

Chapter 16

SONIDO Y EL OIDO

Tomás Rada Crespo Ph.D

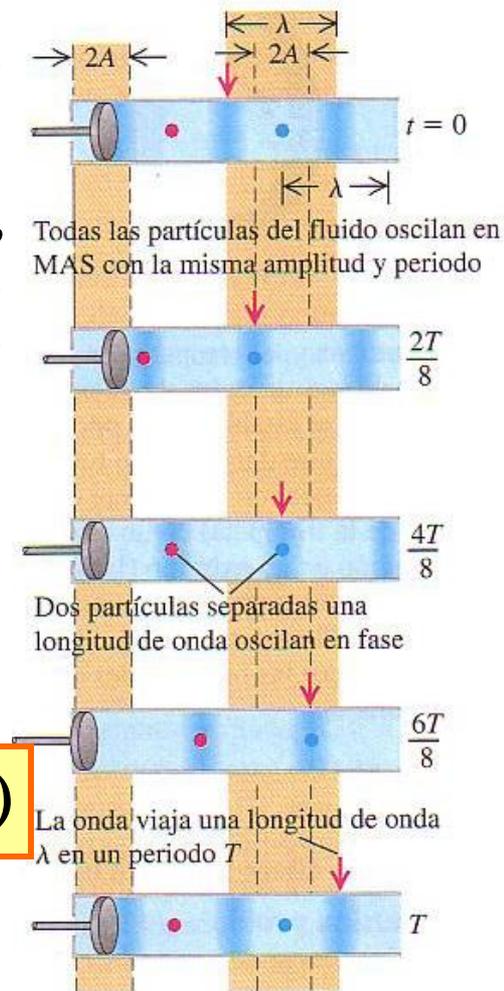


ACREDITADA INSTITUCIONALMENTE
POR SU EXCELENCIA ACADEMICA

PowerPoint® Lectures for
University Physics, Twelfth Edition
– *Hugh D. Young and Roger A. Freedman*

GENERALIDADES

- Desde un punto de vista físico el sonido es una vibración longitudinal que se propaga en un medio elástico. Para que se produzca sonido se requiere la existencia de un cuerpo vibrante, denominado foco (cuerda tensa, varilla, una lengüeta) y de un medio elástico que transmita esas vibraciones, que se propagan por él constituyendo lo que se denomina onda sonora.
- El oído humano es sensible a frecuencias entre 20 y 20.000 Hz (Gama audible).
- Para una onda sonora que se propaga en dir $+x$ se tiene:
 - $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$
 - A: Amplitud de desplazamiento



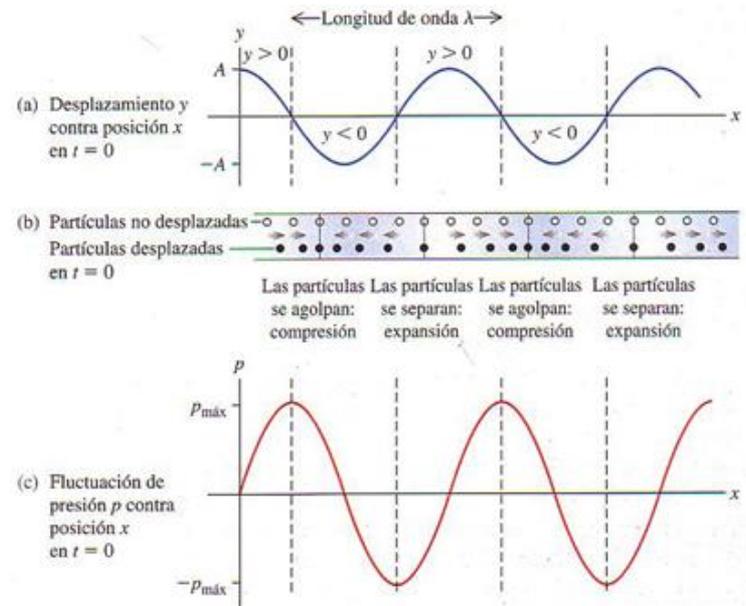
Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variaciones de presión en diversos puntos. Así, en una onda sonora senoidal en aire, la presión fluctúa \pm la presión atmosférica en forma senoidal

$$p(x, t) = BkA \sin(kx - \omega t)$$

– Donde B es el módulo de volumen.

