

# FONAMENTS FÍSICS. DFA - EUPBL - UPC 2000-01

## Pràctica D: Ones acústiques (ultrasons):

### Superposició i interferències

dia: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, GRUP: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, GRUP: \_\_\_\_\_

Cognoms

Nom

#### Introducció.-

En aquesta pràctica s'estudiarà experimentalment la propagació i interferència d'ones acústiques harmòniques a l'aire. Es generaran i detectaran ones acústiques inaudibles (ultrasons) d'una freqüència de l'ordre de 40 kHz, ja que la longitud d'ona a aquesta freqüència (1cm) ens permet observar amb comoditat la propagació i interferència al laboratori.

Primer realitzarem experiments de *propagació*. Observarem la variació de la fase de l'ona amb la posició i mesurarem la velocitat de propagació a partir de la longitud d'ona i del període, i mitjançant un model termodinàmic. Les ones longitudinals son ones que impliquen aproximacions i allunyaments de les partícules constituents del medi material. Es produeixen augments i disminucions locals de la quantitat de matèria (canvis locals de la densitat). Aquestes fluctuacions podrien ser "lentes" o "ràpides". En el primer cas els processos microscòpics podrien realitzar-se a temperatura constant (situació isotèrmica). En el segon, en condicions isentròpiques (adiabàtiques i reversibles).

A continuació, caracteritzarem les *interferències* produïdes per dos emissors coherents mesurant l'angle entre direccions de màxima i mínima radiació en funció de la distància entre els emissors.

Finalment, comprovarem indirectament la *conservació de l'energia* de les ones. Per això, ajustarem la relació de l'amplitud de l'ona amb la distància a l'emissor i demostrarem que es potencial amb un exponent  $n=-1$ .

#### Ones acústiques

Les ones acústiques harmòniques poden generar-se mitjançant un diapasó o un altaveu que vibra amb moviment harmònic simple. La font fa que les molècules d'aire properes oscil·lin amb moviment harmònic simple al voltant de les seves posicions d'equilibri. Aquestes molècules xoquen amb altres pròximes fent-les oscil·lar i, per tant, propagant l'ona. La equació que descriu una ona sonora harmònica de longitud d'ona  $\lambda$  i període T es

$$s(x,t) = A \sin(kx - \omega t),$$

on  $k = 2\pi/\lambda$  es el numero d'ona i  $\omega = 2\pi/T$  es la freqüència angular. Aquests desplaçaments es verifiquen al llarg de la direcció de propagació de l'ona i produeixen variacions de densitat i pressió de l'aire. La velocitat de l'ona ve donada per  $v = \lambda/T$ .

## Model termodinàmic per a la propagació d'una ona acústica

Els senyals es desplacen amb una velocitat característica del medi material. En el cas del aire, podem considerar que, aproximadament, es un gas ideal ( $pV=nRT$ ).  $R$  es la constant dels gasos:  $8.314 \text{ J}/(\text{mol K})$ . L'aire té una massa molecular aproximada de  $28.8 \text{ g/mol}$ <sup>1</sup> i la relació de les calors específiques val, aproximadament:

$$\gamma = c_p/c_v = 1.4$$

Mitjançant la Termodinàmica podríem relacionar la velocitat amb la compressibilitat del gas. Si la propagació es realitza en condicions isotermes podríem deduir:

$$V_T = \sqrt{\frac{R T}{M}} \cdot$$

En el cas d'una propagació isentròpica, la velocitat de propagació seria:

$$V_S = \sqrt{\gamma \frac{R T}{M}} \cdot$$

D'aquestes expressions es pot deduir que:

1. La velocitat de propagació creix amb la temperatura (el só viatja més ràpid a l'estiu que a l'hivern).
2. Si la freqüència es constant, la longitud d'ona creix amb la temperatura.
3. La velocitat de propagació adiabàtica als gasos diatòmics és un 18% més gran que la isotèrmica, es a dir, l'intercanvi intern de calor entre els elements del gas afavoreix la propagació.

Per tant, si mesurem el període i la longitud d'ona es pot deduir la velocitat de propagació. De la velocitat calculada dels models isotèrmic o isentròpic a la temperatura del Laboratori podríem deduir si la propagació es isoterma o adiabàtica.

