6 Movimiento ondulatorio

Una onda consiste en el movimiento de la propagación de una perturbación sin que exista transporte neto de materia.

En una onda se propaga energía pero no materia. Pero aunque no sea materia sí puede interaccionar con ésta.

En la representación de una onda se muestra como varía la propiedad perturbada en función del tiempo o de la distancia al foco origen de la perturbación.

Una onda transporta energía pero no materia.

6 Movimiento ondulatorio

Clasificación de las ondas

Según el soporte

- Ondas mecánicas: necesitan de un medio material para propagarse.
- Ondas electromagnéticas: no requieren de un medio material para propagarse.

Según las dimensiones de propagación

- Unidimensionales: se propagan en una sola dirección.
- Bidimensionales: se propagan por una superficie (dos dimensiones).
- Tridimensionales o espaciales: se propagan por el espacio (tres dimensiones).

Según la dirección de perturbación frente a la de propagación

- Longitudinales: ambas direcciones coinciden.
- Transversales: ambas direcciones son perpendiculares entre sí.

6 Movimiento ondulatorio

Ondas mecánicas

La propagación de una onda mecánica requiere que el medio sea elástico y posea inercia. De la relación entre estas dos propiedades depende la velocidad de propagación de una onda en un medio material. Así, en general, la velocidad de propagación de una onda se expresa por:

$$v=\sqrt{\frac{propiedad\ elástica}{propiedad\ inercial}}$$

que aplicado al caso de un pulso en una cuerda sería: $v=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

donde T es la tensión (propiedad elástica) y μ es la masa por unidad de longitud de la cuerda, densidad lineal, (propiedad inercial).

6 Movimiento ondulatorio

Ecuación de una onda

La expresión matemática que representa la propagación de una onda es una función de la coordenada de la dirección de avance y del tiempo. A dicha función se la denomina ***función de onda***.

$$y = f(x, t)$$

Si el movimiento de avance de una onda es de izquierda a derecha, la función es de la forma:

$$y = f(x - vt)$$

Y si se desplaza de derecha a izquierda, tiene la forma:

$$y = f(x + vt)$$

Donde v es la velocidad a la que se propaga la onda.

6 Movimiento ondulatorio

Ondas armónicas

Una perturbación que se propaga en un medio debido a un oscilador armónico constituye una onda armónica. En ella cabe definir las siguientes características:

Longitud de onda, λ: distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de perturbación (misma fase).

Periodo, T: Tiempo que tarda un punto cualquiera en volver al mismo estado de perturbación.

Frecuencia, f: Número de veces que un punto cualquiera pasa por el mismo estado de perturbación en la unidad de tiempo (inversa del periodo).

Número de onda, k: Número de longitudes de onda que hay en 2π radianes.

Velocidad de propagación, v: Desplazamiento efectuado por la onda en la unidad de tiempo, es decir, una longitud de onda, λ, en un tiempo T.

6 Movimiento ondulatorio

Ecuación de las ondas armónicas

Una onda armónica que se propaga ***hacia la derecha*** a lo largo del eje X, viene dada por la ecuación:

$$y(x,t) = A \sin k(x - vt)$$

Considerando las relaciones entre magnitudes, tenemos que:

$$\boxed{y(x,t) = A \sin(kx - \omega t)}$$

Y si la onda armónica se desplazara ***hacia la izquierda***:

$$\boxed{y(x,t) = A \sin(kx + \omega t)}$$

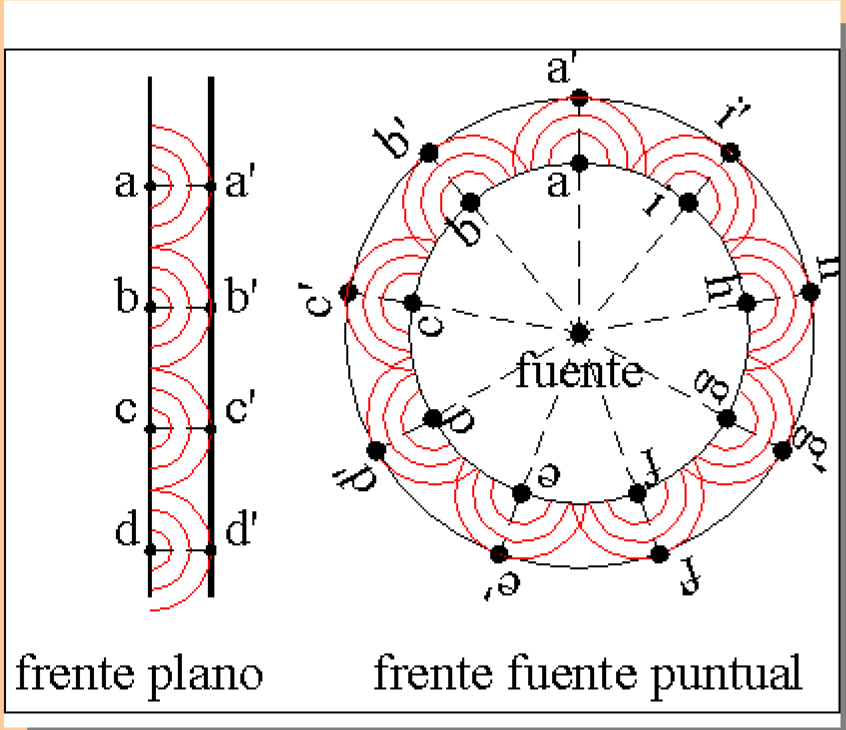
6 Movimiento ondulatorio

El principio de Huygens

Permite explicar de forma sencilla algunas propiedades de las ondas: reflexión, refracción, difracción e interferencias.

Una onda se propaga como frentes de onda, siendo un frente de onda la superficie que une todos los puntos del medio alcanzados por el movimiento ondulatorio en un mismo instante.

Todo punto de un medio alcanzado por un frente de onda se comporta como un foco emisor de ondas secundarias. La envolvente a todas las ondas secundarias constituye un nuevo frente de ondas.

