Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias
Escuela de Física

Capítulo 15
Ondas Mecánicas

FS0310 Física General II
Grupo 07
I Ciclo 2015

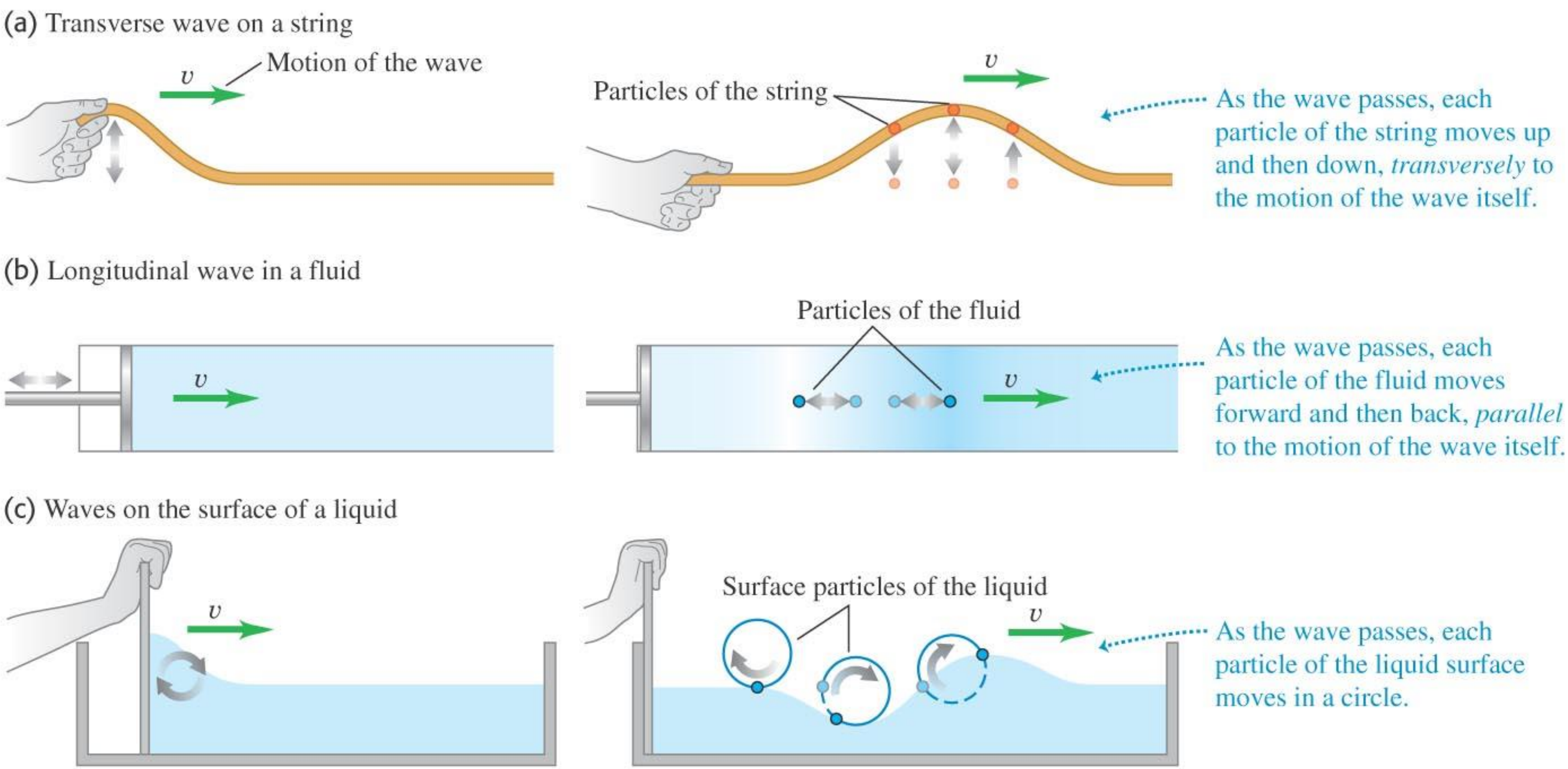
Adaptado de las notas de clase de Wayne Anderson

Introducción

- Ondas: se generan cuando se perturba el estado de equilibrio de un sistema.
- La perturbación se propaga de una región del sistema a otro.
- La onda transporta energía: luz solar, ondas sísmicas.
- Onda mecánica: ondas que viajan por un material llamado *medio*.
- Ondas electromagnéticas (luz, radio, radiación UV/IR, rayos X) se pueden propagar en el vacío.

15.1 Tipos de ondas mecánicas

- La Figura 15.1 ilustra ondas transversales y longitudinales



Características en común de los tres ejemplos

- Rapidez de onda *v*: rapidez de propagación de la perturbación. NO es la rapidez con la que se mueven las partículas del medio.

- El medio mismo no viaja en el espacio: movimientos c.r.a las posiciones de equilibrio.

