



Ultrasons.

1 Objectius

Comprovació de les principals propietats i característiques dels ultrasons.

2 Material

Plataforma composta d'un braç guia, un braç amb un detector d'ultrasons al seu extrem, un bloc amb emissors d'ultrasons, una làmina reflectora, una làmina amb una escletxa, una làmina amb dues escletxes, imants de fixació; oscil·loscopi de doble traç i una font d'alimentació regulable des de 0 a 15V.

3 Fonament teòric

Els **ultrasons** són ones longitudinals de pressió en un medi material - sòlid, líquid o gasós -, semblants al so, però de freqüències més elevades, superiors als 20kHz i, per tant, imperceptibles per l'oïda humana. Corresponen, doncs, a vibracions molt ràpides dels àtoms del medi material, les quals es propaguen d'àtom en àtom en forma d'ona. Els ultrasons tenen moltes aplicacions en camps diversos: localització d'obstacles en la navegació marina (dispositius de sonar), mètode auxiliar en el diagnòstic mèdic (ecografia), esterilització d'aliments líquids gràcies a la seva acció bactericida i localització de fissures en peces metàl·liques, entre d'altres. Els ultrasons tenen propietats que són comunes a tots els tipus d'ones, com els fenòmens d'interferències, difracció, reflexió y refracció.

3.1 Interferències

Les interferències es produeixen quan dos o més trens d'ona es propaguen per una mateixa regió de l'espai. Un exemple de patró d'interferència és el que resulta de dues fonts puntuals, separades per una distància petita, que oscil·len en fase i produeixen cadascuna d'elles ones esfèriques de longitud de ona λ .

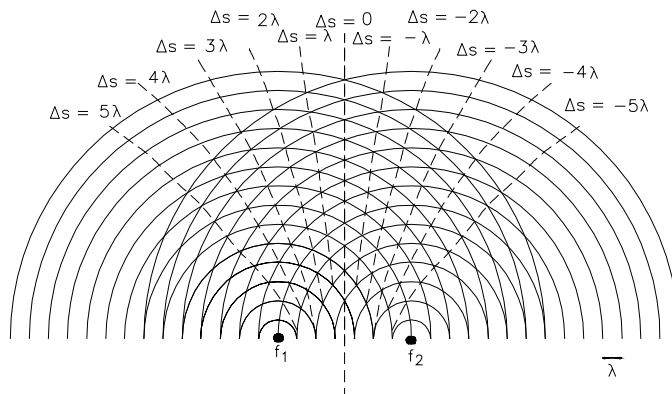


Figura 1: Interferències de ones procedents de dues fonts puntuals.

En la Figura 1 es representen els successius fronts d'ona corresponents a les crestes. Als punts on es tallen o se superposen els fronts d'ona procedents de cada font, en trobar-se en fase, es produeix una **interferència constructiva**. En aquests punts, els camins recorreguts per les dues ones procedents d'ambdues fonts o bé són iguals, o bé difereixen en un nombre enter de longituds d'ona. Si Δs és la diferència de camí recorregut, llavors:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \pm m\lambda \quad (1)$$

Si se situa un detector en aquests punts, s'observa un reforç del senyal. El conjunt d'aquests punts formen, a l'espai, hiperboloides homofocals (les corbes discontinues mostren la seva intersecció amb el pla de la figura) amb els focus a les fonts.

Entre cada parell d'aquestes superfícies consecutives hi ha una altra superfície hiperbòlica on es troben els punts nodals, és a dir, el punts caracteritzats per què la diferència de camí que recorren els trens d'ona que procedeixen de amb dues fonts és un múltiple senar de semilongituds d'ona. Les ones arriben desfasades 180° i la seva **interferència destructiva** dóna lloc a una atenuació del senyal.

3.2 Difracció

La propagació d'una ona és diferent a la propagació d'un feix de partícules. En la Figura 2 es comparen les transmissions d'un feix de partícules i el d'un tren d'ones a través d'un forat petit en una barrera. En el cas de les partícules, les línies indiquen las trajectòries que segueixen, rectilínies quan no hi actuen forces. Les partícules que es detecten més enllà de l'orifici són aquelles amb trajectòries que passen per ell, de manera que es troben confinades en un angle petit. En el cas de les ones, segons el **principi de Huygens**, cada punt del front d'ona que arriba a l'obertura actua com un focus emissor puntual, així les ones (representades pels seus raigs) són transmeses en un angle més gran que el de les partícules. Aquest fenomen, que sempre té lloc quan es limita una part del front d'ona, rep el nom de **difracció**. La difracció és més evident si la dimensió de l'obertura es fa més petita.

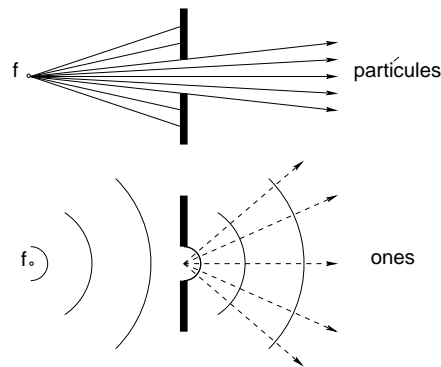


Figura 2: Difracció.