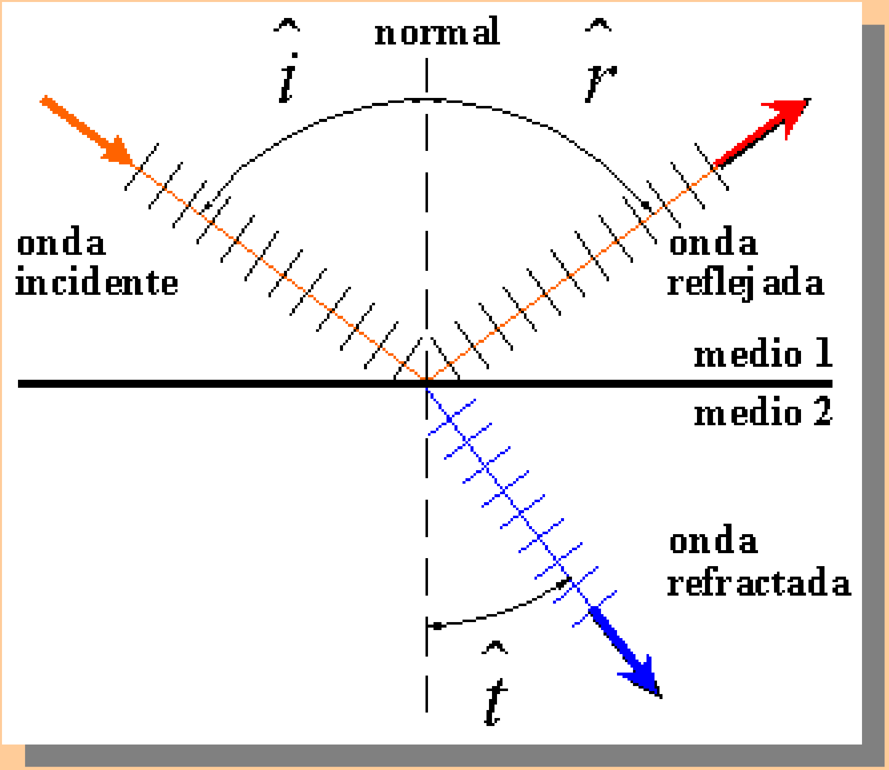


6 Movimiento ondulatorio

Reflexión y refracción

Cuando una onda que se propaga por un medio llega a la superficie de separación con otro medio distinto, parte de la onda se refleja y sigue propagándose por el mismo medio, mientras que la otra parte pasa a propagarse por el otro medio, donde al ser distinto, lo hará con diferente velocidad.

La primera parte de la onda recibe el nombre de *onda reflejada* y la segunda *onda refractada*.

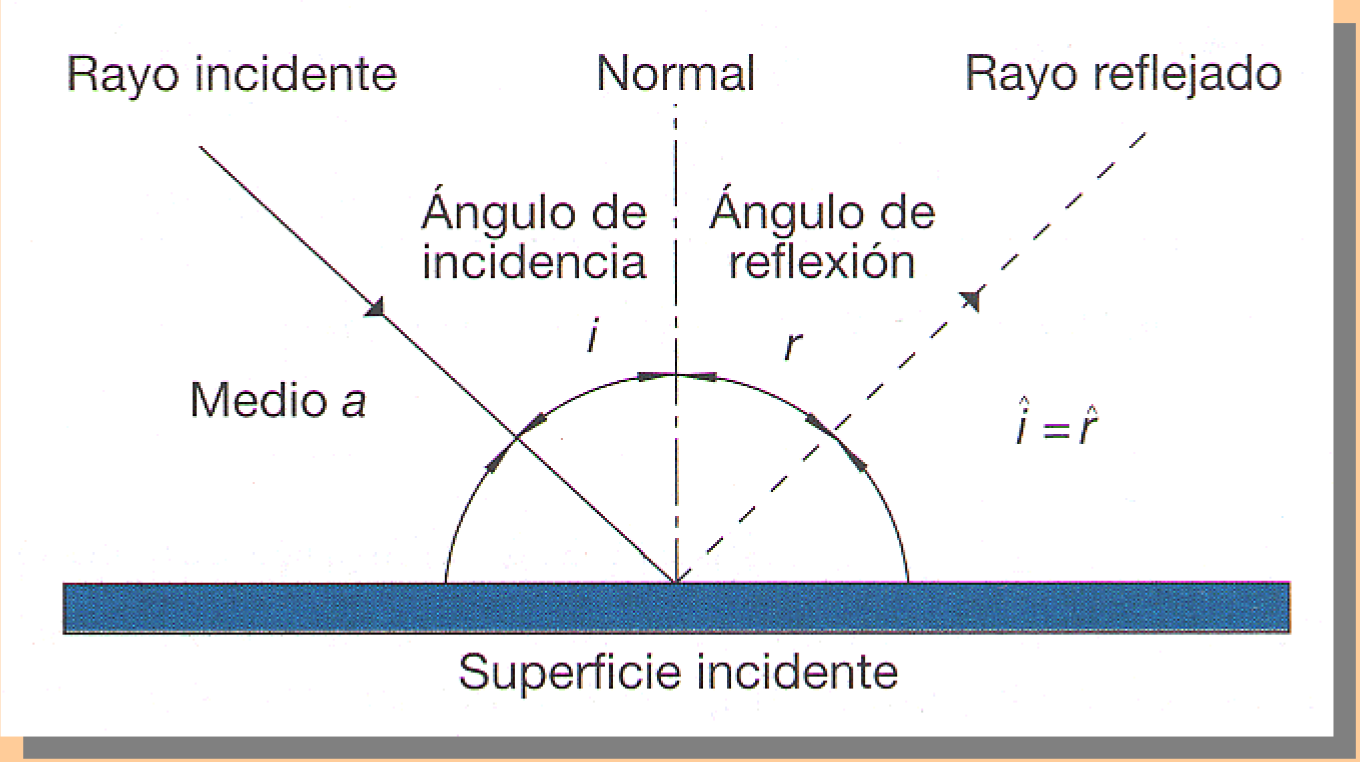


6 Movimiento ondulatorio

Reflexión

Leyes:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia y el reflejado son iguales.