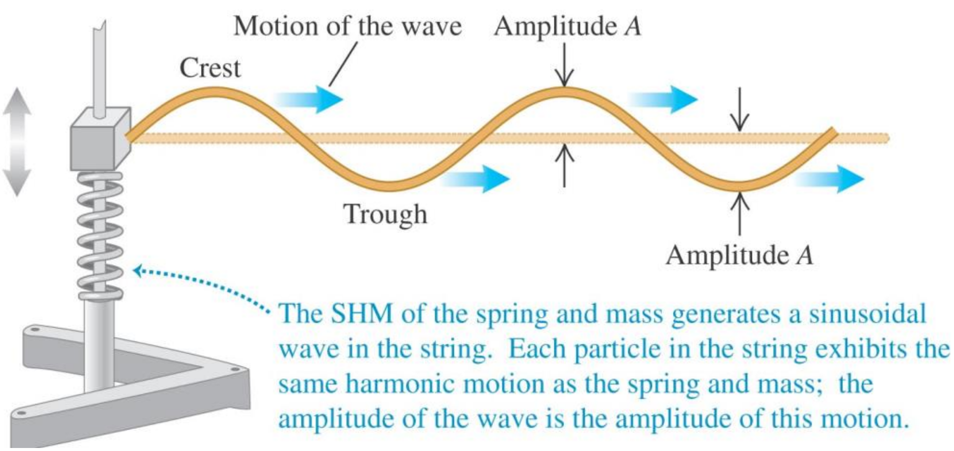
- Se debe aportar energía para poner en movimiento el sistema: trabajo mecánico sobre el sistema.

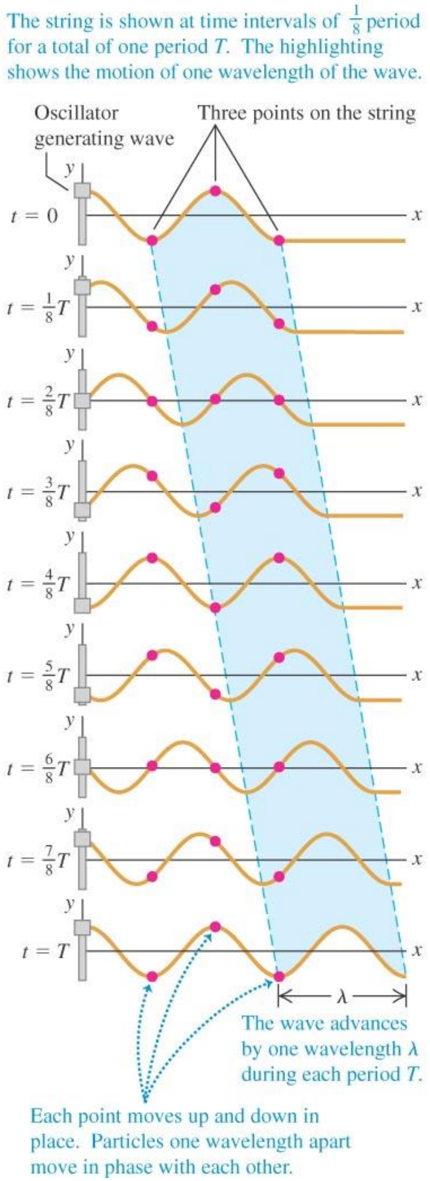
15.2 Ondas periódicas

- Para una onda periódica, cada partícula del medio experimenta un movimiento periódico.
- La longitud de onda λ es la longitud de un patrón completo de onda. Ejemplo: distancia entre crestas o valles.
- La rapidez de una onda periódica de frecuencia f es $v = \lambda f$.

Ondas transversales periódicas

- Para las ondas transversales mostradas en las Figuras 15.3 y 15.4, las partículas se mueven para arriba y para abajo, pero la onda se mueve hacia la derecha.

