

Referat Fizica

Elemente de acustica

Iuliana Parvu & Mihai Spataru
Clasa a XI – a F

1. Producerea si propagarea sunetelor

Vibratiile corpurilor materiale se propaga prin aer (si, in general, prina orice alt gaz) si ajungand la ureche produc senzatia auditiva, pe care o numim *sunet*. Trebuie sa mentionam insa ca nu toate oscilatiile receptionate de ureche sunt percepute auditiv. Obiectul acusticii il constituie studiul producerii si propagarii sunetelor, ingloband aici nu numai vibratiile auditive, ci se pe cele care nu produc senzatie auditiva, cum ar fi ultrasunetele.

Vibratiile produse intr-un punct al unui mediu se propaga in acel mediu din aproape in aproape sub forma de unde. In aer (ca si in orice al gaz) sau in lichide avem de-a face cu unde longitudinale. Undele sonore fiind oscilatii ale mediului, produse de vibratiile unor corpuri materiale, vor avea proprietatile undelor elastice. Astfel viteza de propagare va fi $v = \sqrt{E/\rho}$. In cazul gazelor aceasta relatie devine:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

unde M este masa unui mol de gaz, T – temperature absoluta, R – consatanta gazelor, iar γ este raportul dintre caldura specifica a gazului la presiune constanat si, respective, la volum constant ($\gamma = C_p / C_v$). Aceasra relatie, numita si formula lui Laplace, ne arata ca viteza de propagare a undelor sonore este proportionala cu radacina patrata a temperaturii T si nu depinde de presiunea gazului. Sunetele se propaga mai rapid si la distante mai mari prin solide si lichide decat prin gaze, deoarece vibratiile se transmit mai usor in straturi care au moleculele apropiate. Materialele moi absorb sunetul, iar vidul ii impiedica propagarea. In realitate, in afara de temperatura, mai exista si alti factori care influenteaza viteza de propagare a sunetului si care nu au fost luati in seama la deducerea formulei. Astfel de factori sunt umiditatea aerului (viteza e mai mare in aerul umed decat decat in cel uscat), ionizarea aerului care duce la cresterea vitezei, curentii de aer, precum si intensitatea sunetului.

Deorece ne intereseaza indeosebi propagarea sunetului in aer va prezentam un table cu valorile vitezei pentru unele medii (pentru gaze si lichide este indicata si temperatura):

Substanta	v(m/s)	Temperatura (°C)	Substanta	v(m/s)
Aer	331,8	0	Aluminium	5104
Dioxid de Carbon	259	0	Fier	5000
Hidrogen	1261	0	Plumb	1320
Apa curate	1440	15	Cupru	3600
Apa de mare	1503	15	Cauciuc	50

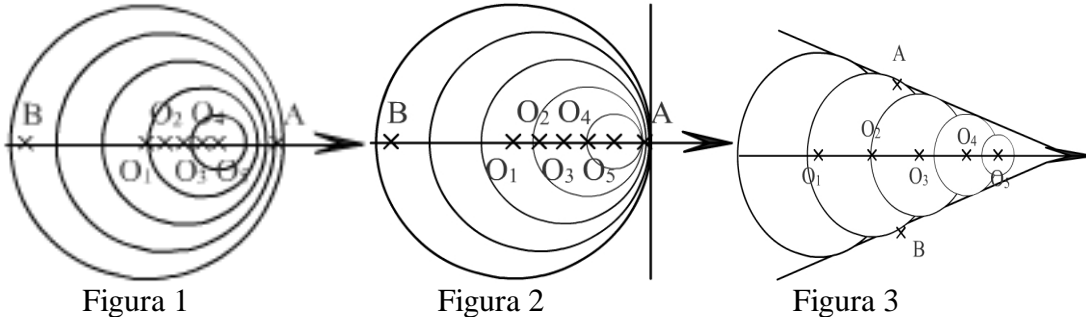
Cand izvorul sonor (presupus punctiform) este in repaus, undele sonore care pornesc din acest punct sunt unde sferice, fronturile de unda fiind suprafete sferice concentrice. In cazule in care sursa Sonora se misca (sa presupunem rectiliniu), centrele suprafetelor sferice se vor gasi pe linia care reprezinta traiectoria sursei. In functie de vitza sursei in raport cu viteza de propagare a sunetului avem trei situatii:

a) **Viteza sursei sonore (u) mai mica decat viteza (v) a sunetului**, undele sonore se inconjoara una pe alta fara sa se intretaie, insa nu mai au acelasi centru, ingramadindu-se in directia in care se misca sursa (figura 1). Dupa cum se vede, punctul A spre care se

indreapta izvorul sonor este strabatut de un numar mai mare de unde in unitatea de timp (frecventa creste – efectul Doppler-Fizeau). situatia este inversata pentru punctual B, fata de care izvorul se indeparteaza.

b) **Viteza sursei sonore (u) este egala cu viteza (v) a sunetului**, undele sferice se ating in fiecare moment intr-un punct comun, care este punctul in care se gaseste sursa in acel moment (punctual din figura 2). Un observator asezat in directia spre care se misca sursa primeste deodata toate undele sub forma unui pocnet (bangul sonic).

c) **Viteza sursei sonore (u) mai mare decat viteza (v) a sunetului**, in acest caz, undele sferice se intretaie. Infasuratoarea acestor unde este un con cu varful in punctual in care se gaseste sursa in momentul respectiv (figura 3). Unde unghiul ϕ dintre



generatoarea conului (AO_6) si directia de deplasare a sursei (O_1O_6) este dat de relatia:

$$\sin \phi = \frac{\|O_1A\|}{\|O_1O_6\|} = \frac{v\Delta t}{u\Delta t} = \frac{v}{u}, \quad (2)$$

unde Δt este timpul in care sursa s-a deplasat de la O_1 la O_6 si, respective unda Sonora excitata in O_1 s-a propagat pe distanta $\|O_1A\|$. Situatiea apare ca si cum sursa Sonora ar rage dupa ea undele sonore, un observator situat in partea inspre care inainteaza sursa va primi undele sonore in ordinea inverse in raport cu cea in care au fost produse.

Corpurile care se misca cu o viteza mai mare decat cea a sunetului (supersonice) produc, prin comprimarea aerului in directia de inaintare, o unda care nu are caracter periodic, reprezentand doar un domeniu de comprimare care se propaga cu viteza sunetului. O astfel de unda se numeste *unda de soc* sau *unda balistica*. Ele provoaca senzatia unui soc puternic. Aceste unde apar de exemplu, in cazul proiectilelor sau al avioanelor cu reactie.

2. Calitatile sunetului

Sunetele pot fi caracterizate prin trei calitati principale: inaltimea, intensitatea si timbru.

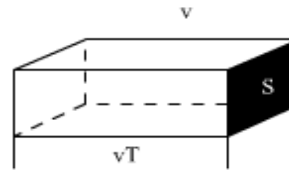
a) **Inaltimea sunetului** este proprietatea sa de a fi mai profund (*grav*) sau mai acut (*ascutit*, *subtire*). Experimental s-a constatat ca inaltimea sunetului depinde de frecventa oscilatiilor sonore. Astfel, urechea apreciaza doua sunete cu aceeasi inaltime (*sunt la unison*) daca au aceeasi frecventa, iar in cazul in care au frecvente diferite, este mai inalt (*acut*) cel care are frecventa mai mare. Din aceasta cauza, inaltimea sunetului se exprima numeric prin frecventa undei sonore.

Sa observam aici ca vibratiile libere ale corpurilor materiale au loc, in general, cu diferite pulsatii proprii, spre deosebire de cauza oscilatiilor punctului material in care

avem o singura frecventa de vibratie, determinate de masa punctului si constanta fortei elastice ($\omega_0 = k/m$). astfel, un corp material care vibreaza va produce sunete de diferite inaltimi, de frecvente bine determinate pentru fiecare corp. Sunetul emis de corp, sunet cu frecventa cea mai mica, se numeste sunet fundamental, iar cele corespunzatoare unor frecvente egale cu multiplii intregi ai frecventei sunetului fundamental se numesc armonice superioare.

