

(Unde 2)

UNDE SONORE STATIONARE SI MODURI NORMALE

Cand o unda sonora longitudinala se propaga intr-un fluid cu o lungime finita, undele vor fi reflectate la extremitati asemenea undelor transversale intr-o corda fixata la extremitati.

Prin superpozitia/suprapunerea undelor care se propaga pe directii diferite => unde stationare.

Undele sonore produse in tuburi (ex. modurile normale) pot fi utilizate pt. producerea sunetelor in aer => principiul vocii umane produsa de corzile vocale, instrumente muzicale cu tuburi (ex. orga).

Undele sonore sunt descrise atat sub forma deplasarii particulelor cat si sub forma fluctuatiilor de presiune

noduri de deplasare —> ventre de presiune

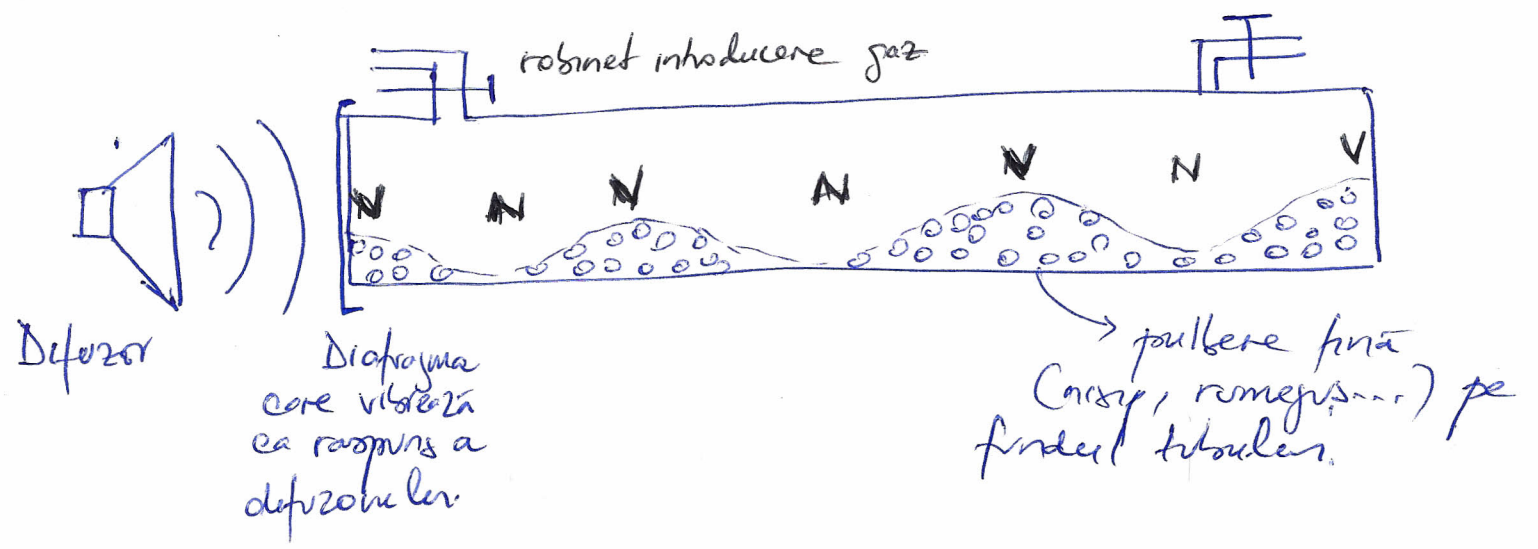
noduri de presiune —> ventre de deplasare

$$\psi = A \cos(kx - \omega t)$$

$$p(x,t) = BkA \sin(kx - \omega t)$$

in antifaza
(defazata cu $\pi/2$)

Exemplu 1 Tubul lui Kundt pt. studiul undelor stationare sonore



Vorund frecvența sunetului produs de boxă vom trece prin frecvențe la care amplitudinea undelor stationare produse va fi suficient de mare să permită pulterii fine să se aranjeze urmând zonele de compresie respectiv rarefacție. Pulterea va fi colectată în nodurile de deplasare (în care gazul nu se mișcă) \Leftrightarrow ventre de presiune.

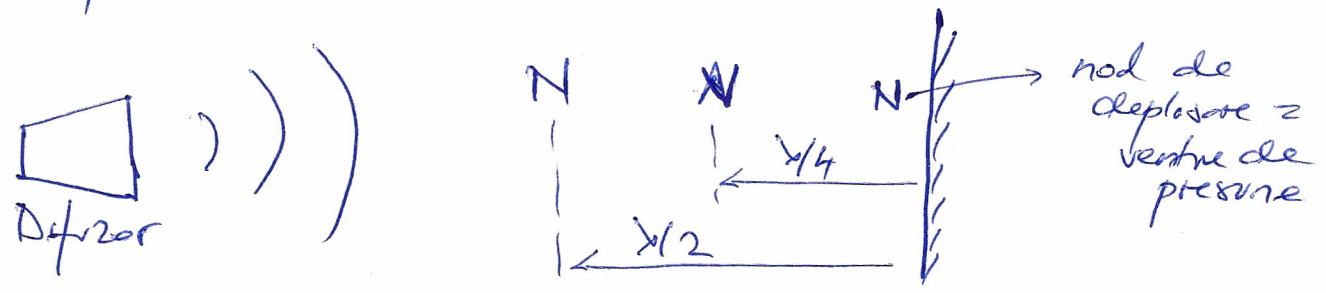
Nodurile adiacente sînt separate de $\lambda/2$ care poate fi măsurat direct

Dată fiind frecvența sunetului și λ măsurat, se poate calcula viteza de propagare a sunetului în gazul introdus în tub

$$v = \lambda f$$

λ - acordată folosind un generator de sunet.

Exemplu 2 Ecranarea sonică



Cand sunetul este reflectat de perete interfera cu sunetul incident creand o unda stationara cu noduri și ventre

Într-un ventru de deplasare vom avea un nod de presiune \Leftrightarrow absența sunetului!

Peretele fiind un nod de deplasare (ventru de amplitudine) \Rightarrow la $\lambda/4$ de perete vom avea un ventru de deplasare (nod de ~~amplitudine~~ presiune)

\Rightarrow posibilitatea de "ecranare acustică" dacă plasăm în această poziție într-un mediu zgornitor un sac de lucru, vom beneficia de zgornit redus

Instrumente de suflot. Tubouri



tubouri (orga) → aerul este furnizat de
câte o suflantă la o presiune
relativă de 10^3 Pa (10^{-2} atm).

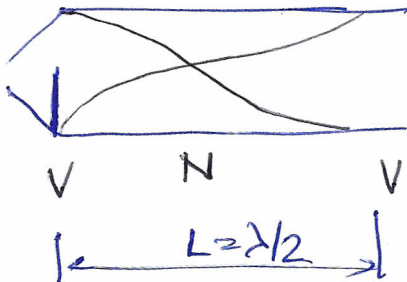
Coloana de aer din tub
intră în oscilație armoniică
vibrantă ⇒ moduri normale posibile
într-un tub de lungime L

Oraficiul de intrare al tubului acționează ca și
capăt liber ⇒ ventru de deplasare = nod de
presiune.

Cealaltă extremitate poate fi deschisă sau închisă
(cond. la limite diferă în cele 2 cazuri)

→ Tub deschis la ambele extremități!

Reprezentăm ventrele și nodurile de deplasare.