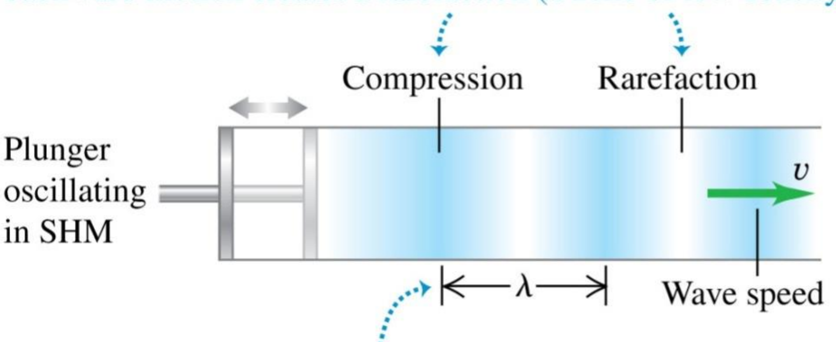




Ondas periódicas longitudinales

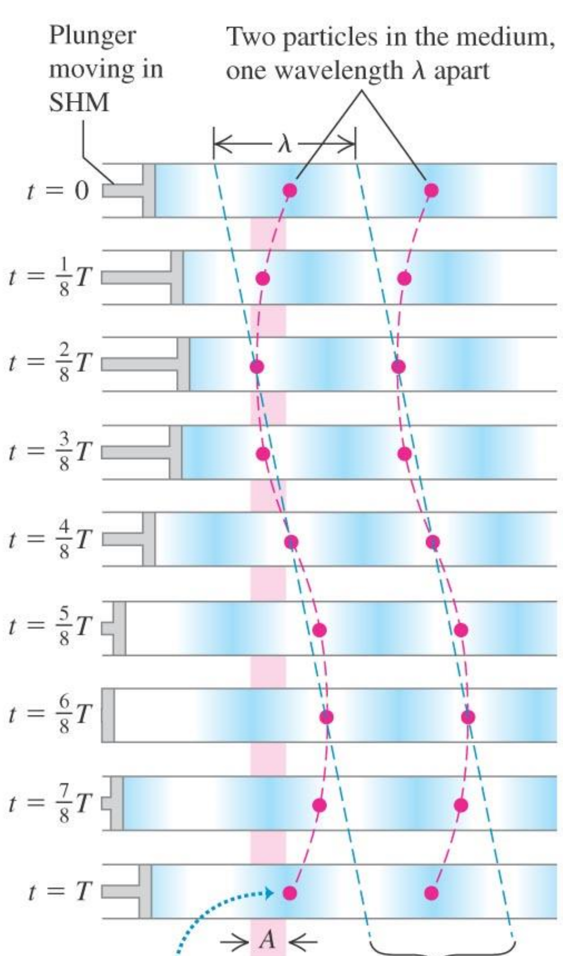
- Para las ondas longitudinales mostradas en las Figuras 15.6 y 15.7, las partículas oscilan hacia adelante y hacia atrás a lo largo de la dirección en la que la onda se mueve.

Forward motion of the plunger creates a compression (a zone of high density); backward motion creates a rarefaction (a zone of low density).



Wavelength λ is the distance between corresponding points on successive cycles.

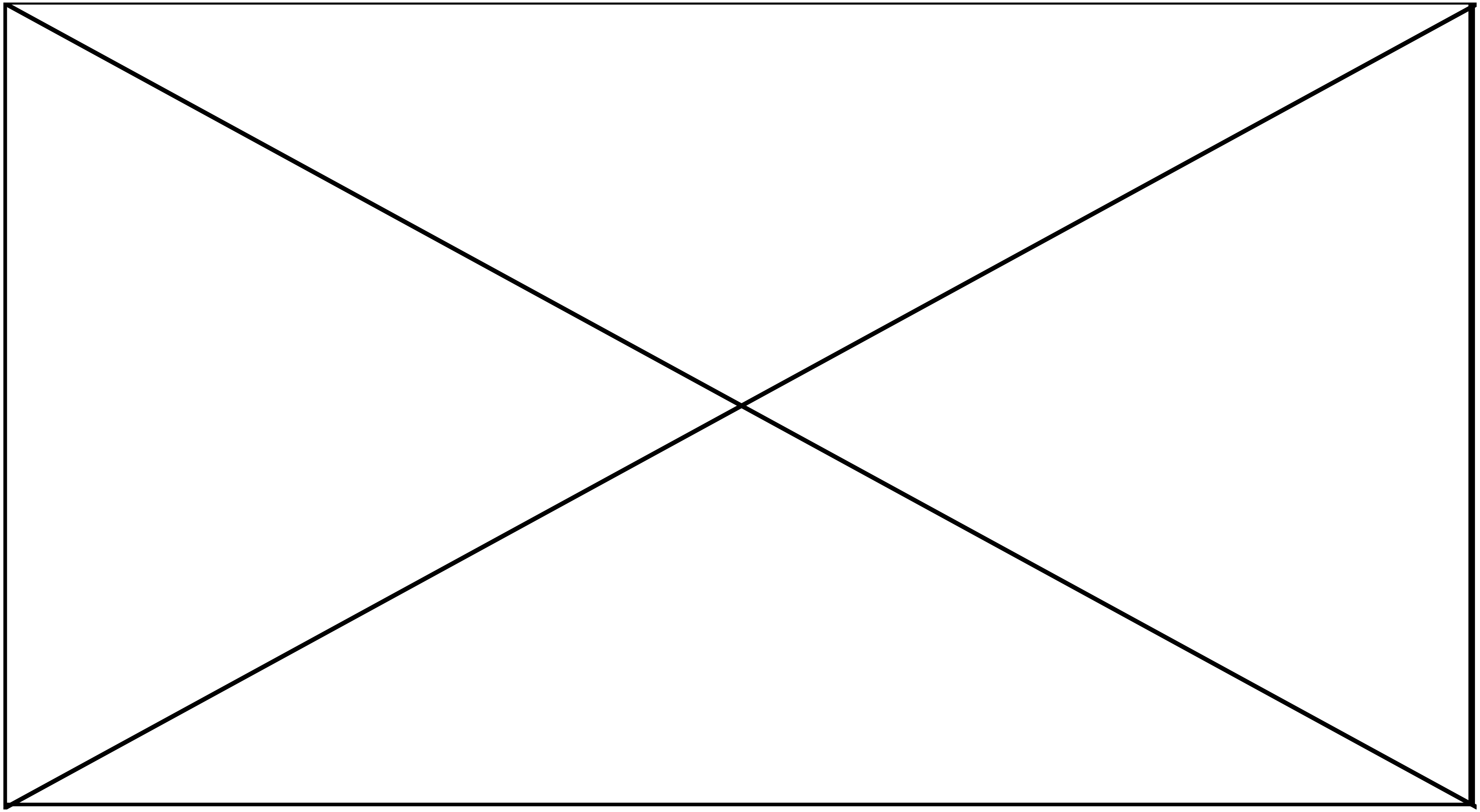
Longitudinal waves are shown at intervals of $\frac{1}{8}T$ for one period T.



