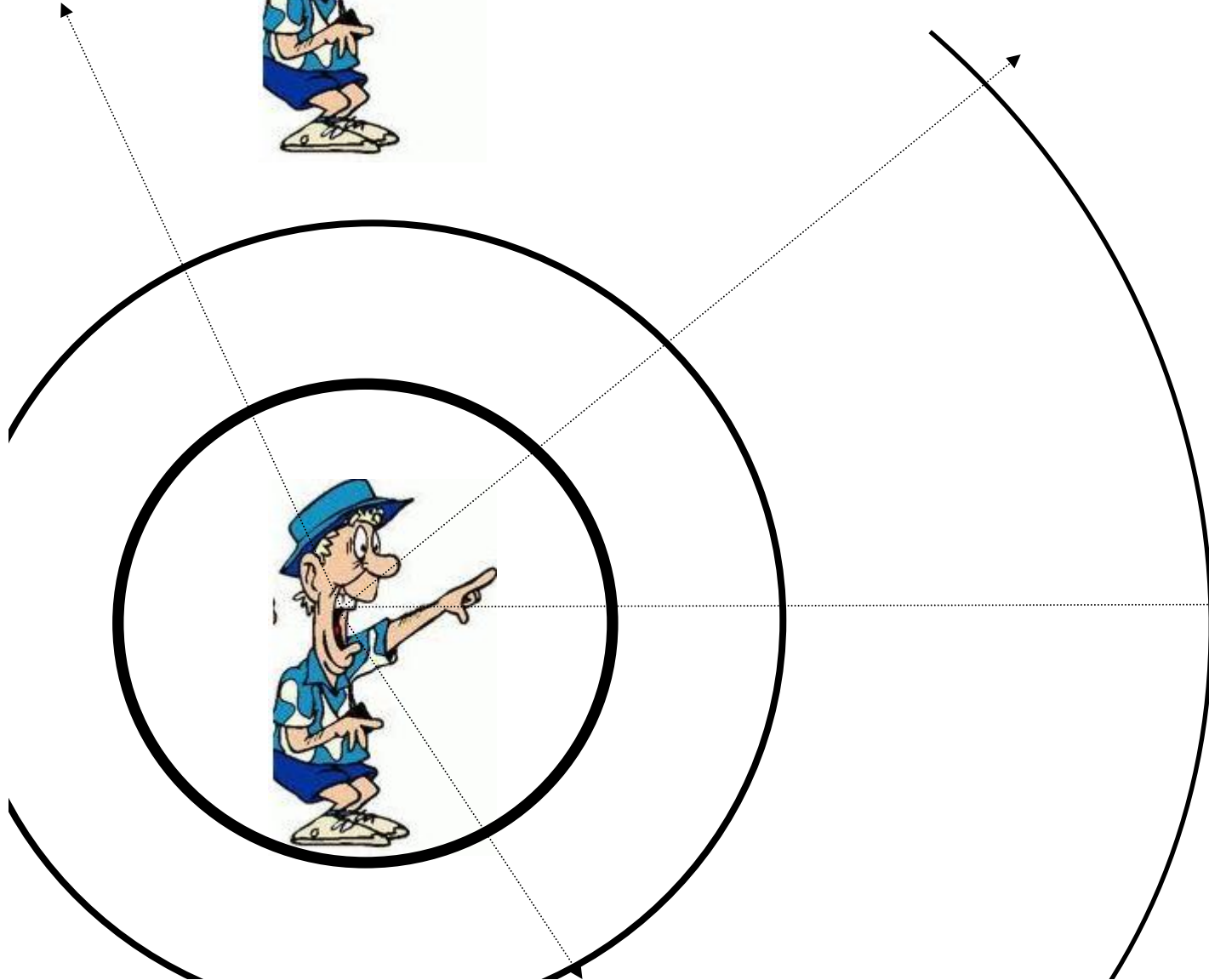
SPEAKER 1



SPEAKER 2



Το μυαλό χρησιμοποιεί τον απευθείας ήχο για να προσδιορίσει την ηχητική πηγή και την διεύθυνση στην οποία βρίσκεται και τον ανακλώμενο ήχο που φτάνει λίγο αργότερα για να πάρει πληροφορίες για το μέγεθος και τη γεωμετρία του δωματίου.

