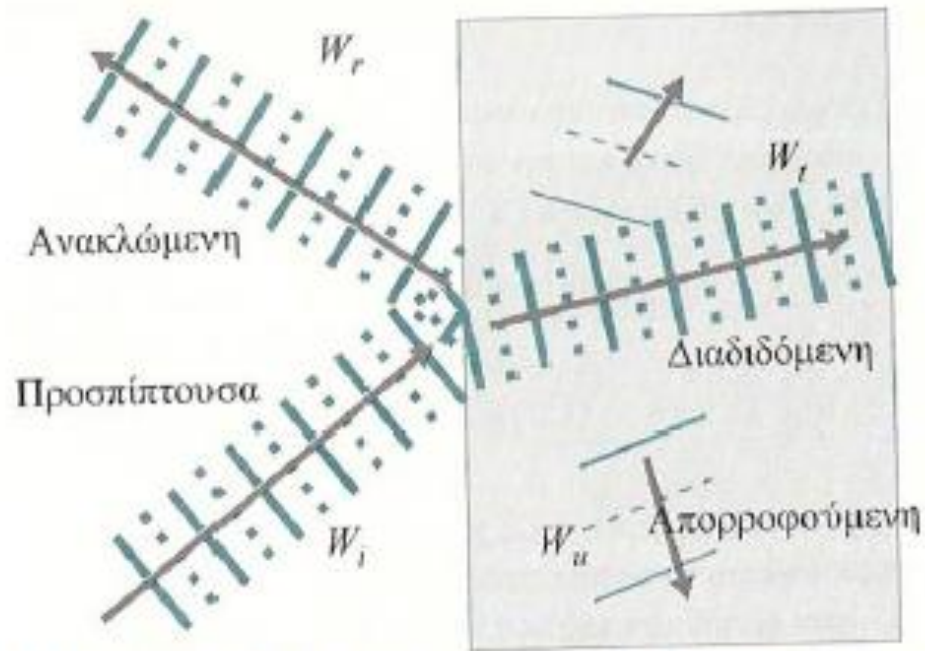
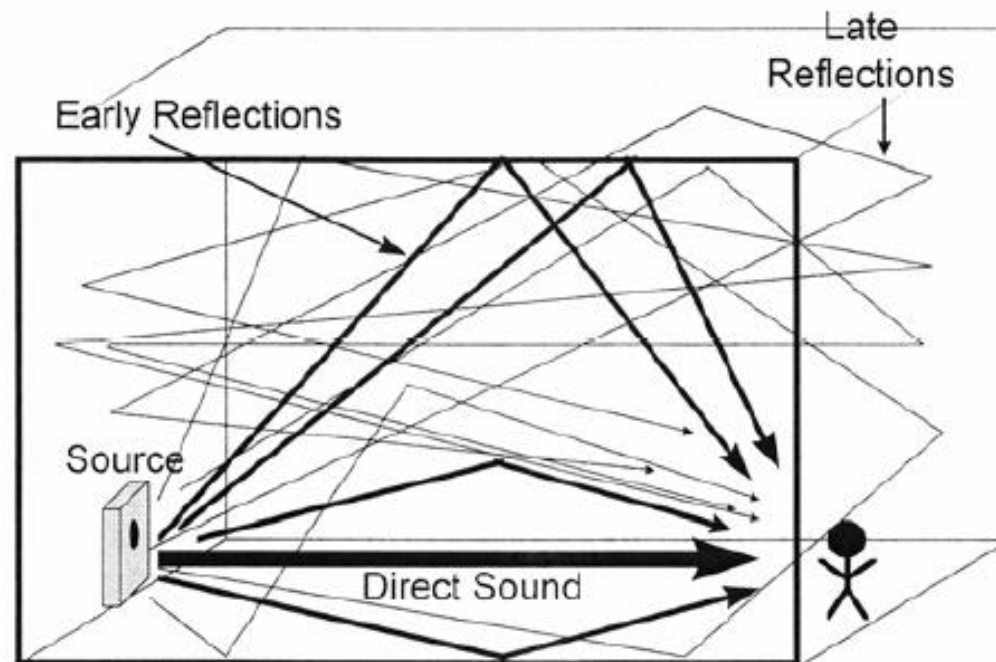


Ανάκλαση



Σχήμα 5.3 Πρόσπτωση ηχητικής ενέργειας σε περατώτικη επιφάνεια

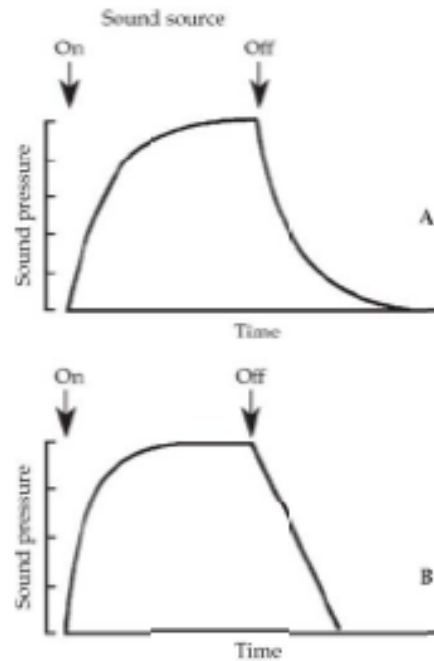
Μεγάλοι κλειστοί χώροι



Σχήμα 3.14: Αναπαράσταση της δημιουργίας αντήχησης σε ένα κλειστό χώρο

Αντήχηση

- Το φαινόμενο κατά το οποίο το ηχητικό πεδίο μέσα σε ένα κλειστό χώρο διατηρείται μετά το σταμάτημα της πηγής

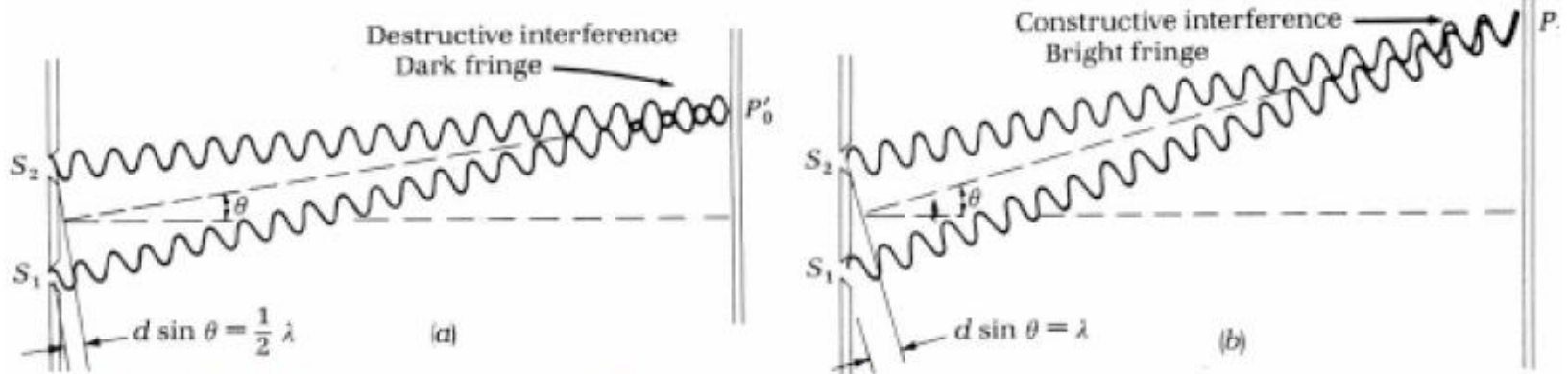


Σχήμα 6.2 Άνοδος και πτώση ηχητικού πεδίου κλειστού χώρου με γραμμική (A) και λογαριθμική (B) κλίμακα ηχητικής πίεσης

