

REFLEXIA SI ABSORBTIA UNDELOR SONORE

DETERMINAREA COEFICIENTILOR DE REFLEXIE SI ABSORBTIE

Scopul lucrării

În această lucrare de laborator se vor determina, folosind interferometrul acustic, valorile coeficienților de reflexie și de absorbție, precum și dependența de frecvență a acestor mărimi, în cazul unor probe de material de natură diferită.

Considerații teoretice

Prin *reflexia undelor sonore* se înțelege fenomenul de întoarcere a acestora în mediul din care provin, atunci când ele întâlnesc suprafața de separație cu un alt mediu, care are o altă densitate. Reflexia undelor sonore se mai numește și *reflexie acustică*.

Să considerăm mai întâi un prim caz particular - acela în care o undă sonoră care se propagă într-un gaz (mediul 1) întâlnește suprafața de separație cu un corp rigid (mediul 2). Într-un model simplificat, particulele mediului 1 pot fi reprezentate ca sfere elastice, ce execută o mișcare oscilatorie. Sub acțiunea unei sonore, particulele de gaz din vecinătatea suprafeței reflectătoare vor suferi, în procesul de oscilație, ciocniri elastice cu particulele solidului. După cum este bine cunoscut, în urma fiecărui proces de ciocnire, componenta normală a vitezei particulei incidente își va schimba sensul (componenta paralelă a vitezei rămânând neschimbată), fapt ce va determina un salt de fază cu π radiani al undei reflectate, față de unda incidentă.

Fenomenul de reflexie are loc și atunci când unda se propagă inițial într-un mediu mai dens (un rigid) și întâlnește un mediu mai puțin dens, de exemplu un gaz. Spre deosebire de primul caz, acum reflexia are loc fără salt de fază.

În situațiile cel mai frecvent întâlnite în realitate, reflexiile pe suprafețele de separare a două medii diferite se situează între cele două situații extreme, prezentate mai sus. Unda reflectată suferă un salt de fază ($0 \leq \varphi \leq \pi$), iar amplitudinea undei reflectate este mai mică decât a undei incidente, deoarece o parte din energia undei incidente trece în mediul pe care are loc reflexia.

Pentru a caracteriza fenomenul de reflexie se introduce o mărime care se determină empiric, *coeficientul de reflexie sau factorul de reflexie acustică*. Prin definiție, coeficientul de reflexie este raportul dintre amplitudinea unei reflectate și amplitudinea unei incidente. Unda sonoră fiind o undă de presiune, pentru coeficientul de reflexie acustică se poate scrie relația:

$$r = \frac{P_r}{P_i} \quad (1)$$

unde P_r și P_i sunt amplitudinile unei de presiune reflectată și, respectiv, incidentă.

Deoarece, la suprafața de separație dintre două medii diferite, reflexia este întotdeauna însoțită de un fenomen de absorbție de energie, pentru caracterizarea proprietăților absorbante ale unui mediu se poate defini *coeficientul de absorbție acustică*, α , definit ca raportul dintre energia sonoră absorbită (E_a) de mediul în care trece unda și energia unei incidente (E_i)

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (2)$$

Scriind ecuația ce exprimă legea conservării energiei în zona de separare dintre cele două medii, vom avea:

$$E_i = E_a + E_r \quad (3)$$

în care E_r este energia unei reflectate. Împărțind ambii membri ai ecuației (3) cu E_i și ținând cont de ecuația (2) obținem:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{E_r}{E_i} \right) \quad (4)$$

Așa cum este cunoscut, energia unei unde este proporțională cu pătratul amplitudinii mișcării periodice a punctului material; ca urmare:

$$\frac{E_r}{E_i} = \left(\frac{P_r}{P_i} \right)^2 = r^2$$

Deci, între coeficientul de absorbție acustică, r și coeficientul de reflexie, α , se poate scrie ecuația:

$$\alpha = 1 - r^2 \quad (5)$$

Unde staționare

În cazul în care într-un punct al unui mediu elastic se compun două unde de aceeași frecvență, care se propagă după aceeași direcție, dar în sensuri contrare, se pot obține unde staționare. Pentru a găsi condițiile de apariție, precum și particularitățile undelor staționare, să presupunem (fără a pierde din generalitatea rezultatului) că cele două unde care interferă au aceeași amplitudine. Ele pot fi descrise de ecuațiile:

$$\begin{aligned} p_1 &= P e^{i(\omega t - kx)} \\ p_2 &= P e^{i(\omega t + kx)} \end{aligned} \quad (6)$$