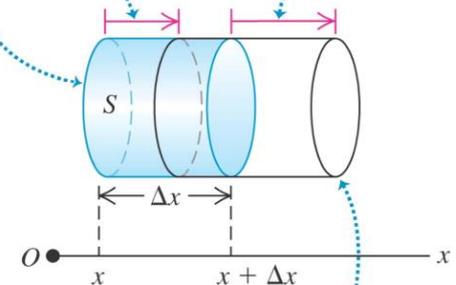
$p_{\max}(x, t) = BkA$: máxima fluctuación de presión

Al propagarse una onda sonora a lo largo del eje X, los extremos izquierdo y derecho sufren desplazamientos distintos y_1 y y_2 , respectivamente.



area S , length Δx , and volume $S\Delta x$.

A sound wave displaces the left end of the cylinder by $y_1 = y(x, t)$... and the right end by $y_2 = y(x + \Delta x, t)$.



The change in volume of the disturbed cylinder of fluid is $S(y_2 - y_1)$.

RAPIDEZ DE LAS ONDAS SONORAS

Rapidez en las Ondas Sonoras

- Para las ondas mecánicas en general se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{\text{(fuerza de restitución que vuelve el sistema al equilibrio)}}{\text{(inercia que se opone al retorno al equilibrio)}}}$$

Para las ondas sonoras en un fluido tenemos:

ρ es densidad

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

Para las ondas sonoras en una varilla sólida tenemos:

Donde Y es el módulo de Young

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (\text{rapidez del sonido en un gas ideal})$$

M : masa molar; R : Cte universal de los gases; γ : razón de capacidades caloríficas

Tabla 16.1 Rapidez del sonido en varios medios materiales

Material	Rapidez del sonido (m/s)
<i>Gases</i>	
Aire (20°C)	344
Helio (20°C)	999
Hidrógeno (20°C)	1330
<i>Líquidos</i>	
Helio líquido (4 K)	211
Mercurio (20°C)	1451
Agua (0°C)	1402
Agua (20°C)	1482
Agua (20°C)	1543
<i>Sólidos</i>	
Aluminio	6420
Plomo	1960
Acero	5941

Ejercicios

1. A sinusoidal sound wave is described by the displacement

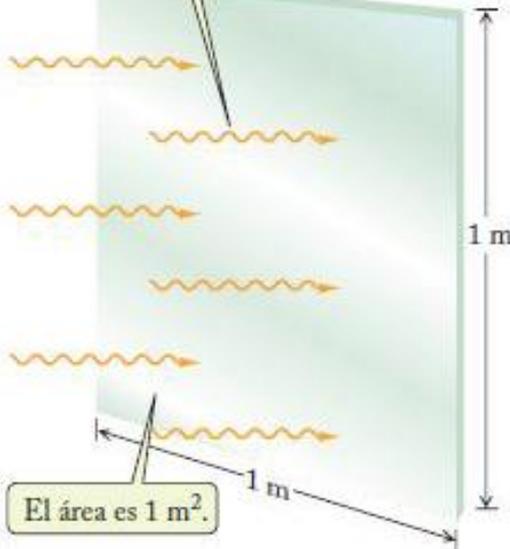
$$y(x, t) = 2\mu\text{m} \cdot \cos[(15.7\text{m}^{-1})x - (858\text{s}^{-1})t]$$

- (a) Find the amplitude, wavelength, and speed of this wave.
 - (b) Determine the instantaneous displacement of the molecules at the position $x = 0.050\text{ m}$ at $t = 3\text{ ms}$.
 - (c) Determine the maximum speed of a molecule's oscillatory motion.
2. As a sound wave travels through the air, it produces pressure variations (above and below atmospheric pressure) that are given by $\Delta P = 1.27 \sin(\pi x - 340\pi t)$ in SI units. Find (a) the amplitude of the pressure variations, (b) the frequency of the sound wave, (c) its wavelength in air, and (d) its speed.
 3. Write an expression that describes the pressure variation as a function of position and time for a sinusoidal sound wave in air, if $\lambda = 0.10\text{ m}$ and $\Delta P_{\text{max}} = 0.20\text{ Pa}$.

INTENSIDAD

- Las ondas sonoras viajeras, al igual que todas las ondas viajeras, transportan energía de una región del espacio a otra.
- Una onda sonora es intensa y fuerte si tiene una gran amplitud.