Μέτρηση του χρόνου αντήχησης

- Ουσιαστικά, αν μετρήσω την κρουστική απόκριση του χώρου, μπορώ να υπολογίσω το χρόνο αντήχησης
 - White noise, sweep, MLS sequence
- Μέθοδος του μηδενισμού της πηγής
- Μέθοδος της παλμικής διέγερσης

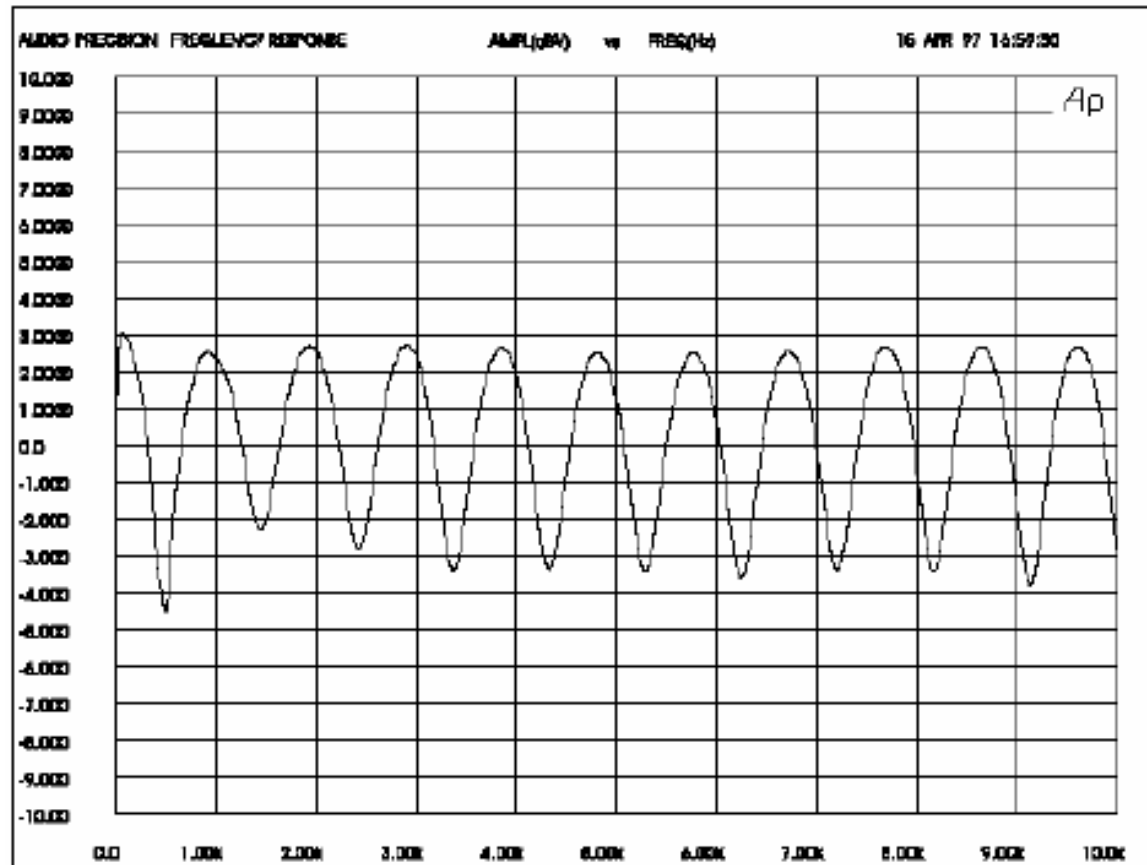
Ο τρόπος συμβολής εξαρτάται από τη διαφορά φάσης ή τη διαφορά δρόμων ανάμεσα στα δύο κύματα.



Σχήμα 2. (α) Καταστρεπτική και (β) Ενισχυτική συμβολή για ακραίες διαφορές φάσης/δρόμου [1]

Διαφορετικές διαδρομές = Χρονική διαφορά άφιξης του ήχου

Φαινόμενο φασματικού χρωματισμού τύπου κτένας (comb filter)



Σχήμα 3.24: Στο αρχικό σήμα έχει προστεθεί ο εαυτός του με διαφορά στάθμης -10dB και καθυστέρηση 2msec. Η μέγιστη αύξηση είναι +2,5dB και η μέγιστη μείωση είναι -4dB.