In natura se intalnesc foarte rar sunete “curate”, care sa aiba o frecventa bine determinate, sunetele naturale fiind, de fapt, compuse din sunete de diferite frecvente.

b) **Intensitatea sau taria sunetului** intr-un anumit punct din spatiu este determinata de cantitatea de energie pe care o transporta unda sonora in unitatea de timp prin unitatea de suprafata asezata in acel punct, perpendicular pe directia de propagare. Pentru a vedea care sunt marimile de care depinde intensitatea, sa consideram un paralelipiped de sectiune ΔS , perpendicular pe directia de propagare a undei si de lungime vT (figura 4). Suprafata ΔS va fi strabatuta intr-o perioada T de energia medie W a undei sonore care se gaseste in paralelipipedul considerat



$$W = w \cdot \Delta S \cdot vT \quad (3)$$

Intensitatea va fi deci: $I = \frac{W}{\Delta S \cdot T} = w \cdot v = \frac{1}{2} \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v$ sau $2\pi^2 \rho A^2 v^2 v$ (4), se vede ca

intensitatea sunetului depinde atat de marimi care caracterizeaza oscilatia sonora (A , v), cat si de marimi care caracterizeaza mediul (ρ , v).

In cazul undei plane, amplitudinea oscilatiei nu depinde de distanta de la izvorul sonor si, in consecinta, intensitatea va fi aceeaasi in orice punct. Daca insa sunetul se propaga prin unde sferice situatia se schimba. Pentru a vedea cum sa consideram cantitatea de energie care strabate intr-o perioada o suprafata sferica de raza r cu centrul in punctul in care se gaseste unda sonora. Daca consideram propagarea intr-un mediu omogen, energia care strabate un element ΔS , suficient de mic, al suprafetei este data tot de relatia (3). Cum w , v si T au aceleasi valori in orice punct de pe suprafata sferica de raza r energia care trece prin toata suprafata sferica va fi $W = 4\pi r^2 \frac{1}{2} \omega^2 A^2 \rho vT$.

Considerand propagarea fara absorbtie, energia transportata de unda, intr-o perioada, prin orice suprafata sferica cu centrul in sursa sonora, trebuie sa fie aceeaasi. Cum w , ρ , ω , v si T sunt aceleasi in toate punctele mediului, trebuie sa avem $Ar = \text{const.}$ sau $A = A_0/r$, adica amplitudinea este invers proportionala cu distanta pana la sursa Sonora. Pentru unda sferica putem descrie $I = I_0/r^2$ cu $I_0 = 2\pi^2 \rho A^2 v^2 v$ adica intensitatea undelor sonore sferice scade invers proportional cu patratul distantei de la sursa.

c) **Timbrul.** Intre sunetele de aceeaasi intensitate si inaltime, emise de instrumente diferite exista o deosebire calitativa pe care o numim *timbrul sunetului*. Un mod de vibratie a unei surse sonore reprezinta distributia ventrelor si nodurilor undelor stationare. Aceasta deosebire este legata de faptul ca un corp material emite, in afara sunetului fundamental si o serie de sunete de frecvente superioare insa de intensitati mult mai mici decat a celui fundamental. Acestea depind de lungimea tubului sau corzii sonore. Corzile instrumentelor sau coloanelor de aer din tuburile instrumentelor de suflat trec de la un

