

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ
ΣΕ ΗΧΗΤΙΚΟ ΣΩΛΗΝΑ (KUNDT)
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ**

A. ΣΤΟΧΟΙ

- Η εξοικείωση με τη χρήση απλών πειραματικών διατάξεων.
- Η εξοικείωση με τη χρήση γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων.
- Η ικανότητα εύρεσης των μέγιστων του στάσιμου ακουστικού κύματος.
- Η εξοικείωση με μετρήσεις μήκους.
- Η εξοικείωση με μετρήσεις θερμοκρασίας.
- Η εφαρμογή θεωρητικών γνώσεων στην εξαναγκασμένη ταλάντωση όγκου αέρα.
- Η κατανόηση και η εκτίμηση των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά τις μετρήσεις.

B. ΘΕΜΑ

- Ήχος γνωστής συχνότητας διεγείρει σε εξαναγκασμένη ταλάντωση όγκο αέρα, του οποίου η ιδιοσυχνότητα μπορεί να μεταβάλλεται. Κατά τον συντονισμό μετράμε το μήκος κύματος λ και από αυτό βρίσκουμε πειραματικά την ταχύτητα v_{θ} του ήχου στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου καθώς και την ταχύτητα v_{\circ} του ήχου σε θερμοκρασία 0°C .

Γ. ΟΡΓΑΝΑ

- Διαφανής κυλινδρικός σωλήνας μήκους 70 cm με χειροκίνητο έμβολο πάνω σε βάση στήριξης
- Μεγάφωνο ισχύος 0,25 W ενσωματωμένο στη βάση κοντά στο ανοικτό άκρο του σωλήνα
- Γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων με ενισχυτή 10 W
- Μετροταινία ενσωματωμένη στον διαφανή σωλήνα
- Θερμόμετρο $0 - 40^{\circ}\text{C}$ (δωματίου)

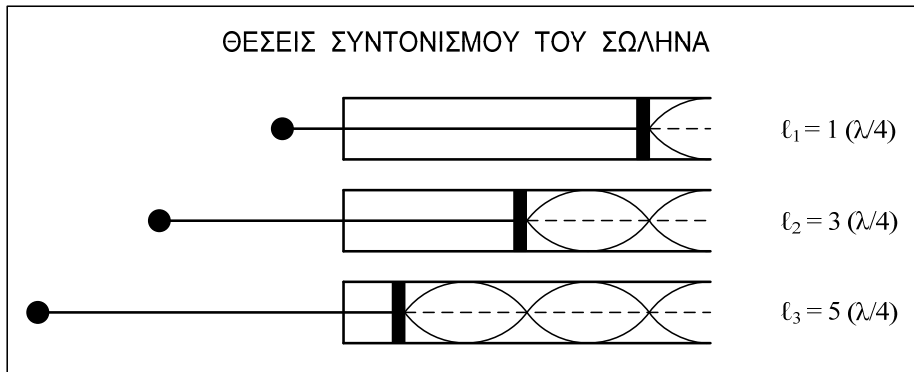
Δ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Για την πραγματοποίηση και κατανόηση της άσκησης χρειάζονται οι παρακάτω γνώσεις από το σχολικό βιβλίο Κατεύθυνσης της Γ' τάξης Γενικού Λυκείου :
 - ✓ Ενότητα 1 – 6 : Μηχανικές ταλαντώσεις
 - ✓ Ενότητα 1 – 7 : Σύνθεση ταλαντώσεων
 - ✓ Ενότητα 2 – 5 : Στάσιμα κύματα

Ε. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

- Ο αέρας που βρίσκεται στον σωλήνα έχει τη δική του συχνότητα δόνησης και με κατάλληλη διέγερση μπορούν να δημιουργηθούν μόνιμα στάσιμα κύματα από τη συμβολή του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος.
- Στην παρούσα περίπτωση ο όγκος του αέρα περιορίζεται από κυλινδρικό δοχείο ανοικτό στο ένα άκρο, το άλλο άκρο του οποίου μπορεί να είναι μεταβλητό μέσω εμβόλου.
- Η διέγερση του όγκου του αέρα γίνεται από το ηχητικό κύμα που εκπέμπεται από μεγάφωνο, το οποίο τροφοδοτείται από γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων.
- Στην επιφάνεια του εμβόλου αντιστοιχεί πάντοτε δεσμικό σημείο κίνησης του στάσιμου κύματος, ενώ στο ανοικτό άκρο του σωλήνα κατά τον συντονισμό αντιστοιχεί κοιλία κίνησης. Στην πραγματικότητα η κοιλία κίνησης δημιουργείται ελαφρά έξω από το χείλος του σωλήνα.