3.3 Reflexió i refracció

En un medi homogeni, una ona es propaga en línia recta en la direcció dels raigs. Quan l'ona incideix sobre una superfície límit o de separació de dos medis en els que la seva velocitat de propagació és diferent, l'ona es reflecteix en part i en part es transmet. Això succeeix, per exemple, quan els ultrasons que es propaguen per l'aire troben la superfície d'un sòlid. Si es representen les direccions de propagació de les ones per mitjà de raigs, s'obté que els raigs incident, reflectit i transmès, i la normal a la superfície de separació en el punt d'incidència es troben tots al mateix pla. L'angle que formen el raig incident i la

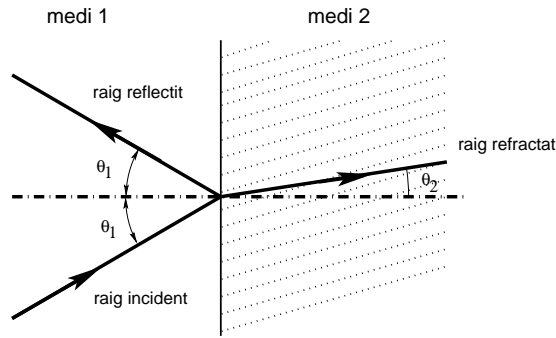


Figura 3: Reflexió y refracció d'un raig en la superfície de separació de dos medis.

normal (angle d'incidència) és igual a l'angle format pel raig reflectit la normal (angle de reflexió). El raig transmès sofreix una desviació respecte a la direcció del raig incident. Aquest fenomen s'anomena refracció (el raig transmès també s'anomena refractat). Els angles que formen els raigs incident i refractat amb la normal es troben relacionats per la llei:

$$v_2 \sin \theta_1 = v_1 \sin \theta_2 \quad (2)$$

on v és la velocitat de propagació, θ l'angle que forma el raig amb la normal i els subíndex 1 i 2 fan referència als medis d'incidència i transmissió respectivament (Figura 3).

4 Mètode experimental

La Figura 4 mostra esquemàticament el dispositiu experimental per estudiar els ultrasons. El sistema requereix una alimentació de corrent continu de 15V, subministrat per la font d'alimentació. Comproveu que la polaritat de la connexió és la correcta. Connecteu el cable del detector al canal A de l'oscil·loscopi i el senyal procedent de la font d'ultrasons ("signal source") al canal B.

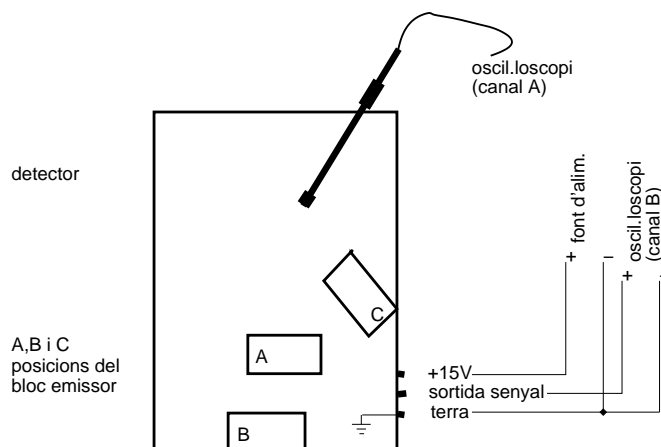


Figura 4: Esquema del dispositiu experimental

La capsa que conté els emissors dels ultrasons es pot situar en tres posicions, marcades amb les lletres A, B i C a la figura. A la capsa hi ha dos emissors, S_1 i S_2 amb els corresponents interruptors per posar-los en marxa (M, "marche") o bé aturar-los (A, "arrêt"). També hi ha un commutador que permet que

cada una de les fonts emeti de manera continua (“continu”) o polsada (“salves”). El detector d’ultrasons es troba a l’extrem d’un braç que pot lliscar per un suport mòbil, amb el que es pot moure sobre una àmplia regió.

4.1 Experiència 1: Freqüència dels ultrasons

Connecteu el bloc emissor en la posició B, amb l’emissor S_1 connectat en mode continu i l’emissor S_2 desconnectat. Poseu en marxa la font d’alimentació i l’oscil·loscopi. Alineu el detector i l’emissor S_1 , i visualitzeu al canal 1 de l’oscil·loscopi el senyal detectat. Observeu el caràcter harmònic del senyal i determineu la seva freqüència (la freqüència dels ultrasons).

