

OSCILACIONES, ONDAS Y TERMODINÁMICA

MÓDULO 2: ONDAS

Figuras cedidas en parte por W.H. Freeman/Worth, que pertenecen al libro “Física, 4a. Ed.”, P.A. Tipler, Ed. Reverté

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de '*sólido elástico*'



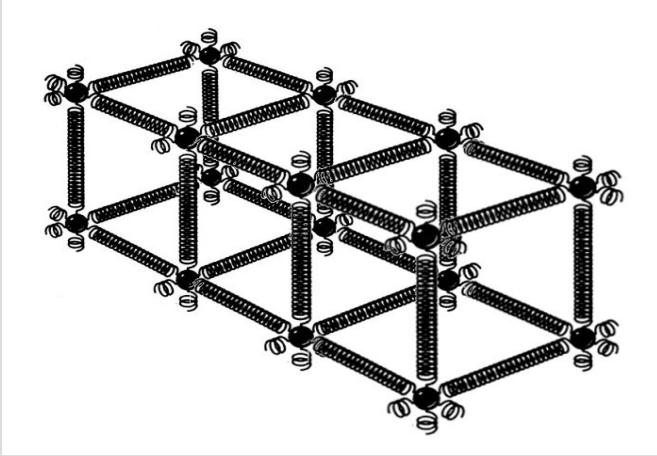
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de '*sólido elástico*'

- *Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos*

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

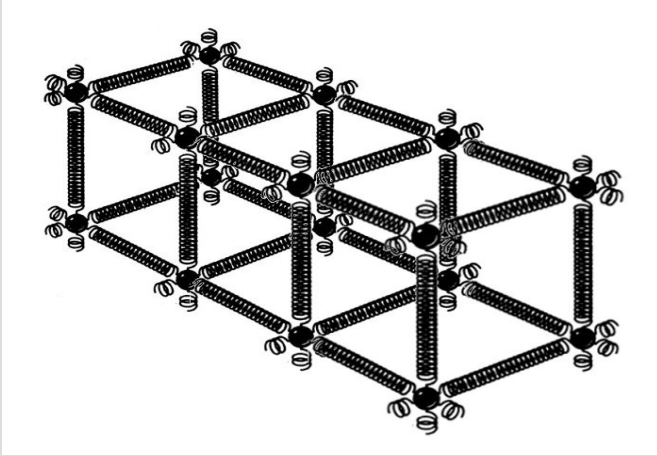
Modelo sencillo de '*sólido elástico*'



- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '*modelo de muelles*' es adecuado en este caso (en primera aproximación)

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

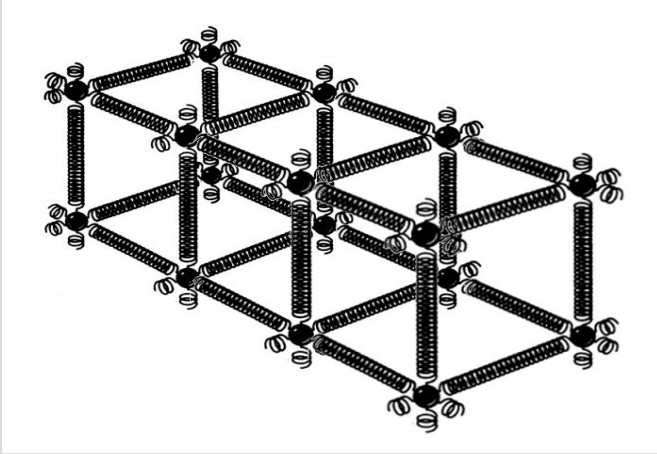
Modelo sencillo de '*sólido elástico*'



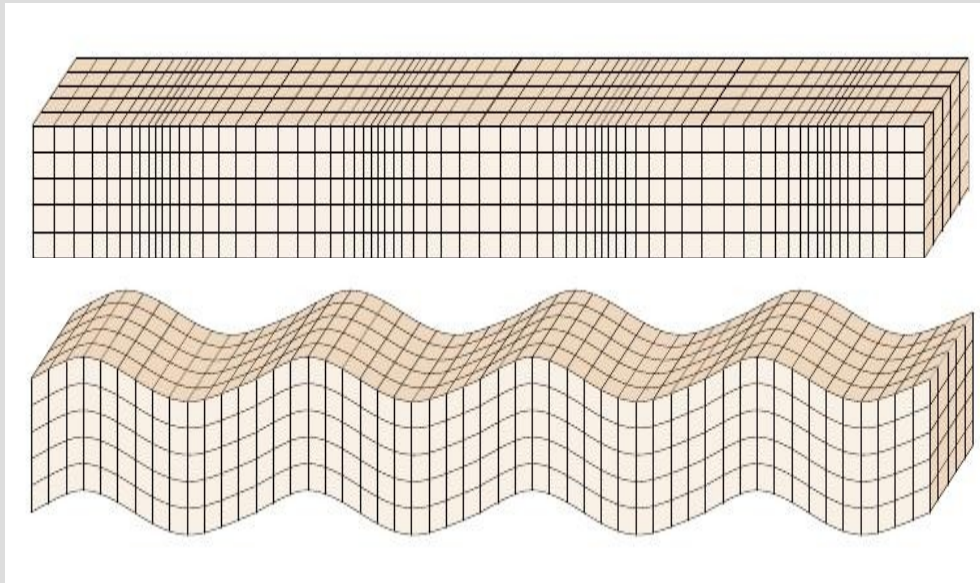
- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '*modelo de muelles*' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de 'sólido elástico'

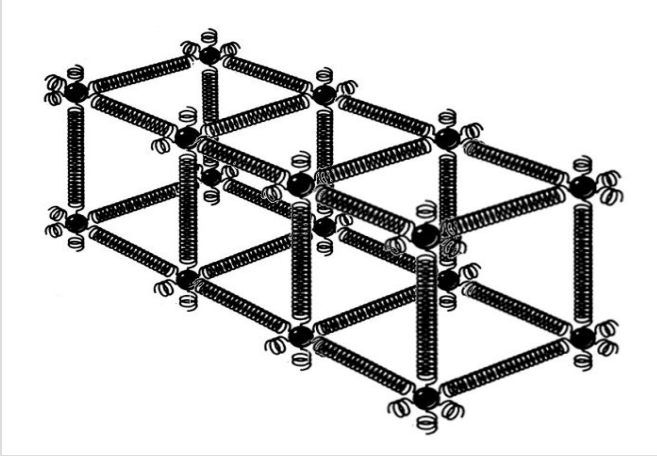


- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '**modelo de muelles**' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales



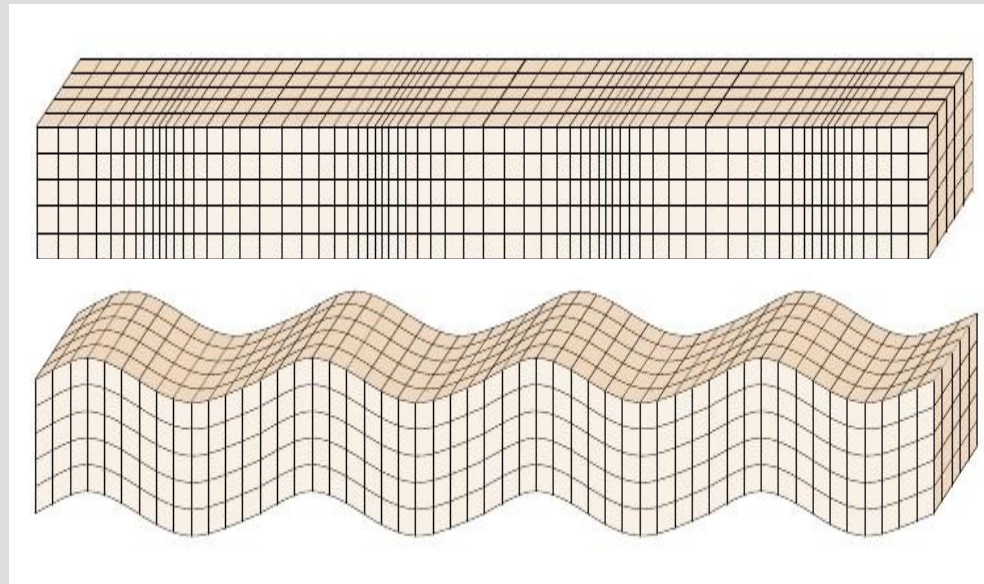
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de 'sólido elástico'



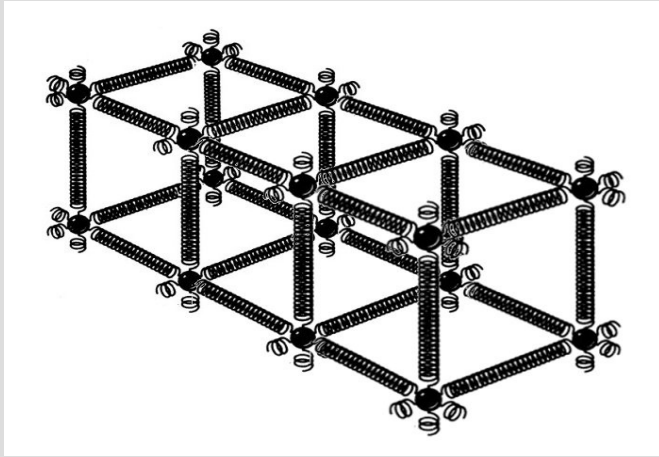
- La velocidad de las ondas depende de las propiedades elásticas del medio.

- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '**modelo de muelles**' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales



6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de 'sólido elástico'



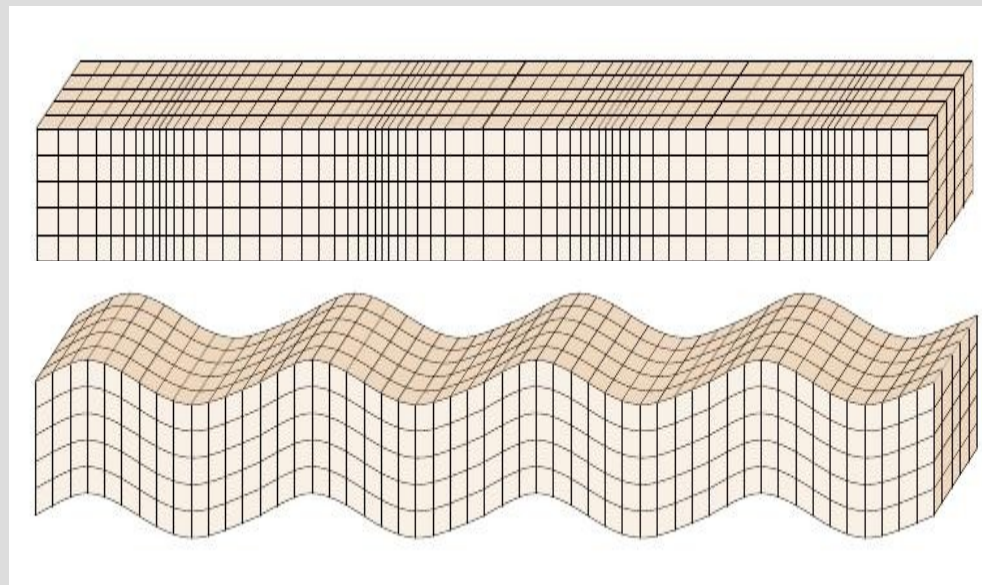
- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '**modelo de muelles**' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales

- La velocidad de las ondas depende de las propiedades elásticas del medio.

Sólidos Módulo de Young

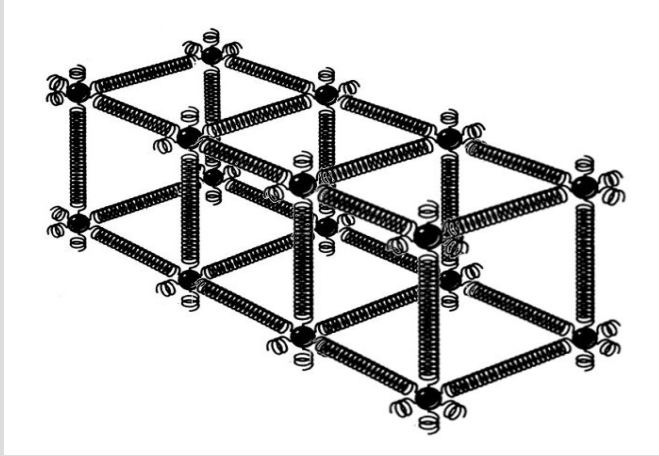
$$c_{long} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Densidad



6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de 'sólido elástico'



- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '**modelo de muelles**' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales

- La velocidad de las ondas depende de las propiedades elásticas del medio.

Sólidos

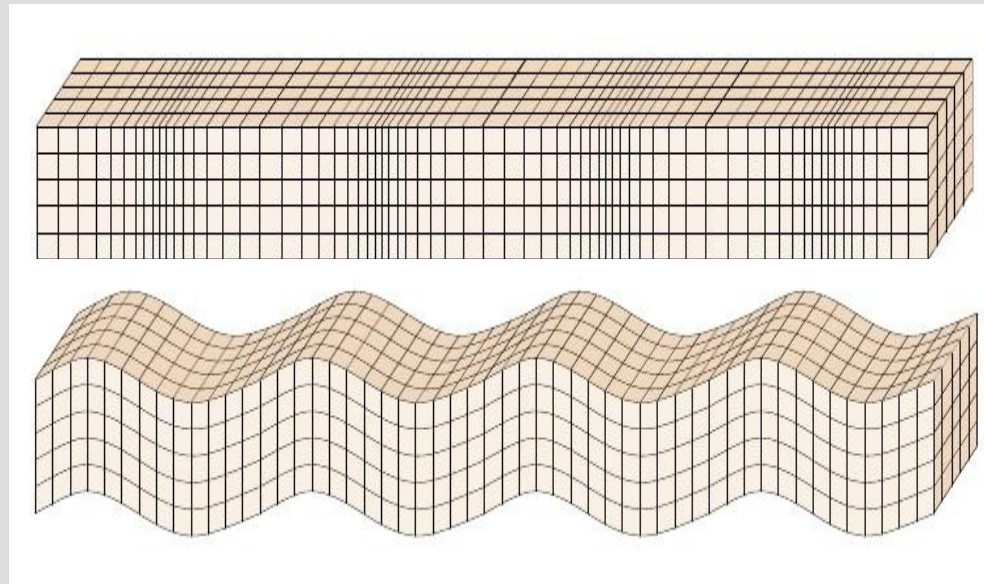
Módulo de Young

Módulo de Cizalla

$$c_{long} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

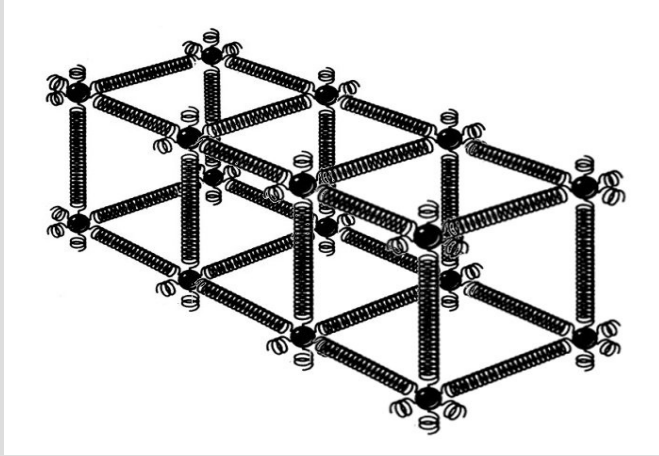
Densidad

$$c_{trans} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$



6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Modelo sencillo de 'sólido elástico'



- Los átomos ocupan posiciones de equilibrio determinadas por los enlaces con los átomos vecinos
- El '**modelo de muelles**' es adecuado en este caso (en primera aproximación)
- Se pueden producir ondas
- longitudinales y transversales

- La velocidad de las ondas depende de las propiedades elásticas del medio.

Sólidos

Módulo de Young

Módulo de Cizalla

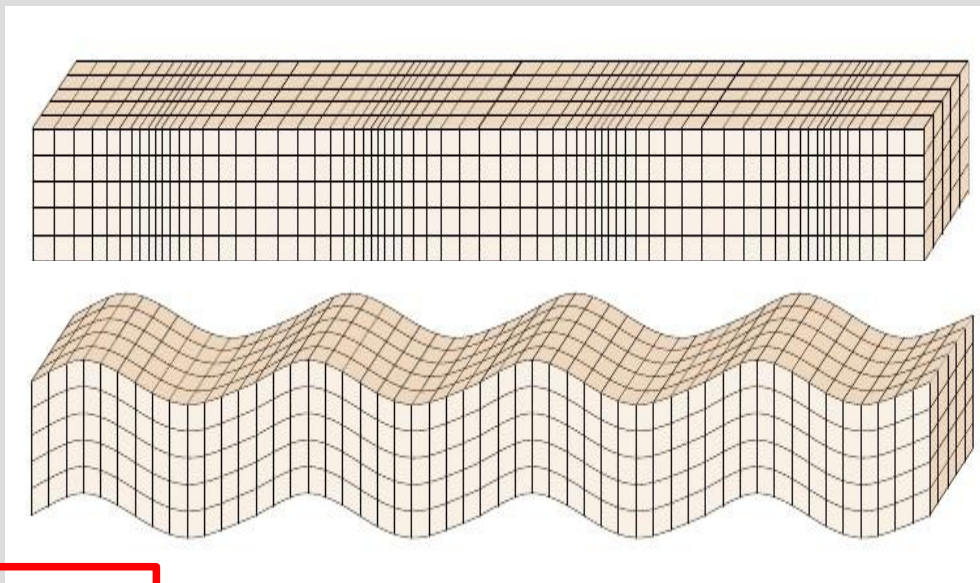
$$c_{long} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Densidad

$$c_{trans} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

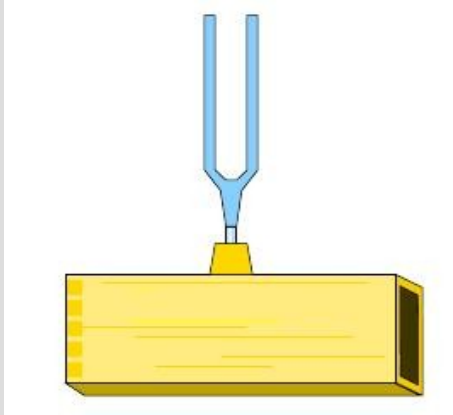
Como:

$$G < Y \rightarrow c_{trans} < c_{long}$$



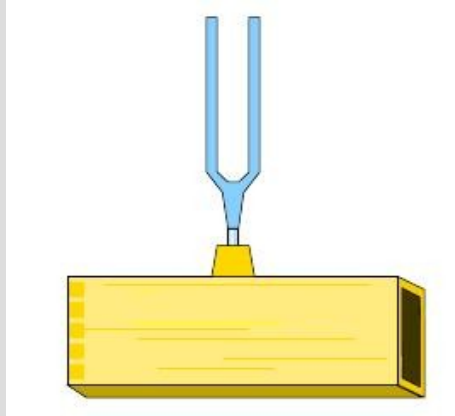
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Ondas de sonido en el aire



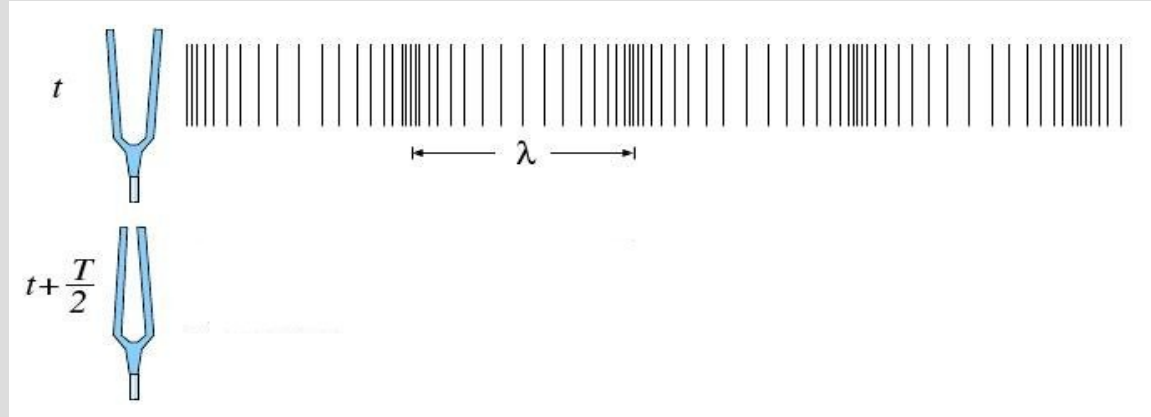
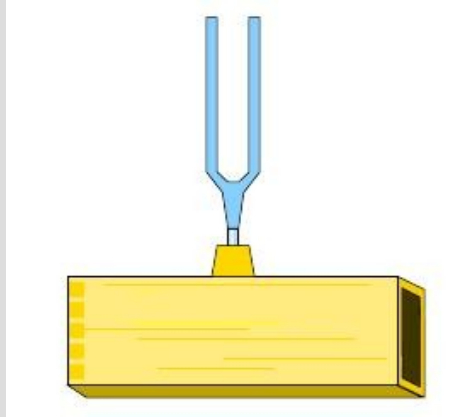
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Ondas de sonido en el aire



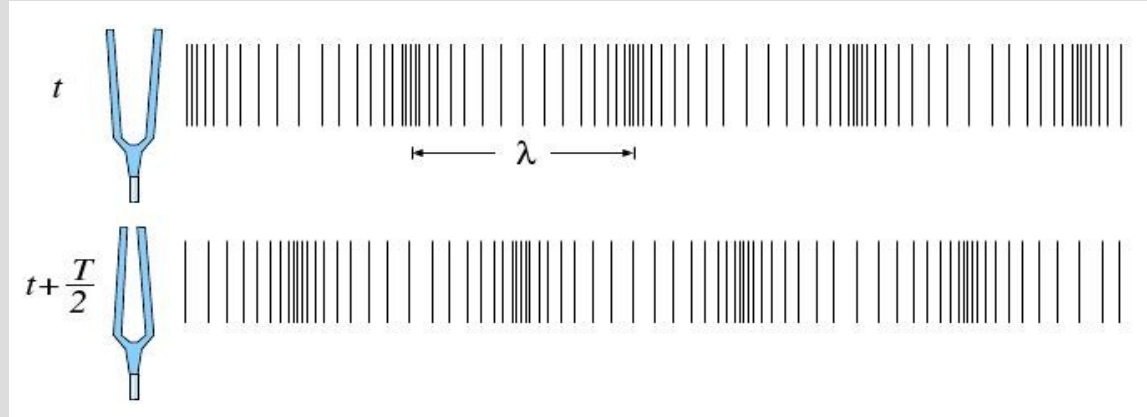
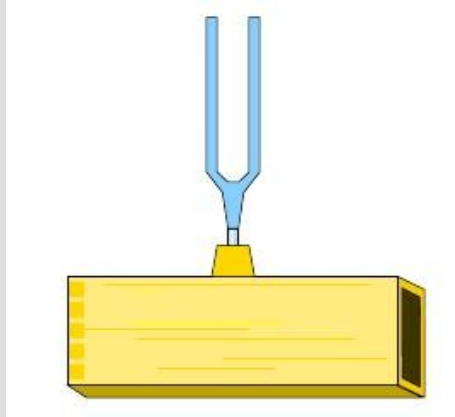
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Ondas de sonido en el aire



