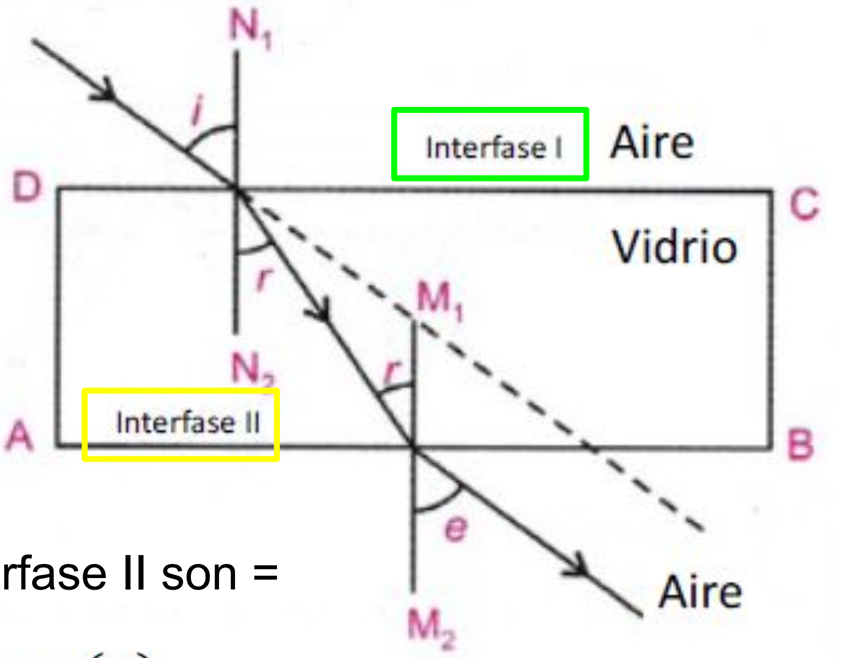
Lámina de Caras Paralelas



Aire: n_1 & Vidrio: n_2

En la interfase I vale que:

$$n_1\, sen(i) = n_2\, sen(r)$$

Como N_1N_2 // M_1M_2
⇒los ángulos *r* refractado e incidente para la interfase II son =

Ley de Snell (Interfase II): $n_2\, sen(r) = n_1\, sen(e)$

$$\boxed{n_1\, sen(i) = n_2\, sen(r) = n_1\, sen(e)}$$

Emerge con el mismo ángulo pero desplazado

Coherencia → **temporal**

Coherencia → **espacial**

- La **coherencia** es una propiedad sobre la **fase** de una onda.

> Dos ondas son coherentes si la diferencia de fase entre ellas se mantiene constante

- Llamamos **incoherencia** a la **ausencia de coherencia**.

- Los procesos de emisión de luz en general dan lugar a una serie de trenes de onda con diferentes fases iniciales aleatorias φ_i

$$\vec{E}_i(\vec{r},t) = \vec{E}_{0i}\cos\left(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t + \varphi_i\right)$$