→ frecvența
fundamentală

$$\frac{\lambda}{2} = L$$

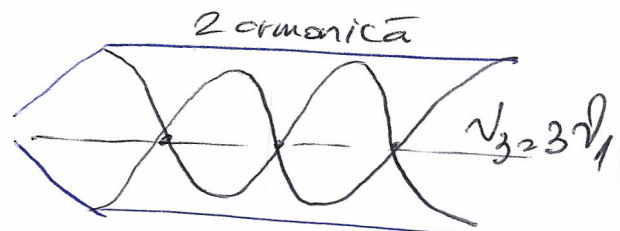
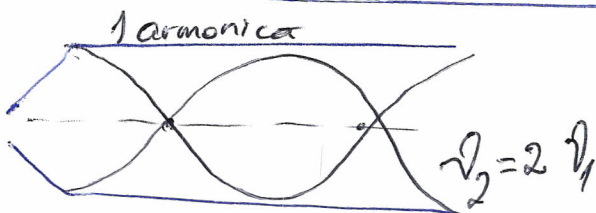
$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

Armonicele

$$n \frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$\nu_n = n \frac{v}{2L}$$

$$n = 2, 3, \dots$$



→ Tubul închis la un capăt

Condiții limită

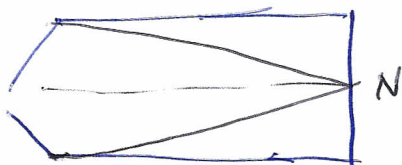
→ extremitate deschisă:	ventru deplasare
	nod presiune
← extremitate închisă:	nod deplasare
	ventru presiune

Distanța dintre V și N este $\lambda/4$

Fundamentală: $L = \lambda/4 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L}$

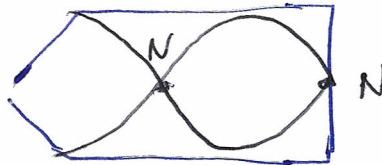
Armonice $L = n \lambda/4 \Rightarrow f_n = n \frac{v}{4L}$

$n = 1, 3, 5, \dots$



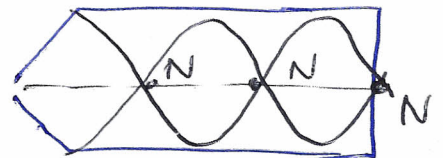
$L = \frac{\lambda}{4}$

fundamentală



$L = 3 \frac{\lambda}{4}$

a treia armonică



$L = 5 \frac{\lambda}{4}$

a cincea armonică

Cu un astfel de tub se pot produce doar armonice impare.

Obs: • Într-un tub muzical, mai multe moduri sunt produse simultan \Rightarrow sunetul global este o superpoziție a acestor moduri \Rightarrow compoziție armonică
 \Rightarrow timbrul = analog cu vibrațiile

• Din $f = n \frac{v}{4L} \Rightarrow v = 4Lf$ însă $v = \sqrt{T}$

\Rightarrow când $T \neq$ într-o orgă este important ca toate tuburile să aibă aceeași temperatură, altfel se vor emite sunete falșe.

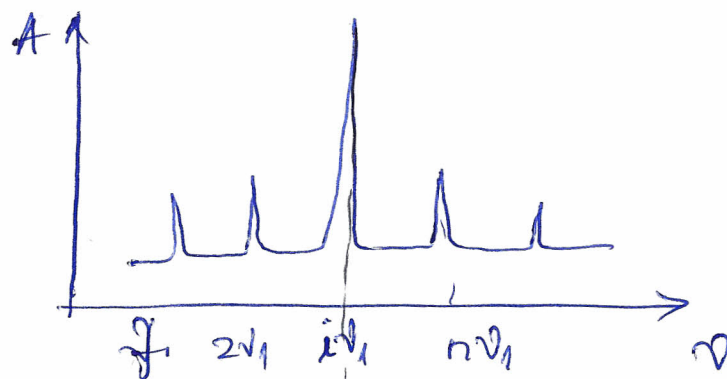
Rezonanța sonoră

Sistemele mecanice au moduri normale de oscilație. În fiecare din aceste moduri fiecare particulă a sistemului efectuează o mișcare oscilatorie armonică la frecvența modului respectiv.

Coloanele de aer din flaut sau corzile vibrante au o infinitate de moduri de vibrație $n = 1, 2, \dots, \infty$

Să presupunem că aplicăm o forță periodică asupra sistemului care oscilează \Rightarrow oscilații forțate cu frecvența forței externe periodice.

În regimul oscilațiilor forțate, rezonanța are loc dacă frecvența forței variabile periodice coincide cu frecvența unuia dintre modurile normale.



Curba de rezonanță

La rezonanță $\left\{ \begin{array}{l} \text{La frecvența } \nu_i, \text{ amplitudinea} \\ \text{pe modulul } \nu_i \end{array} \right\} \Rightarrow A \text{ are un maxim}$

Dacă nu ar exista mecanisme de disipare, o forță externă cu o frecvență egală cu cea a unui mod ar produce o amplificarea infinită a amplitudinii aceluși mod. În realitate, datorită amortizării, amplitudinea rezonanță a modului va fi finită. (Cu cât $Q \uparrow, A \uparrow$)

ex: Sunetul mare produs de o scoică se datorează rezonanței aerului în interiorul scoicii (moduri normale dependente de formă)...

vezi oscilații amortizate forțate (rezonanță în circuitul electric)

Fenomenul de bătăi

Am analizat fenomenul de interferență a undelor în cazul în care se suprapun două unde cu frecvență identică $\omega_1 = \omega_2$

Ce se întâmplă însă dacă avem 2 unde cu frecvență aproape identică însă foarte puțin diferită și cu amplitudine identică?

$$y_1 = A \sin(kx + \omega_1 t) \quad \neq \quad A \sin \omega_1 t = A \sin 2\pi f_1 t$$

$$y_2 = A \sin(kx - \omega_2 t) \quad \neq \quad A \sin \omega_2 t = A \sin 2\pi f_2 t$$

$x=0$

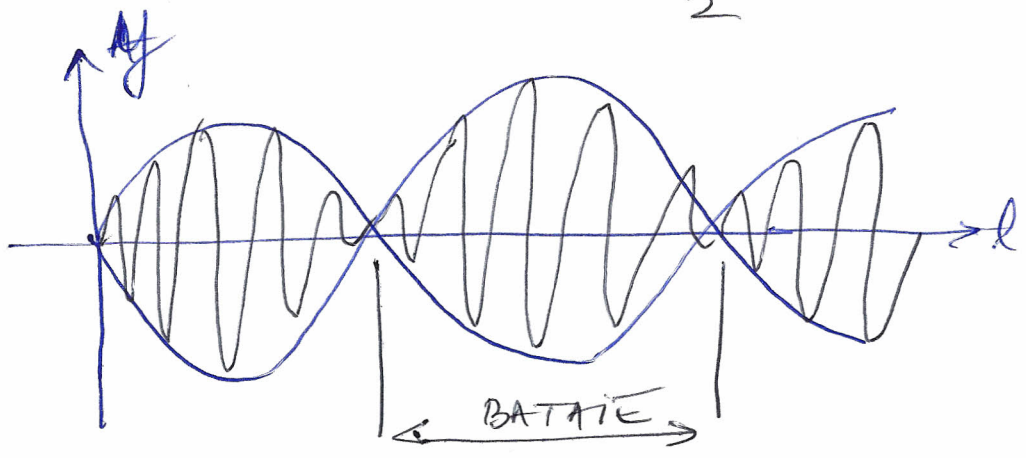
$$y = y_1 + y_2 = A \left[\sin 2\pi \nu_1 t - \sin 2\pi \nu_2 t \right]$$

$$\sin a - \sin b = 2 \sin \frac{a-b}{2} \cos \frac{a+b}{2}$$

$$\Rightarrow y(t) = 2A \sin \left[\frac{1}{2} 2\pi (\nu_1 - \nu_2) t \right] \cos \left[\frac{1}{2} (2\pi) (\nu_1 + \nu_2) t \right]$$

Variație lentă a amplitudinii cu $\nu = \frac{\nu_1 - \nu_2}{2}$

Variație rapidă a amplitudinii cu $\nu = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$



Variațiile de amplitudine produc variația de intensitate a sunetului numite bătăi.

