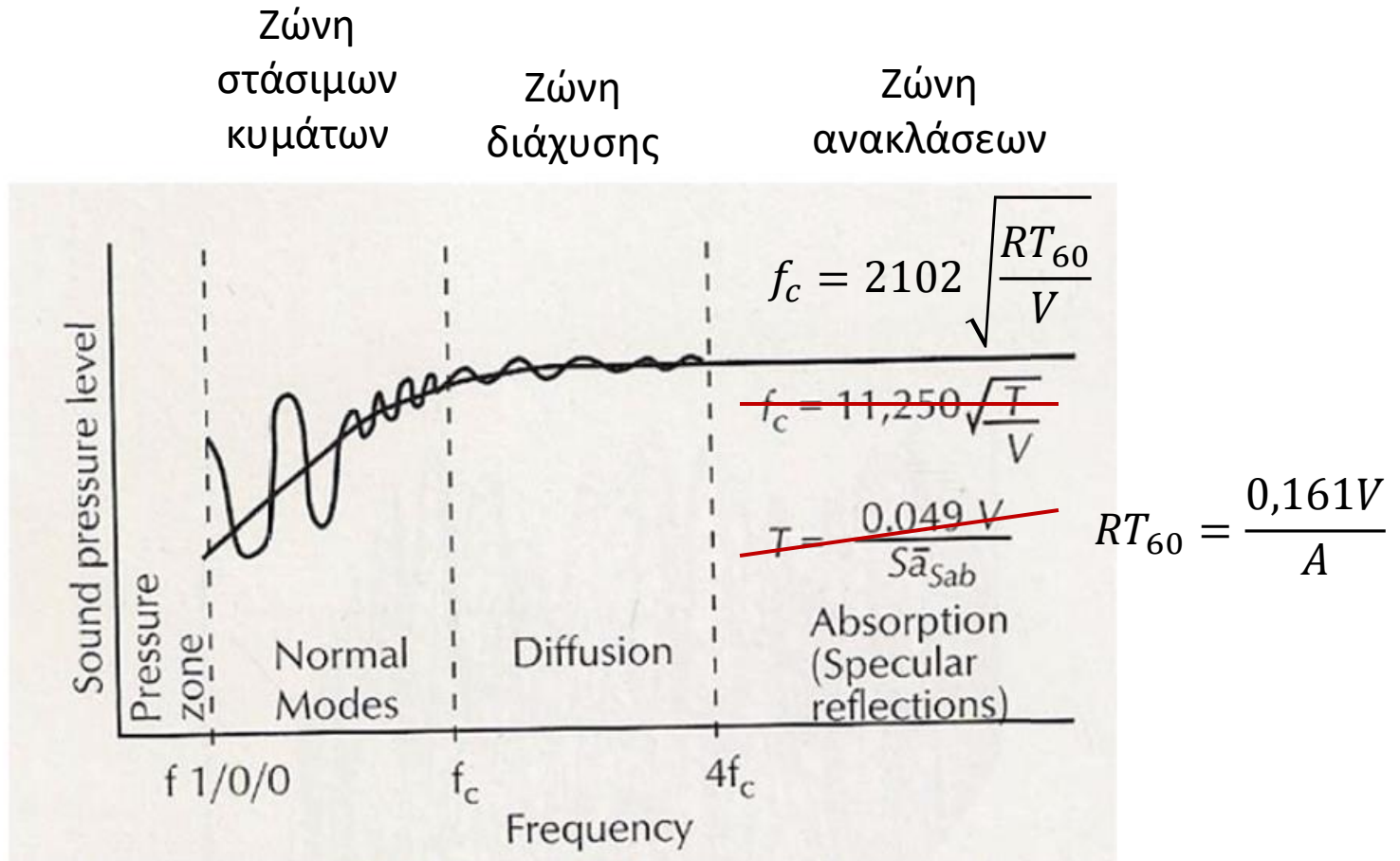
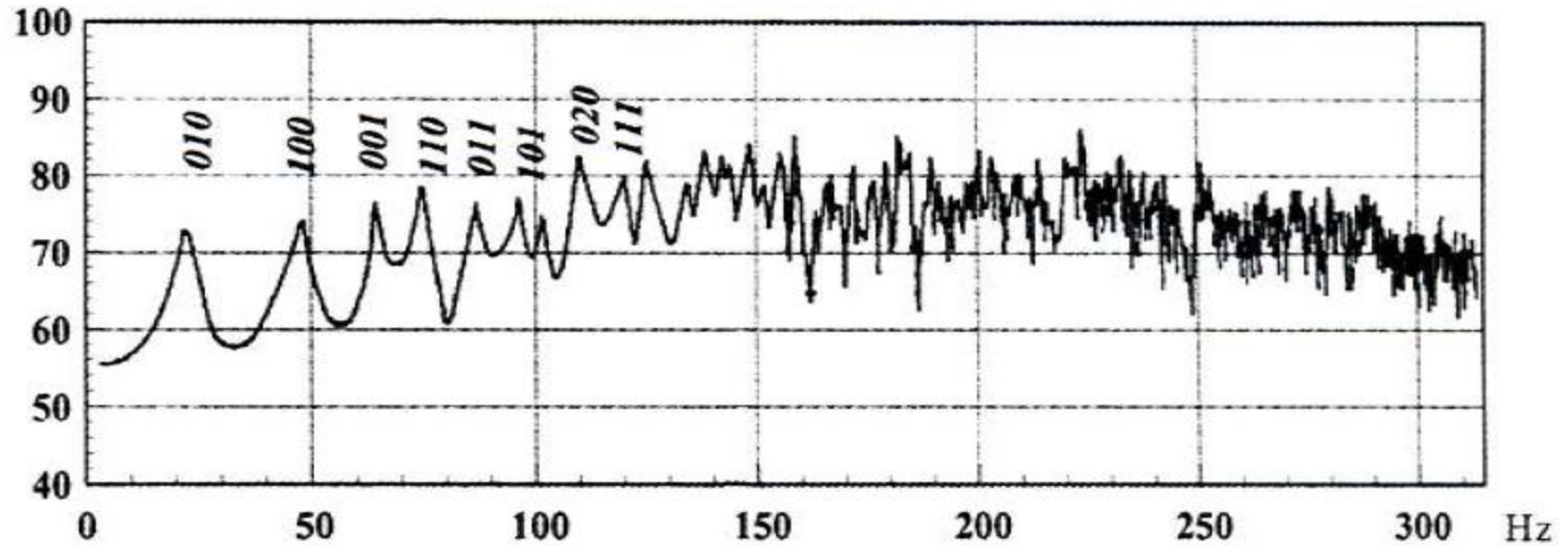


# Διάγραμμα Bolt-Beraneck-Newman



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 ανεξάρτητος από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Μετρούμενη στάθμη του ανακλώμενου ήχου ανεξάρτητη από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Ο απευθείας ήχος ο ανακλώμενος ήχος είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους

# Το ηχητικό πεδίο στη ζώνη των στάσιμων κυμάτων

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 ανεξάρτητος από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Μετρούμενη στάθμη του ανακλώμενου ήχου ανεξάρτητη από τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου
- Ο απευθείας ήχος ο ανακλώμενος ήχος είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους

Παράμετρος	Μικρός χώρος	Μεγάλος χώρος
Θεωρία	Κυματική ακουστική	Γεωμετρική ακουστική
Όγκος	Μικρός (Διαστάσεις Παρόμοιες με μήκος κύματος των χαμηλών ακουστικών συχνοτήτων)	Μεγάλος
Πτώση ηχητικού πεδίου	Ρυθμός πτώσης στάσιμων κυμάτων	Χρόνος αντήχησης
Ηχητικό πεδίο	Ανομοιόμορφο (Συντονισμός: κορυφές και κοιλίες)	Ομοιόμορφο
Ενέργεια του ηχητικού πεδίου	Η ηχητική ενέργεια φέρεται από συγκεκριμένα στάσιμα σε συγκεκριμένες συχνότητες	Ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής ενέργειας και τυχαία διεύθυνση της διάδοσης του ήχου

**Πίνακας 8.2: Πίνακας σύγκρισης μικρών και μεγάλων χώρων**

Μικρός χώρος	Μεγάλος χώρος
Μελέτη σε μεμονωμένες συχνότητες	Μελέτη σε σχετικά μεγάλα συχνοτικά εύρη (πχ οκταβικές ζώνες)

