UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Física III (sección 1) (230006-230010) Ondas, Óptica y Física Moderna

Profesor: M. Antonella Cid
Departamento de Física, Facultad de Ciencias
Universidad del Bío-Bío

Carreras: Ingeniería Civil Civil, Ingeniería Civil Mecánica, Ingeniería Civil Industrial

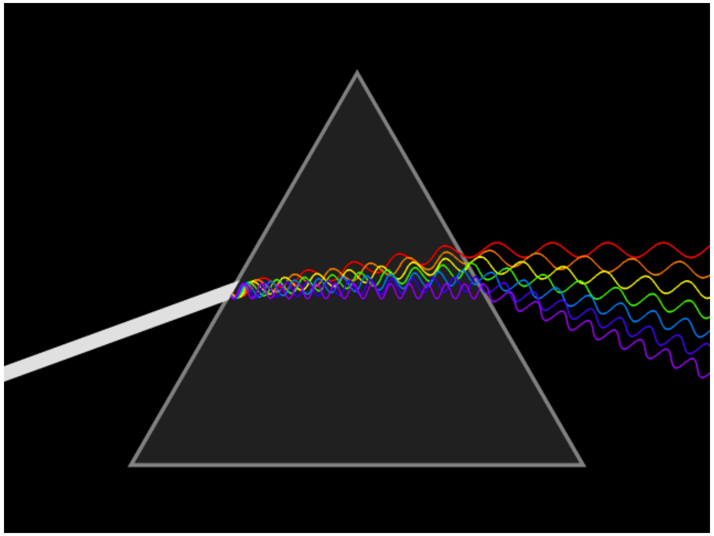
Velocidad de grupo y dispersión

- La onda mantendrá su forma únicamente al viajar por un ***medio no dispersivo***
- En un medio dispersivo, las formas de onda de las ondas sinusoidales componentes no cambian, pero cada una de ellas puede viajar con una velocidad de fase diferente. En este caso, la forma de la onda combinada cambia al alterarse la relación de fase entre las componentes
- La ***dispersión*** ocurre porque las ondas componentes viajan a velocidades de fase diferentes

- La ***velocidad de grupo*** es la velocidad a la cual viaja la información o la energía en una onda real. No existe una relación sencilla entre la velocidad de fase de las componentes y la velocidad de grupo de la onda, depende de la dispersión del medio

- La onda puede cambiar también de forma si cede energía mecánica al medio cuando se presentan ***fuerzas disipativas*** (que dependen en general de la velocidad)

Dispersión de la luz



- En un medio no dispersivo todas las ondas componentes viajan con la misma velocidad de fase. El aire es un ejemplo de un medio aproximadamente no dispersivo. El vacío es un medio no dispersivo.
- En un medio no dispersivo, todas las ondas componentes viajan a la misma velocidad de fase y la velocidad de grupo de la onda resultante será igual al valor común de la velocidad de fase

Interferencia de Ondas

- Cuando dos o más ondas se combinan en un punto determinado, se dice que ellas interfieren y el fenómeno se conoce como ***interferencia***
- Consideremos dos ondas de igual amplitud, frecuencia y longitud de onda pero diferente fase:

$$y_1(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t - \phi_1)$$

$$y_2(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t - \phi_2)$$

$$y(t,x) = y_1(t,x) + y_2(t,x)$$

$$y(t,x) = y_m[\sin(kx - \omega t - \phi_1) + \sin(kx - \omega t - \phi_2)]$$

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Interferencia de Ondas

$$y(t,x) = \underline{[2y_m \cos(\Delta\phi/2)]} \sin[\underline{k}x - \underline{\omega}t - \phi']$$

$$\phi' = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \qquad \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$$: diferencia de fase

- La onda resultante tiene una amplitud diferente, pero la misma frecuencia y longitud de onda que las componentes.