Factorul de amplitudine al batilor:

→

$$A_B = 2A \sin\left(2\pi \frac{\nu_1 - \nu_2}{2} t\right)$$

Intensitatea sunetului $\propto A_B^2$; Frecvența lui $\sin^2\left(2\pi \frac{\nu_1 - \nu_2}{2} t\right)$ este $\nu_B = 2 \frac{\nu_1 - \nu_2}{2} = \nu_1 - \nu_2$

⇒ frecvența batilor sonore

$$\boxed{\nu_B = \nu_1 - \nu_2 = \Delta\nu}$$

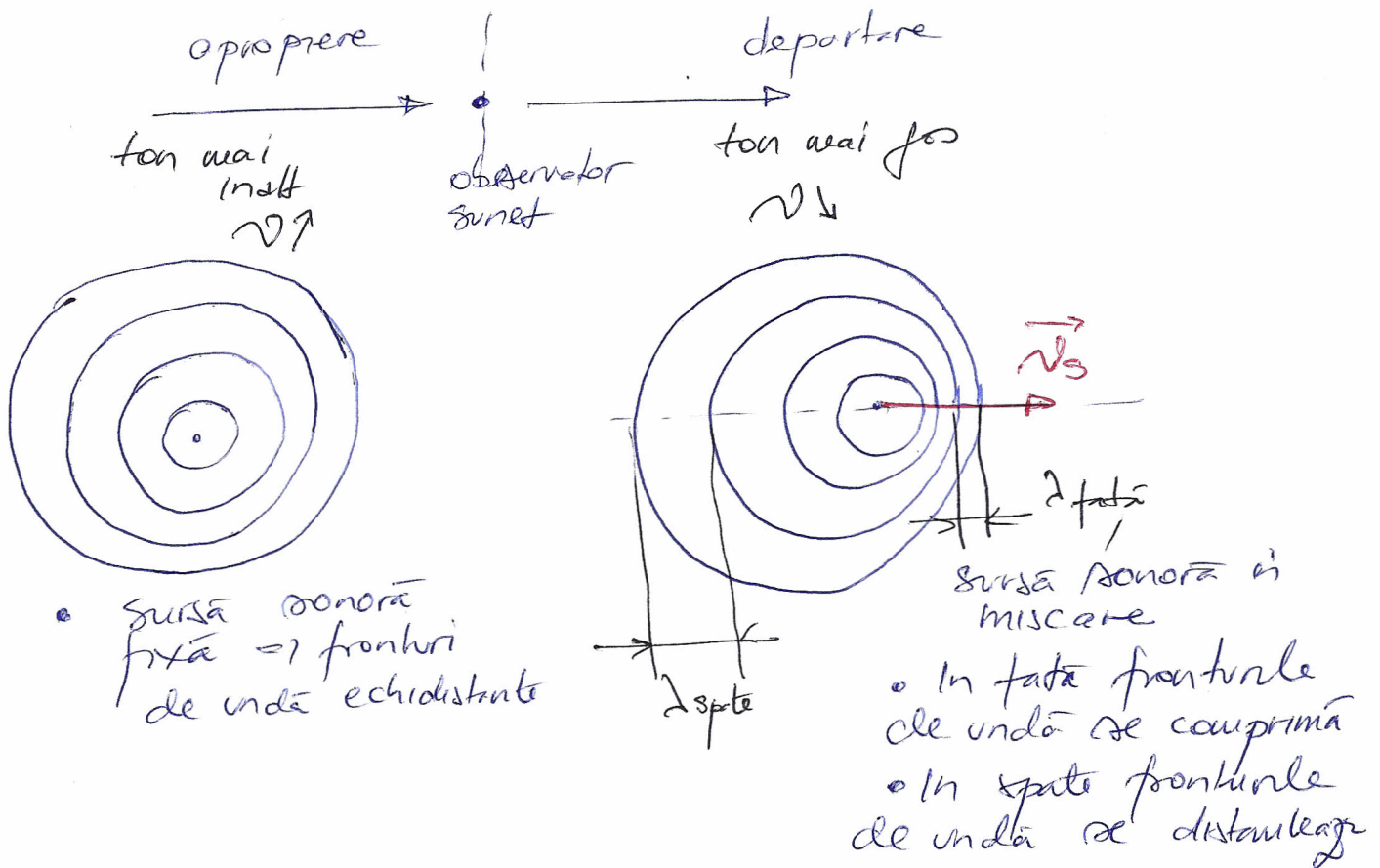
Aplicații

→ Motoarele unui avion liniar trebuie să fie perfect sincronizate pt ca sunetul lor să nu creeze batăi. Aceasta se face fie electronic fie manual de către pilot, depinde de modelul avionului.

→ În radarele moderne, fenomenul de batăi este folosit pentru măsurarea deplasării Doppler al undelor reflectate de obiectul în mișcare, ceea ce permite determinarea precisă a vitezei acestuia (vezi în continuare efectul Doppler).

EFFECTUL DOPPLER

În experiența fiecăruia, am remarcat faptul că sunetul closonului unei mașini care se apropie este mai ascuțit ($\nu \uparrow$) decât cel produs când mașina se îndepărtează de noi.



$$\lambda_{fata} = \frac{v - v_s}{\nu_s}$$

ν_s = frecvența sunetului emis de sursă

v_s = viteza sursei în mișcare

v = viteza sunetului în aer

$$\lambda_{spate} = \frac{v + v_s}{\nu_s}$$

Un observator (persoană care ascultă) aflat în repaus va auzi un sunet cu frecvență diferită față de ν_s :

$$\nu_{obs} = \frac{v}{\lambda_{fata}} \quad \text{sau} \quad \frac{v}{\lambda_{spate}} \quad \Rightarrow$$

sursa se apropie:
(obs. fix) $\nu_{obs} = \nu_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{c}} > \nu_s$

sursa se departeaza
(obs. fix) $\nu_{obs} = \nu_s \frac{1}{1 + \frac{v_s}{c}} < \nu_s$

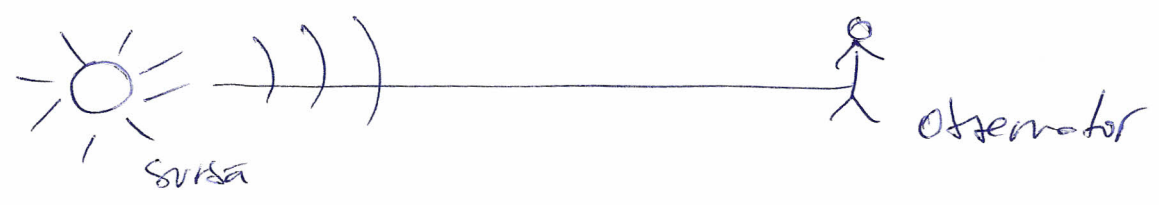
$$\nu_{obs} = \nu_s \frac{1}{1 \mp \frac{v}{c}}$$

- o sursa in micare
- observator fix
- apropiere
- + departare

Efect Doppler pt. unde electromagnetice

$v = c$

Principiu fizic similar dar abordarea trebuie sa fie relativista!



→ sursa se apropie:

$$\nu = \sqrt{\frac{c+u}{c-u}} \nu_0 > \nu_0$$

decalaj spre ~~albstru~~
(blue-shift) $\lambda < \lambda_0$

$c = \text{viteza luminii (unde electromagnetice)}$
 $u = \text{viteza sursei}$

→ sursa se departeaza

$$\nu = \sqrt{\frac{c-u}{c+u}} \nu_0 < \nu_0$$

decalaj spre roșu
(red-shift)
($\lambda > \lambda_0$)

Ok: decalajul spre roșu observat in lumina emisa de catre galaxii in Univers demonstreaza expansiunea universului (cazul sursei care se indeparteaza)

Aplicație: Radarul Doppler

-10-

Un dispozitiv radar este montat pe o mașină de poliție, pentru măsurarea vitezei de deplasare a vehiculelor. Acest dispozitiv emite o undă electromagnetică la frecvența ν_0 .

După reflecția pe o mașină care se mișcă cu viteza u , frecvența undei reflectate va avea un decalaj Doppler $\Delta\nu = \nu - \nu_0$. Semnalul emis și cel reflectat sunt interferate pentru a produce fenomenul de bătăi.

Viteza vehiculului care produce decalajul Doppler prin reflecție se calculează din frecvența bătăilor.

Tehnici similare radarului Doppler se utilizează pt. a măsura viteza vântului în atmosferă.

Eco-cardiografia Doppler

Un eco-cardiograf utilizează sunele de înaltă frecvență (ultrasunete) pt. a realiza imagini ale organelor interne (ex. inimii). Folosirea tehnologiei Doppler permite măsurarea vitezei și orientării acesteia pt. deplasarea sângelui, (folosind reflecția undelor sonore pe globulele roșii din sânge).