La energía por segundo que cruza una unidad de área es la intensidad.



$$I = \frac{\text{energía/tiempo}}{\text{área}} = \frac{\text{potencia}}{\text{área}} = \frac{P}{A} \left[\frac{w}{m^2} \right]$$

INTENSIDAD

- La intensidad del sonido promedio es

$$I = \frac{1}{2} B \omega k A^2$$

- En el caso de una onda senoidal se tiene

$$I = \frac{P_{\max}^2}{2\rho v} = \frac{P_{\max}^2}{2\sqrt{\rho B}} \quad (\text{intensidad de una onda sonora senoidal})$$

Para el oído humano el umbral de audición, para una frecuencia de 1.000 Hz, es 10^{-12} W/m^2 , y el umbral de dolor es de aprox. 1 W/m^2 . Es decir solo es capaz de percibir sonidos cuya intensidad es superior a 10^{-12} W/m^2 y no soporta sonidos de intensidad superior a 1 W/m^2 .

ESCALA DE DECIBELES

Debido a que la sensación sonora varía con la intensidad de modo no lineal, sino casi de modo logarítmico, se usa la escala logarítmica para describir el nivel de intensidad sonora. El nivel de intensidad β se mide en decibelios (dB) y se define:

$\beta = 10 \log (I/I_0)$ donde I es la intensidad e I_0 es un nivel arbitrario de referencia que se considera como el umbral de audición. $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Fuente o descripción del sonido	Nivel de intensidad del sonido, β (dB)	Intensidad, I (W/m^2)
Avión militar a reacción a 30 m	140	10^2
Umbral del dolor	120	1
Remachador	95	3.2×10^{-3}
Tren elevado	90	10^{-3}
Tráfico urbano intenso	70	10^{-5}
Conversación ordinaria	65	3.2×10^{-6}
Automóvil silencioso	50	10^{-7}
Radio bajo en el hogar	40	10^{-8}
Murmullo normal	20	10^{-10}
Susurro de hojas	10	10^{-11}
Umbral del oído a 1000 Hz	0	10^{-12}

Ejercicios

1.) Una fuente puntual emite ondas sonoras con una salida de potencia promedio de 80.0 W a) Encuentre la intensidad a 3.00m de la fuente b) Encuentre la distancia a la cual el sonido se reduce a un nivel de intensidad de 40 dB.

2) Demuestre que la diferencia en niveles de decibeles de una fuente sonora se relaciona con la razón de sus distancias desde los

$$\beta_2 - \beta_1 = 20 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)$$

ONDAS SONORAS ESTACIONARIAS Y MODOS NORMALES

Cuando ondas longitudinales de sonido se propagan en un fluido dentro de un tubo de longitud finita, se reflejan en los extremos (igual que en las cuerdas) formándose ondas estacionarias también. Ej. Voz humana, instrumentos de viento

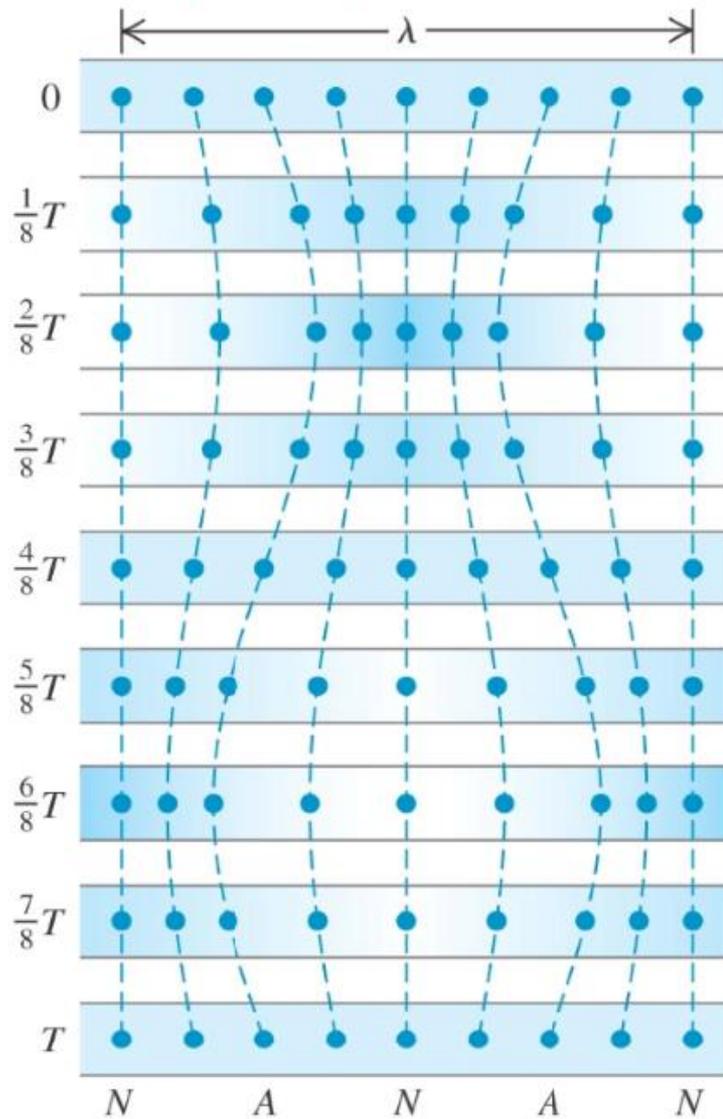
Aquí hablamos de nodo y antinodo de desplazamiento

