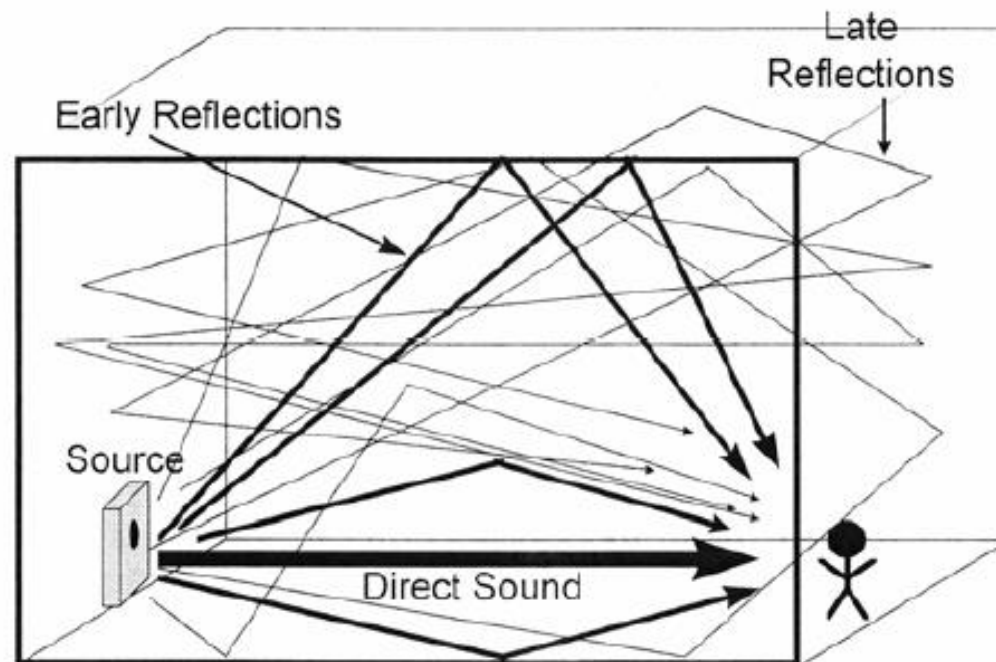


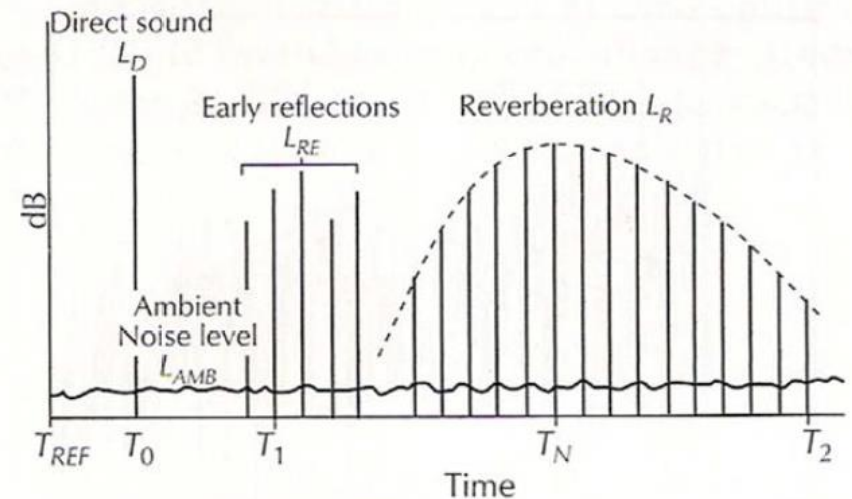
# Μεγάλοι κλειστοί χώροι



Σχήμα 3.14: Αναπαράσταση της δημιουργίας αντήχησης σε ένα κλειστό χώρο

# Συνιστώσες του ήχου σε «μεγάλους» κλειστούς χώρους

- Απευθείας ήχος (direct sound)
- Πρώτες ανακλάσεις (early reflections)  
 $\Delta\tau < 80$  ms
- Αντηχητική συνιστώσα (reverberation)
  - Αντηχητικό πεδίο ή διάχυτο πεδίο
  - Ανακλώμενος ήχος



$T_0 - T_{REF} =$  Signal travel time to observer ( $D_0$ )

$T_1 - T_0 =$  Initial Time Delay (ITD) gap

$T_N - T_{REF} =$  Natural room delay

$T_2 - T_1 =$  3-D measurement limits (variable from  $T_{REF}$  to  $T_2$ )