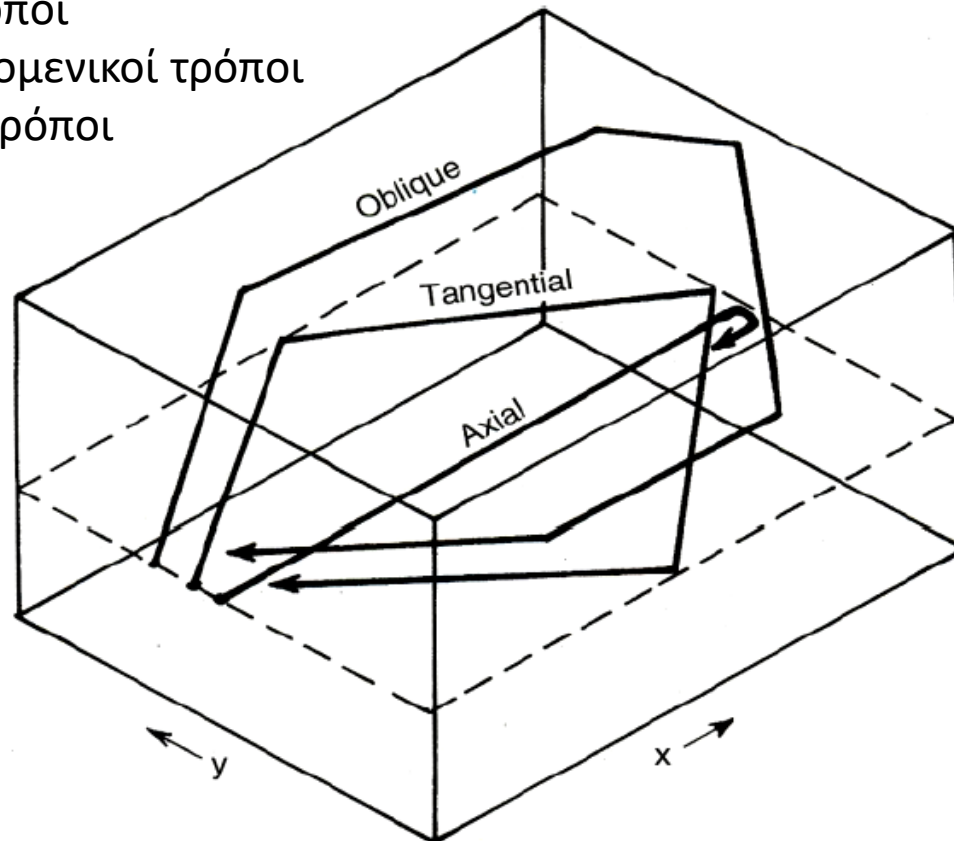
*Στην πράξη όλοι οι χώροι είναι ταυτόχρονα μικροί και μεγάλοι ανάλογα με τη συχνότητα την οποία μελετάμε!*

# Κλειστές διαδρομές

Axial modes= αξονικοί τρόποι

Tangential modes= εφαπτομενικοί τρόποι

Oblique modes= πλάγιοι τρόποι



Σχήμα 3. Όλοι οι τρόποι δόνησης στον τρισδιάστατο χώρο [3]

# Υπολογισμός ιδιοσυχνοτήτων για ορθογώνιο δωμάτιο

Ιδιοσυχνότητες ορθογωνίου δωματίου:

$L_x$ : μήκος (m)

$L_y$ : πλάτος (m)

$L_z$ : ύψος (m)

$$f = (n_x, n_y, n_z) = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}$$

Συγκεκριμένα:

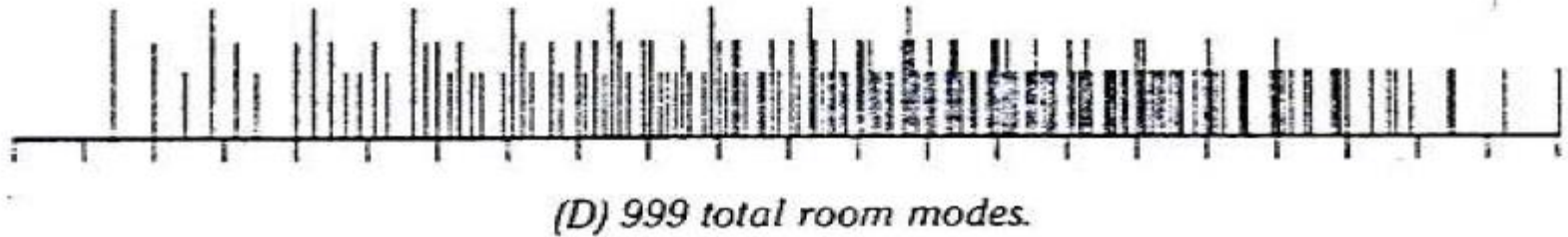
- Οι εφαιπτομενικοί τρόποι δόνησης έχουν το 1/2 της ενέργειας των αξονικών, άρα 3 dB χαμηλότερη στάθμη και
- Οι πλάγιοι τρόποι δόνησης έχουν το 1/4 της ενέργειας των αξονικών, άρα 6 dB χαμηλότερη στάθμη.

Τρόποι δόνησης	Πλήθος ανακλάσεων	Ενέργεια	Στάθμη
Αξονικοί	2 επιφάνειες	1	0
Εφαιπτομενικοί	4 επιφάνειες	1/2	- 3 dB
Πλάγιοι	6 επιφάνειες	1/4	- 6 dB

Αυτό δεν ισχύει πάντως σε όλες τις περιπτώσεις, αφού στην περίπτωση ανώμαλης κατανομής των απορροφητικών υλικών στις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με τα απορροφητικά υλικά του κάθε τοίχου μπορεί να τύχει ένας εφαιπτομενικός τρόπος ταλάντωσης να είναι πιο έντονος από έναν αξονικό.

# Κατανομή ιδιοσυχνοτήτων

Κυβικό δωμάτιο



Δωμάτιο με βέλτιστες αναλογίες



# Προτεινόμενες αναλογίες διαστάσεων

		Height	Width	Length
Sepmeyer	A	1.00	1.14	1.39
	B	1.00	1.28	1.54
	C	1.00	1.60	2.33
Louden	D	1.00	1.40	1.90
	E	1.00	1.30	1.90
	F	1.00	1.50	2.50
Volkman	G	1.00	1.50	2.50
Boner	H	1.00	$\sqrt[3]{2} = 1.26$	$\sqrt[3]{4} = 1.59$

Πίνακας 2. Διάφορες προτάσεις για βέλτιστες αναλογίες ενός χώρου [2], [4], [10]

# Άσκηση 0

- Προτείνεται εναλλακτικές διαστάσεις ορθογώνιου δωματίου σε κτίριο με ύψος ορόφου 2.8 m κάνοντας χρήση των αναλογιών του Serpmeyer.

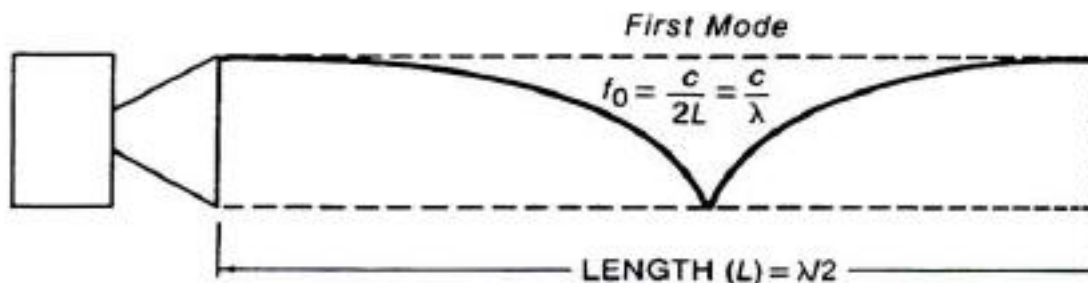
# Τρόποι ταλάντωσης (ιδιομορφές)

- Η χαρακτηριστική μορφή του ηχητικού πεδίου όταν ο χώρος διεγείρεται από μία συχνότητα που συμπίπτει με ιδιοσυχνότητα του χώρου
- <https://www.youtube.com/watch?v=wvJAgRU BF4w&t=4s>

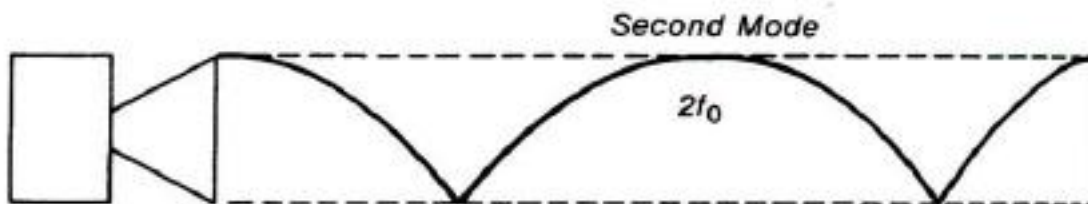
# Στάσιμα κύματα σε σωλήνα

<https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/StandingWaves/StandingWaves.html>

<https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/phase-p-u/phase-p-u.html>



$$p(x) = A \cos \frac{\pi x}{L}$$



$$p(x) = A \cos \frac{2\pi x}{L}$$

Third Mode =  $3f_0$ , Fourth Mode =  $4f_0$ , etc.

