

Experiència: Ones en una corda	
Grup:	Data:
Professor de Laboratori:	
Nom i cognoms:	
Nom i cognoms:	Informe
Nom i cognoms:	

Abans d'anar al laboratori llegiu amb cura tot el guió de la pràctica, tant la introducció com el mètode l'experimental.

Introducció

L'objectiu d'aquesta pràctica és estudiar les ones estacionàries en una corda amb els dos extrems fixos, visualitzar la dependència del mode de vibració amb la tensió de la corda i també amb la freqüència d'oscil·lació, i també determinar la densitat lineal de massa de la corda utilitzada.

Una ona és una pertorbació de l'equilibri que viatja d'un punt a l'altre de l'espai i que transporta energia i quantitat de moviment. La velocitat amb què es propaga la pertorbació és la velocitat de l'ona, i depèn de les característiques del medi on aquesta es propaga.

La velocitat v a la que es propaguen les ones en una corda ve donada per la següent expressió:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1)$$

on T és la tensió de la corda i μ la seva massa per unitat de longitud, altrament dita densitat lineal de massa.

Les ones que es propaguen en una corda són **ones transversals** perquè el moviment de les partícules de la corda és perpendicular a la direcció de propagació de l'ona.

Ones estacionàries

Les ones estacionàries es produeixen en medis acotats. Un medi és acotat quan les seves dimensions són finites, per exemple una corda de longitud L , una membrana de superfície S , etc.

Considerem un pols ondulatori que es propaga en una corda de longitud L . Quan arriba a un dels extrems el pols es reflecteix, canviant el signe de la seva velocitat. Si l'extrem es pot moure lliurement, el pols es reflecteix sense invertir-se, mentre que si l'extrem està fix, el pols s'inverteix. Si la corda està fixada pels dos extrems, el pols s'hi va reflectint indefinidament, quedant l'energia que transporta el pols confinada a la corda.

El mateix passa si fem oscil·lar sinusoidalment un punt qualsevol d'una corda amb una certa freqüència $f = \omega/(2\pi)$. Aquesta oscil·lació es propaga per la corda com una ona sinusoidal que es reflecteix als seus extrems indefinidament, sumant-se a les ones generades. Si les ones estan en fase, és a dir, coincideixen els seus màxims, es produeix una **interferència constructiva**, aconseguint una ona de més amplitud. Aquest fenomen d'interferència constructiva s'anomena **ressonància** i només es produeix en determinades condicions.

Per tal d'analitzar matemàticament aquest fenomen, determinarem l'ona generada per la superposició, en fase, de dues sinusoidals iguals que es propaguen en sentit contrari:

$$\begin{aligned} y_1(x,t) &= A\sin(kx - \omega t) \\ y_2(x,t) &= A\sin(kx + \omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

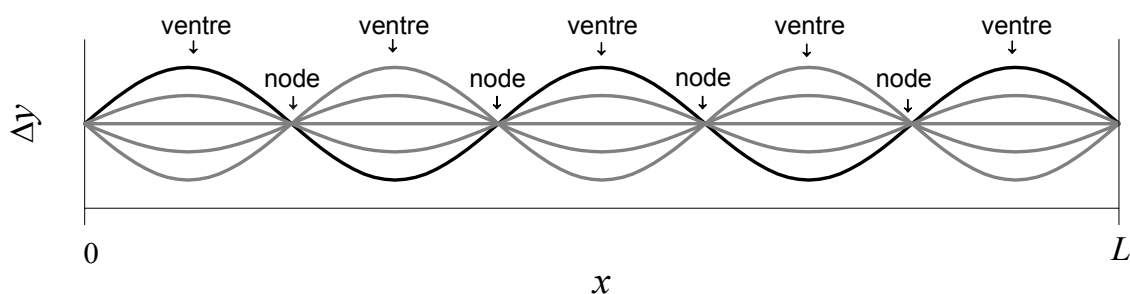
La funció d'ona resultant de la interferència és:

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) = 2A\sin(kx)\cos(\omega t) \quad (3)$$

Aquesta funció té la part espacial desacoblada de la part temporal, és a dir un punt qualsevol x_1 de la corda oscil·la amb un moviment harmònic simple de freqüència angular ω (igual a la de les ones precursors) i d'amplitud

$$A' = 2A\sin(kx_1) \quad (4)$$

Els punts que oscil·len amb amplitud màxima s'anomenen **ventres** o **antinodes** mentre que els punts que no oscil·len s'anomenen **nodes**. En aquesta situació sembla que l'ona no avanci per la corda, per aquest motiu se la denomina **ona estacionària**. A la següent figura es mostra l'evolució temporal d'una ona estacionària.