Prin compunerea oscilațiilor determinate într-un punct de cele două unde, rezultă o nouă oscilație și - din cauza interacțiunilor de tip elastic dintre particulele mediului - o undă, descrisă de ecuația:

$$p = p_1 + p_2 = P e^{i\omega t} (e^{ikx} + e^{-ikx}) = 2P \cos kx e^{i\omega t} \quad (7)$$

Ecuația (7) arată că punctele materiale execută oscilații armonice în timp, cu frecvența ω ; amplitudinea oscilațiilor se modifică de la punct la punct și anume:

❖ în punctele a căror coordonate satisfac ecuația:

$$\cos kx = 0 \quad (8)$$

adică aflate la distanțele:

$$x_k = (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad \left(k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad n = 0, 1, 2, \dots \right) \quad (9)$$

amplitudinea de oscilație este nulă. Aceste rămân în permanență în repaus și se numesc *noduri*.

❖ Punctele pentru care:

$$\cos kx = 1,$$

adică aflate la distanțele

$$x_k = n \left(\frac{\lambda}{2} \right) \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (10)$$

vor oscila cu amplitudinea maximă și formează **ventrele** undelor staționare.

În cazul când cele două unde, care conduc la formarea undelor staționare nu au amplitudini egale, în punctele definite de ecuația (8), în care se obțin minime de interferență, amplitudinea de oscilație este nenulă.

De fapt, regula generală este aceea că acolo unde interferența este *distructivă* amplitudinea de oscilație a punctelor materiale este egală cu *diferența amplitudinilor* celor două unde, iar acolo unde interferența este *constructivă* (în ventre) amplitudinea oscilației punctelor materiale este egală cu *suma amplitudinilor* celor două unde:

$$P_n = |P_i - P_r| \quad (11)$$

$$P_v = |P_i + P_r| \quad (12)$$

În cazul unui astfel de sistem de unde staționare se definește **coeficientul de undă staționară**, N , ca raportul:

$$N = \frac{P_v}{P_n} \quad (13)$$

Folosind ecuațiile de definiție (1), (11), (12) și (5) putem stabili următoarele relații de interes practic între coeficienții de reflexie și de absorbție funcție de coeficientul de undă staționară:

$$r = \frac{N-1}{N+1} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{4}{N + \frac{1}{N} + 2} \quad (15)$$

Determinarea coeficienților r și α cu ajutorul interferometrului acustic

a) Descrierea aparatului. În Fig. 1 este arătat schematic interferometrul acustic. Partea principală a acestuia o constituie tubul interferometric T_1 alcătuit dintr-o țevă de oțel cu peretele gros (pentru a diminua pierderile de energie sonoră în exterior). Tubul interferometrului are formă de L , având în ramura scurtă un difuzor D .

Undele sonore se propagă de la difuzor, prin tubul interferometric, se reflectă de

proba P , iar unda reflectată se compune cu cea incidentă putând forma, așa cum am arătat anterior, în tubul T_1 , un sistem de unde staționare.

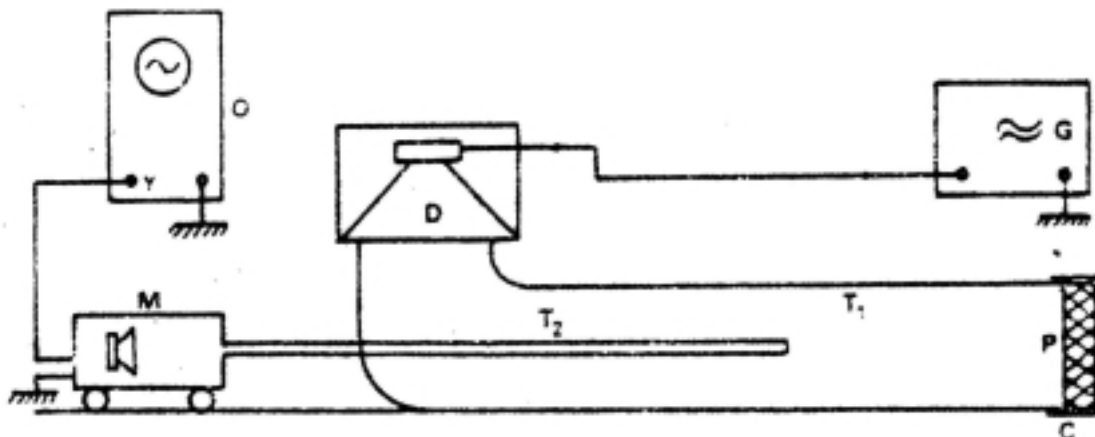


Fig. 1

În capătul tubului interferometric se pot așeza diferite probe din materiale diferite (P) pentru a li se măsoara coeficientul de absorbție și de reflexie acustică. Aceste probe sunt prinse cu ajutorul unui tub scurt (C), care închide ca un capac tubul interferometric.