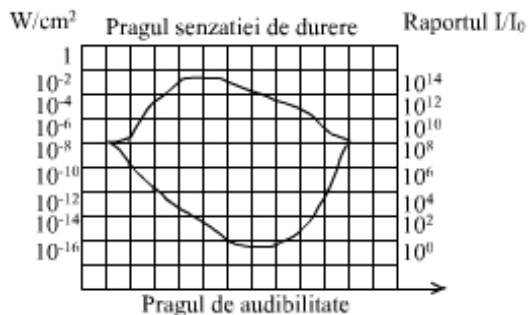
mod de vibrație (oscilație) la altul foarte repede, încât totdeauna sunetul muzical este un sunet compus, în care sunt prezente simultan și frecvențe superioare, numite armonice. Timbrul este determinat tocmai de aceste sunete superioare care însoțesc sunetul fundamental. Aceeași piesă nu produce aceeași senzație auditivă și impresie asupra psihicului dacă este redată de voci umane sau de instrumente diferite. Experiența arată că timbrul unei sonore depinde de numărul, înălțimea și intensitatea sunetelor superioare, dar nu depinde de diferența de fază dintre aceste vibrații (mai exact). Modulurile de vibrație proprii ale corzilor vocale, care au lungimi diferite la oameni, cu frecvențele armonice caracteristice, deosebesc vocile prin timbrul specific. Sunetele vocale sunt produse de vibrația corzilor vocale sub acțiunea unui flux de aer. Dacă deschizi gura și produci un sunet, fără să pui în mișcare alți mușchi, îl vei auzi nearticulat. Când vorbești, intri în acțiune cavitatea bucală, mușchii gâtului, limba, buzele, faringele, care transformă sunetele în cuvinte. Sunetele muzicale sunt emise prin modificarea distanței și tensiunii în corzile vocale sub acțiunea mușchilor gâtului.

3. Perceperea sunetelor

Perceperea sunetelor de către om se realizează prin intermediul urechii. Vibrațiile auditive sunt transmise prin intermediul diferitelor părți ale urechii, făcând să vibreze așa numitele fibre ale lui Corti. Sub acțiunea unui sunet de înălțime (frecvență dată), vibrează anumite fibre excitând terminațiile corespunzătoare ale nervului auditiv, care la rândul său transmite excitația la creier. Nervii auditivi transformă energia vibrațiilor produse în ureche de undele sonore în mici impulsuri nervoase (biocurenți) care produc în creier o senzație auditivă (care depinde de vârstă și de starea receptorului auditiv). Frecvența sunetelor audibile este cuprinsă între aproximativ 16 Hz și 20000 Hz. Aceste limite variază însă de la o persoană la alta și în general cu vârsta. Vibrațiile de frecvență mai mică decât 16 Hz se numesc *infrasunete*, iar cele peste 20000 Hz se numesc *utrasunete*.

Se constată de asemenea că și intensitatea sunetelor este cuprinsă între anumite limite și anume, aproximativ între $4 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ și $2 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$. Intensitatea minimă care determină senzația minimă se numește *prag de audibilitate*. Dacă intensitatea sunetului crește foarte mult, în ureche apare o senzație de presiune și apoi de durere. Intensitatea maximă peste care apare această senzație se numește *prag tactil* sau *pragul senzației de durere*. Limitele de intensitate depind de frecvența sunetului. Astfel, se constată că pentru frecvențe cuprinse între circa 1000 Hz și 3000 Hz urechea este cea mai sensibilă pragul de audibilitate este cel mai jos, atingând valori de ordinul 10^{-12} W/m^2 . Pentru frecvențe mai joase sau mai înalte, urechea este mai puțin sensibilă, pragul de audibilitate fiind mai ridicat. În figura alăturată sunt reprezentate schematic pragul de audibilitate și pragul senzației de durere (curbele pline). Regiunea dintre cele 2 curbe reprezintă suprafața intensităților audibile sau suprafața de audibilitate.

Intensitatea senzatiei auditive (intensitatea subiectiva a sunetului) nu este proportionala cu intensitatea sunetului fizic definita mai sus. In general pentru un sunet de o frecventa data, senzatiile auditive cresc rapid cu cresterea intensitatii si apoi, cand ne apropiem de pragul senzatiei de durere,



intensitatea trebuie sa creasca foarte mult pentru ca urechea sa perceapa o diferenta, deci intensitatea subiectiva a sunetului nu poate fi masurata cantitativ exact. O evaluare aproximativa este data de legea psiho-fizica formulata de Weber si Fechner. Conform acestei legi, diferenta dintre senzatiile auditive produse de 2 sunete este proportionala cu logaritmul raportului dintre cele 2 sunete, $S_2 -$

