Interferencia

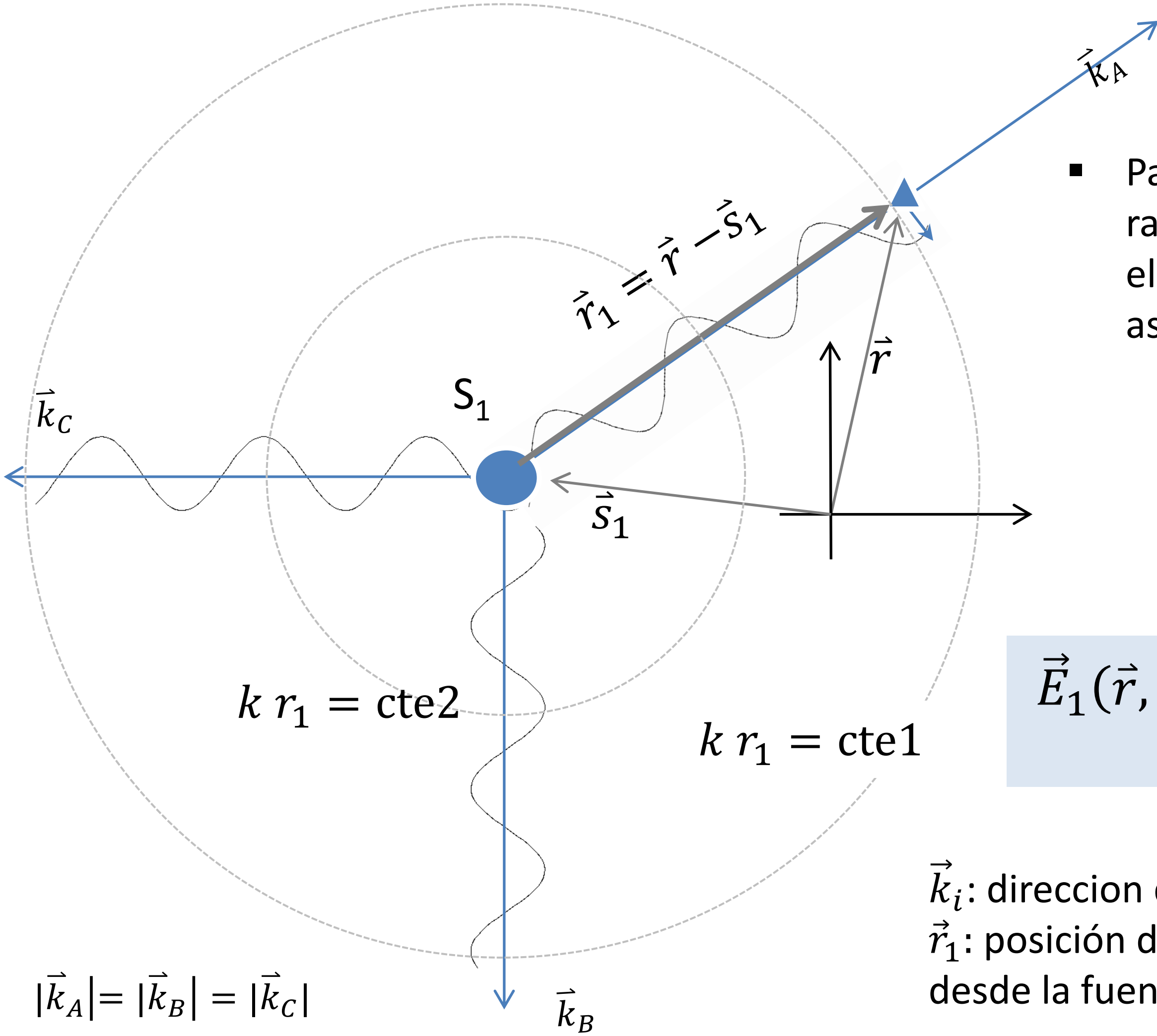
Parte 2

Habiamos visto…

Una fuente puntual

y tres de sus rayos

$$\vec{E}_1(\vec{r},t) = \vec{E}_{01}(\vec{r})\cos(\underbrace{\vec{k}.\vec{r}_1 - w\,t + \varepsilon_1}_{\varphi_1})$$



- Para ondas esféricas la dirección de los rayos es **radial** desde la fuente, por lo que el rayo que pasa por el punto $\vec{r}$ tiene asociado un *vector de onda*:

$$\vec{k} = k\,\hat{r}_1$$

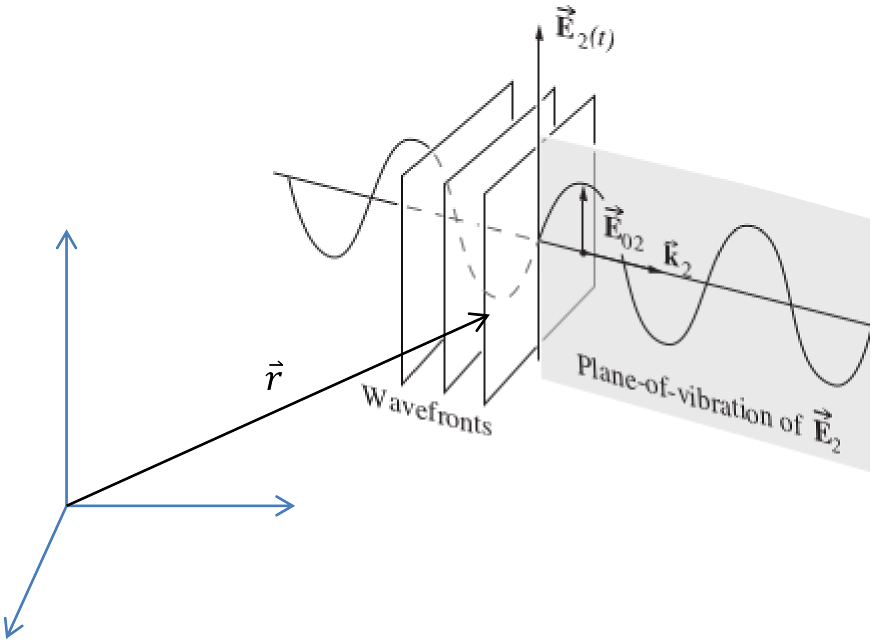
$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \vec{k}.\vec{r}_1 - w\,t + \varepsilon_1 \\ &= k\,r_1 - w\,t + \varepsilon_1\end{aligned}$$

