



**Center for
Science Education
and Training**

<http://education.inflpr.ro>

Proiect susținut prin programul Parteneri pentru Educație

SUNETE. INREGISTRAREA LOR

**Mihaela Garabet
Ion Neacsu**

Liceul Teoretic "Grigore Moisil" Bucuresti

© CSET - 2008

Microsoft | Partners in Learning



Reteaua educationala
Hands-on Science - Romania
Instruire prin experiment



1. Ce sunt sunetele?

Sunetele sunt unde mecanice longitudinale care se propagă în gaze, solide și lichide și au frecvența cuprinsă între 16-20000Hz. Atunci când frecvența depășește 20000Hz ele se numesc **ultrasunete**, iar sub 16 Hz, **infrasunete**.

Undele mecanice reprezintă propagarea unei oscilații într-un mediu elastic. În general, undele se pot propaga transversal sau longitudinal. În ambele cazuri, are loc doar transfer de energie de la un punct al mediului elastic la vecinii săi, fără transfer de substanță.

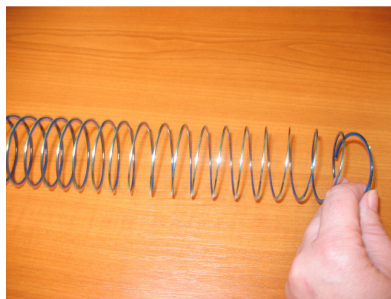


Încercați singuri! Unde transversale și unde longitudinale

Dacă dispuneți de un resort elastic (slinky), fixați-i un capăt la marginea mesei, întindeți-l ușor apoi efectuați câteva mișcări perpendiculare pe axa resortului. Ceea ce observați este o undă transversală!

Apoi efectuați câteva mișcări de-a lungul axei. Ceea ce observați este o undă longitudinală!

În ambele cazuri, ați fost pe post de sursă de oscilații care s-au propagat în mediul elastic.



Așadar, o undă sonoră reprezintă o serie de compresii și de extensii alternative ale aerului. Fiecare moleculă transferă energia moleculei vecine, dar după ce unda sonoră a trecut, fiecare moleculă rămâne în poziția sa inițială.

Amplitudinea unei reprezintă depărtarea maximă pe care o înregistrează punctele din mediul elastic față de poziția lor inițială. Când amplitudinea unei sonore este mai mare timpanul urechii percepe variații de presiune mai mari și sunetul este auzit mai puternic.

Frecvența unei unde sonore măsoară numărul de unde care trec printr-un punct din mediu într-o secundă. Distanța dintre două puncte succesive unde a ajuns unda, egal depărtate de poziția lor inițială, se numește **lungime de undă**.

Sunetul fundamental are frecvența egală cu frecvența fundamentală a sursei (cea mai coborâtă dintre frecvențele proprii). **Armonica** este sunetul care are frecvența egală cu un multiplu întreg al frecvenței fundamentale.

Potrivit compoziției spectrale, sunetele se pot clasifica în:

- **sunete simple** (pure) - sunt produse de o oscilație armonică (sinusoidală) și au în spectrul acustic o singură linie;
- **sunete complexe** (compuse) - sunt produse de oscilații complexe și conțin un număr de sunete simple. Spectrul armonic respectiv este caracterizat de un număr de linii, care corespund frecvenței fundamentale și armonicilor respective.

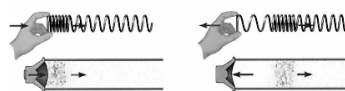


Figura 1.2 Producerea undelor longitudinale

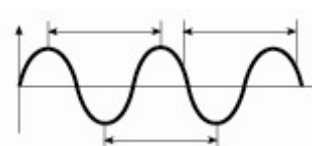


Figura 1.2 Lungimea de undă



- *zgomote* - sunt un amestec de sunete de orice fel, fără componente bine definite, produse de oscilații complexe, caracterizate de un spectru de frecvențe continuu, cel puțin într-o anumită bandă.

Sunetele pure sunt emise de prea puține instrumente muzicale clasice și uneori numai în anumite registre ale lor. Instrumentele muzicale electronice constituie sursa lor cea mai importantă. Din punct de vedere muzical, ele sunt în general reci, fade, lipsindu-le timbrul.

Sunetele complexe reprezentate prin spectre de linii formează o categorie foarte largă. Aici sunt cuprinse sunetele celor mai multe și mai importante instrumente muzicale, vocalele, sunetul sirenelor și al claxoanelor, al șuierătorilor și al unor motoare, zumzetul și bâzâitul multor insecte etc.