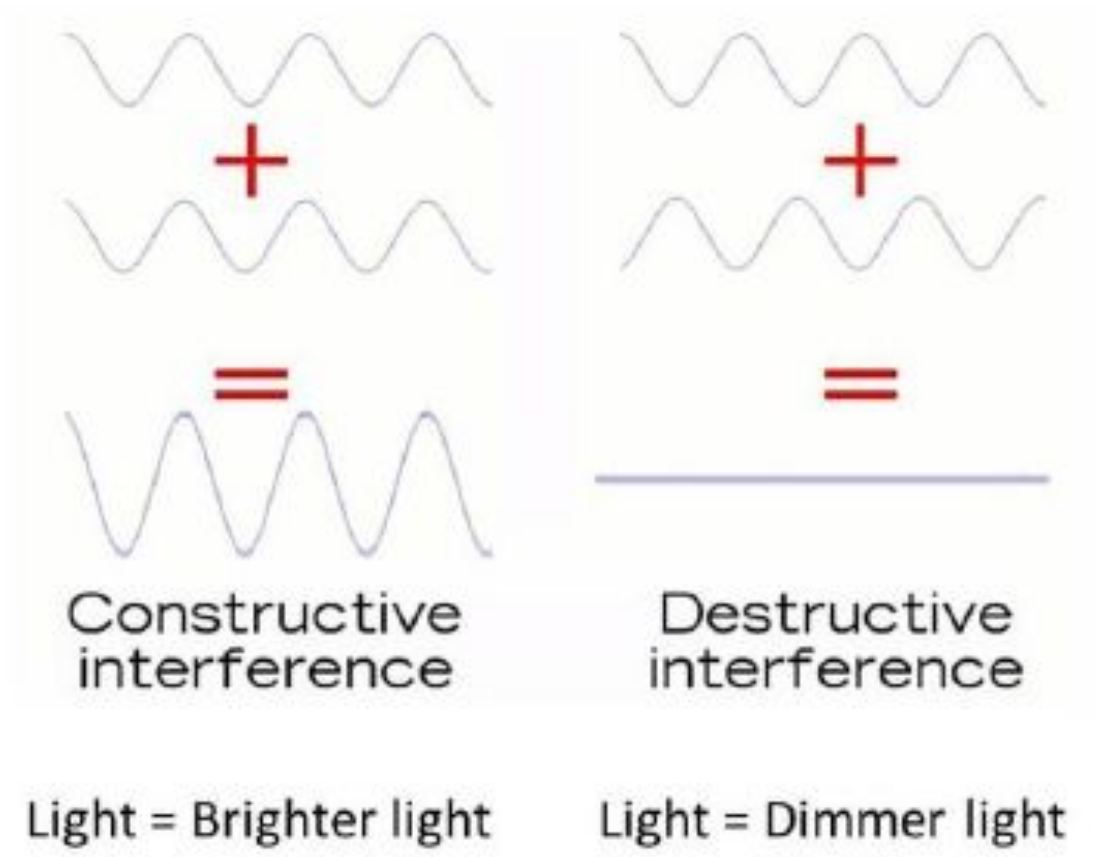
- Coherencia temporal:
  - En la luz solar, sos trenes emitidos por una misma fuente mantienen su fase por alrededor de 10 períodos, por lo que se denomina **incoherente**. Algo parecido ocurre con la **polarización**.
  - Los lasers son fuentes de ondas con tiempo de coherencia más largos.
- Coherencia espacial: cuando la fuente no es puntual sino extendida, es la propiedad de que todas las fuentes que la componen emitan con la misma fase inicial.

Interferencia

Definición 0:

Es un fenómeno en el que dos o más ondas se **superponen** para formar una onda resultante de mayor, menor o igual amplitud