$$\vec{E}_1(\vec{r},t) = \vec{E}_{01}(\vec{r})\cos(\underbrace{k\,r_1 - w\,t + \varepsilon_1}_{\varphi_1})$$

$\vec{k}_i$: direccion del rayo i

$\vec{r}_1$: posición del punto de interes $\vec{r}$, medida desde la fuente S_1

Como describo ondas planas?



$$\vec{E}_2(\vec{r},t) = \vec{E}_{02}\cos(\underbrace{\vec{k}_2.\vec{r} - w\,t + \varepsilon_2}_{\varphi_2})$$

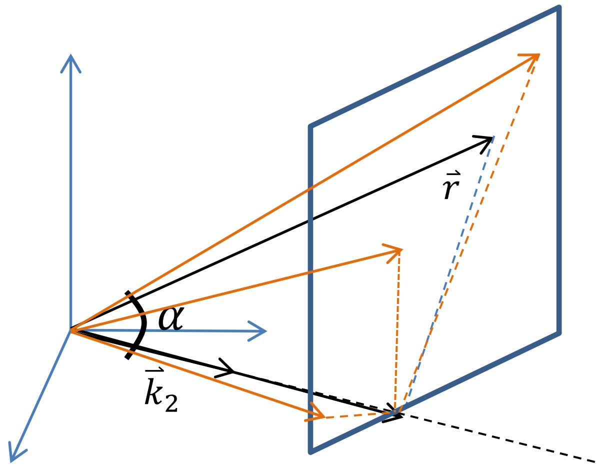
Onda de fase constante sobre planos perpendiculares a la dirección de propagación

La condición que satisfacen todos los puntos del plano perpendicular a $\vec{k}_2$ es:

Producto escalar

$$\vec{k}_2.\vec{r} = cte$$

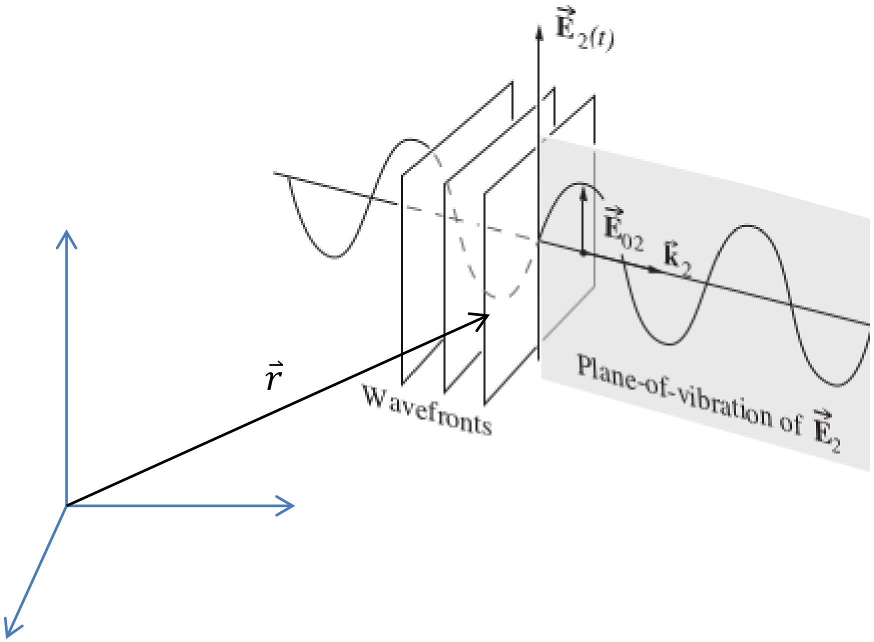
$$\vec{k}_2.\vec{r} = |\vec{k}_2|.|\vec{r}|\cos\alpha = cte$$



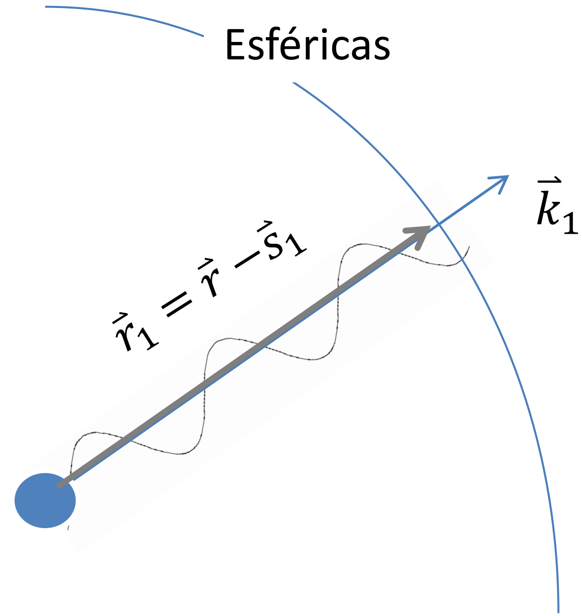
Dado $\vec{k}_2$, todos los puntos que tengan igual producto escalar con él, perteneceran a un mismo plano (perpendicular a $\vec{k}_2$)

Como describo ondas?

