

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΦΥΣΙΚΗΣ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ

Μελέτη στάσιμων ηχητικών κυμάτων σε σωλήνα Kundt και υπολογισμός της ταχύτητας του ήχου στον αέρα.

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 εφαρμογή θεωρητικών γνώσεων στην εξαναγκασμένη ταλάντωση όγκου αέρα.
- Ο πειραματικός υπολογισμός της ταχύτητας του ήχου στον αέρα.
- Η κατανόηση και η εκτίμηση των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά τις μετρήσεις.

B. ΟΡΓΑΝΑ :

- Διαφανής κυλινδρικός σωλήνας Kundt με έμβολο πάνω σε βάση .
- Μεγάφωνο ενσωματωμένο στη βάση κοντά στο ανοικτό άκρο του σωλήνα .
- Γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων .
- Θερμόμετρο χώρου.

Γ. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ :

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.

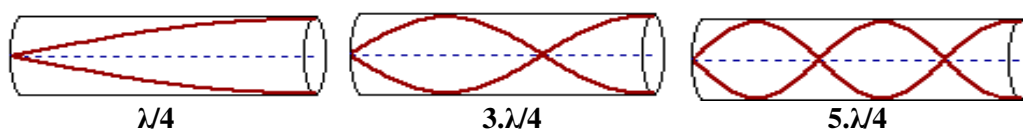
Στην επιφάνεια του εμβόλου αντιστοιχεί πάντοτε δεσμικό σημείο κίνησης του στάσιμου κύματος, ενώ στο ανοικτό άκρο του σωλήνα κατά τον συντονισμό αντιστοιχεί κοιλία κίνησης.

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 :

$$\ell = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \rightarrow \lambda = \frac{4 \ell}{2n + 1} \quad (1) \quad \text{όπου } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$



Από την εξίσωση (1) υπολογίζουμε το μήκος κύματος λ , αν εφαρμοστεί για κάποια τιμή του n και μετρήσουμε το αντίστοιχο ℓ .

Για διευκόλυνσή μας υπολογίζουμε τη διαφορά της απόστασης ανάμεσα σε δύο μέγιστα και έχουμε το $\lambda/2$.

Με γνωστά το μήκος κύματος λ και τη συχνότητα f του ήχου βρίσκουμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα από τη σχέση :

$$v = \lambda f \quad (2)$$

Επειδή η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, σύμφωνα με τη σχέση :

$$u_{\theta} = u_0' \cdot \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \Rightarrow u_0' = \frac{u_{\theta}}{\sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}} \quad (3)$$

υπολογίζουμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα u_0' στη θερμοκρασία $0^{\circ}C$ και γνωρίζοντας ότι στη θερμοκρασία αυτή η θεωρητική τιμή της είναι $u_0 = 331 \text{ m/s}$ βρίσκουμε την % απόκλιση της πειραματικής τιμής από τη θεωρητική.

$$\alpha = \frac{u_0' - u_0}{u_0} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Διόρθωση του μήκους κύματος λ :

Στην πραγματικότητα η πρώτη κοιλία κίνησης δημιουργείται ελαφρά έξω από το χείλος του σωλήνα. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια το μήκος κύματος από το πρώτο μέγιστο του ήχου που ακούμε εργαζόμεστε ως εξής:

Αν η κοιλία του στάσιμου κύματος σχηματίζεται σε απόσταση s από το χείλος του σωλήνα, τότε η εξίσωση (1) για τις δύο πρώτες τιμές του n δίνει :

$$\ell_1 + s = \frac{\lambda}{4} \quad (5)$$

$$\ell_2 + s = 3 \frac{\lambda}{4} \quad (6)$$

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

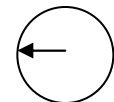
$$s = \frac{\ell_2 - 3\ell_1}{2} \quad (7)$$

$$\lambda = 4 \ell_1 + s \quad (8)$$

Δ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τοποθετούμε τη συσκευή με τον σωλήνα και το μεγάφωνο στον πάγκο εργασίας. Συνδέουμε το μεγάφωνο με τη γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων, **προσέχοντας την πολικότητα του μεγαφώνου**. Μετακινούμε το έμβολο, ώστε να βρίσκεται κοντά στο ανοικτό χείλος του σωλήνα (προς το μεγάφωνο). Συνδέουμε τη γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων στο δίκτυο, τη θέτουμε σε λειτουργία και επιλέγουμε ημιτονική συχνότητα εργασίας 600 Hz.

Προσοχή το κομβίο AMPLITUDE το στρέφουμε πολύ λίγο (ώστε να αντιστοιχεί στη θέση 9 του ωρολογιακού δίσκου) γιατί κινδυνεύει να καεί το μεγάφωνο της συσκευής.



AMPLITUDE

Απομακρύνουμε αργά το έμβολο από το ανοικτό χείλος του σωλήνα 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 (1^η μέτρηση).

Συνεχίζουμε τη μετακίνηση του εμβόλου μέχρι να επιτύχουμε το δεύτερο ,και το τρίτο μέγιστο της έντασης του ήχου (δεύτερη και τρίτη θέση συντονισμού).

Μετράμε τα μήκη l_2 και l_3 του σωλήνα με τη μετροταινία και τα σημειώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (2^η και 3^η μέτρηση).