Sunetele se deosebesc între ele printr-o serie de calități precum:

● **Intensitatea sonoră** care măsoară energia transferată de unda sonoră în unitatea de timp, prin unitatea de arie a unei suprafețe așezate perpendicular pe direcția de propagare a undei. Se notează cu I , se măsoară în W/m^2 și este direct proporțională cu amplitudinea undei sonore. Vom alege ca nivel de referință o valoare a intensității $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Mărima care este definită de relația:

$$L = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0},$$

se numește **nivel de intensitate sonoră**. Valorile sale se exprimă în **decibeli**.

Spre exemplu, în cazul unei șoaapte, intensitatea sonoră are valoarea de 10^{-10} W/m^2 , deci un nivel sonor de 20 dB. O conversație obișnuită are nivelul sonor de 60 dB.

● Înălțimea se referă la caracterul senzației fiziologice care permite deosebirea sunetelor înalte, ascuțite, acute, de cele joase, grave, profunde. Este o mărime subiectivă. Pentru un sunet pur, cu intensitatea constantă, înălțimea crește o dată cu frecvența.

● Timbrul este o altă calitate subiectivă a sunetelor și se referă la armonicile emise o dată cu sunetul fundamental, precum și la nivelele lor de intensitate sonoră.

● Durata reprezintă intervalul de timp cât se percepe un sunet.

Sunetul este considerat a fi muzical atunci când în sursa sa sonoră se formează unde staționare, sunetele emise fiind periodice. Sunetul muzical înseamnă are o serie de însușiri precum:

- o înălțime constantă, precis determinată și identificabilă; modificarea acesteia trebuie să depindă numai de voința executantului;
- o intensitate care să poată fi modulată după necesitate sau după dorință, în limitele permise de sursa emitentă;
- un timbru caracteristic, personal, bine definit și inconfundabil;
- o durată convenabilă, suficientă cerinței muzicale, durată care poate fi mică (coarde lovite, ciupite etc.), sau mare (coarde solicitate cu arcușul, tuburi sonore). Durata relativă a sunetelor influențează valorile notelor, ritmul și măsura melodiei.





Încercați singuri! *Ascultați un sunet pur*

Dacă dispuneți de un diapazon, loviți ușor cu ciocănelul una din ramurile sale! Ceea ce auziți este o undă sonoră, un sunet pur!

Observați ce se întâmplă cu amplitudinea sunetului în timp!

În acest caz, diapazonul este o sursă de vibrații care se propagă în aer.



2. Înregistrarea unor sunete

În continuare veți fi parteneri cu noi (de la distanță!), într-un experiment cu achiziție computerizată de semnale, generate de un microfon. Acesta se cuplează cu computerul prin intermediul convertorului analog- digital Go! Link, conectat în portul USB, și lucrează cu software ușor de utilizat. Tensiunea generată de microfon este preluată de convertor pentru a trece în format digital spre a putea fi analizată.

În primul astfel de experiment vom înregistra sunetul diapazonului.

Veți prelua semnalul generat de microfon și îl veți analiza utilizând Microsoft Excel. Noi am transferat valorile pentru timp și presiunea sonoră, obținute cu acest senzor, într-un fișier xls. Accesați acum fișierul [diapazon.xls](#) și efectuați următoarele:

- ✓ Reprezentați grafic presiunea sonoră a sunetului emis de diapazon în funcție de timpul t exprimat în s.
- ✓ Calculați valoarea perioadei de oscilație.
- ✓ Calculați valoarea frecvenței de oscilație a diapazonului.



Comentați scăderea în timp a presiunii sonore. Cum apreciați sunetul diapazonului?

În cel de-al doilea experiment vom înregistra sunetele scoase de Otto, un peruș albastru. Le puteți vizualiza în imaginea din figura 2.2.



Comparați sunetele scoase de papagal cu sunetul diapazonului! Cum apreciați sunetele papagalului?