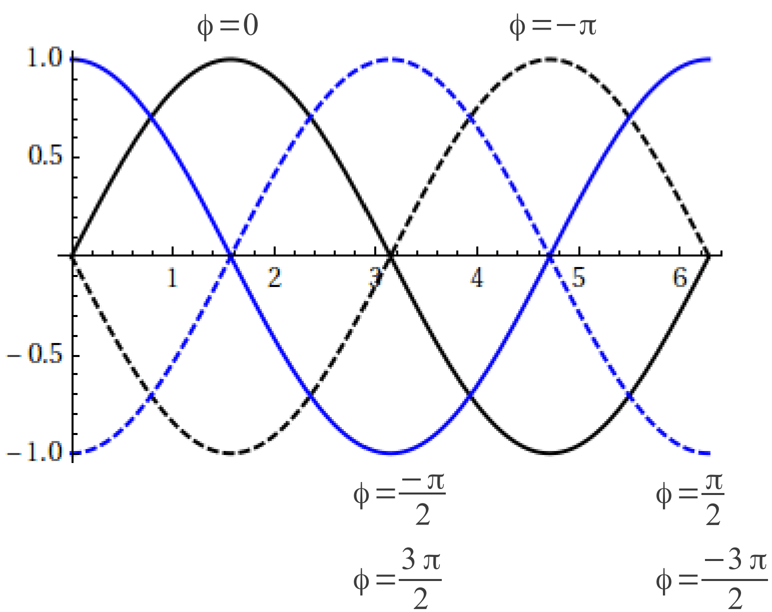
- Si la diferencia de fase es cero, se dice que **las ondas están en fase** y la amplitud de la resultante es el doble de la amplitud original.

- Si la diferencia de fase es cercana a π [rad], la amplitud resultante es casi cero.

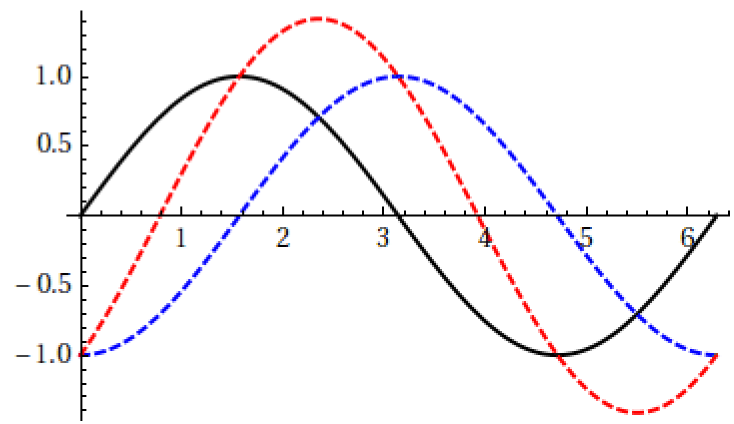
- Para mostrar que la suma de $y_1 + y_2$ corresponde a la expresión que se muestra en esta página utilice la relación: $\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)$

Interferencia constructiva

Diferentes constantes de fase para la onda: $$y(x) = y_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \phi\right)$$



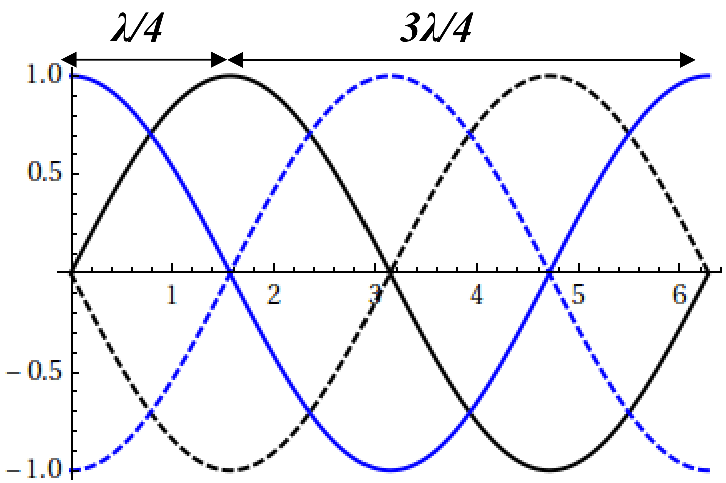
La onda resultante al sumar 2 ondas de distinta fase es representada por la curva roja. La nueva onda tiene la misma longitud y frecuencia pero distinta amplitud, en este caso mayor que las componentes



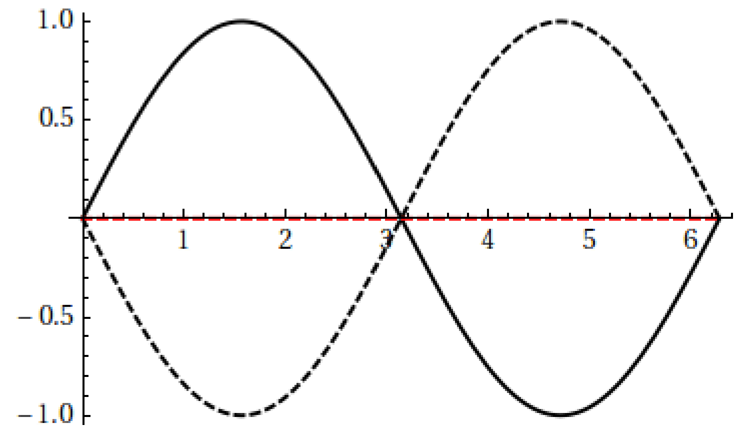
$$y(t,x) = [2y_m \cos(\Delta\phi/2)] \sin[kx - \omega t - \phi']$$