# Πρώτες ανακλάσεις

*Μελέτες έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι κάποια από τα πιο ενδιαφέροντα ακουστικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με το πρώτο κομμάτι της κρουστικής απόκρισης του δωματίου, δηλαδή τις Πρώτες Ανακλάσεις.*

- Συγκεκριμένα, το χρονικό διάστημα εμφάνισης (της τάξης των μερικών δεκάδων  $ms$ ) και το ενεργειακό περιεχόμενο των πρώτων ανακλάσεων (οι στάθμες τους) αποτελούν σημαντικά στοιχεία, γιατί επηρεάζουν την αίσθηση της γεωμετρίας και του μεγέθους του χώρου.

- Η καθυστέρηση των πρώτων ανακλάσεων ('InitialTimeDelay' gap – ITD) δίνει την αίσθηση του μεγέθους του χώρου.

- Ο λόγος των σταθμών απευθείας ήχου – πρώτων ανακλάσεων δίνει την αίσθηση της απόστασης πηγής – παρατηρητή.

- Σε ένα μεγαλύτερο χώρο ο ήχος κάνει περισσότερο χρόνο να φτάσει σε ένα ανακλαστικό του τοίχωμα και γι' αυτό το χρονικό διάστημα μεταξύ των ανακλάσεων είναι μεγαλύτερο. Όταν οι πρώτες ανακλάσεις φτάσουν στο ανθρώπινο αυτί εντός  $35 ms$ , αυτό δεν τους αντιλαμβάνεται ως ξεχωριστούς ήχους. Αντίθετα ενισχύουν τον απευθείας ήχο, πράγμα σημαντικό για έναν ακροατή που βρίσκεται μακριά από την πηγή. Αν ο χώρος είναι πολύ μεγάλος, η καθυστέρηση μπορεί να είναι πολύ μεγάλη ( $>50 ms$ ) και οι πρώτες ανακλάσεις να ακουστούν ως ξεχωριστά echo. Αντίστροφα, πολύ μικρή καθυστέρηση ( $<5 ms$ ) μπορεί να δημιουργήσει την αίσθηση στον ακροατή ότι ο χώρος είναι μικρός [DJ97].

- Οι στάθμες των πρώτων ανακλάσεων εξαρτώνται από την απόσταση πηγής – παρατηρητή και από την απορροφητικότητα των υλικών στα οποία έχουν υποστεί ανάκλαση [HA96]. Επειδή όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή τόσο μειώνεται η διαφορά διαδρομών μεταξύ του απευθείας ήχου και των πρώτων ανακλάσεων, γι' αυτό και μειώνεται η καθυστέρηση και η διαφορά των στάθμεών τους στο RIR [HA96].

- Το κομμάτι του διαγράμματος RIR που συμβάλλει στην καταληπτότητα του λόγου είναι τα πρώτα περίπου  $50 ms$ , ενώ η διαύγεια της μουσικής τα πρώτα περίπου  $80 ms$  (από το  $t = 0s$ ).

# Καθυστερημένες ανακλάσεις

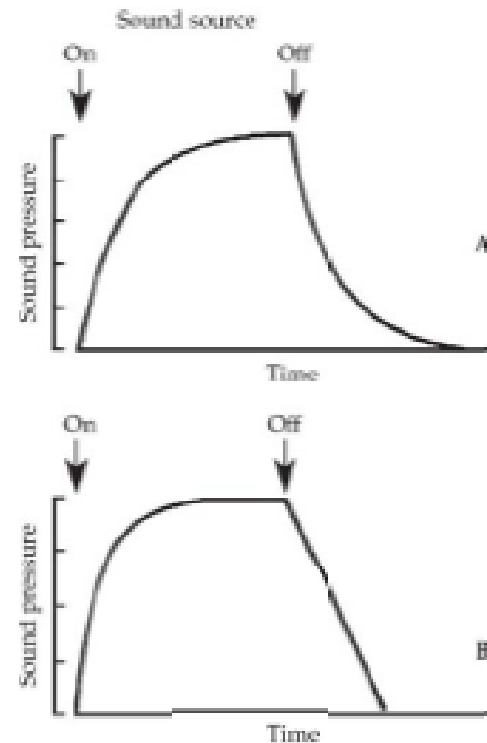
## ***Καθυστερημένες ανακλάσεις (Late Reverberation)***