Particles oscillate with amplitude A.

The wave advances by one wavelength λ during each period T.

Video: ondas longitudinales y transversales



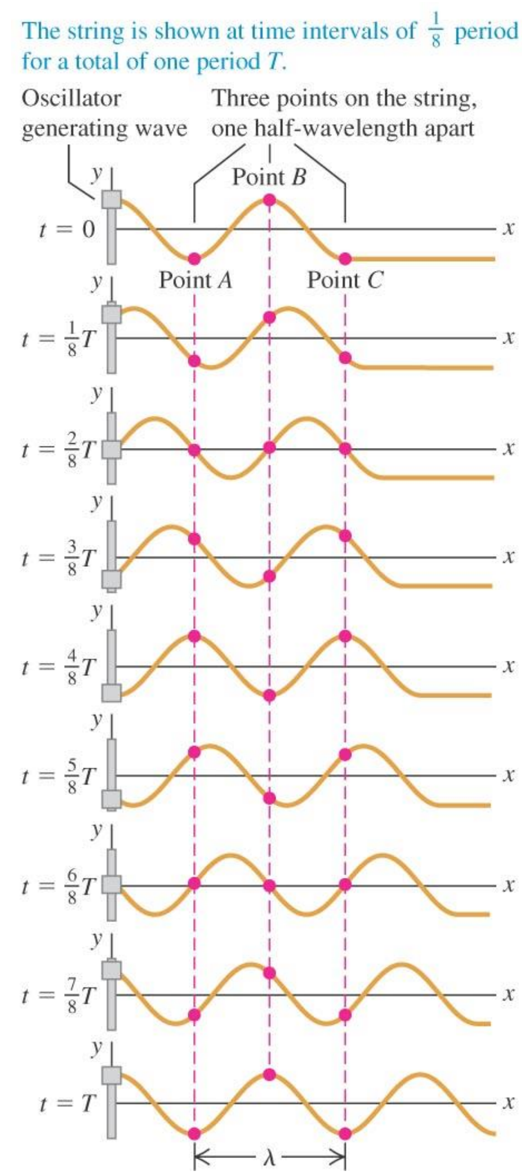
https://www.youtube.com/watch?v=7cDAYFTXq3E

15.3 Descripción matemática de una onda

- La *función de onda, y*(*x*,*t*), da una descripción matemática de la onda. En esta función, *y* es el desplazamiento c.r.a equilibrio en un tiempo *t* y posición *x*.

- La función de onda para una onda sinusoidal que se mueve en la dirección +*x* es $y(x,t) = A\cos(kx - \omega t)$, donde $k = 2\pi/\lambda$ se llama *número de onda*.

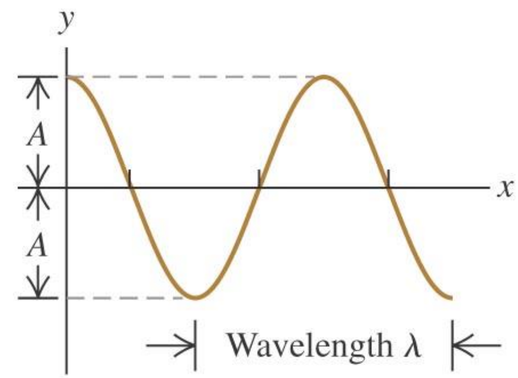
- La Figura 15.8 a la derecha ilustra una onda sinusoidal.



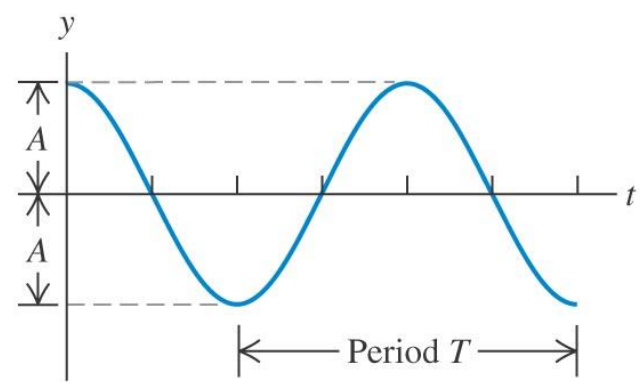
Gráfica de la función de onda

- Los gráficos en la Figura 15.9 se ven parecidos, pero *no* son idénticos. El gráfico (a) muestra la *forma* de la cuerda en $t = 0$, pero el gráfico (b) muestra el *desplazamiento y* en función del tiempo en x = 0.

(a) If we use Eq. (15.7) to plot y as a function of x for time $t = 0$, the curve shows the *shape* of the string at $t = 0$.