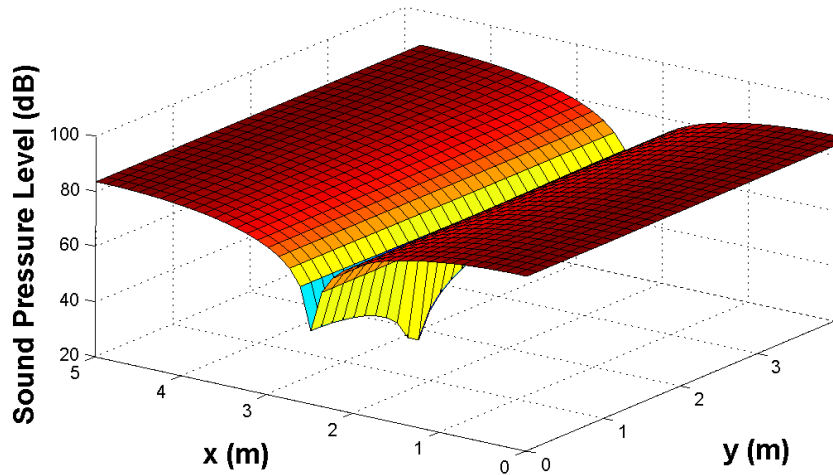
Σχήμα 2. Σχηματισμός στάσιμων κυμάτων σε σωλήνα [1]

Γενικός τύπος για τη  
n-ιοστή ιδιομορφή :

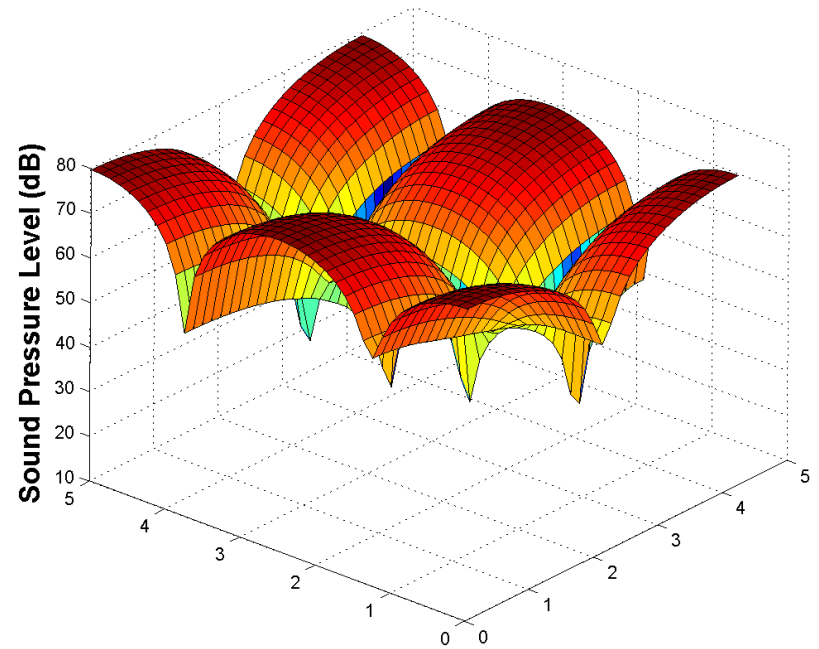
$$\Psi_n(x) = \cos \frac{n\pi x}{L}$$

# Τρόποι ταλάντωσης σε ορθογώνιο δωμάτιο

(1,0,0)

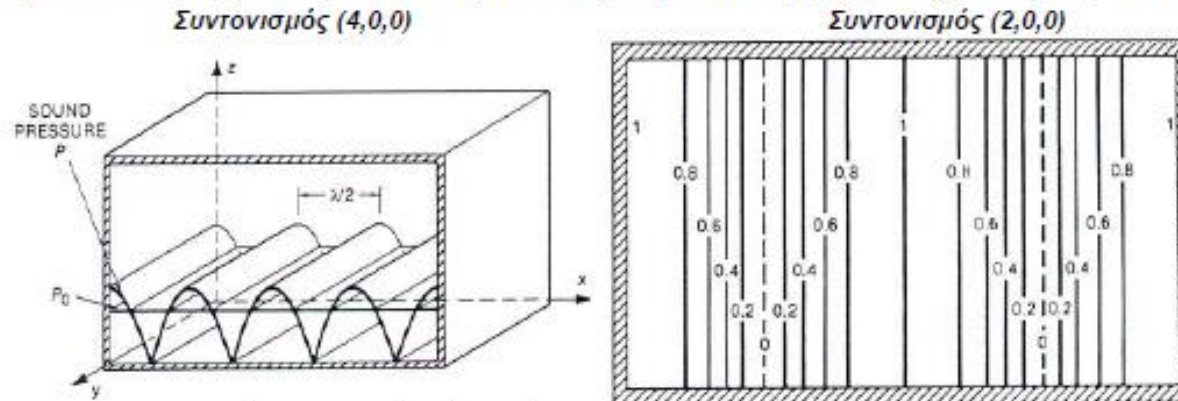


(2,1,0)



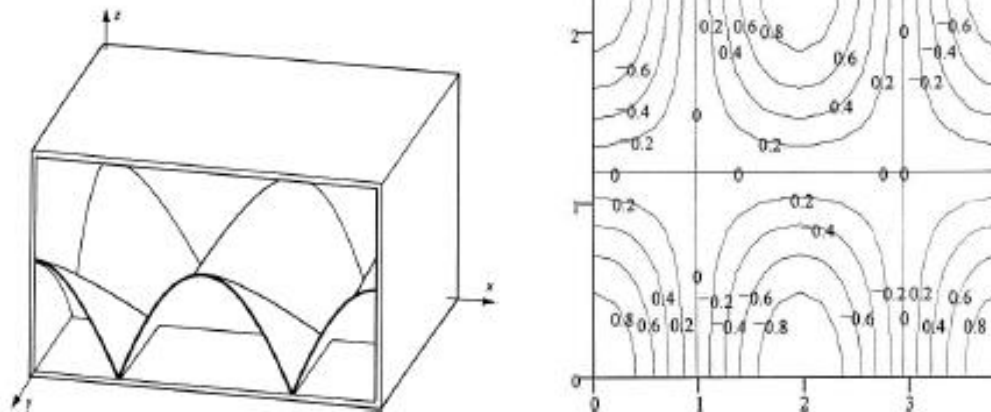
# Ισουψείς καμπύλες

Παρακάτω δίνουμε μερικά παραδείγματα για έναν παραλληλεπίπεδο χώρο με το ηχείο σε μια γωνία του:



Σχήμα 7. Αξονικός τρόπος δόνησης (α) (4,0,0) - τρισδιάστατη απεικόνιση, (β) (2,0,0) - χαρτογράφηση ισοϋψών καμπυλών [1]

**Συντονισμός (2,1,0)**



Σχήμα 8 Εφαπτομενικός τρόπος δόνησης, (α) τρισδιάστατη απεικόνιση [1], (β) χαρτογράφηση ισοϋψών καμπυλών [10]

# Σχεδιασμός σημείων μεγίστων και ελαχίστων σε μία ιδιομορφή

- Ξεκινάμε με τη χάραξη των σημείων μηδενικής πίεσης που επίσης λέγονται κομβικές γραμμές. Οι κομβικές γραμμές είναι ο γεωμετρικός τύπος των σημείων που το πλάτος της ακουστική πίεσης είναι μηδέν και στα ορθογώνια δωμάτια είναι πάντα ευθείες γραμμές.
- Μια ιδιομορφή με ταυτότητα  $(\alpha, \beta, 0)$  θα έχει πάντα  $\alpha$  κομβικές γραμμές κάθετες στον άξονα  $x$  και  $\beta$  κομβικές γραμμές κάθετες στον άξονα  $y$ .
- Αν η ιδιομορφή είναι αξονική, τα σημεία μεγίστου πλάτους είναι ευθείες γραμμές. Αν η ιδιομορφή είναι εφαπτομενική, τα σημεία είναι μεμονωμένα σημεία.

# Σχεδιασμός κομβικών γραμμών σε μία ιδιομορφή

Έστω λοιπόν ότι μας δίνεται η ιδιομορφή  $(\alpha, \beta, 0)$  και οι διαστάσεις του δωματίου  $Lx$  και  $Ly$  (η  $Lz$  θεωρούμε ότι είναι πολύ μικρότερη από τις άλλες διαστάσεις οπότε δεν τη λαμβάνουμε υπόψιν). Για να σχεδιάσουμε τις κομβικές γραμμές ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα.

