

LUCRAREA III

REZONATORI ACUSTICI

Obiectivele experimentului

- determinarea vitezei de propagare a undelor longitudinale sonore (a sunetului) în aer, măsurând lungimea de undă și frecvența sunetului;
- verificarea legii lui Torricelli.

Teoria lucrării

Rezonatorii acustici sunt tuburi sonore care produc sunete prin vibrația aerului pe care-l conțin, datorită unei excitații externe produse de o sursă de vibrații. Funcționarea rezonatorilor acustici se face pe baza fenomenului de rezonanță care apare la undele staționare.

După forma lor, tuburile sonore sunt **cilindrice** (exemplul acestei lucrări) sau **sferice** (rezonatorii Helmholtz). De asemenea, tuburile sonore sunt: **închise** (sunt închise doar la un capăt, un tub sonor nu poate fi închis la ambele capete, deoarece coloana de aer nu ar putea să vibreze cu noduri la ambele capete) și **deschise** la ambele capete.

În această lucrare se folosește un tub sonor închis de lungime variabilă. Un tub sonor închis este format din două camere: o cameră de **compresiune** C și o cameră de **rezonanță** R. Canalul cu săgeată din figura 1 reprezintă sursa externă de excitație a tubului. În dreptul deschiderii D este lama vibrantă a tubului care reprezintă sursa sonoră propriu-zisă. Lungimea l caracteristică a tubului se consideră lungimea camerei de rezonanță.

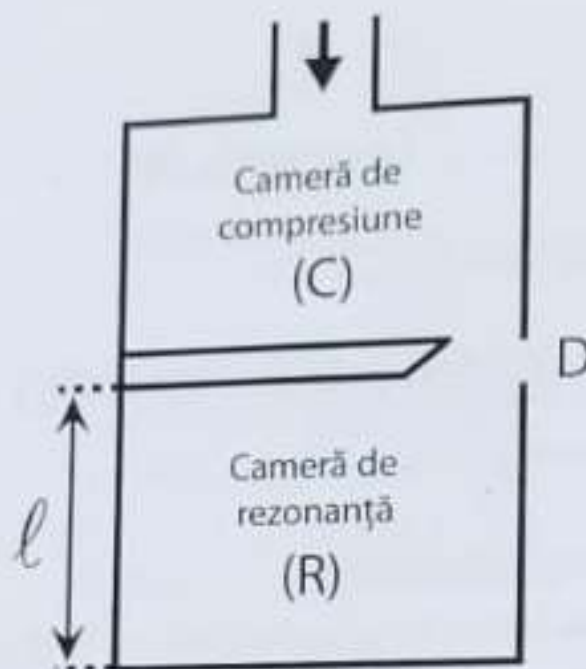


Fig. 1 Reprezentarea schematică a unui tub sonor închis

Funcționarea unui tub sonor închis se bazează pe faptul că excitarea unei staționare în coloana de aer se face la un capăt al tubului cu ajutorul lamei pusă în vibrație prin suflarea aerului: astfel la acest capăt se formează un ventru.

Ecuatia undelor staționare este dată de relația (1):

$$y(t, x) = 2A_0 \cos\left(k \cdot x + \frac{\alpha}{2}\right) \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$

unde: A_0 - amplitudinea celor două unde coerente care interferă;

k - constanta elastică;

ω - pulsația celor două unde;

α - faza inițială constantă.

Condiția formării unui ventru la capătul deschis:

$$y(t, 0) = \pm 2A_0, \quad 2A_0 \cos \frac{\alpha}{2} \sin\left(\omega t + \frac{\alpha}{2}\right) = \pm 2A_0, \\ \cos \frac{\alpha}{2} = \pm 1, \quad \alpha = n \cdot \pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Pentru $\alpha = 0$, obținem ecuația unei staționare sub forma:

$$y(t, x) = 2A_0 \cos kx \sin \omega t.$$

Condiția formării unui nod la capătul închis:

$$y(t, l) = 0, \quad 2A_0 \cos kl \sin \omega t = 0$$

$$\cos kl = 0, \quad kl = (2n-1)\frac{\pi}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Spectrul discret de frecvențe și de lungimi de undă produse de tubul sonor închis, este dat de relația (4):

$$\frac{2\pi l}{\lambda_n} = (2n-1)\frac{\pi}{2}, \quad l = (2n-1)\frac{\lambda_n}{4}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Înlocuind în relația (4) expresia lungimii de undă în funcție de viteza de propagare și de frecvență: $\lambda = \frac{c}{\nu}$, se obțin relațiile generale pentru frecvențele emise de tubul sonor închis:

$$\nu_n = (2n-1)\frac{c}{4l} = (2n-1)\nu_1, \quad \text{unde } \nu_1 = \frac{c}{4l} \quad (5)$$

Frecvențele proprii sunt multipli impari ai frecvenței fundamentale.