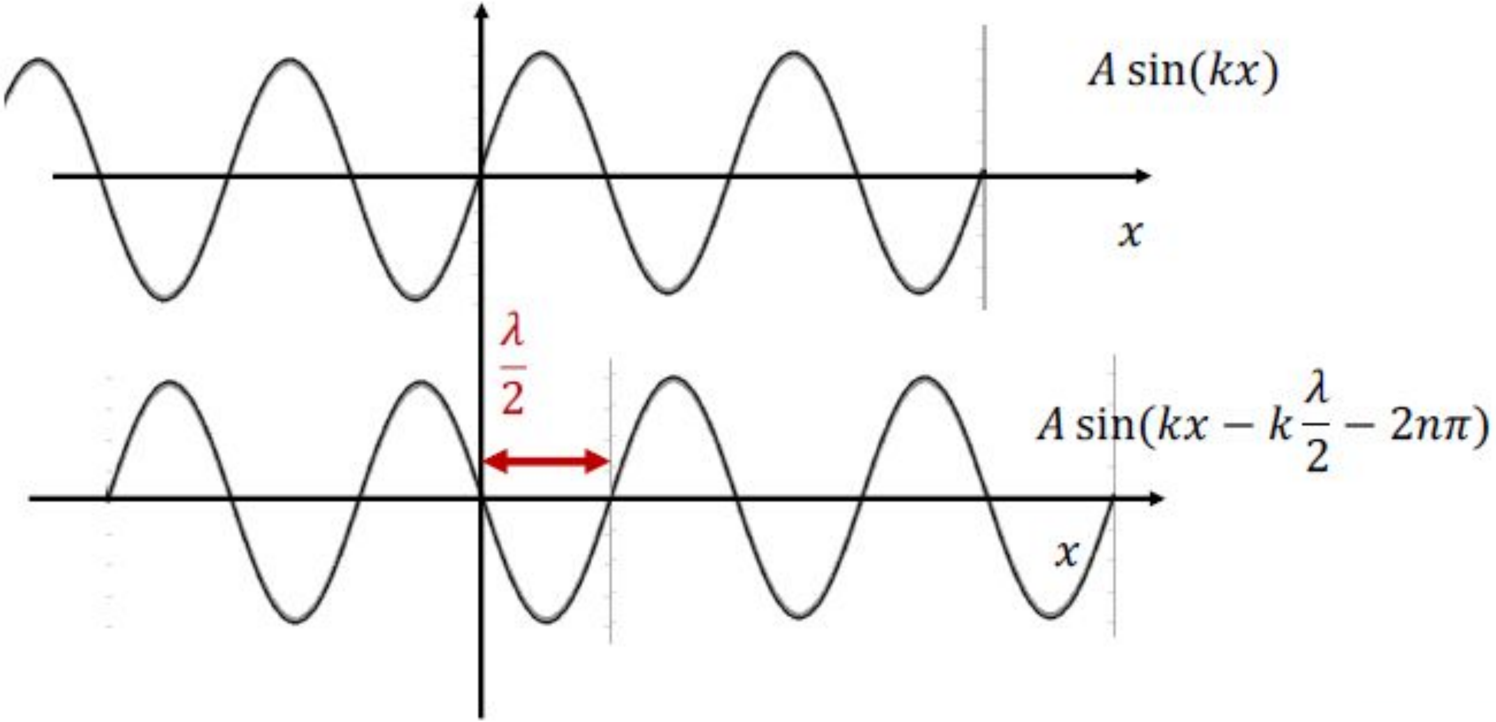
CONSTRUCTIVA



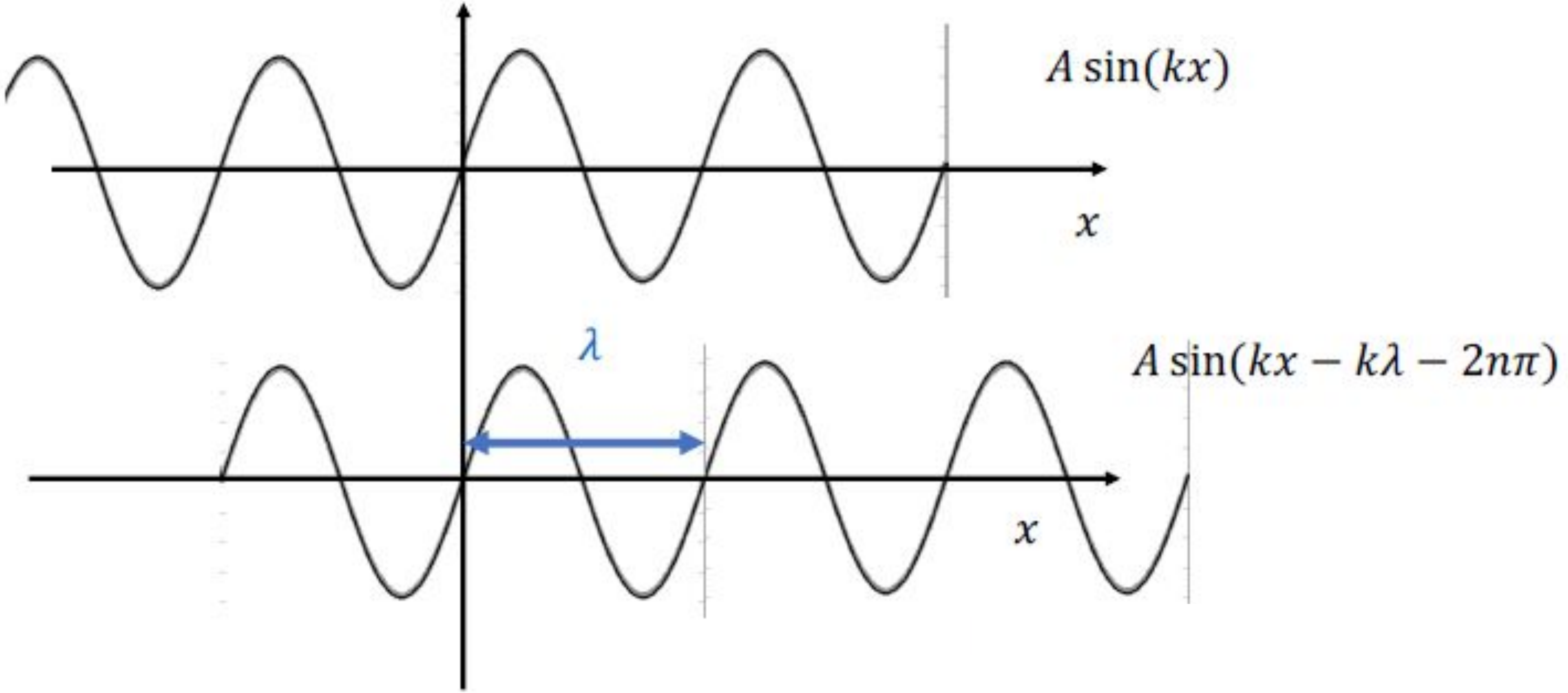
DESTRUCTIVA

Interferencia Destructiva

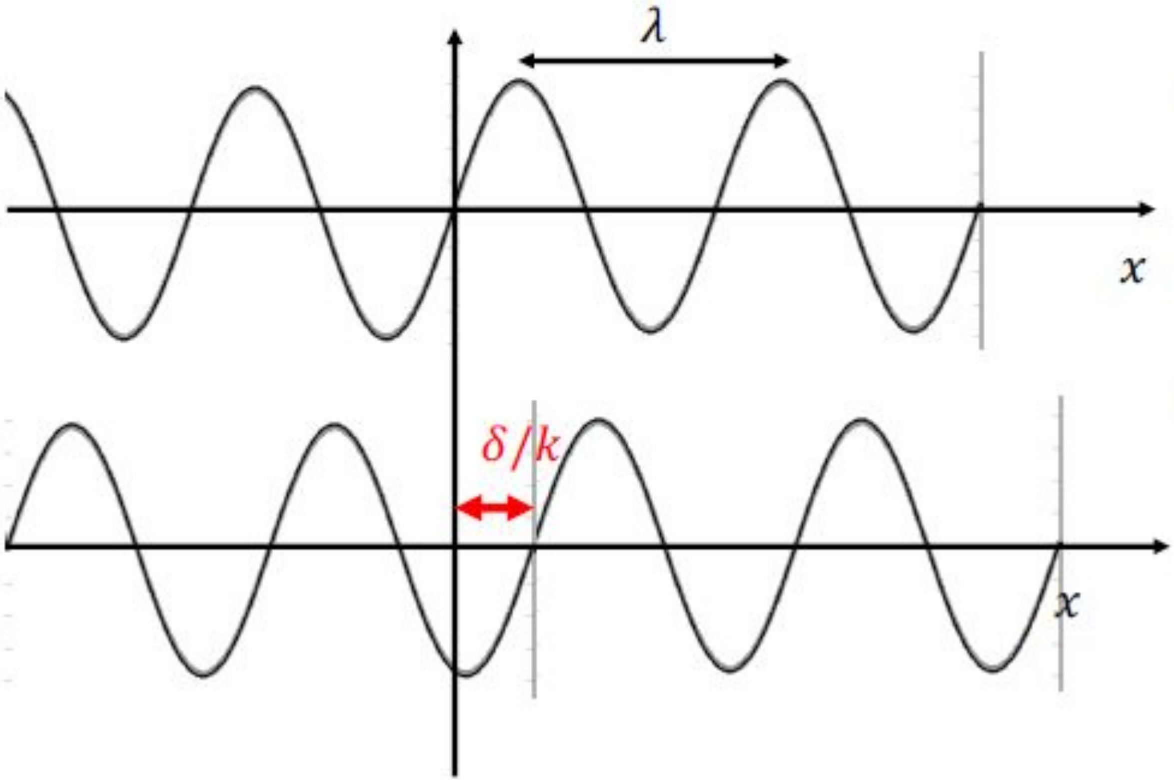