Διάταξη για το πείραμα που έκανε ο Haas

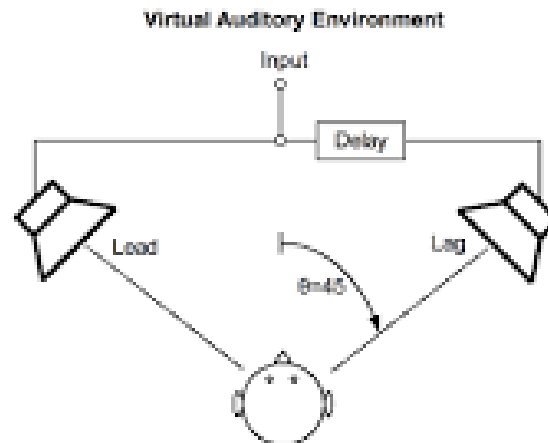
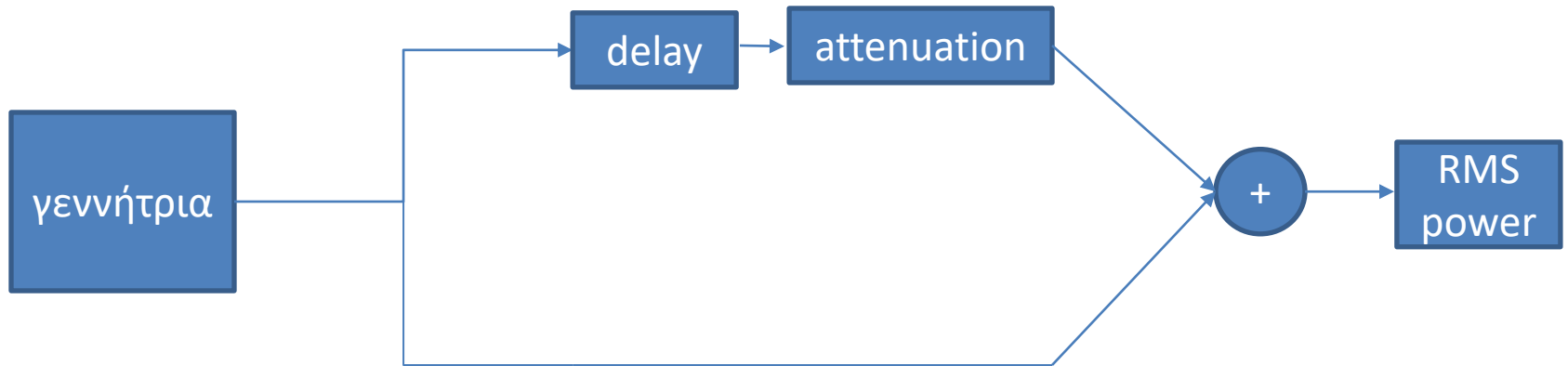
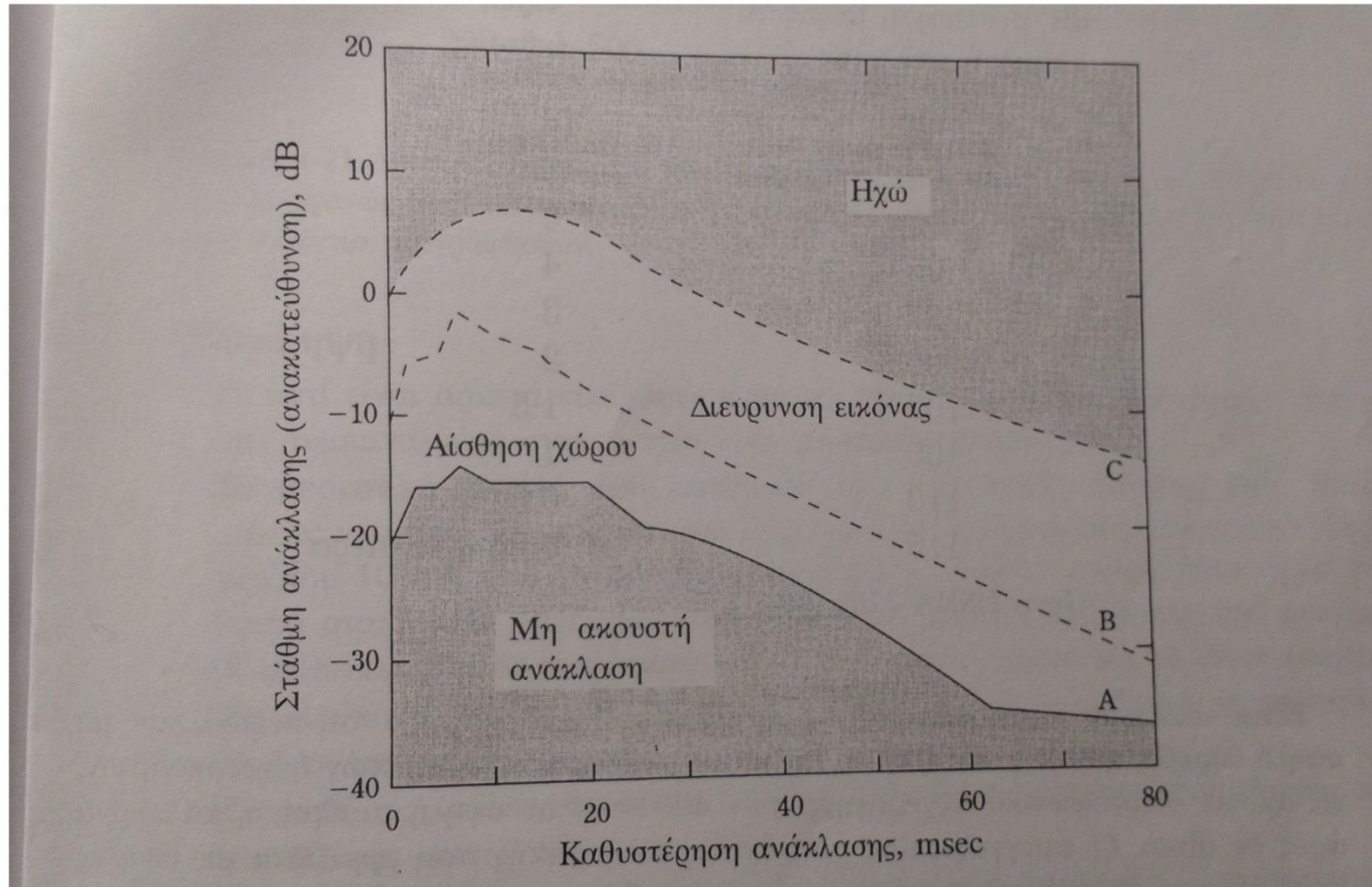


Figure 1. The lead-lag loudspeaker arrangement, which is widely used for fusion measurements (and demonstrations) of the precedence effect. In the current study, this arrangement is simulated by virtual environment.

