

ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΩΛΗΝΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

*Η άσκηση που ακολουθεί ήταν το θέμα Φυσικής του τοπικού διαγωνισμού EUSO2017, Αν. Αττικής και βασίστηκε σε μια ιδέα του συναδέλφου Ι. Χατζή, Φυσικού, συγγραφέα

Περιγραφή του φαινομένου

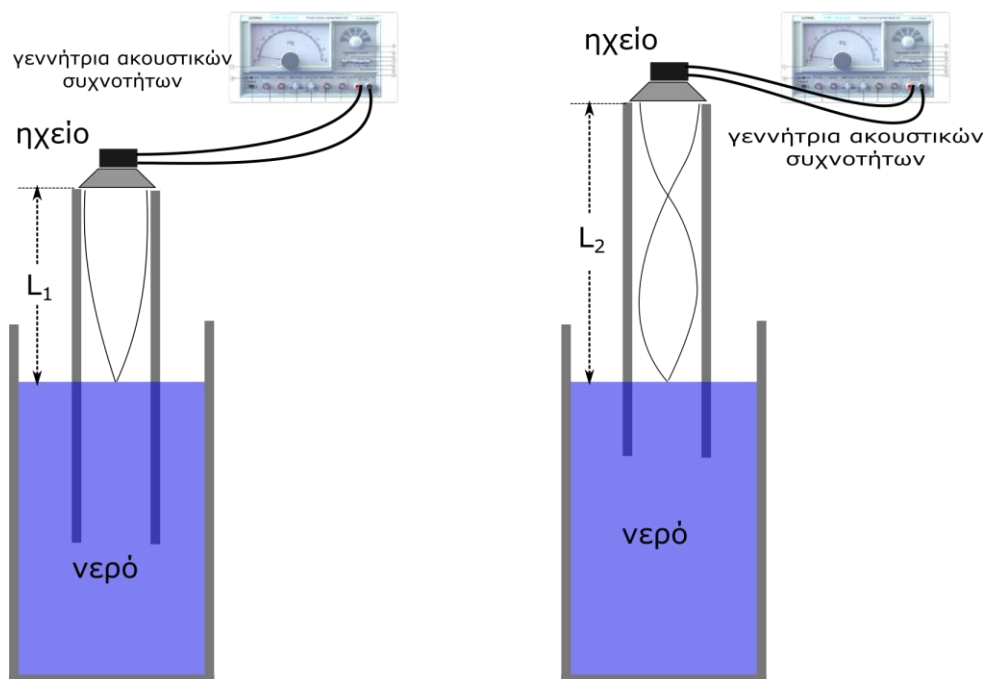
Στο σωλήνα που βλέπετε στον πάγκο υπάρχει παγιδευμένη μια στήλη αέρα. Στο ένα άκρο της στήλης έχουμε προσαρμόσει ηχείο με το οποίο μπορούμε να προκαλέσουμε αρμονικά ηχητικά κύματα, που διαδίδονται στη στήλη του αέρα με την **ταχύτητα του ήχου (υ)** και έχουν **μήκος κύματος λ** .

Τα ηχητικά κύματα που κατευθύνονται προς το κλειστό άκρο του σωλήνα ανακλώνται σε αυτό και επιστρέφουν, προς την εξωτερική πηγή.

Η συμβολή των δύο κυμάτων – απευθείας και ανακλώμενο- είναι δυνατόν, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να δημιουργήσει στο εσωτερικό της στήλης αέρα ένα μόνιμο στάσιμο κύμα.

Στην περίπτωση αυτή στο κλειστό άκρο του σωλήνα θα δημιουργηθεί κοιλία της πίεσης - άρα δεσμός της κίνησης, ενώ στο ανοικτό άκρο του σωλήνα θα δημιουργηθεί δεσμός της πίεσης - άρα κοιλία της κίνησης (**σχήμα Α**).

Στην περίπτωση αυτή, ο ήχος που ακούμε έχει μέγιστη ένταση. Με το σωλήνα που διαθέτεις μπορείς να βρεις δύο θέσεις του σωλήνα στις οποίες η ένταση του ήχου γίνεται μέγιστη.