Măsurătorile de viteză permit caracterizarea funcționalității valvelor cardiace, etc...

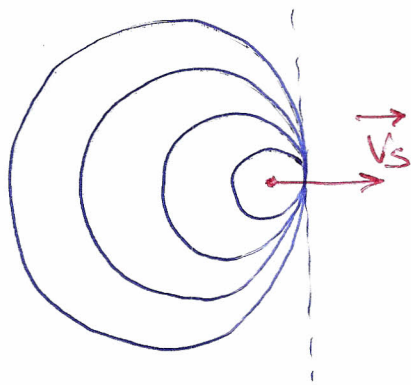
LINAIE DE SOC

Când un avion zboară cu o viteză mai mare decât viteza sunetului în aer (regim ultrasonice) se aude boom-ul Sonic. (pocnet puternic).

Miscarea avionului în aer produce unde sonore. Dacă avionul se mișcă cu v_s și $v_s < v$ undele sonore în fața avionului se îngrămădesc (strang) - v. efect Doppler-

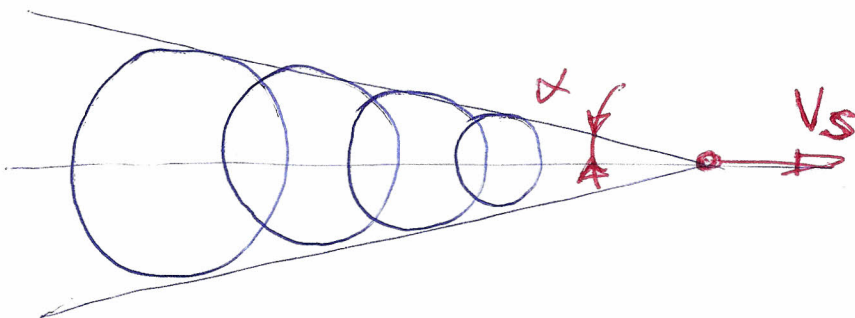
cu $f_{fata} = \frac{v - v_s}{\lambda}$ $f_s = \text{frecvența sursei emise}$

când $v \rightarrow v_s \Rightarrow \lambda \rightarrow 0$



Dacă $v > v_s \Leftrightarrow$ sursa de sunet este supersonică ecuațiile deduse pt efectul Doppler nu mai sunt valide.

Frontul de undă rămâne în spatele sursei care emite sunetul.



Fronturile circulare interferă constructiv într-o zonă de-a lungul unei linii numite linia undei de poc, amplitudinea rezultantă fiind foarte mare.

$$\sin \alpha = \frac{V}{V_s}$$

$$V_s \rightarrow V \Rightarrow \sin \alpha = 1 \\ \alpha = \pi/2$$

V_s = viteza sursei de sunet relative la aer

Raportul

$$\frac{V_s}{V} = \frac{1}{\sin \alpha}$$

se numeste numarul MACH

Numarul Mach $> 1 \Rightarrow$ viteza supersonica.

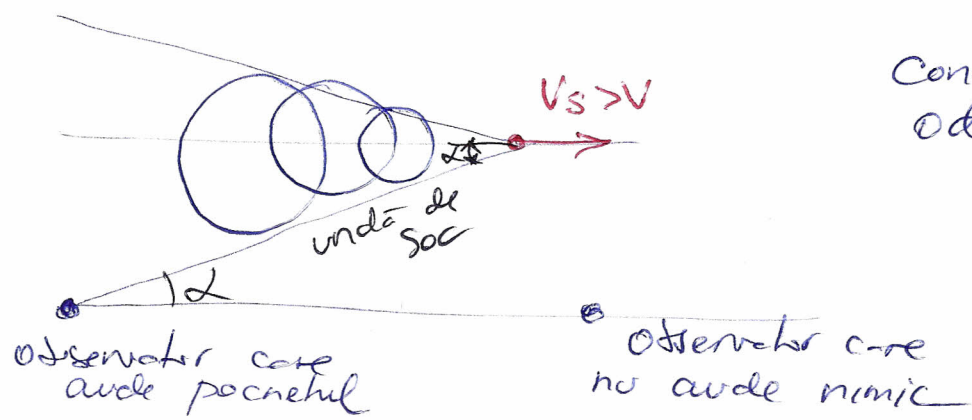
Istoric, prima persoana care a depasit bariera sonica a fost Cpt. Chuck Yeager (US. Airforce) care zbura cu un avion Bell X-1 la Mach 1,06 in Octombrie 14/1947.

Obs: Undele de soc sunt 3D \Rightarrow formeaza un con in jurul sursei care se deplaseaza directiei

Ele produc o variatie a presiunii de aproximativ 20% pt un avion Concorde care zboara la 12000 m alti de sol, cand unda de soc atinge suprafata pamantului

In fata undei de soc nu exista sunet. In interiorul conului, un observator va auzi un sunet decaalat Doppler al avionului care se indeparteaza.

In momentul in care unda de soc ajunge la observator acesta va percepe un pocnet puternic (sonic boom).



Conul se deplaseaza odata cu sursa

observator care aude pocnetul

observator care nu aude nimic

Undele de șoc sunt produse continuu de către orice obiect în mișcare în aer care se deplasează cu o viteză ($v_s > v$) mai mare decât viteza sunetului în aer (344 m/s , $T = 20^\circ \text{C}$). Observatorul aude pocnitura când unda de șoc ajunge în poziția acestuia.

Alte exemple de pocnet sonic

- pocnitura produsă de glonț
- pocnitura produsă de capatul unui bici, se produce datorită mișcării supersonice a acestuia din urmă.

ELEMENTE DE OPTICĂ ONDULATORIE

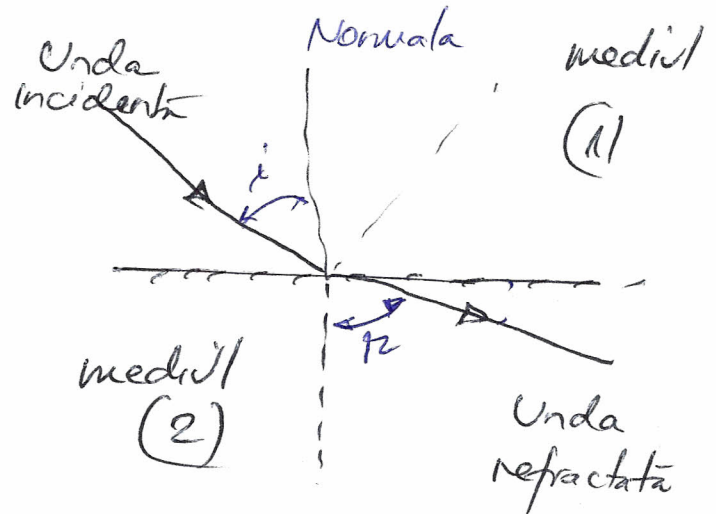
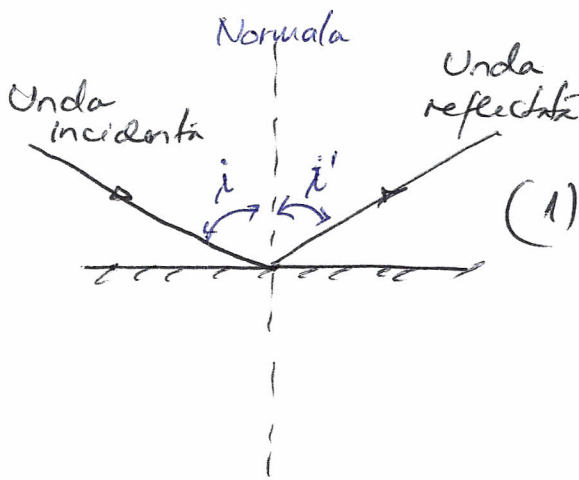
Obs: Toate aceste considerente se aplică și luminii (undă electromagnetică)

① Reflexia și refracția undelor (sonore)

Întrucât o undă sonoră plană ajunge la suprafața de separare între două medii elastice, unda incidentă se va descompune în două componente:

→ unda reflectată

→ unda transmisă



Impedanța acustică (Z)

→ mărime fizică ce măsoară opoziția unui mediu la propagarea undelor sonore prin acesta

$$Z = \rho v \quad ; \quad v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \text{rayl}$$

aer $Z = 430 \text{ rayl}$

Polistiren expandat $Z = 6 \cdot 10^3 \text{ rayl}$

căramidă plină $2,4 \cdot 10^6 \text{ rayl}$

beton $7,2 \cdot 10^6 \text{ rayl}$

leamă $2,7 \cdot 10^6 \text{ rayl}$

Fenomenele de reflexie și refracție apar - 2 -
la interfața între două medii cu viteze
acustice diferite Z_1, Z_2 .

