

Ondas de Sonido



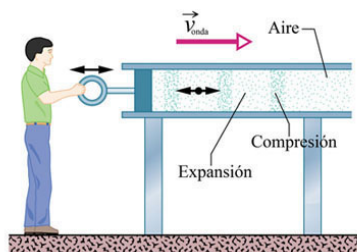
El murciélago herradura no sólo puede localizar una polilla volando en total oscuridad, también puede determinar su velocidad relativa para así poder capturarla en pleno vuelo.



¿Cómo funciona el sistema de detección del murciélago?
¿Cómo podría la polilla engañar al sistema o al menos reducir su efectividad?

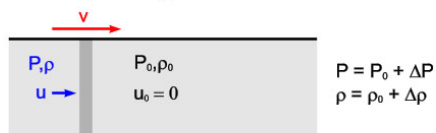
522

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE UN PULSO EN UN FLUIDO

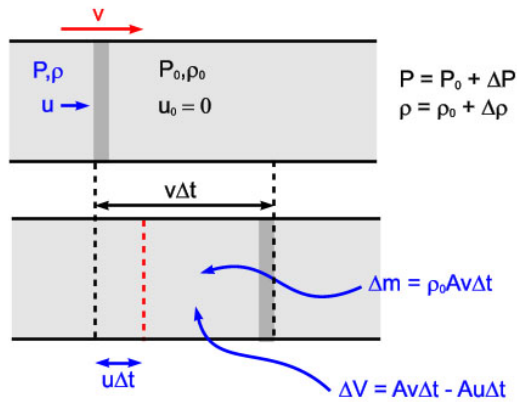


Consideremos un pulso de compresión que se propaga con velocidad v en un fluido. Inicialmente el fluido tiene presión P_0 y densidad ρ_0 y se encuentra en reposo $u_0 = 0$.

El fluido detrás del pulso tiene presión P , densidad ρ y velocidad u .



523



Conservación de masa $\Rightarrow \rho \Delta V = \rho_0 \Delta V$

$$\rho(v-u)A\Delta t = \rho_0 v A \Delta t$$

$$\rho(v-u) = \rho_0 v \quad (*)$$

524

El impulso neto ejercido sobre este elemento de volumen está dado por

$$\Delta p = (P - P_0) A \Delta t$$

pero $\Delta p = \Delta m u = \rho_0 v u A \Delta t$ entonces

$$(P - P_0) A \Delta t = \rho_0 v u A \Delta t$$

$$\Rightarrow u = \frac{P - P_0}{\rho_0 v} = \frac{\Delta P}{\rho_0 v} \quad (\text{velocidad inmediatamente detras del pulso de compresión})$$

Reemplazando en (*) se tiene

$$\rho \left\{ v - \frac{\Delta P}{\rho_0 v} \right\} = \rho_0 v$$

$$(\rho - \rho_0) v^2 = \frac{\rho}{\rho_0} \Delta P \approx \Delta P$$

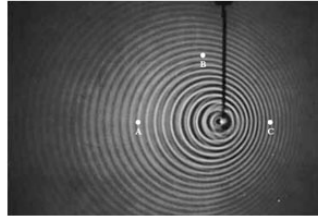
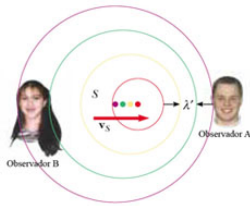
$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta \rho}} \quad \text{velocidad de propagación de un pulso en un fluido}$$

Speed of Sound in Various Media

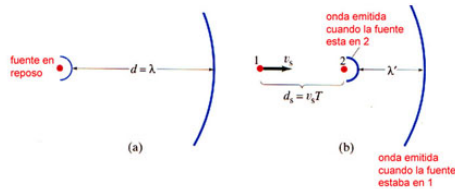
Medium	v (m/s)
Gases	
Hydrogen (0°C)	1 286
Helium (0°C)	972
Air (20°C)	343
Air (0°C)	331
Oxygen (0°C)	317
Liquids at 25°C	
Glycerol	1 904
Seawater	1 533
Water	1 493
Mercury	1 450
Kerosene	1 324
Methyl alcohol	1 143
Carbon tetrachloride	926
Solids^a	
Pyrex glass	5 640
Iron	5 950
Aluminum	6 420
Brass	4 700
Copper	5 010
Gold	3 240
Lucite	2 680
Lead	1 960
Rubber	1 600

525

EFFECTO DOPPLER (1803-1853)



Primero consideremos el caso de una fuente que se mueve con velocidad v_s hacia el observador. Suponiendo que el aire está en reposo respecto al observador se tiene



$$\lambda' = \lambda - d_s = \lambda - v_s T \Rightarrow \lambda' = \lambda \left(1 - \frac{v_s}{v}\right)$$

526

entonces la nueva frecuencia está dada por

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda \left(1 - \frac{v_s}{v}\right)}$$

$$\Rightarrow \boxed{f' = \frac{f}{1 - v_s/v}}$$

Como $v_s > 0 \Rightarrow f' > f$

Ahora consideremos una fuente que se aleja del observador. En este caso



$$\lambda' = \lambda + v_s T$$

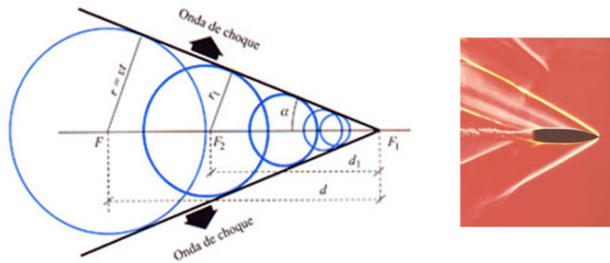
$$\lambda' = \lambda \left(1 + \frac{v_s}{v}\right)$$

$$\Rightarrow f' = \frac{f}{1 + v_s/v}$$

527

ONDAS DE CHOQUE. NÚMERO DE MACH

Este tipo de ondas se produce cuando la fuente emisora se mueve en un medio con mayor velocidad que la de propagación de las ondas sonoras.