Interferencia destructiva

Diferentes constantes de fase para la onda: $$y(x) = y_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \phi\right)$$



La onda resultante al sumar 2 ondas con diferencia de fase π [rad] es representada por la curva roja. La nueva onda tiene amplitud cero en este caso



$$y(t,x) = [2y_m \cos(\Delta\phi/2)]\sin[kx - \omega t - \phi']$$

Ejemplo

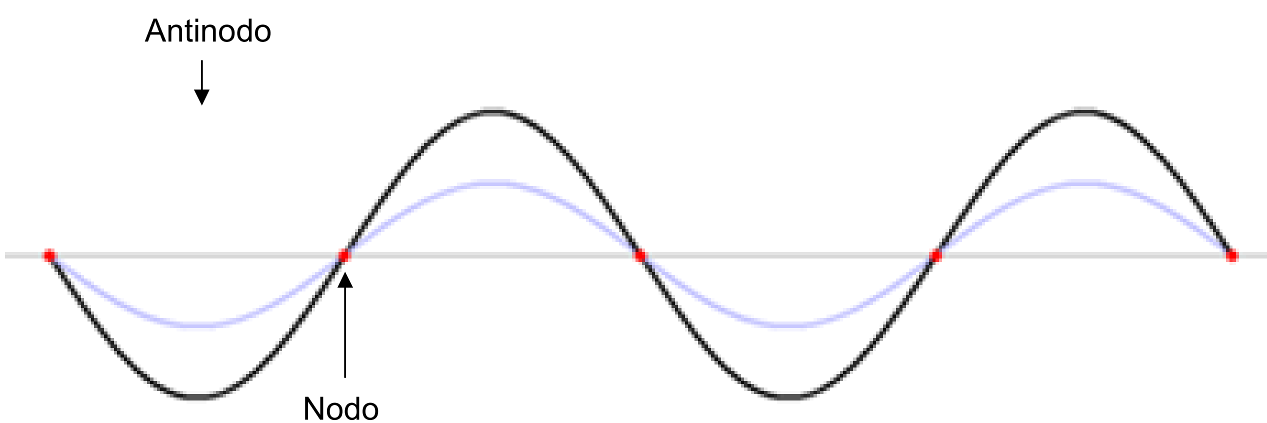
- ¿Qué diferencia de fase existe entre dos ondas transversales idénticas que se mueven en la misma dirección a lo largo de una cuerda tensa para que la onda combinada tenga una amplitud 1.65 veces la amplitud común de las ondas componentes?

- Considere una fuente conectada a dos parlantes separados 2.3 [m]. Una persona está sentada frente a uno de los parlantes a 1.2 [m] de éste. Los parlantes emiten tonos puros de longitud λ y las ondas están en fase al salir de los parlantes. ¿Para qué longitudes de onda la persona oirá un mínimo de intensidad?

Ondas estacionarias

(extremos fijos)

- Una onda estacionaria consiste de dos ondas de la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda que viajan en el mismo medio pero en direcciones opuestas, al encontrarse ellas interfieren
- La onda estacionaria presenta un patrón de nodos y antinodos.
- Los nodos son puntos fijos donde la amplitud del movimiento de un elemento de medio en ese lugar es cero.
- Los antinodos son puntos fijos donde la amplitud del movimiento de un elemento de medio en ese lugar es máxima



Ondas estacionarias

(extremos fijos)

Consideremos 2 ondas viajeras con la misma amplitud, longitud de onda y frecuencia que viajan en sentidos opuestos:

$$y_1(t,x) = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$$y_2(t,x) = y_m \sin(kx + \omega t)$$

Al superponer ambas ondas, el patrón de onda resultante no corresponde a una onda viajera y la amplitud de vibración de la onda resultante es diferente para cada elemento de medio

$$\begin{aligned} y(t,x) &= y_1(t,x) + y_2(t,x) \\ &= \underbrace{2y_m \sin kx}_{\text{amplitud de la onda}} \cos \omega t \end{aligned}$$

Cada partícula experimenta un M.A.S. con frecuencia ω pero la amplitud depende de la posición del elemento de medio