Planas



Esféricas



$$\vec{E}_2(\vec{r},t) = \vec{E}_{02}\cos(\underbrace{\vec{k}_2.\vec{r} - w\,t + \varepsilon_2}_{\varphi_2})$$

$$\vec{E}_1(\vec{r},t) = \vec{E}_{01}(\vec{r})\cos(\underbrace{k_1 r_1 - w\,t + \varepsilon_1}_{\varphi_1})$$

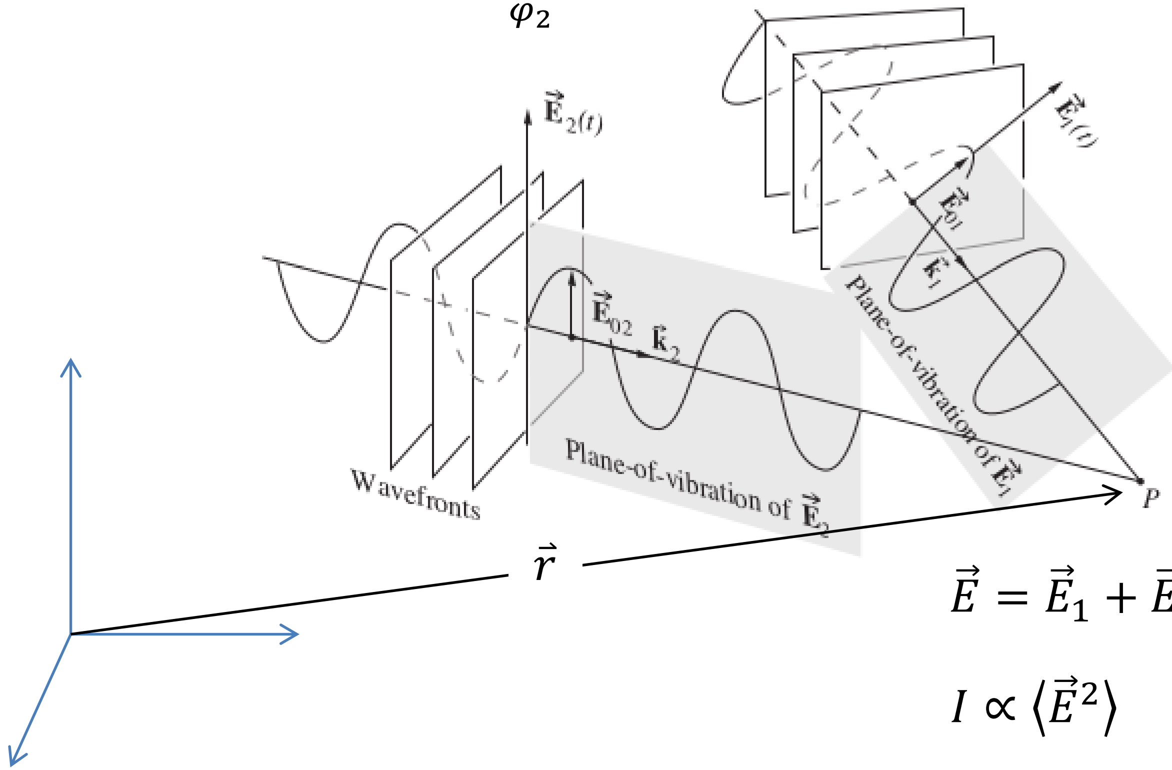
Onda de fase constante sobre planos perpendiculares a la dirección de propagación

Onda de fase constante sobre esferas centradas en S_1 (y por tanto… perpendiculares a la dirección de propagación)

Ahora si…sabemos como describirlas, sabemos lo que esperamos …calculemos como interfieren dos ondas planas*

$$\vec{E}_2(\vec{r},t) = \vec{E}_{02}\cos(\underbrace{\vec{k}_2.\vec{r} - w\,t + \varepsilon_2}_{\varphi_2})$$

$$\vec{E}_1(\vec{r},t) = \vec{E}_{01}\cos(\underbrace{\vec{k}_1.\vec{r} - w\,t + \varepsilon_1}_{\varphi_1})$$



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

$$= \vec{E}_1^{\,2} + \vec{E}_2^{\,2} + 2\vec{E}_1.\vec{E}_2$$

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

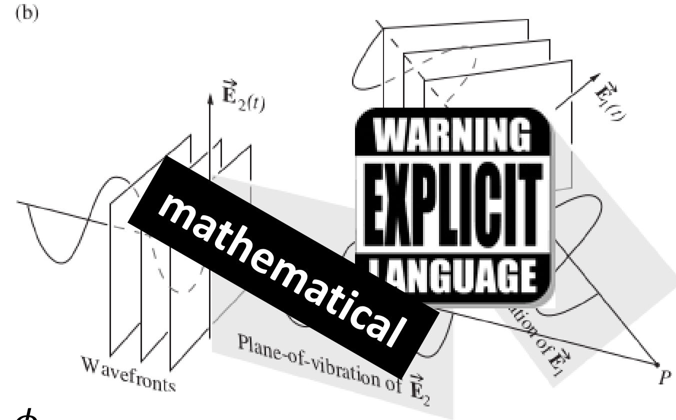
$$I \propto \langle \vec{E}^2 \rangle \qquad = \left\langle \vec{E}_1^{\,2} \right\rangle + \left\langle \vec{E}_2^{\,2} \right\rangle + 2\langle \vec{E}_1.\vec{E}_2 \rangle$$

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}$$

*Para dos ondas esfericas se muy similar, solo que hay que usar la fase correspondiente