Si en F, la fuente emite una onda, al cabo de un tiempo t esta onda habrá recorrido una distancia $r = vt$ mientras que la fuente se habrá desplazado una distancia $d = v_F t$, entonces

$$\frac{r}{v} = \frac{d}{v_F} \Rightarrow \frac{d}{r} = \frac{v_F}{v}$$

528

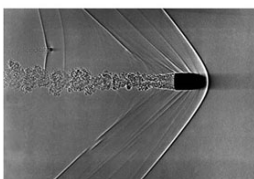
En una posición intermedia F_1 se tiene que la onda viaja una distancia $r_1 = v t_1$ en cambio la fuente se mueve una distancia $d_1 = v_F t_1$

$$\frac{r_1}{v} = \frac{d_1}{v_F} \Rightarrow \frac{d_1}{r_1} = \frac{v_F}{v}$$

Por lo tanto, todas las ondas emitidas tiene como superficie tangente común un cono cuyo ángulo α está dado por

$$\sin \alpha = \frac{v}{v_F} = \frac{1}{M}$$

$$\text{Número de Mach} = \frac{v_F}{v} = M$$

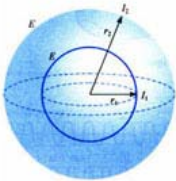


529

INTENSIDAD DE UNA ONDA ESFÉRICA

Supongamos una onda que se propaga en un medio con velocidad v .

Si la onda es esférica (ej. ondas sonoras), cada frente de onda recibe la misma energía pero la intensidad cambia.



A una distancia r_1 la intensidad está dada por

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}$$

donde P es la potencia de la fuente, medida en Watts ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).

A una distancia r_2 se tiene $I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}}$$

530

INTENSIDAD DEL SONIDO

La intensidad del sonido se mide en W/m^2 .

El oído humano puede detectar sonidos con intensidades entre 10^{-12} W/m^2 a 1 W/m^2 (límite del dolor).

El "silencio" no es proporcional a la intensidad.

Nivel de intensidad

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{en dB} \quad \left(\frac{1}{10} \text{ bel} \right)$$

donde I_0 es un nivel de referencia, generalmente, igual al nivel de audición mínimo $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

$$\text{Ej. } I = 10^{-10} \text{ W/m}^2 \Rightarrow \beta = 10 \log \left(\frac{10^{-10}}{10^{-12}} \right)$$

$$\beta = 10 \log 100 = 20 \text{ dB}$$

531

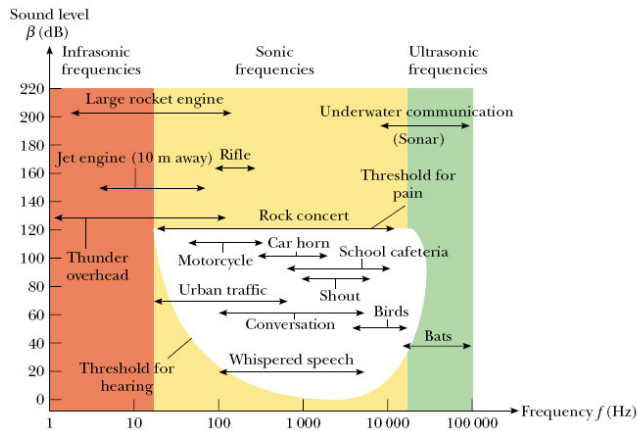


TABLE 13.4 Approximate intensity-levels in dB

Source	Intensity-level (dB)
Large rocket	≈180
Jet engine	140
Jet takeoff (30 m – 60 m)	≈125
Rock concert (1.0 W/m ²)	≈120
Yell into the ear (20 cm)	120 (immediate danger)
Pneumatic hammer	110
Passing subway train (10 ⁻² W/m ²)	100 (damage after 2 hours)
Car without muffler	100
Shout (1.5 m)	100
Car horn, loud	95 very loud
Heavy truck (15 m)	90
City street	80 (damage after 8 hours)
Hair dryer	80
Loud music	80
Freeway traffic	75
Automobile interior	≈70 loud
Toilet flushing	≈67
Noisy store (10 ⁻⁶ W/m ²)	60
Conversation, average (1 m)	60 moderate
Office	50
Living room, city	40
Bedroom (10 ⁻⁹ W/m ²)	30 quiet
Library	30
Broadcast studio (10 ⁻¹⁰ W/m ²)	20 very quiet
Whisper	20
Cat purring	15
Rustling leaves	≈10 barely audible
Threshold (10 ⁻¹² W/m ²)	0