Principiul lui Fermat

⇒ undele se propagă între două puncte A și B
pe acel drum pentru parcurgerea căruia este
necesar un timp minim.

Pe considerații geometrice, pe baza principiului
lui Fermat se pot deduce și enunța apoi legile
reflexiei și a refracției.

Legile reflexiei

- ① Unda incidentă, unda reflectată și normala la
suprafață se află în același plan
- ② Unghiul de incidență este egal cu unghiul
de reflexie

$$\boxed{i = i'}$$

Legile refracției

- ① Unda incidentă, unda refractată și normala la
suprafața de separare se află în același plan
- ② Unghiul de incidență și cel de refracție satisfac
relația:

$$\boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}}$$

- 3 -

Dacă încercăm să cuantificăm câtă energie trece din mediul (1) în mediul (2) este necesară cunoașterea coeficienților de transmisie (T) și reflecție (R).

$$R = \frac{\text{Intensitatea undei reflectate}}{\text{Intensitatea undei}} = \frac{I_r}{I_i} = \frac{A_r^2}{A_i^2}$$

dupa calcule: $R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$

R scade pe măsura ce Z_1 se apropie de Z_2

\Rightarrow coef. de reflecție mare $\Rightarrow Z_1$ foarte diferit de Z_2

Tabel Coef de transmisie și reflecție la suprafața de separare a două medii

Mediul 1	Mediul 2	R	T
aer	apă	0.9999	0.0001
apă	otel	0.875	0.125
aer	lemn	0.9	0.1
aer	drapenie în falciuri	0.2	0.8

Coef de transmisie (T)

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{A_t}{A_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

În considerație de conservare a energiei;

-4-

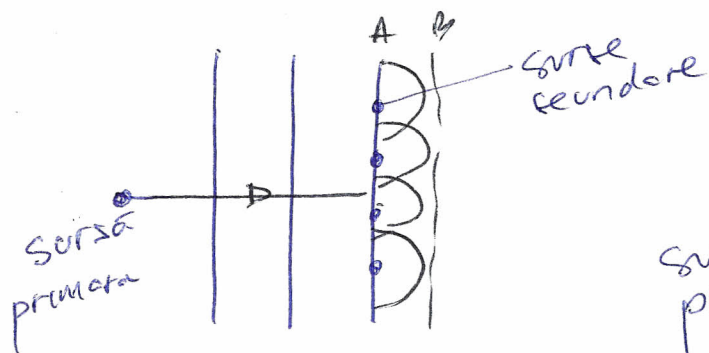
$$R + T = 1$$

lege de conservare

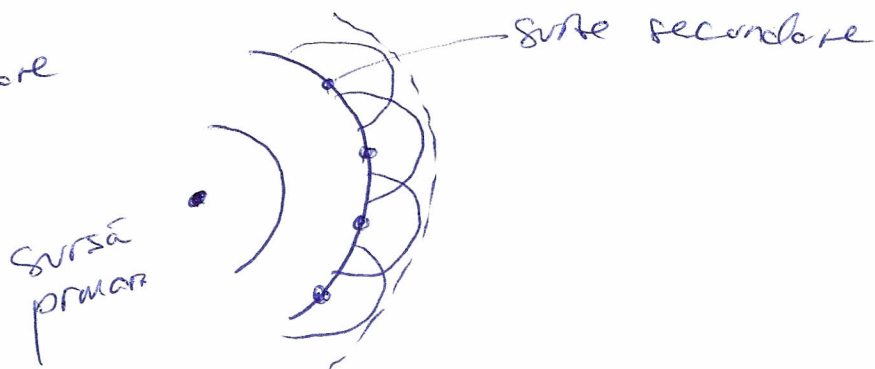
2) DIFFRACTIA UNDELOR

Fenomenul de difracție constă în pătrunderea undelor în umbra geometrică a obstacolelor de dimensiuni mici, comparabile cu lungimea de undă a ondei respective. Obstacolul poate fi un poravan prevăzut cu o fanta mică sau un obiect mic de o formă oarecare. Explicatia acestui fenomen, ca și diferitele sale proprietăți - se poate obține pe baza principiului Huygens - Fresnel.

Toate punctele de pe un front de undă pot fi considerate ca și noi surse punctiforme pt producerea de unde sferice secundare. După un anumit timp, noua poziție a frontului de undă va fi dată de suprafața tangență la aceste unde secundare.



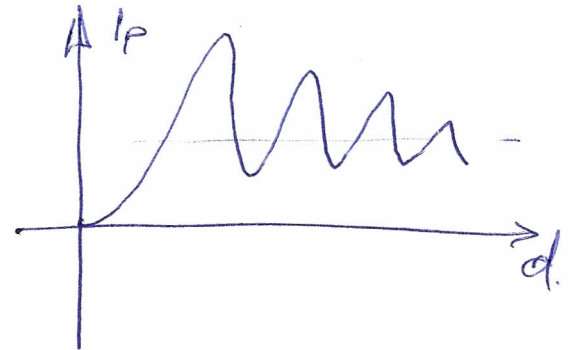
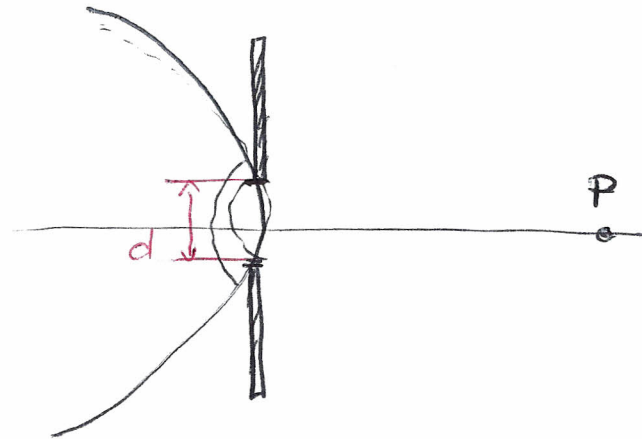
unda plană



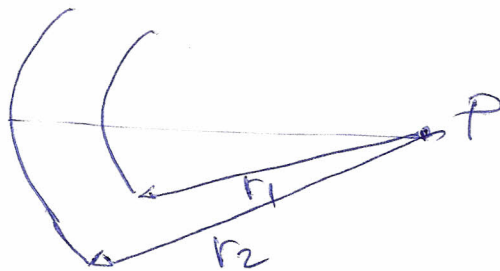
⇒ demonstrat în baza teoriei generale a elasticității, plecând de la observația că perturbarea

Inițială ce se propagă într-un mediu este reproducă⁻⁵⁻ de toate punctele lui' atinse de undă.