În ramura lungă a tubului interferometric se găsește un tub metallic subțire, T_2 , care joacă rolul unei sonde acustice; ea culege semnalul (oscilația presiunii la capătul deschis, aflat în interiorul tubului T_1) și îl transmite microfonului M , montat la celălalt capăt, pe un cărucior mobil. Semnalul acustic recepționat de microfon este convertit într-o tensiune electrică (având aceeași lege de variație în timp ca și sunetul recepționat). Semnalul electric este aplicat la intrarea Y a unui osciloscop catodic, O (se poate folosi, cu rezultate mai bune în privința preciziei măsurărilor, un milivoltmetru de audiofrecvență).

Întreg ansamblul sondă-microfon-cărucior se poate deplasa de-a lungul axul tubului interferometric; poziția sa este determinată folosind o riglă gradată fixă, paralelă cu ansamblul mobil.

Difuzorul D este alimentat cu o tensiune sinusoidală, furnizată de un generator de audiofrecvență, G , cu o putere utilă de cca 4 W, a cărui frecvență poate fi aleasă în banda de frecvență 200 - 1000 Hz.

b) Modul de lucru

↳ Pentru determinarea coeficienților de reflexie și de absorbție vom efectua următoarele operații.

❶ Se verifică dacă sunt realizate legăturile electrice de la generatorul de semnal G la difuzorul D și de la microfon la intrarea Y a osciloscopului.

❷ Se verifică dacă sistemul mecanic este aliniat. Aceasta presupune ca, la deplasarea tubului-sondă, să se efectueze o deplasare lină, lipsită de rezistență. În cazul în care sonda se mișcă greu sau s-a blocat, se urmărește dacă șina este aliniată cu tubul interferometric și dacă toate roțile căruciorului pe care este montat microfonul se deplasează pe șine. Acest lucru se realizează prin reglarea șuruburilor de la capetele șinelor.

❸ Se deschide capacul C și se introduce o probă de studiat (de exemplu o placă de polistiren expandat), după care se reintroduce capacul C .

❹ Se conectează la rețeaua de 220 V toate aparatele electrice. Se pune în funcțiune osciloscopul și se verifică dacă sensibilitatea sa este fixată pe poziția 0,02 V/div. Se pune în funcțiune generatorul de semnal și se alege gama 100 - 1000 Hz.

❺ Se deplasează încet sonda T_2 pornind de la suprafața probei (punctul 0 pe rigla montată între șinele de deplasare a microfonului) și se urmărește pe osciloscop modificarea amplitudinii semnalelor pentru o frecvență joasă a sunetului. Se notează cu grijă amplitudinea semnalului în ventre (P_v) și respectiv noduri (P_n) precum și poziția acestora pe rigla R .

❻ Se trec în tabel valorile P_v , P_n și pozițiile ventrelor și nodurilor, pentru diferite frecvențe cuprinse între 200 Hz și 1000 Hz și pentru diferite probe.

Tabelul 1

Determinarea coeficienților de reflexie și de absorbție

Nr. det.	P_v	P_n	$x_v(\text{cm})$	$x_n(\text{cm})$	n	$\lambda (\text{cm})$	r	α	Material
1									
2									
...									

⑦ Se calculează, pentru fiecare măsurătoare, coeficientul n de unde staționară și lungimea de undă.

⑧ Se trasează graficul coeficienților de reflexie, r și de absorbție, α , funcție de frecvență pentru fiecare probă în parte. Se vor folosi ca probe: polistiren expandat, vată, material plastic și metal). Se compară rezultatele între ele.

➤ **Întrebări:** 1. De ce au fost impuse limitele de frecvență de cca 200 Hz și respectiv 1000 Hz ?

2. De ce se modifică amplitudinea semnalelor în ventre când se modifică frecvența undei sonore ?

3. Se măsoară, de fapt, în acest experiment, amplitudinea undelor de presiune? De ce este suficientă măsurarea acesteia ca o deviație pe ecranul osciloscopului?

4. Se poate, folosind dispozitivul experimental descris, determina viteza de propagare a sunetului în aer? Descrieți un procedeu experimental, apoi efectuați măsurătorile în acest sens. Comparați rezultatul găsit cu viteza dată de relația:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$$

unde $\gamma = C_p/C_v$ reprezintă coeficientul lui Poisson, μ - masa molară a aerului, R - constanta universală a gazelor, iar T - temperatura absolută.