- Αν η ιδιομορφή είναι εφαπτομενική, τη σπάμε στις δύο αξονικές της συνιστώσες  $(\alpha, 0, 0)$  και  $(0, \beta, 0)$  και μελετάμε κάθε περίπτωση χωριστά.
- Έστω ότι μελετάμε τώρα την  $(\alpha, 0, 0)$  ιδιομορφή. Χωρίζουμε τον μήκος του δωματίου σε  $2a$  ισομήκη τμήματα. Οι συντεταγμένες αυτών των σημείων θα εμφανίζονται προφανώς ως εξής: πρώτο σημείο:  $x = 0$ , δεύτερο σημείο  $x = \frac{Lx}{2a}$ , τρίτο σημείο  $x = \frac{2Lx}{2a}$ , τέταρτο σημείο  $x = \frac{3Lx}{2a}$ , ... προτελευταίο σημείο  $x = \frac{(2a-1)Lx}{2a}$  και τελευταίο σημείο  $x = Lx$ .
- Οι κομβικές γραμμές θα είναι κάθετες στον άξονα των  $x$  και θα περνάνε από τα σημεία που είναι περιττά πολλαπλάσια της υποδιαίρεσης  $\frac{Lx}{2a}$ , δηλαδή από τα  $\frac{Lx}{2a}, \frac{3Lx}{2a}, \dots$ , και  $\frac{(2a-1)Lx}{2a}$ .
- Κάνουμε το ίδιο για την  $(0, \beta, 0)$  ιδιομορφή και σχεδιάζουμε τις κομβικές γραμμές μαζί με τις προηγούμενες.

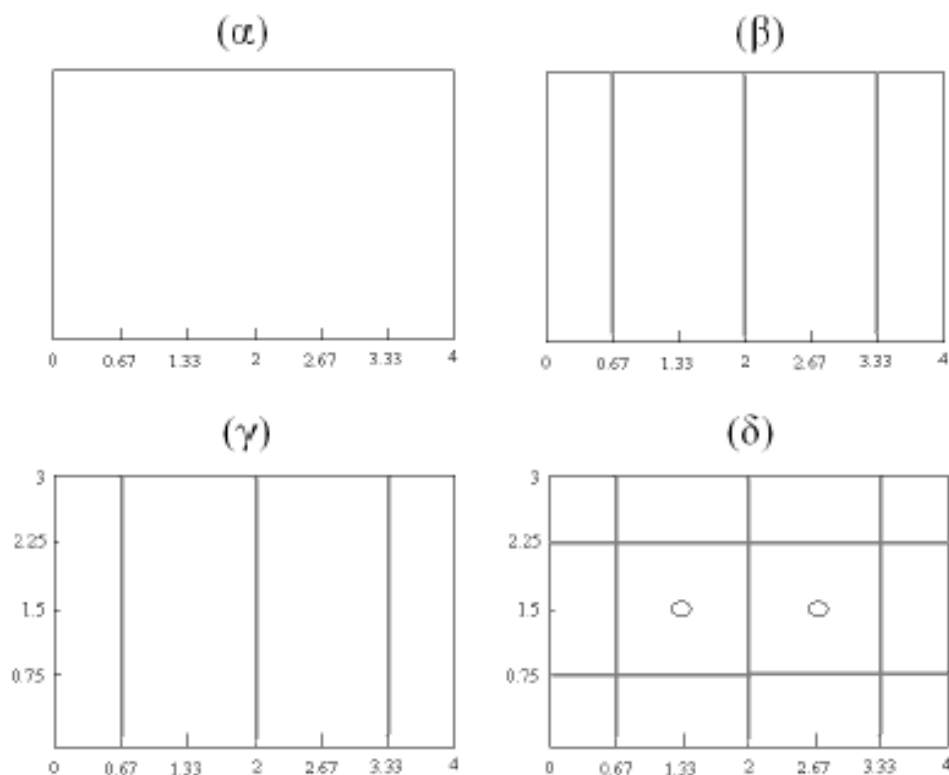
# Άσκηση 1

- 1) Σχεδιάστε τις κομβικές γραμμές της (3,2) ιδιομορφής σε ένα δωμάτιο διαστάσεων  $4 \times 3 \text{ m}$ .
- 2) Ποια είναι η συχνότητα εμφάνισης της ιδιομορφής?
- 3) Δείξτε που θα βρίσκονται 6 σημεία μέγιστης πίεσης.

# Άσκηση 1

**Παράδειγμα:** Σχεδιάστε τις κομβικές γραμμές της (3,2,0) ιδιομορφής σε ένα δωμάτιο διαστάσεων 4x3 m. Υποδείξτε δύο διαφορετικά σημεία μεγίστης πίεσης τα οποία είναι μακριά από τις περατωτικές επιφάνειες του χώρου.

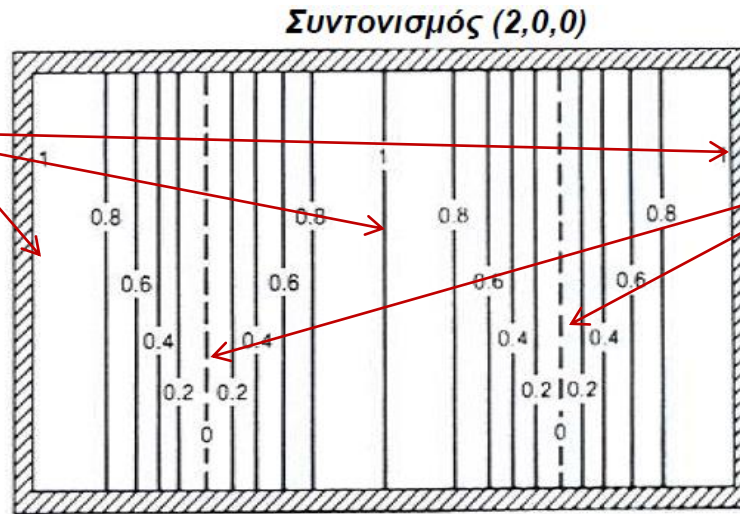
**Απάντηση:** Χωρίζουμε το μήκος του δωματίου σε 6 ισομήκη τμήματα. Οι συντεταγμένες των σημείων θα είναι  $x=0$ ,  $x=1*4/6=0.67$ ,  $x=2*4/6=1.33$ ,  $x=3*4/6=2$ ,  $x=4*4/6=2.67$ ,  $x=5*4/6=3.33$  και  $x=4$  m. Αυτό το βήμα φαίνεται στο σχήμα 3(α). Τραβάμε τις κάθετες γραμμές στις περιττές υποδιαυρέσεις σύμφωνα με το σχήμα 3(β). Χωρίζουμε το πλάτος του δωματίου σε 4 ισομήκη τμήματα. Οι συντεταγμένες των σημείων θα είναι  $y=0$ ,  $y=1*3/4=0.75$ ,  $y=2*3/4=1.5$ ,  $y=3*3/4=2.25$  και  $y=3$  m (βλ. σχήμα 3(γ)). Τραβάμε τις κάθετες γραμμές στις περιττές υποδιαυρέσεις σύμφωνα με το σχήμα 3(δ). Έχουμε τελικά σχεδιάσει τις κομβικές γραμμές.



Σχήμα 3. Παράδειγμα για το σχεδιασμό των κομβικών γραμμών σε ένα δισδιάστατο δωμάτιο.

# Αξονική ιδιομορφή σε ορθογώνιο δωμάτιο

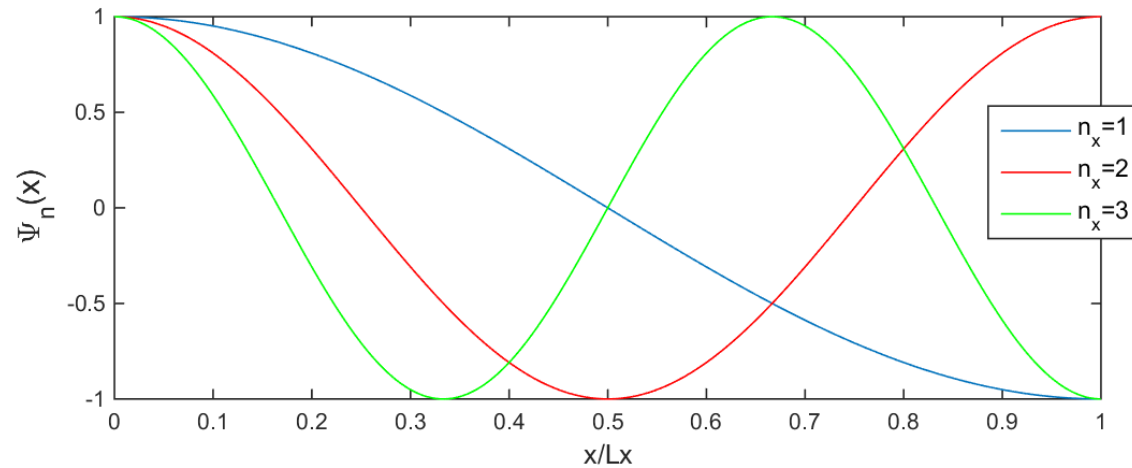
$$\left| \cos\left(\frac{2\pi x}{L_x}\right) \right| = 1$$