Διάταξη για το πείραμα που έκανε ο Haas

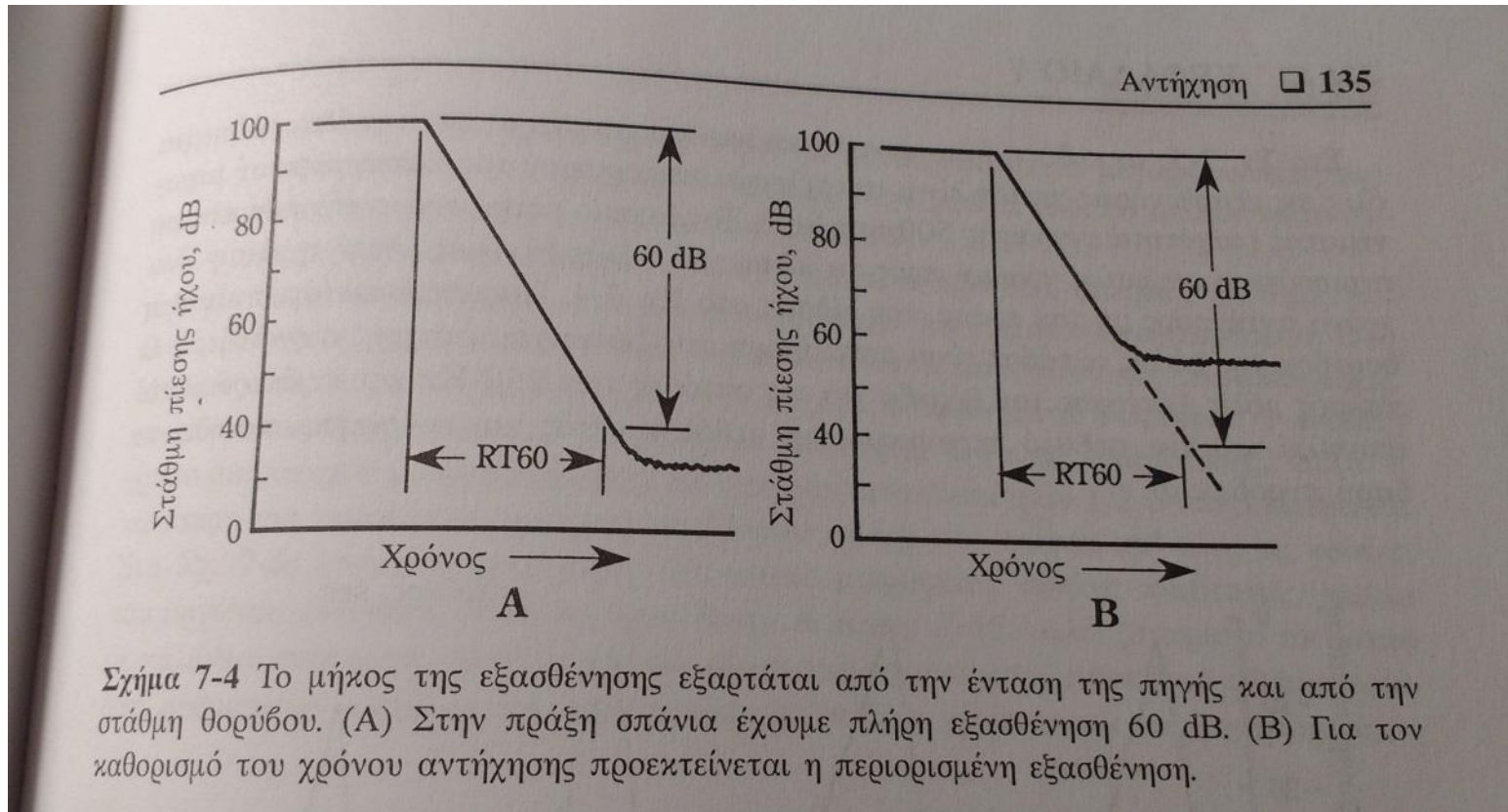


Χάρτης που έφτιαξε ο Haas



Αντήχηση

- Το φαινόμενο κατά το οποίο το ηχητικό πεδίο μέσα σε ένα κλειστό χώρο διατηρείται μετά το σταμάτημα της πηγής

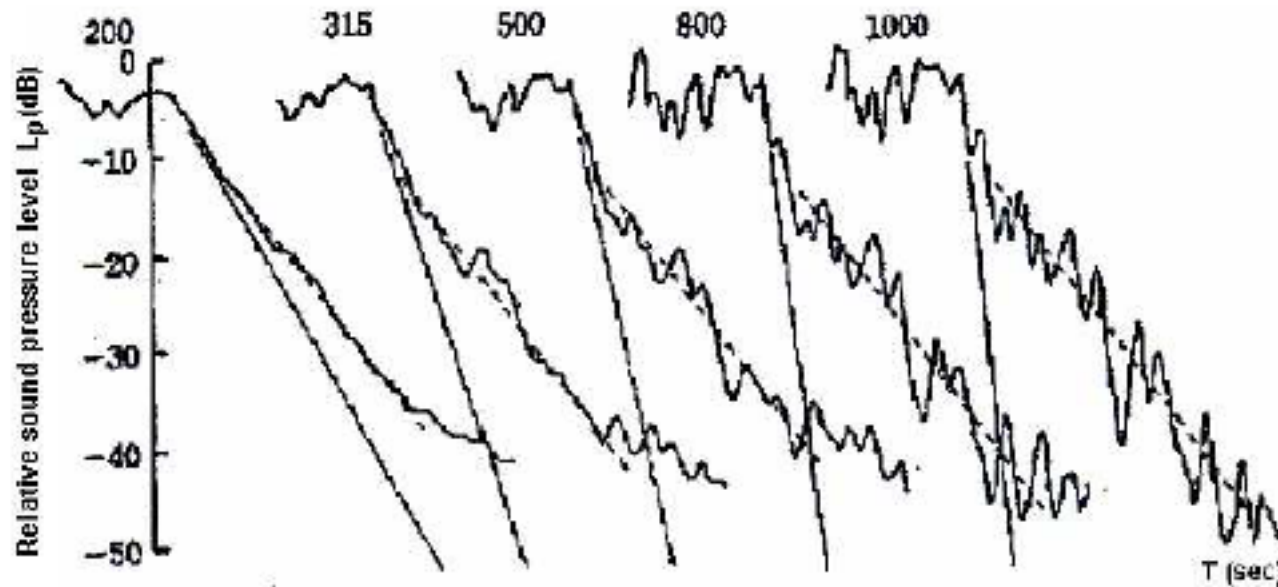


Το RT60 συνήθως διαφέρει από συχνότητα σε συχνότητα!

Όταν κάνουμε ακουστικές μελέτες σε κλειστούς χώρους, δίνουμε το χρόνο αντήχησης σε κάθε οκτάβα.

Όταν δίνεται ένας και μοναδικός αριθμός αυτός εξ' ορισμού αναφέρεται στη συχνότητα των 500 Hz .

Αυτό προέρχεται από τις αποκλειστικές μελέτες αντήχησης του Sabine στα 512 Hz . Αν και η συμπεριφορά του αντηχητικού ήχου είναι ιδιαίτερος πολύπλοκη για να περιγραφεί από ένα μόνο αριθμό, ο χρόνος αντήχησης των 500 Hz είναι αρκετά ενδεικτικός της «ζωντάνιας» του χώρου.



Σχήμα 9. Πτώση αντηχητικού πεδίου για διάφορες συχνότητες [5]

Anechoic chamber

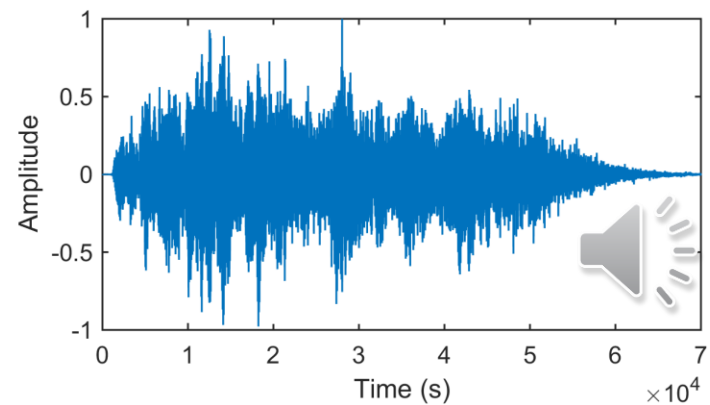
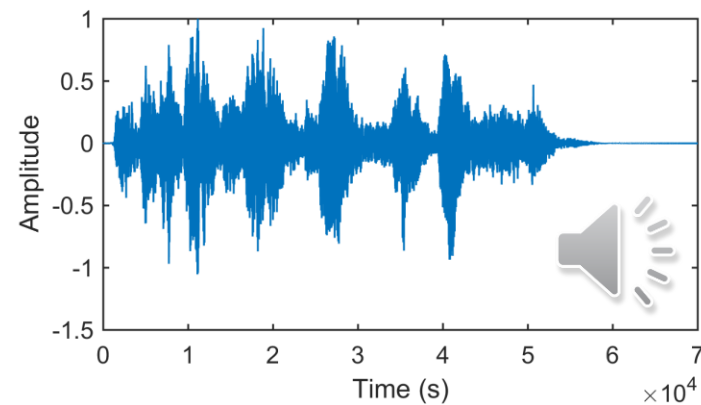
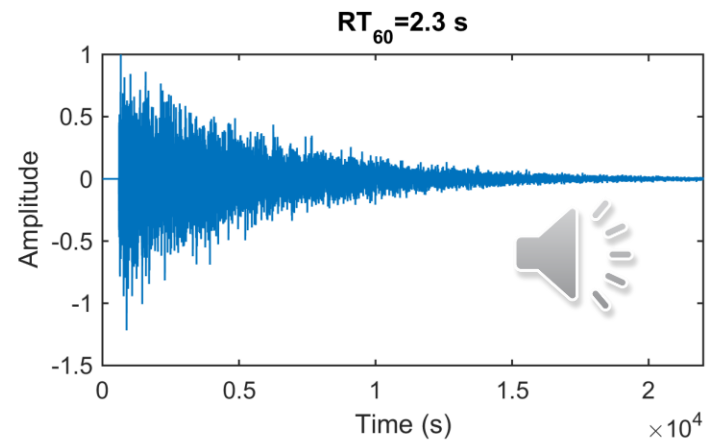
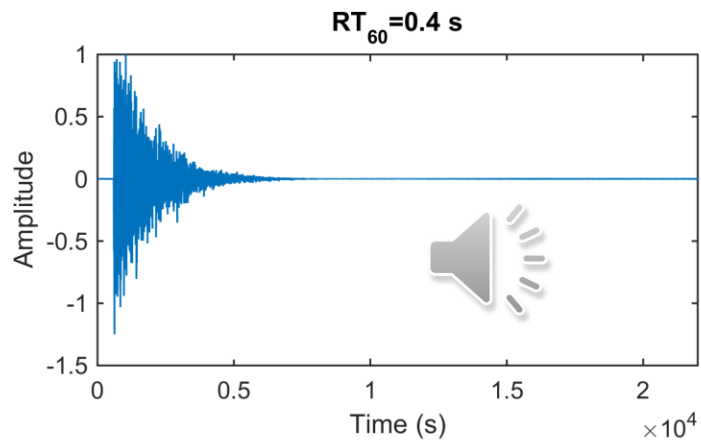