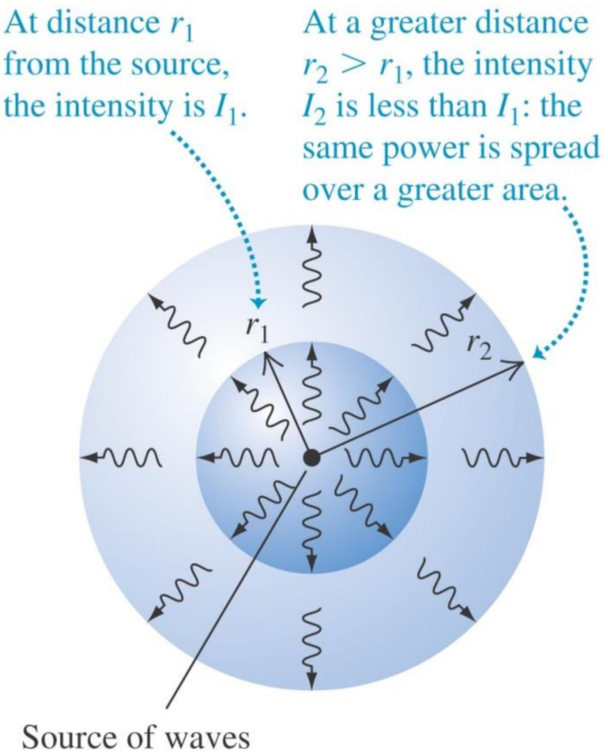


(b) If we use Eq. (15.7) to plot y as a function of t for position $x = 0$, the curve shows the *displacement* y of the particle at $x = 0$ as a function of time.



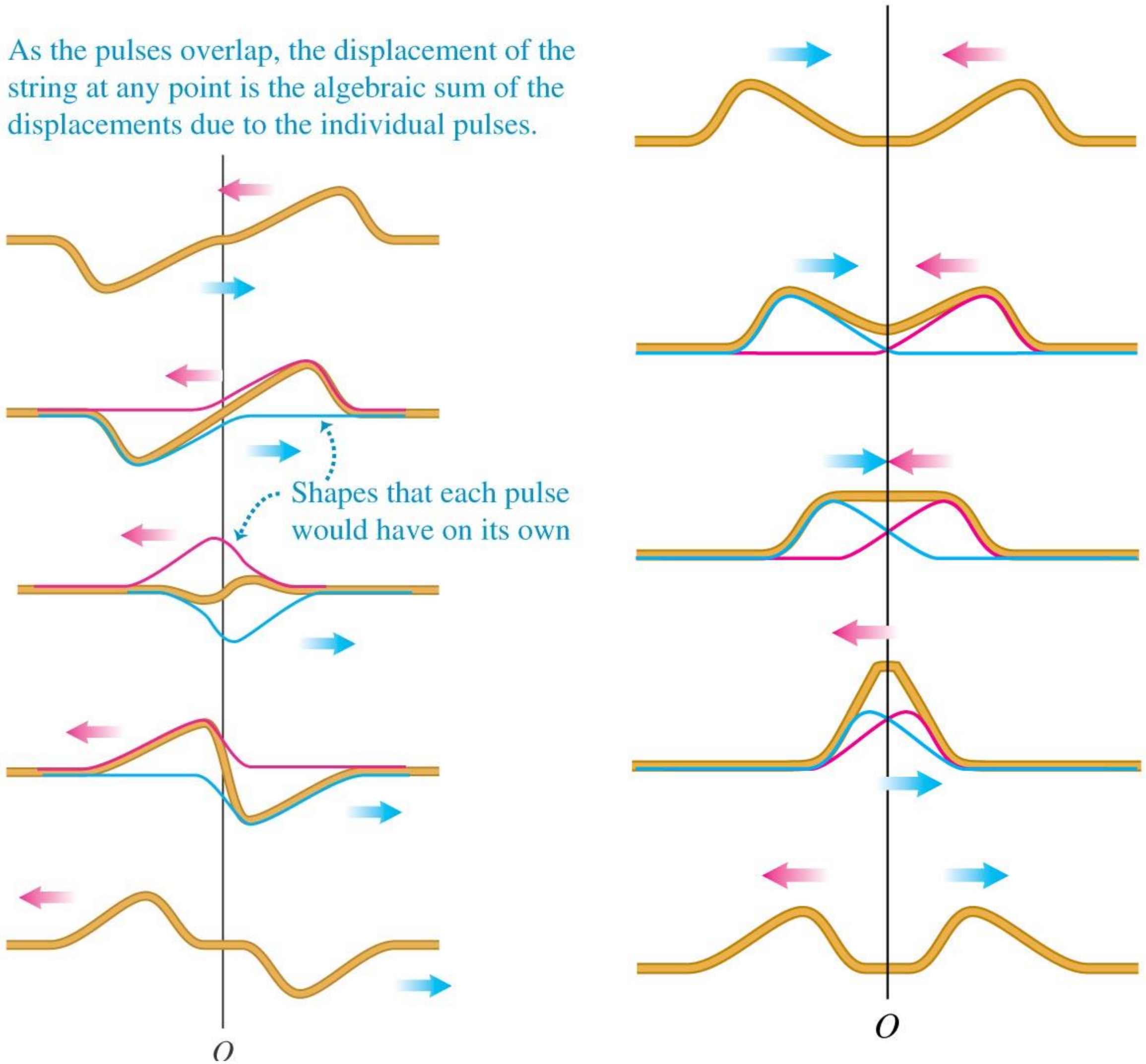
15.5 Energía del movimiento ondulatorio

- Si las ondas se propagan uniformemente en todas las direcciones y no hay absorción de energía, la intensidad I a cualquier distancia r a partir de la fuente es inversamente proporcional a r^2: $I \propto 1/r^2$. (Ver Figura 15.17 a la derecha.)



