

3. Ressonància en un tub parcialment submergit en aigua: determinació de la velocitat del so a l'aire

Objectius

- Estudiar qualitativament el fenomen de la ressonància acústica.
- Determinar experimentalment la velocitat del so a l'aire.

Introducció

Velocitat del so a l'aire

Les ones sonores són ones mecàniques longitudinals, que poden propagar-se en els medis materials (sòlids, líquids i gasos). La velocitat de propagació v d'una ona sonora en un medi és constant i es relaciona amb la seva longitud d'ona λ i la seva freqüència d'acord amb:

$$v = \lambda f$$

L'experiència tracta de determinar experimentalment λ . Coneixent f podrem calcular la velocitat de propagació v del so en el medi. Aquesta velocitat depèn, entre d'altres factors, de la temperatura.

Tub de ressonància

L'aparell utilitzat en aquesta pràctica consisteix en un tub de vidre (d'uns 65 cm), col·locat en posició vertical i comunicat pel seu extrem inferior, mitjançant un tub de goma, amb un dipòsit d'aigua l'altura del qual pot regular-se per tal de fer variar el nivell d'aigua en el tub ressonant. D'aquesta manera, la longitud de la columna d'aire pot modificar-se introduint o traient aigua del tub ressonant.

Ressonància

Si mitjançant una font sonora, un diapasó per exemple, produïm una vibració de freqüència coneguda prop de l'extrem obert d'un tub tancat per l'altre extrem, com és el cas del tub de ressonància, les ones que es propaguen a través de la columna d'aire continguda en el tub es reflecteixen al fons del tub.

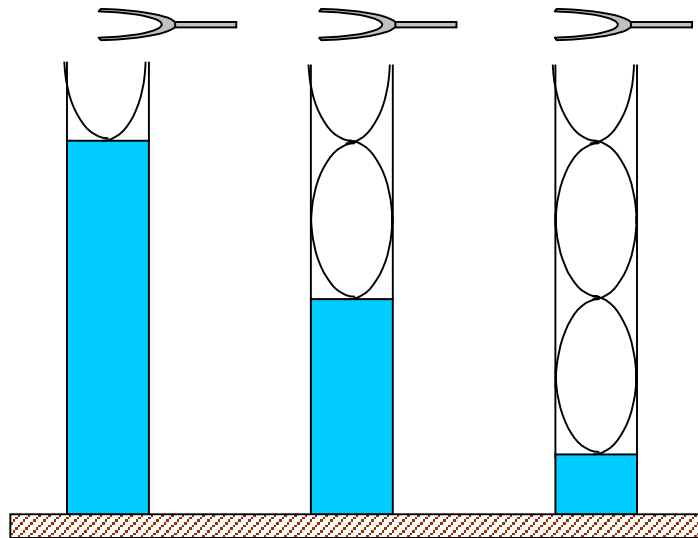
En vibrar el diapasó arran de la boca del tub les compressions i dilatacions entre molècules es propaguen per l'aire del tub i arriben al fons, des d'on en tornen reflectides. La interferència entre les ones directes amb les que tornen donen lloc a ones estacionàries, amb capes ventrals, on les molècules de l'aire vibren amb màxima amplitud, i capes nodals on no es mouen. En l'extrem tancat del tub es forma un node, ja que l'última capa d'aire, en contacte amb el fons, no pot vibrar. A més, perquè les ones siguin intenses és necessari que a la boca del tub es formi un ventre. Resulta força senzill adonar-se que la distància que separa dos nodes (o dos ventres) consecutius serà sempre de mitja longitud d'ona.

Si la longitud de la columna d'aire s'ajusta de manera que sigui igual a un nombre imparell de quarts de la longitud d'ona del to (o freqüència) emès pel diapasó, l'ona reflectida arribarà a l'extrem obert precisament en fase amb la nova vibració del diapasó ja que en la reflexió en l'extrem tancat es produeix un salt de fase de 180° . El que l'experimentador percep a l'extrem del tub és una intensificació considerable del so emès. Aquest fenomen es coneix amb el nom de ressonància.

Si designem per L la longitud de la columna d'aire i λ la longitud d'ona del so emès pel diapasó podrem escriure la condició de ressonància en un tub amb un extrem tancat de la següent manera:

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

D'acord amb aquesta expressió per cada freqüència tindrem una colla de longituds de columnes d'aire en què un so d'aquesta freqüència produiria ressonància.