- Σε αντίθεση με τον απευθείας ήχο και τις πρώτες ανακλάσεις, οι καθυστερημένες ανακλάσεις καταφτάνουν σε κάθε σημείο με πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση μεταξύ τους και η στάθμη τους (δηλαδή της ουράς στο διάγραμμα της απόκρισης δωματίου) είναι σταθερή σε όλα τα σημεία του χώρου μακριά από την πηγή ανεξάρτητα από την απόσταση πηγής – παρατηρητή. Αυτό βεβαίως ισχύει κατά βάση σε ένα ιδανικά διάχυτο πεδίο.
- Εν γένει τα απορροφητικά υλικά των τοιχωμάτων κλειστών χώρων έχουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα στις υψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα αυτές να φθίνουν πιο γρήγορα από ότι οι χαμηλές. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της απορρόφησης στον αέρα.

# Αντήηση

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

**Επεξήγηση της εκθετικής πτώσης!**



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

# Χρόνος Αντήχησης RT60

- Το χρονικό διάστημα (σε sec) που απαιτείται ώστε η στάθμη του ήχου σε ένα κλειστό χώρο να ελαττωθεί κατά 60 dB

Έχουμε δύο βασικά είδη μελέτης σχετικά με το χρόνο αντήχησης:

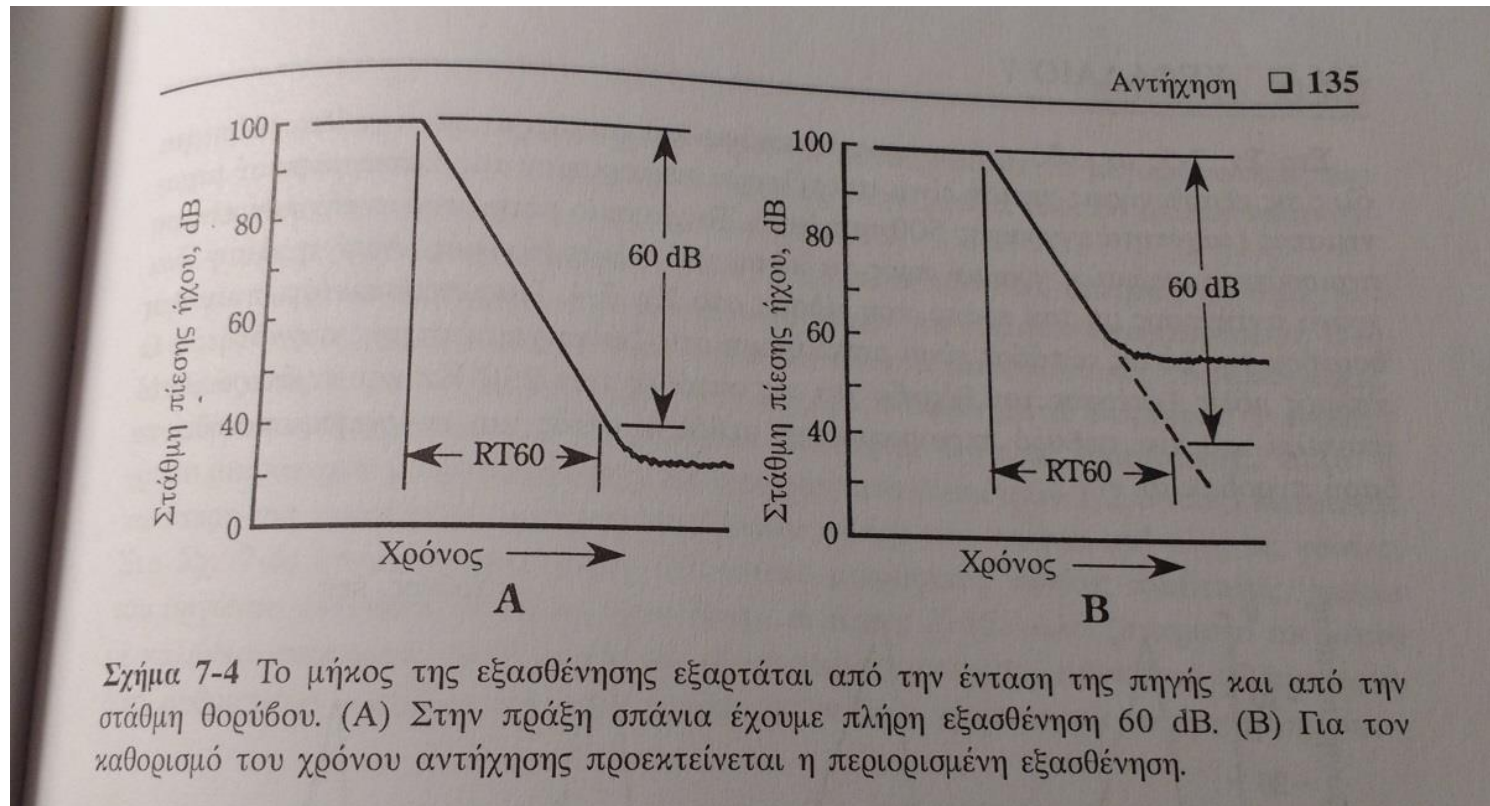
- 1) Θεωρητικός υπολογισμός (θα το δούμε στο σημερινό μάθημα)
- 2) Μέτρηση του χρόνου αντήχησης