În figura 2 sunt prezentate primele trei moduri de vibrație ale tubului sonor închis.

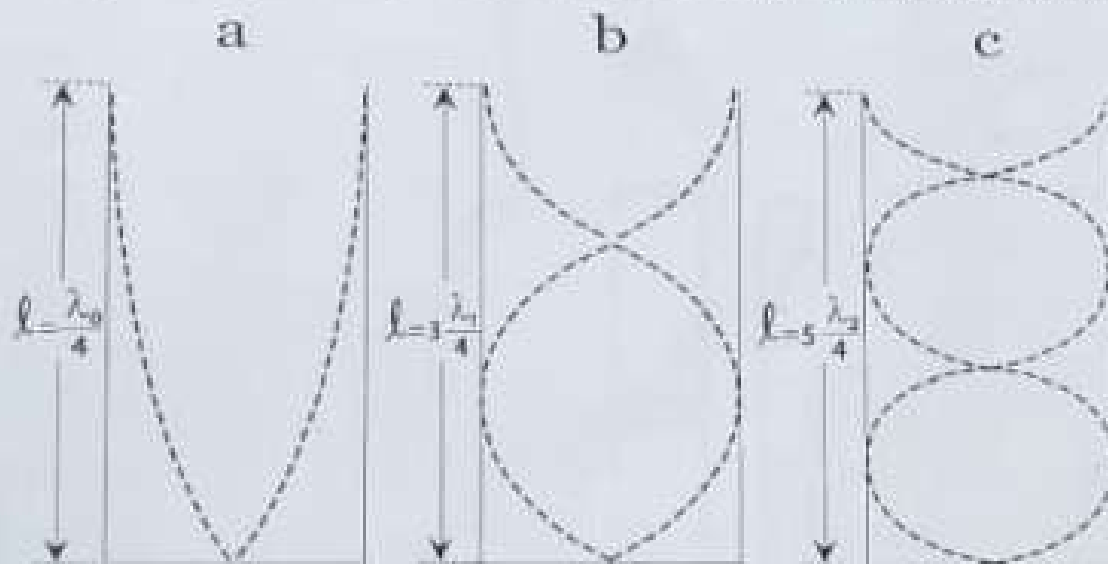


Fig. 2 Reprezentarea primelor trei moduri de vibrație ale tubului sonor închis

Dispozitivul experimental

Rezonatorul folosit în această lucrare este format dintr-un tub cilindric de sticlă, de lungime 1,40 m, care se poate umple cu apă de la robinet. Furtunul de legătură la robinet este bifurcat, astfel încât să permită umplerea tubului cu apă prin deschiderea robinetului, dar și golirea lui la chiuvetă, prin închiderea robinetului. Tot de la robinet se poate modifica viteza de umplere sau de golire a tubului cu apă.

Rezonatorul acustic este constituit la un moment dat, din segmentul de tub cuprins între capătul său superior și nivelul mobil al apei din tub. În spațiul rezonatorului se află aer și în acest mediu se măsoară viteza de propagare a sunetului.

Sursa sonoră a instalației este un difuzor de formă circulară, montat pe același suport și coaxial cu tubul, deasupra capătului său superior deschis. Difuzorul este alimentat la un generator electronic la rețeaua de 220 V a laboratorului. Conectarea difuzorului la generator se face prin intermediul a două fire izolate ale căror „banane” se introduc în bornele de ieșire pentru semnal ale generatorului. Deoarece generatorul are putere mică la ieșire, potențiometrul de amplificare a semnalului trebuie pus pe amplificare maximă. S-a stabilit ca intervalul de lucru pentru frecvență să fie 900 – 2500 Hz.

Paralel cu tubul cilindric se află o bară pe care se deplasează 6 indicatoare metalice (fig. 3).