Ressonàncies en una columna d'aire per $n=0$, $n=1$ i $n=2$ per una mateixa longitud d'ona

Material

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Tub de ressonància, disposat verticalment i dotat d'un sistema adequat per variar-ne el nivell d'aigua (de longitud 60-65 cm) | <ul style="list-style-type: none"> - Diapasos de 440 Hz i 1000 Hz amb els corresponents martells de goma - Cinta mètrica |
|---|--|

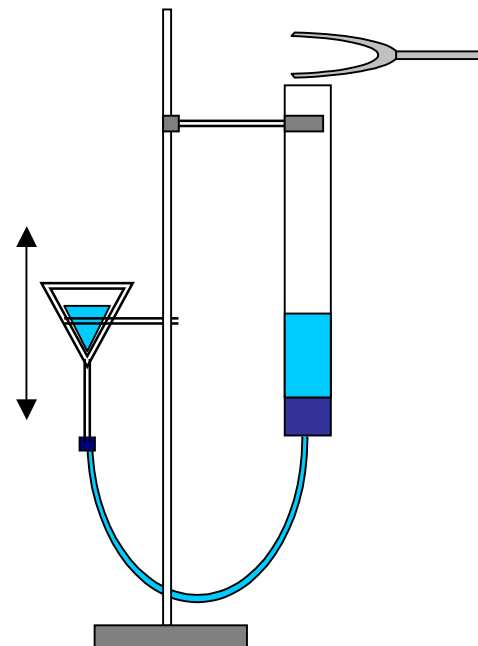
Procediment

Muntatge de l'experiència

Munta el tub de ressonància tal i com apareix a la figura i prova de variar la longitud de la columna d'aire pujant i baixant el nivell de l'aigua dins el tub.

Execució de l'experiència

1. Consulta en un termòmetre la temperatura ambient. Anota-la a la taula.
2. Fes vibrar el diapasó de 440 Hz colpejant-lo amb el martell o amb algun objecte que no estigui en contacte amb el tub de ressonància. Apropa el diapasó vibrant a la boca del tub, sense tocar-lo i, mentre el diapasó està vibrant varia lentament el nivell de l'aigua en el tub, des de la posició en la qual el tub està més ple, fins que s'aconsegueixi la ressonància. En aquest moment es produeix una intensificació del so, fàcilment audible encara que el so procedent directament del diapasó gairebé no ho sigui.
3. Un cop determinada aproximadament la posició del primer punt de ressonància, repeteix-ho per tal de fer una localització el més exacta possible pujant i baixant lentament el nivell de l'aigua. Escoltant atentament si el so augmenta o



disminueix arribaràs, en tres o quatre assaigs, a la longitud exacta de la columna d'aire, que mesuraràs amb la cinta mètrica.

4. Torna a procedir com diuen els apartats 3 i 4 per tal d'establir un segon punt de ressonància.
5. Repeteix els punts 1, 2, 3 i 4 amb el diapasó de 1000Hz. Amb aquest diapasó intenta trobar un tercer punt de ressonància.

Adquisició i enregistrament de les dades

1. Completeu les taules següents amb les dades corresponents:

Temperatura ambient =

Freqüència del diapasó	440 Hz	1000 Hz
Longitud columna d'aire 1a ressonància, L_1		
Longitud columna d'aire 2a ressonància, L_2		
Longitud columna d'aire 3a ressonància, L_3	_____	

Conclusions

Anàlisi de les dades

Amb les dades recollides a la taula anterior, calculeu:

1. la longitud d'ona dels sons produïts pels dos diapasons
2. la velocitat del so en l'aire.

Taula 3

Freqüència del diapasó	440 Hz	1000 Hz
Longitud d'ona		
Velocitat so		

Qüestionari

1. Compara els resultats obtinguts per la velocitat del so en cada cas. Coincideixen? Per què?
2. Explica quines creus que han pogut ser les possibles fonts d'errors en aquesta experiència i suggereix -si pots- alguna manera de minimitzar-les.
3. Prenent com a velocitat del so en l'aire la mitjana entre els dos valors obtinguts, quina longitud de columna d'aire correspondria en el nostre tub al primer punt de ressonància, corresponent al so emès per un diapasó de 660 Hz?
4. Si el nostre tub tingués el mateix diàmetre però una longitud de 50 cm, quants punts de ressonància trobaries per als dos diapasons amb què has fet l'experiència? Indica amb claredat on es trobarien.

5. Sabem que per al cas de $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ la velocitat del so a l'aire és de 340 m/s . Si haguessis fet les teves dues experiències en aquestes condicions, quina longitud tindria la columna d'aire del tub per $n = 0$ amb cadascun dels dos diapasons? Compara aquests resultats teòrics amb els obtinguts experimentalment i intenta extreure'n conclusions.
6. Podries explicar algun aparell que basi el seu funcionament en un tub de ressonància?

Ressonància en un tub parcialment submergit en aigua: determinació de la velocitat del so a l'aire

Material per al professorat

Orientacions didàctiques

Temporització

- 1 hora per a l'experimentació, les conclusions i el qüestionari

Alumnes als quals s'adreça l'experiència

Alumnes de batxillerat

Orientacions tècniques

En fer el muntatge de l'experiència va molt bé fer servir dos tubs llargs connectats, un com a ressonant i l'altre com a dipòsit, d'aquesta manera en pujar o baixar el dipòsit és difícil que vessi aigua a terra.

En cas de no disposar del material específic es pot fer de la següent manera:

- Provena de 500 mL o d'1L o ampolla de plàstic transparent tallada per la part de dalt
- Tubs de plàstic -pvc- d'uns 40 a 60 cm de longitud i 3 o 4 cm de diàmetre
- Diapasó de 1000 Hz
- Cinta mètrica

Introduir el tub de pvc en la proveta plena d'aigua.