ΣΧΗΜΑ Α

Οι θέσεις αυτές προσδιορίζονται με χρήση του χάρακα που έχουμε προσαρμόσει στο σωλήνα. Σε κάθε τέτοια θέση, **το μήκος της στήλης αέρα του σωλήνα (L)** και το **μήκος κύματος του ήχου λ** συνδέονται με τις σχέσεις:

$$L_1 = \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

και

$$L_2 = \frac{3\lambda}{4} \quad (2)$$

Αφαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις 1 και 2, προκύπτει ότι:

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

Από το θεμελιώδη νόμο της κυματικής έχουμε:

$v = \lambda \cdot f \Leftrightarrow v = 2\Delta L \cdot f$ όπου **v η ταχύτητα του ήχου** στον αέρα και **f η συχνότητα** της πηγής. Τελικά, έχουμε:

$$\Delta L = \frac{v}{2} \cdot \frac{1}{f} \quad \text{ή} \quad \lambda = v \cdot \frac{1}{f}$$

(3)

Σύμφωνα με την σχέση 3, το **μήκος κύματος λ**, στο δημιουργηθέν ηχητικό κύμα, μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με το αντίστροφο της **συχνότητας f**, του εξωτερικού διεγέρτη (μεγάφωνο).

Έτσι τα σημεία της **γραφικής παράστασης λ – 1/f**, θα πρέπει να διέρχονται από μια ευθεία γραμμή, η κλίση της οποίας αντιστοιχεί στην **ταχύτητα του ηχητικού κύματος**, στον αέρα, για δεδομένη θερμοκρασία.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

- 1) Γεννήτρια ακουστών συχνοτήτων με ενισχυτή
- 2) Ηχείο 0,25 Watt
- 3) Καλώδια

Πειραματική διαδικασία - επεξεργασία μετρήσεων

1. Ελέγξτε το κομβίο AMPLITUDE αργά, ώστε ο δείκτης του να αντιστοιχεί στη θέση 9 ενός ωρολογιακού δίσκου (στη θέση αυτή δεν κινδυνεύει το megάφωνο της συσκευής).

ΠΡΟΣΟΧΗ : Η ισχύς του megάφωνου της συσκευής είναι 0,25 W ενώ η έξοδος ισχύος της γεννήτριας έχει ισχύ 10 W. Έτσι, αν η ρύθμιση της τάσης εξόδου της γεννήτριας είναι υψηλή όταν συνδέετε το megάφωνο, αυτό θα καταστραφεί.

Καλέστε τον επιβλέποντα καθηγητή να ελέγξει την συνδεσμολογία.

1. Τοποθετήστε το σωλήνα στο δοχείο με το νερό με το ελεύθερο άκρο να ακουμπήσει στον πυθμένα του δοχείου.
2. Θέστε σε λειτουργία τη γεννήτρια και επιλέξτε μία συχνότητα (π.χ. 800Hz).
3. Απομακρύνετε με πολύ αργό και σταθερό ρυθμό το σωλήνα από το δοχείο με το νερό, διατηρώντας τον σε κατακόρυφη θέση. Θα παρατηρήσετε ότι σε κάποιες θέσεις η ένταση του ήχου είναι μέγιστη και σε κάποιες άλλες ελάχιστη.
4. Εντοπίστε τις πρώτες **δύο διαδοχικές θέσεις με τη μέγιστη ένταση** του ήχου και καταγράψτε τις στον πίνακα μετρήσεων που ακολουθεί:

($L_1=...$, $L_2=...$,) καταγράφουμε τα μήκη L_1 και L_2 του σωλήνα με τη βοήθεια του βαθμολογημένου κανόνα.

Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις μας ακόμα μια φορά.

Υπολογίστε τις διαφορές ΔL_1 και ΔL_2 , καθώς και την μέση τιμή $\overline{\Delta L} = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{2}$ των δυο μετρήσεων.