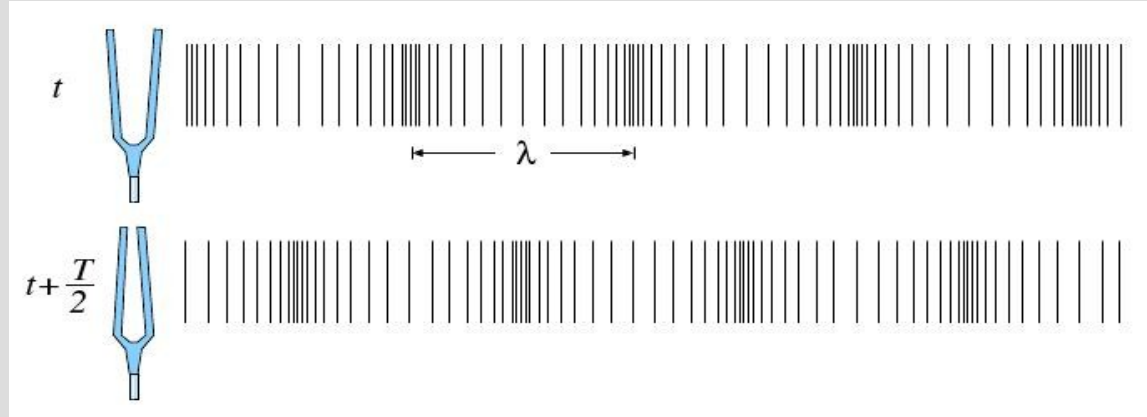
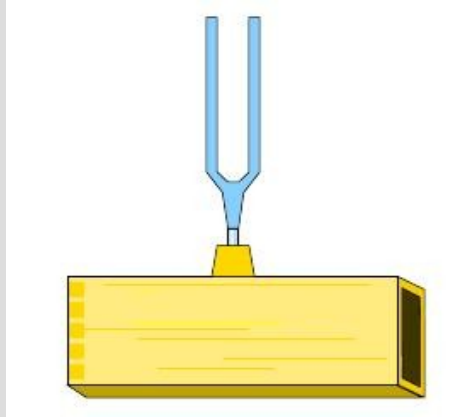
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Ondas de sonido en el aire



6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

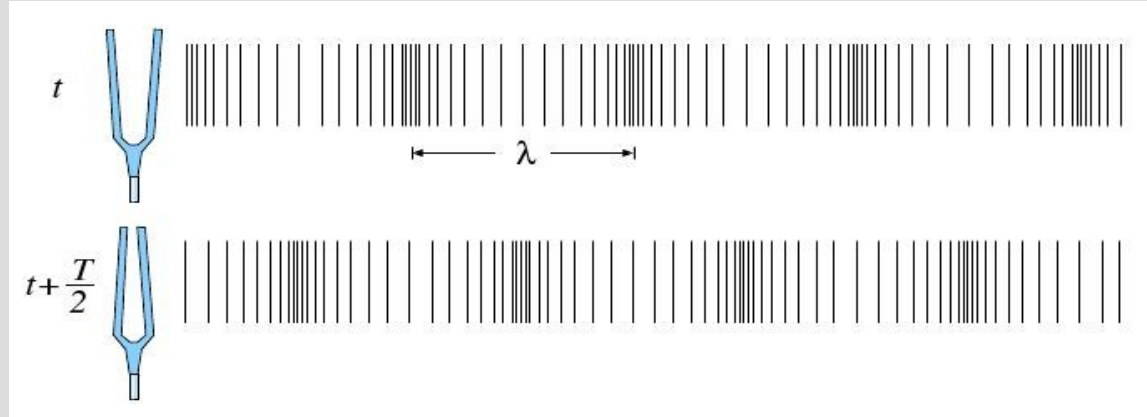
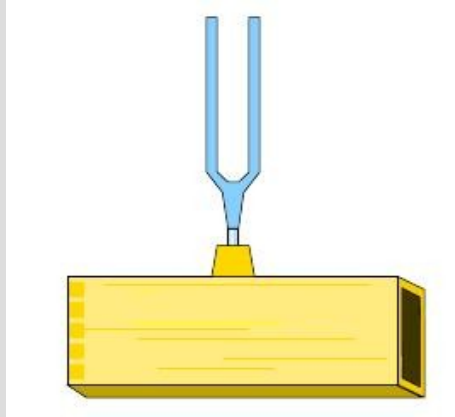
Ondas de sonido en el aire



- *En fluidos o gases sólo se pueden producir ondas longitudinales*

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

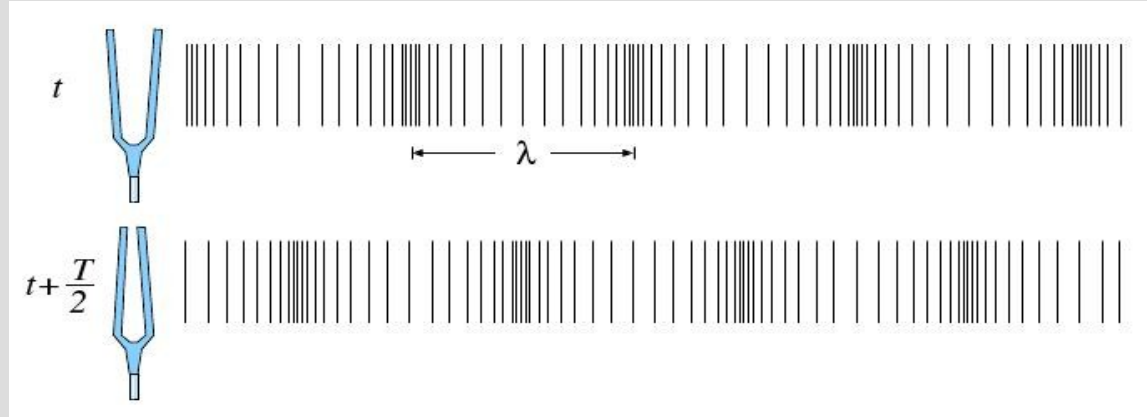
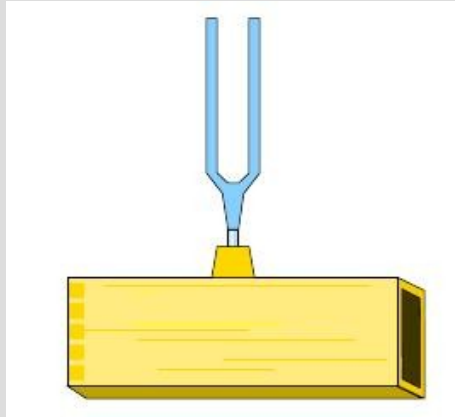
Ondas de sonido en el aire



- *En fluidos o gases sólo se pueden producir ondas longitudinales*
- *Son desplazamientos longitudinales de las moléculas, que se transmiten por colisiones con las moléculas vecinas.*

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

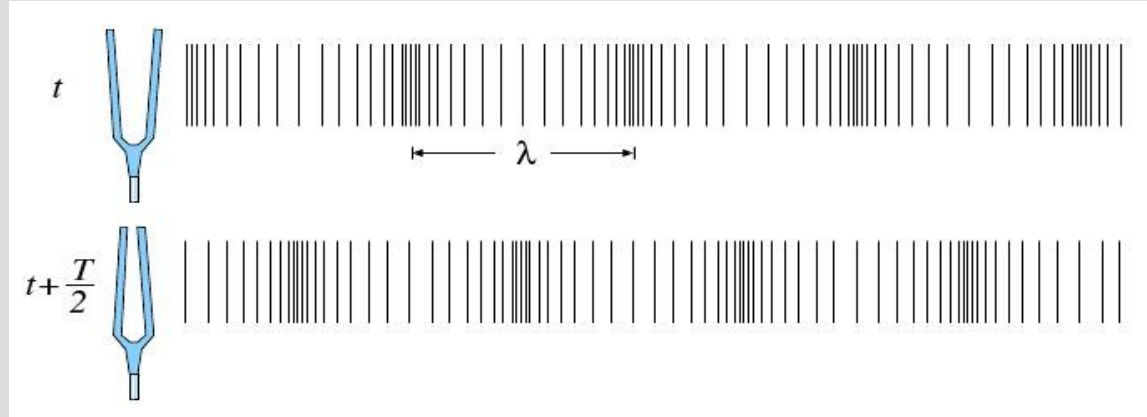
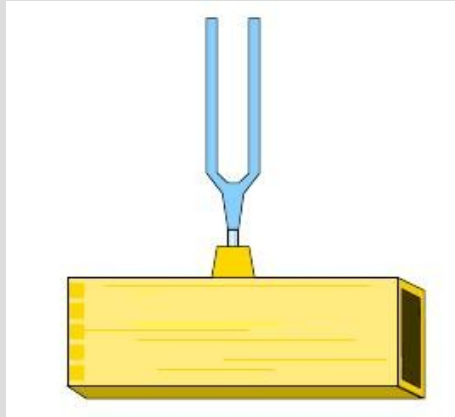
Ondas de sonido en el aire



- *En fluidos o gases sólo se pueden producir ondas longitudinales*
- *Son desplazamientos longitudinales de las moléculas, que se transmiten por colisiones con las moléculas vecinas.*
- *La velocidad de propagación de estas ondas depende de la presión, temperatura, peso molecular, etc.*

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Ondas de sonido en el aire



- En fluidos o gases sólo se pueden producir ondas longitudinales
- Son desplazamientos longitudinales de las moléculas, que se transmiten por colisiones con las moléculas vecinas.
- La velocidad de propagación de estas ondas depende de la presión, temperatura, peso molecular, etc.

Líquidos

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Módulo de compresibilidad

Densidad

Gases

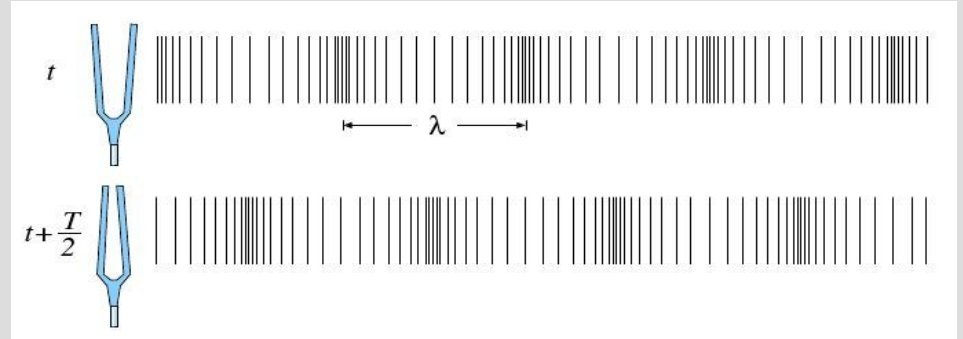
$$c = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

Peso molecular

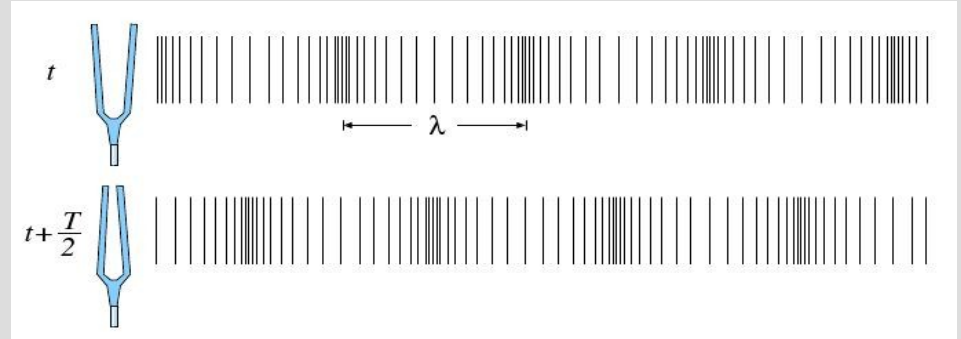
6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión



6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

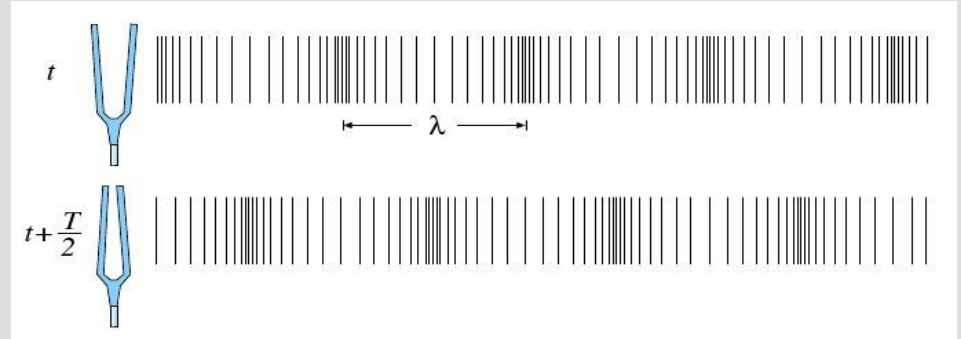
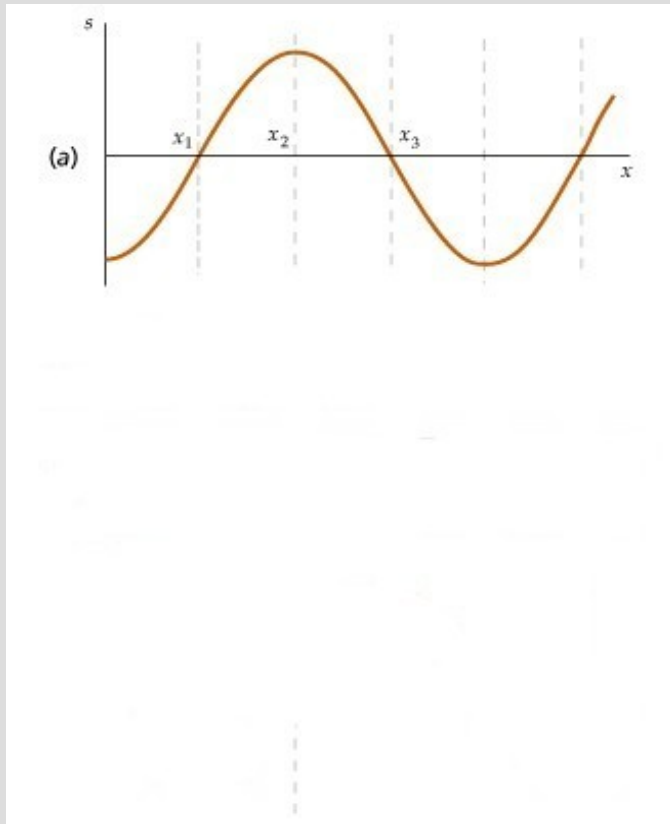


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de
desplazamiento

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

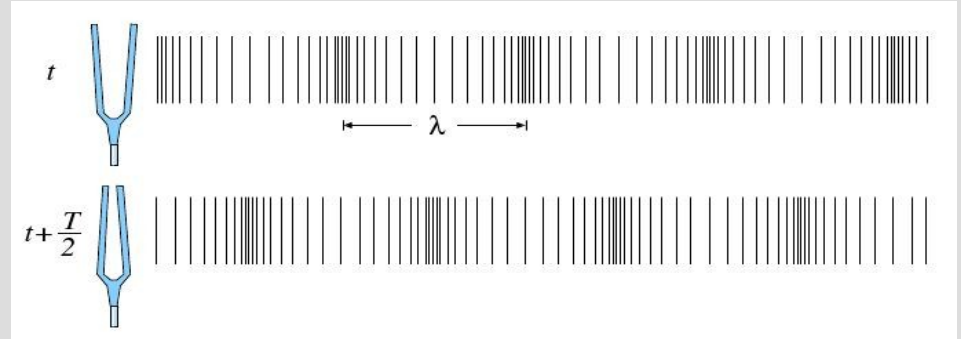
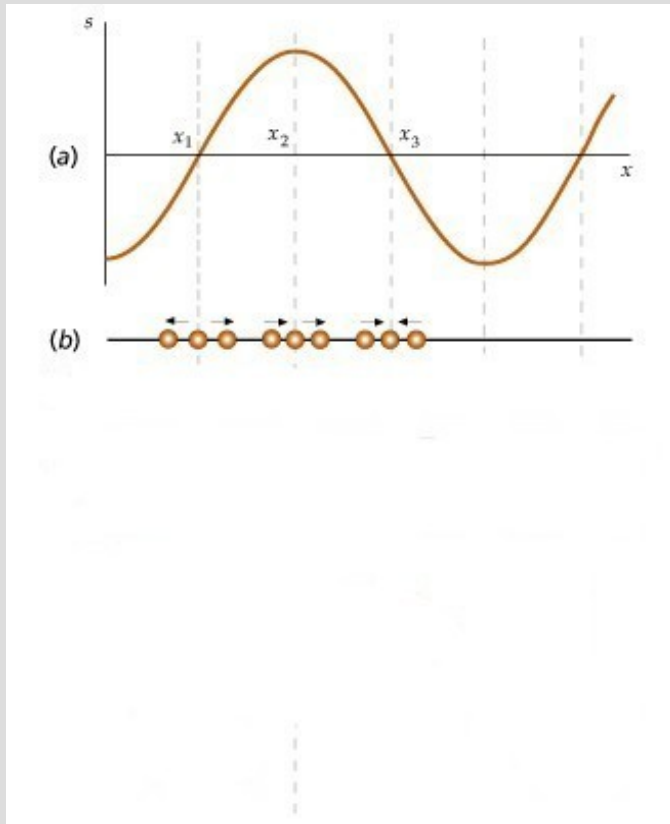


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de
desplazamiento

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

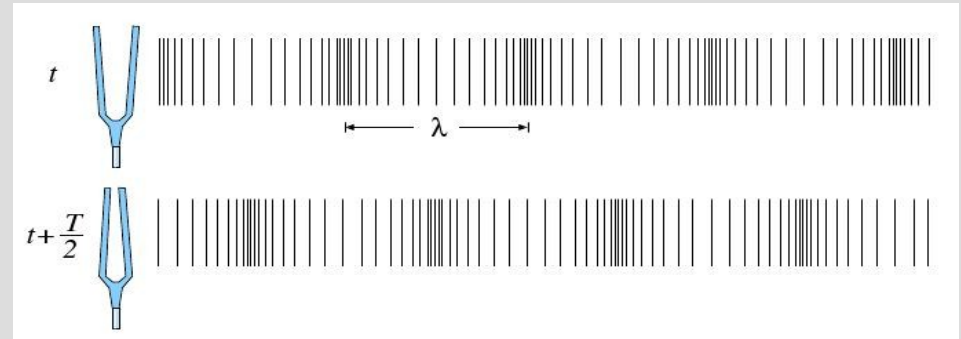
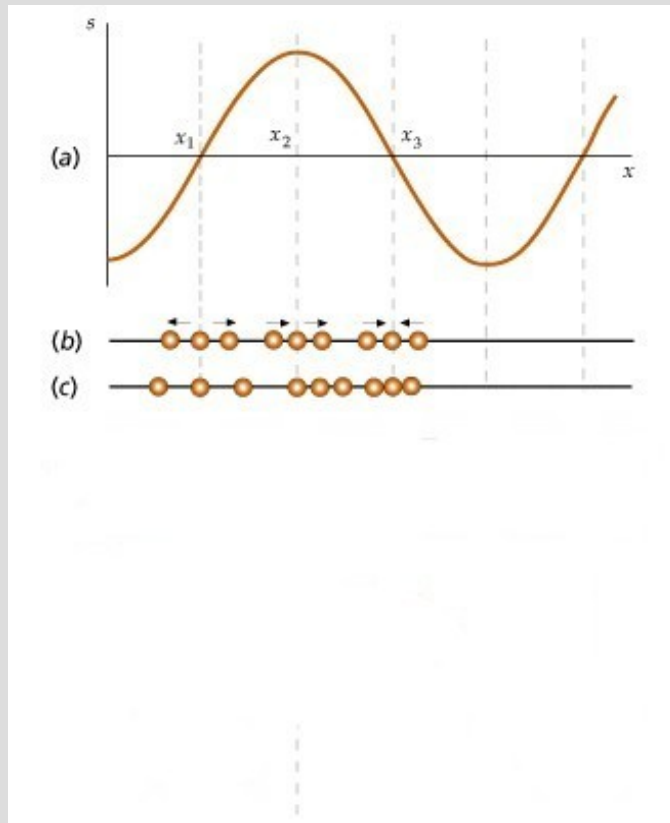


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

**Onda de
desplazamiento**

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

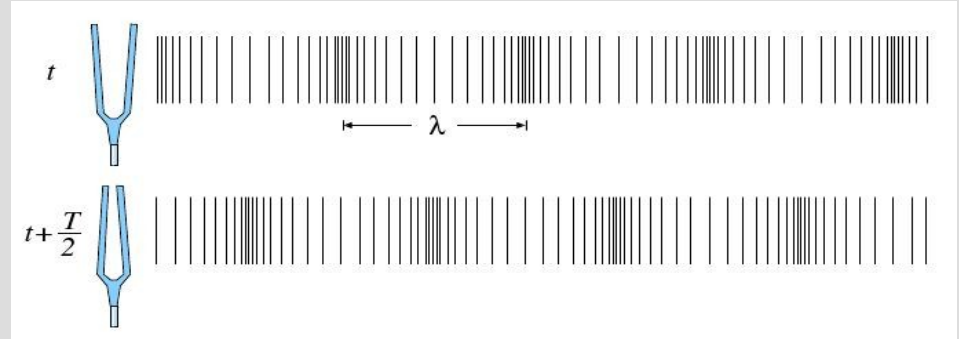
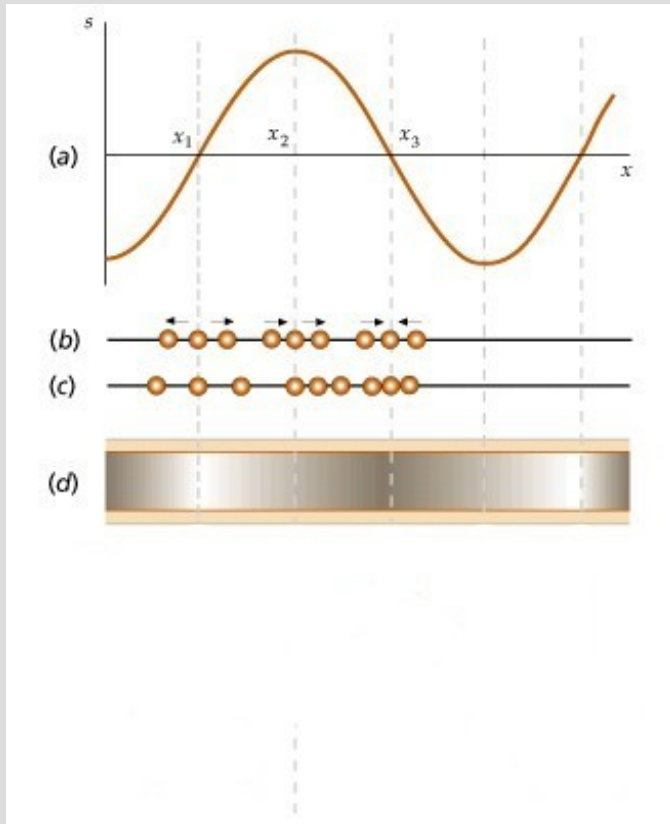


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

**Onda de
desplazamiento**

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

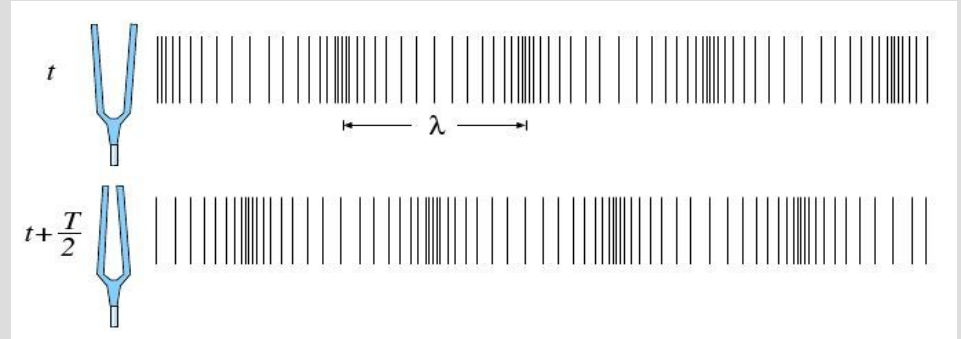
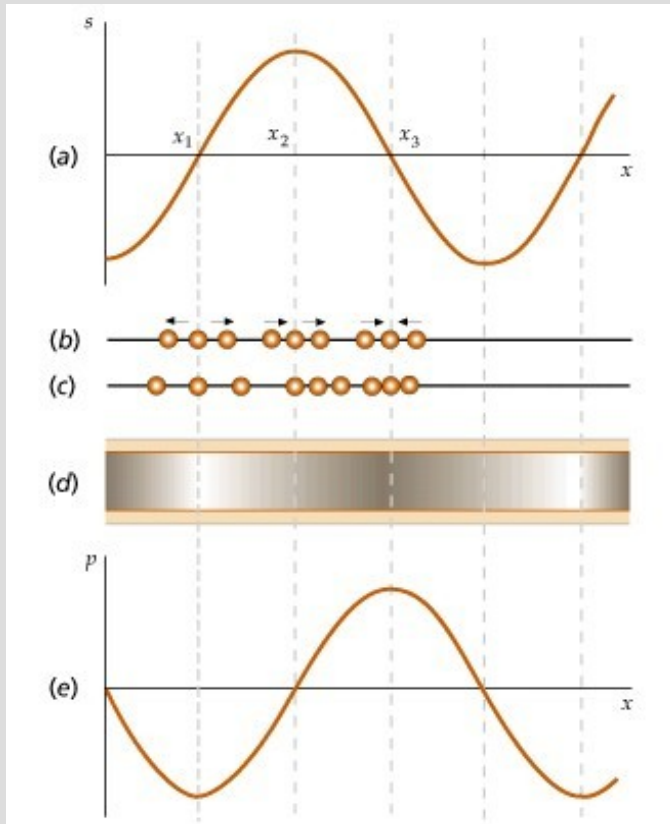


