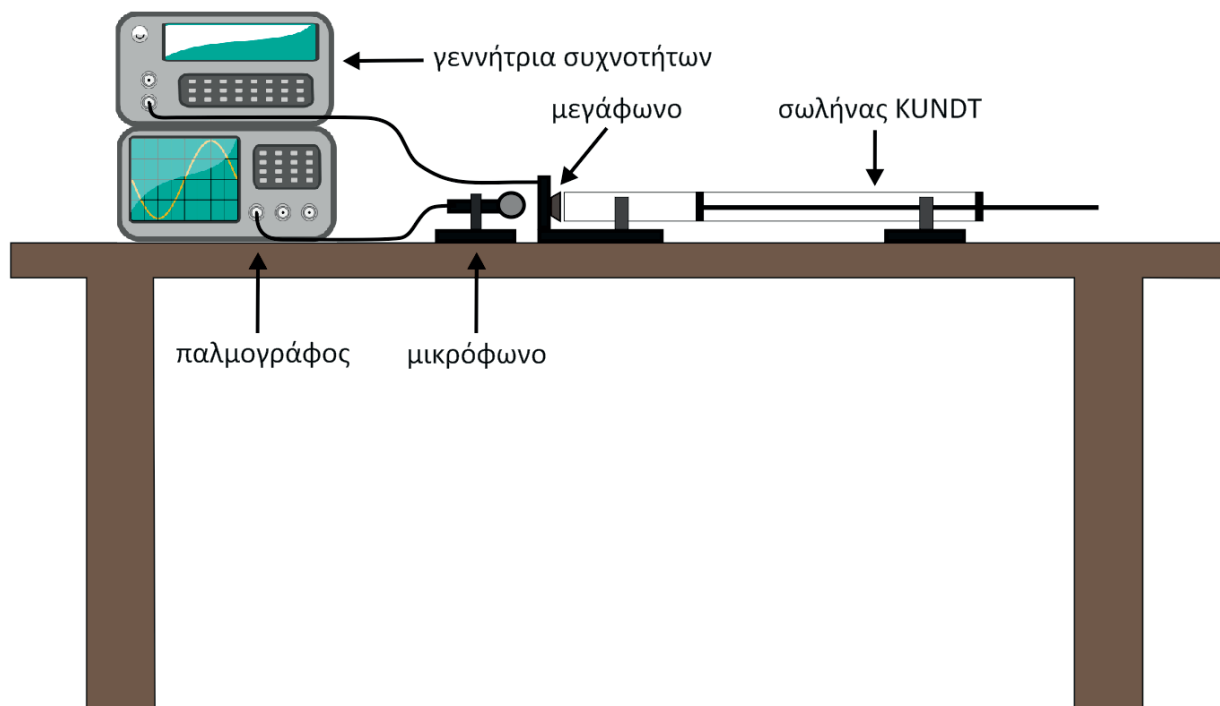


Στάσιμα κύματα - Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου με το σωλήνα Kundt

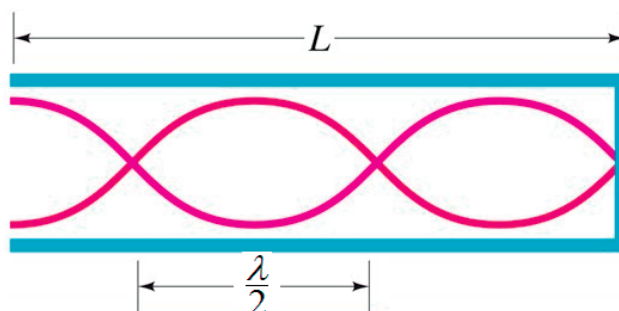
Η χρησιμοποιούμενη διάταξη φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Το μεγάφωνο του σωλήνα Kundt συνδέεται στην έξοδο SIGNAL OUT της γεννήτριας συχνοτήτων. Το μικρόφωνο τοποθετείται ακριβώς πίσω από το μεγάφωνο του σωλήνα, συνδέεται στην είσοδο CH1 του παλμογράφου και χρησιμεύει για να έχουμε εκτός από ακουστική και οπτική ένδειξη της μεγιστοποίησης της έντασης του ήχου. Θα ήταν προτιμότερο να τοποθετηθεί δίπλα στο σωλήνα Kundt και κάθετα προς αυτόν, αλλά σε μια τέτοια περίπτωση θα χρειαζόταν κατάλληλος προενισχυτής του μικροφωνικού σήματος (ή τουλάχιστον χρειαζόταν στη δική μας υλοποίηση). Χρησιμοποιήσαμε επίσης θερμομότρο για την καταγραφή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πειράματος.