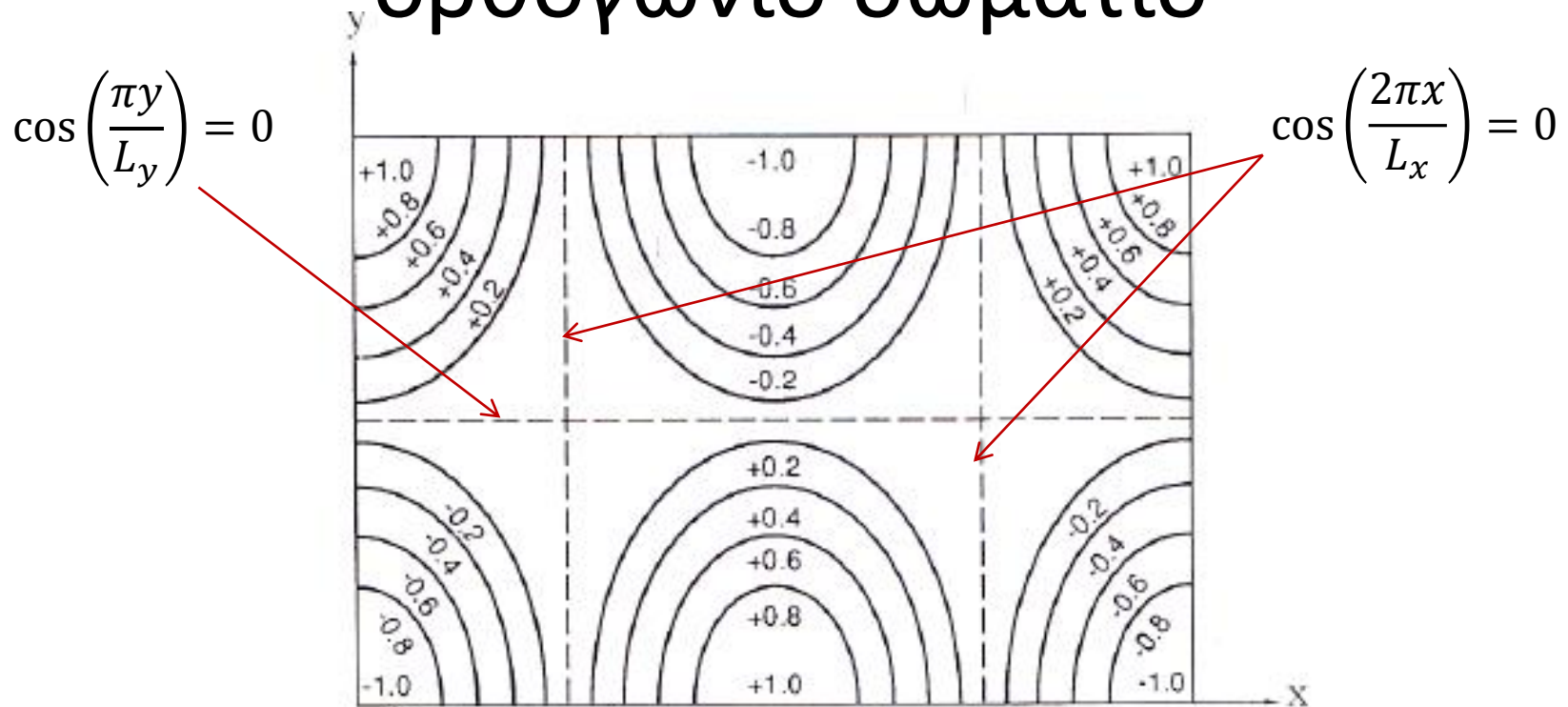
$$\cos\left(\frac{2\pi x}{L_x}\right) = 0$$

Αξονική ιδιομορφή ( $n_x, 0, 0$ )

$$\Psi_n = \Psi_n(x) = \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right)$$



# Εφαπτομενική ιδιομορφή σε ορθογώνιο δωμάτιο



Σχήμα 4. Αναπαράσταση της (2,1,0) ιδιομορφής με ισοφασικές καμπύλες και με ακριβής απεικόνιση της φάσης.

Γενικός τύπος για την  $(n_x, n_y, 0)$  ιδιομορφή :

$$\Psi_n = \Psi_n(x, y) = \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right).$$

# Κανονική συνάρτηση

Γενικός τύπος για την  $(n_x, n_y, n_z)$  ιδιομορφή

$$\Psi_n(\mathbf{r}) = \Psi_n(x, y, z) = \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{L_z}\right)$$

# Η κανονική συνάρτηση

$$\Psi_n(\mathbf{r}) = \Psi_n(x, y, z) = \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{L_z}\right)$$

Συντεταγμένες δέκτη:  $\mathbf{r}_\delta = (x_\delta, y_\delta, z_\delta)$

Συντεταγμένες ηχητικής πηγής:  $\mathbf{r}_\pi = (x_\pi, y_\pi, z_\pi)$

$\Psi_n(\mathbf{r}_\delta)$  Βαθμός ανίχνευσης της  $n$ -ιοστής ιδιομορφής στο ηχητικό πεδίο στη συγκεκριμένη θέση του δέκτη

$\Psi_n(\mathbf{r}_\pi)$  Βαθμός διέγερσης της  $n$ -ιοστής ιδιομορφής από την ηχητική πηγή στη συγκεκριμένη θέση

---

# Άσκηση 2

- Έχουμε ένα ορθογώνιο δωμάτιο με διαστάσεις  $4 \times 5 \times 2.8$  m και μέσα σε αυτό ένα πανκατευθυντικό **ηχείο** τοποθετημένο σε σταθερή θέση στο χώρο και ένα πανκατευθυντικό **μικρόφωνο** το οποίο μπορεί να αλλάζει θέση
- 1) Θεωρώντας ότι στην συχνότητα των 67 Hz το ηχητικό πεδίο περιγράφεται πλήρως από την ιδιομορφή  $(0,2,0)$ , υπολογίστε τη διαφορά στη στάθμη της ακουστικής πίεσης κατά τη μετακίνηση του **μικροφώνου** από τη θέση  $(1.2, 1.2, 0.1)$  m στη θέση  $(0.3, 0.3, 0.1)$  m.
- 2) Θεωρώντας ότι στην συχνότητα των 92 Hz το ηχητικό πεδίο περιγράφεται πλήρως από την ιδιομορφή  $(2,1,0)$ , υπολογίστε τη διαφορά στη στάθμη της ακουστικής πίεσης κατά τη μετακίνηση του **μικροφώνου** από τη θέση  $(1.2, 1.2, 0.1)$  m στη θέση  $(0.3, 0.3, 0.1)$  m.

# Άσκηση 3

- Έχουμε ένα ορθογώνιο δωμάτιο με διαστάσεις  $4 \times 5 \times 2.8$  m και μέσα σε αυτό ένα πανκατευθυντικό **μικρόφωνο** τοποθετημένο σε σταθερή θέση στο χώρο και ένα πανκατευθυντικό **ηχείο** το οποίο μπορεί να αλλάζει θέση
- 1) Θεωρώντας ότι στην συχνότητα των 67 Hz το ηχητικό πεδίο περιγράφεται πλήρως από την ιδιομορφή  $(0,2,0)$ , υπολογίστε τη διαφορά στη στάθμη της ακουστικής πίεσης κατά τη μετακίνηση του **ηχείου** από τη θέση  $(1.2, 1.2, 0.1)$  m στη θέση  $(0.3, 0.3, 0.1)$  m.
- 2) Θεωρώντας ότι στην συχνότητα των 92 Hz το ηχητικό πεδίο περιγράφεται πλήρως από την ιδιομορφή  $(2,1,0)$ , υπολογίστε τη διαφορά στη στάθμη της ακουστικής πίεσης κατά τη μετακίνηση του **ηχείου** από τη θέση  $(1.2, 1.2, 0.1)$  m στη θέση  $(0.3, 0.3, 0.1)$  m.

Τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια με την Άσκηση 2 !

# Η κανονική συνάρτηση

$$\Psi_n(\mathbf{r}) = \Psi_n(x, y, z) = \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{L_z}\right)$$

Συντεταγμένες δέκτη:  $\mathbf{r}_\delta = (x_\delta, y_\delta, z_\delta)$

Συντεταγμένες ηχητικής πηγής:  $\mathbf{r}_\pi = (x_\pi, y_\pi, z_\pi)$

$\Psi_n(\mathbf{r}_\delta)$  Βαθμός ανίχνευσης της  $n$ -ιοστής ιδιομορφής στο ηχητικό πεδίο στη συγκεκριμένη θέση του δέκτη