- Κατά την έναρξη του πειράματος έχουμε το έμβολο κοντά στο ανοικτό άκρο και επιδιώκουμε συντονισμό απομακρύνοντας το έμβολο. Ο συντονισμός εντοπίζεται από την ενίσχυση του ήχου, που παράγεται από τον δονούμενο όγκο αέρα.
- Με απομάκρυνση του εμβόλου επιτυγχάνεται ενίσχυση του ήχου διαδοχικά στην πρώτη, δεύτερη, τρίτη κ.λ.π. θέση συντονισμού.



- Ο συντονισμός επιτυγχάνεται όταν το μήκος της στήλης του αέρα είναι περιττό πολλαπλάσιο του $\lambda/4$, δηλαδή όταν μεταξύ του μήκους ℓ της στήλης αέρα και του μήκους κύματος λ ισχύει η σχέση :

$$\ell = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

από την οποία βρίσκουμε :

$$\lambda = \frac{4 \ell}{2n + 1} \quad (2)$$

όπου $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Από την εξίσωση (2) υπολογίζουμε το μήκος κύματος λ για κάποια τιμή του n , αν μετρήσουμε το αντίστοιχο ℓ .
- Με γνωστά το μήκος κύματος λ και τη συχνότητα f του ήχου βρίσκουμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα για τη θερμοκρασία δωματίου από τη σχέση :

$$v = \lambda f \quad \xrightarrow{(2)}$$

$$v = \frac{4 \ell}{2n + 1} f \quad (4)$$

- Η ταχύτητα του ήχου v_θ σε θερμοκρασία δωματίου θ °C συνδέεται με την ταχύτητα του ήχου v_0 σε θερμοκρασία 0 °C με τη σχέση :

$$v_\theta = v_0 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \quad (5)$$

όπου $v_0 = 331$ m/s.

Διόρθωση του μήκους κύματος λ :

- Στην πραγματικότητα η πρώτη κοιλία κίνησης κατά τον συντονισμό δημιουργείται ελαφρά έξω από το χείλος του σωλήνα, οπότε το μήκος κύματος που θα υπολογίσουμε από την εξίσωση (2) θα έχει σφάλμα.
- Αν λοιπόν η κοιλία του στάσιμου κύματος σχηματίζεται σε απόσταση s έξω από το χείλος του σωλήνα, τότε η εξίσωση (1) για τις δύο πρώτες τιμές του n δίνει :

$$\ell_1 + s = \frac{\lambda}{4} \quad (6)$$

$$\ell_2 + s = 3 \frac{\lambda}{4} \quad (7)$$

- Με επίλυση του συστήματος των δύο εξισώσεων βρίσκουμε τη διόρθωση s και το ζητούμενο μήκος κύματος λ :

$$s = \frac{\ell_2 - 3\ell_1}{2} \quad (8)$$

$$\lambda = 2(\ell_2 - \ell_1) \quad (9)$$

ΣΤ. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

- Τοποθετούμε τη συσκευή με τον σωλήνα, το έμβολο και το μεγάφωνο στον πάγκο εργασίας.
- Έχοντας το κουμπί ρύθμισης πλάτους (AMPLITUDE) της γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων τέρμα αριστερά (κλειστό), συνδέουμε το μεγάφωνο με την έξοδο ισχύος της γεννήτριας.

ΠΡΟΣΟΧΗ :

- ✓ Η έξοδος ισχύος της γεννήτριας έχει ισχύ 10 W, ενώ η ισχύς του μεγαφώνου είναι μόνο 0,25 W και έτσι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του !
- ✓ Κατά τη σύνδεση του μεγαφώνου προσέχουμε την πολικότητα.