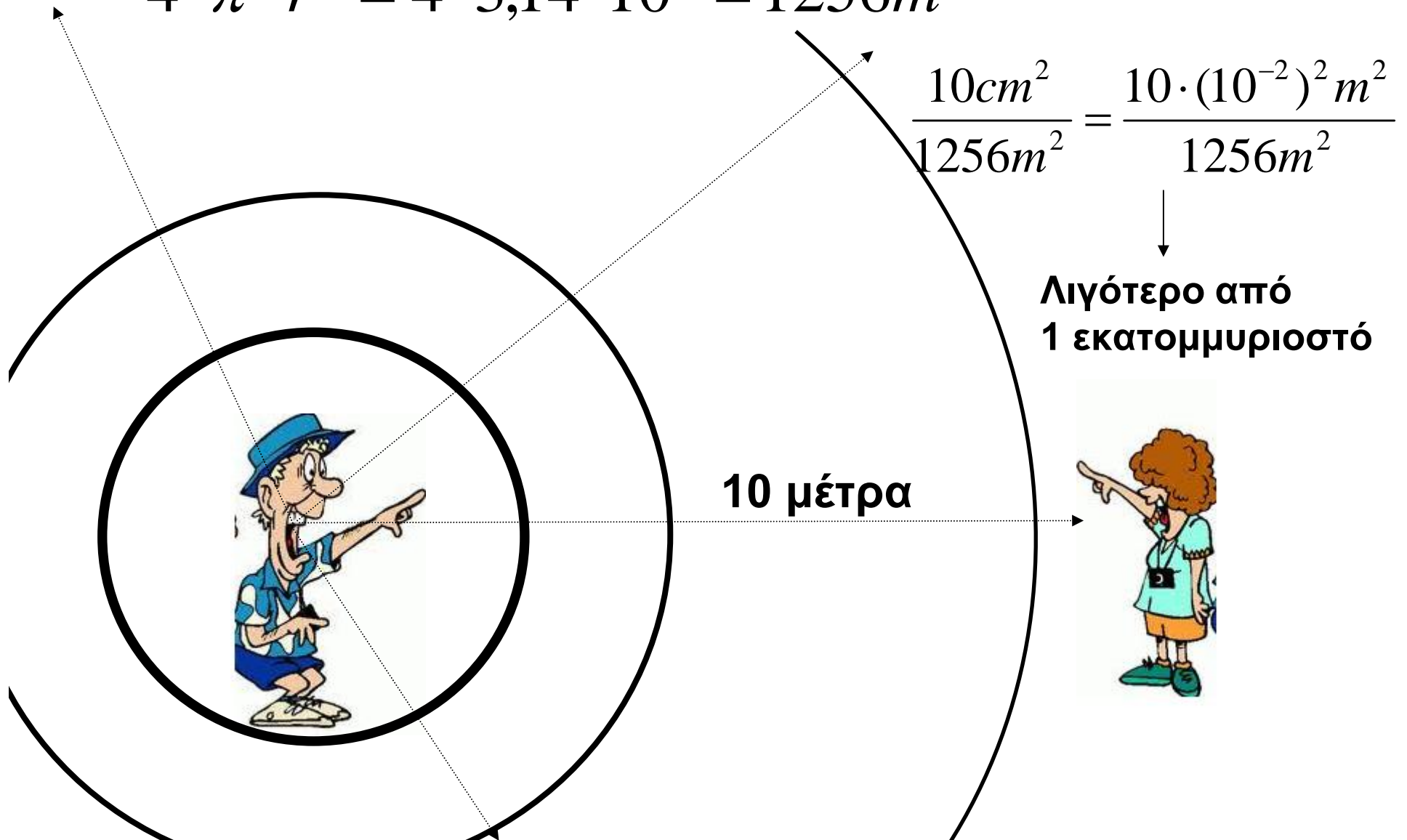


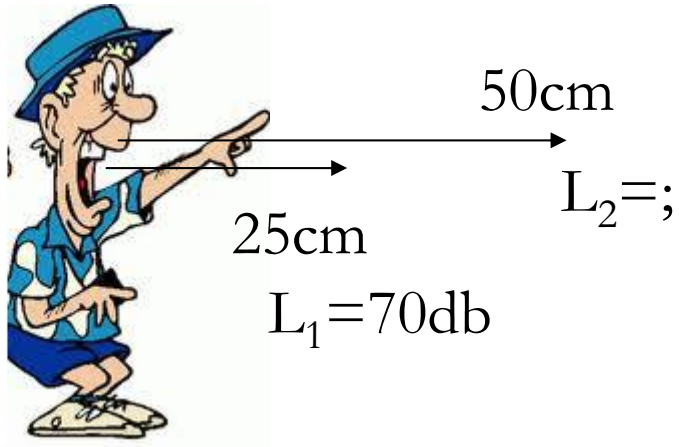
Αν το εμβαδόν του αυτιού της γυναίκας είναι 10cm^2 ποιο ποσοστό της συνολικής ηχητικής ενέργειας που εκπέμπει ο άντρας λαμβάνει η γυναίκα;

$$4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 1256\text{m}^2$$

$$\frac{10\text{cm}^2}{1256\text{m}^2} = \frac{10 \cdot (10^{-2})^2 \text{m}^2}{1256\text{m}^2}$$