Lo contrario se refiere a presión.

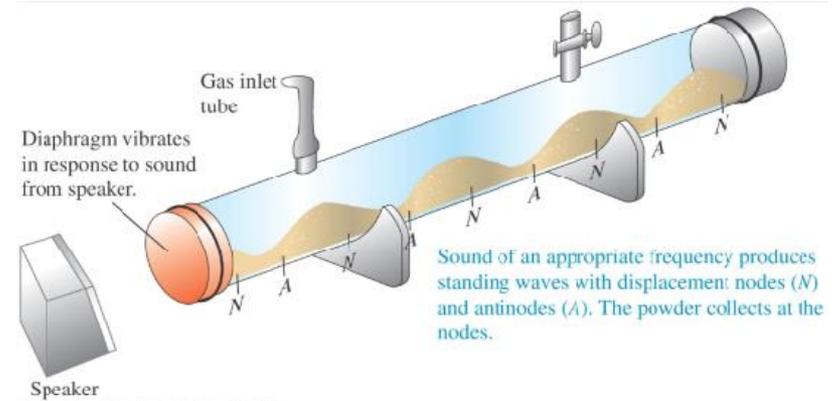
Podemos encontrar entonces **tubos cerrados y abiertos**.

Cuando hay reflexión en un extremo cerrado de un tubo, el *desplazamiento* de las partículas en ese extremo siempre *debe ser cero* . Así, que en *el extremo cerrado del tubo es un nodo de desplazamiento y un antinodo de presión*

A standing wave shown at intervals of $\frac{1}{8}T$ for one period T

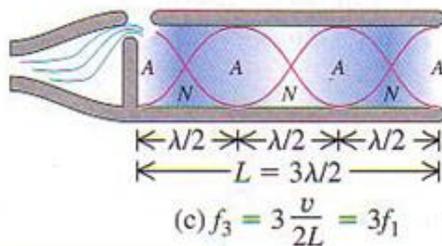
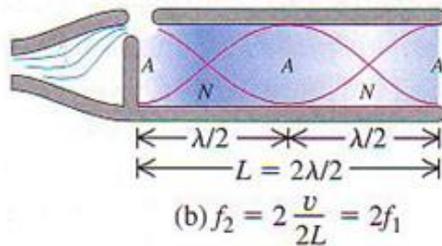
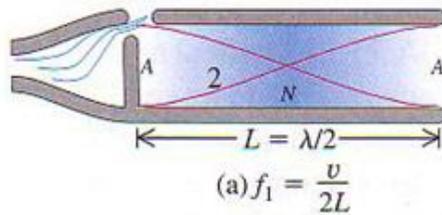


N = a displacement node = a pressure antinode
 A = a displacement antinode = a pressure node



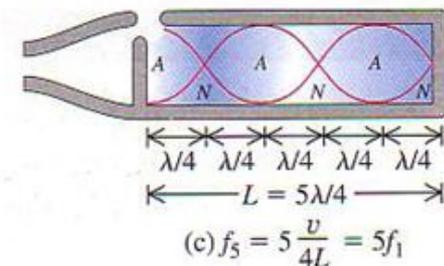
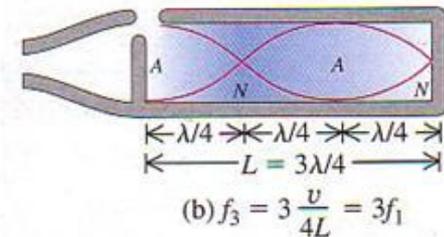
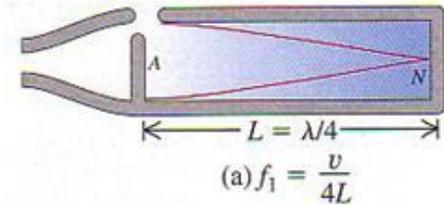
Un nodo de presión siempre es un antinodo de desplazamiento, y un antinodo de presión siempre es un nodo de desplazamiento