Ζ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Λήψη μετρήσεων

1. Τοποθετούμε το έμβολο μέσα στον σωλήνα και το μετακινούμε, ώστε να βρίσκεται κοντά στο ανοικτό χείλος του σωλήνα (προς το μεγάφωνο).
2. Συνδέουμε τη γεννήτρια συχνοτήτων στο δίκτυο, τη θέτουμε σε λειτουργία και επιλέγουμε καταρχήν ημιτονική συχνότητα εργασίας 600 Hz.
3. Γυρίζουμε το κουμπί AMPLITUDE αργά ώστε ο δείκτης του να αντιστοιχεί στη θέση «9» ενός ρολογιού.
4. Απομακρύνουμε αργά το έμβολο από το μεγάφωνο και εντοπίζουμε το πρώτο μέγιστο της έντασης του ήχου (πρώτη θέση συντονισμού). Μετράμε το μήκος ℓ_1 του σωλήνα με τη μετροταινία και το σημειώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (μέτρηση 1^η για $f = 600$ Hz).
5. Συνεχίζουμε τη μετακίνηση του εμβόλου μέχρι να επιτύχουμε το δεύτερο μέγιστο της έντασης του ήχου (δεύτερη θέση συντονισμού). Μετράμε το μήκος ℓ_2 του σωλήνα με τη μετροταινία και το σημειώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (μέτρηση 1^η για $f = 600$ Hz).
6. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 4 – 5 δύο φορές και καταχωρούμε τις τιμές στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (μέτρηση 2^η, 3^η για $f = 600$ Hz).
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : Για μεγαλύτερη ακρίβεια, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 2 – 6 και με άλλες ημιτονικές συχνότητες ήχου π.χ. τα 800 Hz και τα 1.000 Hz, καταχωρώντας τις τιμές στις αντίστοιχες θέσεις του ΠΙΝΑΚΑ 1.
7. Μετράμε τη θερμοκρασία θ του δωματίου και τη σημειώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ									
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	f = 600 Hz			f = 800 Hz			f = 1.000 Hz		
Μέτρηση	1 ^η	2 ^η	3 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η	1 ^η	2 ^η	3 ^η
1 ^{ος} συντονισμός : ℓ_1 (cm)									
2 ^{ος} συντονισμός : ℓ_2 (cm)									
Θερμοκρασία : θ (°C)									

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Υπολογίζουμε τη μέση τιμή των μηκών ℓ_1 και ℓ_2 για κάθε συχνότητα και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 στην αντίστοιχη στήλη.

- Υπολογίζουμε τις τιμές της διόρθωσης s και του μήκους κύματος λ του ήχου και τις καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 στην αντίστοιχη στήλη.
- Υπολογίζουμε για κάθε συχνότητα στη θερμοκρασία δωματίου την πειραματική ταχύτητα του ήχου $v_{\theta\pi}$ στον αέρα και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 στην αντίστοιχη στήλη.
- Υπολογίζουμε στη θερμοκρασία δωματίου θ °C τη μέση πειραματική τιμή $\bar{v}_{\theta\pi}$ των ταχυτήτων του ήχου στον αέρα για κάθε συχνότητα και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε στη θερμοκρασία θ °C την πειραματική τιμή της ταχύτητας $v_{\theta\pi}$ του ήχου στον αέρα και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε το σφάλμα σ % μεταξύ της πειραματικής τιμής της ταχύτητας $v_{\theta\pi}$ του ήχου στον αέρα σε θερμοκρασία θ °C σε σχέση με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή $v_{\theta\theta} = 331$ m/s.
[Δίνεται $\sigma \% = (v_{\theta\theta} - v_{\theta\pi}) / v_{\theta\theta} \cdot 100 \%$]

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ			
Μέγεθος	Ακουστική Συχνότητα		
	f = 600 Hz	f = 800 Hz	f = 1000 Hz
$\bar{\ell}_1 = \Sigma \ell_1 / 3$ (cm)			
$\bar{\ell}_2 = \Sigma \ell_2 / 3$ (cm)			
$s = \frac{\bar{\ell}_2 - 3\bar{\ell}_1}{2}$ (cm)			
$\lambda = 2(\bar{\ell}_2 - \bar{\ell}_1)$ (cm)			
$v_{\theta\pi} = \lambda f$ (m/s)			
$\bar{v}_{\theta\pi} = \frac{\Sigma v_{\theta\pi}}{3}$ (m/s)			
$v_{\theta\pi} = \frac{\bar{v}_{\theta\pi}}{\sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}}$ (m/s)			
$\sigma \% = \frac{ v_{\theta\theta} - v_{\theta\pi} }{v_{\theta\theta}} \cdot 100\%$			

Η. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- Σε ποιους παράγοντες μπορεί να οφείλεται το σφάλμα στη μέτρηση των μηκών ℓ στον σωλήνα ;
- Γιατί η κοιλία βρίσκεται έξω από το χείλος του σωλήνα ;
- Πόση είναι η απόσταση μεταξύ δύο κοιλιών ;
- Σε πόση απόσταση από το χείλος του σωλήνα βρίσκεται ο πρώτος δεσμός κίνησης ;
- Ποια είναι η ελάχιστη ακουστική συχνότητα με την οποία μπορούμε να ανιχνεύσουμε ένα μόνο μέγιστο έντασης του ήχου με τον σωλήνα που διαθέτουμε ;
- Γιατί οι τιμές της ταχύτητας του ήχου, που υπολογίζουμε, είναι διαφορετικές για τις διάφορες τιμές της συχνότητας του ήχου ;
- Η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του δωματίου ;