## Interferències

L'existència d'obstacles o de pantalles amb forats modifica la direcció de propagació i els senyals, després de l'obstacle poden interferir. Les interferències, produïdes per les interaccions de les ones, canvien la distribució de l'energia. En particular, poden produir una reorganització energètica. Així, en certs llocs les amplituds són més grans (interferència additiva) i, en altres, molt més febles (interferència destructiva). L'ajuda d'un mirall ens produirà interferències i, de les interferències, podríem avaluar la longitud d'ona ( $\lambda$ ).

## Dependència de l'amplitud de l'ona amb la distància

A partir d'un emissor puntual, les ones tenen una forma esfèrica. La conservació de l'energia estableix una disminució progressiva de la seva amplitud. En el cas utilitzat, determinarem la dependència de amplitud (utilitzarem la tensió pic a pic  $V$ ) amb la distància  $x$  (separació entre E i R de la figura 1). A partir d'una relació de la forma  $V = A x^\alpha$  podríem deduir els paràmetres característics ( $\alpha$  i  $A$ )<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> aproximadament tenim el 20 % de oxigen ( $O_2$ ) i el 80 % de nitrogen ( $N_2$ )

<sup>2</sup> Per una propagació esfèrica, la intensitat (el quadrat de l'amplitud) decau amb la distància com  $r^{-2}$ .

## Sistema experimental, mesures i càlculs

**Part 1:** El sistema experimental disposa del generador de funcions que, directament, activa l'emissor. El senyal del generador mitjançant una T- també s'envia a l'oscil·loscopi (canal I).

El receptor recull els ultrasons i els converteix en senyal elèctric (voltatge) que, enviat al segon canal de l'oscil·loscopi (figura 1) es visualitza a la pantalla.

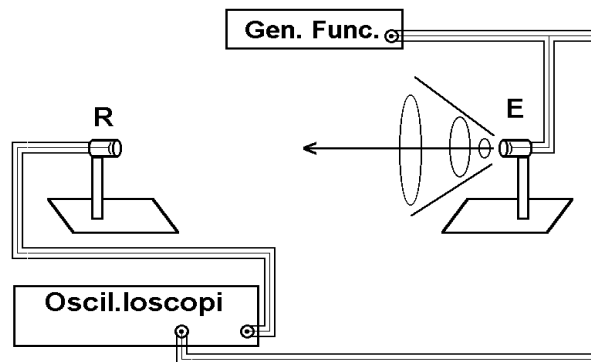


Figura 1.- Esquema del sistema experimental. E: emissor; R: receptor. Els canals I i II de l'oscil·loscopi recullen els senyals del generador d

A) Sobre l'oscil·loscopi determinarem, directament, el període del senyal enviat a l'emissor (veure instruccions a la part "oscil·loscopi").

Per a determinar el període T utilitzem la pantalla de oscil·loscopi. Llegim la separació  $d_M$  entre N màxims. Si A es l'escala de temps de l'oscil·loscopi tenim:  $T = Ad_M/(N-1)$

B) Desplaçant el receptor sobre la recta RE tenim retard (un desfasament) progressiu del senyal rebut al Receptor respecte el senyal enviat a l'Emissor. Això es veu clarament sobre la pantalla de l'oscil·loscopi. Si ens desplacem una longitud d'ona  $\lambda$  el senyal que rebíem al R amb un retard  $t'$  ara el rebem amb un retard  $t''$ . Si el desfasament es de  $2\pi$  ( $360^\circ$ ) tindrem que  $x'' - x' = \lambda$ .

En efecte, el senyal que enviem a emissor es un senyal de la forma

$$y = A_0 \sin \omega t$$

el senyal recollit al receptor, abans de desplaçar-lo, te un retard per la seva propagació des de E fins a R:

$$y = A \sin \omega(t - t') \quad (1)$$

Si el desplacem el senyal arriba amb un nou retard  $t''$ :

$$y = A \sin \omega(t - t'') \quad (2)$$

si al moure el receptor (o emissor) tornem a tenir per primera vegada en la pantalla de l'oscil·loscopi el mateix senyal es que s'ha desfasat  $2\pi$ . Es a dir:

$$2\pi = \omega(t'' - t')$$

o sigui que la diferencia de temps  $t'' - t'$  es un període  $T = 2\pi / \omega$

El desplaçament representa:

$$x'' - x' = v(t'' - t') = vT = \lambda$$

**Convé desplaçar el receptor de 20 a 40 "ones". Així reduïrem l'error de la mesura.** Els valors de T i  $\lambda$  permeten determinar la velocitat de propagació  $v$  ( $v = \lambda/T$ ) i l'error associat.