Connecteu-vos a l'adreça:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/estacionarias/estacionarias.html#Actividades>
 aneu a l'**últim** applet de la pàgina i llegiu-ne la informació. Executeu l'applet prement el botó "Empieza" i veureu com es forma una ona estacionària degut a la superposició d'una ona incident i d'una ona reflectida. Per tal de veure-ho amb més detall podeu executar l'applet pas a pas prement reiteradament el botó "Paso".

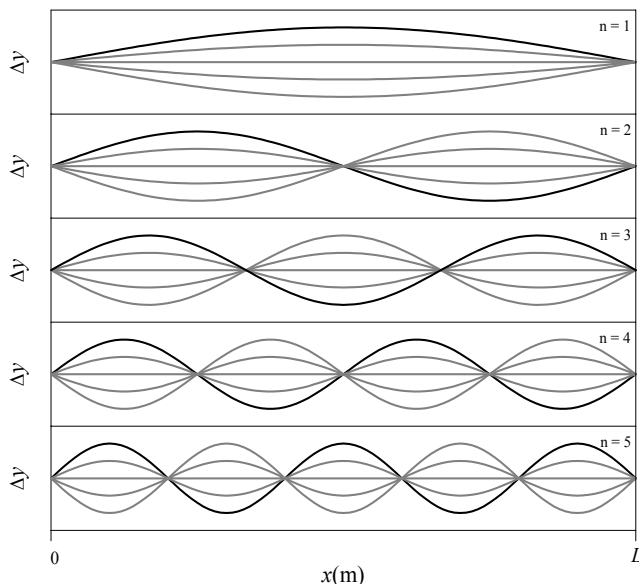
Quan la corda té els seus dos extrems fixes, l'ona estacionària ha de tenir nodes en els seus extrems, i per tant la interferència entre les ones viatgeres és constructiva únicament quan la longitud de la corda L coincideix amb un número enter de semilongituds d'ona λ .

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \quad \text{amb } n = 1, 2, 3, 4... \quad (5)$$

Tenint en compte que la longitud de l'ona està relacionada amb la seva freqüència, segons l'expressió

$$v = \lambda f \quad (6)$$

sent v la velocitat de propagació de les ones. Les freqüències possibles de les ones estacionàries són aquelles que verifiquen:



$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad \text{amb } n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (7)$$

Les ones estacionàries produïdes en un medi també s'anomenen modes de vibració o harmònics. A la figura es mostren el primer harmònic o mode fonamental ($n=1$), el segon ($n=2$), tercer ($n=3$), quart ($n=4$) i cinquè ($n=5$) harmònic.

Material

- 1 generador de vibracions mecàniques
- 1 generador de funcions
- 1 amplificador del senyal del generador
- 1 corda
- 2 suports per a lligar-hi la corda
- 1 recipient
- 1 vas de precipitats
- Cinta mètrica
- Balança
- Aigua
- 1 joc cables banana

Mètode experimental

1. Estudi experimental de la variació dels modes de vibració d'una corda en funció de la tensió.

El muntatge experimental consta d'una corda amb un extrem fix, del qual penja un recipient amb aigua. L'altre extrem també està fix i prop d'ell hi ha un vibrador la freqüència del qual podem ajustar amb un generador de funcions.

Transcriviu les dades que tot seguit se us demanen a les caselles blaves del full de dades/resultats.

1.a Mesureu la longitud de la corda, L , entre els dos extrems fixos i **vigileu que al llarg de la pràctica aquesta longitud no canviï**. Anoteu també l'error de L , $\varepsilon_a(L)$

1.b Seleccioneu en el generador de funcions una ona sinusoidal d'uns 70 Hz. Anoteu la freqüència, f , i el seu error al full de dades/resultats. Poseu l'amplitud a aproximadament 5/6 parts de l'amplitud màxima. Quan engegueu l'amplificador de senyal, veureu que el vibrador comença a oscil·lar.

1.c Tot mantenint la longitud constant, varieu la tensió de la corda augmentant o disminuint la quantitat d'aigua del recipient fins aconseguir trobar, com a mínim, 5 modes estacionaris diferents.

Mesureu amb la balança la massa m del recipient amb l'aigua utilitzada per aconseguir cada mode, n , de l'ona estacionària que observeu i complimenteu els camps en blau de la Taula 1.

1.d Com es pot determinar la tensió de la corda a partir de la massa m que hi pengeu?

1.e Tenint en compte les expressions (1) i (7), escriviu l'**expressió** que relaciona la massa m que pengeu de la corda i el mode observat n :

$$m(n) = \quad \quad \quad (8)$$

1.f Calculeu $1/n^2$, per a cada un dels valors de n . (camp en groc de la Taula 1)

1.g Representeu gràficament la massa m (eix d'ordenades) en funció de $1/n^2$ (eix d'abscisses). Adjunteu la gràfica al final de l'informe.