¿Qué pasa si queremos sumar dos ondas que tienen las misma longitud?



Interferencia Constructiva



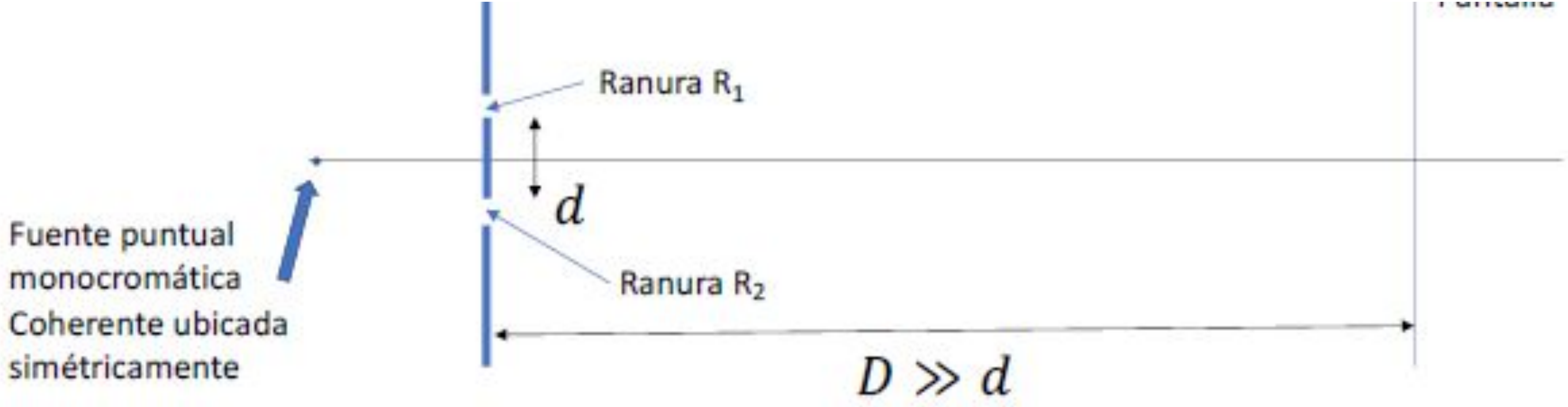
¿Qué pasa si queremos sumar dos ondas que tienen las misma longitud?