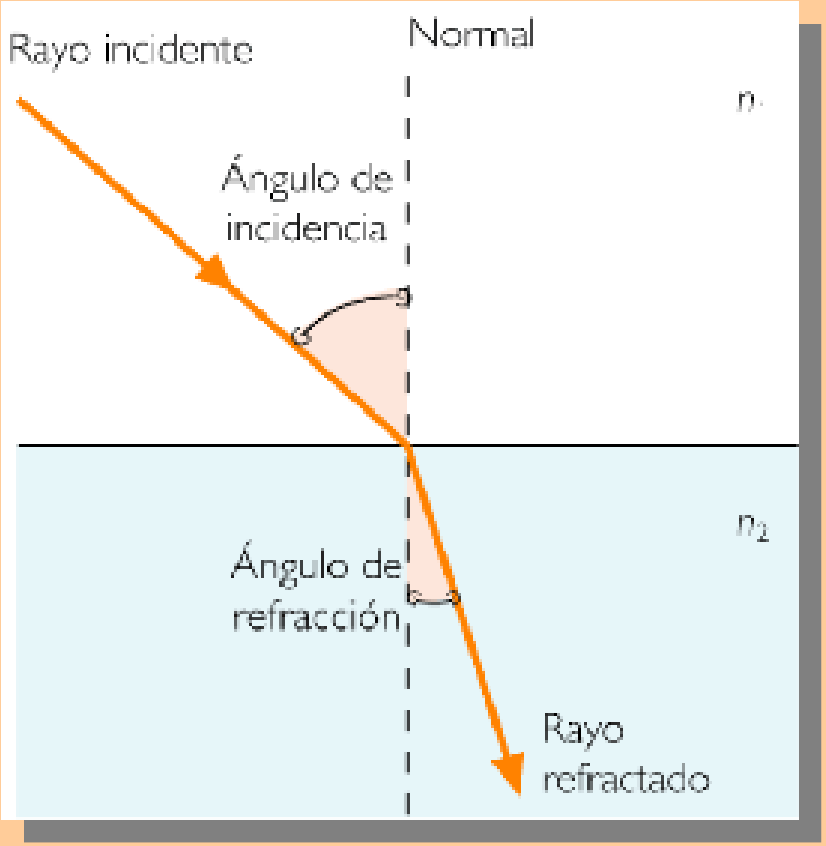
6 Movimiento ondulatorio

Refracción

Leyes:

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano.
- Ley de Snell:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_R} = \frac{v_i}{v_R}$$