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de
desplazamiento

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión

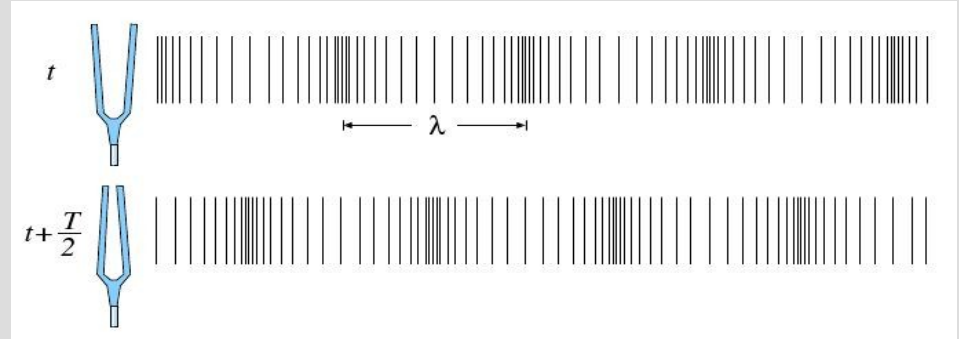
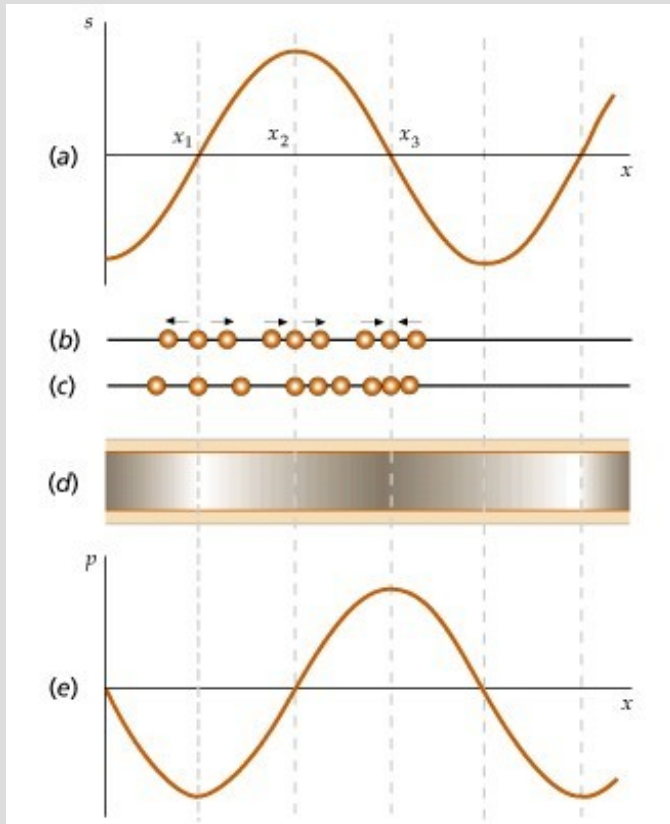


$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de
desplazamiento

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión



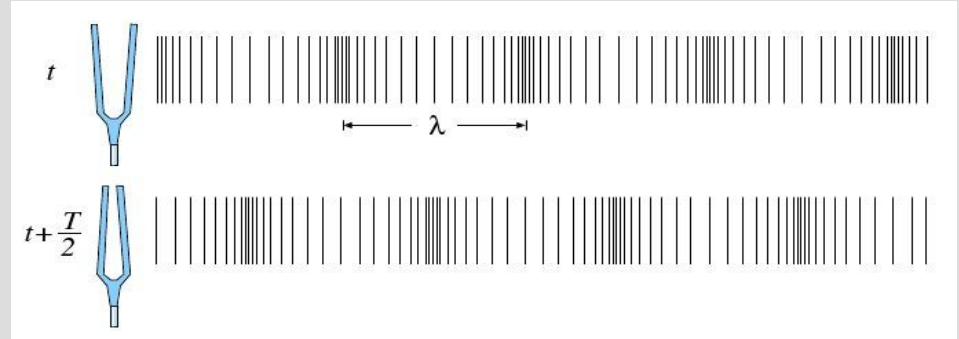
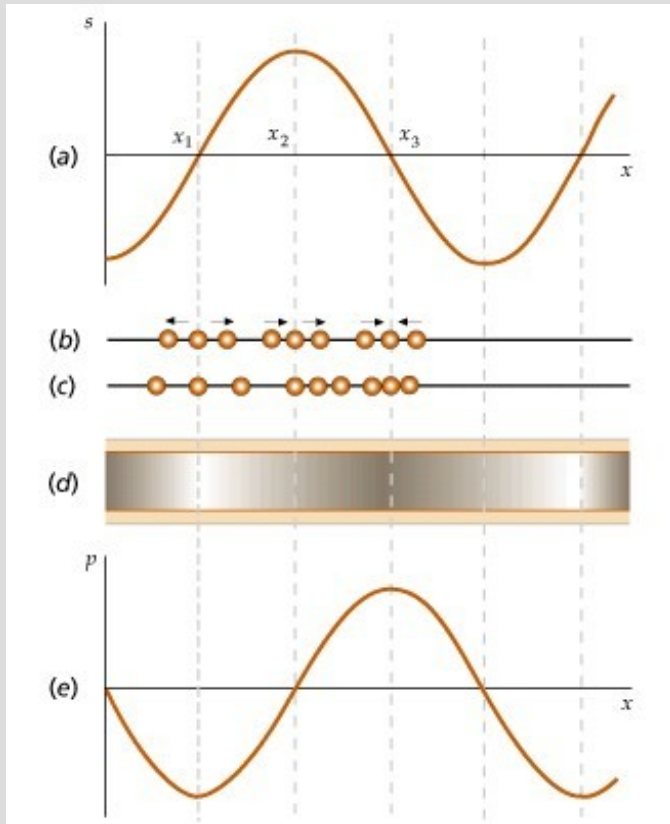
$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de desplazamiento

- En la presión se produce un desfase de $-\pi/2$ con el desplazamiento:

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión



$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Onda de desplazamiento

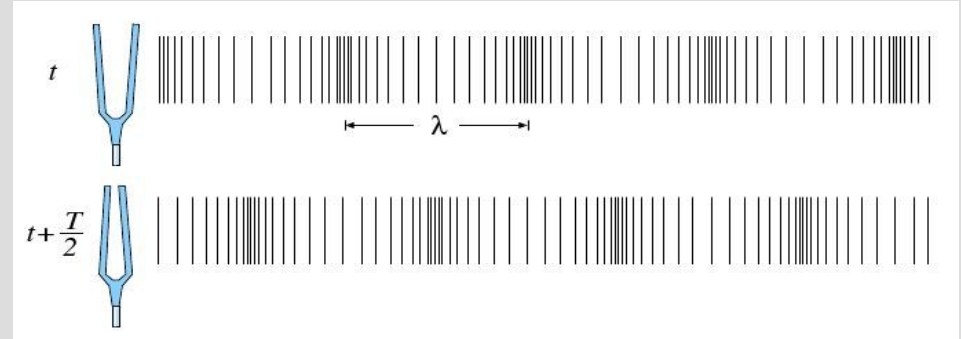
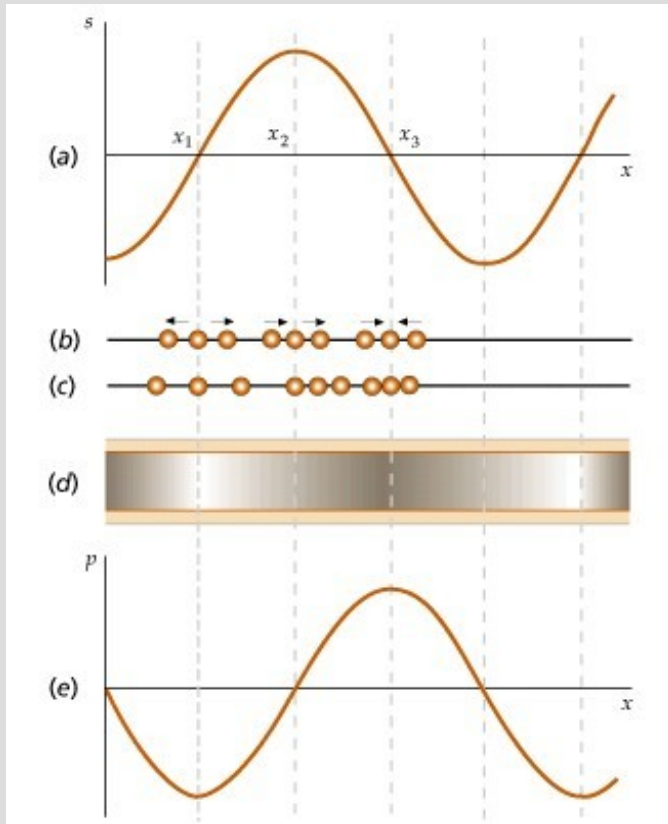
- En la presión se produce un desfase de $-\pi/2$ con el desplazamiento:

$$p = p_m \cos(kx - \omega t - \pi/2)$$

Onda de presión

6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos.

Sonido: onda de desplazamiento y onda de presión



$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

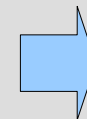
Onda de desplazamiento

- En la presión se produce un desfase de $-\pi/2$ con el desplazamiento:

$$p = p_m \cos(kx - \omega t - \pi/2)$$

Onda de presión

Se puede demostrar que:



$$p_m = \rho c \omega s_m$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

*En general es constante
para un emisor dado*

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

*En general es constante
para un emisor dado*

Intensidad de la onda: es la potencia que se transmite por unidad de área normal a la dirección de propagación.

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

En general es constante para un emisor dado

Intensidad de la onda: es la potencia que se transmite por unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

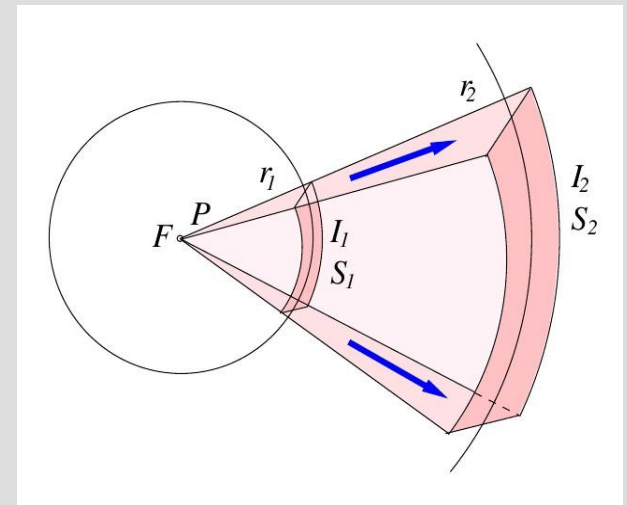
$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

En general es constante para un emisor dado

Intensidad de la onda: es la potencia que se transmite por unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S}$$

I decrece con la distancia en ondas esféricas



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

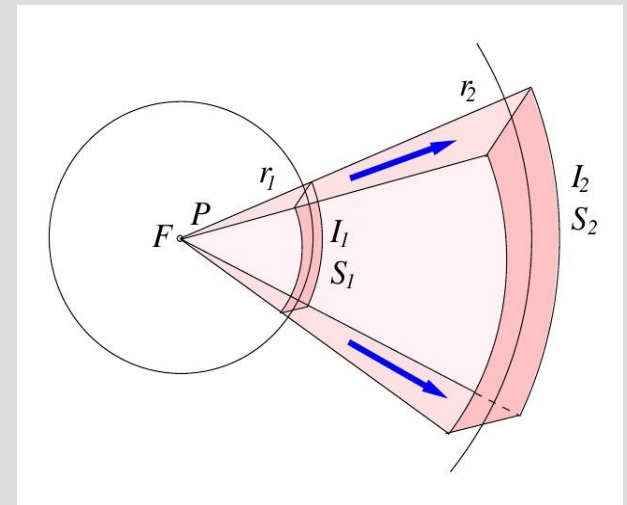
$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

En general es constante para un emisor dado

Intensidad de la onda: es la potencia que se transmite por unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S}$$

I decrece con la distancia en ondas esféricas



Densidad de energía: es la energía por unidad de volumen debida al movimiento ondulatorio de las partículas del medio.

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Potencia promedio de la onda: es el promedio temporal de la energía emitida por el foco emisor dividido entre el tiempo transcurrido.

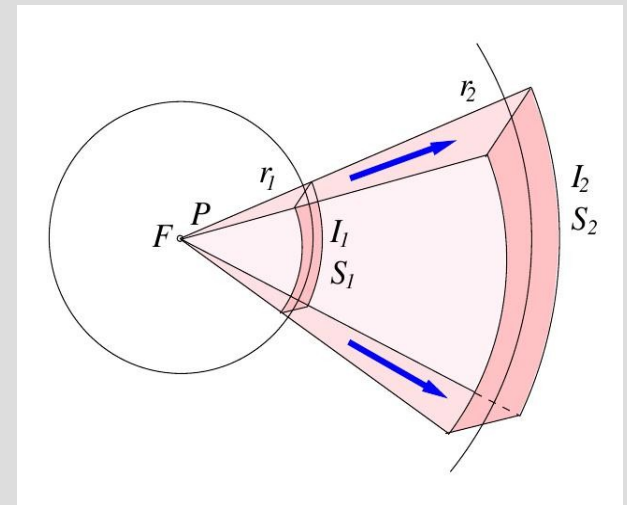
$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

En general es constante para un emisor dado

Intensidad de la onda: es la potencia que se transmite por unidad de área normal a la dirección de propagación.

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S}$$

I decrece con la distancia en ondas esféricas



Densidad de energía: es la energía por unidad de volumen debida al movimiento ondulatorio de las partículas del medio.

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V}$$

Veremos que se relaciona con I:



$$I = \eta c$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

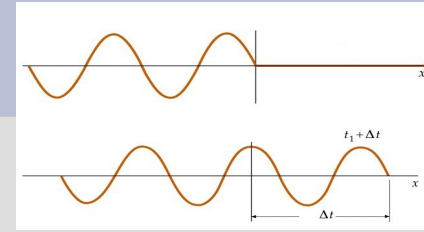
Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

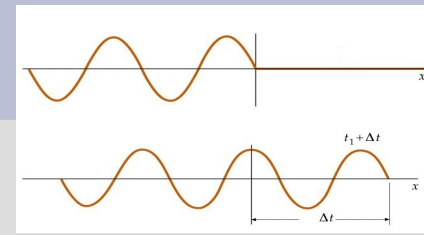
$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida



6.2 Potencia e intensidad de la onda.



Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

Energía de un trozo Δl de cuerda

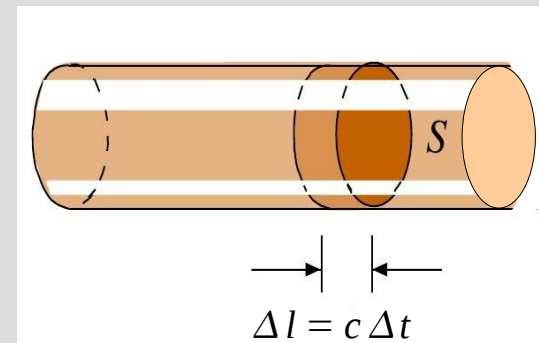
Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

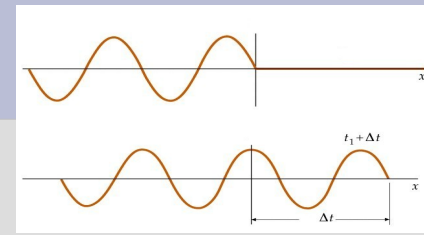
$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida

- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*



6.2 Potencia e intensidad de la onda.



Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

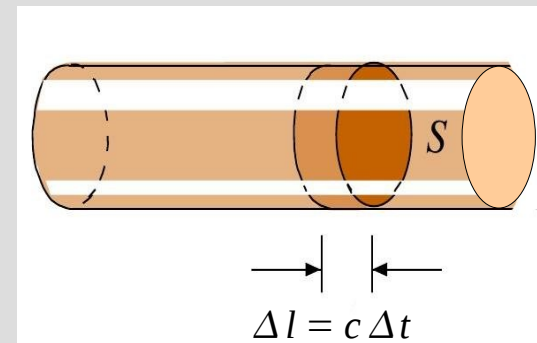
$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida

- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida

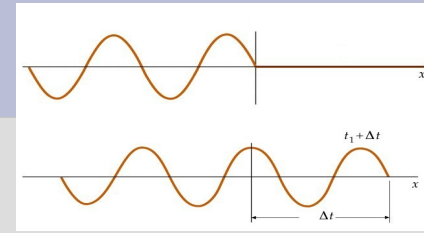
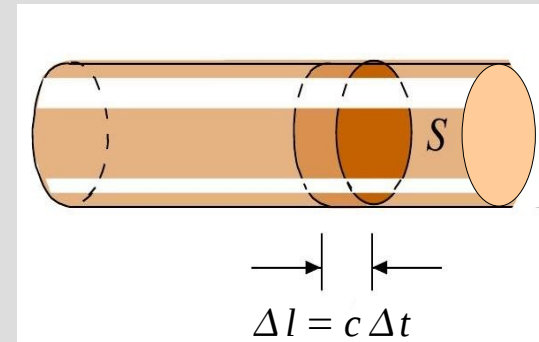
- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- Recordad, para una cuerda:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida

- Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:

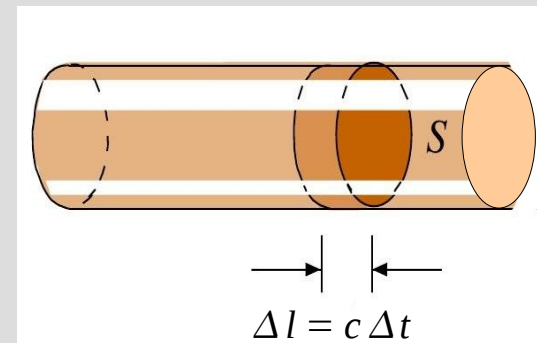
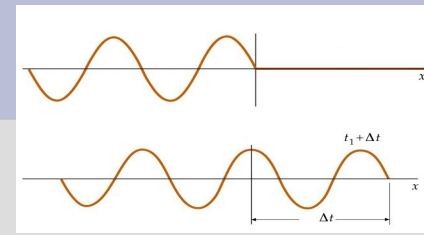
$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 s_m^2$$



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

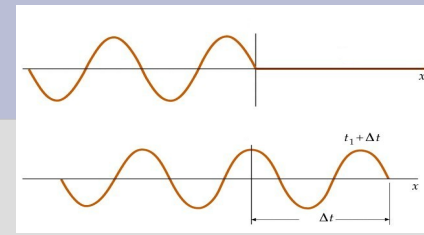
Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida



- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

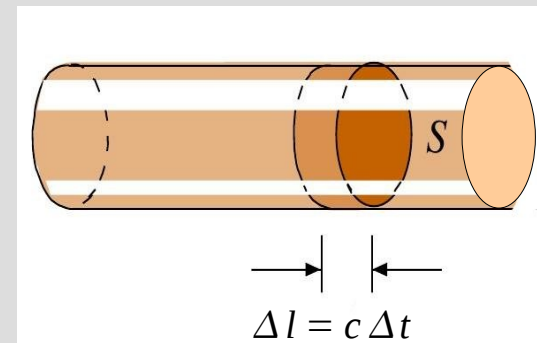
$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 s_m^2$$



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

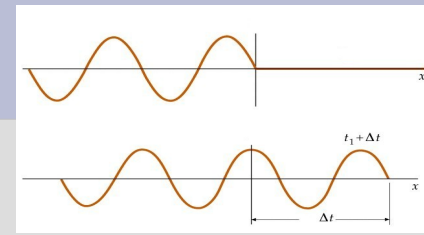
Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida



- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

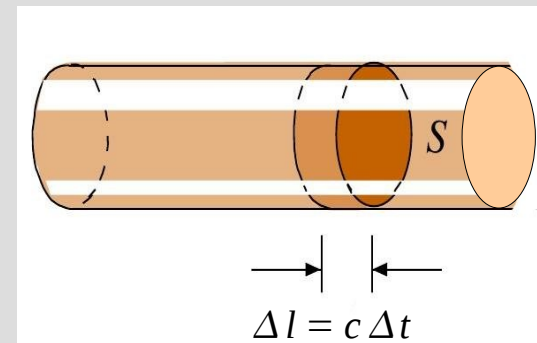
Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$

$$\Delta V = S c \Delta t$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 s_m^2$$



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

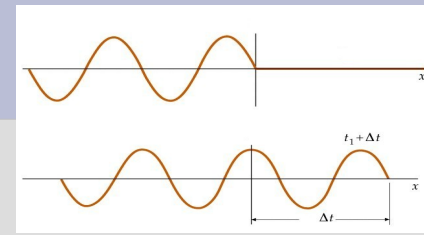
Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida



- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

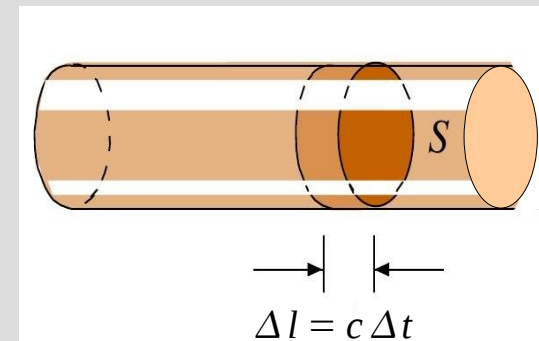
$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$



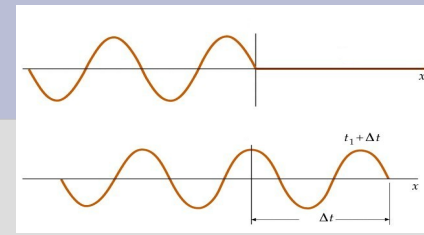
$$\Delta V = S c \Delta t$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 s_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho S c \Delta t \omega^2 s_m^2$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.



Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- *Recordad, para una cuerda:*

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida

- *Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:*

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

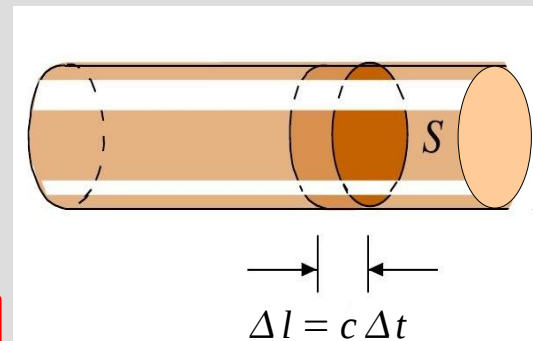
$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

Potencia transmitida

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$



$$\Delta E = \frac{1}{2} \Delta m v_m^2$$

$$\Delta V = S c \Delta t$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 s_m^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho S c \Delta t \omega^2 s_m^2$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras):

- Recordad, para una cuerda:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu \Delta l \omega^2 y_0^2$$

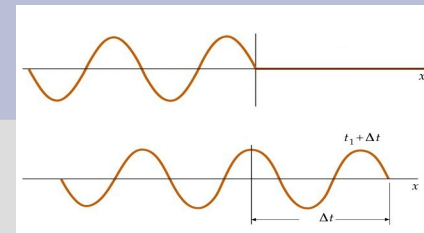
Energía de un trozo Δl de cuerda

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 y_0^2 c$$

Potencia transmitida



- Para ondas de sonido en un tubo o en una barra:

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$s = s_m \cos(kx - \omega t)$$

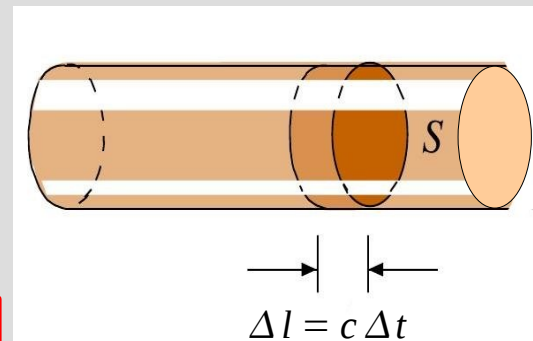
$$v = -\omega s_m \sin(kx - \omega t)$$

Densidad de energía

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

Potencia transmitida

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$



Intensidad de la onda

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la '*impedancia acústica*':

$$Z = \rho c$$

*Impedancia
acústica*

6.2 Potencia e intensidad de la onda.


Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la '*impedancia acústica*':

$$Z = \rho c$$

*Impedancia
acústica*


$$[Z] = \frac{kg}{m^2 s}$$

rayleigh (rayl)

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:


- Introducimos la '*impedancia acústica*':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:

$$Z = 417 \text{ rayl}$$


$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

rayleigh (rayl)

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)


En función de la presión:

- Introducimos la '*impedancia acústica*':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z=417 \text{ rayl}$


$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

rayleigh (rayl)

- Relacionamos s_m con p_m :

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)


En función de la presión:

- Introducimos la '*impedancia acústica*':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z = 417 \text{ rayl}$


$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

rayleigh (rayl)

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)


En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z = 417 \text{ rayl}$


$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

rayleigh (rayl)

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z=417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

rayleigh (rayl)

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z=417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z=417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2 \quad \longrightarrow \quad \langle P \rangle = \frac{1}{2} Z S \frac{p_m^2}{Z^2}$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z=417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$

$$\longrightarrow \langle P \rangle = \frac{1}{2} Z S \frac{p_m^2}{Z^2}$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z = 417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} Z S \frac{p_m^2}{Z^2}$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{\rho p_m^2}{Z^2}$$

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z = 417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$

$$\longrightarrow \langle P \rangle = \frac{1}{2} Z S \frac{p_m^2}{Z^2}$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$\longrightarrow \eta = \frac{1}{2} \frac{\rho p_m^2}{Z^2}$$

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

$$\longrightarrow \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{S} \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas en una dimensión (tubos y barras)

En función de la presión:

- Introducimos la 'impedancia acústica':

$$Z = \rho c$$

**Impedancia
acústica**

Para el aire
a 15°C y 1 atm:
 $Z = 417 \text{ rayl}$

$$[Z] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{rayleigh (rayl)}$$

- Relacionamos s_m con p_m :

$$p_m = \rho c \omega s_m$$

$$s_m \omega = v_m$$
$$Z = \rho c$$

$$v_m = \omega s_m = \frac{p_m}{Z}$$

- Sustituyendo en $\langle P \rangle$, I y η :

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S c \omega^2 s_m^2$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} Z S \frac{p_m^2}{Z^2}$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 s_m^2$$

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{\rho p_m^2}{Z^2}$$

**$\langle P \rangle$, I y η para la
onda de presión**

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 s_m^2 = \eta c$$

$$\frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{1}{S} \frac{1}{2} \frac{S p_m^2}{Z}$$

$$I = \frac{1}{2} \frac{p_m^2}{Z} = \eta c$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas circulares y esféricas



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

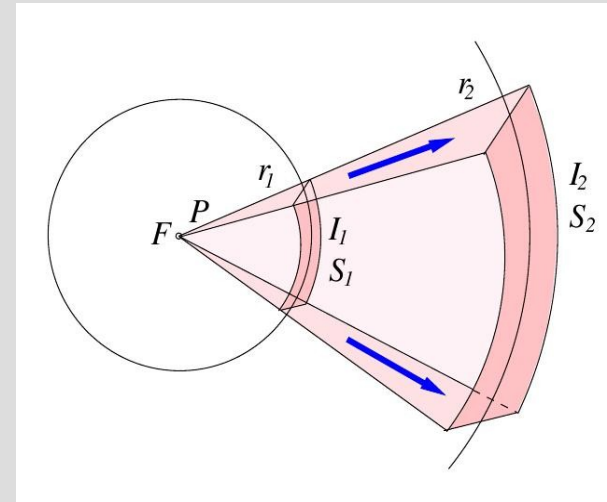
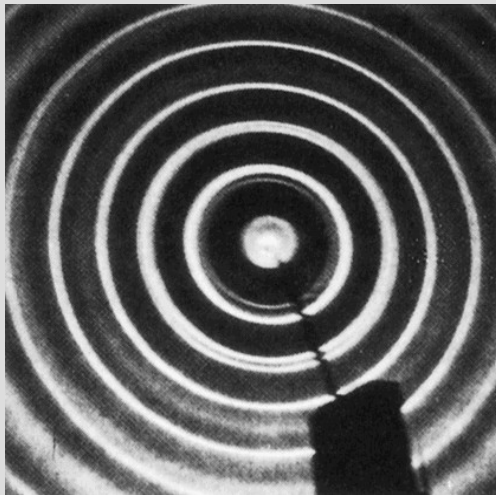
Ondas circulares y esféricas

Se propagan en el plano o en el espacio con frentes de onda circulares o esféricos respectivamente.

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas circulares y esféricas

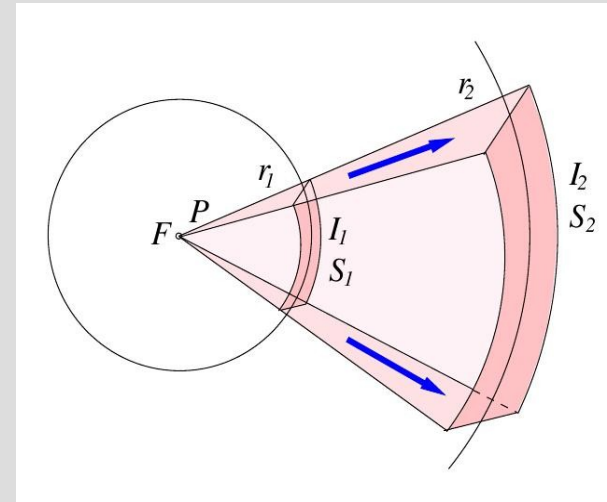
Se propagan en el plano o en el espacio con frentes de onda circulares o esféricos respectivamente.



6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas circulares y esféricas

Se propagan en el plano o en el espacio con frentes de onda circulares o esféricos respectivamente.



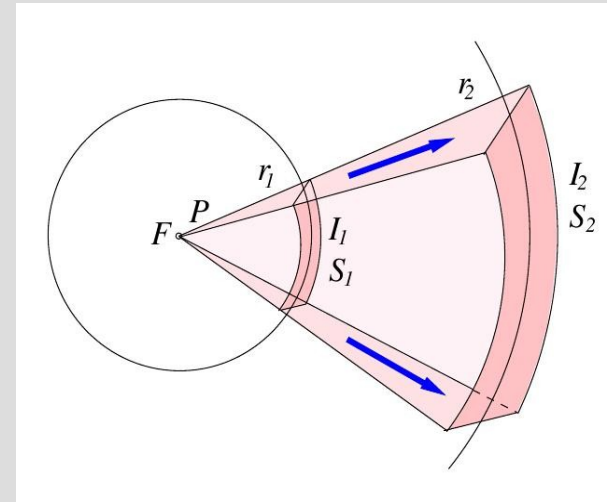
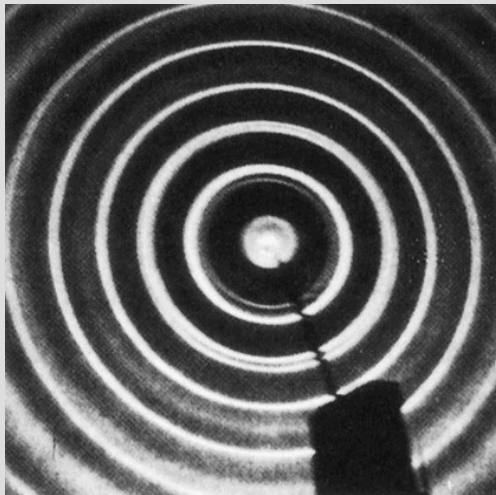
Atenuación por la distancia

La intensidad disminuye ya que va aumentando la superficie de propagación.

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas circulares y esféricas

Se propagan en el plano o en el espacio con frentes de onda circulares o esféricos respectivamente.



Atenuación por la distancia

La intensidad disminuye ya que va aumentando la superficie de propagación.

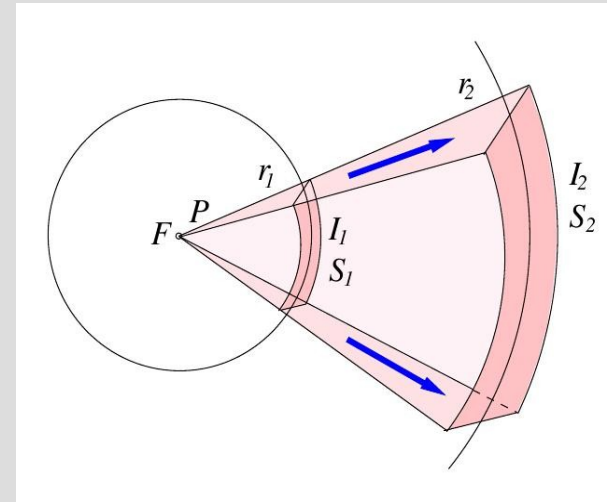
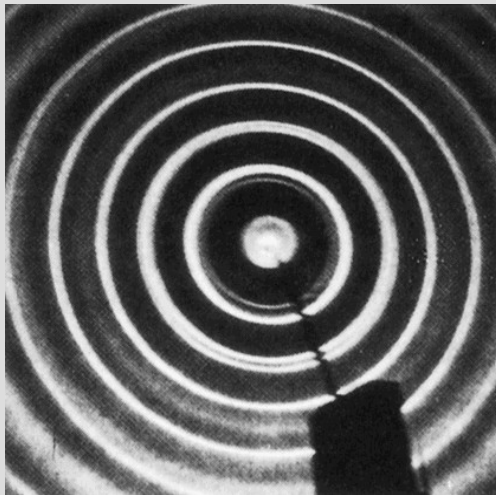
Ondas circulares

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{\langle P \rangle}{2\pi r}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ondas circulares y esféricas

Se propagan en el plano o en el espacio con frentes de onda circulares o esféricos respectivamente.



Atenuación por la distancia

La intensidad disminuye ya que va aumentando la superficie de propagación.

Ondas circulares

$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{\langle P \rangle}{2\pi r}$$

Ondas esféricas

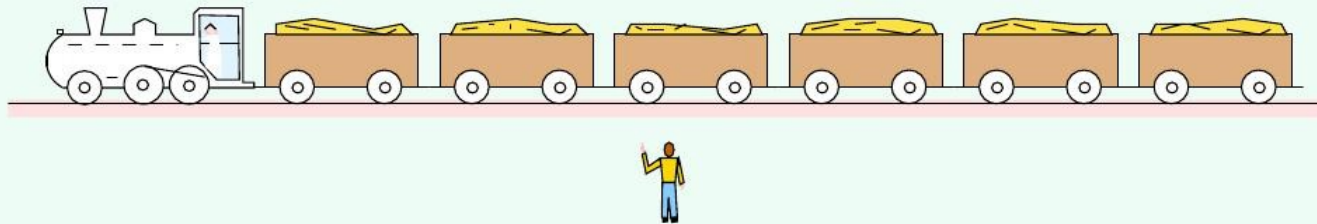
$$I = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{\langle P \rangle}{4\pi r^2}$$

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ejercicios:

Exercici 11.1 *Ones cilíndriques.*

Si l'origen d'una ona està en un punt es genera, com sabem, una ona esfèrica. Anàlogament, si l'origen de l'ona està repartit més o menys homogèniament al llarg d'una recta s'acaba propagant una **ona cilíndrica**. És el cas, per exemple, d'un tren molt llarg passant per la via.



Doncs bé, demostreu que en condicions ideals, la relació entre la distància al focus lineal i la intensitat no és la donada per (11.3) sinó aquesta altra

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (11.7)$$

Observeu que la intensitat disminueix amb la distància a la font més lentament que amb les fonts puntuals: com $1/r$ —i no com $1/r^2$ —. Per això el soroll de les autopistes o dels carrers llargs amb molt trànsit se sent de tant lluny!

6.2 Potencia e intensidad de la onda.

Ejercicio (prob 41.a): Demostrar que la velocidad del aire depende de la temperatura en grados centígrados de forma aproximada (en m/s):

$$v(T) = 331 + 0.606 T$$

Ejercicio (prob 41.b): Demostrar que una variación relativa pequeña en la temperatura absoluta del aire implica una variación relativa de la longitud de onda dada por:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{2} \frac{\Delta T}{T}$$

Ejercicio: Una onda longitudinal de frecuencia $f=100\text{Hz}$ se propaga por una barra homogénea de sección $S=12 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ y densidad $\rho=4000 \text{ kg/m}^3$. Si la amplitud de la onda es $A=8.0 \times 10^{-6} \text{ m}$, ¿cuál es la densidad de energía (en J/m^3) en la barra?

a) 6.06×10^{-5} b) 1.40 c) 0.0103 d) 0.0505 e) ninguna de las anteriores

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.



6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.



6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*
- *Por debajo de 16Hz hablamos de infrasonidos.*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*
- *Por debajo de 16Hz hablamos de infrasonidos.*
- *Por encima de 20 kHz hablamos de ultrasonidos.*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

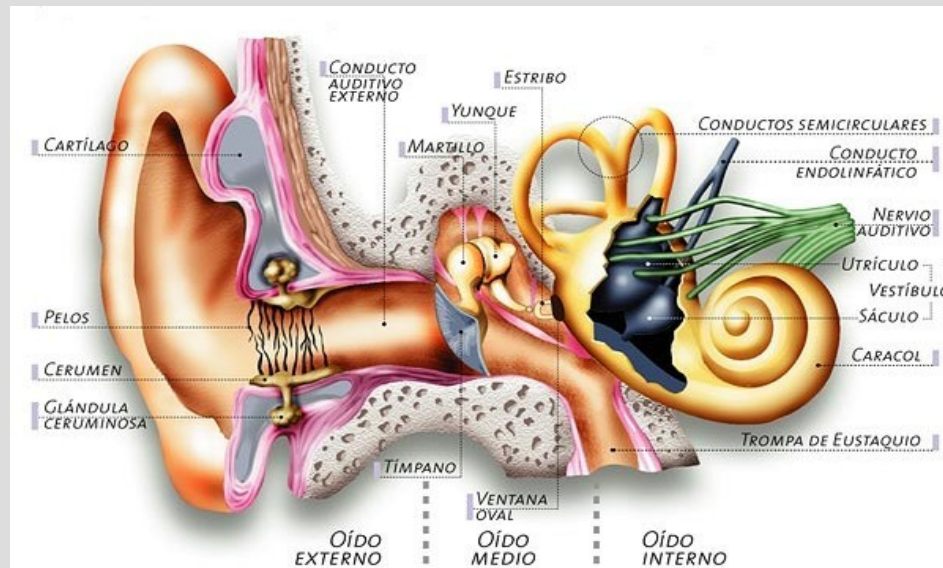
- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*
- *Por debajo de 16Hz hablamos de infrasonidos.*
- *Por encima de 20 kHz hablamos de ultrasonidos.*
- *Algunos animales son capaces de detectar frecuencias en el rango de los ultrasonidos o infrasonidos.*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*
- *Por debajo de 16Hz hablamos de infrasonidos.*
- *Por encima de 20 kHz hablamos de ultrasonidos.*
- *Algunos animales son capaces de detectar frecuencias en el rango de los ultrasonidos o infrasonidos.*

Fisiología del oído humano.

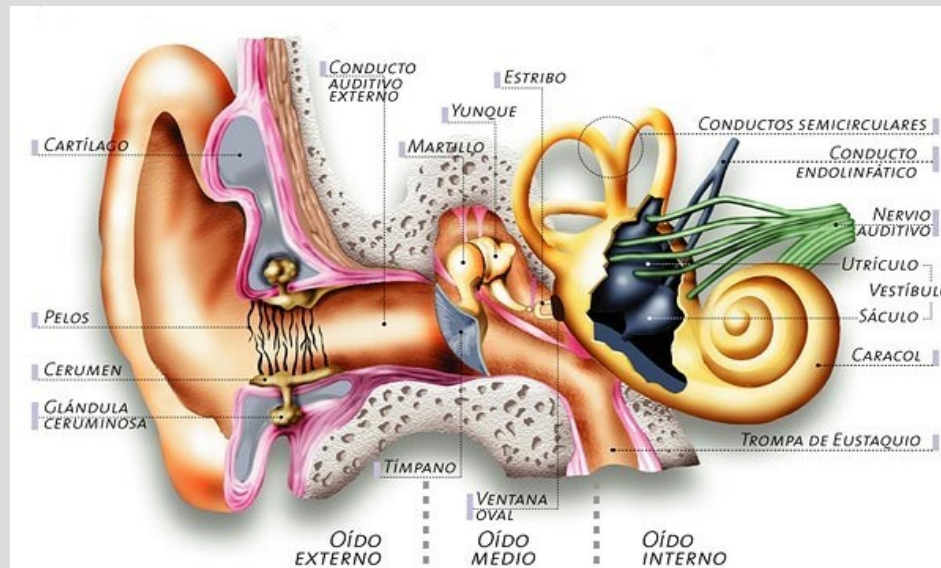


6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Intervalo de audición.

- *El oído humano es capaz de detectar frecuencias entre 20 Hz y 20kHz*
- *Por debajo de 16Hz hablamos de infrasonidos.*
- *Por encima de 20 kHz hablamos de ultrasonidos.*
- *Algunos animales son capaces de detectar frecuencias en el rango de los ultrasonidos o infrasonidos.*

Fisiología del oído humano.



6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- *La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad (si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- *La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad*
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- *La sensación sonora (y otras) se rigen por la 'Ley de Weber-Fechner'*

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- *La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad (si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)*
- *La sensación sonora (y otras) se rigen por la 'Ley de Weber-Fechner'*


La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- *La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad (si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)*
- *La sensación sonora (y otras) se rigen por la 'Ley de Weber-Fechner'*

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física



$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I}$$

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'



$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$


6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz


6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad


- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz


$$0 = C_1 \log(I_0) + C_2$$


6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad


- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz


$$0 = C_1 \log(I_0) + C_2 \Rightarrow C_2 = -C_1 \log(I_0)$$

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.


Nivel de intensidad


- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$


$$0 = C_1 \log(I_0) + C_2 \Rightarrow C_2 = -C_1 \log(I_0)$$

- Por convenio se toma $C_1 = 10$

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.


Nivel de intensidad


- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física


- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz


$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$


$$0 = C_1 \log(I_0) + C_2 \Rightarrow C_2 = -C_1 \log(I_0)$$

- Por convenio se toma $C_1 = 10$


$$\beta = C_1 [\log(I) - \log(I_0)]$$

6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

Nivel de intensidad

- La percepción del sonido por el hombre no es lineal con la intensidad
(si doblamos la intensidad de un sonido, no lo 'oímos' el doble de fuerte)
- La sensación sonora (y otras) se rigen por la '**Ley de Weber-Fechner**'

La variación absoluta de la sensación de intensidad es proporcional a la variación relativa de la intensidad física

- La constante C_2 se determina a partir de la '**intensidad umbral**'

- Es la intensidad a partir de la cual empezamos a oír el sonido
- Depende de la frecuencia
- Por convenio se toma
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ a 1000Hz

$$d\beta = C_1 \frac{dI}{I} \Rightarrow \beta = C_1 \log(I) + C_2$$

$$0 = C_1 \log(I_0) + C_2 \Rightarrow C_2 = -C_1 \log(I_0)$$

- Por convenio se toma $C_1 = 10$

$$\beta = C_1 [\log(I) - \log(I_0)]$$

$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Nivel de intensidad en decibelios

6.3 Percepció del sonido. Decibelios.

umbral de audición: $I_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$ --- $\beta = 0 \text{ dB}$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}]$$

límite superior: $I=1 \text{ W/m}^2$ --- $\beta = 120 \text{ dB}$

Nivells d'intensitat típics		
Situació	β (dB)	Comentari
So lllendar.	0	Imperceptible
Vent sobre les fulles	10	Quasi imperceptible
Converse en veu baixa	20	Molt fluixet
Carrer tranquil, biblioteca	30	Fluixet
Radio a casa, volum normal	40	
Oficina	50	Moderat
Converse normal	60	
Carrer amb trànsit, veu forta	70	
Secador del cabell	80	Fort
Música forta a casa	80	(Nociu després de 8 h)
A 10 m d'un camió pesant	95	
Claxon d'un cotxe	95	
El metro passant	100	(Nociu després de 2 h)
Concert de rock (a prop)	120	Llindar del dolor
Enlairament d'un avió (a 40 m)	125	Molt perillós
Enlairament d'un avió (a 6 m)	140	Intolerable

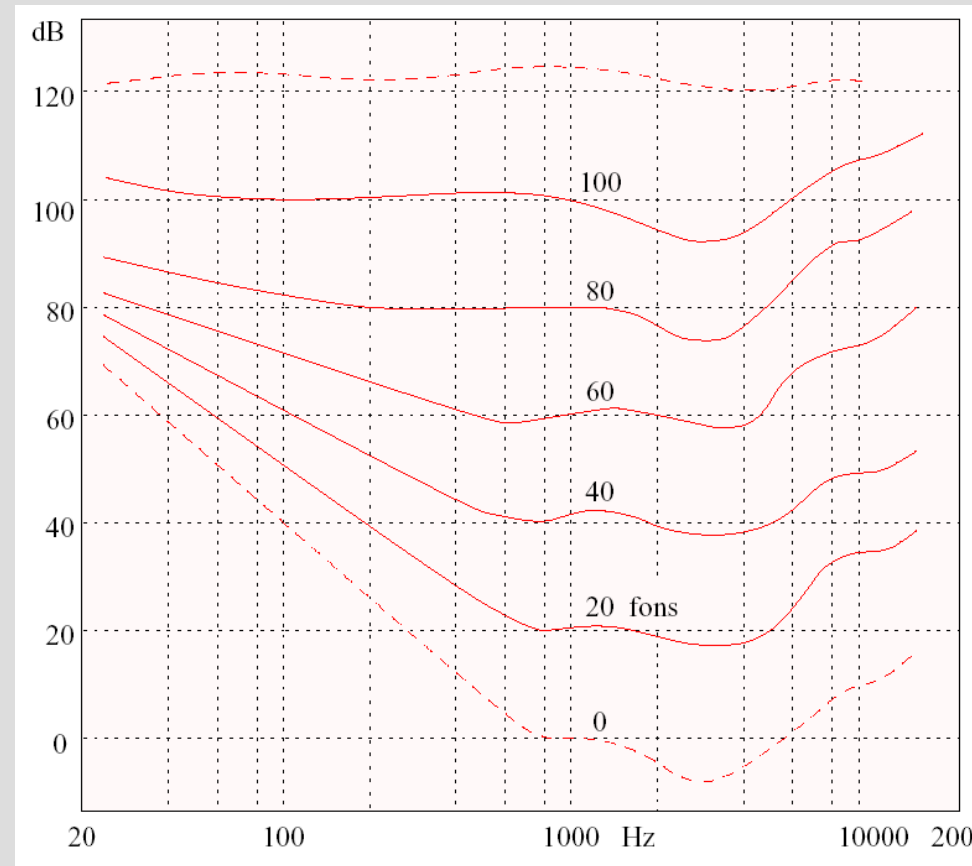
6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

umbral de audición: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ --- $\beta = 0 \text{ dB}$

límite superior: $I = 1 \text{ W/m}^2$ --- $\beta = 120 \text{ dB}$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}]$$

- La sensibilidad del oído humano depende de la frecuencia, sobre todo a intensidades bajas.
- Para tener presente esta no uniformidad a la frecuencia se introduce la sonoridad (S) como alternativa al nivel de intensidad.
- **La sonoridad (S)** de un sonido es independientemente de la frecuencia de este. La unidad es “numero de fuentes” (fon)



6.3 Percepción del sonido. Decibelios.

- 33.** Un altavoz genera una onda esférica con una potencia de 50W. Si para una persona el umbral de dolor es de 120dB, ¿a qué distancia mínima de puede acercarse del altavoz?
- 34.** Si la diferencia entre el nivel de intensidad de dos ondas sonoras es de 30 dB, ¿cuanto vale el coeficiente entre las dos intensidades?
- 35.** La insonorización de una sala de cinema funciona correctamente si el nivel de intensidad de la onda sonora no supera 90dB cuando incide sobre las paredes. ¿Cuál es la máxima intensidad que puede tener la onda incidente sobre las paredes para no superar este límite?
- 36.** Si tenemos un altavoz de 2W a 10m, ¿a qué distancia tenemos que situar un altavoz de 8W para que llegue la misma intensidad?