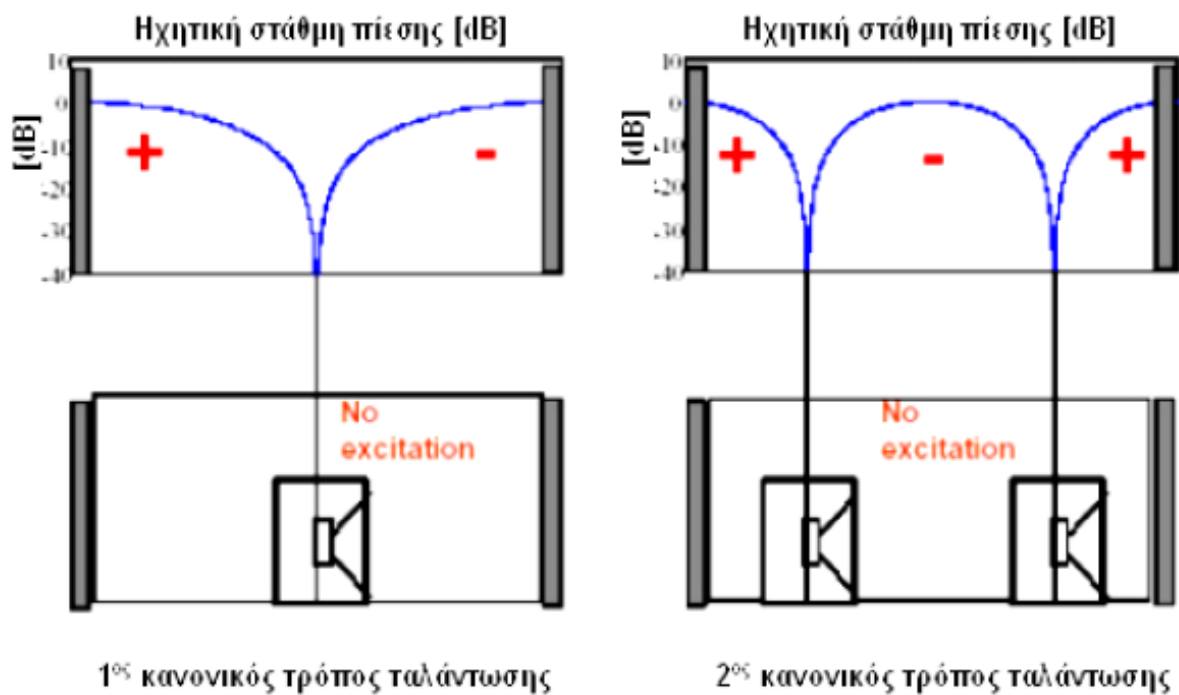
$\Psi_n(\mathbf{r}_\pi)$  Βαθμός διέγερσης της  $n$ -ιοστής ιδιομορφής από την ηχητική πηγή στη συγκεκριμένη θέση

---

$\Psi_n(\mathbf{r}_\delta) \cdot \Psi_n(\mathbf{r}_\pi)$  Συνεισφορά της  $n$ -ιοστής ιδιομορφής στην ακουστική πίεση στη θέση του δέκτη ( $\mathbf{r}_\delta$ ) λόγω μιας ηχητικής πηγής στη θέση  $\mathbf{r}_\pi$ .

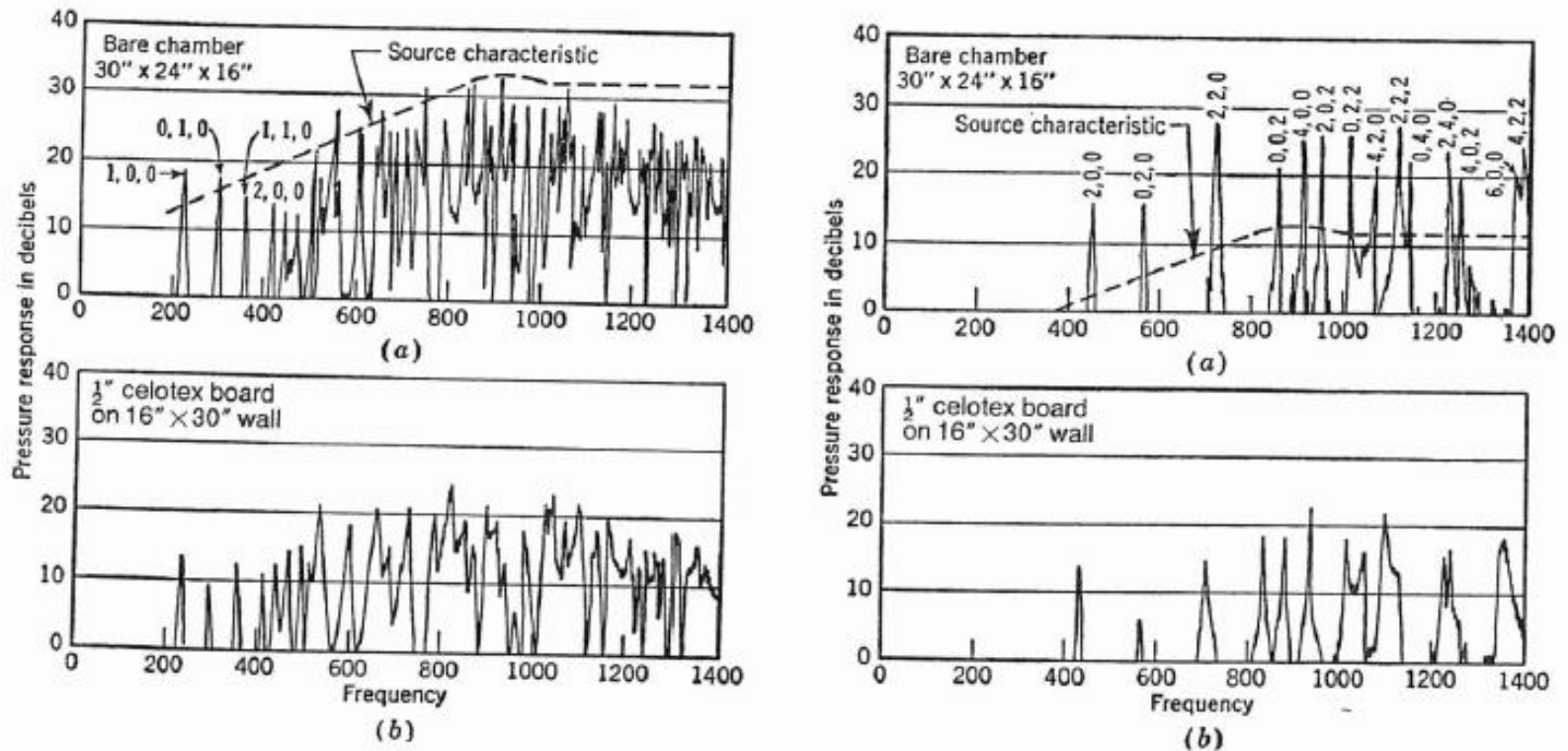
# Σημασία της θέσης της πηγής

Οι έντονες διακυμάνσεις στο χώρο μπορούν να αποτελέσουν σοβαρό πρόβλημα και στην τοποθέτηση των ηχείων σε ένα δωμάτιο, σε περίπτωση που τύχει να πέσουμε σε θέση δεσμού, όπως στο παρακάτω σχήμα:



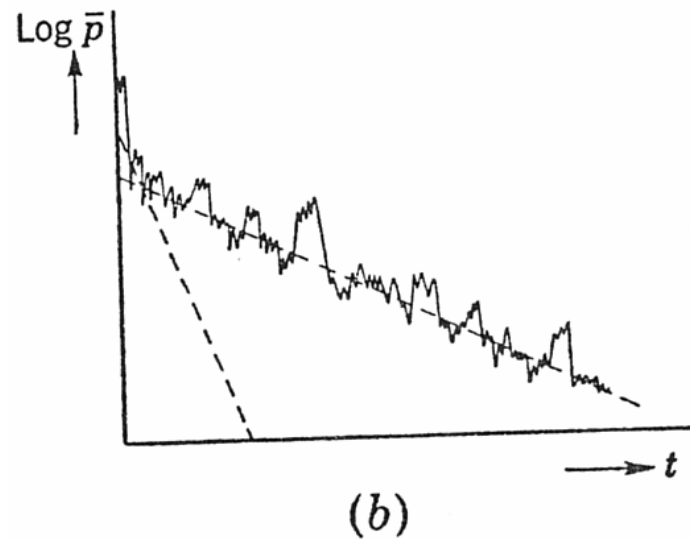
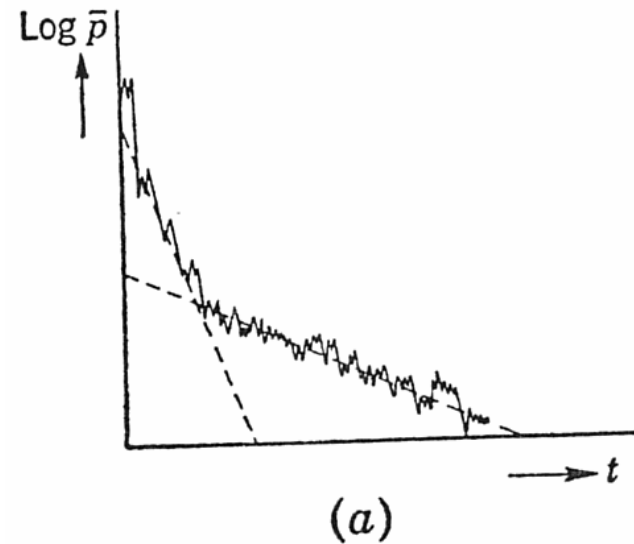
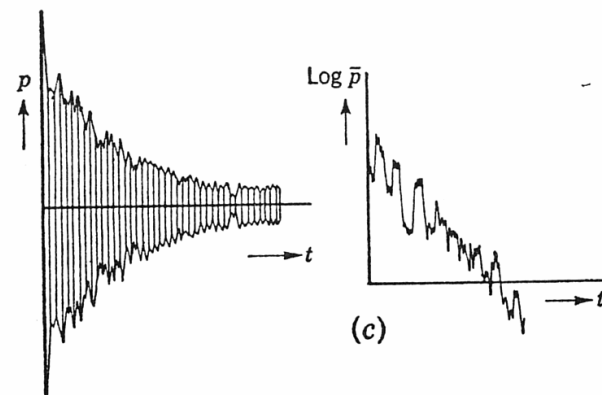
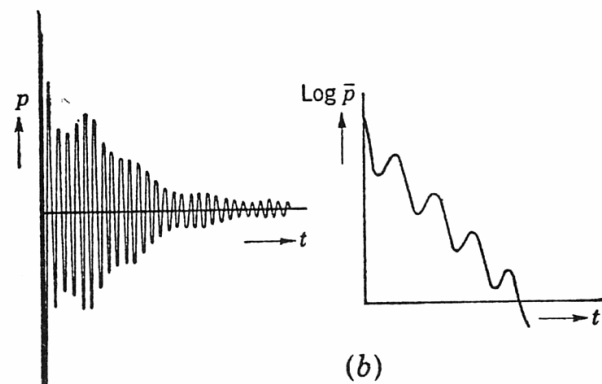
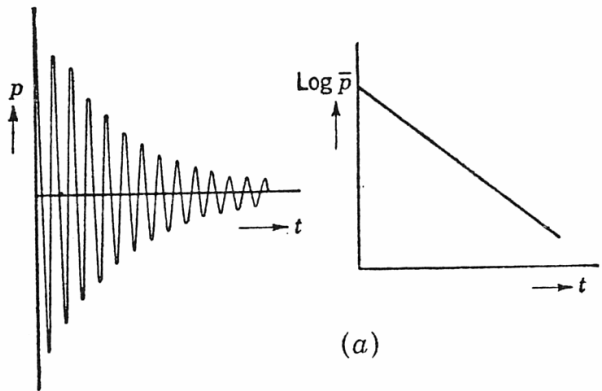
Σχήμα 13 Τοποθέτηση ηχείων σε θέσεις δεσμών [12]

# Σημασία της θέσης της πηγής



Σχήμα 5. Συχνотική απόκριση σε τρισδιάστατο ορθογώνιο δωμάτιο για ένα δέκτη τοποθετημένο σε γωνία του δωματίου. Στη μία περίπτωση η πηγή τοποθετείται στην απέναντι γωνία (αριστερά διαγράμματα) και στην άλλη, στο κέντρο του δωματίου (δεξιά διαγράμματα).

# Ρυθμοί μείωσης στάσιμων κυμάτων



# Ηχητικό πεδίο σε τρισδιάστατο ορθογώνιο δωμάτιο

Μέθοδος άθροισης των ιδιομορφών

$$p(\omega) = \rho c^2 \frac{q\omega}{V} \sum_0^{\infty} A_n \frac{\Psi_n(\mathbf{r}_{\text{πηγής}}) \Psi_n(\mathbf{r}_{\text{δέκτη}})}{2\omega_n \zeta_n + j(\omega^2 - \omega_n^2)}$$

$\mathbf{r}_{\text{πηγής}}$ : Συντεταγμένες της πηγής (x, y, z)

$\mathbf{r}_{\text{δέκτη}}$ : Συντεταγμένες του δέκτη (x, y, z)

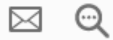
$q$ : ηχητική δύναμη της πηγής

$\omega_n$ : γωνιακή συχνότητα της ιδιομορφής

$\omega$ : η συχνότητα της πηγής

$\zeta_n$ : η απόσβεση του  $n$ -ιστού στάσιμου κύματος

$A_n$ : παράγοντας κλίμακας του  $n$ -ιστού στάσιμου κύματος



$\Psi_n = A_n \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{L_z}\right)$  (8.11): η κανονική συνάρτηση για το παραλληλεπίπεδο δωμάτιο, αντίστοιχα στο σημείο  $r$  και στο σημείο  $r_o$   
 $\zeta_n$ : ο συντελεστής απόσβεσης του  $n$ -οστού στάσιμου κύματος  
 $A_n$ : ο παράγοντας κλίμακας που ορίζεται από κάθε στάσιμο κύμα

Το συνολικό ηχητικό πεδίο μέσα στο δωμάτιο περιγράφεται αν στον παραπάνω τύπο για το αντηχητικό πεδίο προστεθεί και το απευθείας ηχητικό πεδίο (direct field) της ηχητικής πηγής, που δίνεται από τον τύπο:

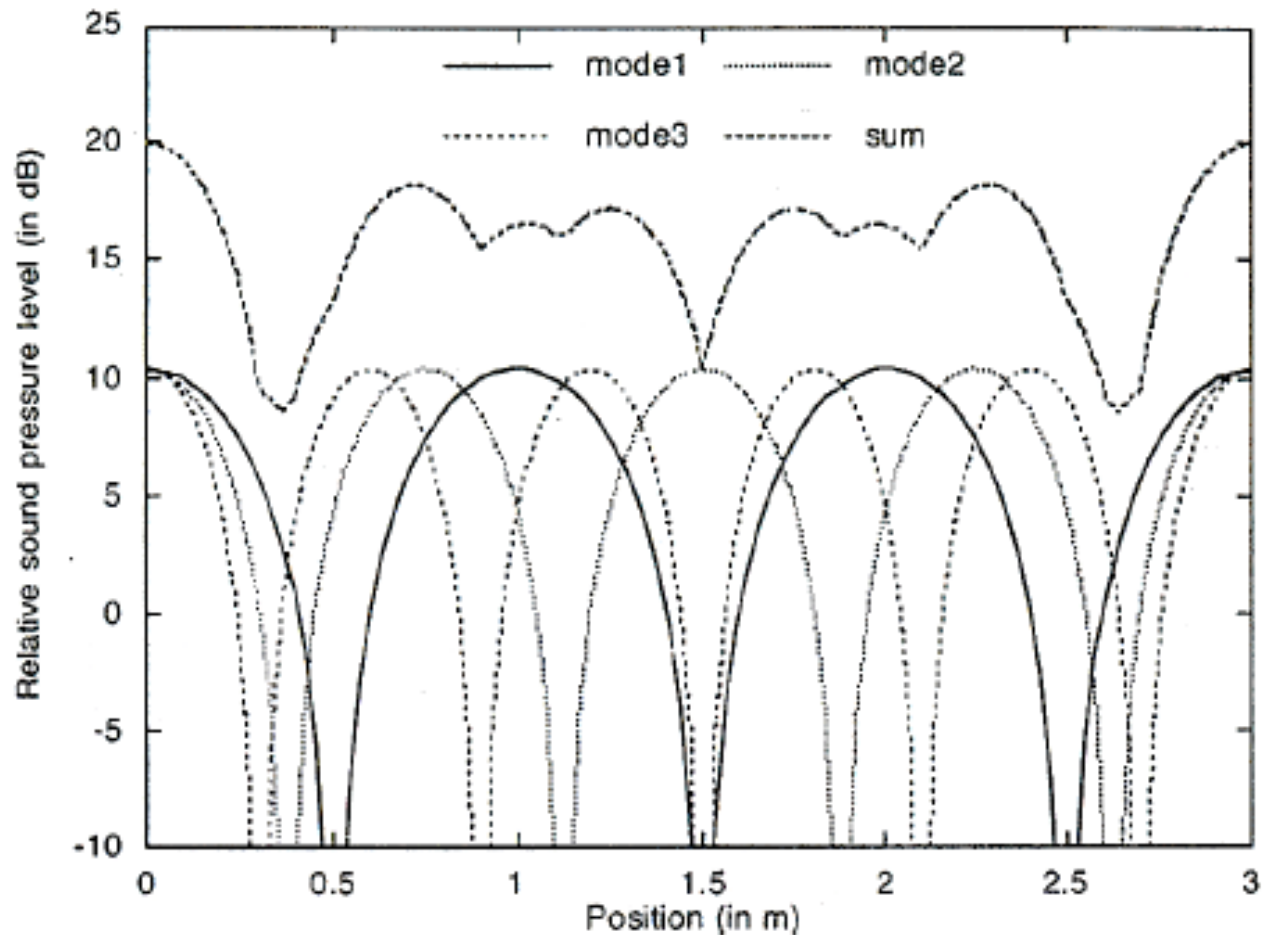
$$p_{dir} = \frac{j\omega\rho q}{4\pi|r - r_o|} e^{j\omega\left(t - \frac{|r-r_o|}{c}\right)} \quad (8.12)$$