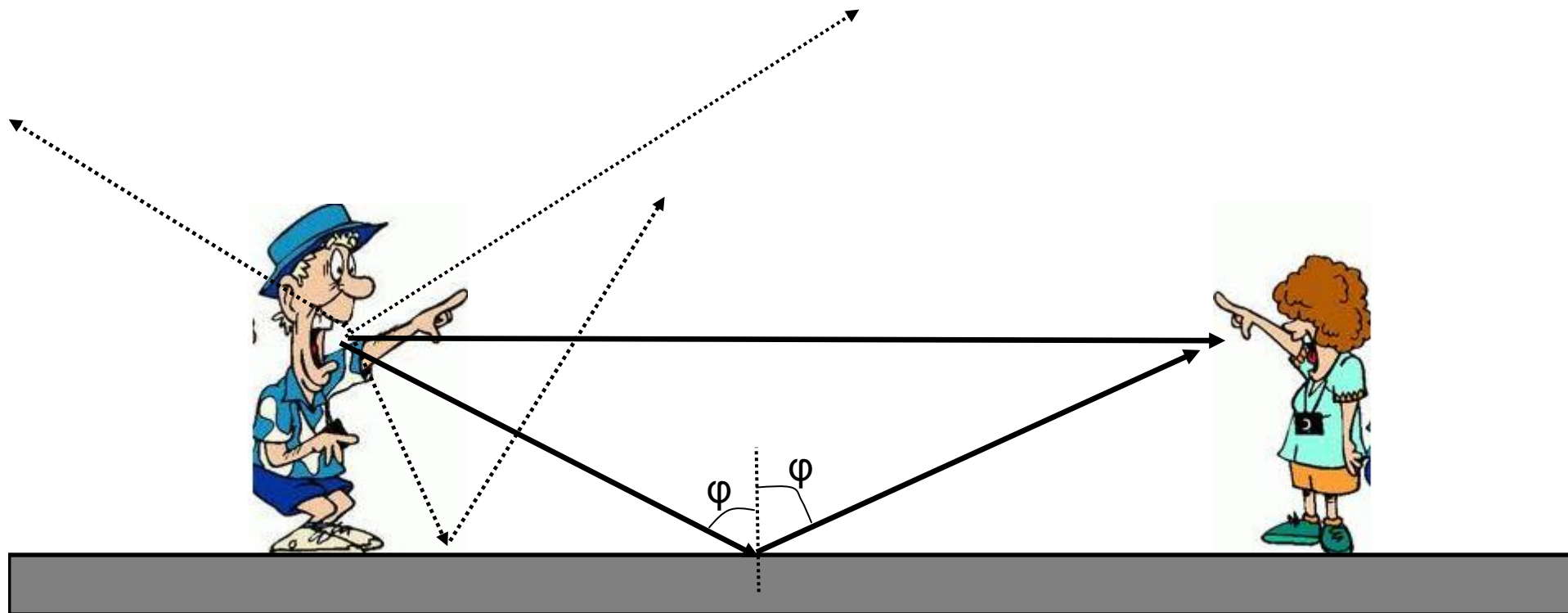
↓
**Λιγότερο από
1 εκατομμυριοστό**



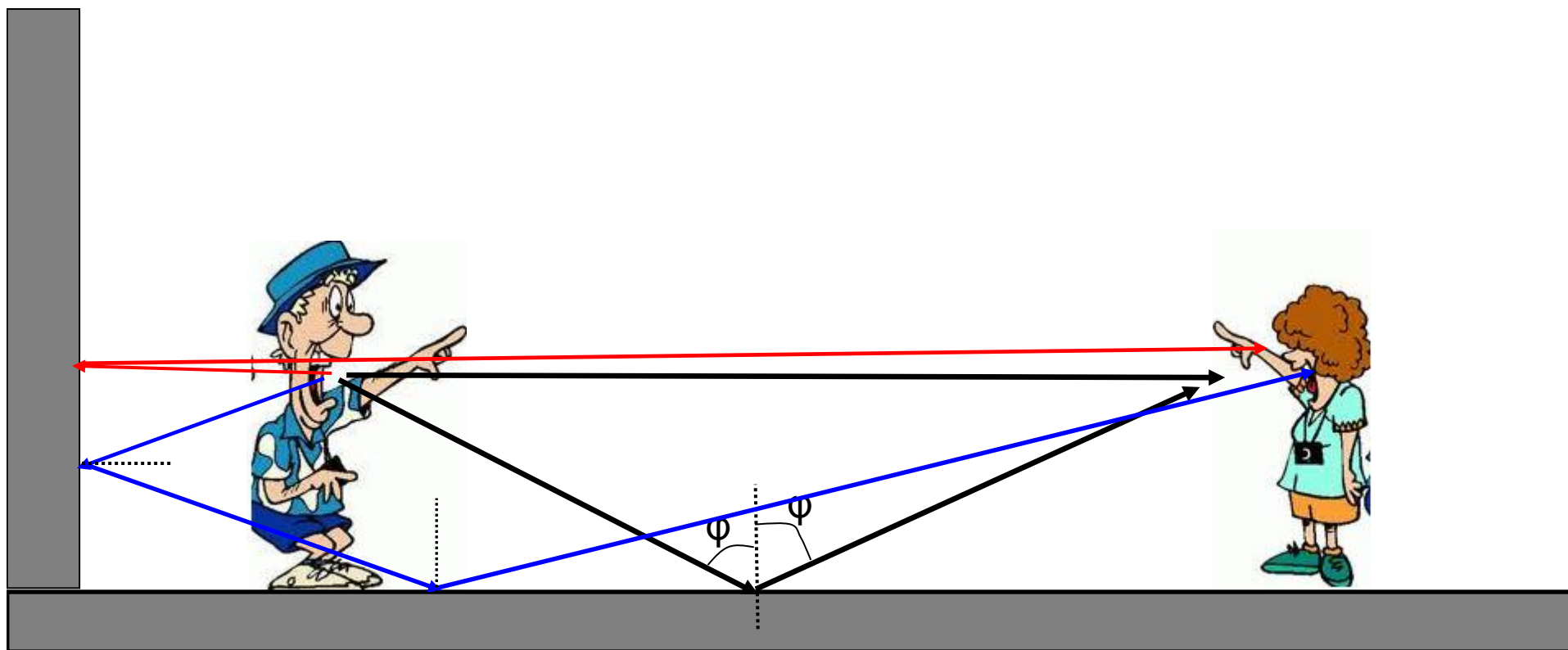


25cm ---- 50cm ----- 1m ----- 2m ----- 4m ----- 8m -----

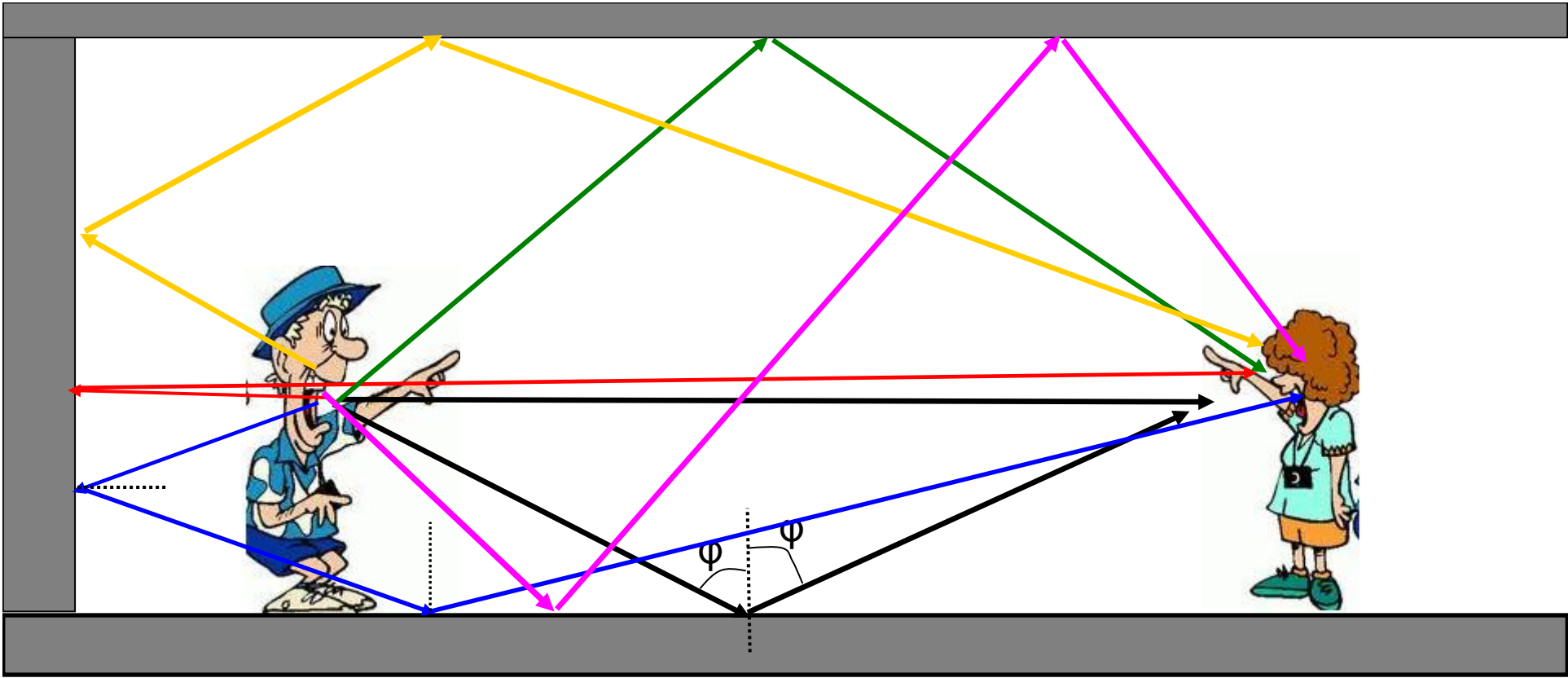
70db ---- 64db ----- 58db ----- 52db ---- 46db ----- 40db ----