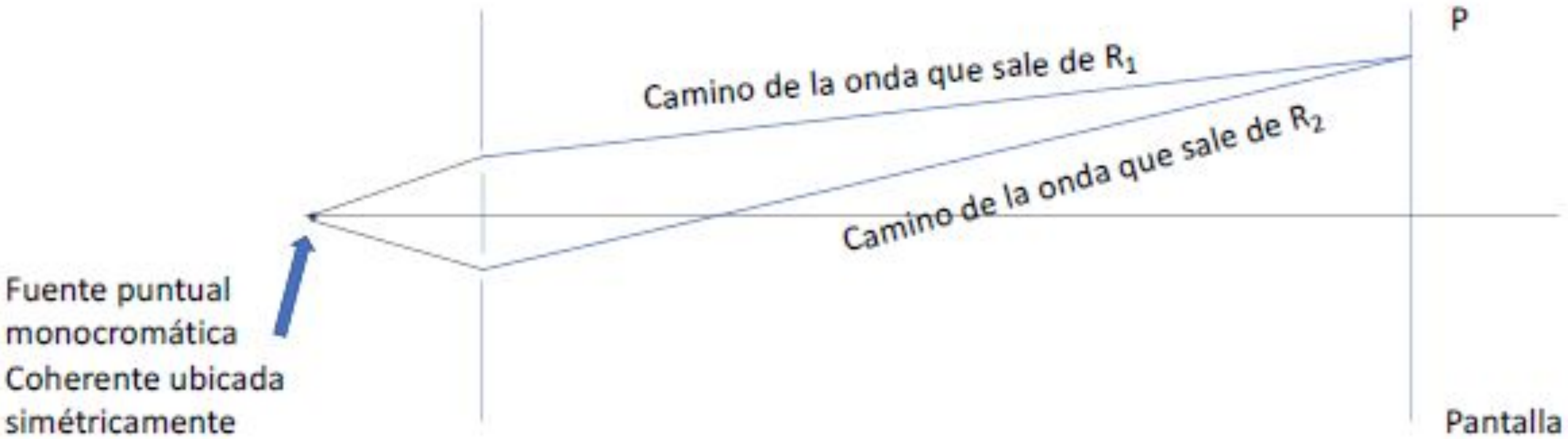
- Si δ es 0 ó **múltiplos pares de π**, la diferencia en distancia son múltiplos de λ y tenemos **interferencia constructiva.**
- Si δ son **múltiplos impares de π** la diferencia en distancia son múltiplos impares de $\lambda/2$ y tenemos **interferencia destructiva.**

Interferencia por División del Frente de Onda

Experimento de Young (1801)