$$S_1 = k \log(I_2/I_1)$$

In aceasta relatie S_1 reprezinta senzatiile auditive (sau nivelul intensitatii sunetului) produsa de sunetul de intensitate I_1 . Desi ipotezele pe baza carora se deduce aceasta relatie nu sunt exact satisfacute, ea este foarte importanta, deoarece sistemul de masura a intensitatilor sonore (scara nivelelor de intensitate a sunetelor) se bazeaza pe aceasta lege.

Daca luam ca nivel zero (senzatiile auditive $S_0 = 0$) pragul de audibilitate I_0 , $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, nivelul intensitatii sunetului este dat de relatia $S = k \log(I/I_0)$, daca se ia $k = 1$, unitatea de masura pentru nivelul intensitatii sonore se numeste *bel*, iar daca se ia $k = 0$, *decibel* (dbel). Unei intensitati $I = 10 I_0$, ii corespunde un nivel $S = 10 \text{ dbel}$, pentru $I = 100 I_0$ avem $S = 20 \text{ dbel}$, iar pentru o intensitate apropiata de pragul senzatiei de durere $I = 10^{14} I_0$ avem valoarea $S = 140 \text{ dbel}$.

In tabelul urmatoare dam nivelele intensitatii sunetelor pentru cateva sunete obisnuite; valorile intensitatilor se refera la sunetul de 1000 Hz. Pentru a percepe o vibratie ca sunet, in afara conditiilor de frecventa si intensitate mai exista si o conditie de durata. Astfel, pentru ca un om obisnuit sa perceapa bine inaltimea unui sunet, trebuie ca urechea sa primeasca unde sonore cel putin timp aproximativ o sutime de secunda, adica cel putin 5 vibratii pentru un sunet de 500 Hz, 10 vibratii pentru 1000 Hz etc. Totusi, dupa mult exercitiu, aceasta limita coboara sensibil ajungand, de exemplu, la 2 vibratii pentru a percepe destul de corect inaltimea unui sunet intre 40 Hz si 3000 Hz.

Sursa sunetului	Nivelul (decibeli)	Intensitatea sunetului
Pragul audibilitatii (liniste absoluta)	0	10^{-12}
Freamtul frunzelor	10	10^{-11}
Soapte	20	10^{-10}
Pasi, ruperea hartiei	40	10^{-8}
Vorbirea	50 – 76	$10^{-7} - 10^{-5}$
Muzica tare la radio	80	10^{-4}
Nituirea	100	10^{-2}
Motor avion la 3 m departare	130	10

Din punct de vedere al senzatiei auditive pe care o produc sunetele pot fi impartite in 3 clase: sunete musicale (simple sau compuse); zgomote si pocnete. Se arata experimental ca sunetele musicale sunt produse de miscari periodice, zgomotele de miscari

neregulate, iar pocnetul este rezultatul lovirii urechii de o variatie brusca si scurta a presiunii aerului. Relatia dintre 2 sunete produse succesiv sau simultan este caracterizata prin raportul dintre frecventele celor 2 sunete (v_2/v_1) numit interval, iar daca reprezinta raportul dintre anumite numere intregi, avem un interval muzical. Principalele intervale musicale sunt si sunt determinate unisonul (1); secunda mare ($9/8$ sau $10/9$); terta mare ($5/4$); terta mica ($6/5$); cvarta ($4/3$); cvinta ($3/2$); sexta mare ($5/3$); sexta mica ($8/5$); septima mare ($15/8$) septima mica ($9/5$) si octava ($2/1$).