4.2 Experiència 2: Mesura de la longitud d’ona

Fixeu un full de paper DIN A3 damunt la plataforma amb els imants i situeu el detector en la posició més allunyada possible de l’emissor S_1 i alineat amb ell. Gireu el commutador de la base de temps del oscil·loscopi a la posició de $10(\mu\text{s}/\text{div})$. Visualitzeu amb els dos canals de l’oscil·loscopi simultàniament (els canals 1 i 2). A la pantalla es veuen alhora els senyals del detector (sinusoïdal) i el de l’emissor (quadrat). El senyal sinusoïdal del detector implica periodicitat temporal en les ones dels ultrasons. Si s’apropa el detector a l’emissor es pot comprovar que el senyal del detector a l’oscil·loscopi es desplaça sobre l’eix horitzontal, i que en avançar una certa distància la posició dels màxims i mínims torna a coincidir amb l’original. Les ones harmòniques tenen una periodicitat espacial, i la distància que cal avançar el detector perquè la imatge torni a ser la mateixa a la pantalla de l’oscil·loscopi correspon, doncs, a una longitud d’ona.

Torneu el detector a la posició inicial i despaceu-lo lleugerament fins que un màxim del senyal detectat coincideixi amb el final d’un pols quadrat (que pot fer servir de referència). Marqueu sobre el paper la posició del detector y feu-lo avançar suaument vers l’emissor. Marqueu sobre el paper la posició del detector cada cop que un màxim passi pel final del pols quadrat de referència (el detector avança una longitud d’ona).

4.3 Experiència 3: Reflexió

Fixeu un full DIN A4 damunt la plataforma amb els imants. Situeu el bloc emissor en la posició C, amb els commutadors de forma que només emeti la font S_2 en mode continu (S_1 desconnectada). Situeu la placa reflectora giratòria a la seva posició en la plataforma.

Per a tres orientacions diferents del detector, gireu la placa reflectora de manera que trobeu la posició per la qual el senyal detectat és màxim en cada cas, i marqueu sobre el paper la posició del detector, la de la font S_2 , la del punt de incidència i l’orientació de la superfície de la placa reflectora. Dibuixeu la trajectòria dels raigs en cada situació.

4.4 Experiència 4: Interferències

4.1 De dues fonts

Retireu la placa giratòria i, amb els imants, fixeu un full de paper DIN A3 damunt la plataforma. Situeu el bloc emissor en la posició A, amb les dues fonts, S_1 i S_2 , emetent en mode continu.

Marqueu sobre el full les posicions de les dues fonts. Determineu la freqüència de la ona i comproveu la presència de màxims i mínims d’interferència modificant la posició angular del detector. Fixeu una distància entre les fonts i el detector. Varieu la posició angular del detector i marqueu sobre el full amb un signe + les posicions dels màxims i amb un signe - les posicions dels mínims. Repetiu el procés anterior per a tres distàncies diferents més.

Uniu els punts de senyal màxim o mínim, segons correspongui, d'una mateixa posició angular. Així s'obté el patró d'interferència per les dues fonts, tal com es mostra a la Figura 1 del fonament teòric.

4.2 De dues esclatxes

Situeu el bloc emissor en la posició B, amb la font S_1 emetent en mode continu i la font S_2 desconnectada. Fixeu la placa amb la doble esclatxa damunt la plataforma. Col·loqueu un nou full DIN A3 damunt la plataforma i repetiu l'operació de l'apartat anterior per a les dues fonts.

5 Resultats

5.1 Experiència 1

- Calculeu el valor de la freqüència dels ultrasons del nostre dispositiu.

5.2 Experiència 2

- Construïu una taula amb el nombre d'ordre de la marca i la seva distància a la marca inicial.
- Representeu gràficament la distància de cada marca a la marca de referència en funció del nombre d'ordre i ajusteu una recta de regressió a aquests valors. El pendent d'aquesta recta és la longitud d'ona dels ultrasons que emet el nostre dispositiu. Determineu el valor de la longitud d'ona
- Amb el valor de la longitud d'ona i amb la freqüència determinada en l'apartat anterior calculeu la velocitat de propagació dels ultrasons.

5.3 Experiència 3

- Determineu els valors dels angles d'incidència i de reflexió per a cada orientació de la placa reflectora. Comproveu que es compleix la llei de la reflexió.

5.4 Experiència 4

- Compareu el valor de la freqüència obtinguda amb el de l'experiència 1. Quina relació existeix entre ells?
- A partir dels patrons d'interferència obtinguts, calculeu la longitud d'ona dels ultrasons del nostre dispositiu. Utilitzeu l'expressió aproximada ($D \gg a$):

$$\lambda \approx \frac{sa}{D} \quad (3)$$

en la que s és la distància entre dos punts situats a la mateixa distància, D , al punt mig entre les fonts i que es troben sobre dues línies que corresponen ambdues a interferència constructiva (o destructiva) consecutives. En aquesta expressió a és la distància de separació entre les dues fonts. Compareu el resultat amb el de l'apartat 2.

6 Qüestions

1. En funció de les observacions de l'experiència 4, expliqueu per què és possible escoltar a una persona situada en una habitació contínua, a través de una porta oberta, malgrat no la puguem veure directament.
2. Demostreu l'expressió 3, indicant les aproximacions fetes, seguint un procediment anàleg a l'emprat en l'experiència de Young.