Nodos y Antinodos

(extremos fijos)

Se presenta un nodo cuando:

$$\sin kx = 0 \quad \Rightarrow \quad kx = n\pi \quad \Rightarrow \quad x = \frac{n}{2}\lambda \qquad n=0,1,2,\ldots$$

Se presenta un antinodo cuando:

$$\sin kx = \pm 1 \quad \Rightarrow \quad kx = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi \quad \Rightarrow \quad x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

$n=0,1,2,\ldots$

Dos nodos o dos antinodos consecutivos están separados una distancia $\lambda/2$

La separación entre un nodo y un antinodo consecutivo es $\lambda/4$

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO

Nodos y Antinodos
(extremos fijos)

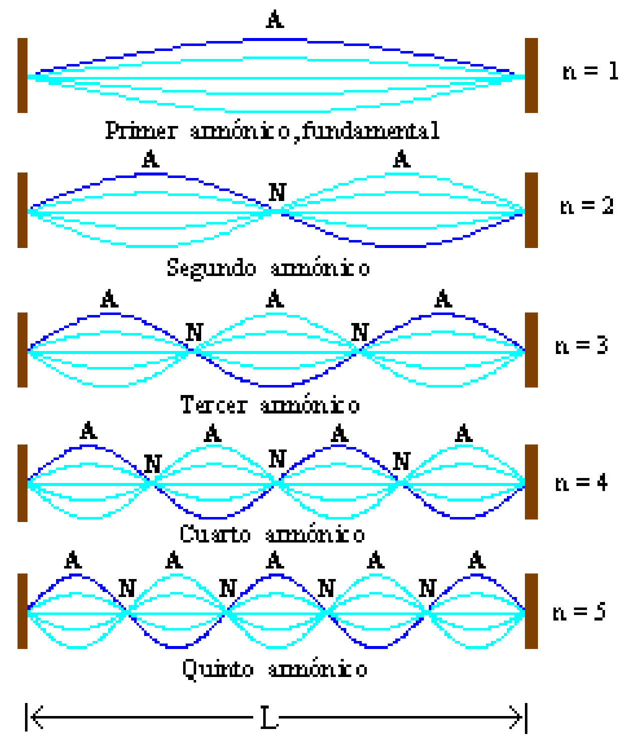
- Podemos construir ondas estacionarias en una cuerda superponiendo la onda incidente y la onda reflejada
- En una cuerda pueden presentarse varias ondas estacionarias diferentes, las cuales se denominan armónicos
- Diferente número de nodos ⇨ diferente longitud de onda
- Dado que la velocidad de fase es constante en el medio, diferente longitud de onda ⇨ diferente frecuencia
- La condición para que se presente una onda estacionaria en una cuerda es que encontremos 2 nodos en los extremos de la cuerda (de longitud L) dado que ambos extremos están fijos
- Entonces la longitud de la cuerda debe ser igual a un número entero de $\lambda/2$ (la separación entre 2 nodos consecutivos)

Armónicos

Sólo para algunas frecuencias se presentan ondas estacionarias

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$\Rightarrow \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{vn}{2L}$$



$$n = 1, 2, 3, \ldots$$

Las frecuencias f_n se denominan ***frecuencias naturales*** del sistema oscilatorio (la cuerda). Cuando la frecuencia de la fuerza impulsora coincide con una frecuencia natural permitida se produce una onda estacionaria y el sistema comienza a oscilar con gran amplitud. Esto se denomina ***condición de resonancia***

Ejemplo

- Una cuerda fija en ambos extremos tiene una longitud de 8.36 [m] y una masa de 122 [g]. La cuerda tiene una tensión de 96.7 [N] y es sometida a una vibración. ¿Cuál es la velocidad de las ondas en la cuerda?. ¿Cuál es la longitud de onda del segundo armónico? Indique la frecuencia de esa onda

- Una cuerda de 75.5 [cm] está estirada entre soportes fijos. Se observa que tiene frecuencias de resonancia de 420 [Hz] y 315 [Hz] y ninguna otra entre estas dos. ¿Cuál es la frecuencia de resonancia más baja para esta cuerda? ¿Cuál es la rapidez de las ondas en esta cuerda?

Ejemplo

- Un extremo de una cuerda de 120 [cm] se mantiene fijo. El otro extremo está unido a un anillo sin peso que puede deslizarse a lo largo de una barra sin fricción. ¿Cuáles son las tres longitudes de onda más grandes posibles de ondas estacionarias en la cuerda?