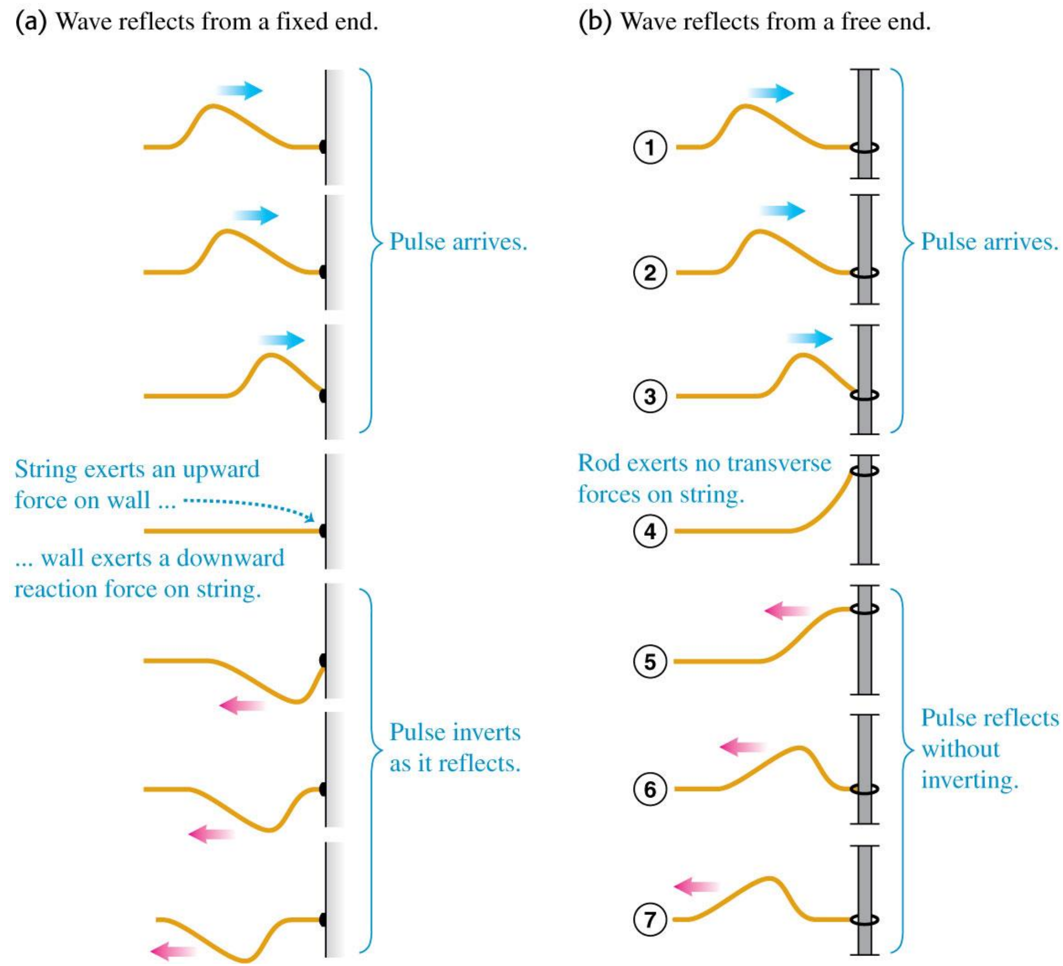
15.6 Interferencia y superposición

- *Interferencia* es la superposición de ondas
- *Principio de superposición*: Cuando dos ondas se superponen, es desplazamiento real de cualquier punto de la cuerda es la suma de los desplazamientos producidos por cada onda.