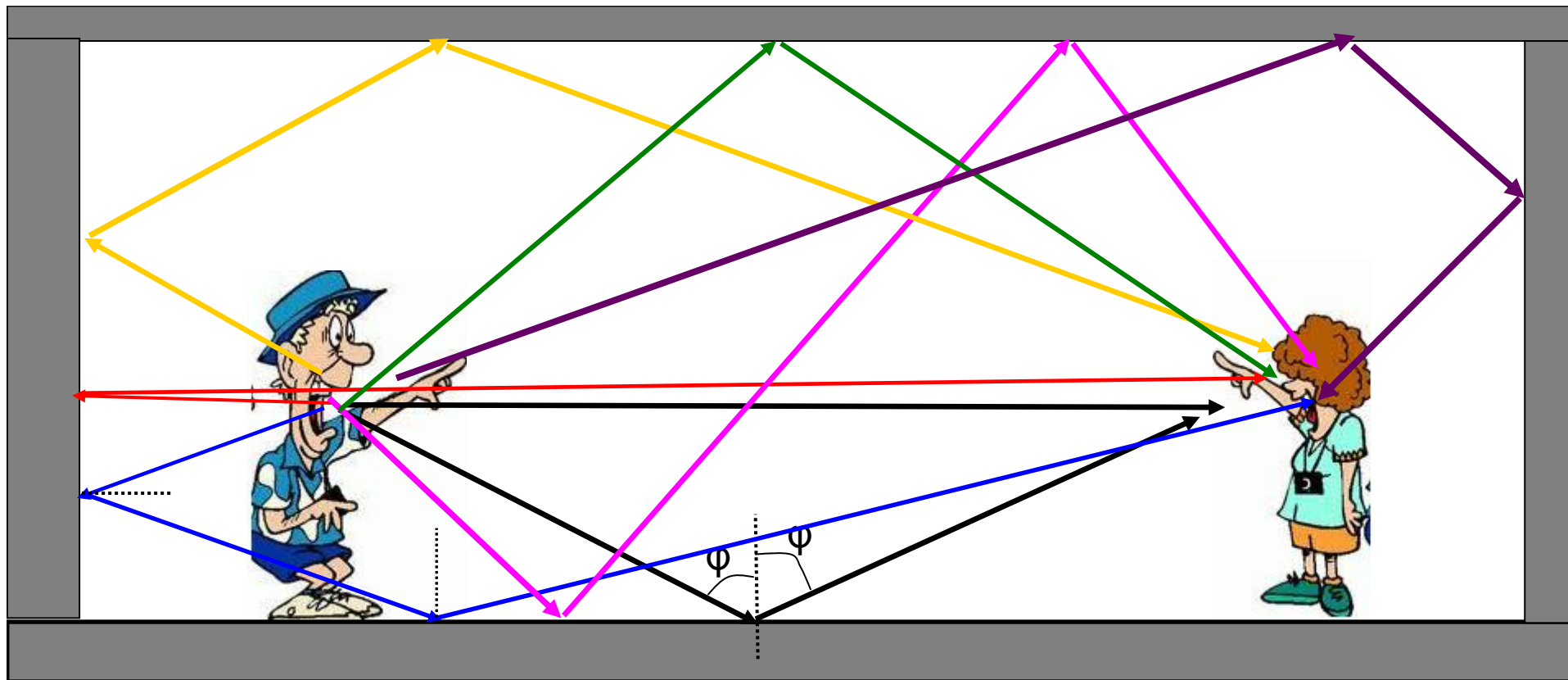


Η ακροάτρια λαμβάνει ηχητικά κύματα όχι μόνο απευθείας από τον άνδρα αριστερά, αλλά και ανακλώμενα από το έδαφος.



Με την προσθήκη του τοίχου πίσω από τον άνδρα υπάρχουν τώρα τέσσερα μονοπάτια που οδηγούν ηχητικά κύματα στην ακροάτρια.





Αν οι τοίχοι ήταν πλήρως ανακλαστικοί θα καταφέραμε να αυξήσουμε την απόδοση της μεταφοράς ηχητικής ενέργειας εντυπωσιακά.

Στην περίπτωση αυτή αν δημιουργούσαμε ένα ήχο δε θα έσβηνε ποτέ!!!!

Όμως ενέργεια χάνεται κατά τις ανακλάσεις:

- Ο ήχος ανακλάται πολλές φορές, κάθε φορά χάνοντας ενέργεια λόγω απορρόφησης στην ανακλώμενη επιφάνεια.
- Αν α είναι ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας (θεωρούμε $t=0$), η ένταση του ήχου που χάνεται κατά την ανάκλαση είναι:

$$I_{\text{απορ}} = \alpha I_{\text{in}}$$

- Η ένταση του ανακλώμενου κύματος είναι

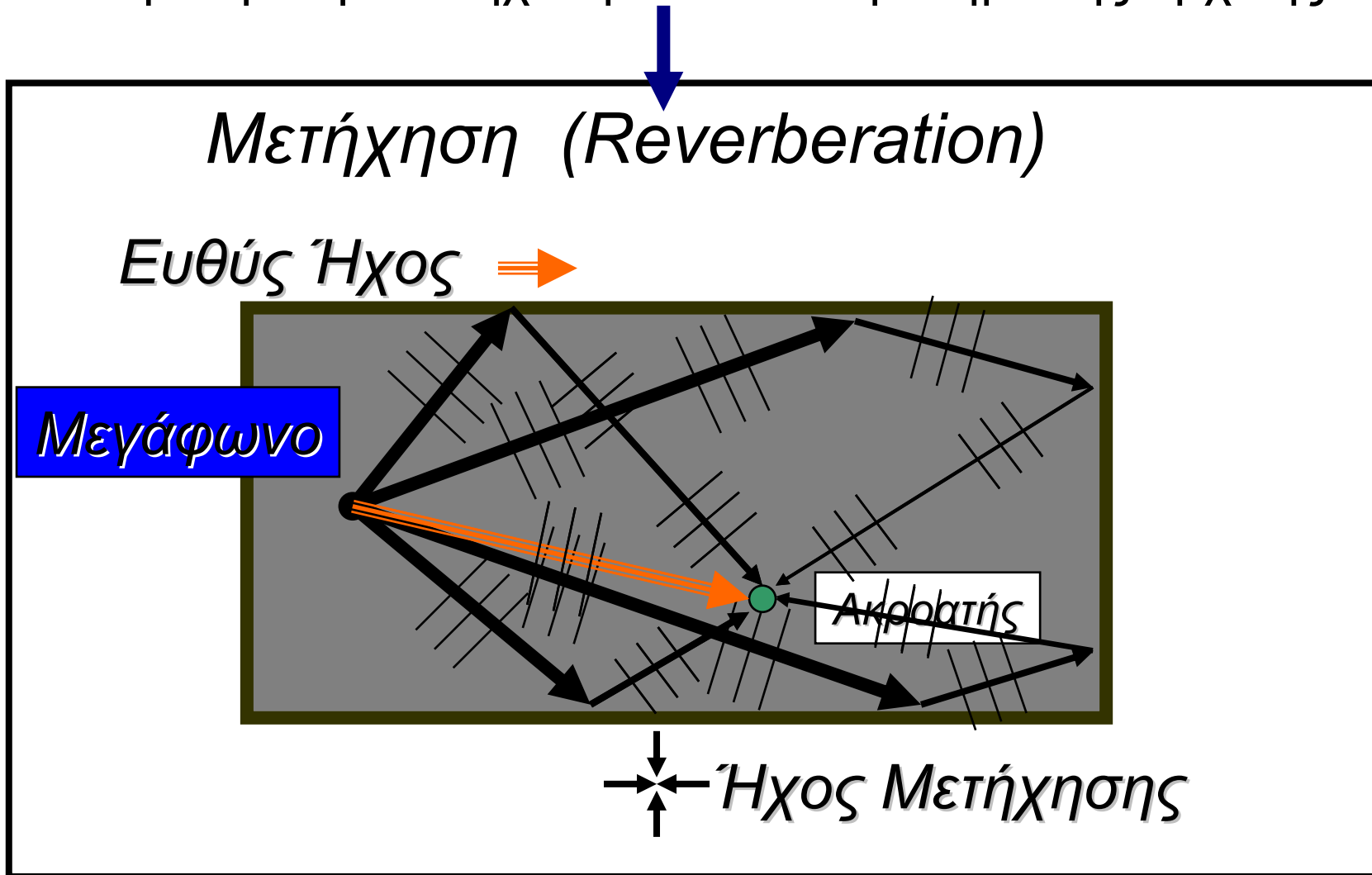
$$I_{\text{ανακλ}} = (1-\alpha) I_{\text{in}}$$



Μετά από N ανακλάσεις η ένταση του κύματος γίνεται $(1-\alpha)^N I_0$.