Θεωρητικά στοιχεία

Στο σωλήνα δημιουργούνται στάσιμα κύματα από το κύμα που οδεύει από το μεγάφωνο προς το έμβολο και το ανακλώμενο από το έμβολο. Καθώς το ένα άκρο του σωλήνα (αυτό κοντά στο μεγάφωνο) είναι ανοιχτό και το άλλο (έμβολο) είναι κλειστό το στάσιμο κύμα έχει κοιλία στο ανοιχτό και δεσμό στο κλειστό άκρο.



Συνεπώς στο σωλήνα μπορούν να σχηματιστούν στάσιμα κύματα όταν το μήκος L του σωλήνα και το μήκος κύματος των ηχητικών κυμάτων ικανοποιούν τη σχέση:

$$L = (2N + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \mu\epsilon \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Τότε λόγω συντονισμού του αέρα μέσα στο σωλήνα η ένταση του ήχου μεγιστοποιείται. Στο συγκεκριμένο πείραμα για μια δεδομένη συχνότητα ήχου, μεταβάλλουμε το μήκος του σωλήνα ώστε να ακούσουμε ήχο μέγιστης έντασης. Προφανώς έχουμε:

$$1^{\text{η}} \text{ μεγιστοποίηση για } N=0, \text{ δηλ. } L_1 = \frac{\lambda}{4}$$

$$2^{\text{η}} \text{ μεγιστοποίηση για } N=1, \text{ δηλ. } L_2 = \frac{3\lambda}{4}$$

$$\text{οπότε ισχύει: } L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2(L_2 - L_1).$$

Και επειδή για την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων ισχύει: $v = \lambda f$, τελικά παίρνουμε:

$$v = 2f(L_2 - L_1) \quad (1)$$

Εύκολα αποδεικνύεται πως η σχέση (1) ισχύει για δυο οποιεσδήποτε διαδοχικές μεγιστοποιήσεις του ήχου που ακούγεται από τον σωλήνα. Ισχύει επίσης και στην περίπτωση (όπως στην πραγματικότητα συμβαίνει) που η ελεύθερη άκρη του σωλήνα δεν είναι ακριβώς κοιλία.

Για τις ανάγκες του πειράματος θα θεωρηθεί γνωστή η εξάρτηση της ταχύτητας διάδοσης του ήχου από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος:

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \quad (2)$$

όπου $v_0 = 331 \text{ m/s}$ και θ η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου.

Πειραματική διαδικασία

Αφού συναρμολογήσουμε τη διάταξη, ανοίγουμε τον παλμογράφο, ρυθμίζουμε τη γεννήτρια συχνοτήτων σε ημιτονοειδές σήμα, θέτουμε τη συχνότητα στην τιμή 800 Hz και το πλάτος σε κάποια τιμή μεταξύ του ενός τετάρτου και του μισού της πλήρους κλίμακας.

1. Καταγράφουμε τη θερμοκρασία κατά την εκτέλεση του πειράματος.
2. Μετακινούμε το έμβολο του σωλήνα ξεκινώντας από το άκρο του σωλήνα κοντά στο μεγάφωνο μέχρι να ακούσουμε και να δούμε στην οθόνη του παλμογράφου το πρώτο μέγιστο του ήχου. Καταγράφουμε τη θέση του εμβόλου από την κλίμακα που είναι προσαρμοσμένη στο σωλήνα.
3. Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση για τη δεύτερη και την τρίτη μεγιστοποίηση του ήχου.
4. Επαναλαμβάνουμε άλλες δυο φορές τα βήματα (2) και (3).
5. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα (2), (3) και (4) για δυο ακόμη τιμές της συχνότητας της γεννήτριας, π.χ. 700 και 900 Hz.