Figura 2.1 Diapazon și microfon

Sunete. Înregistrarea sunetelor

5

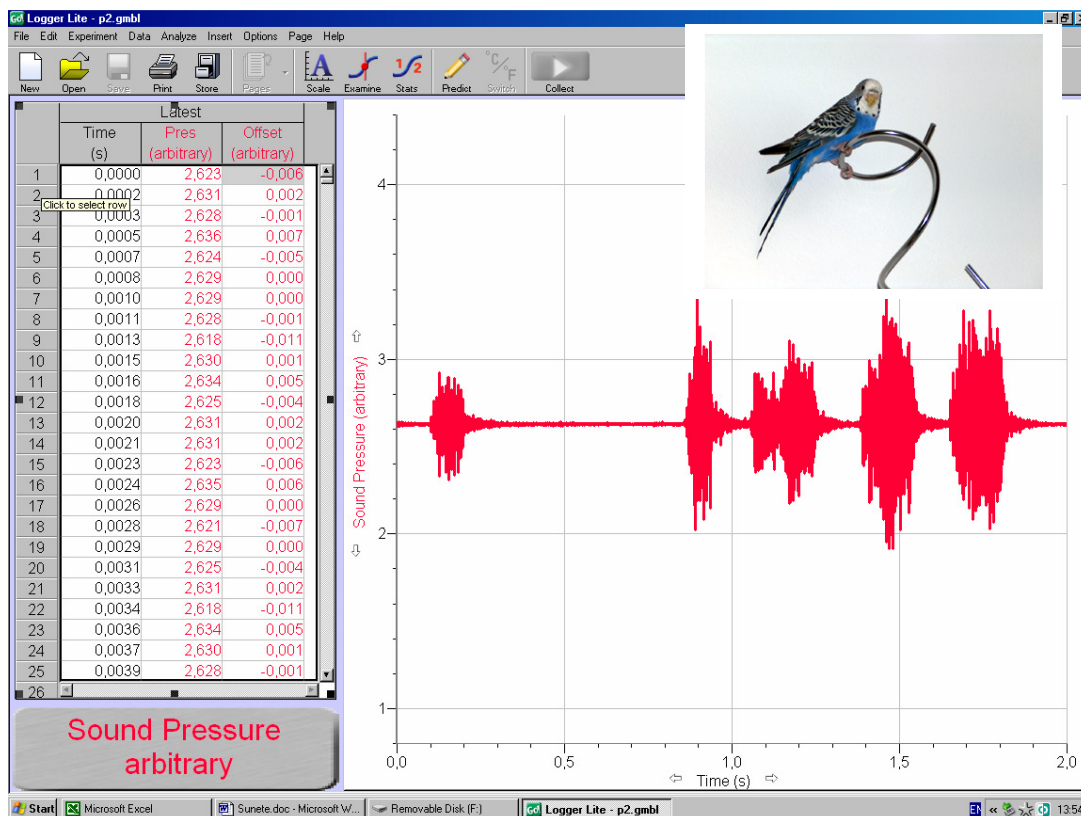


Figura 2.2 Înregistrarea sunetelor lui Otto, perușul

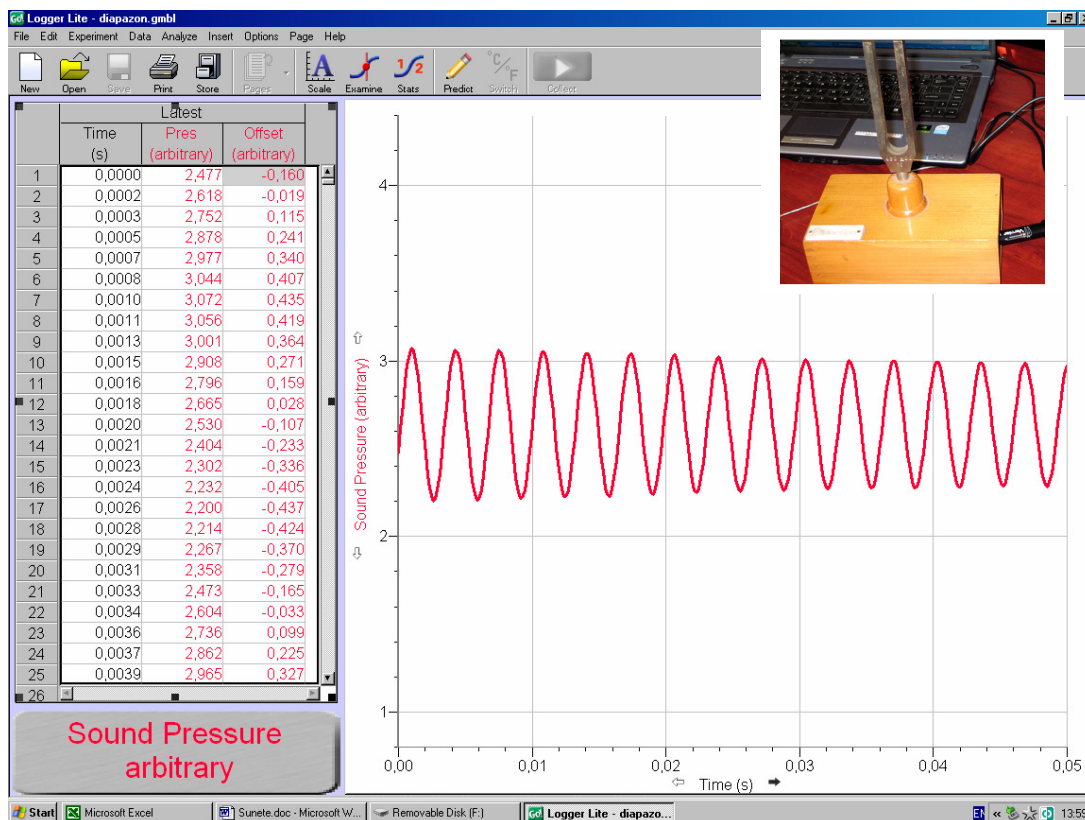


Figura 2.3 Înregistrarea sunetelor diapazonului



Reteaua educationala
Hands-on Science - Romania
Înstruire prin experiment

3. Ce este un spectru sonor?

Majoritatea sunetelor sunt amestecuri complexe de vibrații. Un spectru sonor constituie reprezentarea sunetului prin amplitudinea sau prin faza relativă a vibrațiilor corespunzătoare fiecărei frecvențe.

În reprezentare grafică, pe axa verticală se așează nivelul de intensitate sonoră, exprimat în decibeli, iar pe axa orizontală frecvența, exprimată în Hz sau în kHz. Imaginați-vă un recipient în care “turnați” diverse “cantități” de vibrații de frecvențe diferite, le amestecați și veți obține un sunet complicat.