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (*misma pendiente*)

$$\left(\frac{dy_t}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$\omega = kc$$

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

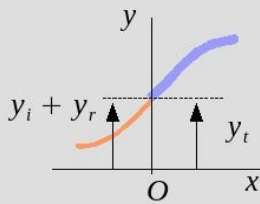
$$y_{0i} = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2c_2}{c_1 + c_2} y_{0i} = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

$$y_{0t} = y_{0i} + y_{0r}$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (misma pendiente)

$$\left(\frac{dy_t}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$k_2 y_{0t} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

$$k_2 y_{0i} + k_2 y_{0r} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

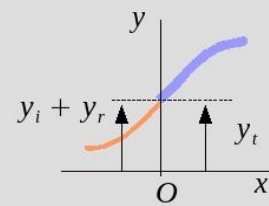
$$y_{0i} = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2 k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2 c_2}{c_1 + c_2} y_{0i} = \frac{2 \sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



De forma similar:

- Exigiendo:

$$s_t = s_i + s_r$$

$$p_t = p_i + p_r$$

- Y usando que:

$$p = -B \frac{\partial s}{\partial x} \quad c^2 = B/\rho$$

$$k = \omega/c$$

$$I = p_m^2 / 2Z \quad Z = \rho c$$

- Se llega a:

Factor de reflexión

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Factor de transmisión

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

$$y_{0t} = y_{0i} + y_{0r}$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (misma pendiente)

$$\left(\frac{dy_t}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$k_2 y_{0t} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

$$\omega = kc$$

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$k_2 y_{0i} + k_2 y_{0r} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

$$y_{0i} = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

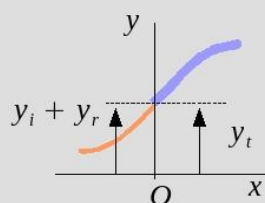
Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2c_2}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

$$y_{0i} = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



De forma similar:

- Exigiendo:

$$s_t = s_i + s_r$$

$$p_t = p_i + p_r$$

- Y usando que:

$$p = -B \frac{\partial s}{\partial x} \quad c^2 = B/\rho$$

$$k = \omega/c$$

$$I = p_m^2/2Z$$

$$Z = \rho c$$

- Se llega a:

Factor de reflexión

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Factor de transmisión

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

- Si $Z_2 \sim Z_1$ la mayor parte de la onda se transmite

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

$$y_{0t} = y_{0i} + y_{0r}$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (misma pendiente)

$$\left(\frac{dy_t}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$-k_2 y_{0t} \sin(-\omega t) = -k_1 y_{0i} \sin(-\omega t) - k_1 y_{0r} \sin(\omega t)$$

$$k_2 y_{0t} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

$$k_2 y_{0i} + k_2 y_{0r} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

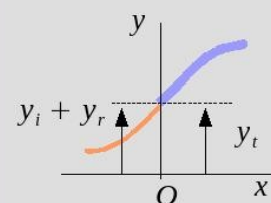
$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i} = \frac{\sqrt{\mu_1} - \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2c_2}{c_1 + c_2} y_{0i} = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1} + \sqrt{\mu_2}} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



De forma similar:

- Exigiendo:

$$s_t = s_i + s_r$$

$$p_t = p_i + p_r$$

- Y usando que:

$$p = -B \frac{\partial s}{\partial x} \quad c^2 = B/\rho$$

$$k = \omega/c$$

$$I = p_m^2 / 2Z \quad Z = \rho c$$

- Se llega a:

Factor de reflexión

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Factor de transmisión

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

- Si $Z_2 \sim Z_1$ la mayor parte de la onda se transmite
- Si $Z_2 \gg Z_1$ (o al revés) casi toda la onda se refleja

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

$$y_{0t} = y_{0i} + y_{0r}$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (misma pendiente)

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$-k_2 y_{0t} \sin(-\omega t) = -k_1 y_{0i} \sin(-\omega t) - k_1 y_{0r} \sin(\omega t)$$

$$k_2 y_{0t} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

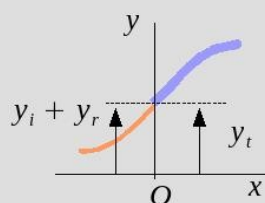
$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2c_2}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



De forma similar:

- Exigiendo:

$$s_t = s_i + s_r$$

$$p_t = p_i + p_r$$

- Y usando que:

$$p = -B \frac{\partial s}{\partial x} \quad c^2 = B/\rho$$

$$k = \omega/c$$

$$I = p_m^2 / 2Z \quad Z = \rho c$$

- Se llega a:

Factor de reflexión

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Factor de transmisión

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

- Si $Z_2 \sim Z_1$ la mayor parte de la onda se transmite
- Si $Z_2 \gg Z_1$ (o al revés) casi toda la onda se refleja

(aire y agua: mundos acústicos diferentes)

$$Z_{\text{aire}} (25^\circ\text{C}) = 409 \text{ rayl}$$

$$Z_{\text{agua}} (25^\circ\text{C}) = 1.5 \cdot 10^6 \text{ rayl}$$

6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras.

5.8 Reflexión y transmisión de ondas en cuerdas.

Obtención de la onda transmitida y reflejada

- Analizamos la interfase entre dos medios: μ_1, c_1, k_1 y μ_2, c_2, k_2

$$y_i = y_{0i} \cos(k_1 x - \omega t)$$

$$y_r = y_{0r} \cos(k_1 x + \omega t)$$

$$y_t = y_{0t} \cos(k_2 x - \omega t)$$

ω es la misma en 1 y 2

$$\cos(\omega t) = \cos(-\omega t)$$

- En $x=0$ se debe cumplir:

$$y_t = y_i + y_r \Rightarrow y_{0t} \cos(-\omega t) = y_{0i} \cos(-\omega t) + y_{0r} \cos(\omega t)$$

$$y_{0t} = y_{0i} + y_{0r}$$

- La tensión es la misma en 1 y 2 (misma pendiente)

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{dy_i}{dx}\right)_{x=0} + \left(\frac{dy_r}{dx}\right)_{x=0}$$

$$-k_2 y_{0t} \sin(-\omega t) = -k_1 y_{0i} \sin(-\omega t) - k_1 y_{0r} \sin(\omega t)$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$k_2 y_{0t} = k_1 y_{0i} - k_1 y_{0r}$$

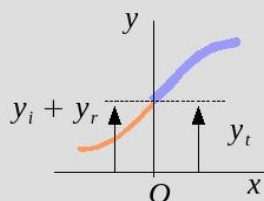
$$y_{0r} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{c_2 - c_1}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

Coefficiente de reflexión

Ejercicio: demostrar,

$$y_{0t} = \frac{2 k_1}{k_1 + k_2} y_{0i} = \frac{2 c_2}{c_1 + c_2} y_{0i}$$

Coefficiente de transmisión



De forma similar:

- Exigiendo:

$$s_t = s_i + s_r$$

$$p_t = p_i + p_r$$

- Y usando que:

$$p = -B \frac{\partial s}{\partial x} \quad c^2 = B/\rho$$

$$k = \omega/c$$

$$I = p_m^2 / 2Z \quad Z = \rho c$$

- Se llega a:

Factor de reflexión

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Factor de transmisión

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

- Si $Z_2 \sim Z_1$ la mayor parte de la onda se transmite
- Si $Z_2 \gg Z_1$ (o al revés) casi toda la onda se refleja
(aire y agua: mundos acústicos diferentes)
- Si $Z_2 > Z_1$ la onda reflejada estará en oposición

$$Z_{\text{aire}} (25^\circ\text{C}) = 409 \text{ rayl}$$

$$Z_{\text{agua}} (25^\circ\text{C}) = 1.5 \cdot 10^6 \text{ rayl}$$

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y frecuencia:

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y frecuencia:

Misma teoría que
ya vimos para
ondas en una cuerda

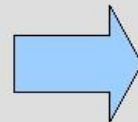
6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y frecuencia:

5.9 Superposición de ondas en una cuerda.

Supondremos dos ondas en la misma dirección:

- Misma dirección
- Misma amplitud
- Igual frecuencia
- Diferente fase inicial



$$y_1 = y_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$y_2 = y_0 \cos(kx - \omega t + \delta)$$

La interferencia de ambas ondas será:

$$y = y_1 + y_2 = y_0 \cos(kx - \omega t) + y_0 \cos(kx - \omega t + \delta)$$

$$y = y_0 [\cos(\overset{A}{kx - \omega t}) + \cos(\overset{B}{kx - \omega t + \delta})]$$

$$y = 2 y_0 \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \cos\left(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}\right)$$

El mov. resultante es una onda armónica

La amplitud depende de δ

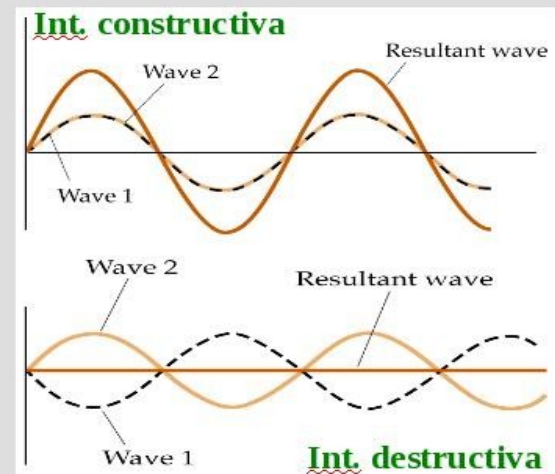
$$\delta = 0 \rightarrow A = 2 y_0$$

$$\delta = \pi \rightarrow A = 0$$



Dpt. de Física i Eng. Nuclear
Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

$$\cos A + \cos B = 2 \cos\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$$



Osc. Ondas y Termodinámica



Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

5.9 Superposición de ondas en una cuerda.

Superposición de ondas en **direcciones opuestas**:
Cuerda sujeta por los dos extremos.

$$y = -2y_0 \sin(kx) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Tendremos un nodo en $x=0$ y $x=L$

$$x=0 \rightarrow \sin(k \cdot 0) = 0$$

Se cumple siempre

$$x=L \rightarrow \sin(kL) = 0$$

$$kL = n\pi$$

Se cumple si:

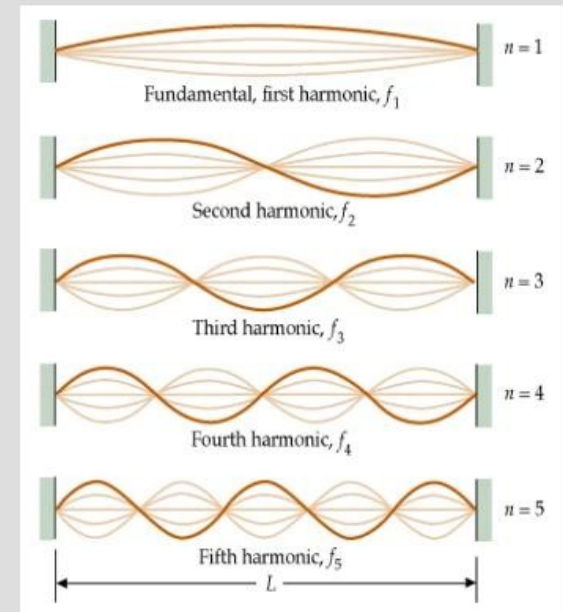
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$L = n \frac{\pi}{k} = n \frac{\lambda}{2}$$

- Para diferentes valores de n obtenemos la

Serie armónica

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



Ondas estacionarias

*cuerda sujeta por
los dos extremos*

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

5.9 Superposición de ondas en un tubo cerrado (o abierto) por los dos extremos.

Superposición de ondas en un tubo cerrado (o abierto) por los dos extremos:
Cuerda sujeta por los dos extremos.

$$y = -2y_0 \sin(kx) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Tendremos un nodo en $x=0$ y $x=L$

$$x=0 \rightarrow \sin(k \cdot 0) = 0$$

Se cumple siempre

$$x=L \rightarrow \sin(kL) = 0$$

$$kL = n\pi$$

Se cumple si:

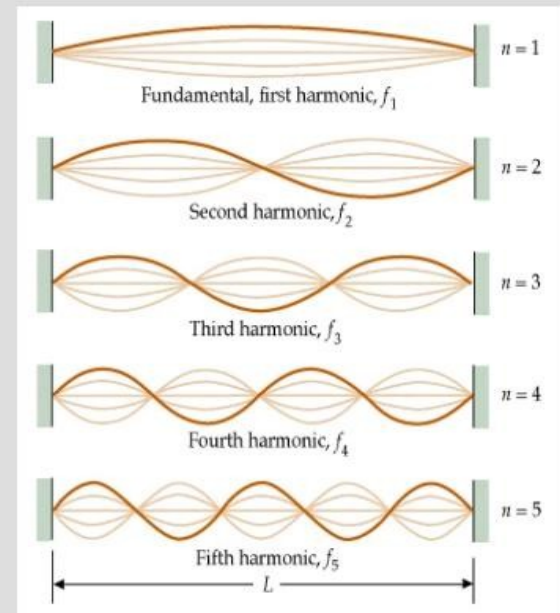
$$L = n \frac{\pi}{k} = n \frac{\lambda}{2}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- Para diferentes valores de n obtenemos la

Serie armónica

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



Ondas estacionarias

cuerda sujeta por los dos extremos



Dpt. de Física i Eng. Nuclear
Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica



Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

5.9 Superposición de ondas en una cuerda.

Superposición de ondas en **direcciones opuestas**:
Cuerda sujeta por un extremo.

$$y = -2y_0 \sin(kx) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Tendremos un nodo en $x=0$
y un vientre en $x=L$

$$x=0 \rightarrow \sin(k0) = 0 \quad \leftarrow \text{Se cumple siempre}$$

$$x=L \rightarrow \sin(kL) = 1 \quad \rightarrow \quad kL = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

Se cumple si:

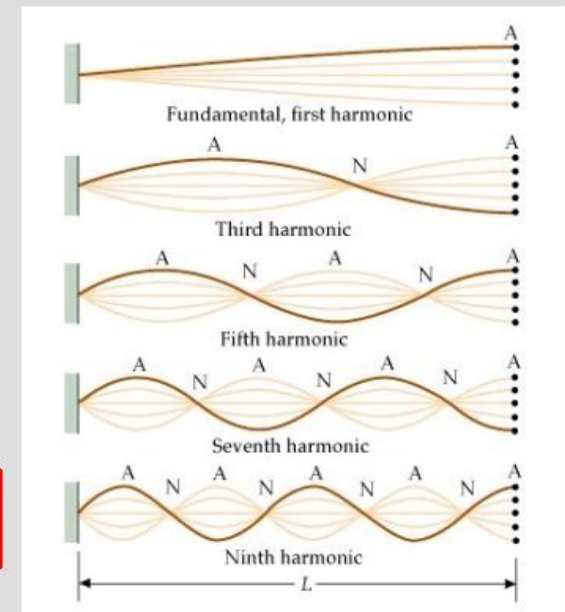
$$L = (2n+1)\frac{\pi}{2k} = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- Para diferentes valores de n obtenemos la

Serie armónica

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



Ondas estacionarias

*cuerda sujeta
por un extremo*



Dpt. de Física i Eng. Nuclear
Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica



Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas: misma frecuencia, direcciones opuestas:

5.9 Superposición de ondas en un tubo abierto por un extremo.

Tubo abierto por un extremo

Superposición de ondas en direcciones opuestas:
Cuerda sujeta por un extremo.

$$y = -2y_0 \sin(kx) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Tendremos un nodo en $x=0$
y un vientre en $x=L$

$$x=0 \rightarrow \sin(k0) = 0$$

Se cumple siempre

$$x=L \rightarrow \sin(kL) = 1 \rightarrow kL = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

Se cumple si:

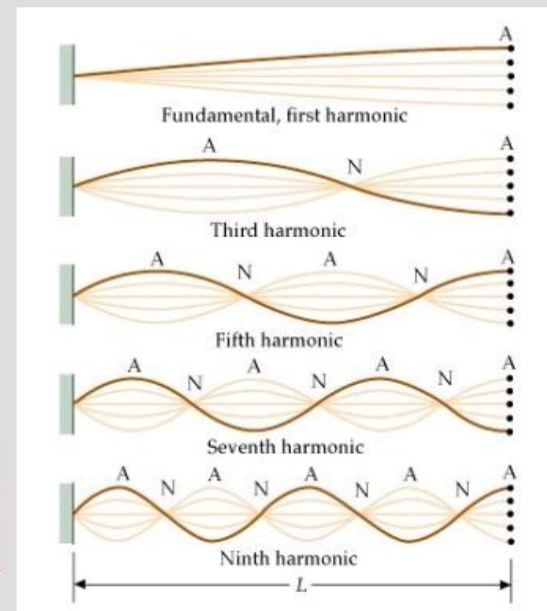
$$L = (2n+1)\frac{\pi}{2k} = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- Para diferentes valores de n obtenemos la

Serie armónica

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



Ondas estacionarias

*cuerda sujeta
por un extremo*

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:


6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:

- *Lo interesante en este caso es ver que pasa cuando las dos ondas se superponen en un mismo punto*

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:

- *Lo interesante en este caso es ver que pasa cuando las dos ondas se superponen en un mismo punto*
-  • *Por ejemplo las dos ondas de sonido llegan a nuestro oído.*

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:

- *Lo interesante en este caso es ver que pasa cuando las dos ondas se superponen en un mismo punto*
 - *Por ejemplo las dos ondas de sonido llegan a nuestro oído.*
 - *El punto (nuestro tímpano) estará animado por dos MAS de frecuencias diferentes.*

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:

- *Lo interesante en este caso es ver que pasa cuando las dos ondas se superponen en un mismo punto*
 - *Por ejemplo las dos ondas de sonido llegan a nuestro oído.*
 - *El punto (nuestro tímpano) estará animado por dos MAS de frecuencias diferentes.*

Teoría ya vista

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ondas en la misma dirección y diferente frecuencia:

4.3 Sup. MAS igual dirección, diferente frecuencia

Superpondremos dos MAS dados por:

$$\begin{aligned}x_1 &= A_1 \cos(\omega_1 t) \\x_2 &= A_2 \cos(\omega_2 t)\end{aligned}$$

Caso particular, si $A_1 = A_2$

$$x = x_1 + x_2 = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_1 \cos(\omega_2 t)$$
$$\cos(a) + \cos(b) = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

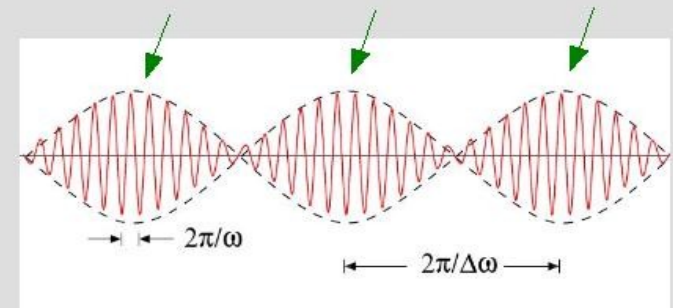
$$x = A_1 (\cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t))$$

$$x = 2 A_1 \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right)$$

Amplitud
modulada

Movimiento
oscilatorio

Pulsaciones (si $\omega_1 \approx \omega_2$)



Es un movimiento 'oscilatorio' de frecuencia $\frac{|\omega_1 + \omega_2|}{2}$
con una 'amplitud' modulada y pulsaciones de frecuencia $\omega_p = |\omega_1 - \omega_2|$



Dpt. de Física i Eng. Nuclear
Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

Osc. Ondas y Termodinámica



Secció de Física Aplicada del Vallès (ETSEIAT)

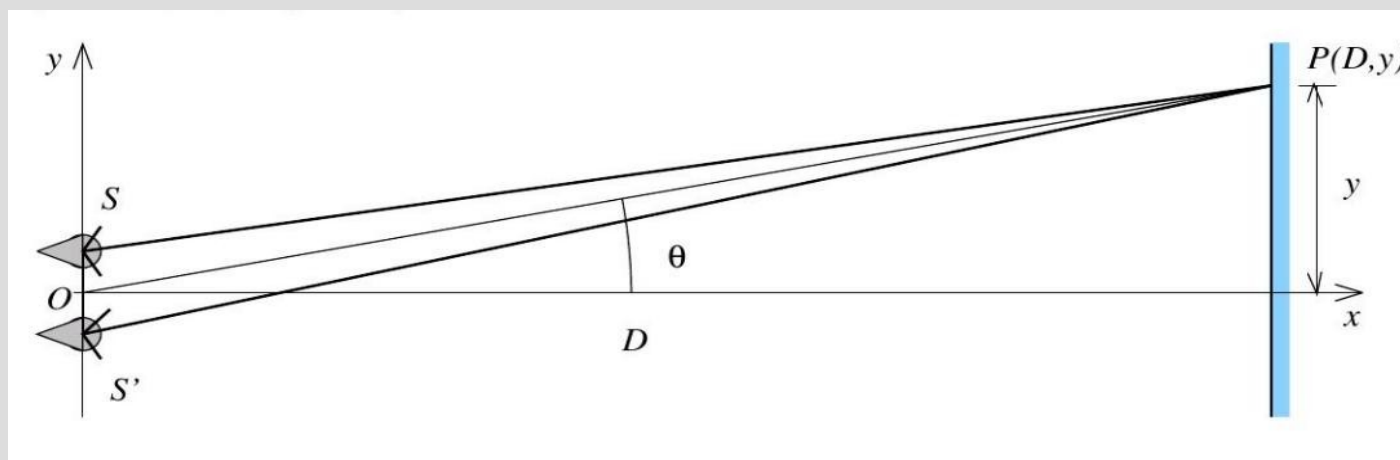
Osc. Ondas y Termodinámica

6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ejemplo (prob. 49): Se emiten en fase dos sonidos de frecuencia f mediante dos altavoces separados una distancia d como muestra la figura. Un oyente situado a una distancia D grande se mueve a lo largo de una recta paralela al eje y . Demostrar que el observador escuchará máximos de intensidad sonora a las distancias:

$$y_{\max} = n \frac{Dc}{df} \quad (n=0,1,2,\dots)$$

Si $d=2\text{m}$ y $D=20\text{m}$, determinar la frecuencia para la que la distancia entre dos máximos de intensidad consecutivos es de 3m .