C) La mesura de la temperatura del laboratori ( $t_{\text{Lab}}$ ) i el càlcul de les velocitats del model isotèrmic i del model adiabàtic ens permet determinar el model més similar a velocitat de propagació mesurada experimentalment.

**Part 2:** Visualitzar les interferències produïdes per dues fonts coherents (mirall).

Si disposem de dos focus F i F' que emeten senyals de la mateixa freqüència, separats per una distància d i situats a una distancia D (en general suposarem que es compleix  $D \gg d$ ) els camins recorreguts seran diferents i es produirà una superposició de les ones a cada punt de l'espai.

Cadascuna de les ones es pot escriure de la següent manera:

$$y_1 = A \sin(kr_1 - \omega t); \quad y_2 = A \sin(kr_2 - \omega t),$$

essent k el numero d'ona  $k = 2\pi/\lambda$  i  $\omega$  la freqüència de l'ona. Per tant, la diferència de fase entre aquestes ones es  $k\Delta r$ . La superposició serà constructiva si  $k\Delta r = 2\pi n$ , i destructiva si  $k\Delta r = \pi(2n+1)$ , on n es un nombre sencer. Per tant, en el primer cas tindrem:  $\Delta r = n \lambda$  (punts 0, 1, 2 de la figura 2). En el segon cas la diferència de camins:  $\Delta r = (n + 1/2) \lambda$  produiria els mínims amplitud.

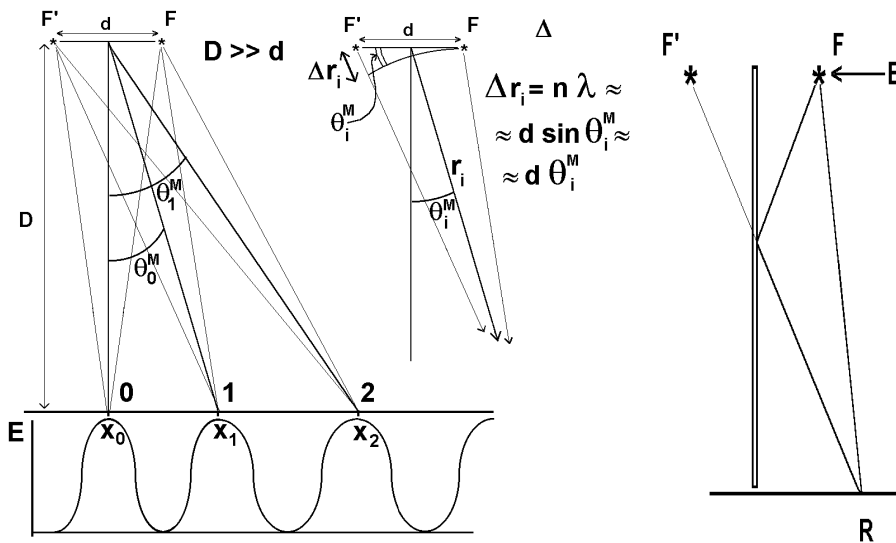


Figura 2.- Esquerra: Interferències constructives (0, 1, 2, ...) produïdes per dos focus. El desfasament, associat a la diferència de camins  $\Delta r$ , produeix la interferència. L'energia E, rebuda en els punts 0, 1, 2, ..., esta en un màxim. Intercalats, tenim mínims d'energia.

Dreta: Interferències produïdes per un mirall. El receptor recull el senyal directe i el reflexat al mirall; E: emissor en el focus F; F': focus virtual; R: receptor

Si  $r \gg d$  i se suposa  $\theta_n$  (angle de r amb el pla mediatriu dels emissors per a cada màxim) petit, es compleix :  $\Delta r \approx d \sin \theta_n \approx d \theta_n$ . Per tant, la separació angular  $\Delta \theta$  entre dues direccions d'interferència constructiva compleix:

$$d \Delta \theta \approx \lambda.$$

Per tant, si les fonts s'aproximen, les direccions de interferència constructiva estaran separades un angle major. La relació anterior també val per a les direccions d'interferència destructiva, que estaran intercalades entre les constructives.

Com que els angles son petits ( $D \gg \Delta x$ ), l'angle  $\Delta\theta$  entre dues direccions consecutives de interferència constructiva es aproximadament

$$\Delta\theta \approx \Delta \tan(\theta) = \Delta x/D,$$

on  $\Delta x$  és la distància mitja entre dos màxims consecutius.