Término de interferencia

El término de interferencia



$$I = \underbrace{\left\langle \vec{E}_1^{\,2} \right\rangle}_{I_1} + \underbrace{\left\langle \vec{E}_2^{\,2} \right\rangle}_{I_2} + \underbrace{2\left\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \right\rangle}_{I_{12}}$$

$$\left\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \right\rangle = \vec{E}_{01} . \vec{E}_{02} < \cos(\overbrace{\vec{k}_1 . \vec{r} + \varepsilon_1}^{\phi_1} - w\,t) \cos(\overbrace{\vec{k}_2 . \vec{r} + \varepsilon_2}^{\phi_2} - w\,t) >$$

$$= \vec{E}_{01} . \vec{E}_{02} < [\cos(\phi_1)\ \cos(w\,t) + \sin(\phi_1) \sin(w\,t)] \ *$$

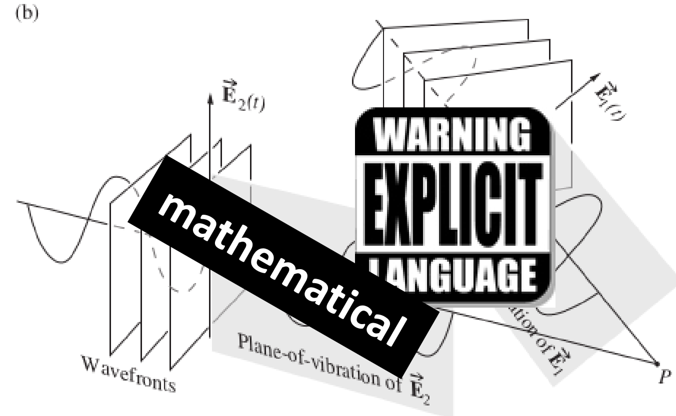
$$[\cos(\phi_2)\ \cos(w\,t) + \sin(\phi_2) \sin(w\,t)]>$$

$$\cos(a - b) = \cos(a)\ \cos(b) + \sin(a) \sin(b)$$

Como si fuera poca maldad … ahora distribuyo:

$$< \vec{E}_{01} . \vec{E}_{02}\, [\underline{\cos(\phi_1) \cos(\phi_2)\ \cos^2(w\,t)} + \underline{\sin(\phi_1) \sin(\phi_2) \sin^2(w\,t)}\ +$$

$$\underline{\cos(\phi_1) \sin(\phi_2) \sin(w\,t) \cos(w\,t)} + \underline{\sin(\phi_1) \cos(\phi_2)\ \cos(w\,t) \sin(w\,t)}]>$$



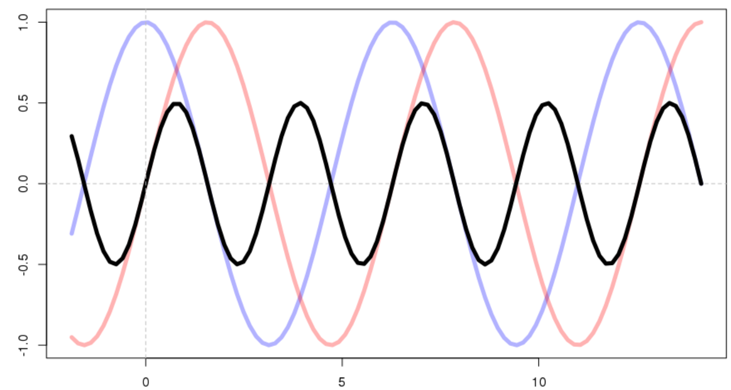
El término de interferencia

$$I = \underbrace{\left\langle \vec{E}_1^{\,2} \right\rangle}_{I_1} + \underbrace{\left\langle \vec{E}_2^{\,2} \right\rangle}_{I_2} + \underbrace{2\left\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \right\rangle}_{I_{12}}$$

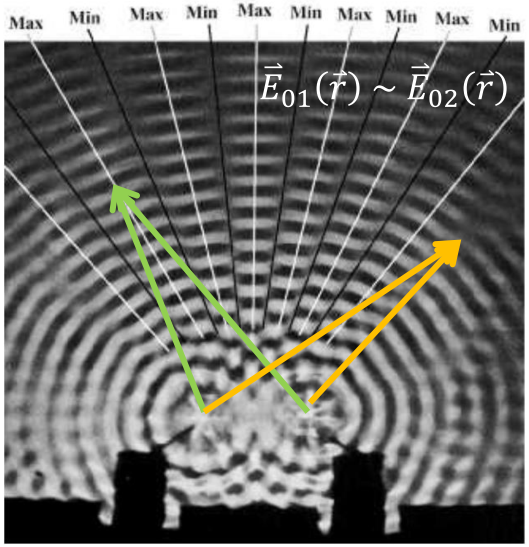
$$\left\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \right\rangle =$$

$$\vec{E}_{01}.\vec{E}_{02}\,[\cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\;\overbrace{\langle \cos^2(w\,t)\rangle}^{1/2} + \sin(\phi_1)\sin(\phi_2)\,\overbrace{\langle \sin^2(w\,t)\rangle}^{1/2} +$$

$$[\cos(\phi_1)\sin(\phi_2) + \sin(\phi_1)\cos(\phi_2)\,]\underbrace{\langle \cos(w\,t)\sin(w\,t)\rangle}_{0}\,]$$



El término de interferencia



$$I = \underbrace{\left\langle \vec{E}_1^{\,2} \right\rangle}_{I_1} + \underbrace{\left\langle \vec{E}_2^{\,2} \right\rangle}_{I_2} + \underbrace{2\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \rangle}_{I_{12}}$$

$$\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \rangle = \frac{\vec{E}_{01} . \vec{E}_{02}}{2} [\cos(\phi_1)\cos(\phi_2) + \sin(\phi_1)\sin(\phi_2)]$$

$$\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \rangle = \frac{\vec{E}_{01} . \vec{E}_{02}}{2} \cos(\phi_2 - \phi_1) = \frac{\vec{E}_{01} . \vec{E}_{02}}{2} \cos \Delta\varphi$$

$$\Delta\varphi = (\overbrace{\vec{k}_2 . \vec{r} + \varepsilon_2}^{\phi_2} - w\,t) - (\overbrace{\vec{k}_1 . \vec{r} + \varepsilon_1}^{\phi_1} - w\,t) = \Delta\phi$$