Reverberation chamber



Κρουστική απόκριση

Ανηχοϊκό σήμα:



Θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου αντήχησης

- Mean Free Path (MFP)

Ερώτηση

- Εξηγείστε την έννοια του Mean Free Path (MFP)
- Με βάση την έννοια του MFP, εξηγείστε γιατί σε ένα κλειστό χώρο ο χρόνος αντήχησης αυξάνεται με το μέγεθος του χώρου

Συντελεστής απορρόφησης διαφόρων επιφανειών



ABSORPTION COEFFICIENTS OF COMMON BUILDING MATERIALS AND FINISHES

Floor materials	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Carpet	0.01	0.02	0.06	0.15	0.25	0.45
Concrete (unpainted, rough finish)	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
Concrete (sealed or painted)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Vinyl tile or linoleum on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Wood parquet on concrete	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Wood flooring on joists	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.07

4m

Σχετική Υγρασία %	Θερμοκρασία	Συχνότητα (Hz)			
		2000	4000	6300	8000
30%	15	0.0143	0.0486	0.1056	0.1360
	20	0.01190	0.0379	0.0840	0.1360
	25	0.0114	0.0313	0.685	0.1360
	30	0.0281	0.0281	0.0564	0.1360
50%	15	0.0099	0.0286	0.0626	0.0860
	20	0.0096	0.0244	0.0503	0.0860
	25	0.0095	0.0235	0.0444	0.0860
	30	0.0092	0.0233	0.0426	0.0860
70%	15	0.0088	0.0223	0.0454	0.0600
	20	0.0085	0.0213	0.0399	0.0600
	25	0.0084	0.0211	0.0388	0.0600
	30	0.0082	0.0207	0.0383	0.0600

Πίνακας 7.3 Εξάρτηση του συντελεστή εξασθένησης της ηχητικής ενέργειας λόγω της παρουσίας αέρα συναρτήσει της σχετικής υγρασίας (4m), της θερμοκρασίας και της συχνότητας.

Θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου αντήχησης

	(μέσος) συντ/στής απορρόφησης \bar{a}	Απορρόφηση A (Sabine)	Χρόνος αντήχησης RT_{60} (sec)
Sabine	$\bar{a} \ll 0.1$	επιφάνεια $\sum_i (S_i \cdot a_{i,f})$	$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A_S}$
Norris-Eyring	$\bar{a} \geq 0.1$ και $a_{i,f} \rightarrow 1$	$-S \cdot \ln \left\{ 1 - \sum_i \frac{\text{επιφάνεια } S_i \cdot a_{i,f}}{S} \right\}$	$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A_{NE}}$
Sette - Millington	$\bar{a} \geq 0.1$ με $a > 0.63$	επιφάνεια $\sum_i [S_i \cdot \ln(1 - a_{i,f})^{-1}]$	$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A_M}$
Fitzroy	σύμφωνα με τα παραπάνω	σύμφωνα με τα παραπάνω	$RT_{60} = \frac{0.161 \cdot V}{S^2} \cdot \left(\frac{S_X}{\bar{a}_X} + \frac{S_Y}{\bar{a}_Y} + \frac{S_Z}{\bar{a}_Z} \right)$
με απορρόφηση από τον αέρα	σύμφωνα με τα παραπάνω	σύμφωνα με τα παραπάνω	$RT_{60} = \frac{0,161V}{A + 4 \cdot m \cdot V}$
<p>όπου:</p> <p>S_i το εμβαδόν της επιφάνειας του υλικού i [m^2] και</p> <p>$a_{i,f}$ ο συντελεστής απορρόφησης που παρουσιάζει η επιφάνεια i στη συχνότητα f.</p>			

Πίνακας 1. Συνοπτικός πίνακας σχέσεων υπολογισμού RT_{60} για διάφορες συνθήκες

Άσκηση 1

Καφετέρια έχει διαστάσεις 10x10x4 (ΜxΠxΥ). Στην αίθουσα υπάρχουν 80 καθίσματα και 20 τραπέζια.

1) Με χρήση του τύπου του Sabine υπολογίστε το RT για 500 Hz στην περίπτωση που καθίσματα είναι ξύλινα και το πάτωμα μαρμάρινο.

2) Στη δεύτερη περίπτωση αντικαθιστούμε τα καθίσματα με ίσο αριθμό καθισμάτων με βαριά επένδυση και τοποθετούμε ξύλινο πάτωμα. Υπολογίστε το νέο RT με τον τύπο του Sabine.

- Δίνονται: $\alpha_{\text{τοίχου}} = \alpha_{\text{οροφής}} = \alpha_{\text{μαρμάρου}} = 0.01$, $\alpha_{\text{ξύλ.πατ}} = 0.1$,
- $A_{\text{ξύλ.καθ.}} = 0.4 \text{ m}^2$, $A_{\text{τραπ.}} = 0.4 \text{ m}^2$, $A_{\text{καθισμάτος με βαριά επένδυση}} = 0.8 \text{ m}^2$.

Άσκηση 2

Ο συντελεστής απορρόφησης ενός υλικού μετρήθηκε σε θάλαμο αντήχησης με όγκο 1300m^3 . Στα 500Hz βρέθηκε: RT άδειου θαλάμου (RT_A)= 18.5 s , RT γεμάτου θαλάμου (RT_r)= 9.4 s με χρήση 30m^2 απορροφητικού υλικού

1) Βρείτε το συντελεστή απορρόφησης του υλικού

2) Στον ίδιο (άδειο) θάλαμο, τοποθετήθηκαν 40 καρέκλες και ο χρόνος αντήχησης ήταν 6.7 s . Ποιο το A της καρέκλας?

Υπόδειξη: χρησιμοποιήστε τον τύπο του Sabine.

Άσκηση 3

- Αίθουσα έχει διαστάσεις 10x10x10.
Υπολογίστε το RT με χρήση (α) Sabine και (β) Fitzroy. Δίνονται: $\alpha_{xy}=0.01$, $\alpha_{xz}=0.01$, $\alpha_{yz}=0.1$

Άσκηση 4

Χώρος έχει διαστάσεις 4.8x7x3 m (ΜxΠxΥ).