# 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

# Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη μέτρηση του $RT_{60}$

Έλλειψη διαθέσιμου δυναμικού εύρους!



# Θεωρητικός υπολογισμός του $RT_{60}$

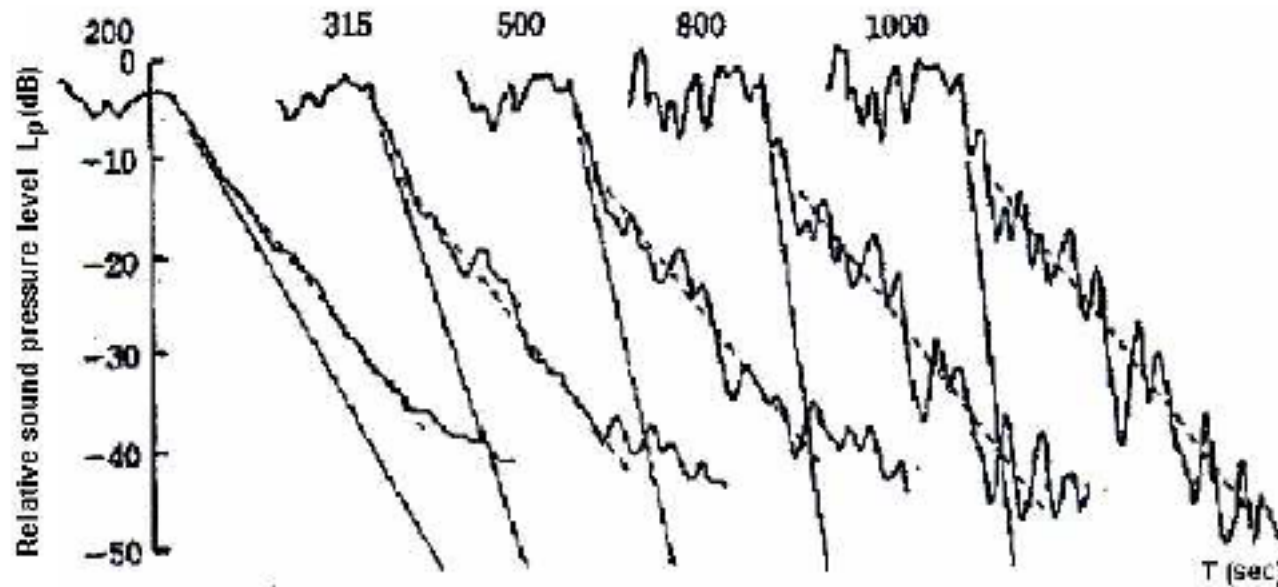
- Norris Eyring
- Sabine
- Fitzroy

# Το $RT_{60}$ 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  $500 \text{ Hz}$ .

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



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

# 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

# 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

# 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><math>S_i</math> το εμβαδόν της επιφάνειας του υλικού <math>i</math> [<math>m^2</math>] και</p> <p><math>a_{i,f}</math> ο συντελεστής απορρόφησης που παρουσιάζει η επιφάνεια <math>i</math> στη συχνότητα <math>f</math>.</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:  $\alpha_{\text{τοίχου}} = \alpha_{\text{οροφής}} = \alpha_{\text{μαρμάρου}} = 0.01$ ,  $\alpha_{\text{ξύλ.πατ}} = 0.1$ ,
- $A_{\text{ξύλ.καθ.}} = 0.4 \text{ m}^2$ ,  $A_{\text{τραπ.}} = 0.4 \text{ m}^2$ ,  $A_{\text{καθισμάτος με βαριά επένδυση}} = 0.8 \text{ m}^2$ .