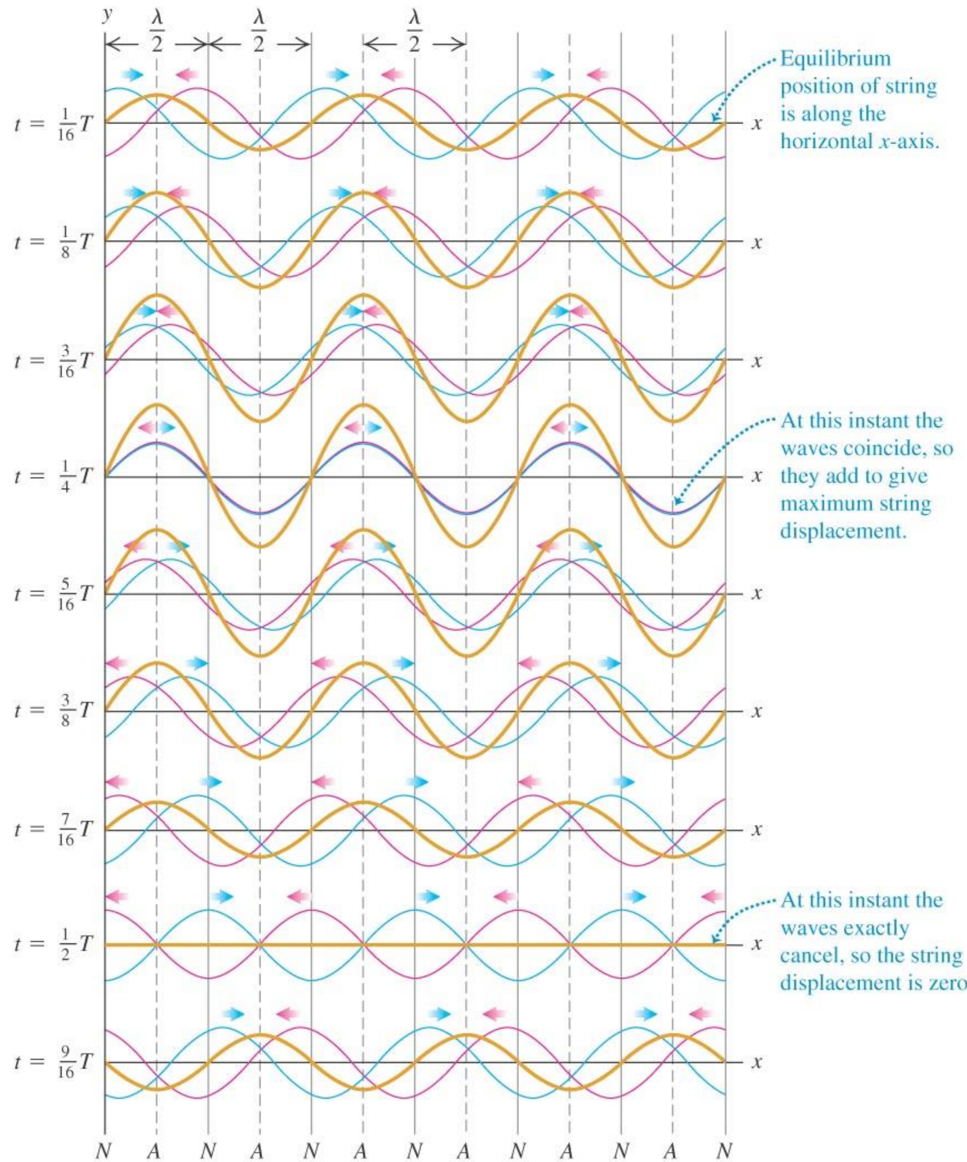
Condiciones de fronterra

- Reflexión de una onda en un *extremo fijo*.
- Reflexión en un *extremo libre*.
- APPLET



15.7 Ondas estacionarias

- En la Figura 15.24, una onda hacia la izquierda se combina con una onda hacia la derecha para formar una onda estacionaria.



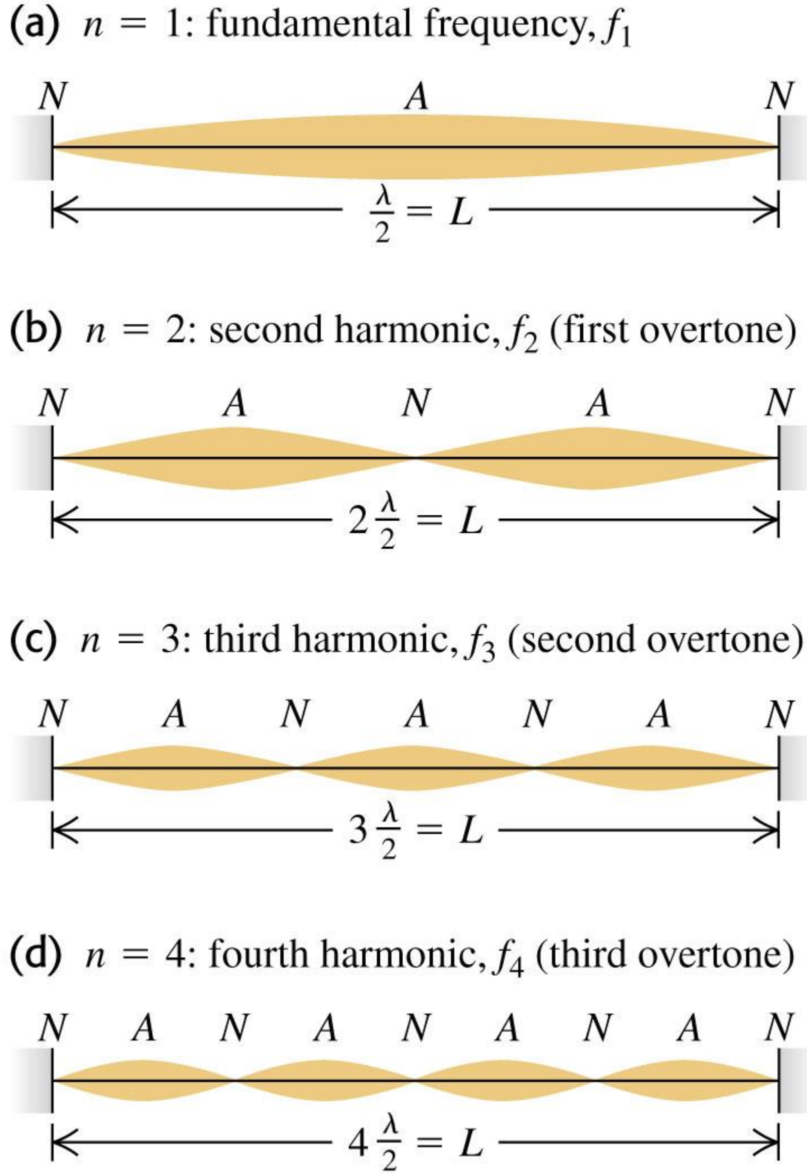
15.7 Ondas estacionarias

- Animación 1: https://www.youtube.com/watch?v=X8qZO6g_X5Q

- Animación 2:
- https://www.youtube.com/watch?v=3BN5-JSsu_4

15.8 Modos normales de una cuerda

- Para una cuerda sujeta rígidamente en ambos extremos, las posibles longitudes de onda son $\lambda_n = 2L/n$ y las posibles frecuencias son $f_n = n\, v/2L = nf_1$, donde $n = 1, 2, 3, \ldots$
- f_1 es la *frecuencia fundamental*, f_2 es el segundo armónico (primer sobretono), f_3 es el tercer armónico (segundo sobretono), etc.
- La Figura 15.26 ilustra los primeros cuatro armónicos