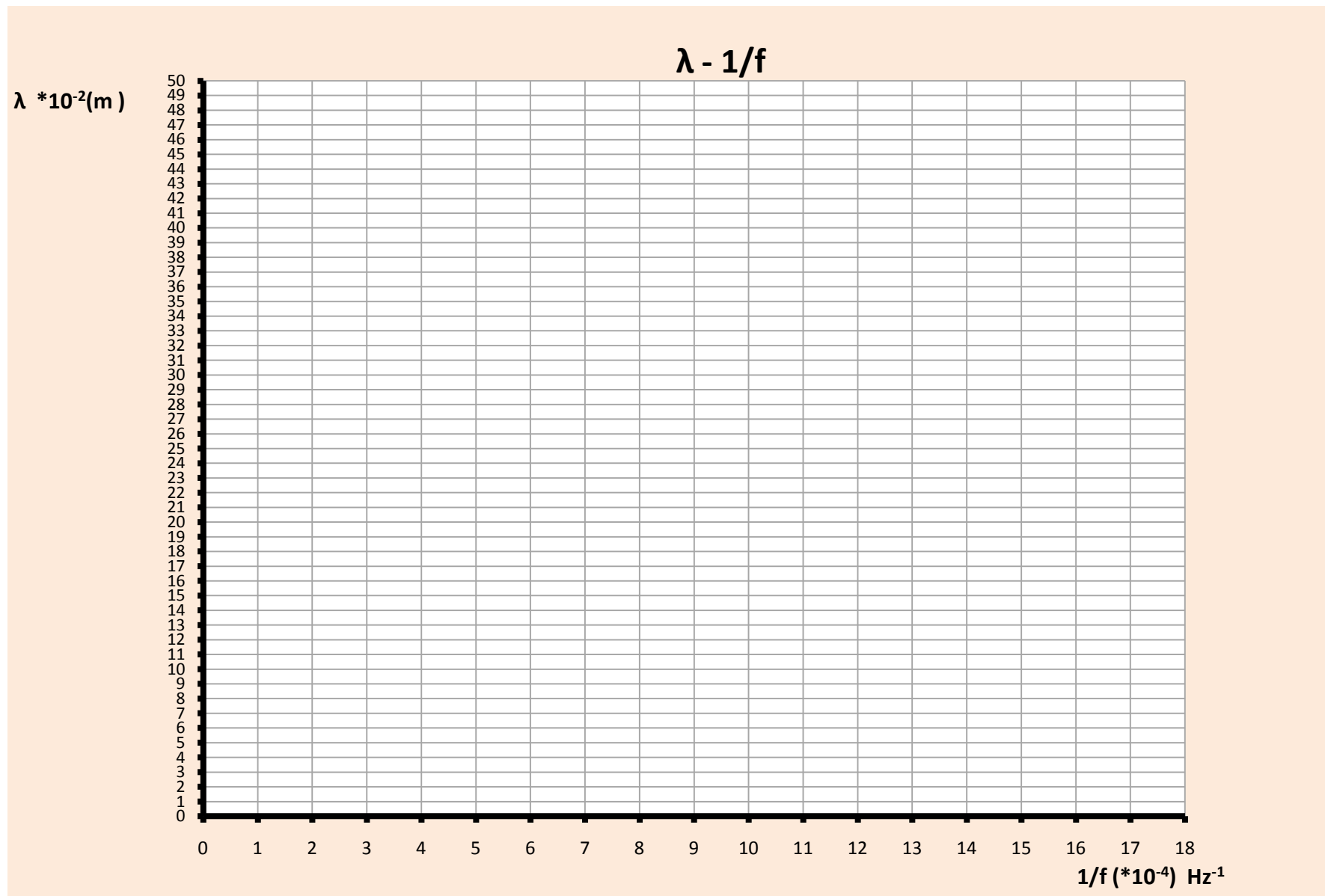
5. Υπολογίστε την **τιμή του μήκους κύματος λ** , σε μέτρα, με ακρίβεια **ενός δεκαδικού ψηφίου**.
6. Επαναλάβετε την διαδικασία για άλλες τέσσερις συχνότητες (900-1000-1100-1200 Hz).
7. Σχεδιάστε σε χαρτί μιλιμετρέ τη **γραφική παράσταση του λ ως προς $1/f$** , με βάση τις στήλες 7 και 8 του πίνακα μετρήσεων.