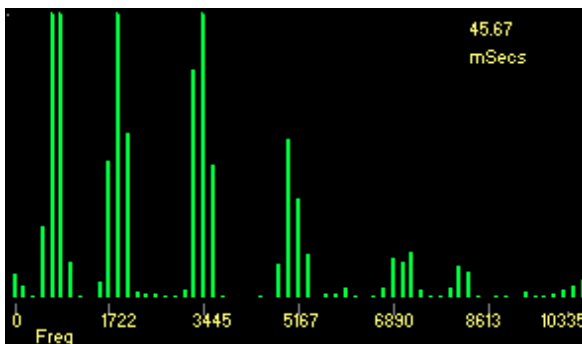


Figura 3.1 Spectru sonor



3.1 Înregistrarea de spectre sonore utilizând placa de achiziție SensorDAQ/ National Instruments

Azi, spectrele sonore se înregistrează utilizând sisteme computerizate de achiziție de semnale constituite dintr-un senzor, microfonul care evidențiază variațiile presiunii sonore, un convertor analog-digital de semnale, o placă de achiziție sau placa de sunet a computerului și computerul care va prelucra semnalele primite cu ajutorul unui software specializat.

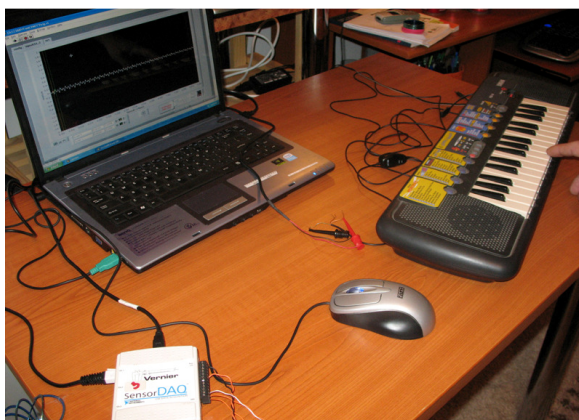


Figura 3.1.1 Înregistrarea unui spectru sonor

În imaginea din figura. 3.1.2 apar spectrele sonore emise de trombon în primele și respectiv în ultimele 0,3 secunde ale unui crescendo.