Τελικό αποτέλεσμα

Παρατεταμένη διάρκεια ήχου μετά το σταμάτημα της αρχικής πηγής



Ένταση του ήχου



Χρόνος

ακουστότητα

εναντίον

ευκρίνειας

Συντελεστής ευκρίνειας ενός χώρου ορίζουμε το ποσοστό των μονοσύλλαβων λέξεων που γίνονται αντιληπτές. Για να είναι αποδεκτός πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 80%.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά από πλευράς ακουστικής μιας αίθουσας είναι πόσο γρήγορα σβήνει ένας ήχος.

Wallace Sabine

(Καθηγητής Harvard 1868-1919)

*Έθεσε το ερώτημα: “πόσος χρόνος
χρειάζεται για να μειωθεί η ένταση
του ήχου στο 1 εκατομμυριοστό
(-60 dB) της αρχικής του τιμής;”*



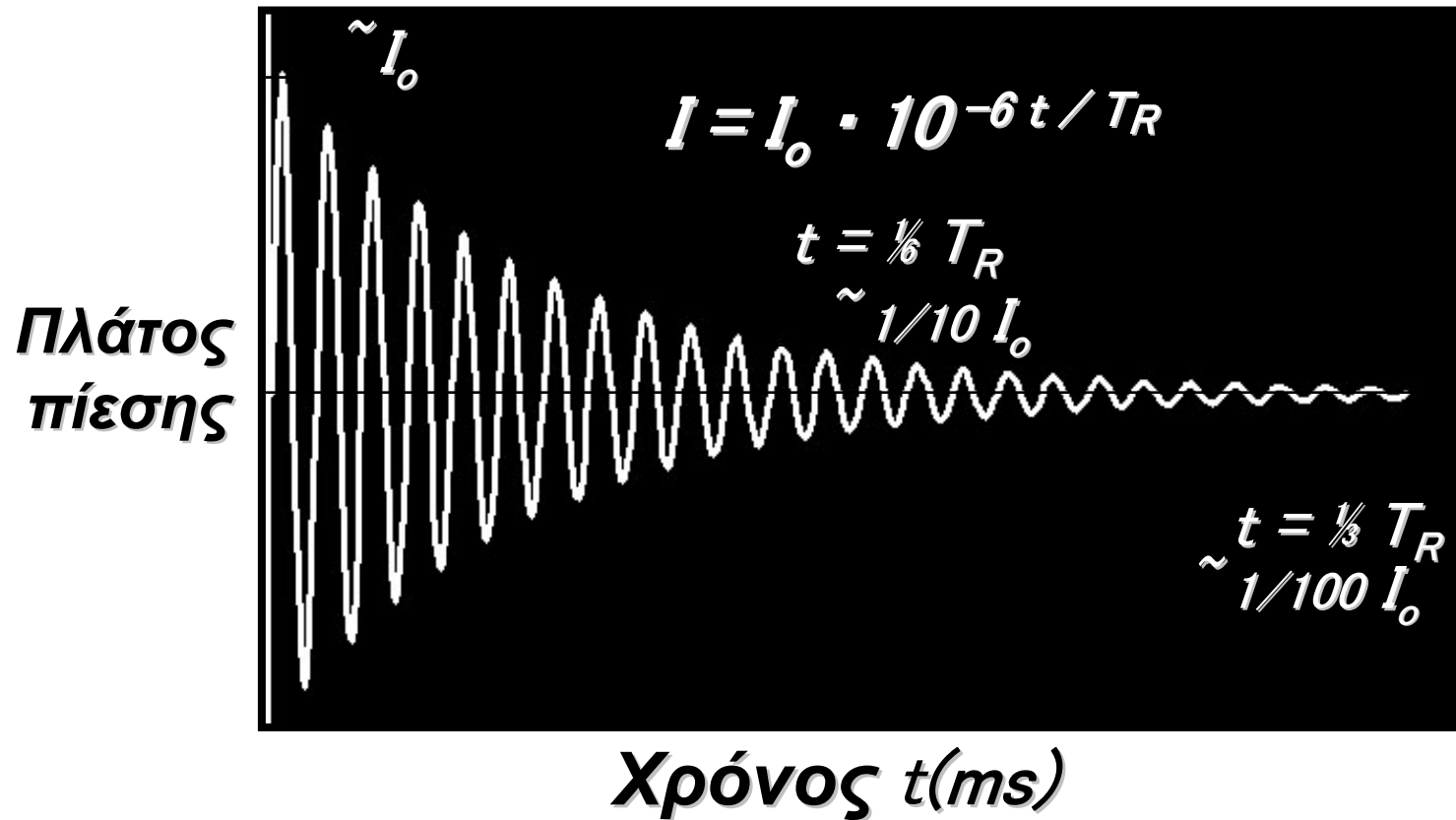
**Wallace
Sabine**

Ο χρόνος μετήχησης τ_R , είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μειωθεί η ένταση του ήχου κατά ένα παράγοντα 10^{-6} (- 60dB) της αρχικής τιμής του.



Boston Symphony Hall

Ένταση ήχου σε δωμάτιο:



Η εξίσωση του Sabine :

$$I = I_0 \cdot 10^{-6} (t/T_R)$$

$$T_R = 0.161 V/A$$

- V είναι ο όγκος του δωματίου.
- A είναι η συνολική απορροφητικότητα του χώρου δηλαδή

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \alpha_4 S_4 + \dots$$

Όπου α ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας και S το εμβαδόν της επιφάνειας

$$\tau_R = 0,161 \frac{V}{A} \text{ sec}$$

σε m³

σε m²

$$\tau_R = 0,05 \frac{V}{A} \text{ sec}$$

σε ft³

σε ft² (sabins)

Μία από τις σημαντικότερες (ακουστικά) ιδιότητες μιας αίθουσας είναι ο χρόνος μετήχησης

Ισχύει για αίθουσες με διαστάσεις μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος του ήχου

Εξαρτάται:

- 1) Από τις διαστάσεις της αίθουσας**
- 2) Από τον τρόπο και το πόσο απορροφούν οι διάφορες επιφάνειες**

Αν έχουμε πολύ μεγάλη αίθουσα η απορρόφηση του αέρα είναι σημαντική ο χρόνος μετήχησης δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_R = 0,161 \frac{V}{A + 4mV} (SI)$$

Όπου:

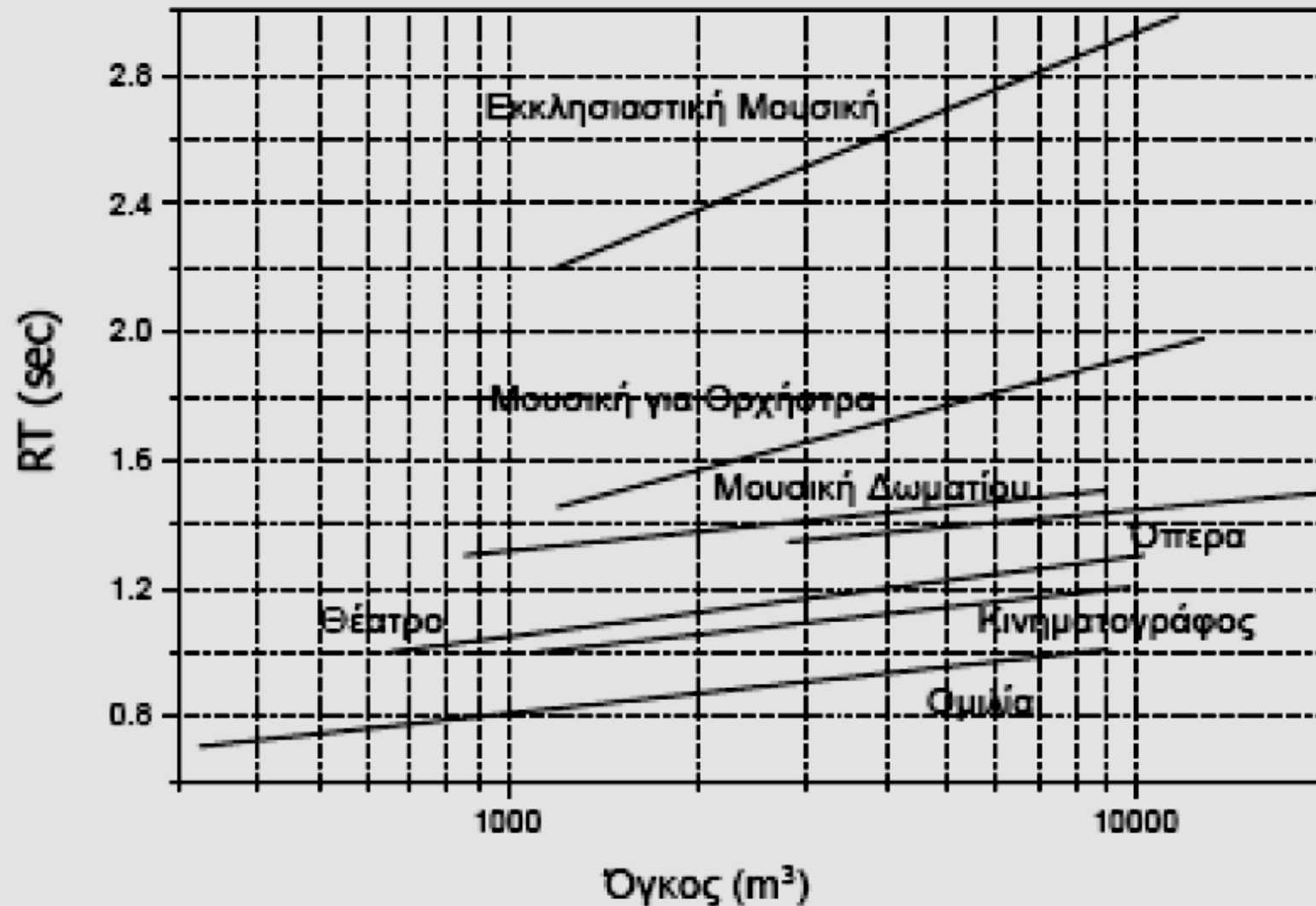
V: Όγκος του δωματίου

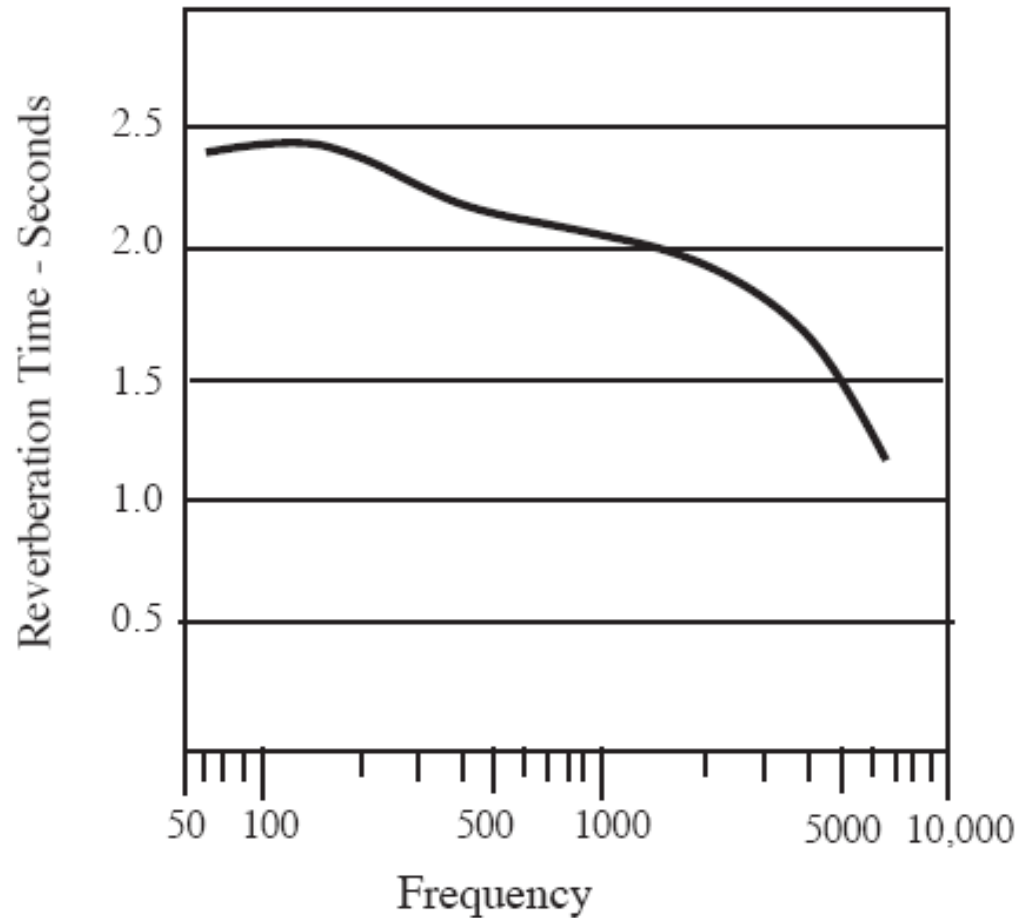
A: Συνολική απορροφητική ικανότητα χώρου

m: Συντελεστής εξασθένησης ο οποίος εξαρτάται από:
Τη σχετική υγρασία του χώρου
Τη θερμοκρασία