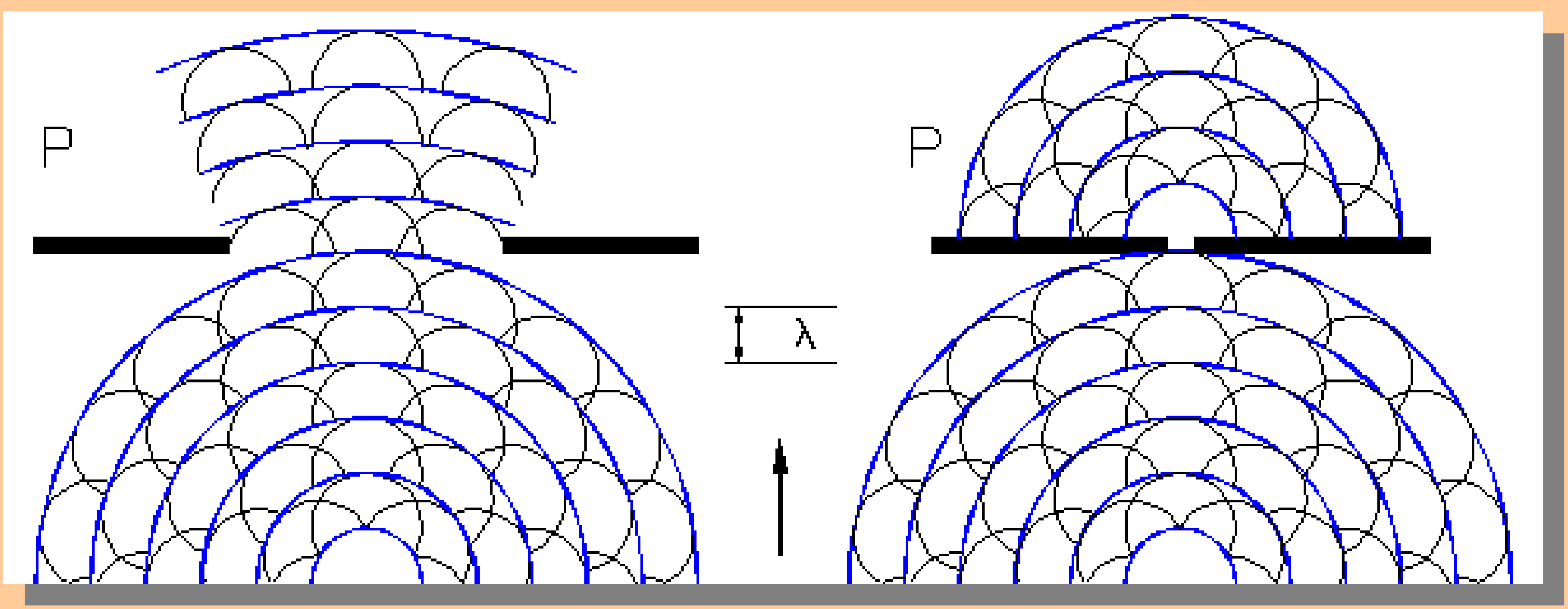


6 Movimiento ondulatorio

Difracción

Es el fenómeno por el cual una onda modifica su dirección de propagación al encontrarse con aberturas u obstáculos.

Este fenómeno tiene importancia cuando las dimensiones de la abertura o del obstáculo son comparables con la longitud de onda.



6 Movimiento ondulatorio

Principio de superposición

El problema de superposición se plantea cuando por un medio se propagan dos o más ondas. Según el principio de superposición, la **elongación** de la onda **resultante** es la **suma de las elongaciones** de cada una por separado.

También se dice que la perturbación producida en un punto por dos o más ondas es igual a la suma algebraica de las perturbaciones producidas en dicho punto por cada una de las ondas consideradas de modo aislado.

Ninguna de las ondas pierde sus características; es decir, después de superponerse, cada una se propaga de la misma forma que antes.

Al superponerse, los efectos de las ondas pueden en cada punto reforzarse o debilitarse, dando lugar a los fenómenos de **interferencias**, constructivas o destructivas, respectivamente.

6 Movimiento ondulatorio

Interferencias

Consideremos dos ondas armónicas de la misma amplitud, longitud de onda y frecuencia, pero de diferente fase (una de ellas está desfasada un ángulo δ respecto a la otra). Ambas viajan por un mismo medio y en la misma dirección.