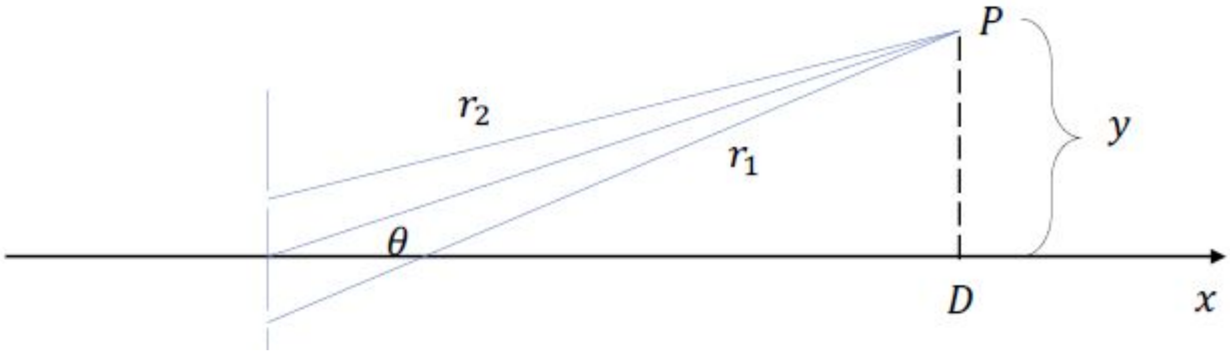


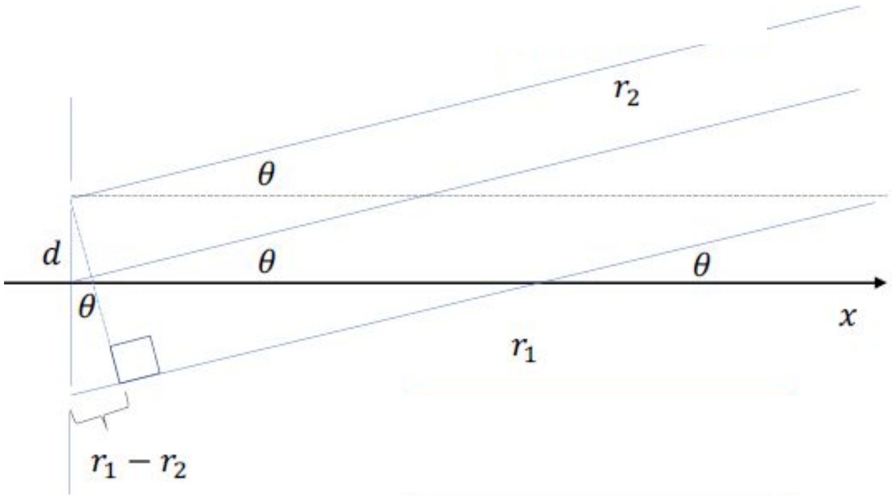
- Fuente de luz monocromática y coherente, una pantalla con dos ranuras muy pequeñas equidistantes de un eje sobre el que está la fuente.
- Distancia d entre ranuras, distancia D desde ranura a pantalla.
- Del otro lado, muy lejos, hay una pantalla donde vemos el efecto.
- Pantalla con ranura, y pantalla donde vemos el efecto son $\perp$ al eje de simetría.



- La idea es que la diferencia de camino entre las ondas provenientes de las ranuras haga que los campos eléctricos en el punto P de la pantalla interfieran.
- Por simetría, el camino entre la fuente y las dos ranuras son iguales.

Diferencia de camino entre las ondas:



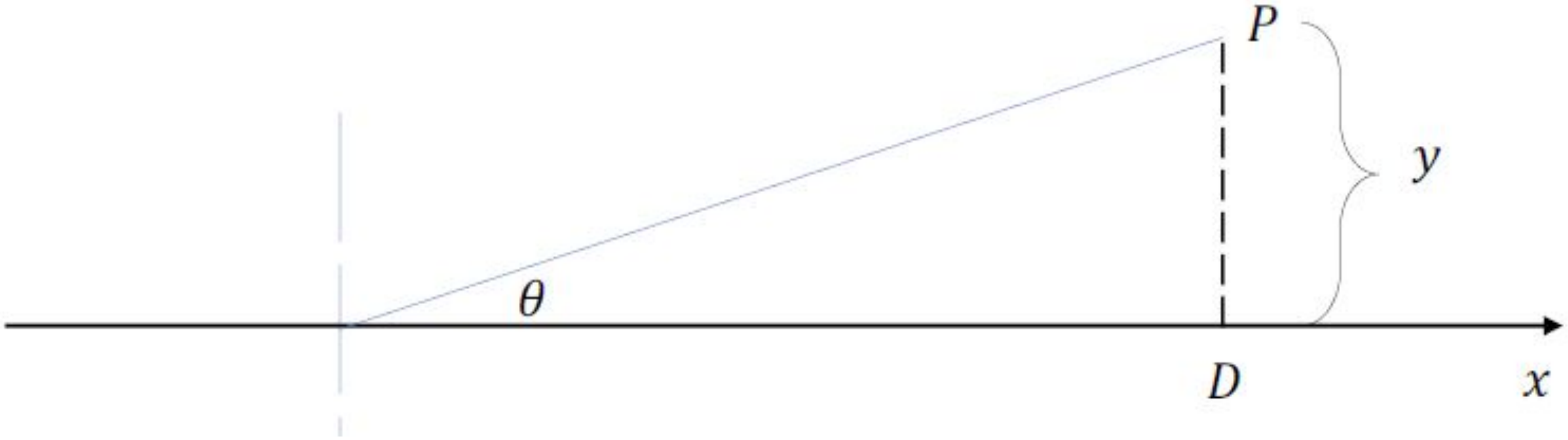


Asumimos que la pantalla está muy lejos.
Las ondas que llegan a P son planas (y los rayos son paralelos)

$$r_1 - r_2 \cong d \sin\theta$$

- Si la pantalla es muy lejos y ángulos θ pequeños:

$$r_1 - r_2 \cong d \sin\theta \cong d \tan\theta = d\frac{y}{D}$$



- Entonces, concluimos que la diferencia de camino entre la onda que sale de una rendija y la onda que sale de la otra al llegar a la pantalla es:

$$r_1 - r_2 \cong d\sin\theta = d\tan\theta = d\frac{y}{D}$$

- Esto implica que al llegar a la pantalla a un determinado instante va a haber un corrimiento de fase entre una y otra de:

$$kd\sin\theta = kd\tan\theta = kd\frac{y}{D}$$

Interferencia Constructiva

- Como vimos antes, la interferencia constructiva entre dos ondas ocurre cuando la diferencia de fase es:

$$\delta_{max} = kd\,\theta_{max} = kd\frac{y_{max}}{D} = 0, 2\pi, 4\pi, ..\, 2n\pi \quad \text{con } n = 0,1,2\, ...$$