1.h Feu una regressió lineal per tal de trobar l'equació de la recta

$$m = a \frac{1}{n^2} + b \quad (9)$$

que millor s'ajusta a la gràfica anterior. Indiqueu els valors dels coeficients a , b (amb els seus errors) i r obtinguts en el full de dades/resultats.

Comenteu el resultat obtingut, els punts experimentals tenen el comportament esperat? S'ajusten bé a una recta?

1.i Deduïu el valor de la densitat lineal de la corda, μ , tot comparant l'expressió (8) amb el resultat de la regressió lineal (9). Anoteu el resultat en el full de dades/resultats.

Us sembla coherent el resultat obtingut?

2. Estudi de la variació dels modes de vibració en funció de la freqüència d'excitació de la corda.

2.a Poseu uns 500 g d'aigua al recipient i peseu el conjunt. Anoteu la massa i el seu error en el full de dades/resultats.

2.b Pengeu el recipient amb l'aigua de l'extrem de la corda i engegueu el vibrador i el generador de funcions. Varieu la freqüència de l'oscil·lació des d'uns 25 Hz fins a uns 190 Hz i anoteu a la següent Taula 2 el valor de la freqüència de cada un dels harmònics que observeu.

2.c Representeu gràficament la freqüència dels harmònics en funció del número d'harmònic. Adjunteu la gràfica al final de l'informe.

2.d Feu una regressió lineal per tal de trobar l'equació de la recta

$$f = a \cdot n + b \quad (10)$$

que millor s'ajusta a la gràfica anterior. Indiqueu els valors dels coeficients a , b (amb els seus errors) i r obtinguts en el full de dades/resultats.

Els punts experimentals s'ajusten bé a una recta? Raoneu la resposta.

2.e Compareu l'equació de la recta experimental amb l'expressió (7) i calculeu la velocitat v a la que es propaguen les ones a la corda amb el seu corresponent error.

2.f A partir d'aquest valor, utilitzant l'expressió (1), determineu novament la densitat lineal de massa μ de la corda amb el seu error.

Compareu aquest resultat amb el que heu obtingut a l'apartat 1.i.

Quin dels dos resultats penseu que és millor? Per què?

Exercici amb un simulador

Connecteu-vos a l'adreça:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/estacionarias/estacionarias.html#Actividades>
aneu al primer applet de la pàgina i llegiu-ne la informació.

Seleccioneu una velocitat de propagació de les ones de 8 m/s i un factor d'escala de 60. Observeu el moviment de la corda per a diferents freqüències d'excitació, des de 1 Hz fins a 21 Hz. Després de seleccionar la freqüència heu de prémer el botó “empieza”.

Anoteu a la següent taula les freqüències a les que es produeixen els diferents modes de vibració.

n (mode)	1	2	3	4	5	6	7
f (Hz)							

A partir de les dades de la taula anterior determineu la longitud de la corda.

$L' =$

Expliqueu perquè per a la freqüència de 8 Hz s'observa clarament una ona estacionària, i en canvi per a la de 9 Hz no.

--

Bibliografia

TIPLER, P.A.; MOSCA, G. *Física para la ciencia y la tecnología*. Ed. Reverté. 2005
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/estacionarias/estacionarias.html#Actividades>

Agraïments

Agraïm a Angel Franco García de la Universidad del País Vasco, creador del *Curso Interactivo de Física en Internet*, que posi a disposició de la comunitat educativa els materials del curs.

FULL DE DADES/RESULTATS. Els camps que estan en blau corresponen als valors que mesureu al laboratori. Els camps en groc, són camps calculats. Abans de sortir del laboratori cal que envieu a ATENEA el full excel **amb els camps en blau complimentats**.

L (cm)	\pm	$\varepsilon_a(L)$ (cm)
	\pm	

1. Variació dels modes de vibració en funció de la tensió

		Taula 1							
f (Hz)	\pm	$\varepsilon_a(f)$ (Hz)	n						
	\pm		m (g)						
			$1/n^2$						
Regressió lineal									
a (g)	\pm	$\varepsilon_a(a)$ (g)	b (g)	\pm	$\varepsilon_a(b)$ (g)				
	\pm			\pm					
r^2			r						
μ (g/m)	\pm	$\varepsilon_a(\mu)$ (g/m)							
	\pm								

2. Variació dels modes de vibració en funció de la freqüència

		Taula 2							
m (g)	\pm	$\varepsilon_a(m)$ (g)	n						
	\pm		f (Hz)						
Regressió lineal									
a (Hz)	\pm	$\varepsilon_a(a)$ (Hz)	b (Hz)	\pm	$\varepsilon_a(b)$ (Hz)				
	\pm			\pm					
r^2			r						
v (m/s)	\pm	$\varepsilon_a(v)$ (m/s)	μ (g/m)	\pm	$\varepsilon_a(\mu)$ (g/m)				
	\pm			\pm					