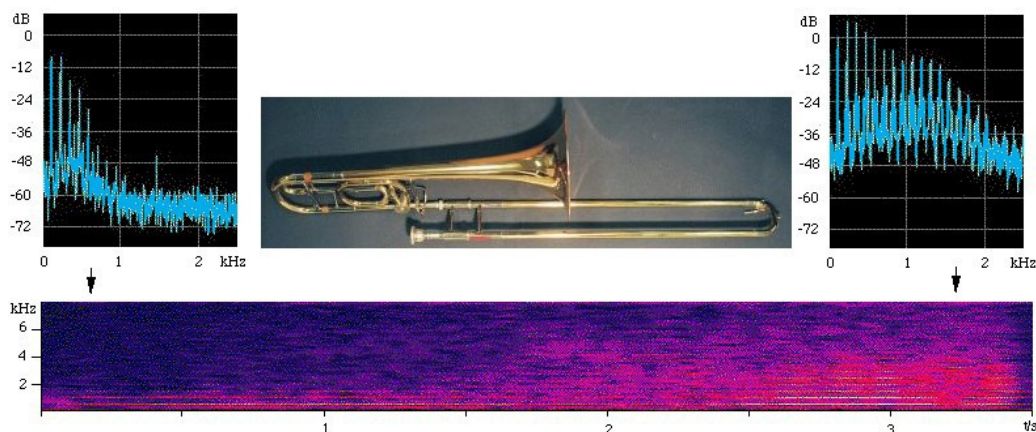


Figura 3.1.2

În partea de jos a imaginii apare spectrograma, care înregistrează dependența de timp a frecvenței sonore. În spectrogramă armonicile apar ca linii orizontale. Aici nivelul sonor este evidențiat prin culoare, roșul corespunzând sunetelor mai puternice, iar albastrul celor mai slabe. Rețineți că înălțimea sunetului nu se schimbă, deci frecvența liniilor spectrale este constantă. În acest caz puterea fiecărei armonici crește cu timpul, sunetul devenind din ce în ce mai strident.

Un exemplu de spectru armonic îl constituie semnalul dinți de fierăstrău. Primele șase armonici apar în diagrama din figura 3.1.3. Amplitudinile celor șase armonici care vor fi adăugate sunt reprezentate în stânga sus. În dreapta sus apar șase unde sinusoidale cu frecvențele ν , 2ν , 3ν , 4ν , 5ν , 6ν . În dreapta jos apare suma lor. Cu cât apar mai multe componente, cu atât mai mult va semăna semnalul rezultat cu dinți de fierăstrău.

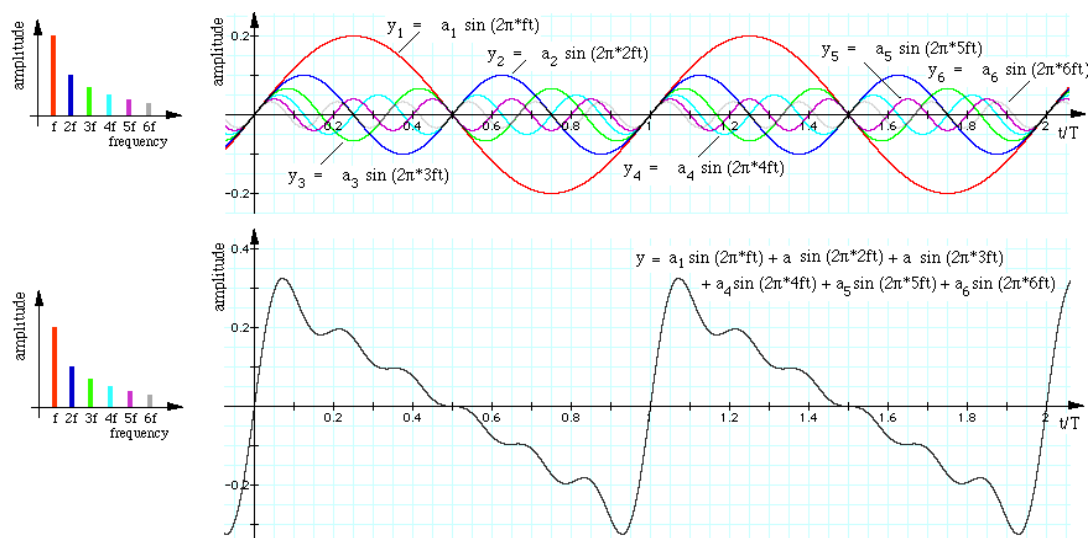
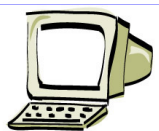


Figura 3.1.3 Armonici sonore

Dacă ascultați un sunet complex construit pe o armonică, puteți auzi clar fiecare notă din “bucetul sonor”.

Exemplul prezentat ilustrează teorema Fourier, denumită după numele matematicianului francez, care a demonstrat că o vibrație cu frecvența fundamentală ν poate fi construită dintr-o combinație de vibrații armonice având frecvențele ν , 2ν , 3ν , ..., $n\nu$. Astfel, spectrul sonor

poate fi asemănat cu un recipient în care “se toarnă” cantitatea a_1 de sunet cu frecvența ν_1 , cantitatea a_2 de sunet cu frecvența ν_2 ,..... cantitatea a_n de sunet cu frecvența ν_n , apoi se amestecă.



3.2. Studiul virtual al spectrelor sonore

La adresa <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=33>, puteți asculta diferite semnale sonore și puteți efectua sinteza Fourier a unui semnal sonor pe care îl puteți vizualiza și asculta în boxe.