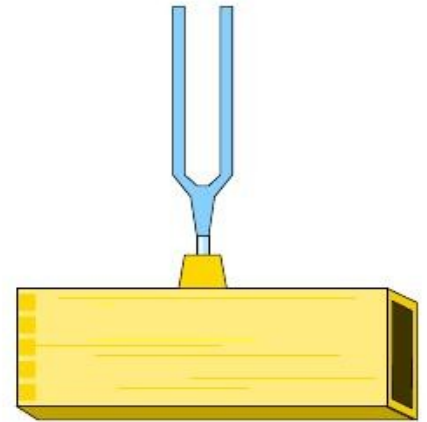
$$f = 1133 \text{ Hz}$$

6.5 Superposición de ondas sonoras.

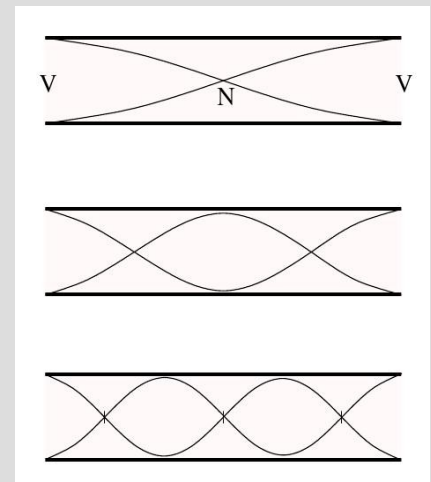
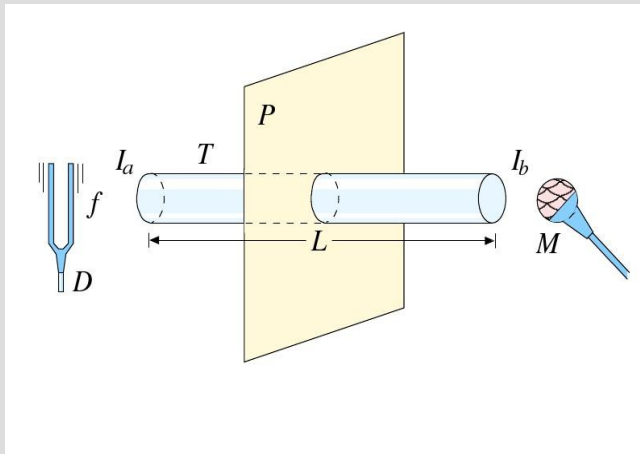
Ejemplo:

Exemple 12.2 *Cavitat ressonant: la caixa del diapasó.*

Es vol construir una caixa de fusta tancada per un dels extrems per utilitzar-la com a caixa de ressonància per a un diapasó de 440 Hz de freqüència. Quina longitud interior mínima ha de tenir?



Ejemplo: Podemos construir un 'filtro acústico' mediante un tubo abierto por los dos extremos. Demostrar que por el interior de este tubo se favorece el paso de las frecuencias que cumplen $f = n \cdot c / 2L$



6.5 Superposición de ondas sonoras.

Ejemplo: Un tubo de instrumento musical, con un extremo abierto y otro cerrado, tiene dos resonancias o armónicos consecutivos para las frecuencias de 2200 Hz y 3080 Hz. Determinar cuanto vale la longitud del tubo, sabiendo que la velocidad del sonido dentro del tubo es de 340 m/s.

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.6 Efecto Doppler.

- *Ocurre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*

6.6 Efecto Doppler.

- *Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*
- *Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta*

6.6 Efecto Doppler.

- *Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*
- *Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta*
- *Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye*

Ejemplo:
ambulancia

6.6 Efecto Doppler.

- *Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*
- *Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta*
- *Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye*

Ejemplo:
ambulancia

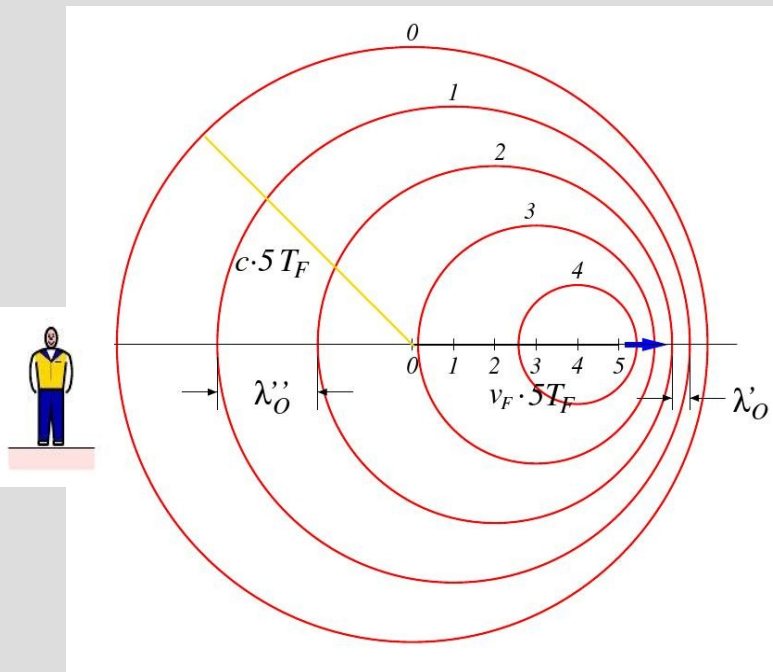
Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

6.6 Efecto Doppler.

- *Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*
- *Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta*
- *Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye*

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)



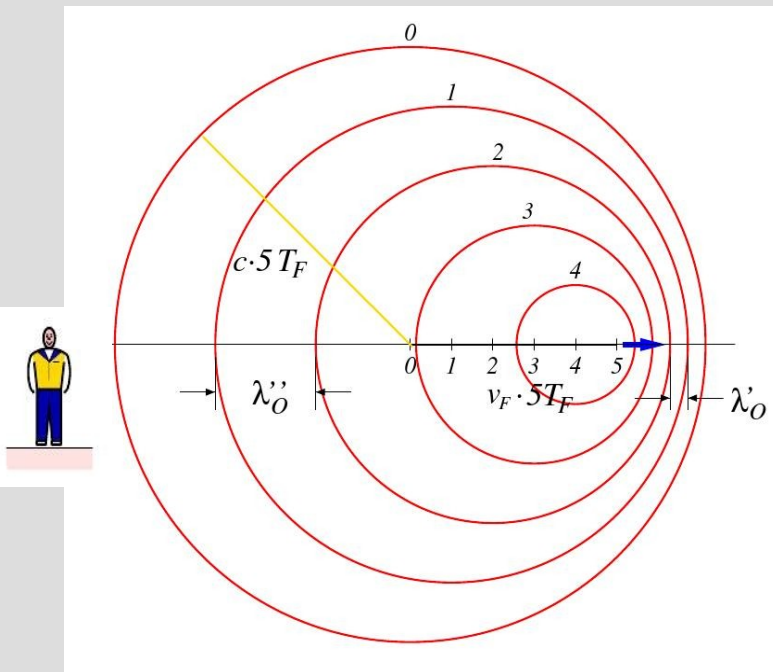
6.6 Efecto Doppler.

- *Ocurre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo*
- *Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta*
- *Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye*

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan



6.6 Efecto Doppler.

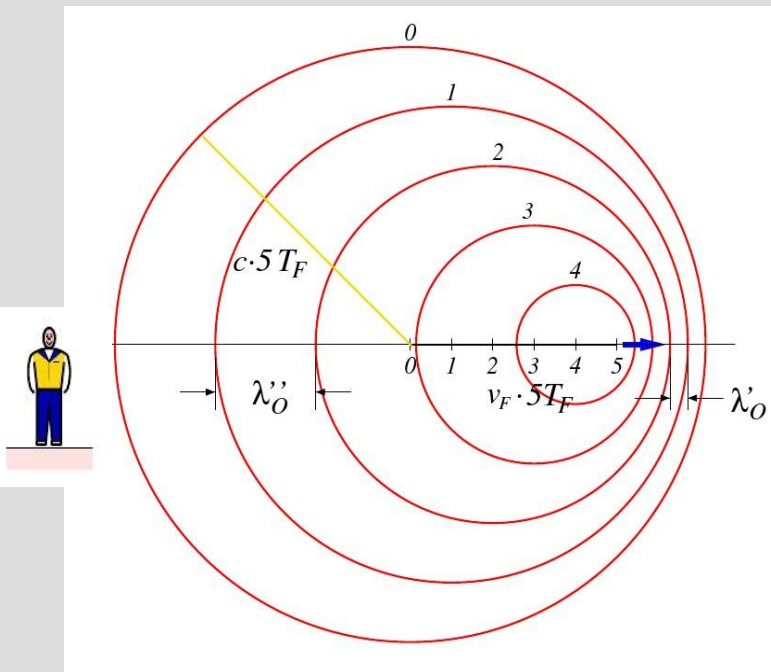
- Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda



6.6 Efecto Doppler.

- Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

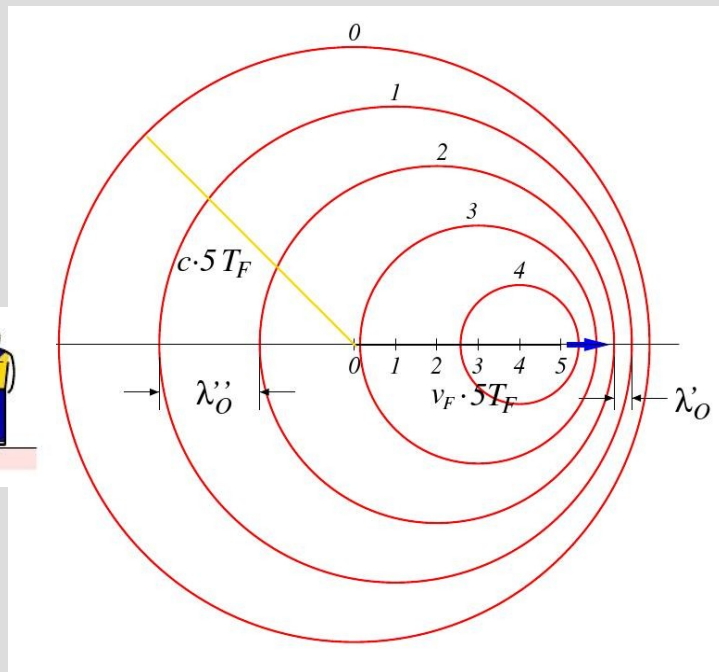
Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c = \text{cte}$



6.6 Efecto Doppler.

- Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

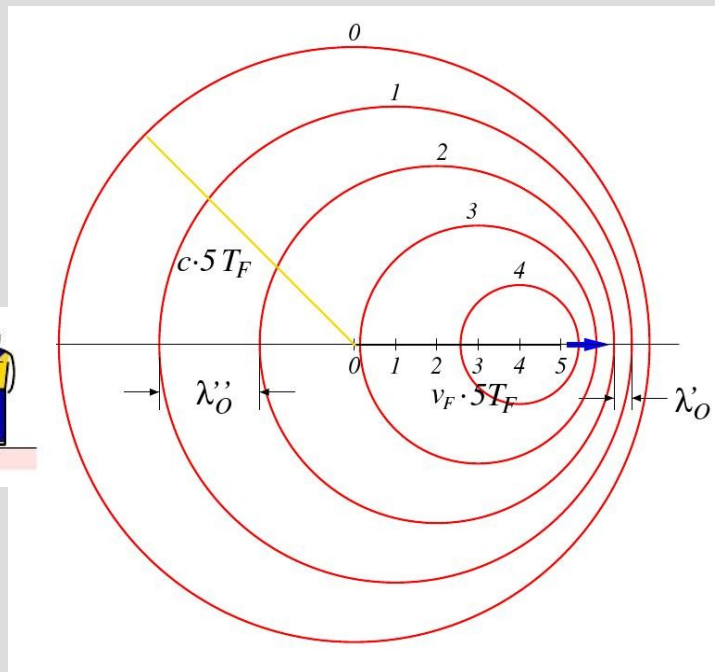
- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

$$\lambda = \frac{c}{f}$$
$$c = \text{cte}$$

- Detrás de la fuente:

Mayor longitud de onda
Menor frecuencia



6.6 Efecto Doppler.

- Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

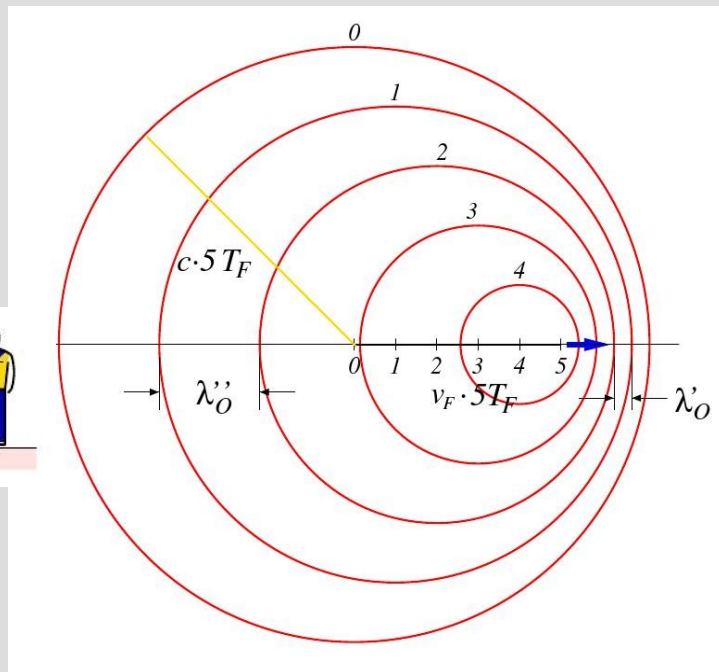
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c = \text{cte}$

- Detrás de la fuente:

Mayor longitud de onda
Menor frecuencia

- λ En función de v_F :



6.6 Efecto Doppler.

- Ocurre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

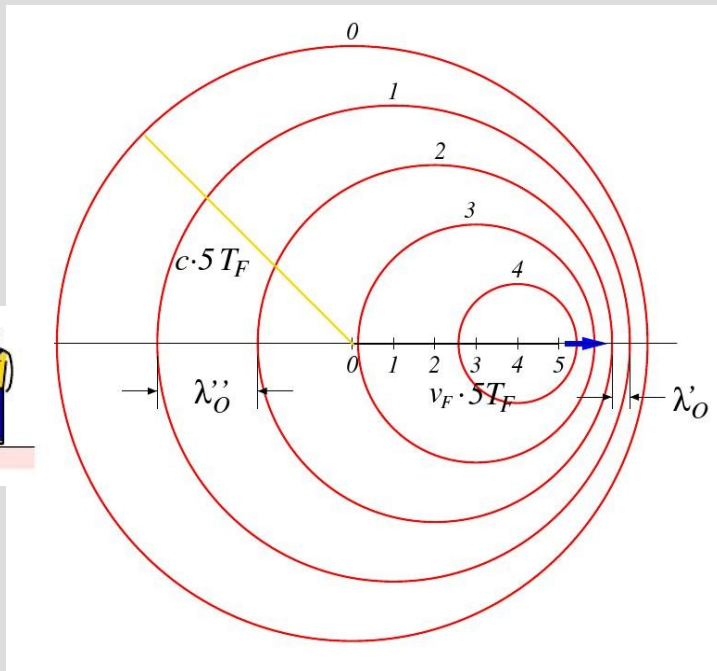
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c = \text{cte}$

- Detrás de la fuente:

Mayor longitud de onda
Menor frecuencia

- λ En función de v_F :
$$\lambda = \frac{\text{espacio}}{n^\circ \text{ ondas}} = \frac{c \Delta t + v_F \Delta t}{f_F \Delta t}$$



6.6 Efecto Doppler.

- Ocurre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c = \text{cte}$

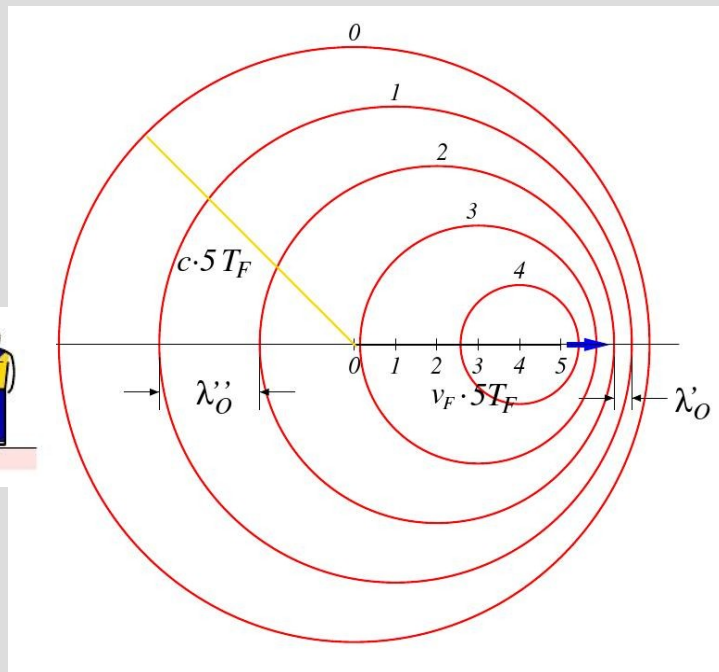
- Detrás de la fuente:

Mayor longitud de onda
Menor frecuencia

- λ En función de v_F : $\lambda = \frac{\text{espacio}}{\text{nº ondas}} = \frac{c \Delta t + v_F \Delta t}{f_F \Delta t}$

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_F}$$

Cambio en λ
debido a v_F



6.6 Efecto Doppler.

- Ocorre cuando la fuente y el observador están en movimiento relativo
- Si la fuente se acerca al observador la frecuencia del sonido aumenta
- Si la fuente se aleja del observador la frecuencia del sonido disminuye

Ejemplo:
ambulancia

Efecto de v_F : (cambio de la longitud de onda)

- Delante de la fuente las ondas se apilan

Menor longitud de onda
Mayor frecuencia

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c = \text{cte}$

- Detrás de la fuente:

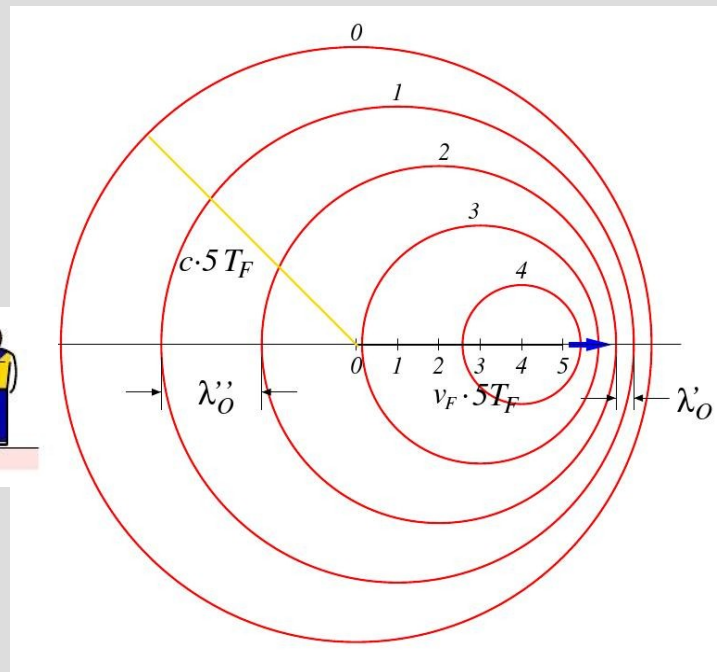
Mayor longitud de onda
Menor frecuencia

- λ En función de v_F : $\lambda = \frac{\text{espacio}}{\text{nº ondas}} = \frac{c \Delta t + v_F \Delta t}{f_F \Delta t}$

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_F}$$

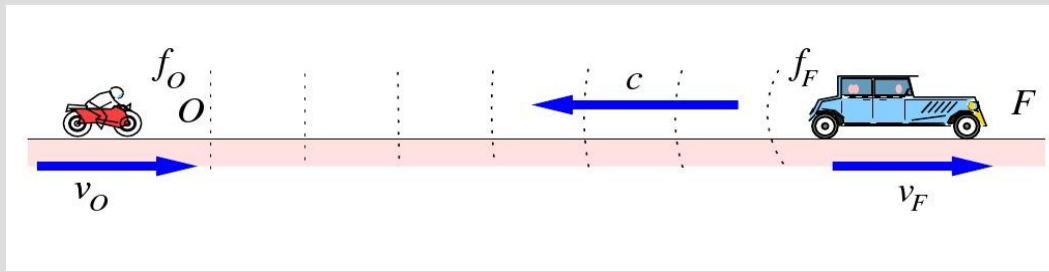
(v_F es positiva cuando se aleja del observador)

Cambio en λ
debido a v_F



6.6 Efecto Doppler.

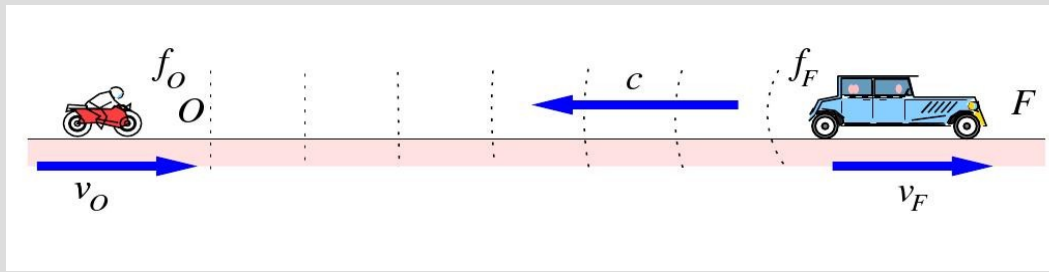
Efecto de v_o



6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

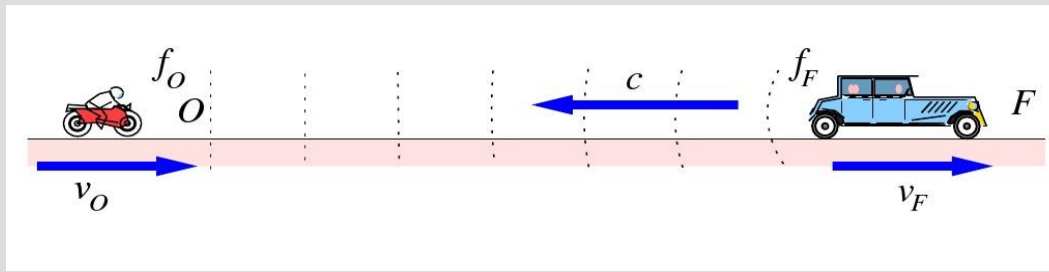
- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva

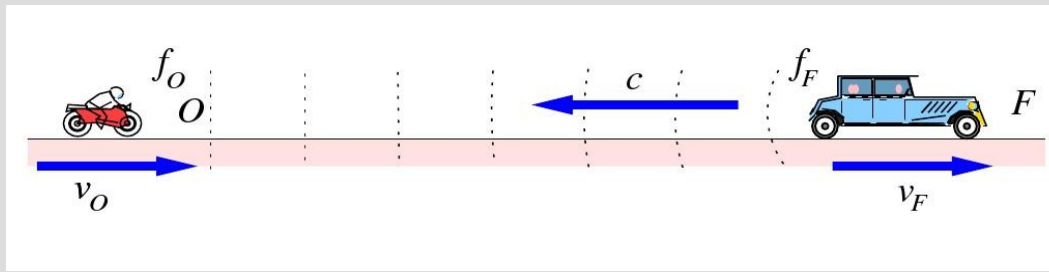


- O recibe las ondas:

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



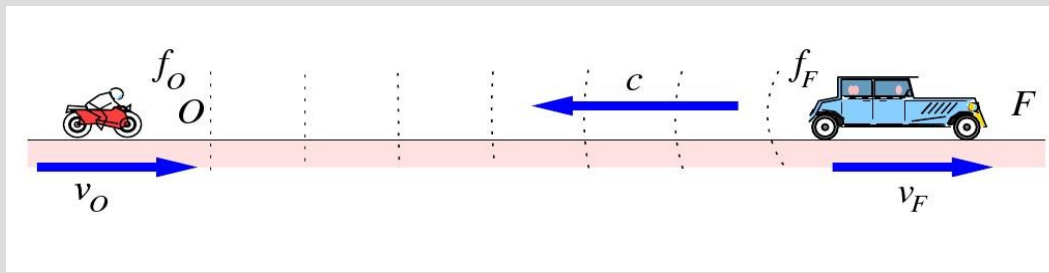
- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