Ejemplo

- Ejercicio 15.6. Un pescador observa que su bote se mueve periódicamente hacia arriba y hacia abajo, debido a las olas en la superficie del agua. Al bote le toma 2.5 s pasar de su punto más alto al más bajo, una distancia total de 0.62 m. El pescador nota que las crestas de las olas están separadas 6.0 m. a) ¿Con qué rapidez se mueven las olas? b) ¿Cuál es la amplitud de cada ola? c) Si la distancia vertical total que viaja el bote fuera 0.30 m y los otros datos fueran los mismos, ¿cómo varían las respuestas de los incisos a) y b).

Ejemplo

- Ejercicio 15.8. La ecuación de cierta onda transversal es

$$y(x,t) = (6.50\ \text{mm}) \cos 2\pi \left(\frac{x}{28.0\ \text{cm}} - \frac{t}{0.0360\ \text{s}} \right)$$

- Determine a) amplitud, b) longitud de onda, c) frecuencia, d) rapidez de propagación y e) dirección de propagación de la onda.

Ejemplo

- Ejercicio 15.12. a) Demuestre que la ecuación (15.3) puede escribirse como

$$y(x,t) = A\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right]$$

- b) Utilice *y(x,t)* para obtener una expresión para la velocidad transversal v_y de una partícula de la cuerda en la que viaja la onda. ¿En qué circunstancias esta rapidez es igual a la rapidez de propagación *v*? ¿Menor que *v*? ¿Y mayor que *v*?

Ejemplo

- Ejercicio 15.17. El extremo superior de un alambre de acero de 3.80 m de longitud está sujeto al techo, y del extremo inferior se suspende un objeto de 54.0 kg. Usted observa que a un pulso transversal le toma 0.0492 s viajar de la parte inferior a la parte superior del alambre. ¿Cuál es la masa del alambre?

Ejemplo

- Ejercicio 15.18. Una cuerda de 1.50 m que pesa 0.0125 N está atada al techo por su extremo superior, mientras que el extremo inferior sostiene un peso *W*. Cuando usted da un leve pulso a la cuerda, las ondas que viajan hacia arriba de esta obedecen la ecuación $y(x,t) = (8.50\ \mathrm{mm})\cos(172\ \mathrm{m}^{-1}\,x - 4830\ \mathrm{s}^{-1}\,t)$

- Suponga que la tensión de la cuerda es igual a *W*. a) ¿Cuánto tiempo tarda un pulso en recorrer toda la cuerda? b) ¿Cuál es el peso W? c) ¿Cuántas longitudes de onda hay en la cuerda? d) Ecuación para las ondas que viajan hacia abajo.

Ejemplo

- Ejercicio 15.22. La cuerda de un piano con masa de 3.00 g y longitud de 80.0 cm se estira con una tensión de 25.0 N. Una onda con frecuencia de 120.0 Hz y amplitud de 1.6 mm viaja por la cuerda. a) Calcule la potencia media que transporta esta onda. b) ¿Qué sucede con la potencia si la amplitud se reduce a la mitad?

Ejemplo

- Ejercicio 15.25. Cuando despega un avión, produce un sonido con intensidad de 10.0 W/m^2 a 30.0 m de distancia. No obstante, usted prefiere el tranquilo sonido de la conversación normal, que es de 1.0 $\mu W/m^2$. a) ¿Cuál es la distancia mínima a la pista de aterrizaje a la que podría vivir para conservar su estado de paz mental? b) ¿Qué intensidad de sonido experimenta un amigo suyo, quien vive a una distancia del aeropuerto que es el doble de la distancia a la que usted vive? c) ¿Qué potencia de sonido produce el avión en el despegue?

Ejemplo

- Ejercicio 15.36. Los antinodos adyacentes de una onda estacionaria en una cuerda están separados 15.0 cm. Una partícula en un antinodo oscila en movimiento armónico simple con amplitud de 0.850 cm y periodo de 0.0750 s. La cuerda está en el eje +x, fija en x = 0. a) ¿Qué tan separados están los nodos adyacentes? b) ¿Cuáles son la longitud de onda, la amplitud, la rapidez de las dos ondas viajeras que forman este patrón? c) Calcule las rapideces transversales máxima y mínima de un punto en un antinodo. d) ¿Cuál es la distancia mínima en la cuerda entre un nodo y un antinodo?

Ejemplo

- Ejercicio 15.42. Un afinador de piano estira un alambre de piano de acero con una tensión de 800 N. Elalambre tiene 0,40 m de longitud y una masa de 3 g. a) Calcule la frecuencia de su modo fundamental de vibración.b) Determine el número del armónico más alto que podría oír una persona que captafrecuencias de hasta 10 kHz.