Το συνολικό ηχητικό πεδίο μέσα σε ένα παραλληλεπίπεδο δωμάτιο περιγράφεται από τη λύση της παρακάτω κυματικής εξίσωσης:

$$p_{tot} = \frac{j\omega\rho q}{4\pi|r - r_o|} e^{j\omega\left(t - \frac{|r-r_o|}{c}\right)} + \rho c^2 \sum_0^{\infty} \frac{q\omega \Psi_n(r)\Psi_n(r_o)}{V\Lambda(2\omega_n\zeta_n + j(\omega^2 - \omega_n^2))} e^{j\omega t} \quad (8.13)$$

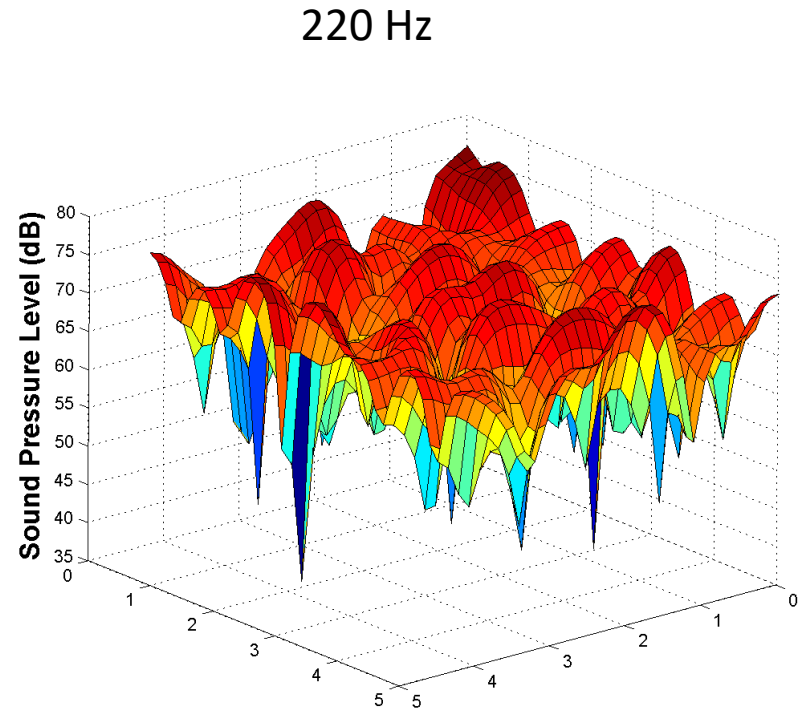
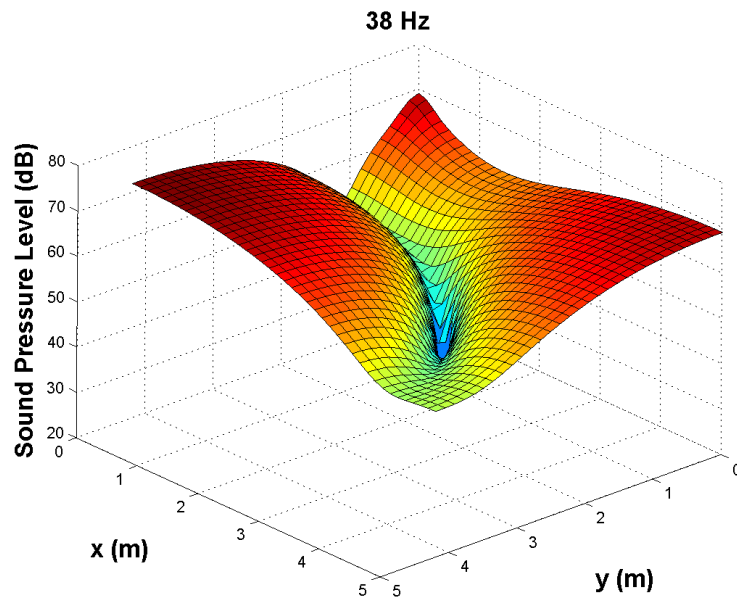
Ο παραπάνω τύπος με τη βοήθεια υπολογιστικών μοντέλων μπορεί να παρέχει και να σχεδιάσει το ηχητικό πεδίο μέσα σε ένα δωμάτιο.

# Οι τρόποι ταλάντωσης υπερτίθενται!



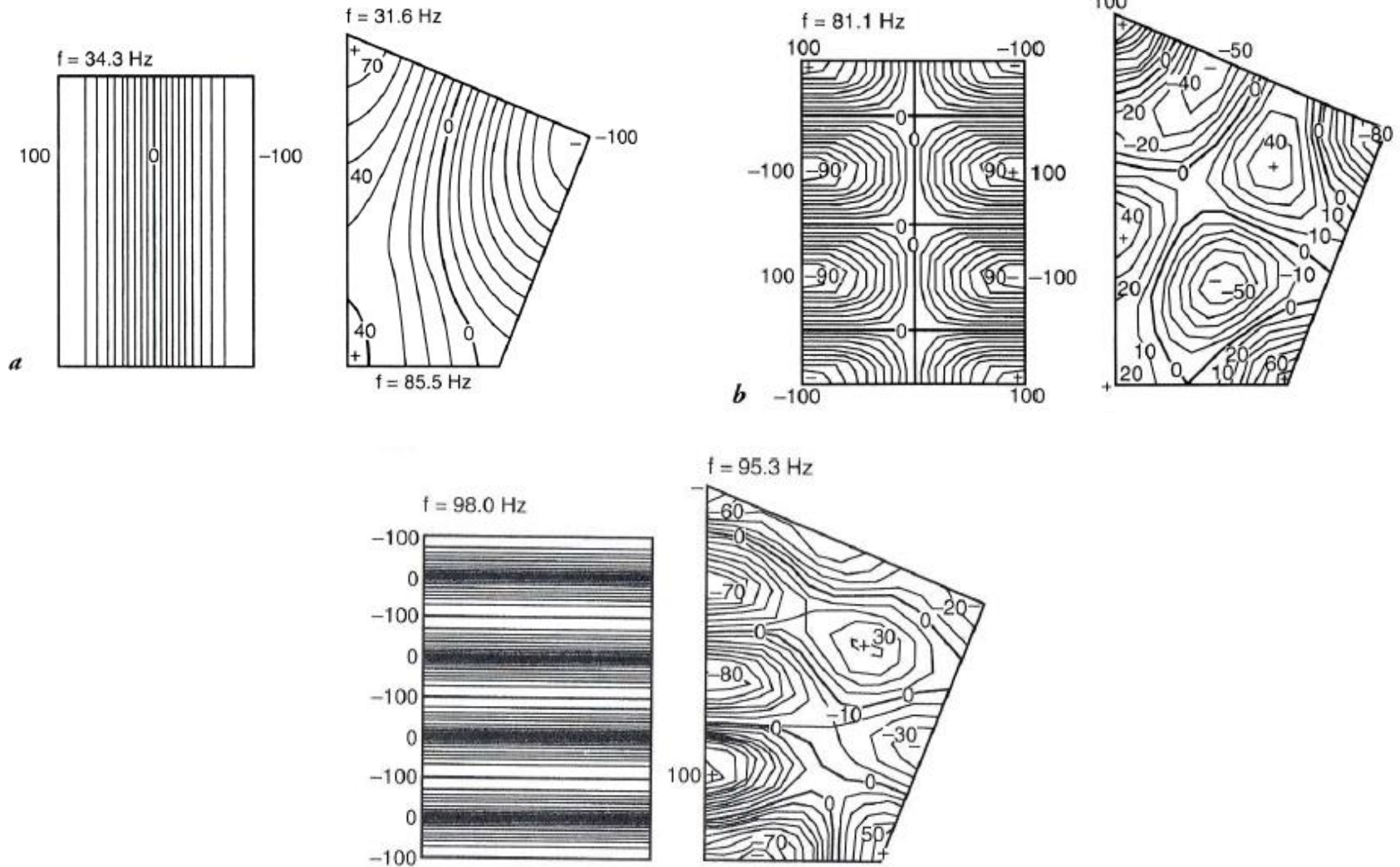
Σχήμα 12 Το χωρικό αποτέλεσμα του αθροίσματος τριών γειτονικών τρόπων δόνησης σε ένα χώρο [2]

# Διακυμαίνση της πίεσης για τυχαίες συχνότητες

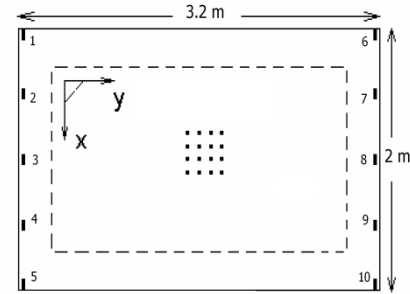


$L_x=5, L_y=4.2, L_z=0.2$

# Ιδιομορφές σε μη ορθογώνιες γεωμετρίες



# Ισοστάθμιση ηχητικού πεδίου σε ορθογώνιο δωμάτιο



$f = 450 \text{ Hz}$