TUBOS ABIERTOS Y CERRADOS



Cortes de tubos abiertos y cerrados mostrando los 3 primeros modos normales, así como los nodos y antinodos de desplazamientos.

El sombreado indica las variaciones de presión y las curvas rojas indican el desplazamiento a lo largo del eje del tubo



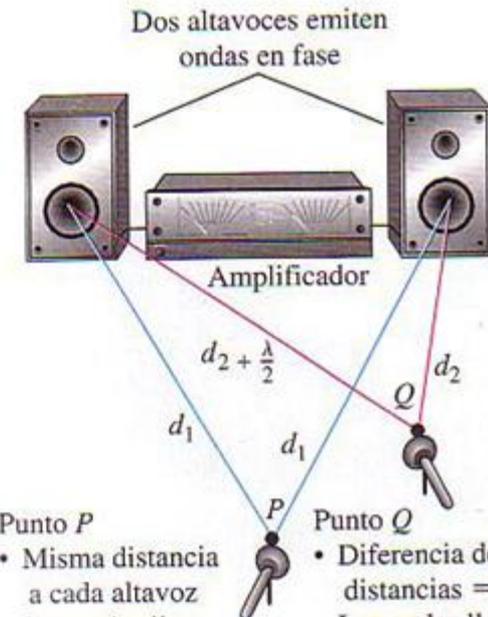
$$f_n = \frac{nv}{2L} = nf_1 \quad \text{Para } n = 1, 2, 3, \dots$$

$$f_n = \frac{nv}{4L} = nf_1 \quad \text{Para } n = 1, 3, 5, \dots$$

RESONANCIA E INTERFERENCIA



16.21 La frecuencia del sonido de esta trompeta coincide exactamente con una de las frecuencias de modo normal de la copa. Las vibraciones resonantes de la copa tienen una amplitud tan grande que el cristal se hace añicos.



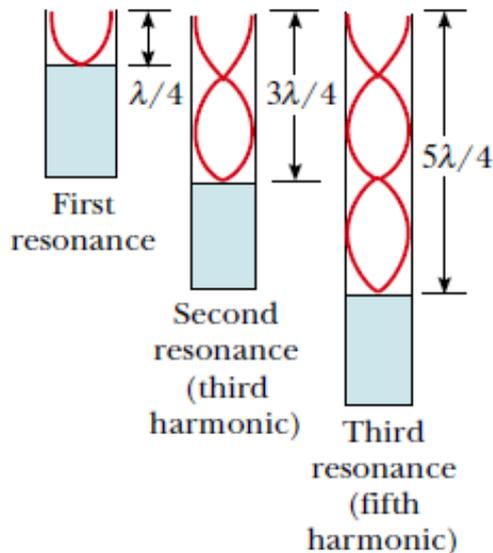
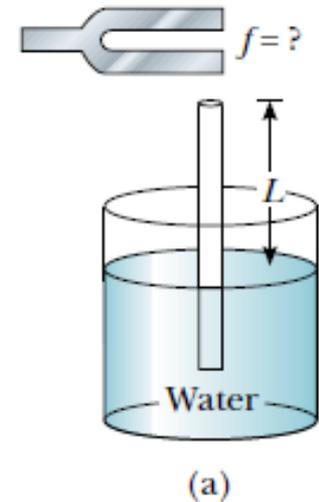
- Misma distancia a cada altavoz
- Las ondas llegan a P en fase
- Diferencia de distancias $= \frac{\lambda}{2}$
- Las ondas llegan a Q desfasadas medio ciclo

16.22 Dos altavoces alimentados por el mismo amplificador. Hay interferencia constructiva en el punto P e interferencia destructiva en el punto Q.