1) Αν οι τοίχοι είναι από τούβλο και η οροφή με το πάτωμα από σκυρόδεμα, να βρεθεί ο χρόνος αντήχησης του δωματίου στα 500Hz.

2) Έστω ότι θέλουμε να μειώσουμε το χρόνο αντήχησης στα 1.8 s. Να υπολογίσετε την επιφάνεια του πατώματος που θα πρέπει να επενδύσουμε με χαλί, ώστε να επιτύχουμε τον επιθυμητό χρόνο αντήχησης.

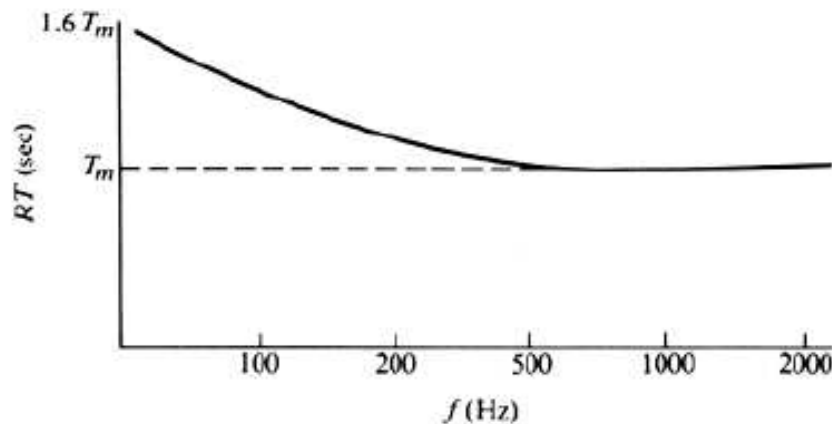
Δίνεται για τα 500 Hz: $\alpha_{\text{σκυρόδεμα}} = 0.04$, $\alpha_{\text{τούβλο}} = 0.06$, $\alpha_{\text{χαλί}} = 0.2$

Πως μπορώ να κρίνω αν το RT60 είναι
καλό ή κακό?

Ιδανικό RT60

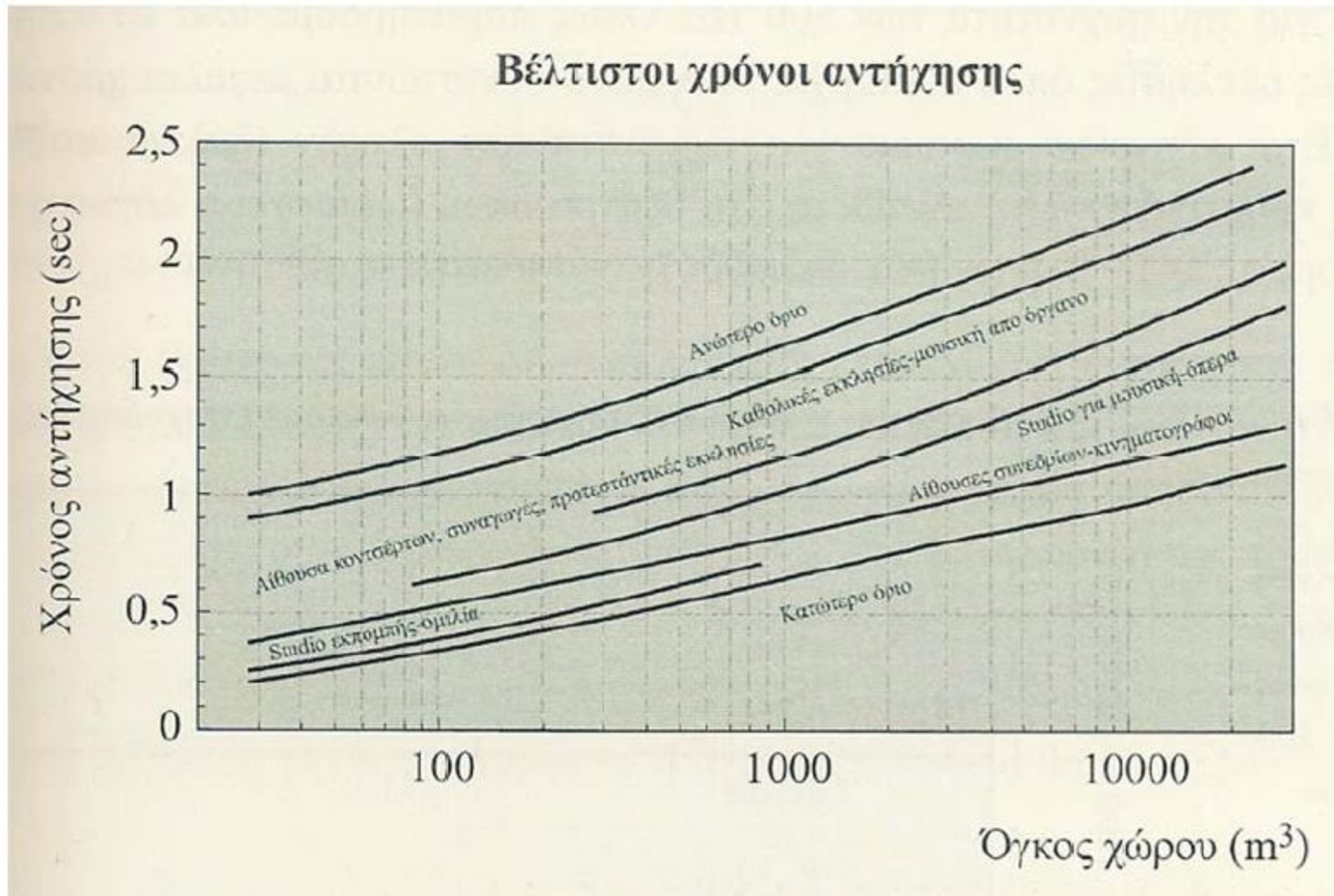
- Ιδανικό RT60: Εξαρτάται από τη χρήση του χώρου, το μέγεθός του και τη συχνότητα που το μελετάμε
- Επιλογή υλικών ώστε να επιτευχθεί η ιδανική τιμή (ακουστική + αρχιτεκτονική)

Για παράδειγμα, στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση του χρόνου αντήχησης και της συχνότητας σε μία αίθουσα συναυλιών με καλή ακουστική.



Σχήμα 15. Συχνότητα – χρόνος αντήχησης σε αίθουσα συναυλιών με καλή ακουστική (ισορροπημένα μπάσα) [2]

Βέλτιστο RT60 συναρτήσει του όγκου



Βέλτιστος όγκος αίθουσας

7.8.2 Κατάλληλος όγκος ενός χώρου

Προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες ακουστικές συνθήκες είναι απαραίτητο ένας χώρος να έχει το σωστό όγκο σύμφωνα με την εκάστοτε χρήση. Στον πίνακα 7.4 φαίνεται ο βέλτιστος όγκος ανά άτομο ανάλογα με τη χρήση του χώρου.