Difracția Fresnel pe o fantă circulară (de deschidere d)

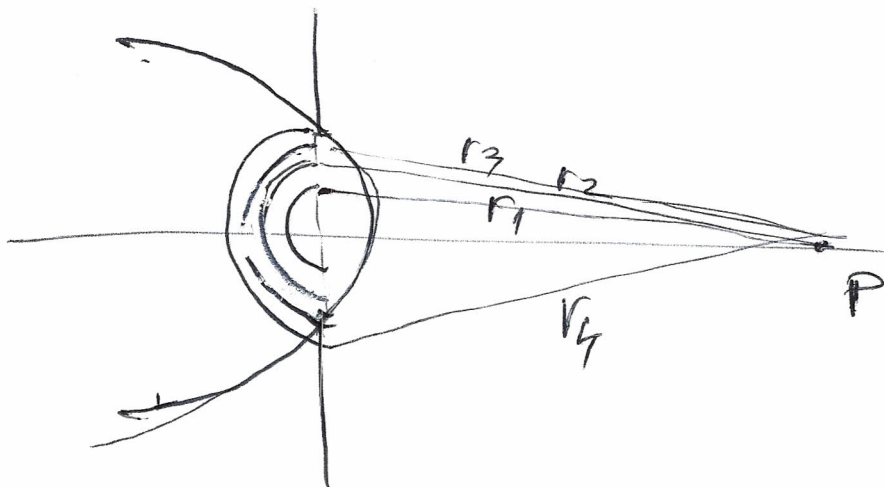


Zone Fresnel → cercuri cu centrul în P a căror rază diferă prin $\frac{\lambda}{2}$



$$r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2}$$

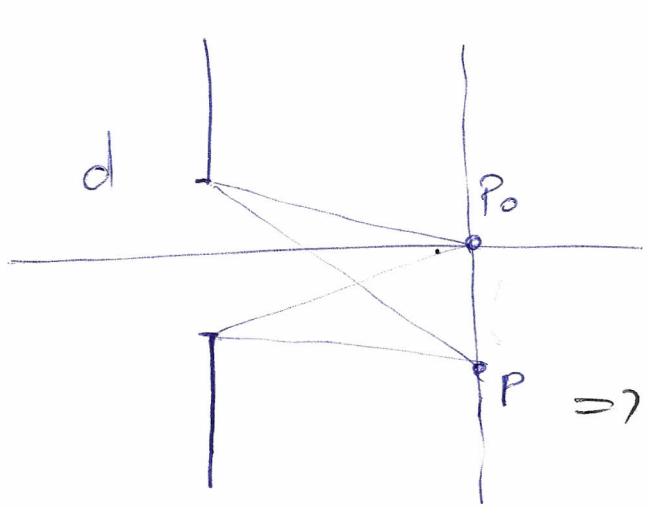
În urma difracției Fresnel produsă de o fantă circulară în punctul P se vor observa intensități maxime sau minime, după cum deschiderea fantei lasă neobstruit un număr par sau impar de zone Fresnel.



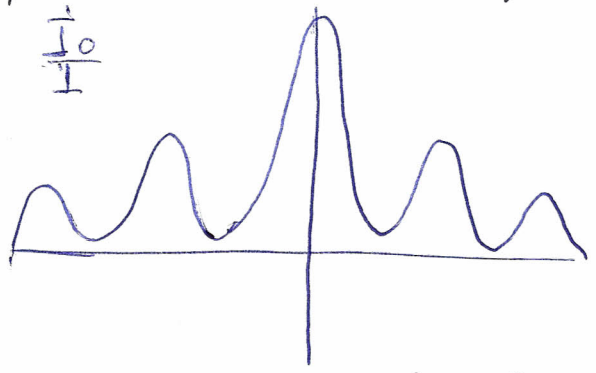
$$r_{2+1} - r_2 = \frac{\lambda}{2}$$

În mod analitic determină difracția Fresnel de către un obstacol de dimensiuni mici. Aici obstacolul va obstrui primele zone Fresnel, în funcție de dimensiune

Difracția Fraunhofer - pe o fanta dreptunghiulară.



difracție + interferență



curba de distribuție a intensității

⇒ frunze paralele cu marginea fantei dreptunghiulare maximum central fiind de intensitate maximă.

3) ATENUAREA UNDELOR SONORE

La nivelul uelrfetelor, undele sonore snt : reflectate, refractate, dispersate, absorbte sau atenuate.

Atenuarea se produce prin :

- absorbie
- dispersie
- reflexie

La propagarea sunetelor printr-un mediu elastic infinit, atenuarea intensitatii acestora poate aparea fie datorita repartizarii energiei sonore pe volume din ce in ce mai mari (cazul undelor sferice), fie absorbtiei.

↓
cauze energetice

↓
cauze geometrice

La trecerea prin parti despartite, sunetele se pot atenua si prin reflexii succesive pe suprafetele mediilor din care acestea sunt constituite.

1) Atenuarea geometrica

Funcie de unda care descrie propagarea undelor sferice in mediu omogen si izotrop, este :

$$\psi(r,t) = \frac{A_0}{r} \cos(kr - \omega t)$$

(not : \neq fata de unda plana $\psi(x,t) = \frac{A_0}{A} \cos(kx - \omega t)$
 $A = \omega t$)

=> reducere a amplitudinii cu distanța =>
reducere a intensității

$$I \sim \omega^2 A^2 ; A = \frac{A_0}{r} \Rightarrow I \sim \frac{1}{r^2}$$

În cazul undelor plane, dacă se neglijează absorbția intensitatea undelor rămâne constantă

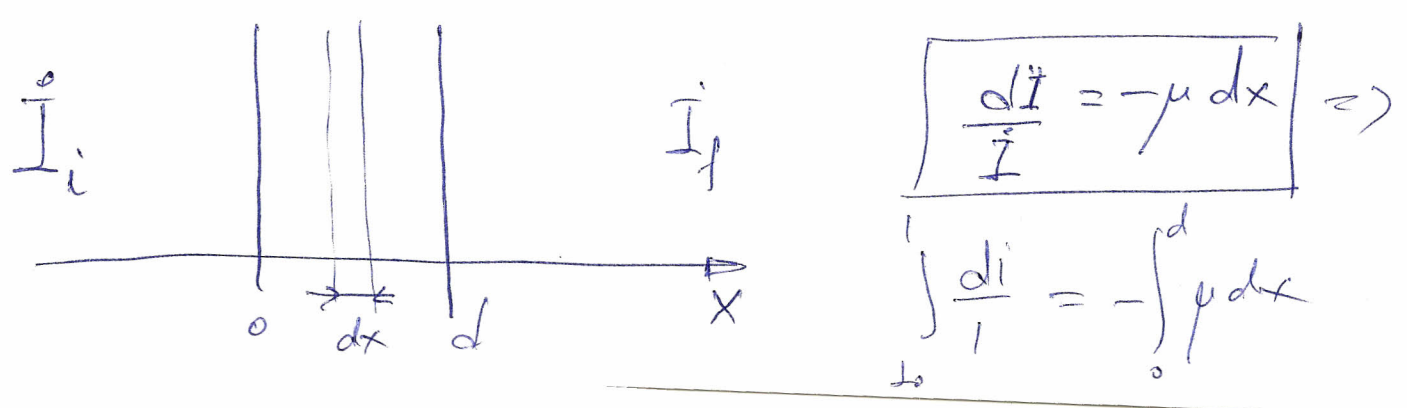
2) Atenuarea prin absorbție

În propagarea lor, undele sonore induc particulelor care constituie mediul elastic o mișcare oscilatorie.

Întrucât forțele disipative (frezare, vâscozitate), oscilațiile vor fi amortizate, energia inițială disipându-se sub formă de căldură. Mărimea pierderilor energetice depinde de:

- > natura mediului elastic
- > frecvența undei elastice

Comprimările și dezhindentele diferentelor particulelor din mediu produc variații locale de temperatură. Dacă frecvența undelor este mare sau amplitudinea lor mică fenomenul este adiabatic ($Q = \infty$); dar în cazul sunetelor intense, cu oscilații mari de amplitudine au loc pierderi de energie prin conducție termică și radiație. Un mediu în care energia undei este pierdută prin căldură se numește MEDIU DISIPATIV.



$$\Rightarrow \boxed{I_f = I_r e^{-\mu d}}$$

Legea de
atenuare prin absorbție

μ = coeficient de absorbție

Pentru o serie de materiale:

$$\boxed{\mu = \alpha \omega^2}$$

α = constantă ce
depinde de mediu



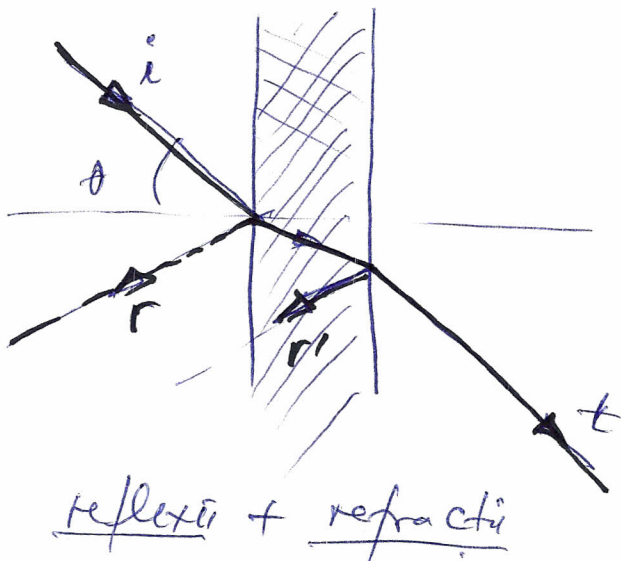
(aer: $\alpha = 4 \cdot 10^{-13} \text{ A}^2/\text{m}$)

Atenuare prin absorbție
mult mai mare a sunetelor de
frecvență mare decât cele de
frecvență joasă.