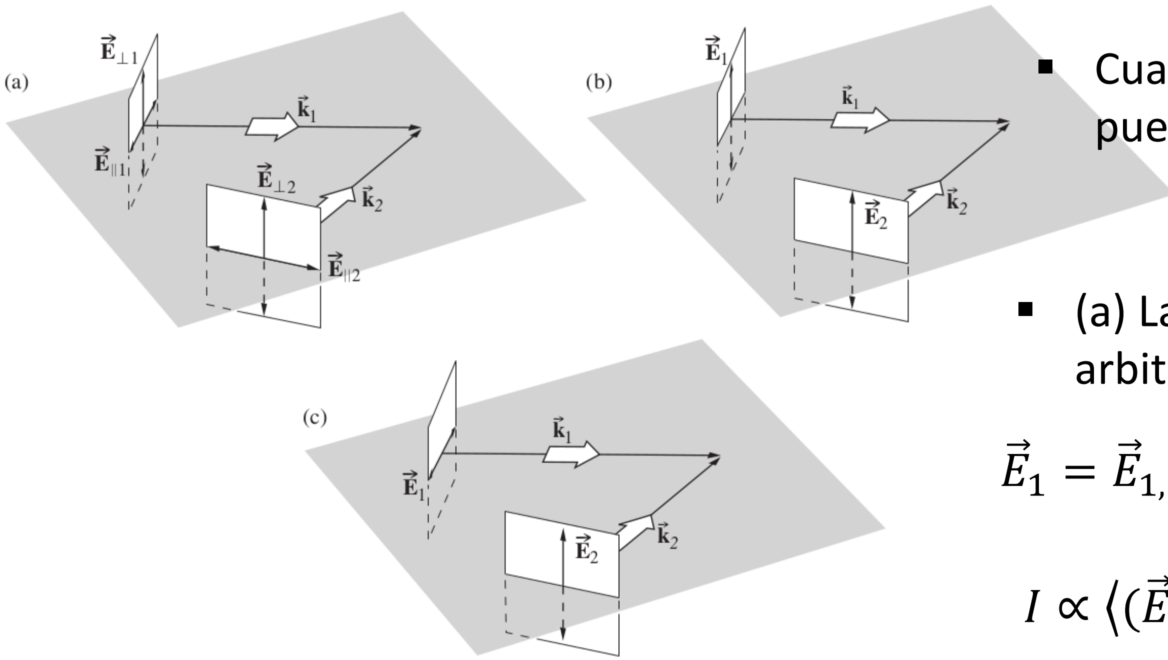
$$\boxed{I = \frac{\vec{E}_{01}^{\,2}}{2} + \frac{\vec{E}_{02}^{\,2}}{2} + \vec{E}_{01} . \vec{E}_{02} \cos \Delta\varphi(\vec{r})}$$

Notar:

- Los terminos I_1 e I_2 son constantes
- I_{12} varia en el espacio : $\Delta\varphi = \Delta\varphi(\vec{r})$
- I_{12} se anula si $\vec{E}_{01} \perp \vec{E}_{02}$

*Para dos ondas esfericas se muy similar, solo que hay que usar la fase correspondiente

Interferencia con luz polarizada



- Cualquier estado de polarización puede escribirse como:

$$\vec{E} = \vec{E}_{||} + \vec{E}_{\perp}$$

- (a) La interferencia de dos ondas arbitrariamente polarizadas resulta

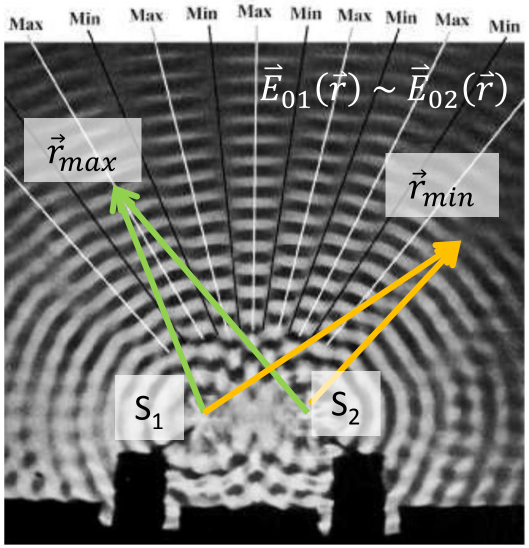
$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{1,||} + \vec{E}_{1,\perp} \qquad \vec{E}_2 = \vec{E}_{2,||} + \vec{E}_{2,\perp}$$

$$I \propto \left\langle (\vec{E}_{1,||} + \vec{E}_{1,\perp} + \vec{E}_{2,||} + \vec{E}_{2,\perp})^2 \right\rangle$$

- No hay interferencia para perturbaciones ortogonales (c)
- Se produce,por separado, interferencia entre componentes || por un lado y ⊥por otro (b)

$$I = \frac{\vec{E}_{01}^{\;2}}{2} + \frac{\vec{E}_{02}^{\;2}}{2} + \vec{E}_{01||}\,\vec{E}_{02||}\cos\Delta\varphi_{||}\,(\vec{r}) + \vec{E}_{01\perp}\,\vec{E}_{02\perp}\cos\Delta\varphi_{\perp}\,(\vec{r})$$