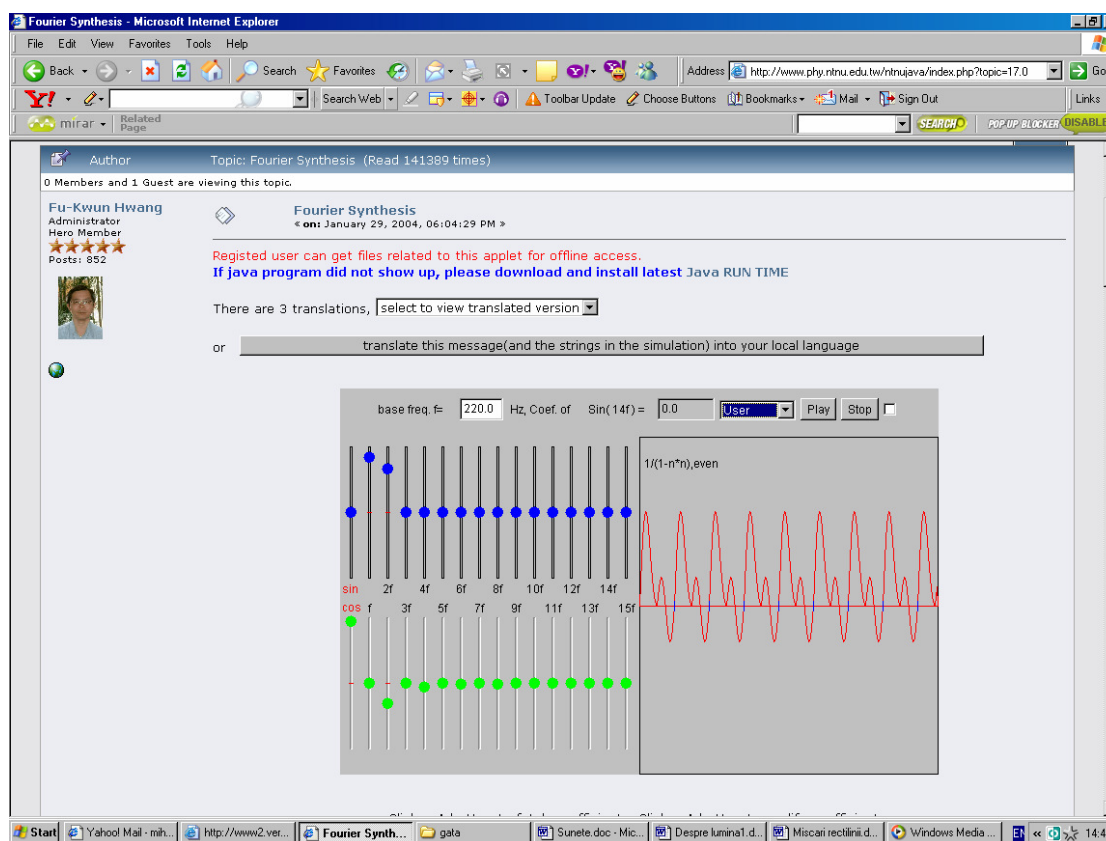


Figura 3.2.1 Imagine din applet

La adresa <http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/Fourier/Fourier.html> puteți vizualiza compunerea Fourier a unor semnale cunoscute precum dinți de fierăstrău, triunghiular sau pătrat.