Dacă în calea undelor sonore te găsește un perete
atenuarea totală a sunetului este:

→ atenuarea prin absorbția în perete +
atenuarea ca urmare a reflexiei pe
cele 2 suprafețe ale peretelui!

③ Atenuarea sunetului prin pereți despărțitori



Sub acțiunea undelor
sonore spre perete venind
sub un unghi θ , peretele
te poate deplasa asemenea
unui piston rigid.

Se poate calcula val.
Coef de transmisie:

$$T = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi m' v \cos \theta}{Z_0} \right)^2} \quad (*)$$

m' = masa unitată de suprafață
 $Z_0 = \rho_0 v_0$ = impedanța acustică a aerului

La incidență normală ($\theta = 0$) \Rightarrow

$$T = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi m' v}{Z_0} \right)^2} \approx \left(\frac{Z_0}{\pi m' v} \right)^2$$

$\frac{\pi m' v}{Z_0} \gg 1$

Cof de transmisie este cu atât mai mare cu cât masa unitată de suprafață a peretelui este mai mică și frecvența mai mică \Rightarrow legea morsesi.

Obs. In cazul peretilor reflectatori ai unei camere coef de transmisie reprezintă o medie pe toate orientările posibile pe perete \Rightarrow relația (*) trebuie mediată pe toate val. între 0 și π

In practică, in locul coef. de transmisie se folosește indicele de atenuare acustică.

$$A = 10 \log \frac{1}{T} \quad [dB]$$

In cazul peretelui despărțitor discutat mai sus:

$$A = 10 \log \frac{1}{T} = 10 \log \left(\frac{\pi m' v}{Z_0} \right)^2$$

$$A = 20 \log \frac{\pi m' v}{Z_0}$$

⇒ atenuarea depinde logaritmic de masa unități de suprafață a peretelui

Prin dublarea masei peretelui

$$A' = 20 \log \frac{\pi 2 m' v}{Z_0} = 20 \log \frac{\pi m' v}{Z_0} + 20 \log 2 = A + 6 \text{ dB}$$

$$\lg 2 \approx 0,301$$

⇒ prin dublarea masei peretelui nu se obține o dublare a atenuării ci doar o creștere a acesteia cu 6 dB.

⇒ soluția pt. a obține o atenuare considerabilă nu este creșterea masei ci mai degrabă utilizarea peretilor multi strat. (⇒ reflexii multiple...)

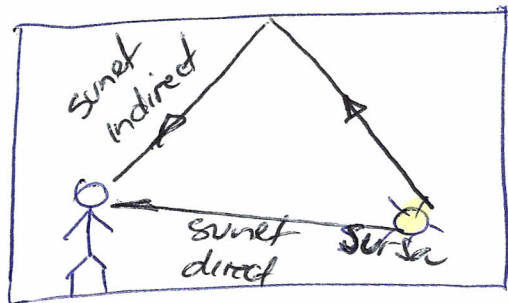
obs: Relatiile discutate mai sus sunt valabile pt. pereți extinși la infinit. In realitate aproximarea pistonului rigid nu mai este valabilă datorită dimensiunilor finite ale peretilor încastrați. Aceștia vor trebui fi modelați mai degrabă ca și membrane încastrate la extremități.

⇒ in practică, pt. a calcula atenuarea surselor se folosesc formule empirice sau semi-empirice.

④ REVERBERAȚIA SUNETELOR

- 12-

Într-un spațiu închis (încăpere) pe lângă sunetul direct care vine spre receptor de la sursă, receptorul va detecta și undele sonore reflectate succesiv de către pereți. Se pune problema: cât timp se mai poate auzi distinct sunetul emis de sursă după ce aceasta încetează să mai emită? Acest timp se numește TIMP DE REVERBERAȚIE și este o caracteristică a încăperii.



Mai precis, timpul de reverberație este definit ca timpul după care nivelul sonor al undelor din încăpere este redus cu 60 dB sau, în mod echivalent, intensitatea sonoră din spațiul închis considerat scade de 10^6 ori.

Se poate arăta că densitatea de energie în interiorul încăperii la momentul de timp t după întreruperea sursei satisface relația:

$$W = W_0 e^{-\frac{\alpha S t}{4V}}$$

V = volumul încăperii

S = suprafața pereților

α = coef. de absorbție al pereților din care este confecționată încăperea

$c = 340 \text{ m/s}$ = viteza sunetului în aer.

$$\alpha = 0,015 \text{ pt beton}$$

$$\alpha = 0,18 \text{ pt. pãrlă.}$$

Se poate astfel arăta că timpul de reverberație satisface relația:

$$T_R = 0,16 \frac{V}{\alpha S}$$

Dacă avem mai multe suprafețe, de coef. de absorbție α_i diferiți, atunci timpul de reverberație al încălzii se poate scrie:

$$T_R = 0,16 \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

→ formula lui Wallace

valabilă în cazul unor camere joale de dimensiuni mici

În cazul camerelor de dimensiuni mari se folosesc alte formule mai complexe deduse în mod semi-empiric. Timpul de reverberație poate fi și măsurat experimental, existând astfel posibilitatea comparării acestuia cu predicțiile teoretice.

Timpul de reverberație sunt foarte importanți în caracterizarea acustică încălzii. Un timp de reverberație prea lung sau prea scurt face ca acustica să fie defectuoasă. Valoarea optimă a acestuia depinde de destinația și volumul sălii.

UNDE ULTRASONORE / ULTRA-ACUSTICA

-1-

Ultrasunetele sunt vibrații mecanice cu frecvențe superioare la 20 kHz (în intervalul 20 kHz \rightarrow 10 GHz)

Pt producerea acestora se folosesc generatoare mecanice (până la 20 kHz) dar și generatoare electro-acustice.

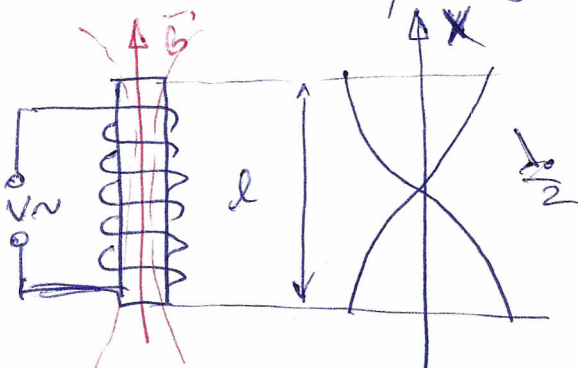
- Pentru frecvențe medii se utilizează efectul de magnetostricțiune produs de câmpul magnetic asupra materialelor feromagnetice
- Pentru frecvențe înalte se utilizează fenomenul de electrostricțiune sau efectul piezo-electric invers care apare în cazul cristalelor de cuarț plasate într-un câmp electric.

Debitul lungimii de undă mici a ultrasunetelor, în general pt acestea nu apar fenomene de difracție și prin urmare propagarea lor poate fi descrisă prin legi similare opticii geometrice ale reflexiei și refracției.

1) Generatorul magnetostricțiv

Materiale feromagnetice (Fe, Co, Ni, aliaje ...) prezintă proprietatea de a se deforma dacă sunt introduse într-un câmp magnetic \Rightarrow efect de magnetostricțiune

Un câmp magnetic alternant poate produce oscilații ale capetelor unei bare feromagnetice.