El término de interferencia



$$I = \underbrace{\left\langle \vec{E}_1{}^2 \right\rangle}_{I_1} + \underbrace{\left\langle \vec{E}_2{}^2 \right\rangle}_{I_2} + \underbrace{2\langle \vec{E}_1 . \vec{E}_2 \rangle}_{I_{12}}$$

$$I = \frac{\vec{E}_{01}{}^2}{2} + \frac{\vec{E}_{02}{}^2}{2} + \vec{E}_{01}\,\vec{E}_{02}\cos\Delta\varphi(\vec{r})$$

Notar:

- Los terminos I_1 e I_2 son constantes
- I_{12} varia en el espacio : $\Delta\varphi = \Delta\varphi(\vec{r})$
- I_{12} se anula si $\vec{E}_{01} \perp \vec{E}_{02}$

Nos vamos a concentrar en el caso particular de dos ondas que oscilan en la **misma dirección** con **igual amplitud**

$$\vec{E}_{01} = \vec{E}_{02} \equiv \vec{E}_0$$

$$I = \frac{E_0{}^2}{2} + \frac{E_0{}^2}{2} + E_0 E_0 \cos\Delta\varphi(\vec{r})$$

$$I = E_0{}^2\,(1 + \cos\Delta\varphi(\vec{r}))$$

$$I = 2\,I_0(1 + \cos\Delta\varphi(\vec{r}))$$

$$I = 4\,I_0\cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$1+\cos\Delta = 1+\cos\left(\frac{\Delta}{2}+\frac{\Delta}{2}\right)$$

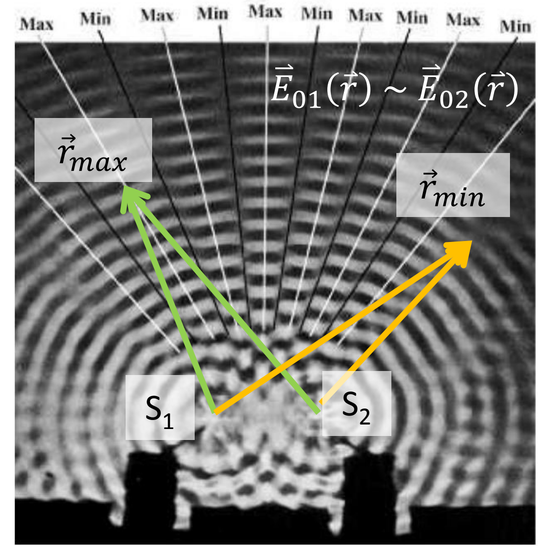
$$= 1+\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) - \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)\sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$= 1+\cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

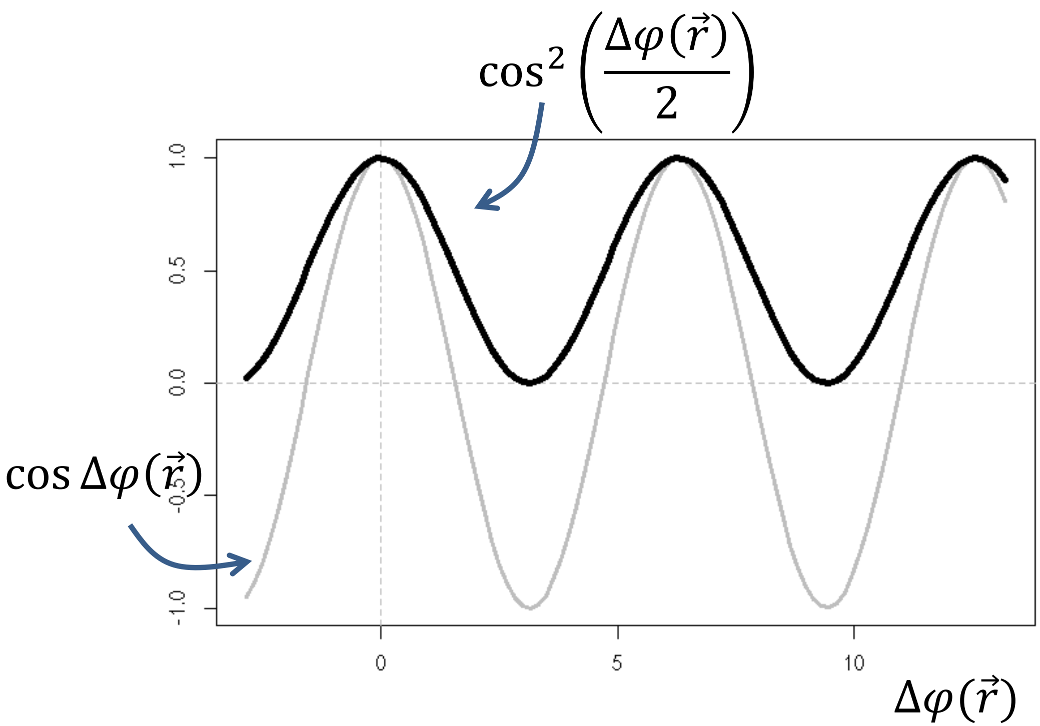
$$= \underbrace{1-\sin^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)}_{\cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)} + \cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$= 2\cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Perturbaciones paralelas



$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$



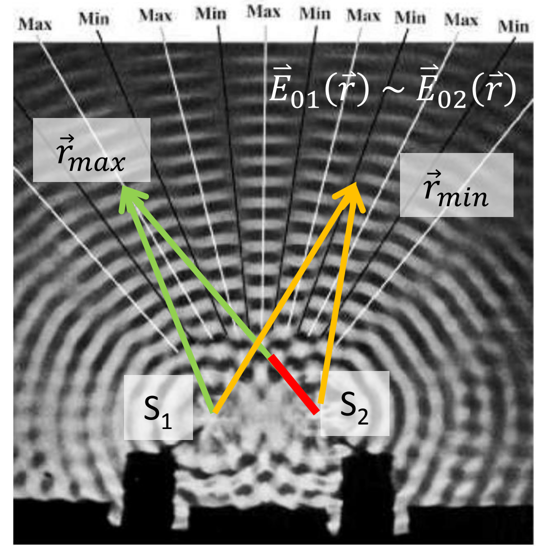
Habrá **máxima irradiancia** para aquellos sitios $\vec{r}_{max}$ tales que