- En consecuencia, en la pantalla habrá interferencia constructiva en los siguientes valores de y_{max}:

$$y_{max} = \frac{2n\pi D}{kd} = \frac{nD\lambda}{d} \quad \text{con } n = 0,1,2\, ...$$

- El problema es simétrico, respecto al eje x por lo que incluimos los y_{max} negativos:

$$y_{max} = \pm\frac{nD\lambda}{d} \quad \text{con } n = 0,1,2\, ...$$

Interferencia Destructiva

- Como vimos antes, la **interferencia destructiva** entre dos ondas ocurre cuando la diferencia de fase es:

$$\delta_{min} = kd\,\theta_{min} = kd\frac{y_{min}}{D} = \pi, 3\pi \ldots (2n+1)\pi \quad \text{con } n = 0,1,2 \ldots$$

- En consecuencia, en la pantalla habrá interferencia destructiva en los siguientes valores de y_{min}

$$y_{min} = \frac{(2n+1)\pi D}{kd} = \frac{(2n+1)D\lambda}{2d} \quad \text{con } n = 0,1,2 \ldots$$

- El problema es simétrico, respecto al eje x por lo que incluimos los y_{min} negativos

$$y_{min} = \pm\frac{(2n+1)D\lambda}{2d} \text{con } n = 0,1,2 \ldots$$

Un dato más: IRRADIANCIA

- La energía eléctrica por unidad de tiempo que atraviesa una unidad de superficie venía dada por:

$$c\epsilon_0 \left|\vec{E}\right|^2$$

- Llamamos irradiancia al promedio temporal de este flujo de energía, es una medida del brillo en la pantalla P.

$$I = c\epsilon_0 \left\langle \left|\vec{E}\right|^2 \right\rangle$$

donde el promedio se toma en un período $\mathrm{T} \gg \tau = \frac{2\pi}{\omega}$

$$\left\langle \left|\vec{E}\right|^2 \right\rangle = \frac{1}{T} \int_t^{T+t} \left|\vec{E}\right|^2 dt$$

- Veamos la expresión de I cuando $\vec{E}$ es la suma de dos ondas de igual longitud de onda y por lo tanto de igual frecuencia:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

donde

$$\vec{\mathbf{E}}_1(\vec{\boldsymbol{r}}, t) = \vec{\mathbf{E}}_{01} \cos\left(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \omega t + \varepsilon_1\right)$$

$$\vec{\mathbf{E}}_2(\vec{\boldsymbol{r}}, t) = \vec{\mathbf{E}}_{02} \cos\left(\vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \omega t + \varepsilon_2\right)$$

- Tenemos entonces

$$\vec{\mathbf{E}}^2 = \vec{\mathbf{E}} \cdot \vec{\mathbf{E}}$$

$$\vec{\mathbf{E}}^2 = (\vec{\mathbf{E}}_1 + \vec{\mathbf{E}}_2) \cdot (\vec{\mathbf{E}}_1 + \vec{\mathbf{E}}_2) = \vec{\mathbf{E}}_1^2 + \vec{\mathbf{E}}_2^2 + 2\vec{\mathbf{E}}_1 \cdot \vec{\mathbf{E}}_2$$

- Olvidándonos de las constantes multiplicativas vemos que si llamamos

$$I_1 = \left\langle \left|\vec{E}_1\right|^2 \right\rangle \quad \text{e} \quad I_2 = \left\langle \left|\vec{E}_2\right|^2 \right\rangle \quad \text{e} \quad I_{12} = 2\langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle$$

$$\Longrightarrow \quad I = \left\langle \left|\vec{E}\right|^2 \right\rangle = I_1 + I_2 + \boxed{I_{12}}$$

Es el término de Interferencia

Calculamos en detalle el término de interferencia:

$$\vec{\mathbf{E}}_1 \cdot \vec{\mathbf{E}}_2 = \vec{\mathbf{E}}_{01} \cdot \vec{\mathbf{E}}_{02} \cos(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \omega t + \varepsilon_1)$$
$$\times \cos(\vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \omega t + \varepsilon_2)$$

Luego podemos usar la propiedada de la suma de los cosenos:

$$\vec{\mathbf{E}}_1 \cdot \vec{\mathbf{E}}_2 =$$

$$\vec{\mathbf{E}}_{01} \cdot \vec{\mathbf{E}}_{02} [\cos(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_1) \cos \omega t + \sin(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_1) \sin \omega t]$$

$$\times [\cos(\vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_2) \cos \omega t + \sin(\vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_2) \sin \omega t]$$