Measuring the Frequency of a Tuning Fork

A simple apparatus for demonstrating resonance in an air column is depicted in Figure 18.15. A vertical pipe open at both ends is partially submerged in water, and a tuning fork vibrating at an unknown frequency is placed near the top of the pipe. The length L of the air column can be adjusted by moving the pipe vertically. The sound waves generated by the fork are reinforced when L corresponds to one of the resonance frequencies of the pipe.

For a certain tube, the smallest value of L for which a peak occurs in the sound intensity is 9.00 cm. What are (a) the frequency of the tuning fork and (b) the value of L for the next two resonance frequencies?



$$f_1 = \frac{v}{4L} = \frac{343 \text{ m/s}}{4(0.0900 \text{ m})} = 953 \text{ Hz}$$

$$L = m\lambda/4 \quad m = 1, 3, 5, \dots$$

$$L = 3\lambda/4 = 0.270 \text{ m}$$

$$L = 5\lambda/4 = 0.450 \text{ m}$$

INTERFERENCIA

(a) The path lengths from the speakers to the microphone differ by λ ...



(b) The path lengths from the speakers to the microphone differ by $\frac{\lambda}{2}$...



Ejercicio

25. Two small speakers emit spherical sound waves of different frequencies. Speaker *A* has an output of 1.00 mW, and speaker *B* has an output of 1.50 mW. Determine the sound level (in decibels) at point *C* (Fig. P17.25) if (a) only speaker *A* emits sound, (b) only speaker *B* emits sound, (c) both speakers emit sound.

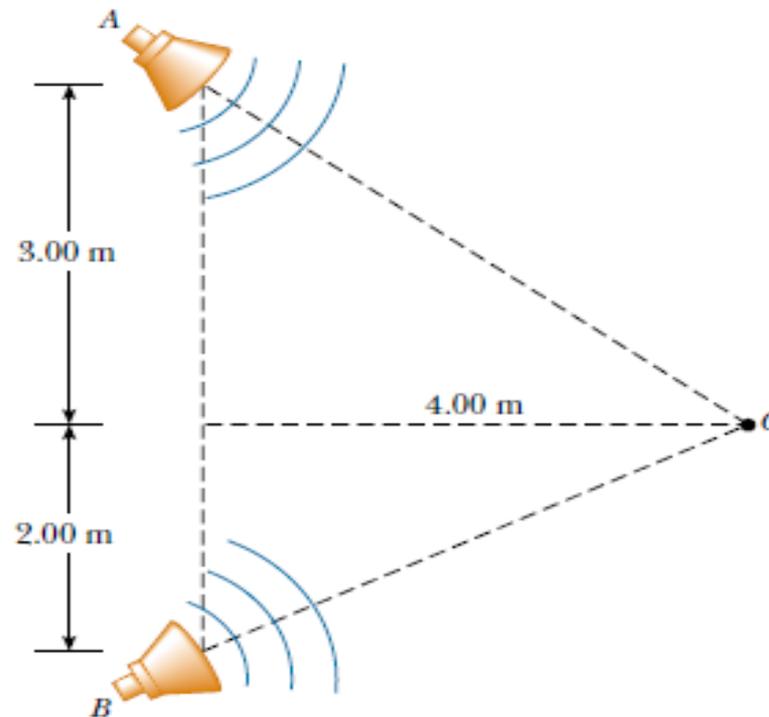


Figure P17.25

Ejercicio

38. A block with a speaker bolted to it is connected to a spring having spring constant $k = 20.0 \text{ N/m}$, as shown in Figure P17.38. The total mass of the block and speaker is 5.00 kg , and the amplitude of this unit's motion is 0.500 m . (a) If the speaker emits sound waves of frequency 440 Hz , determine the highest and lowest frequencies heard by the person to the right of the speaker. (b) If the maximum sound level heard by the person is 60.0 dB when he is closest to the speaker, 1.00 m away, what is the minimum sound level heard by the observer? Assume that the speed of sound is 343 m/s .