Οι μετρήσεις που πήραμε και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πείραμα 1° (μετρήσεις)	Συχνότητα : $f = 800 \text{ Hz}$		
	Θερμοκρασία : $\theta = 14,9^\circ\text{C}$		
	$L_1 \text{ (cm)}$ (πρώτη μεγιστοποίηση)	$L_2 \text{ (cm)}$ (δεύτερη μεγιστοποίηση)	$L_3 \text{ (cm)}$ (τρίτη μεγιστοποίηση)
	8,00	29,60	50,80
	8,10	29,60	50,90
	8,00	29,50	50,90

Πείραμα 1° (επεξεργασία)	Συχνότητα : $f = 800 \text{ Hz}$		
	Θερμοκρασία : $\theta = 14,9^\circ\text{C}$		
	$L_1 \text{ (cm)}$ (μέση τιμή)	$L_2 \text{ (cm)}$ (μέση τιμή)	$L_3 \text{ (cm)}$ (μέση τιμή)
	8,03	29,57	50,87
	$L_2 - L_1 \text{ (cm)}$	21,54	
	$L_3 - L_2 \text{ (cm)}$	21,30	
	$v = 2f(L_2 - L_1) \text{ (m/s)}$	344,64	
	$v = 2f(L_3 - L_2) \text{ (m/s)}$	340,80	
	Μέση τιμή ταχύτητας διάδοσης (m/s)	342,72	

Οι μέσες τιμές για την ταχύτητα διάδοσης του ήχου, με συχνότητες γεννήτριας 700 και 900 Hz, προέκυψαν αντίστοιχα 337,54 m/s και 339,57 m/s.

Από τα τρία πειράματα η μέση ταχύτητα διάδοσης του ήχου προσδιορίστηκε ως:

$$\bar{v} = 339,94 \text{ m/s}$$

ενώ η τιμή στη θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος που προέκυψε από τη σχέση (2) ίση με 339,89 m/s. Το σχετικό σφάλμα είναι μόλις 0,015%.

Παρατηρήσεις

Δεν πρόκειται για ένα εύκολο πείραμα καθώς απαιτεί ιδιαίτερη εξοικείωση με τη διάταξη. Βασικό πρόβλημα είναι το γεγονός ότι ο αέρας του σωλήνα δεν ταλαντώνεται μόνο στη συχνότητα της γεννήτριας αλλά διεγείρονται και ανώτερες αρμονικές (κυρίως η 2^η) δημιουργώντας δευτερεύοντες συντονισμούς σε ενδιάμεσες θέσεις του εμβόλου με αποτέλεσμα την αποτυχία του πειράματος. Ο παλμογράφος αν και όχι απαραίτητος για τη διεξαγωγή του πειράματος προσφέρει σημαντική βοήθεια στην εξάλειψη αυτών των προβλημάτων. Κάθε φορά που στην οθόνη του θα παρατηρήσετε έντονα παραμορφωμένο το ημιτονικό σήμα σημαίνει πως έχουν διεγερθεί και ανώτερες αρμονικές. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να μειώσετε το πλάτος του σήματος στη γεννήτρια συχνοτήτων ή στη χειρότερη περίπτωση να πραγματοποιήσετε το πείραμα σε κάποια άλλη συχνότητα. Για τον ίδιο λόγο αλλά και για τον κίνδυνο καταστροφής του μικρού μεγαφώνου στου σωλήνα δε χρησιμοποιούμε το σήμα από την έξοδο POWER OUT της γεννήτριας συχνοτήτων. Ο εξοικειωμένος με τη διάταξη μπορεί εύκολα ακόμη και με το αυτί να διακρίνει τους δευτερεύοντες συντονισμούς σε ανώτερες αρμονικές και να αποφύγει τα όποια προβλήματα. Εκτελώντας το πείραμα σε πολλές διαφορετικές συχνότητες και με διαφορετικές γεννήτριες συχνοτήτων διαπιστώσαμε καλά αποτελέσματα στην περιοχή συχνοτήτων 600 - 1200 Hz.

ΦΥΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης του ήχου με το σωλήνα Kundt

1. Ρυθμίστε τη συχνότητα της γεννήτριας στην τιμή $f=800$ Hz.
2. Μετρήστε με το θερμόμετρο τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
3. Μετρήστε τη θέση του εμβόλου για τρεις διαδοχικές μεγιστοποιήσεις της έντασης του ήχου και συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα.

Πείραμα 1 ^ο (μετρήσεις)	Συχνότητα : $f=800$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (πρώτη μεγιστοποίηση)	L_2 (cm) (δεύτερη μεγιστοποίηση)	L_3 (cm) (τρίτη μεγιστοποίηση)

Συμπληρώνοντας τον ακόλουθο πίνακα, υπολογίστε τη μέση τιμή της ταχύτητας του ήχου στη θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος.

Πείραμα 1 ^ο (επεξεργασία)	Συχνότητα : $f=800$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (μέση τιμή)	L_2 (cm) (μέση τιμή)	L_3 (cm) (μέση τιμή)
	L_2-L_1 (cm)		
	L_3-L_2 (cm)		
	$v = 2f(L_2 - L_1)$ (m/s)		
	$v = 2f(L_3 - L_2)$ (m/s)		
	Μέση τιμή ταχύτητας διάδοσης (m/s)		

Επαναλάβετε το πείραμα για άλλη συχνότητα της γεννήτριας.

Πείραμα 2° (μετρήσεις)	Συχνότητα : $f = \dots\dots\dots$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (πρώτη μεγιστοποίηση)	L_2 (cm) (δεύτερη μεγιστοποίηση)	L_3 (cm) (τρίτη μεγιστοποίηση)

Πείραμα 2° (επεξεργασία)	Συχνότητα : $f = \dots\dots\dots$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (μέση τιμή)	L_2 (cm) (μέση τιμή)	L_3 (cm) (μέση τιμή)
	$L_2 - L_1$ (cm)		
	$L_3 - L_2$ (cm)		
	$v = 2f(L_2 - L_1)$ (m/s)		
	$v = 2f(L_3 - L_2)$ (m/s)		
	Μέση τιμή ταχύτητας διάδοσης (m/s)		

Επαναλάβετε το πείραμα για μια ακόμη συχνότητα της γεννήτριας.

Πείραμα 3 ^ο (μετρήσεις)	Συχνότητα : $f = \dots\dots\dots$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (πρώτη μεγιστοποίηση)	L_2 (cm) (δεύτερη μεγιστοποίηση)	L_3 (cm) (τρίτη μεγιστοποίηση)

Πείραμα 3 ^ο (επεξεργασία)	Συχνότητα : $f = \dots\dots\dots$ Hz		
	Θερμοκρασία : $\theta = \dots\dots\dots$ °C		
	L_1 (cm) (μέση τιμή)	L_2 (cm) (μέση τιμή)	L_3 (cm) (μέση τιμή)
	$L_2 - L_1$ (cm)		
	$L_3 - L_2$ (cm)		
	$v = 2f(L_2 - L_1)$ (m/s)		
	$v = 2f(L_3 - L_2)$ (m/s)		
	Μέση τιμή ταχύτητας διάδοσης (m/s)		

1. Με βάση τις τιμές για τις ταχύτητες διάδοσης που υπολογίσατε στα τρία πειράματα, υπολογίστε την τελική μέση τιμή για την ταχύτητα διάδοσης:

$$\bar{v} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

2. Από τη σχέση (2) υπολογίστε τη θεωρητική τιμή της ταχύτητας διάδοσης στη θερμοκρασία διεξαγωγής του πειράματος.

$$v_{\theta} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

3. Υπολογίστε το σχετικό σφάλμα του πειράματος:

$$\sigma\% = \frac{|\bar{v} - v_{\theta}|}{v_{\theta}} \times 100 = \dots\dots\dots\%$$