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t)$$
$$y_2 = A\sin(kx - \omega t + \delta)$$

Al coincidir ambas en un punto x en un instante t, la perturbación en ese punto será la suma de ambas perturbaciones:

$$y = y_1 + y_2 = A\left[\sin\underbrace{(kx - \omega t)}_{a} + \sin\underbrace{(kx - \omega t + \delta)}_{b}\right]$$

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

6 Movimiento ondulatorio

Interferencias

La perturbación resultante viene dada por:

$$y=\underbrace{\left(2A\cos\frac{\delta}{2}\right)}_{A'}\cdot\sin\left(kx-\omega t-\frac{\delta}{2}\right)$$

- Las ondas están en concordancia de fase: $\delta = 0$ $\quad A'=2A\cos 0=2A$

  Dos ondas que interfieren con **desfase nulo** lo hacen de manera **constructiva**.

- Las ondas están en oposición de fase: $\delta = \pi$ $\quad A'=2A\cos\frac{\pi}{2}=0$

  Dos ondas que interfieren en **oposición de fase** lo hacen de manera **destructiva**.

6 Movimiento ondulatorio

Condiciones de máximos y mínimos

Consideremos dos focos que emiten ondas de las mismas características. ¿En qué puntos del medio se dará una onda constructiva?, ¿y una destructiva?

$$y_1 = A\sin(kx_1 - \omega t)$$
$$y_2 = A\sin(kx_2 - \omega t)$$

Calculando la elongación en ese punto del medio: $y = y_1 + y_2$:

$$y = \underbrace{\left(2\mathrm{A}\cos k\left(\frac{x_1 - x_2}{2}\right)\right)}_{A'} \cdot \sin\left(\frac{k(x_1 + x_2)}{2} - \omega t\right)$$

La interferencia será **constructiva** cuando $\boxed{(x_1 - x_2) = n\lambda}$ Condición de máximo.

La interferencia será **destructiva** cuando $\boxed{(x_1 - x_2) = (2n + 1)\,\lambda/2}$ Condición de mínimo.

6 Movimiento ondulatorio

Ondas estacionarias

Un caso especial e importante de interferencia de ondas es el que se da entre ondas idénticas que viajan por el mismo medio pero en sentidos opuestos.

En realidad no es un movimiento ondulatorio propiamente dicho, pues cada punto del medio vibra con un MAS de distinta amplitud. Los puntos que vibran con máxima amplitud reciben el nombre de **vientres** (o antinodos) y los que no vibran, **nodos**. Por tanto la energía no se propaga en una onda estacionaria.

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t)$$
$$y_2 = A\sin(kx + \omega t)$$

$$\boxed{y = y_1 + y_2 = \underbrace{2A\sin kx}_{A'} \cdot \cos\omega t}$$

Ecuación de un MAS

6 Movimiento ondulatorio

Ondas estacionarias

$$\boxed{y = \underbrace{2A\sin kx}_{A'} \cdot \cos\omega t}$$

- La amplitud es función de la posición, *x*, de modo que determinados puntos oscilan con amplitud máxima y otros no oscilan.
- La frecuencia es igual a la de las ondas que interfieren.

NODOS: En ellos la amplitud es nula → sin kx = 0 → kx = 0, π, 2π, 3π,...

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = n\pi \quad \Rightarrow \quad \boxed{x = n\frac{\lambda}{2}}$$

VIENTRES: En ellos la amplitud es máxima → sin kx = 1 → $kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \ldots$

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = (2n+1)\frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}}$$

6 Movimiento ondulatorio

Frecuencias de las ondas estacionarias

Una cuerda de longitud *L*, fija por ambos extremos (una cuerda de un instrumento musical). En este caso, los extremos cumplen la condición de nodos, así que:

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

Como $\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow L = n\frac{v}{2f} \Rightarrow \boxed{f = n\frac{v}{2L}}$

Donde *v* es la velocidad de propagación de la onda.