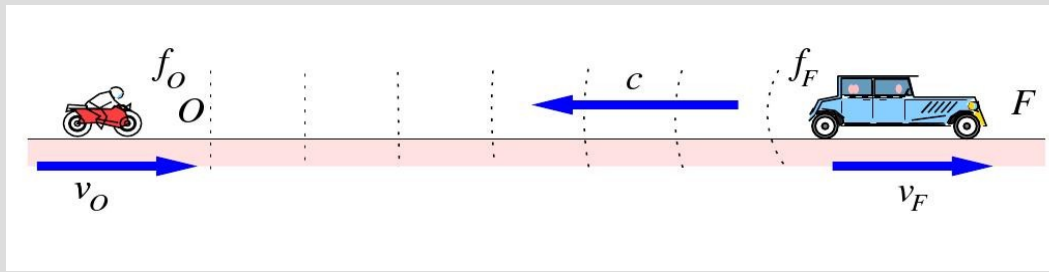
$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

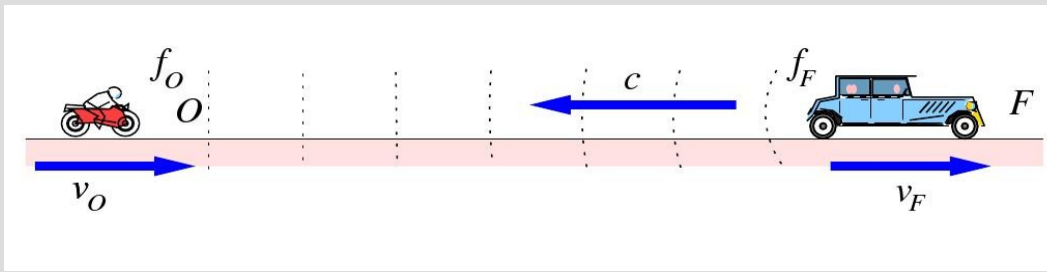
$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Frecuencia con la que
O recibe las ondas

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Fórmula general del efecto Doppler:

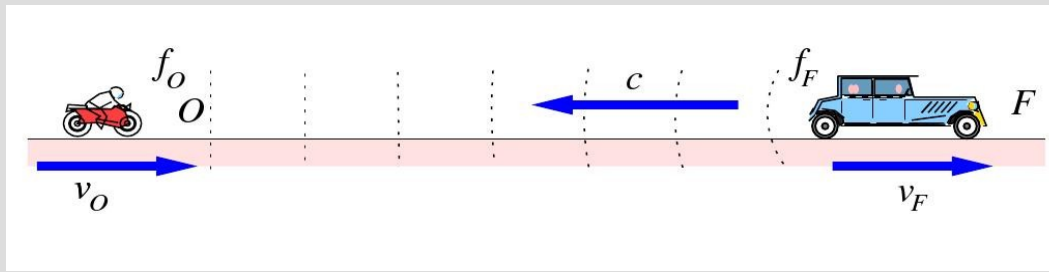
$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Frecuencia con la que
O recibe las ondas

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{\text{nº ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Fórmula general del efecto Doppler:

- Tenemos:

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_E}$$

$$\lambda = \frac{c + v_o}{f_o}$$

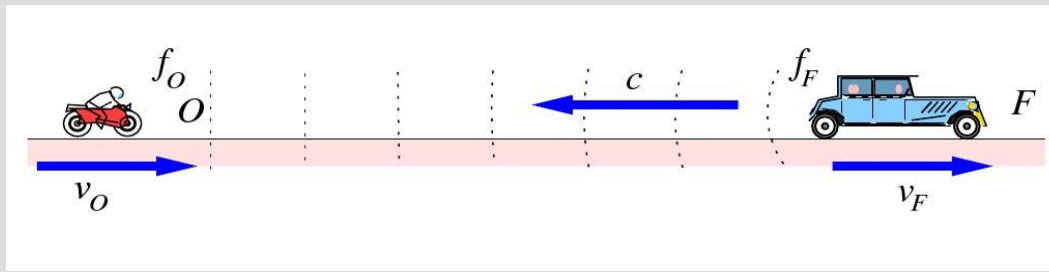
$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Frecuencia con la que
O recibe las ondas

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

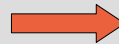
$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Fórmula general del efecto Doppler:

- Tenemos:

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_E}$$



$$\frac{c + v_F}{f_E} = \frac{c + v_o}{f_o}$$



$$\lambda = \frac{c + v_o}{f_o}$$

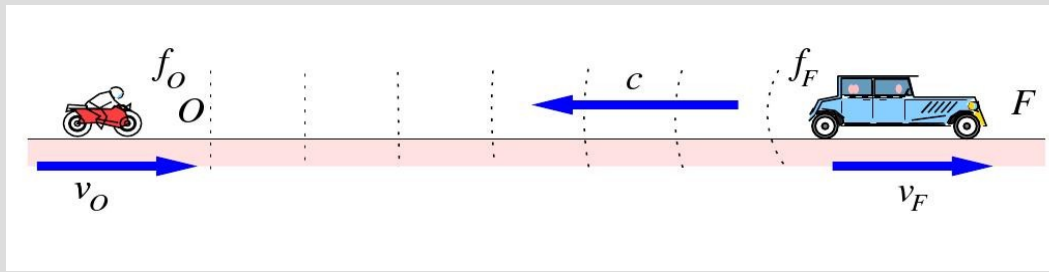
$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Frecuencia con la que
O recibe las ondas

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Fórmula general del efecto Doppler:

- Tenemos:

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_E}$$

$$\lambda = \frac{c + v_o}{f_o}$$

$$\frac{c + v_F}{f_E} = \frac{c + v_o}{f_o}$$

$$\frac{f_E}{c + v_F} = \frac{f_o}{c + v_o}$$

Efecto Doppler

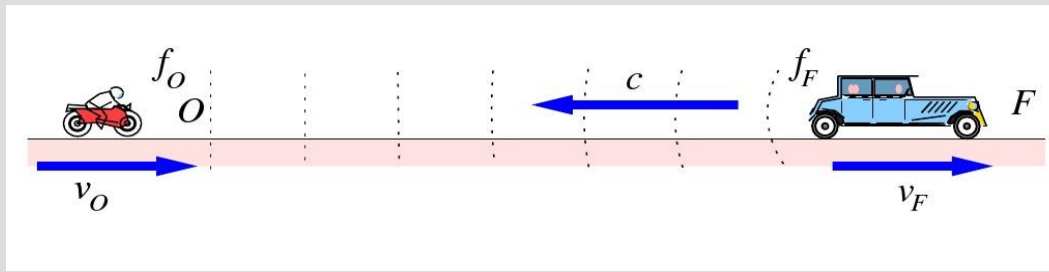
$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Frecuencia con la que
O recibe las ondas

6.6 Efecto Doppler.

Efecto de v_o

- Se toma v_o y v_F **positivos en el sentido del observador a la fuente**
- La velocidad del sonido siempre se toma positiva



- O recibe las ondas:

$$f_o = \frac{n^{\circ} \text{ ondas que llegan en } \Delta t}{\Delta t}$$

$$f_o = \frac{(c \Delta t + v_o \Delta t) / \lambda}{\Delta t} = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

Fórmula general del efecto Doppler:

- Tenemos:

$$\lambda = \frac{c + v_F}{f_E}$$

$$\lambda = \frac{c + v_o}{f_o}$$

$$\frac{c + v_F}{f_E} = \frac{c + v_o}{f_o}$$

$$\frac{f_E}{c + v_F} = \frac{f_o}{c + v_o}$$

Efecto Doppler

$$f_o = \frac{c + v_o}{\lambda}$$

**Frecuencia con la que
O recibe las ondas**

- Si v_o y v_F no están en la misma recta, se han de tomar sus proyecciones en la dirección O-F
- Si sopla viento, v_o y v_F son las velocidades relativas respecto del aire

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

6.6 Efecto Doppler.

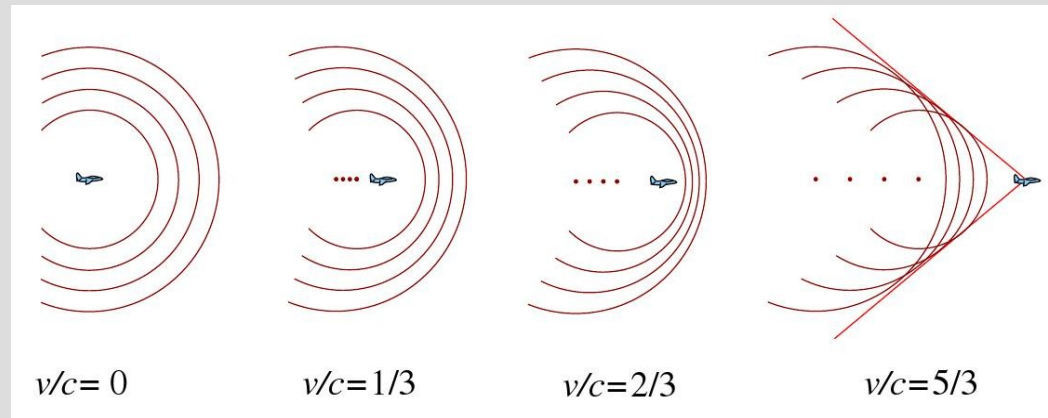
Onda de choque

Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

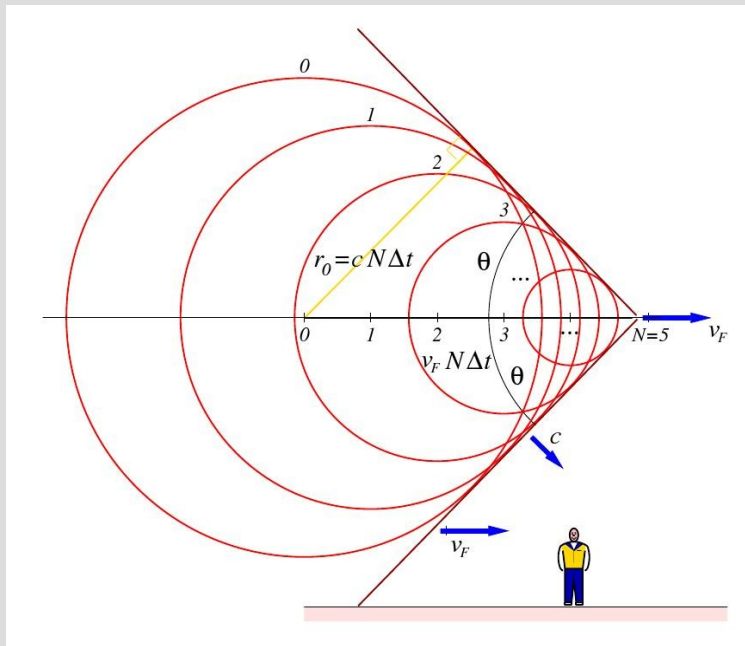
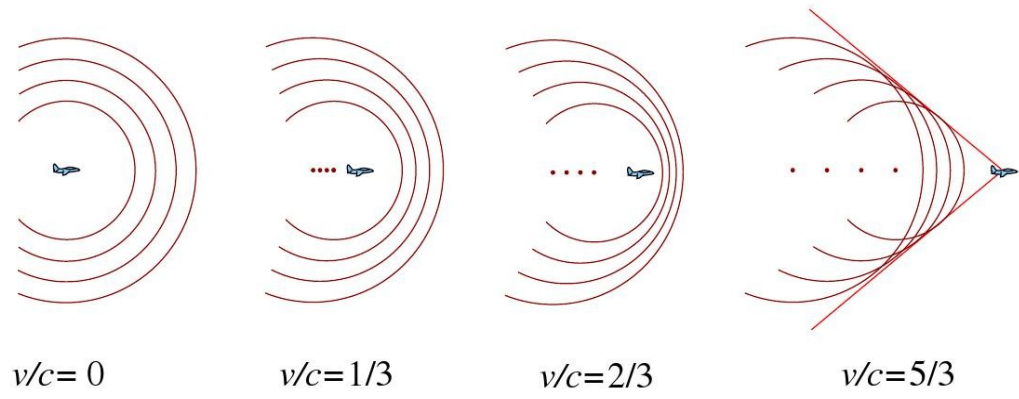
Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda



6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

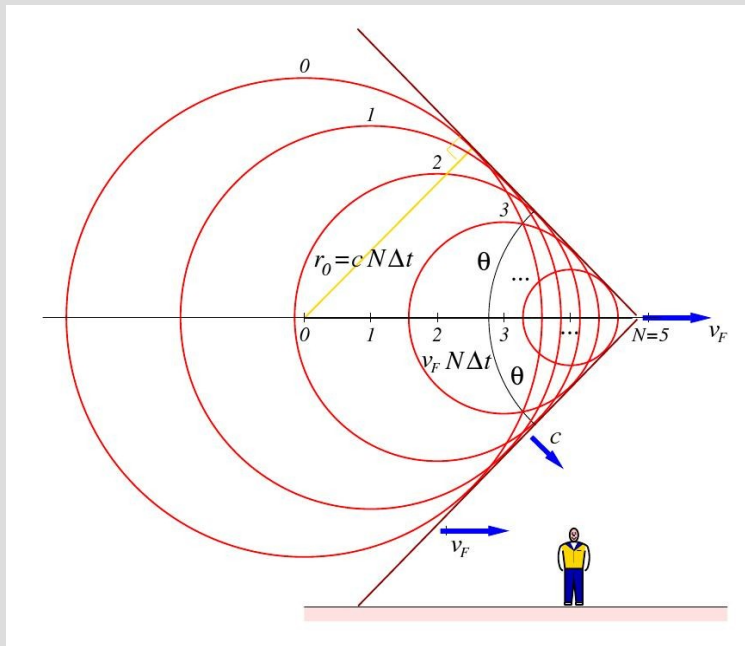
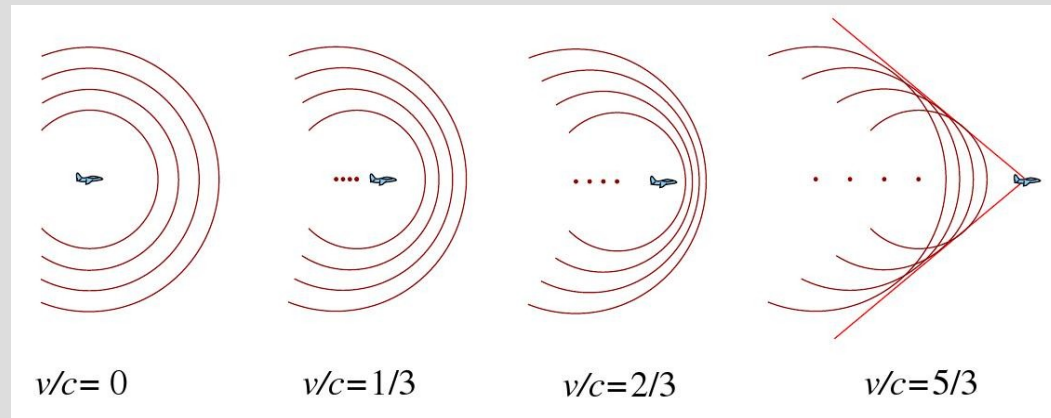
Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda



6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda

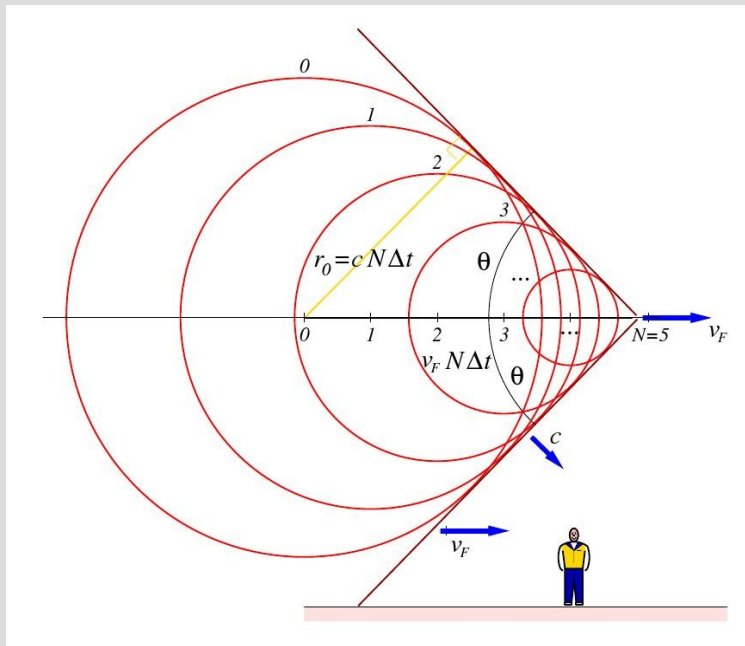
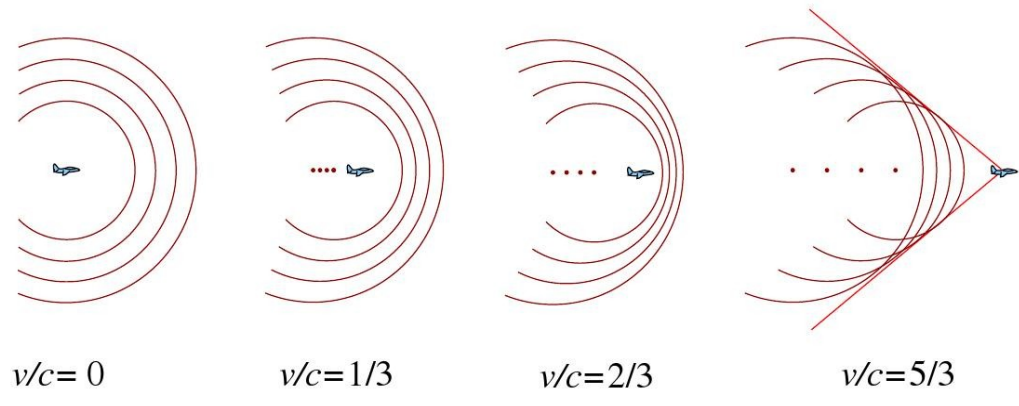


- Se forma un cono donde se superponen varios frentes de onda

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda

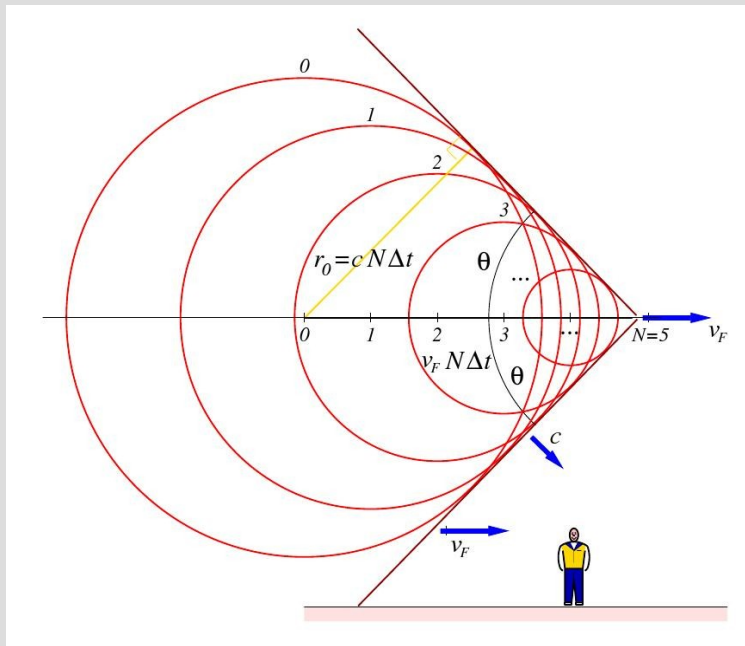
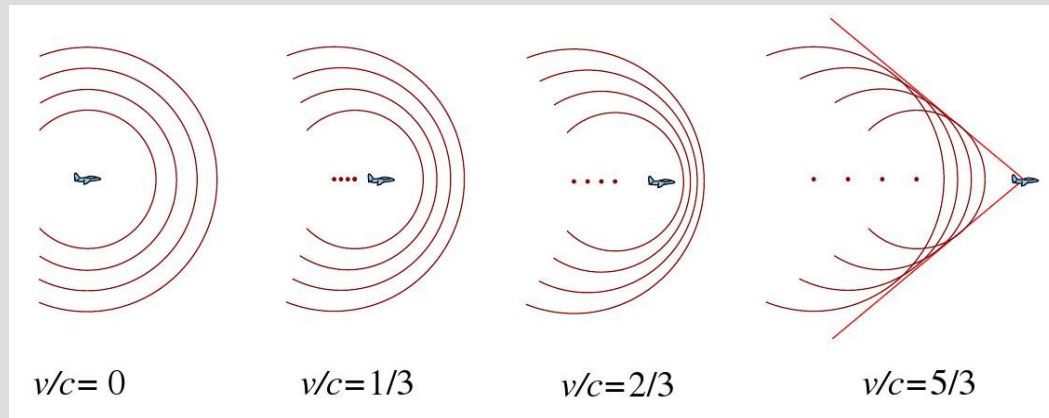


- Se forma un cono donde se superponen varios frentes de onda
- Cuando este cono llega al observador, éste percibe un 'estallido' sónico

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda



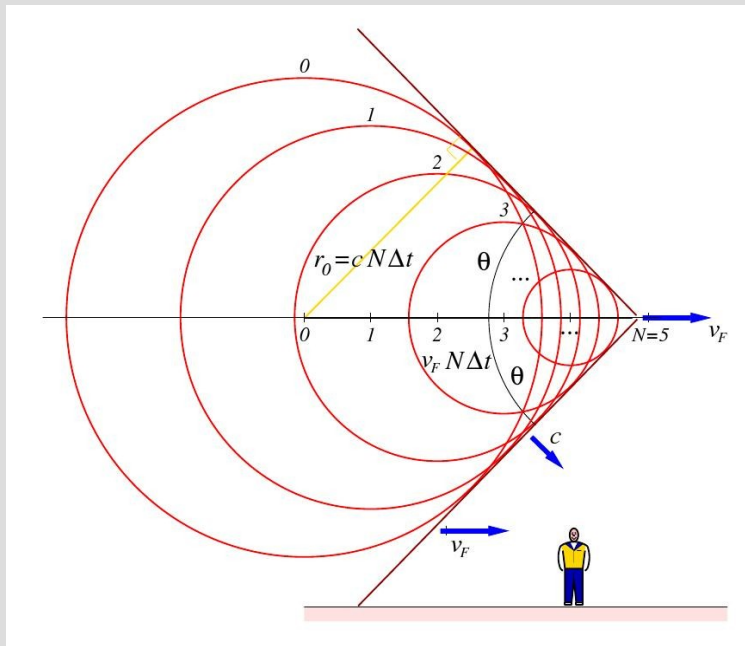
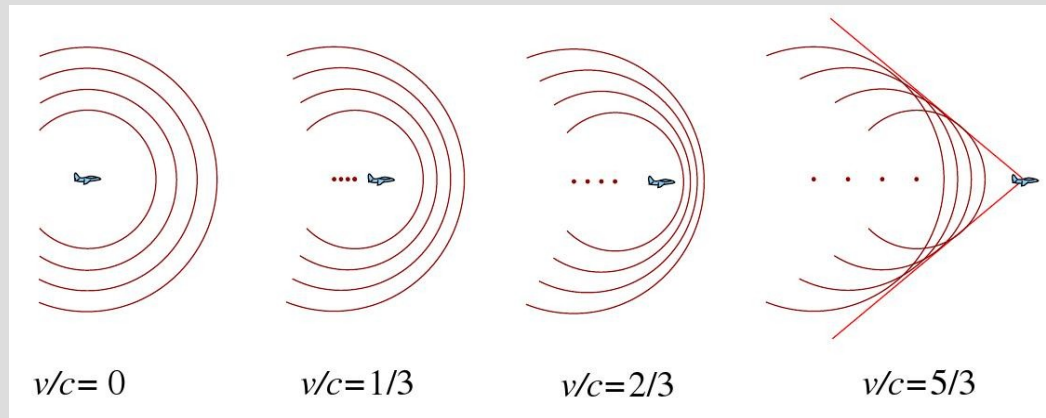
- Se forma un cono donde se superponen varios frentes de onda
- Cuando este cono llega al observador, éste percibe un 'estallido' sónico

Ángulo del cono:

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda



- Se forma un cono donde se superponen varios frentes de onda
- Cuando este cono llega al observador, éste percibe un 'estallido' sónico