	Ελάχιστος	Βέλτιστος	Μέγιστος
Αίθουσα συναυλιών	6.5	7.1	9.9
Ιταλικού τύπου αίθουσες όπερας	4.0	4.2-5.1	5.7
Εκκλησίες	5.7	7.1-7.9	11.9
Κινηματογράφοι	-	3.1	4.2
Αίθουσες ομιλίας	-	2.8	4.9

Πίνακας 7.4: Βέλτιστος όγκος / άτομο (m^3 / άτομο) ανάλογα με τη χρήση του χώρου

Βέλτιστο RT60 συναρτήσεαι του όγκου

7.8.3 Εξίσωση βέλτιστης αντήχησης (Εξίσωση Stephens-Bate)

Έχουν προταθεί βέλτιστοι χρόνοι αντήχησης για χώρους από διάφορους κατασκευαστές χρησιμοποιώντας εμπειρικές μεθόδους. Μια πρόταση από τους Stephens και Bate είναι ο παρακάτω τύπος:

$$RT_{60} = r(0.012\sqrt[3]{V} + 0.107) \quad (7.11)$$

όπου:

RT_{60} : ο χρόνος αντήχησης σε δευτερόλεπτα (*sec*)

V : ο όγκος του δωματίου σε κυβικά μέτρα (m^3)

$r = 4$ για λόγος

$r = 5$ για ορχήστρα

$r = 6$ για χορωδία

Άσκηση 2

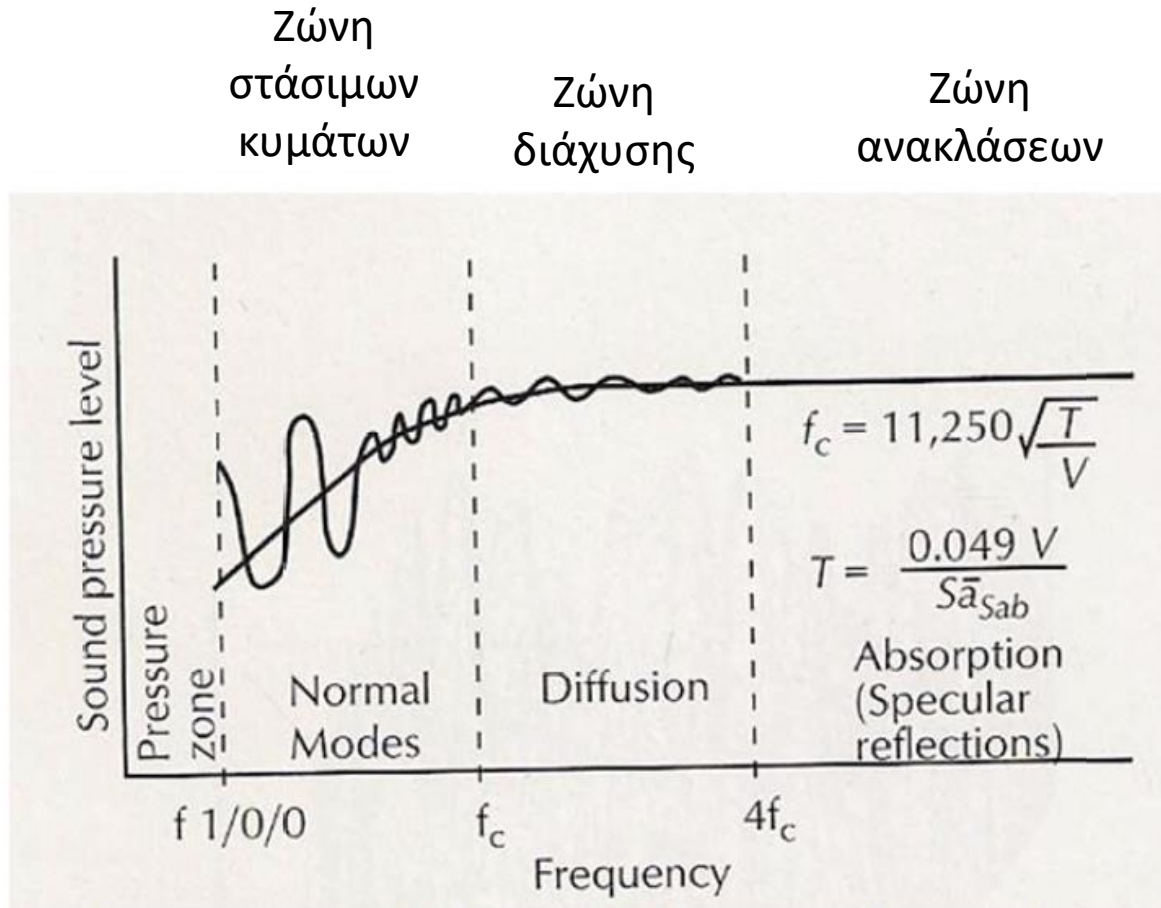
- Αίθουσα πρόκειται να κατασκευαστεί με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σαν χώρος διαλέξεων (ομιλία), χωρητικότητας 100 ατόμων. Το ύψος του κτιρίου είναι 4 m. α) Προτείνετε βέλτιστο όγκο και διαστάσεις για την αίθουσα β) με χρήση των τύπων Stephens-Bate, υπολογίστε το προτεινόμενο RT και απορρόφηση της αίθουσας.

Άσκηση 3

- Το αμφιθέατρο μιας σχολής πρόκειται να κατασκευαστεί για να εξυπηρετεί 200 άτομα και θα χρησιμοποιείται κυρίως για λόγο.
- α) Ορίστε τον κατάλληλο όγκο και χρόνο αντήχησης
- β) Πόση απορρόφηση χρειάζεται στην κατασκευή ώστε να πετύχουμε τις βέλτιστες συνθήκες όταν η αίθουσα είναι γεμάτη κατά τα 2/3?