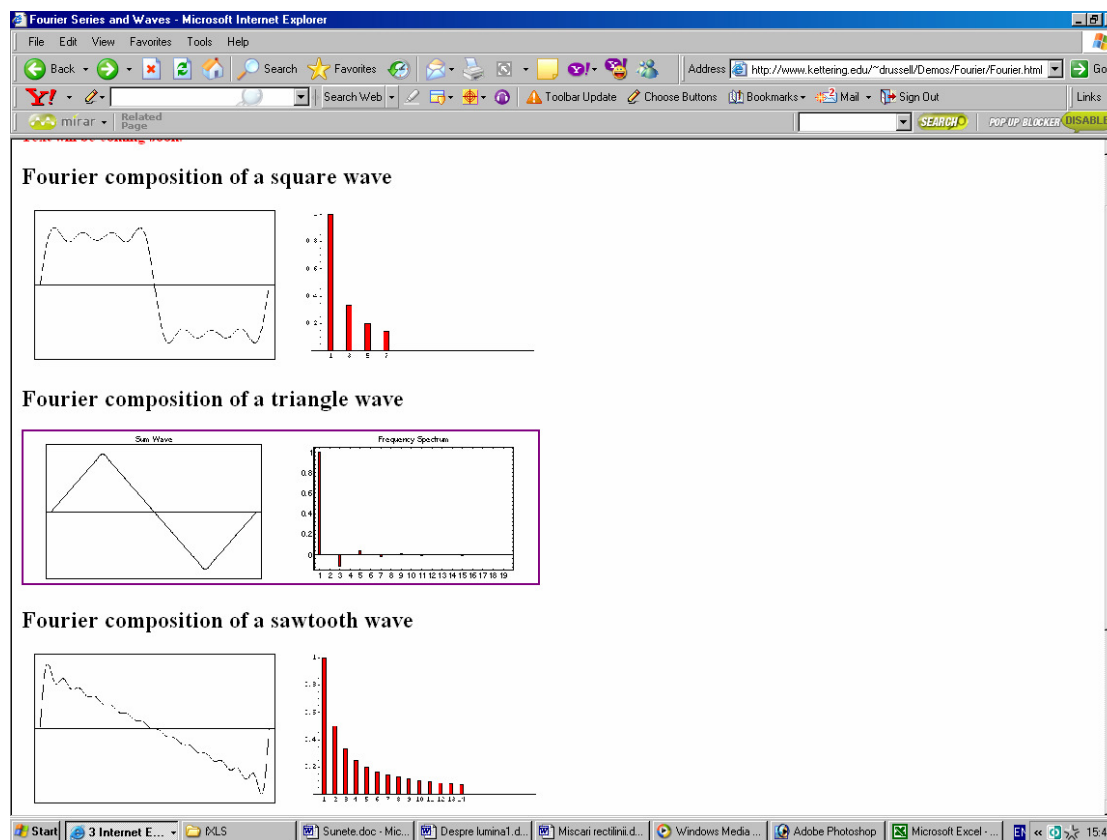


Figura 3.2.2 Imagine din applet

4. Viteza sunetului

Viteza de propagare a unei unde este egală cu produsul dintre lungimea de undă și frecvența sa. Ea are aceeași valoare pentru sunetele de orice frecvență în cazul propagării sunetului în același mediu și la aceeași temperatură.

Viteza de propagare a sunetului în aer uscat la temperatura de 0°C este de 331,6 m/sec. Dacă temperatura este mărită, viteza sunetului crește; astfel, la 20°C , viteza sunetului este 344 m/sec. Viteza sunetului în alte gaze depinde doar de densitatea acestora. Dacă moleculele sunt grele, se mișcă mai greu, iar sunetul se propagă mai încet. De aceea sunetul se propagă puțin mai repede în aer umed decât în aer uscat, deoarece aerul umed conține un număr mai mare de molecule mai ușoare.

Viteza sunetului în cele mai multe gaze depinde de căldura lor specifică. Sunetul se propagă de regulă, mult mai repede în lichide și solide decât în gaze. În lichide și în solide, densitatea are același efect ca în gaze: viteza este invers proporțională cu rădăcina pătrată a densității. Viteza variază direct proporțional cu rădăcina pătrată a modului de elasticitate Young.

Viteza sunetului în apă, de exemplu, este aproximativ 1525 m/sec la temperaturi normale, dar crește foarte mult când crește temperatura. Viteza sunetului în cupru este de aproape 3353 m/sec la temperaturi normale și scade odată cu creșterea temperaturii (din cauza

elasticitatii care scade); în oțel, care este mult mai elastic, sunetul se propaga cu o viteză de aproape 4877 m/sec.



Cum explicați modul de comunicare al balenelor la distanțe foarte mari?



4.1. Determinarea vitezei sunetului în aer utilizând placa de achiziție National Instruments și un microfon adaptat

Metoda utilizată constă în determinarea duratei intervalului de timp necesar sunetului emis la spargerea unui balon, pentru a parcurge o distanță cunoscută. Durata respectivă fiind foarte scurtă, am utilizat un sistem computerizat de achiziție de semnale.

Două microfoane unidirecționale, așezate la distanța de aproximativ 2 m, sunt cuplate pe două canale ale plăcii de achiziție NIDAQ 6013. Balonul din figura 4.1.1 este așezat în dreptul unuia dintre microfoane. Zgomotul emis atunci când balonul este spart va fi înregistrat de către al doilea microfon cu o întârziere față de primul, figura 4.1.2. Ea reprezintă tocmai timpul necesar sunetului pentru a parcurge distanța dintre microfoane. Valoarea obținută pentru viteza sunetului a fost de 350 m/s.