Frecvența oscilațiilor capetelor barei este controlată prin frecvența curentului ce produce câmpul magnetic

Amplitudinea oscilațiilor serei este maximă dacă
 frecvența curentului aplicat este la rezonanță, adică
 dacă pe capetele serei apar venturi

$$\Rightarrow \frac{\lambda_0}{2} = l$$

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E = modul longitudinal de elasticitate

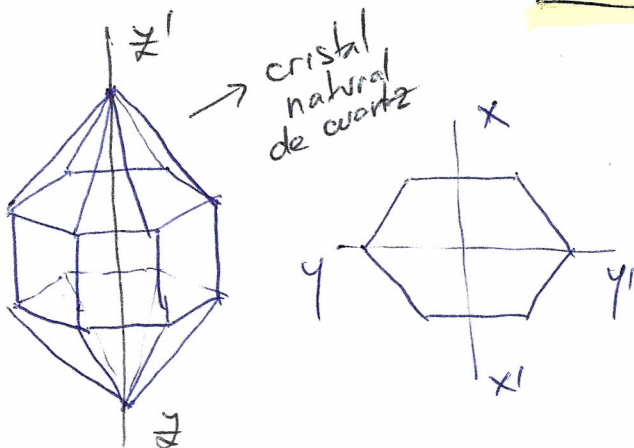
ρ = densitatea masei a serei

Se poate observa că :

$\nu_0 \uparrow$ dacă $\mu \downarrow$ și $l \downarrow$. În motive
 fizice, lungimea nu poate fi redusă oricât de mult,
 ceea ce limitează frecvența maximă produsă cu
 acest tip de generator. Armonicile, deși au ν mai
 mare au dezavantajul unor amplitudini mici

② Generatorul piezo-electric

→ se bazează pe faptul că o placuță de cuarț
 (SiO_2 monocristalin) își modifică dimensiunile dacă
 este plasată într-un câmp electric (ex. plăcuțele unui
 condensator) \Rightarrow EFFECT PIEZO-ELECTRIC INVERS

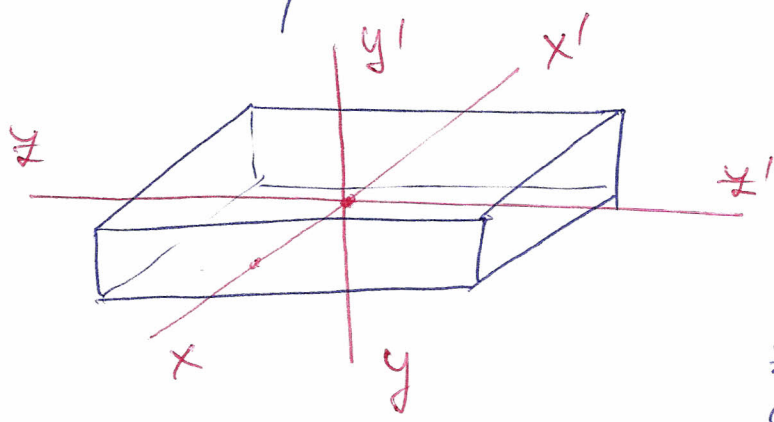


z' - axă de simetrie optică

x' - axă de simetrie mecanică

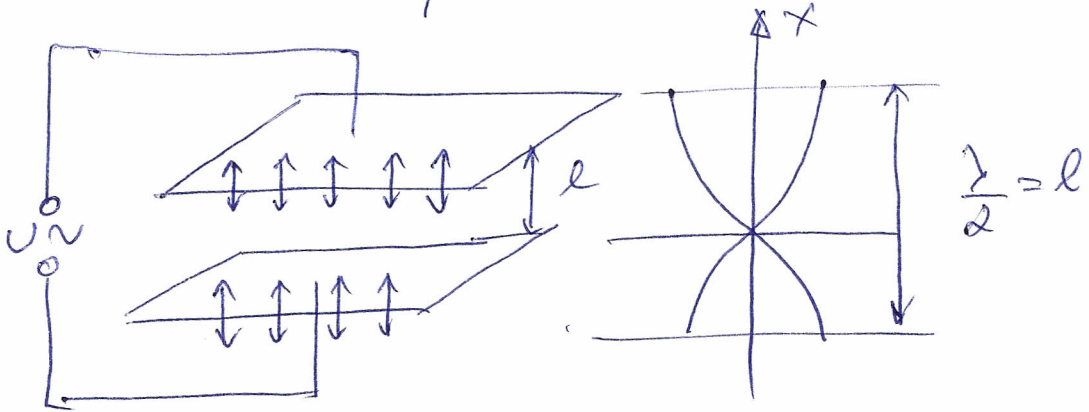
y' - axă de simetrie electrică

Pt. ca o lamă de cuarț să aibă proprietăți piezo-electrice trebuie să fie tărată din cristalul natural astfel:



Țețele pe care se aplică sarcinile electrice și vor suferi deformări mecanice sunt paralele cu axul optic $z z'$ și perpendiculare pe axele electrice $y y'$.

Generatorul piezoelectric



Dacă câmpul electric $E = \frac{U}{d}$ este variabil cu o anumită frecvență, vor fi produse și aici unde sonore cu aceeași frecvență.

Și aici, desigur de la generatorul magnetostrictiv cu printru la ventre la capetele ansamblului rămâne valabilă \Rightarrow

$$\nu = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$l =$ grosimea lamei de cuarț.

Întrucât, din punct de vedere tehnic, este mai simplu a se tăia lamele de cuarț de dimensiuni mici decât bare feromagnetice cu l mic, frecvența surselor produse prin efect electro-strictiv va fi mult mai mare decât a celor produse prin efect magneto-strictiv.

Fenomene specifice ultrasunetelor

- 4

Pe lângă fenomenele obișnuite specifice undelor elastice apar și fenomene specifice cum ar fi cel de cavitatie.

Cavitatia → este un fenomen specific care apare în procesul de propagare a undelor sonore de energie mare în lichide. Propagarea sunetelor se face prin compresii și desindări succesive ale mediului traversat. În cazul undelor ultrasonore de mare energie, în perioada desindentilor - de obicei acolo unde se găsesc particule în suspensie, bule de aer, vapori - se produc ruperi ale lichidului. În locurile respective apar goluri (cavitati) spre care se îndreaptă gazele dizolvate în lichid. În faza următoare, având loc un proces de comprimare, cavitatea formată își micșorează volumul și presiunea în locul respectiv crește, ajungând la ordinul miilor de atmosfere (IMPLOZIE). Procesul de formare al cavităților este însoțit de ridicări locale de temperatură (până la 5000 K !!!) și de descărcări electrice.

⚠ 6000 K = temperatura la baza cromosferei soarelui.

datorită presiunii mari, cavitățile se sparg producând socuri hidraulice foarte intense utilizate pe scară largă în procese de prelucrare mecanică (ștefuri, perforări, etc....).

Aplicații ale ultrasunetelor

Ultrasunetele își găsesc multiple aplicații în tehnica medicină, navigație... Luând în considerare modul în care ultrasunetele intervin în diverse procese, aplicațiile lor se clasifică în:

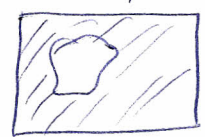
- aplicații pasive
 - aplicații active
-] după cum structura și proprietățile mediului în care se propagă sunt modificate sau nu.

Aplicații active

- prelucrarea materialelor solide (slefuire, tăiere, sudură)
- mărirea vitezei unor reacții chimice
- distrugerea virusilor, microorganismelor,
- chirurgie / medicină (ex. distrugerea calculilor renali)
- dispersarea substanțelor, sedimentarea, filtrarea, emulsionarea, extracția, cristalizarea, ...

Aplicații pasive ⇒ fasciculele ultrasonice sunt utilizate la obținerea unor informații referitoare la calitatea sau dimensiunile corpului examinat

- defectoscopia ultrasonoră
- ecografia
- microscopul ultrasonor (Sokolov) ⇒ permite obținerea unor imagini mărite a defectelor în probe.
- sonarul
- tomografia ultrasonică.



⇒ defect sau incluziuni repetate în probe omogene