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

Habrá **mínima irradiancia** para aquellos sitios $\vec{r}_{min}$ tales que

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = \pi(2m+1)$$

Maximos



$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m \longrightarrow I = 4\, I_0$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = \pi(2m+1) \longrightarrow I = 0$$

Empecemos analizando los **máximos** para fuentes que oscilan en fase $(\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon)$:

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

$$(k_2 r_{max2} - w\,t + \varepsilon) - (k_1 r_{max1} - w\,t + \varepsilon) = 2\pi m$$

$$k(r_{max2} - r_{max1}) = 2\pi m$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = \frac{2\pi m}{k}$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = m\lambda$$

Los máximos ocurren en aquellas posiciones para las cuales:

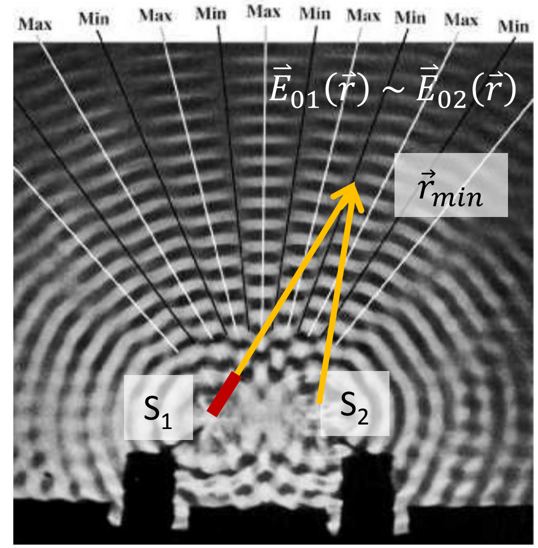
- la diferencia de fases resulta un número entero de veces 2π

- O equivalentemente: la diferencia de caminos resulta un número entero de longitudes de onda

Applet

…y mínimos

$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$



$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m \longrightarrow I = 4\, I_0$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = \pi(2m+1) \longrightarrow I = 0$$

Ahora analicemos los **mínimos** para fuentes que oscilan en fase $(\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon)$:

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = (2m+1)\pi$$

$$(k_2 r_{min2} - w\, t + \varepsilon) - (k_1 r_{min1} - w\, t + \varepsilon) = (2m+1)\pi$$

$$k(r_{min2} - r_{min1}) = (2m+1)\pi$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = \frac{(2m+1)\pi}{k}$$

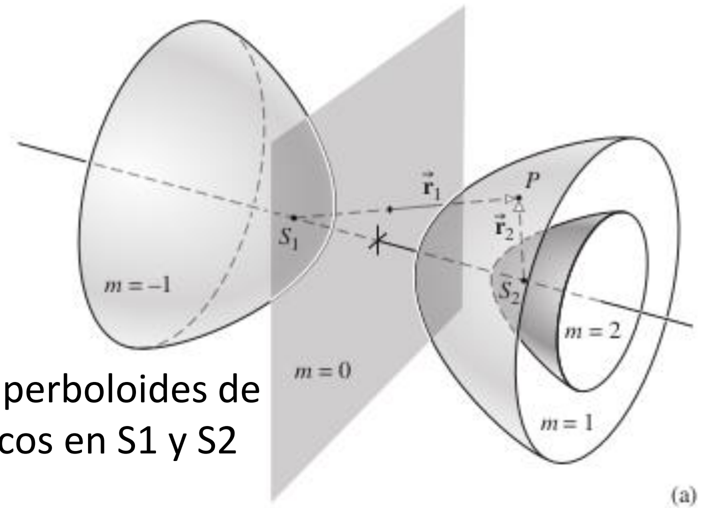
$$(r_{min2} - r_{min1}) = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Los mínimos ocurren en aquellas posiciones para las cuales:

- la diferencia de fases resulta un número impar de veces π
- O equivalentemente: la diferencia de caminos resulta un número entero de longitudes de onda mas media onda.

Máximos y mínimos en el espacio

Las condiciones max y min definen hiperboloides de revolución



$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

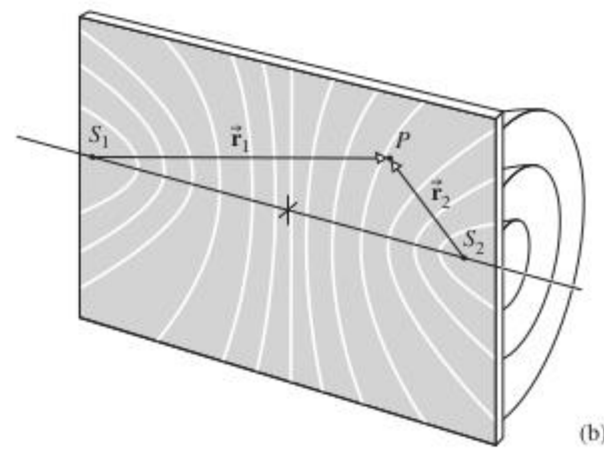
$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = m\lambda$$

Ecs que definen hiperboloides de revolucion, con focos en S1 y S2

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = (2m+1)\pi$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = (m + \frac{1}{2})\lambda$$



Como se ´traducen´ estas condiciones en la disposición espacial de máximos y mínimos?