π.χ. για 20°C και 70% υγρασία $m=0,021$
30% υγρασία $m=0,038$

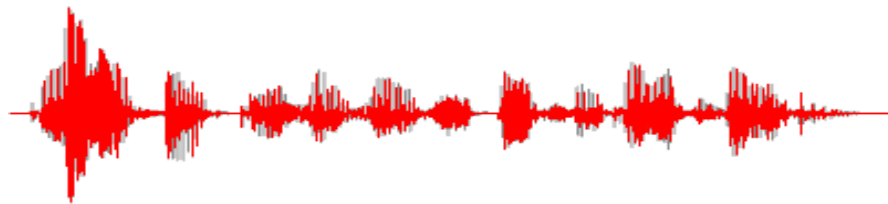
Ποιες οι αποδεκτές τιμές του χρόνου μετήχησης;



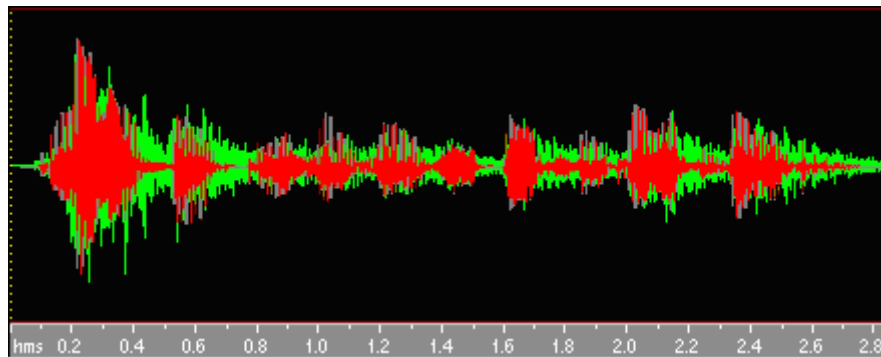


Μεταβολή χρόνου μετήχησης με τη συχνότητα για μια αίθουσα μουσικής στη Γερμανία (Musikvereinssaal)
Είναι σημαντικό να έχουμε αυξημένο χρόνο μετήχησης στις χαμηλές συχνότητες.

«Many factors influence speech intelligibility»

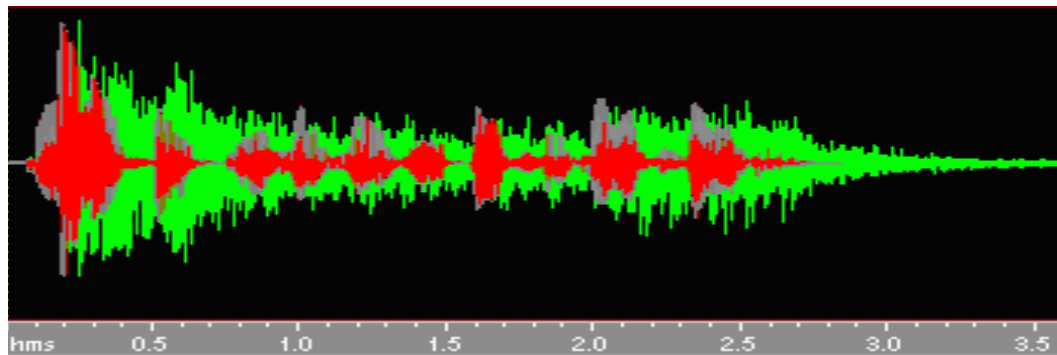


Κυματομορφή της φράσης



Ίδια κυματομορφή (κόκκινη γραμμή) και κυματομορφή μετήχησης που παράγεται σε αίθουσα με χρόνο μετήχησης 0,8 sec (πράσινη γραμμή)

RT=0.8sec

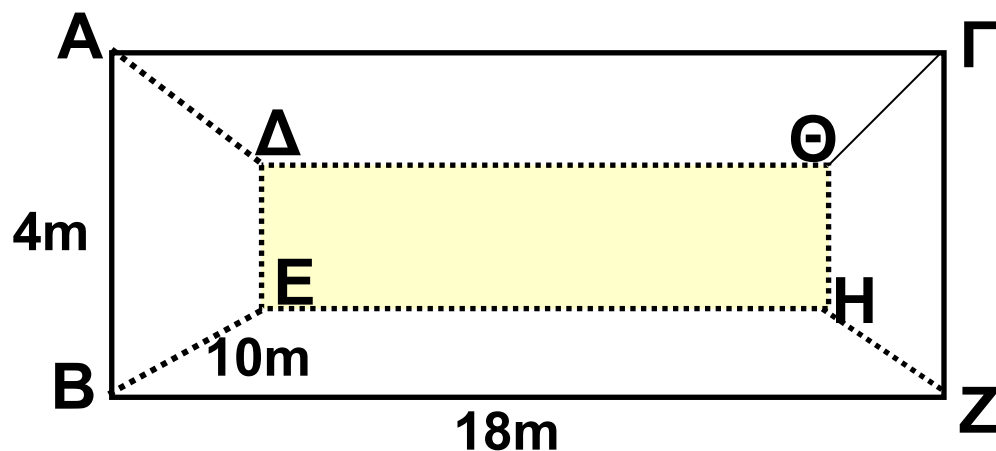


Ίδια κυματομορφή (κόκκινη γραμμή) και κυματομορφή μετήχησης που παράγεται σε αίθουσα με χρόνο μετήχησης 2 sec (πράσινη γραμμή)

RT=2 sec

Όσο μεγαλώνει ο χρόνος μετήχησης χάνεται η ευκρίνεια στην αίθουσα

Ορθογώνια αίθουσα έχει διαστάσεις 10 x 18 x 4 m. Οι τοίχοι είναι καλυμμένοι με τσιμέντο που έχει συντελεστή απορρόφησης $\alpha_1=0,04$. Να υπολογιστεί ο χρόνος μετήχησης.