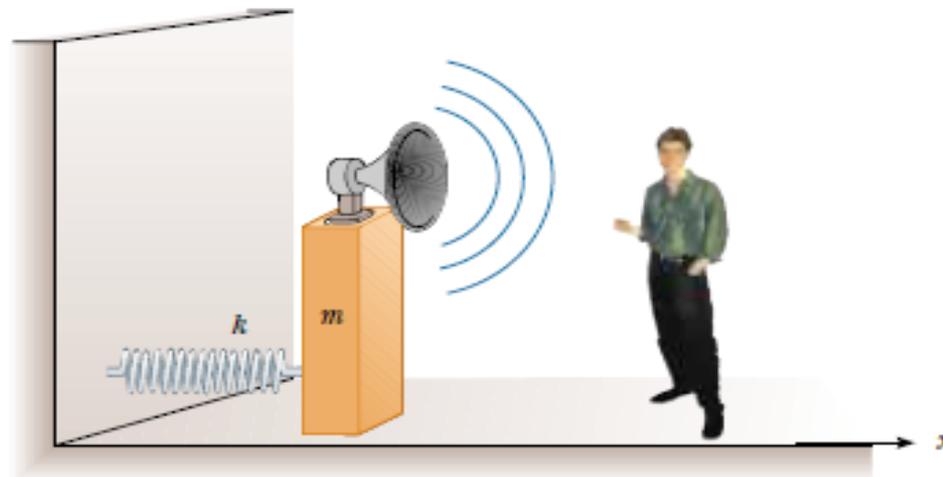
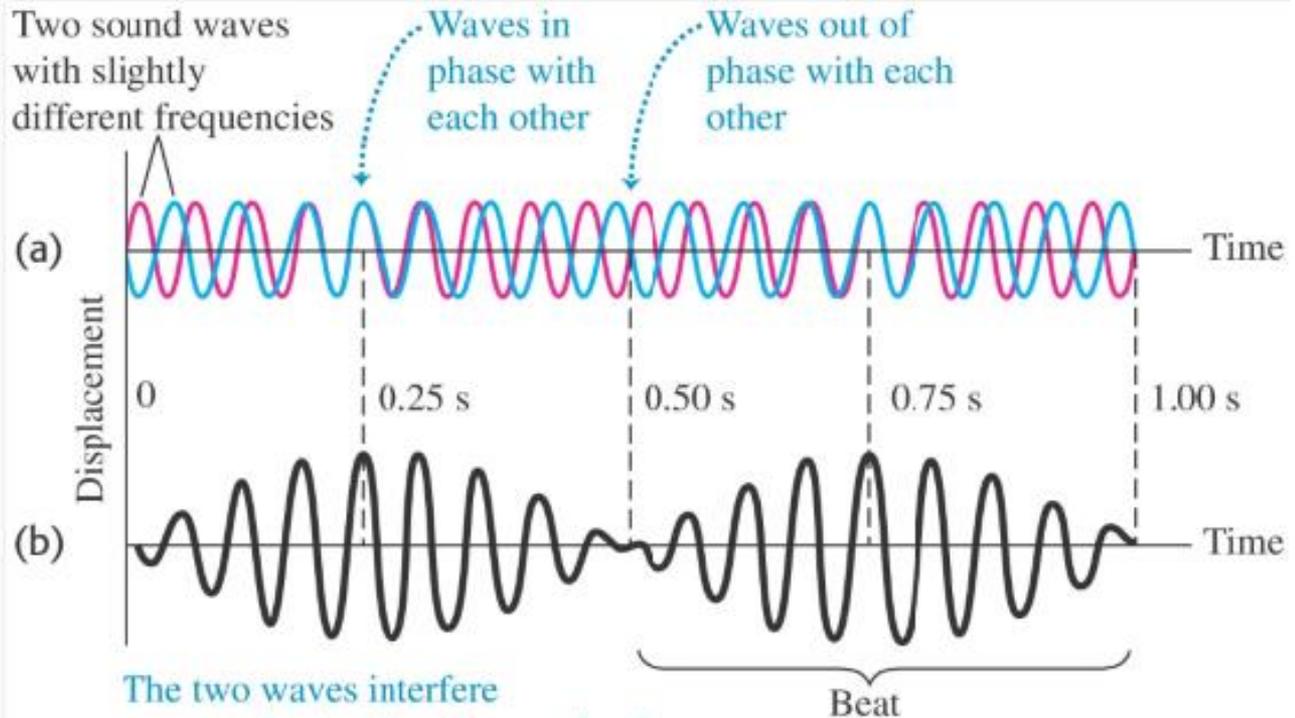