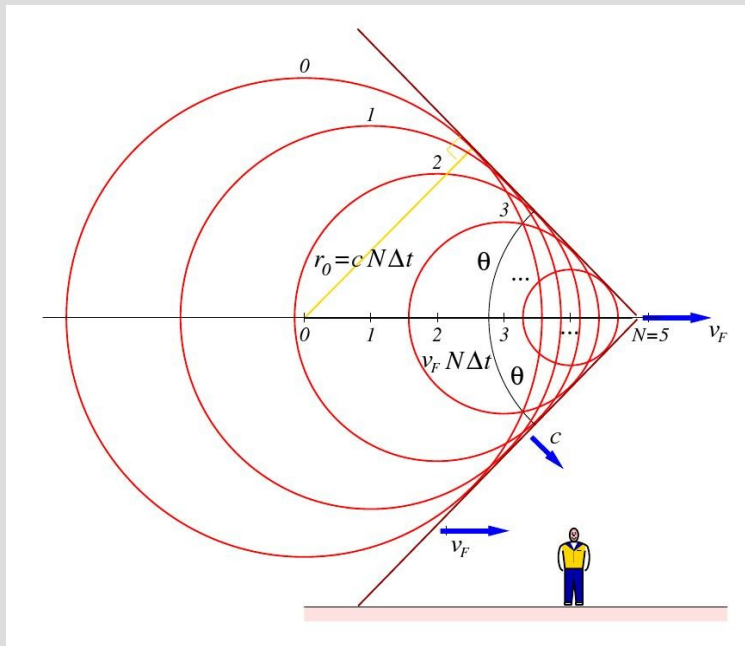
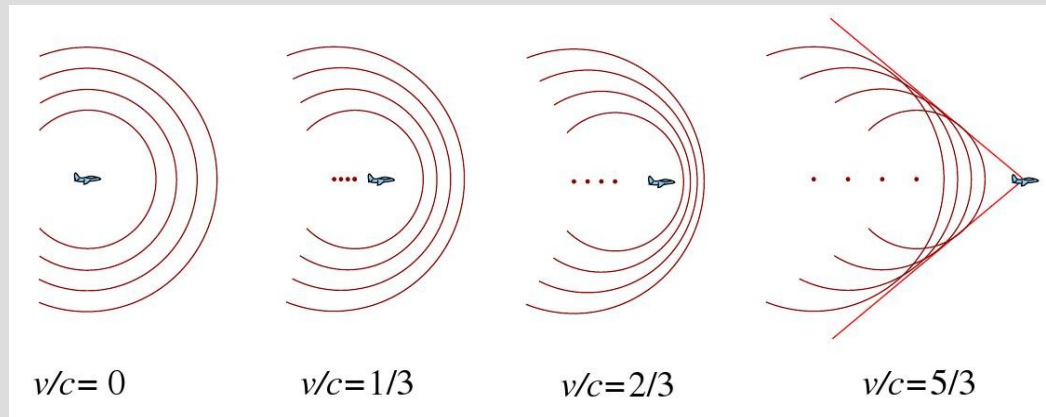
Ángulo del cono:

$$\sin(\theta) = \frac{c \Delta t}{v_F \Delta t} = \frac{c}{v_F}$$

6.6 Efecto Doppler.

Onda de choque

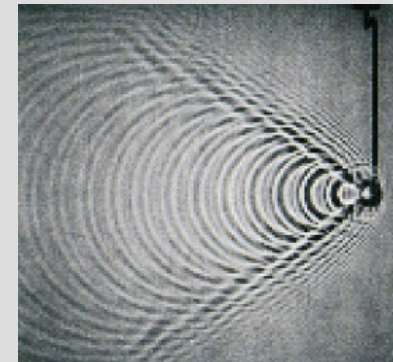
Aparece por el apilamiento de los frentes de onda cuando la fuente se mueve a velocidades superiores a las de la onda



- Se forma un cono donde se superponen varios frentes de onda
- Cuando este cono llega al observador, éste percibe un 'estallido' sónico

Ángulo del cono:

$$\sin(\theta) = \frac{c \Delta t}{v_F \Delta t} = \frac{c}{v_F}$$



6.6 Efecto Doppler. Ejercicios

Ejercicio: El silbato de un tren emite a 500Hz. Determinar la frecuencia con la que un observador oirá el silbato si el tren se acerca a 100km/h.

$$f=544.5 \text{ Hz}$$

Ejercicio: Un barco se acerca a un acantilado, y para medir su velocidad hace sonar la sirena y mide la frecuencia con la que le llegan las ondas reflejadas. Si la sirena del barco emite a 150Hz, y el eco le llega a 155Hz, determinar la velocidad del barco.

$$v=20 \text{ km/h}$$

Ejercicio (prob. 52): Una sirena de 1000Hz emite sonido acercándose desde la posición que ocupa un observador en reposo hacia un acantilado a 10m/s. Cuál es la frecuencia de las pulsaciones que recibirá el observador.

$$f_p=59 \text{ Hz}$$

Módulo 2: Ondas

Lección 5. Movimiento ondulatorio. Ondas en una cuerda.

- 5.1 Introducción al mov. ondulatorio
Definiciones.
- 5.2 Función de onda.
- 5.3 Ondas armónicas.
- 5.4 Velocidad de propagación.
- 5.5 Energía de la onda.
- 5.6 Ondas en medios absorbentes.
Atenuación.
- 5.7 Reflexión y transmisión de ondas.
- 5.8 Superposición de ondas en una cuerda
Ondas estacionarias.

Lección 6. Ondas sonoras. Acústica.

- 6.1 Ondas elásticas en sólidos y fluidos
- 6.2 Potencia e intensidad de la onda.
Densidad de energía.
- 6.3 Percepción del sonido. Decibelios.
- 6.4 Transmisión y reflexión de ondas sonoras
- 6.5 Superposición de ondas sonoras.
- 6.6 Efecto Doppler
- 6.7 Cualidades del sonido.

Lección 7. Óptica Física

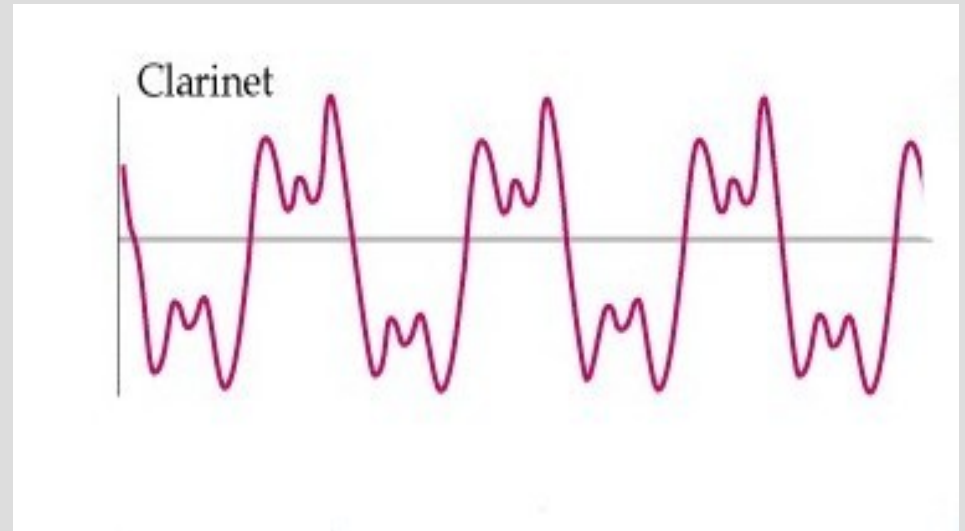
- 7.1 Ondas electromagnéticas. Espectro.
- 7.2 Principio de Huygens-Fresnel.
- 7.3 Reflexión y refracción.
- 7.4 Dispersión. Velocidad de grupo.
- 7.5 Polarización.
- 7.6 Interferencias.
- 7.7 Difracción.

6.7 Cualidades del sonido

*En la percepción del sonido, distinguimos unas cualidades que reciben el nombre de **intensidad, tono y timbre**.*

6.7 Cualidades del sonido

*En la percepción del sonido, distinguimos unas cualidades que reciben el nombre de **intensidad**, **tono** y **timbre**.*

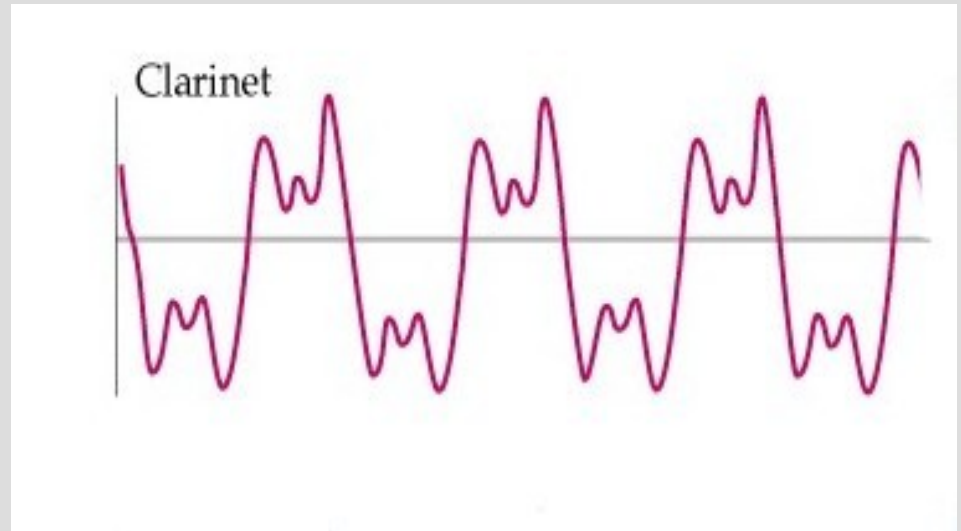


6.7 Cualidades del sonido

*En la percepción del sonido, distinguimos unas cualidades que reciben el nombre de **intensidad**, **tono** y **timbre**.*

Intensidad

- Corresponde con la 'sensación' de intensidad que percibimos.
- Esta relacionado, pero no linealmente, con la intensidad y amplitud de la onda



6.7 Cualidades del sonido

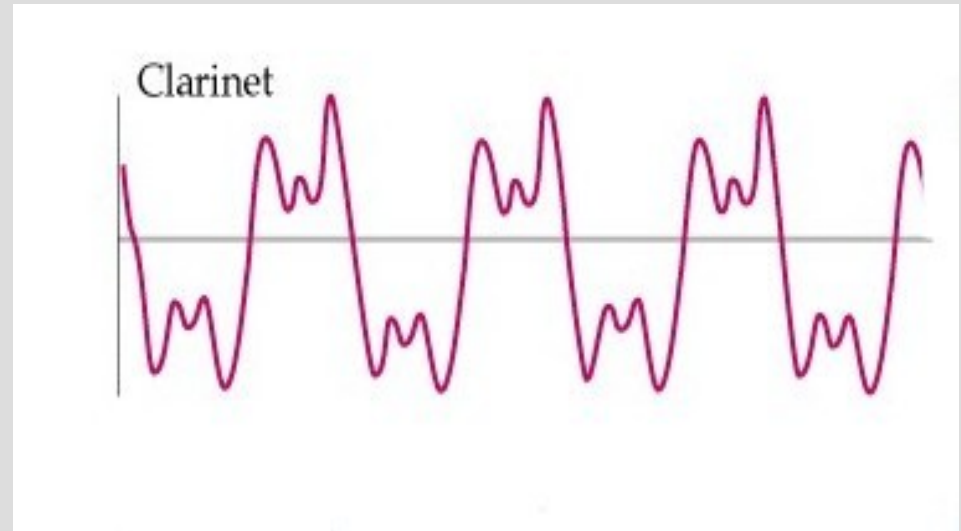
*En la percepción del sonido, distinguimos unas cualidades que reciben el nombre de **intensidad**, **tono** y **timbre**.*

Tono

Intensidad

- Corresponde con la 'sensación' de intensidad que percibimos.
- Esta relacionado, pero no linealmente, con la intensidad y amplitud de la onda

- Corresponde con la frecuencia fundamental de la onda que nos llega



6.7 Cualidades del sonido

En la percepción del sonido, distinguimos unas cualidades que reciben el nombre de **intensidad, tono y timbre**.

Tono

Intensidad

- Corresponde con la 'sensación' de intensidad que percibimos.
- Esta relacionado, pero no linealmente, con la intensidad y amplitud de la onda

- Corresponde con la frecuencia fundamental de la onda que nos llega

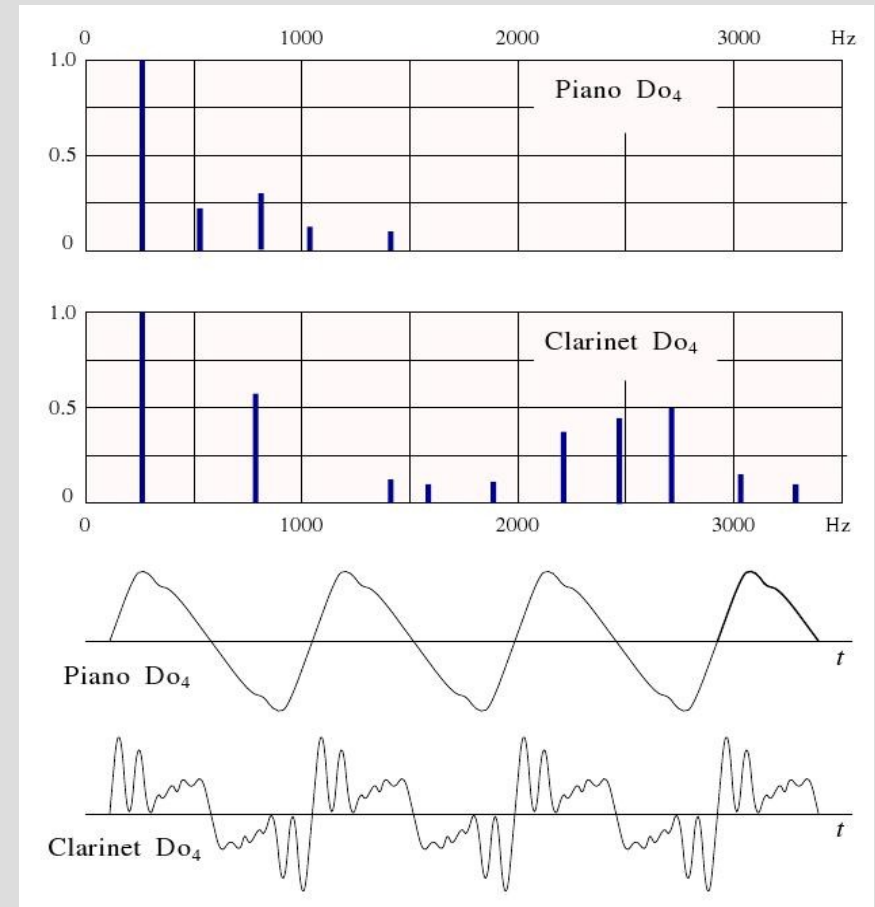
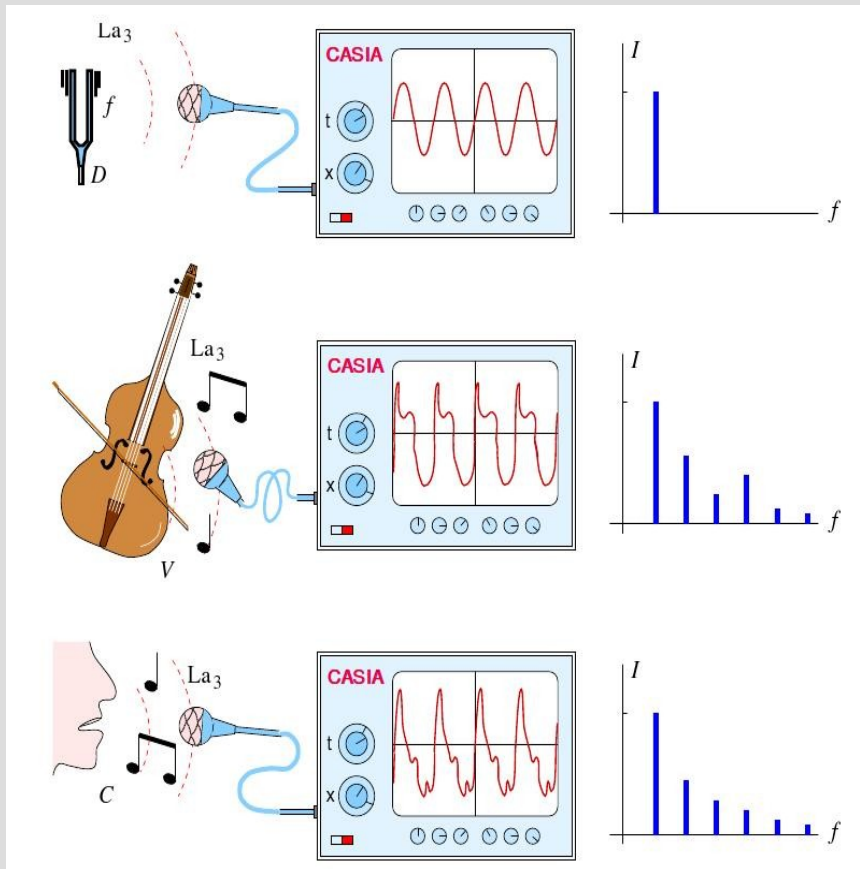


Timbre

- Nos permite distinguir el sonido de diferentes instrumentos.
- Se relaciona con la forma 'concreta' de la onda y se debe a los armónicos superiores que la constituyen

6.7 Cualidades del sonido.

Análisis de armónicos. Series de Fourier



6.7 Cualidades del sonido.

Análisis de armónicos. Series de Fourier

Cualquier función $F(t)$ se puede expresar como una serie de funciones seno y coseno:

$$F(t) = \frac{B_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n \sin \frac{2\pi n}{T} t + B_n \cos \frac{2\pi n}{T} t \right)$$

Con

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^t F(t) \cos \frac{2\pi n}{T} t dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^t F(t) \sin \frac{2\pi n}{T} t dt$$

Trenes de ondas y velocidad de grupo

Superpondremos dos ondas dadas por:

$$\begin{aligned} s_1 &= s_m \cos(k_1 x - \omega_1 t) \\ s_2 &= s_m \cos(k_2 x - \omega_2 t) \end{aligned}$$

$$s = s_1 + s_2 = s_m (\cos(k_1 x - \omega_1 t) + \cos(k_2 x - \omega_2 t))$$

$$s = 2 s_m \cos\left(\frac{(k_2 - k_1)x - (\omega_2 - \omega_1)t}{2}\right) \cos\left(\frac{(k_2 + k_1)x - (\omega_2 + \omega_1)t}{2}\right)$$

$\cos(a) + \cos(b) = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$

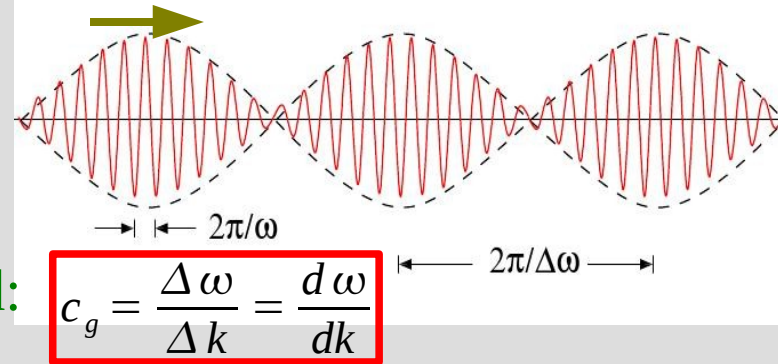
$$s = 2 s_m \cos\left(\frac{\Delta k}{2} x - \frac{\Delta \omega}{2} t\right) \cos(k x - \omega t)$$

Amplitud modulada
que se va desplazando

Es una onda

Si $k_1 \approx k_2$, $\omega_1 \approx \omega_2$

Pulsos propagándose



• Son pulsos que se propagan con velocidad:

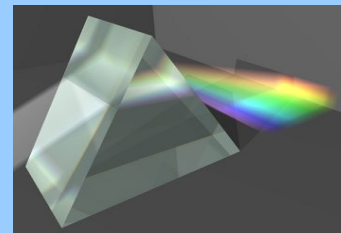
• Además: $\omega = kc$

$$\frac{d\omega}{dk} = c \frac{dk}{dk} + k \frac{dc}{dk}$$

$$c_g = c + k \frac{dc}{dk}$$

Si no hay dispersión:

$$c_g = c$$



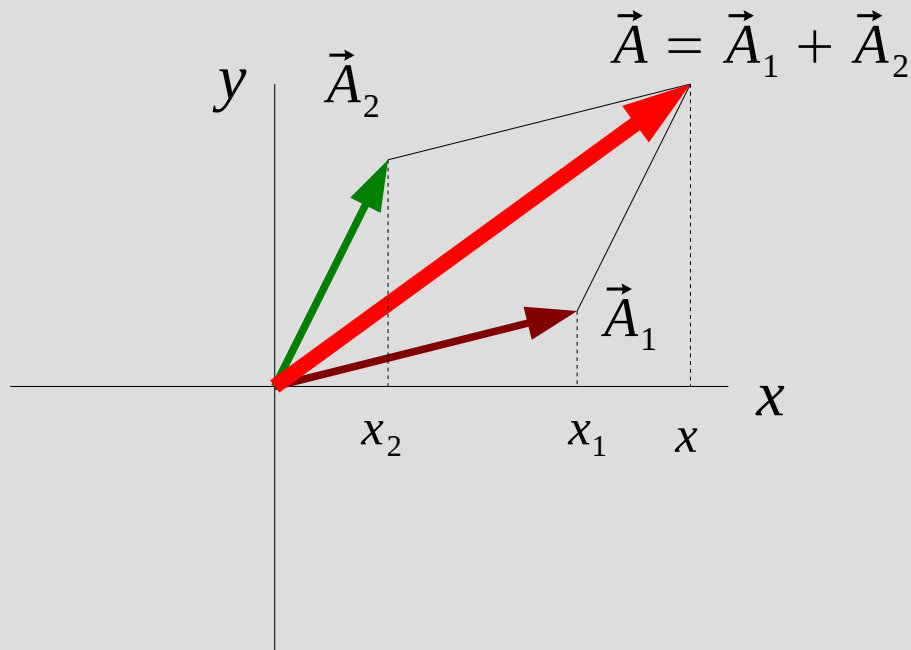
Dispersión: Variación de la velocidad de la onda en función de su frecuencia



4.1 Principio de superposición.

Representación fasorial.

Será muy útil para representar la suma de varios MAS



Principio de superposición

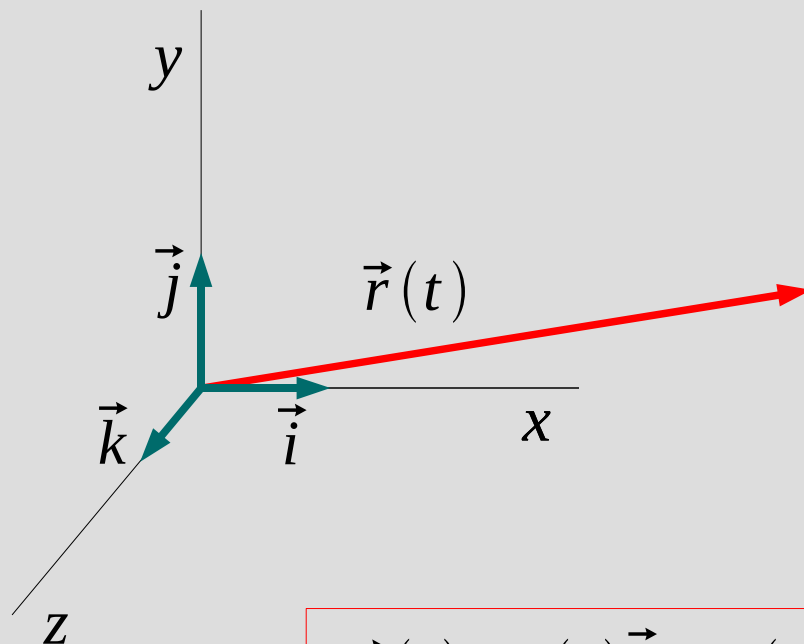
$$x = x_1 + x_2$$

Es la componente x
del vector $\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2$

5.1. Conceptos básicos

Vector velocidad

- La velocidad nos indica cómo cambia la posición de la partícula dividido entre el tiempo empleado
- **En una dimensión:**



$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$