Προσδιορίστε μέσω της πειραματικής ευθείας, την **ταχύτητα του ήχου** στον αέρα, - για την θερμοκρασία του αέρα που εκτελείται το πείραμα-.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ $f_1 = 800\text{Hz}$	Αρ. μετρήσεων	ΘΕΣΗ 1ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	ΘΕΣΗ 2ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Διαφορά $1^{\text{ου}} - 2^{\text{ου}}$ μεγίστου $\Delta L = L_2 - L_1$	Μέση τιμή $\overline{\Delta L}$ διαφορών ισοδύναμη με $\lambda_1 / 2$	Μήκος κύματος λ_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Αντίστροφο Συχνότητας $\frac{1}{f_1}$ $\cdot 10^{-2}(\text{sec})$
	1η						
	2η						
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ $f_2 = 900\text{Hz}$	Αρ. μετρήσεων	ΘΕΣΗ 1ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	ΘΕΣΗ 2ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Διαφορά $1^{\text{ου}} - 2^{\text{ου}}$ μεγίστου $\Delta L = L_2 - L_1$	Μέση τιμή $\overline{\Delta L}$ διαφορών ισοδύναμη με $\lambda_2 / 2$	Μήκος κύματος λ_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Αντίστροφο Συχνότητας $\frac{1}{f_2}$ $\cdot 10^{-2}(\text{sec})$
	1η						
	2η						
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ $f_3 = 1000\text{Hz}$	Αρ. μετρήσεων	ΘΕΣΗ 1ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	ΘΕΣΗ 2ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Διαφορά $1^{\text{ου}} - 2^{\text{ου}}$ μεγίστου $\Delta L = L_2 - L_1$	Μέση τιμή $\overline{\Delta L}$ διαφορών ισοδύναμη με $\lambda_3 / 2$	Μήκος κύματος λ_3 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Αντίστροφο Συχνότητας $\frac{1}{f_3}$ $\cdot 10^{-2}(\text{sec})$
	1η						
	2η						
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ $f_4 = 1100\text{Hz}$	Αρ. μετρήσεων	ΘΕΣΗ 1ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	ΘΕΣΗ 2ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Διαφορά $1^{\text{ου}} - 2^{\text{ου}}$ μεγίστου $\Delta L = L_2 - L_1$	Μέση τιμή $\overline{\Delta L}$ διαφορών ισοδύναμη με $\lambda_4 / 2$	Μήκος κύματος λ_4 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Αντίστροφο Συχνότητας $\frac{1}{f_4}$ $\cdot 10^{-2}(\text{sec})$
	1η						
	2η						
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ $f_5 = 1200\text{Hz}$	Αρ. μετρήσεων	ΘΕΣΗ 1ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_1 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	ΘΕΣΗ 2ου ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΗΧΟΥ L_2 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Διαφορά $1^{\text{ου}} - 2^{\text{ου}}$ μεγίστου $\Delta L = L_2 - L_1$	Μέση τιμή $\overline{\Delta L}$ διαφορών ισοδύναμη με $\lambda_5 / 2$	Μήκος κύματος λ_5 $\cdot 10^{-2}(\text{m})$	Αντίστροφο Συχνότητας $\frac{1}{f_5}$ $\cdot 10^{-2}(\text{sec})$
	1η						
	2η						