Dándole a ***n*** valores (1, 2, 3, …) obtenemos las posibles frecuencias que darán lugar al establecimiento de ondas estacionarias. Cuando ***n = 1*** tendremos la **frecuencia fundamental** y a partir de ***n* = 2** tendremos los distintos **armónicos**.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

1. La ecuación de una onda que se propaga en una cuerda es:

$$y(x,t)=0{,}5\sin\pi(8t-4x) \quad \text{(En unidades SI)}$$

a) Determine la velocidad de propagación de la onda y la velocidad de un punto de la cuerda y explique el significado de cada una de ellas.

b) Represente gráficamente la posición de los puntos de la cuerda en el instante t = 0, y la elongación en x = 0 en función del tiempo

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

2. La ecuación de una onda es:

$$y(x,t)=4\sin(6t-2x+\frac{\pi}{6}) \quad \text{(En unidades SI)}$$

a) Explique las características de la onda y determine la elongación y la velocidad, en el instante inicial, en el origen de coordenadas.

b) Calcule la frecuencia y la velocidad de propagación de la onda, así como la diferencia de fase entre dos puntos separados 5 m, en un mismo instante.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

3. La perturbación, Ψ, asociada a una nota musical tiene por ecuación:

$$\Psi(x,t)=5{,}5\cdot 10^{-3}\sin(2764{,}6\,t-8{,}11\,x) \qquad (\text{SI})$$

a) Explique las características de la onda y determine su frecuencia, longitud de onda, periodo y velocidad de propagación.

b) ¿Cómo se modificaría la ecuación de onda anterior si, al aumentar la temperatura del aire, la velocidad de propagación aumenta hasta un valor de 353 m s^{-1}?

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

4. Por una cuerda se propaga un movimiento ondulatorio caracterizado por la función de onda:

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

Razone a qué distancia se encuentran dos puntos de esa cuerda si:

a) La diferencia de fase entre ellos es de π radianes.

b) Alcanzan la máxima elongación con un retardo de un cuarto de periodo.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

5. Un altavoz produce una onda sonora de 10^{-3} m de amplitud y una frecuencia de 200 Hz, que se propaga con una velocidad de 340 m s^{-1}.

a) Escriba la ecuación de la onda, suponiendo que ésta se propaga en una sola dirección.

b) Represente la variación espacial de la onda, en los instantes $t = 0$ y $t = T/4$.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

6. En una cuerda tensa de 16 m de longitud, con sus extremos fijos, se ha generado una onda de ecuación:

$$y(x,t)=0{,}02 \sin \pi x \cos 8\pi t \qquad \text{(S.I.)}$$

a) Explique de qué tipo de onda se trata y cómo podría producirse. Calcule su longitud de onda y su frecuencia.

b) Calcule la velocidad en función del tiempo de los puntos de la cuerda que se encuentran a 4 m y 6 m, respectivamente, de uno de los extremos y comente los resultados.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

7. Se hace vibrar una cuerda de guitarra de 0,4 m de longitud, sujeta por los dos extremos.

a) Calcule la frecuencia fundamental de vibración, suponiendo que la velocidad de propagación de la onda en la cuerda es de 352 m s^{-1}.

b) Explique por qué, si se acorta la longitud de una cuerda en una guitarra, el sonido resulta más agudo.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

8. La ecuación de una onda en una cuerda es:

$$y(x,t)=0{,}2\sin 6\pi x\cdot\cos 20\pi t \qquad \text{(S.I.)}$$

a) Explique las características de la onda y calcule su periodo, longitud de onda y velocidad de propagación.

b) Determine la distancia entre dos puntos consecutivos con amplitud cero e indique el nombre y las características de dichos puntos.

6 Movimiento ondulatorio

Problemas

9. Dos fenómenos físicos vienen descritos por las expresiones siguientes:

$$y = A \sin b\,t \qquad\qquad y = A \sin(bt - cx)$$

En las que “x” e “y” son coordenadas espaciales y “t” el tiempo.

a) Explique de qué tipo de fenómeno físico se trata en cada caso e identifique los parámetros que aparecen en dichas expresiones, indicando sus respectivas unidades.

b) ¿Qué diferencia señalaría respecto de la periodicidad de ambos fenómenos?