Figura 4.1.1 Montaj experimental

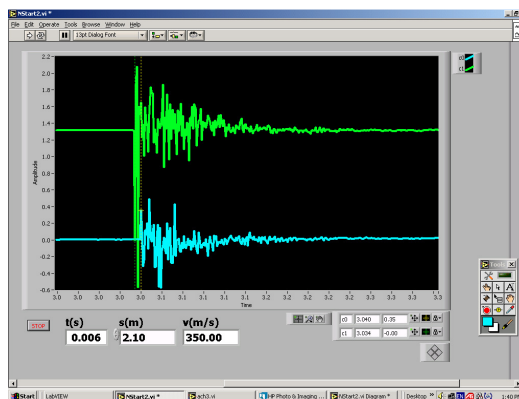


Figura 4.1.2 Semnalele obținute de cele două microfoane



4.2. Determinarea vitezei sunetului în aer utilizând un microfon Vernier

O altă metodă de determinare a vitezei sunetului în aer se bazează pe ecoul obținut la generarea unui sunet scurt, precum pocnitul din degete, la gura unui tub lung cu celălalt capăt obturat. La gura tubului unde se va genera sunetul de află și microfonul Vernier cuplat cu data logger-ul SensorDAQ. Software-ul scris în LabVIEW a înregistrat semnalul din figura 4.2.2.



Figura 4.2.1 Microfon Vernier



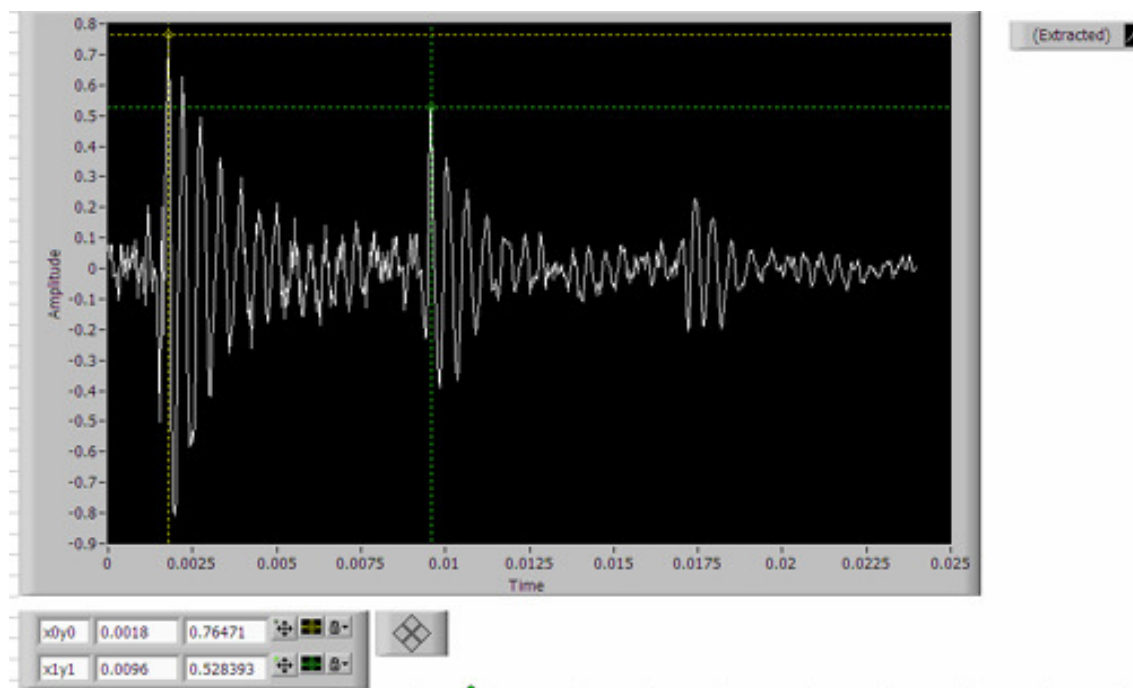


Figura 4.2.2 Semnal înregistrat

Am transferat semnalele obținute în două încercări experimentale de acest tip în fișiere Excel , pentru a putea să le analizați și să calculați singuri valorile obținute pentru viteza sunetului. Accesați fișierele [vitezasunet1.xls](#) și [vitezasunet2.xls](#) efectuați următoarele operații:

- ✓ Reprezentați grafic amplitudinea semnalului, în funcție de timpul t exprimat în s. Utilizați tipul de grafic XY Scatter!
- ✓ Măsurați valoarea intervalului de timp scurs între primul maxim maximorum apărut la generarea sunetului și cel de-al doilea maxim maximorum, obținut la primul ecou. Înmulțiți valoarea obținută cu dublul lungimii tubului (tubul are 1,3 m) și veți obține valoarea vitezei sunetului în aer.
- ✓ Repetați utilizând celelalte maxime ale ecoului multiplu, pentru ambele serii de date.
- ✓ Calculați valoarea vitezei medii a sunetului în aer!

Go!Link si SensorDAQ sunt marci înregistrate ale companiei Vernier International, SUA
LabVIEW si NIDAQ 6013 sunt marci înregistrate ale companiei National Instruments, SUA