$$\tau_R = 0,161 \frac{V}{A} \text{ sec}$$

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \alpha_4 S_4 + \dots$$

Τοίχος ΑΒΔΕ: $\alpha_{\tau_1} = (10 \times 4) 0,04 = 1,6 \text{ m}^2$

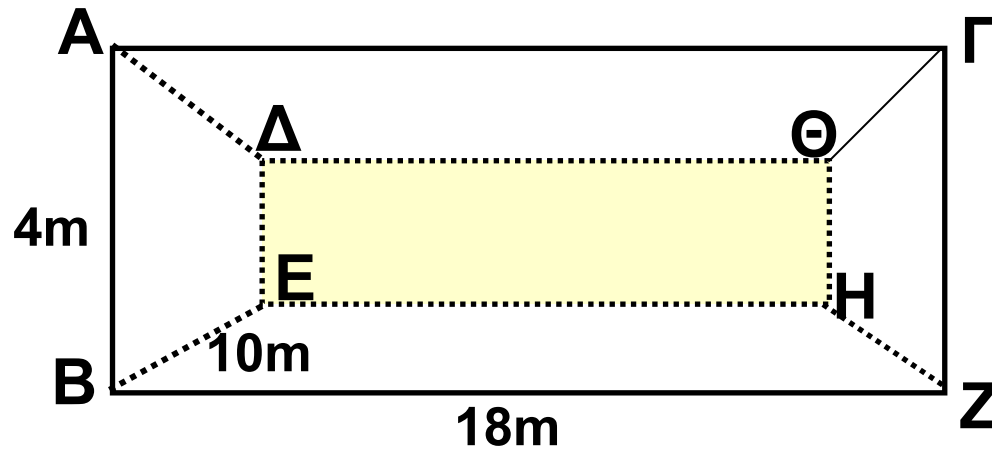
Τοίχος ΗΘΓΖ: $\alpha_{\tau_2} = (10 \times 4) 0,04 = 1,6 \text{ m}^2$

Τοίχος ΕΔΘΗ: $\alpha_{\tau_3} = (18 \times 4) 0,04 = 2,88 \text{ m}^2$

Τοίχος ΑΒΖΓ: $\alpha_{\tau_4} = (18 \times 4) 0,04 = 2,88 \text{ m}^2$

Οροφή ΑΔΘΓ: $\alpha_{\tau_5} = (10 \times 18) 0,04 = 7,2 \text{ m}^2$

Πάτωμα ΒΕΗΖ: $\alpha_{\tau_6} = (10 \times 18) 0,04 = 7,2 \text{ m}^2$



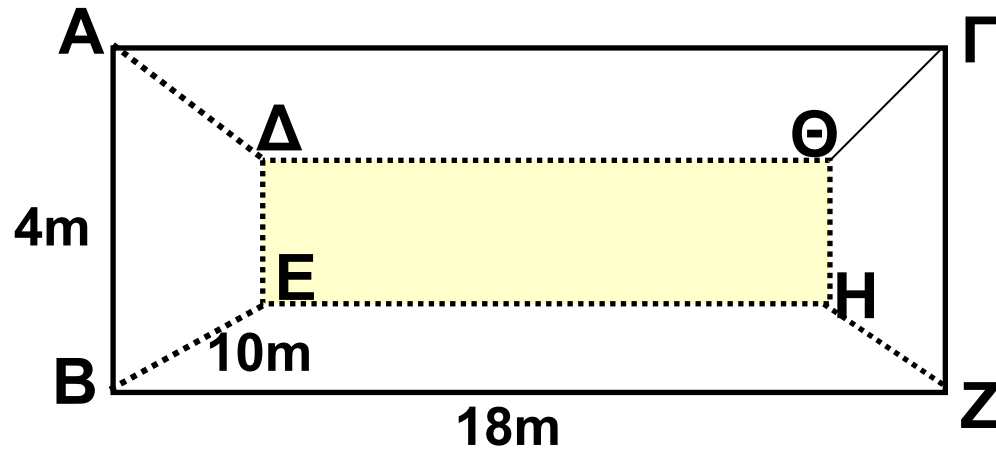
$$\tau_R = 0,161 \frac{V}{A} \text{ sec}$$

Άρα $A = \alpha_{T1} + \alpha_{T2} + \alpha_{T3} + \alpha_{T4} + \alpha_{T5} + \alpha_{T6} = 23,36 \text{ m}^2$

$$V = 10 \times 18 \times 4 = 720 \text{ m}^3$$

Και ο χρόνος μετήχησης είναι: $\tau_R = 0,161 \frac{720}{23,36} = 4,96 \text{ sec}$

Για αίθουσα διαλέξεων ο χρόνος αυτός δεν είναι αποδεκτός.



$$\tau_R = 0,161 \frac{V}{A} \text{ sec}$$

Τοίχος ABΔΕ: $\alpha_{T1} = (10 \times 4) 0,04 = 1,6 \text{ m}^2$

Τοίχος ΗΘΓΖ: $\alpha_{T2} = (10 \times 4) 0,04 = 1,6 \text{ m}^2$

Τοίχος ΕΔΘΗ: $\alpha_{T3} = (18 \times 4) 0,04 = 2,88 \text{ m}^2$

Τοίχος ABΖΓ: $\alpha_{T4} = (18 \times 4) 0,04 = 2,88 \text{ m}^2$

Οροφή ΑΔΘΓ: $\alpha_{T5} = (10 \times 18) 0,04 = 7,2 \text{ m}^2$

Πάτωμα ΒΕΗΖ: $\alpha_{T6} = (10 \times 18) 0,04 = 7,2 \text{ m}^2$

Αν διαθέτω πλάκες απορρόφησης ήχου με συντελεστή απορρόφησης κατά 90% μεγαλύτερο από αυτόν των τοίχων και στρώσω το ταβάνι με αυτές βελτιώνω σημαντικά την ακουστική της αίθουσάς μου;

$$\alpha_{T5} = (10 \times 18) 0,4 = 72 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα } A = \alpha_{T1} + \alpha_{T2} + \alpha_{T3} + \alpha_{T4} + \alpha_{T5} + \alpha_{T6} = 88,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Και ο χρόνος μετήχησης είναι: } \tau_R = 0,161 \frac{720}{88,16} = 1,31 \text{ sec}$$

Πολύ καλύτερα τα πράγματα

Άσκηση: Μια αίθουσα έχει όγκο 2625m^3 και χρόνο μετήχησης $8,1\text{sec}$ για ήχο συχνότητας 1kHz . Όταν η αίθουσα είναι πλήρης ο χρόνος μετήχησης γίνεται $3,6\text{sec}$. Αν η απορρόφηση ανά σπουδαστή είναι $0,5\text{m}^2$ **πόσοι σπουδαστές βρίσκονται στην αίθουσα;**

$$\tau = 0,161 \frac{V}{A} \text{sec}$$

Ξέρω $V=2625\text{m}^3$
 $\tau_1=8,1\text{sec}$
 $\tau_2=3,6\text{sec}$
 $A_{\sigma\pi\tau}=0,5\text{m}^2$

$$\tau_1 = 0,161 \frac{V}{A_1} \Leftrightarrow A_1 = 0,161 \frac{2625}{8,1} \Leftrightarrow A_1 = 52,2\text{m}^2$$

$$A_2 = 0,161 \frac{2625}{3,6} \Leftrightarrow A_2 = 117,4\text{m}^2$$

Ποιος προκάλεσε τη διαφορά στην απορροφητικότητα της αίθουσας;

Οι σπουδαστές

Πόσο άλλαξε η απορροφητικότητα της αίθουσας;

$$A_2 - A_1 = 117,4 - 52,2 = 65,2 m^2$$

απορροφητικότητα ανά σπουδαστή; 0,5 m²

$$\frac{\delta A}{0,5} = \frac{65,2}{0,5} = 130 \text{ σπουδαστές}$$

ΤΕΛΟΣ