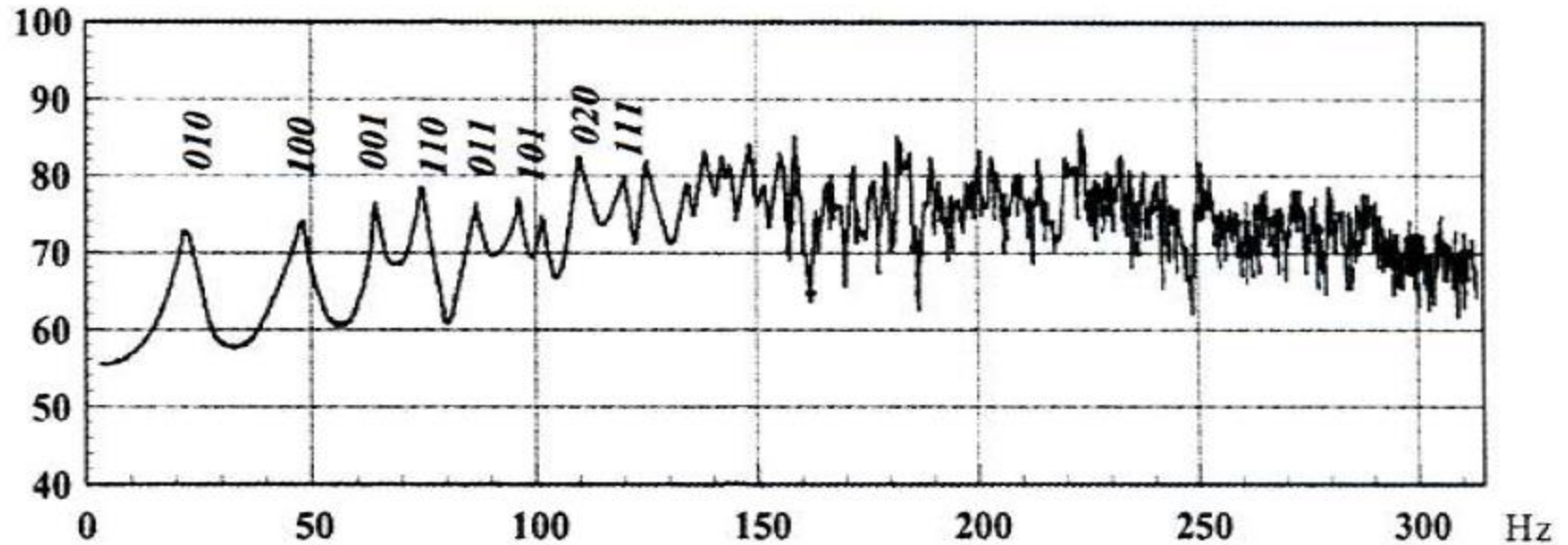
Η απορρόφηση κατά άτομο είναι 0.4 m^2

Διάγραμμα Bolt-Beraneck-Newman



Σχήμα 6.4 Διάγραμμα Bolt-Beraneck-Newmann – Ελεγκτικής σταθερής κατάστασης της ακουστικής απόκρισης δωματίου

Απόκριση Συχνότητας



Σχήμα 14 Συμπεριφορά κλειστού χώρου σε υψηλές και χαμηλές συχνότητες [8]

Το τέλειο αντηχητικό πεδίο

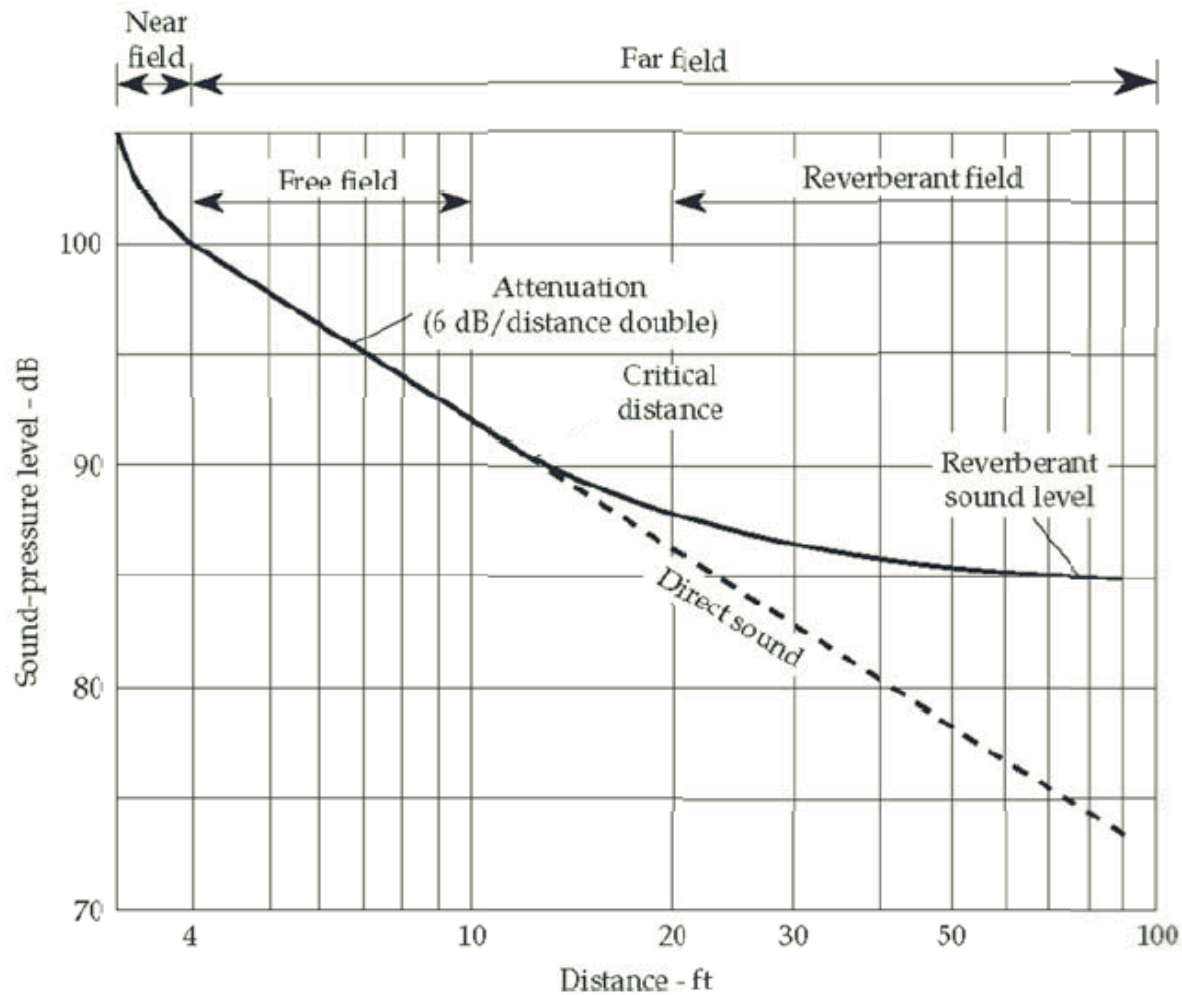
Το πεδίο που δημιουργείται από την υπέρθεση απείρου πλήθους επιπέδων ηχητικών κυμάτων που διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια πιθανότητα

- Σταθερή πυκνότητα ενέργειας
- Οι εξασθενήσεις είναι τέλεια εκθετικές
- Χρόνος αντήχησης παντού το ίδιο
- Χαρακτήρας της εξασθένησης ανεξαρτητος από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Μετρούμενη στάθμη του ανακλώμενου ήχου ανεξάρτητη από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Ο απευθείας ήχος και ο ανακλώμενος ήχος είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους

Συνθήκες για να έχουμε αντηχητικό πεδίο

- Ο χώρος έχει ακανόνιστο σχήμα (irregularly shaped)
- Οι διαστάσεις του χώρου είναι σχετικά μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος που μελετάμε
- Δεν έχουμε κάποια διάσταση του χώρου δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με τις άλλες
- Ο συντελεστής απορρόφησης των τοιχωμάτων είναι σχετικά μικρός ($\alpha < 0.3$) και ομοιόμορφα κατανεμημένος

Απευθείας + ανακλώμενος ήχος



Τι μπορώ να κάνω για να αυξήσω το λόγο απευθείας ήχου προς ανακλώμενο σε μία συγκεκριμένη θέση στο χώρο?

Να βάλω περισσότερη ηχο-απορρόφηση στο χώρο	
Να αυξήσω την ισχύ της πηγής	
Να φέρω την πηγή πιο κοντά στη θέση ακρόασης	
Να αυξήσω την κατευθυντικότητα της πηγής	

Αναλογίες μεταξύ επιθυμητών και ανεπιθύμητων συνιστωσών

- Direct to Reverberant Ratio (DDR) = λόγος απευθείας ήχου προς ανακλώμενο
- Signal to Noise Ratio (SNR) = λόγος σήματος προς θόρυβο