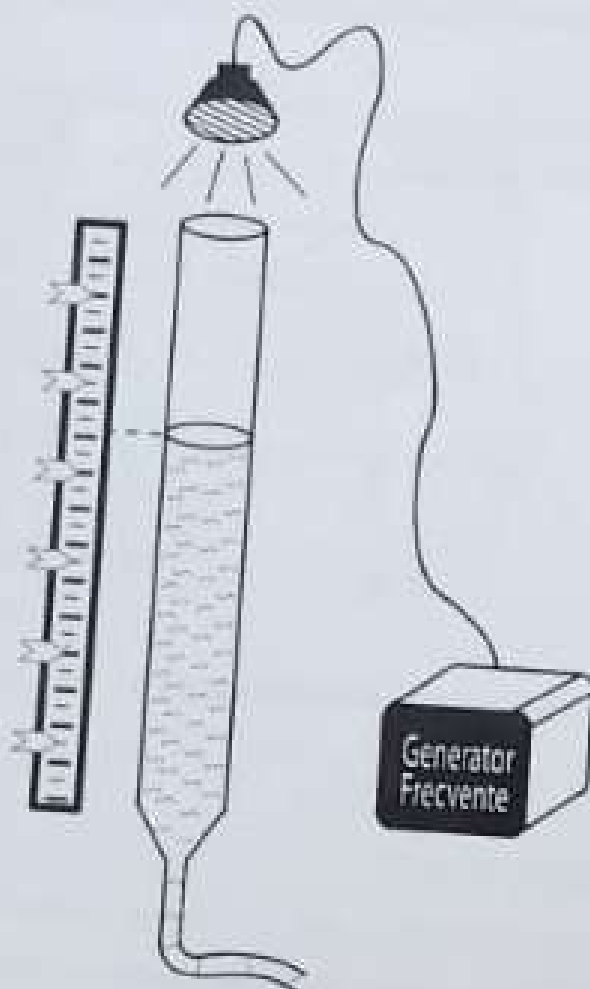


Fig. 3 Reprezentarea dispozitivului experimental

Modul de lucru

Se verifică existența și funcționalitatea tuturor elementelor componente ale instalației și se realizează conexiunile electrice, se pornește generatorul și se introduce apă în tub. Perceperea ventrelor sunetului se face fie la umplerea tubului, fie la golirea lui.

În cursul unei măsurători, la o anumită frecvență, cele 6 indicatoare metalice vor fi poziționate în dreptul maximelor de interferență, adică al ventrelor. Distanța dintre două ventre succesive (adică dintre două indicatoare succesive) se citește pe linia gradată și este egală cu $\lambda/2$. Se determină λ , lungimea de undă a sunetului respectiv și viteza de propagare a sunetului pentru frecvența respectivă, cu relația (6).

$$c = \lambda \cdot \nu, \quad c = 340 \quad (6)$$

Se repetă determinările pentru 6 valori ale frecvenței de lucru și datele obținute se trec într-un tabel de forma:

Nr. det.	ν (Hz)	$\frac{\lambda_1}{2}$ (m)	$\frac{\lambda_2}{2}$ (m)	$\frac{\lambda_3}{2}$ (m)	$\frac{\lambda_4}{2}$ (m)	$\frac{\lambda_5}{2}$ (m)	$\bar{\lambda}$ (m)	$c = \bar{\lambda} \cdot \nu$ (m/s)	\bar{c} (m/s)
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									

Viteza medie a sunetului obținută trebuie să aibă o valoare apropiată de 340 m/s. Se observă că viteza sunetului nu depinde de frecvență, ceea ce arată că propagarea sunetului în aer este un fenomen nedispersiv la frecvențele la care se lucrează.

Verificarea legii lui Torricelli

Legea lui Torricelli exprimă viteza de curgere a unui lichid printr-un orificiu al vasului în care se află, în funcție de diferența de nivel și de secțiunile respective.

Ecuatia diferențială care descrie curgerea lichidului rezultă din legea de conservare a masei și este dată de relația (7).

$$-S_0 \frac{dh}{dt} = S\sqrt{2gh} \quad (7)$$

unde: S_0 – secțiunea tubului;

S – secțiunea orificiului prin care curge lichidul (apa);

h – înălțimea momentană a lichidului în tub.

Prin integrare, se obține soluția dată de relația (8).

$$h^{1/2} = k t + h_0^{1/2} \quad (8)$$

Din rezultatul obținut rezultă că trecerea lichidului prin dreptul unor repere succesive și echidistante, primul marcând nivelul inițial față de cota capătului inferior al tubului, se va face la momente de timp date de relația (9).

$$\begin{aligned} h_1^{1/2} &= k t_1 + h_0^{1/2}, \dots, h_n^{1/2} = k t_n + h_0^{1/2}, \\ \frac{t_k}{t_1} &= \frac{\sqrt{h_k} - \sqrt{h_0}}{\sqrt{h_1} - \sqrt{h_0}} \end{aligned} \quad (9)$$

Fixând reperele și măsurând distanțele (cotele) de la nivelul orificiului de ieșire din tub și apoi cronometrând timpul de trecere prin dreptul reperelor, putem verifica relația (9).

Păstrând poziția reperelor, se vor repeta experiențele pentru alte 5 poziții ale înălțimii inițiale h_0 a nivelului lichidului.

Se reprezintă grafic $t = f(h^{1/2})$.