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για συχνότητες 800 και 1000 Hz και καταχωρούμε τις τιμές στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

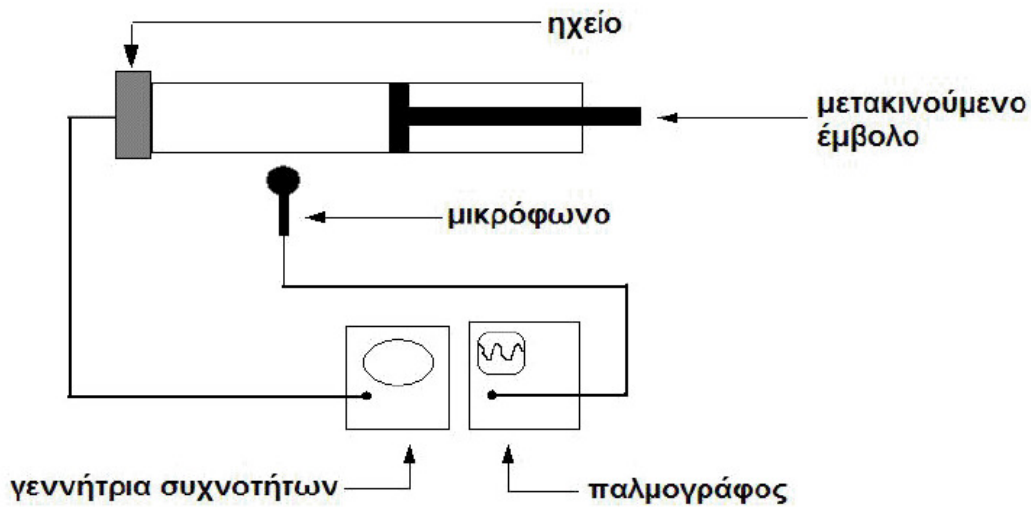
Συμπληρώνουμε και τις επόμενες γραμμές του ΠΙΝΑΚΑ 1 κάνοντας τους υπολογισμούς και βρίσκουμε την ταχύτητα του ήχου στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ			
Μέγεθος	Ακουστική Συχνότητα		
	f = 600 Hz	f = 800 Hz	f = 1000 Hz
1 ^ο μέγιστο G_1			
2 ^ο μέγιστο G_2			
3 ^ο μέγιστο G_3			
Μέση τιμή διαφοράς [$(G_2 - G_1) + (G_3 - G_2) $] / 2			
Μήκος κύματος λ (cm)			
Ταχύτητα ήχου $c = \lambda \cdot f$			
$\bar{v} = \Sigma v / 3$ (m / s)	$\bar{v} =$ σε $\theta = \dots$ $^{\circ}C$		

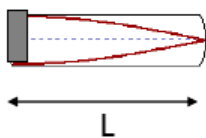
Ε. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ :

1. Σε ποιους παράγοντες μπορεί να οφείλεται το σφάλμα στη μέτρηση των μηκών l στον σωλήνα ;
2. 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 ;
3. Πως επηρεάζεται η ταχύτητα του ήχου από τη θερμοκρασία του δωματίου ;
4. Ποια η % απόκλιση της ταχύτητας που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία $0^{\circ}C$ με την θεωρητική τιμή.

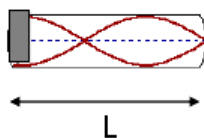
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ KUNDT



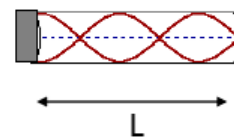
- Το **ηχείο** διεγείρει τον αέρα με ταλαντώσεις γνωστής συχνότητας οι οποίες παρέχονται από τη **γεννήτρια συχνοτήτων**.
- Μετακινώντας κατάλληλα το **έμβολο** δημιουργούνται στάσιμα κύματα στο σωλήνα.
- Όταν δημιουργείται στάσιμο κύμα συντονίζεται η αέρια στήλη και ο ήχος που ακούγεται έχει μέγιστη ένταση.
- Η ένταση του ήχου, εκτός από το αυτί μας, διεγείρει και το **μικρόφωνο** του οποίου η ταλάντωση απεικονίζεται στον **παλμογράφο**.



$$L_1 = \lambda/4$$



$$L_2 = \lambda/2 + \lambda/4 = 3\lambda/4$$



$$L_3 = \lambda + \lambda/4 = 5\lambda/4$$

Παρατηρούμε ότι: $L_2 - L_1 = L_3 - L_2 = \lambda/2$.

Οπότε αν **μετρήσουμε το μήκος κύματος** από τη διαφορά $L_2 - L_1$ (ή $L_3 - L_2$), μπορούμε να υπολογίσουμε την **ταχύτητα του ήχου** από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής $u = \lambda \cdot f$.

Πραγματοποιούμε τις μετρήσεις μας και καταχωρούμε τα αποτελέσματά μας στον πίνακα της ακόλουθης διαφάνειας.

ΜΕΤΡΗΣΗ 1^η

Συχνότητα πηγής: 440 Hz

$L_1 =$

$L_2 =$

$L_2 - L_1 =$

$\lambda = 2 (L_2 - L_1) =$

$u = \lambda \cdot f =$

ΜΕΤΡΗΣΗ 2^η

Συχνότητα πηγής: 600 Hz

$L_1 =$

$L_2 =$

$L_2 - L_1 =$

$\lambda = 2 (L_2 - L_1) =$

$u = \lambda \cdot f =$

- **Σχολιάζουμε** τα αποτελέσματά μας για την ταχύτητα του ήχου και **συγκρίνουμε** με την τιμή που γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία.
- **Προβληματιζόμαστε** για τις πιθανές πηγές σφάλματος.