Figure P17.38

PULSOS



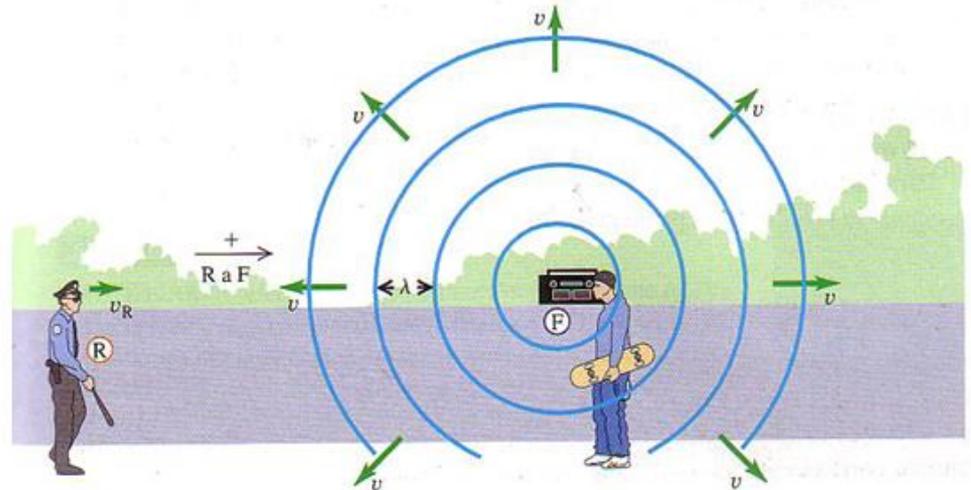
The two waves interfere constructively when they are in phase and destructively when they are a half-cycle out of phase. The resultant wave rises and falls in intensity, forming beats.

EFECTO DOPPLER

Se denomina así al efecto que se presenta cuando una fuente de sonido y el receptor están en movimiento relativo, de manera que la frecuencia del sonido oído por el receptor no es la misma que la frecuencia de la fuente.

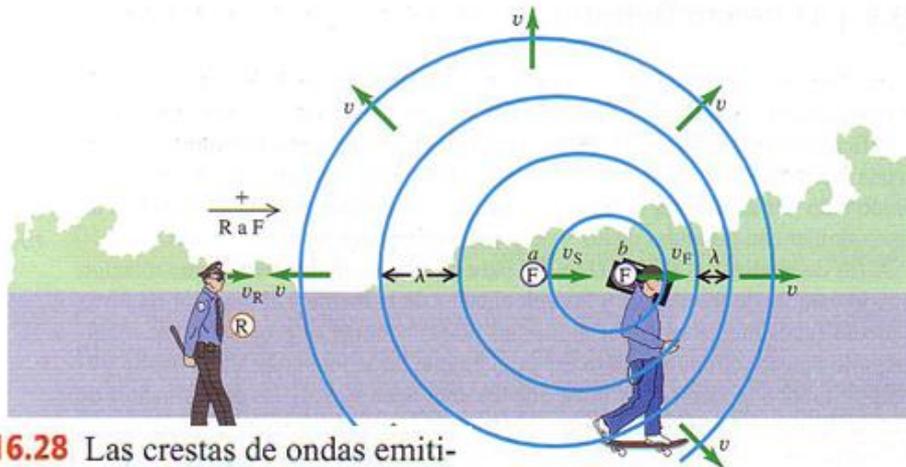
$$f_R = \frac{v_s \mp v_R}{v_s \pm v_F} f_F$$

f_R freq. del receptor
 f_F freq. de la fuente
 v_R vel. del receptor
 v_F vel. de la fuente

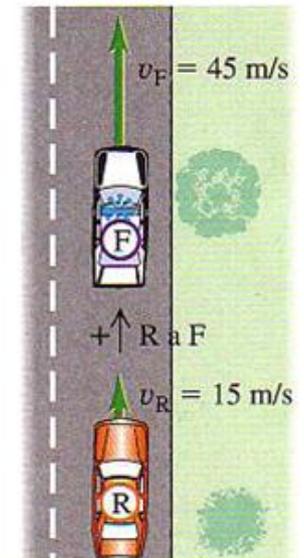


$$f_R = \frac{v_s \mp v_R}{v_s \pm v_F} f_F$$

Un receptor que se mueve hacia una fuente oye una frecuencia más alta (tono más agudo) que un receptor estacionario. Un receptor que se aleja de la fuente oye una frecuencia más baja (tono más grave).



16.28 Las crestas de ondas emitidas por una fuente móvil se juntan al frente de la fuente (a la derecha en este caso) y se separan detrás (a la izquierda aquí).



Tanto el receptor como la fuente están en movimiento, ambas velocidades son positivas por que los vectores apuntan en la dirección del receptor a la fuente.