Doua sau mai multe sunete produse simultan, separate prin intervale musicale, formeaza un *accord*. Senzatia auditiva pe care o produce poate fi mai mult sau mai putin placuta. In functie de aceasta, acordul se numeste *consonant* sau *dissonant*. Cele mai cunoscute acorduri sunt cele de octava, terta majora si cvinta, iar disonante cele de cvarta, sexta, secunda si septima. In general, acordul este cu atat mai consonant cu cat numerele care definesc raportul sunt mai mici. Trei sunete formeaza un *accord perfect*, daca ultimele doua sunt separate de primul (sunet fundamental) printr-o terta si, respective cvinta. Avem *accord perfect major*, daca terta este majora (luand pentru primul sunet unitatea, rapoartele sunt: $1, 5/4, 3/2$) si *acordul perfect minor* ($1, 6/5, 3/2$).

O alta notiune importanta este aceea de *scara muzicala*, care desemneaza o secventa de sunete separate prin intervale musicale. Aceste secvente se reproduce prin serii de cate sapte sunete, numite *game*. De exemplu, secventa de mai jos, cu denumirile notelor cunoscute de toti, reprezinta gama Do major:

Note:	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
Interval fata de								
prima nota a gamei	1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$	$15/8$	2
interval succesiv		$9/8$	$10/9$	$16/15$	$9/8$	$10/9$	$9/8$	$16/15$

Intervalele $9/8$ si $10/9$ se numesc *ton major*, respective *ton minor*, iar $16/15$ *semiton*. Scara muzicala avand succesiunea de tonuri si semitonuri de mai inainte se numeste *scara diatonica naturala* si contine serii de game in tonalitate indicate de nota de la care se porneste (*tonica gamei*).

Sa observam ca, daca am pleca de la nota *sol* pentru a construi *gama sol major*, ar trebui sa introducem doua note noi: *la* si *fa*. In fine, daca am dori game avand ca tonica fiecare din cele sapte note, ar trebuie sa introduc o multime de note noi pentru fiecare octava. Pentru a ocoli aceasta dificultate s-a introdus *scara uniform temperate* care contine 12 semitonuri in fiecare octava, intervalul succesiv dintre doua note fiind de un semiton, interval constant si egal cu $2^{1/12} = 1,05946$. Seria standard pentru fiecare octava temperate va fi:

$Do (2^0)$; $do\# = reb(2^{1/12})$; $re (2^{2/12})$; $re\# = mi\flat(2^{3/12})$; $mi(2^{4/12})$; $fa(2^{5/12})$; $Fa\# = sol\flat(2^{6/12})$; $sol(2^{7/12})$; $sol\# = la\flat(2^{8/12})$; $la (2^{9/12})$; $la\# = si\flat(2^{10/12})$; $si(2^{11/12})$; $do(2^{12/12})$;

In scara temperate se poate construi usor orice gama avand ca tonica oricare dintre cele 12 note date mai sus. In scara temperate toate intervalele (afara de octava) sunt usor diferite de cele din scarile diatonice. Aceasta inseamna ca un instrument acordat in scara temperate nu va suna deosebit de bine, dar va suna la fel de bine indiferent de tonalitatea in care se va canta, in timp ce, daca ar fi acordat intr-o anumita gama diatonica naturala, va suna foarte bine daca compozitia cantata este in acea tonalitate, dar foarte prost pentru orice alta tonalitate.

În timpul înregistrării digitale (numerice) pe un compact-disc, sunetele convertite în semnale electrice codificate în secvențe numerice (0 și 1) sunt gravate pe suprafața discului sub forma unor minuscule scobituri, care sunt apoi acoperite cu o folie subțire de aluminiu reflectorizant. Când CD-ul este introdus în lectorul optoelectronic de discuri, un fascicul laser reflectat de succesiunea de scobituri decodifică informația stocată în semnalele electrice, care apoi sunt convertite în sunete de către difuzoare. Acul capului unui pick-up urmărește denivelările discului, făcând să vibreze spirele care se află între poliul unui magnet, obținându-se prin inducție electromagnetică semnale electrice. Ele vor fi amplificate și transformate în semnale acustice de către difuzoarele boxelor.

BIBLIOGRAFIE

- Compendiu de fizică, Editura Științifică și Enciclopedică, pg. 204 – 211
- Manual Fizică clasa a XI – a, Editura Teora, pg. 156 - 158