El muntatge experimental presenta diferències amb el model teòric:

1. El mitja de propagació presenta obstacles. Es convenient situar un feltre entre l'emissor i el receptor.
2. El emissor no és puntual i per tant l'ona emesa no es esfèrica.
3. El detector és un disc. Per tant, no detecta la senyal en un punt geomètric, sinó el promig del senyal a l'àrea del disc.
4. El detector reflexa part de l'ona que arriba, produint-se ones estacionaries a prop seu.

Aquests fets produeixen diferents anomalies. Algunes d'elles fan que:

1. No es apareguin interferències totalment destructives. Es detectaren mínims de sobrepressió en comptes de nuls.
2. En la direcció  $\theta = 0$  no apareixerà un màxim.

### **Part 3:** Dependència amb la distancia.

Per una successió de posicions del receptor  $x_i$  determinarem la tensió entre crestes (entre màxims i mínims) en funció de la distancia. Utilitzarem les distancies (mesurades des de la posició de emissor):

**6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, ..... , 40 cm**

Mitjançant un representació  $Y = Y(X)$  [ $Y = \log(V)$ ,  $X = \log(x)$ ] el pendent de la recta ajustada ens proporcionarà  $\alpha$  i d'un punt de la recta obtindrem A.

El senyal en aquest apartat pot presentar dos tipus d'anomalies:

1. S'observen unes oscil·lacions de període curt degut a l'ona estacionaria que es produeix entre l'emissor i receptor.
2. S'observen unes oscil·lacions de període llarg, degut a les interferències amb l'ona reflectida a la mesa, per tant es convenient posar una material absorbent, per exemple un feltre.

## MESURES EXPERIMENTALS

### Part 1:

A: Mesura del període T

num. màxims utilitzats (N): \_\_\_\_\_; Escala utilitzada (oscil·loscopi): \_\_\_\_\_

període T: \_\_\_\_\_

B: mesura de  $\lambda$

num. ones utilitzades: \_\_\_\_\_; Desplaçament associat: \_\_\_\_\_ cm

$\lambda$ : \_\_\_\_\_ mm

velocitat v \_\_\_\_\_ m/s

C: models de propagació

velocitat calculada:

model isotèrmic: \_\_\_\_\_ m/s ;

model adiabàtic: \_\_\_\_\_ m/s

El model representatiu es el model \_\_\_\_\_

**Part 2: Dependència de amplitud V (mV) del senyal pic a pic amb la distància x (cm). OPCIONAL**

Per una successió de posicions del receptor  $x_i$  determinarem la tensió entre crestes (entre màxims i mínims) en funció de la distància. Utilitzarem les distàncies (mesurades des de la posició de emissor):

<b>x (cm)</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
<b>V (mV)</b>						
<b>x (cm)</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>
<b>V (mV)</b>						
<b>x (cm)</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>40</b>
<b>V (mV)</b>						

Suposarem que es compleix una llei de la forma:  $V = A x^\alpha$  i, directament, utilitzem la tensió entre crestes (entre màxims i mínims). Mitjançant un representació  $Y = Y(X)$  [ $Y = \log(V)$ ,  $X = \log(x)$ ] el pendent de la recta ajustada ens proporcionarà  $\alpha$ . A partir d'un punt de la recta obtindrem A.

$\alpha$ : \_\_\_\_\_ A: \_\_\_\_\_ mV

**Part 3:** Visualitzar les interferències produïdes per dues fonts coherents (mirall)

Situar el mirall com indica l'esquema situat sobre la taula de treball. Visualitzar les posicions dels màxims i dels mínims per distàncies entre F i F' de 12 cm (i, eventualment, 8, 16 i 20 cm). D = 40 cm

Mesurar i calcular les magnituds indicades a la taula següent:

<b>D\ <math>x_i</math>(cm)</b>	<b><math>x_0</math></b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>	<b><math>\Delta x</math></b>	<b><math>\Delta \theta</math></b>	<b><math>d \cdot \Delta \theta</math></b>
<b>8 cm</b>							
<b>12 cm</b>							
<b>16 cm</b>							
<b>20 cm</b>							

Segons s'explica a la part 2 de l'informe, a partir de les condicions geomètriques i de la posició dels màxims i dels mínims es podrien calcular valors de  $\lambda$ , assolir una mitjana i el seu error (la desviació estandar i/o la desviació màxima).

Valor de  $\lambda$  obtingut de la taula precedent: \_\_\_\_\_mm.

En aquest cas, l'error l'estimarem a partir de la desviació estandar del conjunt dels  $\Delta x$  utilitzats per a calcular  $\overline{\Delta x}$