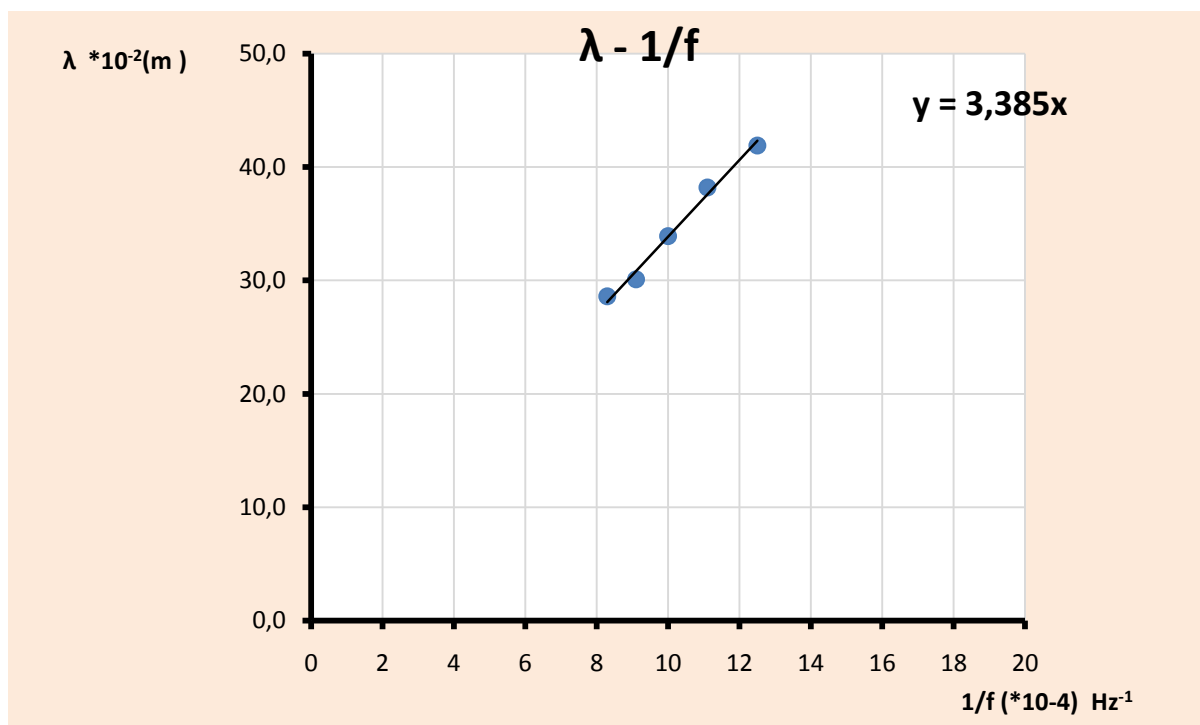
ΚΛΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΥΘΕΙΑΣ $\lambda - 1/f$
 $k = \dots\dots\dots$



ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

f (Hz)	L ₁	L ₂	ΔL = L ₂ - L ₁	Μέση τιμή ΔL	λ *10 ⁻² (m)
800	22,7	42,5	19,8	20,95	41,90
	21,9	44	22,1		
900	19,9	38,6	18,7	19,10	38,20
	19,5	39	19,5		
1000	17,9	34,9	17	16,95	33,90
	18,1	35	16,9		
1100	16,1	31,1	15	15,05	30,10
	15,9	31	15,1		
1200	14,4	28,7	14,3	14,30	28,60
	14,6	28,9	14,3		

f (Hz)	$\frac{1}{f}$ (*10 ⁻⁴ Hz ⁻¹)	λ *10 ⁻² (m)
800	12,5	41,9
900	11,1	38,2
1000	10	33,9
1100	9,1	30,1
1200	8,3	28,6



ΚΛΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΥΘΕΙΑΣ - ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ 20°C

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = 338,5 \text{ m/sec}$$

Σημείωμα για τον καθηγητή

Στην πραγματικότητα, οι κοιλίες κίνησης δε σχηματίζονται ακριβώς στο χείλος του σωλήνα αλλά σε μικρή απόσταση e από αυτό¹. Η απόσταση αυτή δίνεται από τον τύπο

$$e = 0,6r$$

όπου r είναι η ακτίνα του σωλήνα. Δηλαδή η απόσταση e είναι μεγαλύτερη όταν ο σωλήνας έχει μεγάλη διάμετρο. Συνεπώς, οι προηγούμενες σχέσεις είναι ακριβέστερο να γραφούν με τη μορφή

$$\frac{\lambda}{4} = L_1 + e$$

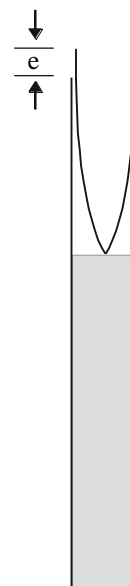
και
$$\frac{3\lambda}{4} = L_2 + e$$

Αφαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις 11.1 και 11.2, προκύπτει

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

Η ταχύτητα του ήχου μπορεί πλέον να βρεθεί χρησιμοποιώντας τη σχέση

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



Σχήμα 11.3

¹ Nelkon & Parker, *Advanced Level Physics*, 6th Edition, Heinemann Educational Books Ltd, σ. 598.