Per determinar la primera ressonància que és a uns pocs centímetres, el tub no ha de sobresortir gaire de la proveta.

Fer vibrar el diapasó al final del tub i aixecar-lo lentament fins a trobar la primera ressonància. Repetir-ho per precisar la posició.

Amb un tub més llarg repetir el procediment per trobar la segona i la tercera ressonància.

Conclusions

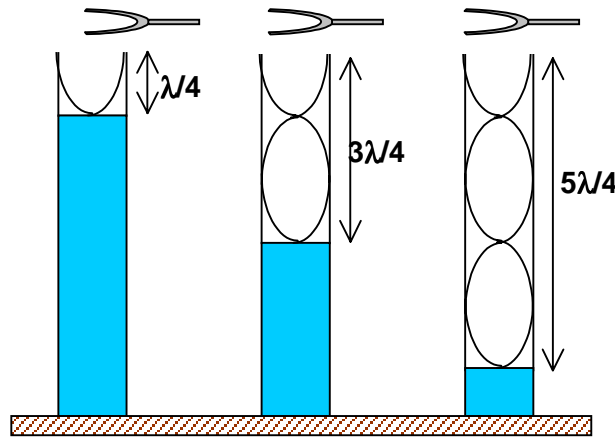
Resultats esperats

S'ha de tenir en compte que la longitud de la columna a la primera ressonància és un quart de longitud d'ona, a la segona tres quarts de longitud d'ona i a la tercera de cinc quarts de longitud d'ona. Per tant la diferència entre la posició de la segona ressonància i de la primera és mitja longitud d'ona i la diferència entre la posició de la tercera ressonància i la primera és una longitud d'ona completa.

Amb el diapasó de 440 Hz, les ressonàncies són més fluïxes que amb el de 1000 Hz però s'escolten clarament.

Les ressonàncies per al diapasó de 440 Hz es troben aproximadament sobre els 18 i 57 cm.

Les ressonàncies per al diapasó de 1000 Hz es troben aproximadament sobre els 8, 25 i 41 cm. En aquest cas la primera s'acostuma a trobar abans dels 8 cm ja que és la més afectada per l'efecte de boca del tub – el tub obert es comporta sempre com si fos més llarg que la seva longitud real i aquesta correcció està relacionada amb el diàmetre del tub.



Respostes al qüestionari

1. **Compara els resultats obtinguts per la velocitat del so en cada cas. Coincideixen? Per què?**

Els resultats obtinguts per la velocitat del so han de ser similars.

2. **Explica quines creus que han pogut ser les possibles fonts d'errors en aquesta experiència i suggereix- si pots- alguna manera de minimitzar-les.**

Pot haver-hi errors sistemàtics i accidentals.

Una causa d'error és no tenir en compte el diàmetre del tub.

3. **Prenent com a velocitat del so en l'aire la mitjana entre els dos valors obtinguts, quina longitud de columna d'aire correspondria en el nostre tub al primer punt de ressonància, corresponent al so emès per un diapasó de 660 Hz?**

$$L = (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{per } n=0 \rightarrow L = \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow L = \frac{v}{4f}$$

$$\text{Per la } f=660\text{Hz} \rightarrow L = \frac{v}{4 \cdot 660}$$

$$\text{Si per exemple } v = 340\text{m/s} \rightarrow 0,129\text{m} = 12,9\text{cm}$$

4. **Si el nostre tub tingués el mateix diàmetre però una longitud de 50 cm, quants punts de ressonància trobaries per als dos diapasos amb què has fet l'experiència? Indica amb claredat on es trobarien.**

Només trobaríem una ressonància per al diapasó de 440 Hz i dues pel de 1000 Hz.

5. **Sabem que pel cas de $T = 15^\circ\text{C}$ la velocitat del so a l'aire és de 340 m/s. Si haguessis fet les teves dues experiències en aquestes condicions, quina longitud tindria la columna d'aire del tub per $n = 0$ amb cadascun dels dos diapasos?**

Compara aquests resultats teòrics amb els obtinguts experimentalment i intenta extreure'n conclusions.

El valor teòric és calcula

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{per } n = 0 \rightarrow L = \frac{\lambda}{4}$$

$$\text{si } v = 340 \text{ m/s} \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \rightarrow L = \frac{v}{4f}$$

$$\text{Per la } f = 440 \text{ Hz} \rightarrow L = \frac{340}{4 \cdot 440} = 0,193 \text{ m} = 19,3 \text{ cm}$$

$$\text{Per la } f = 1000 \text{ Hz} \rightarrow L = \frac{340}{4 \cdot 1000} = 0,085 \text{ m} = 8,5 \text{ cm}$$

6. **Podries explicar algun aparell que basi el seu funcionament en un tub de ressonància?**

En tots els instruments de vent el propi tub acústic fa de caixa de ressonància.