- Al aplicar propiedad distributiva y promediar en el tiempo, sólo sobreviven los términos que tienen $(\cos(\omega t))^2$ y $(\sin(\omega t))^2$ cuyo promedio es ½, con lo cual:

$$\langle \vec{\mathbf{E}}_1 \cdot \vec{\mathbf{E}}_2 \rangle_T = \tfrac{1}{2} \vec{\mathbf{E}}_{01} \cdot \vec{\mathbf{E}}_{02} \cos(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_1 - \vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \varepsilon_2)$$

$$\boxed{(\vec{\mathbf{k}}_1 \cdot \vec{\mathbf{r}} - \vec{\mathbf{k}}_2 \cdot \vec{\mathbf{r}} + \varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

Diferencia de fase (δ)

Si queremos simplificar un poco y asumimos amplitudes iguales: $\overrightarrow{E_{01}} = \overrightarrow{E_{02}} = \overrightarrow{E_0}$

Entonces:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_0^2}{2}$$

$$I_{12} = \frac{1}{2} E_0^2 \cos \delta$$

Entonces

$$I = 2I_0(1 + \cos \delta) = 4I_0 \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

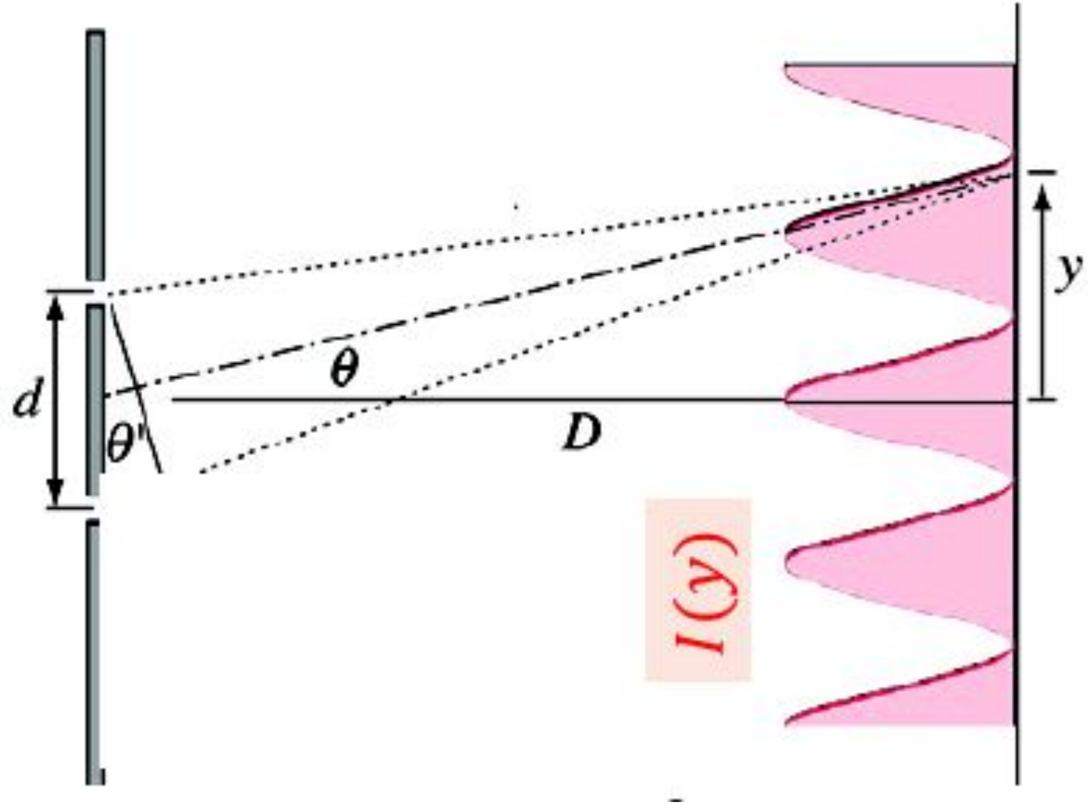
- En Young, no hay diferencia de fase inicial entre las ondas y $\vec{k} = \vec{k}_1 = \vec{k}_2$ por lo que la diferencia de fase ocurre por la diferencia de distancia $r_1 - r_2$
- Entonces para $\delta_{max} = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi \ldots$

$$I_{max} = 4I_0$$

- Mientras que para $\delta_{min} = \pm \pi, \pm 3\pi \ldots$

$$I_{min} = 0$$

Patrón de Interferencia:



$$I(\theta) = I(y) = 4I_0\left[\cos\left(\frac{kd}{2}\theta\right)\right]^2 = 4I_0\left[\cos\left(\frac{kd}{2D}y\right)\right]^2$$