Máximos y mínimos en el espacio

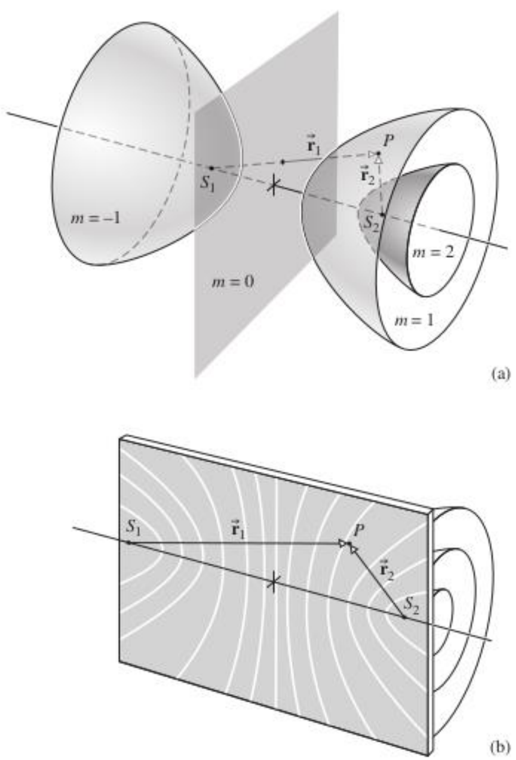
$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

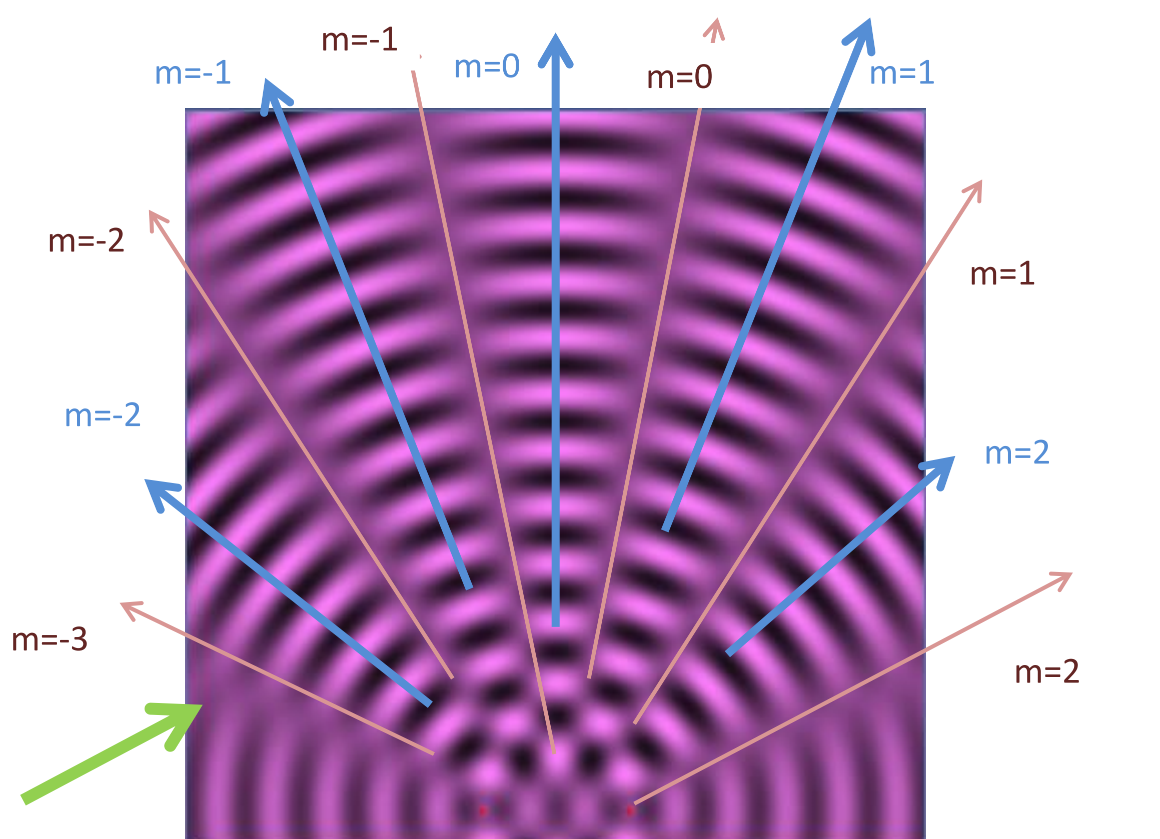
$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = m\lambda$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = (2m+1)\pi$$

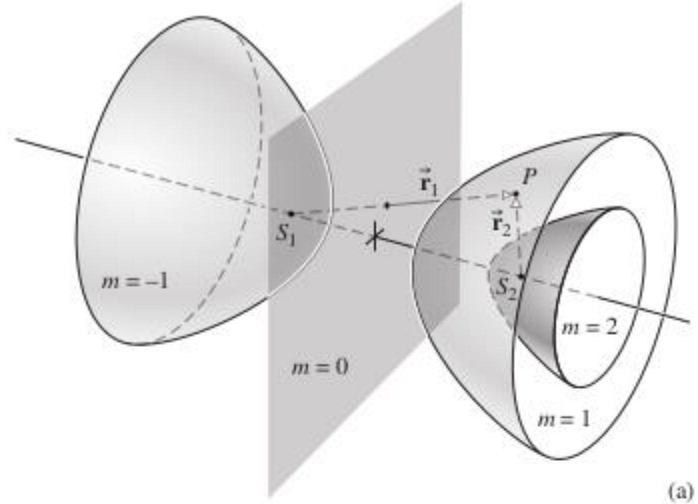
$$(r_{min2} - r_{min1}) = (m + \frac{1}{2})\lambda$$



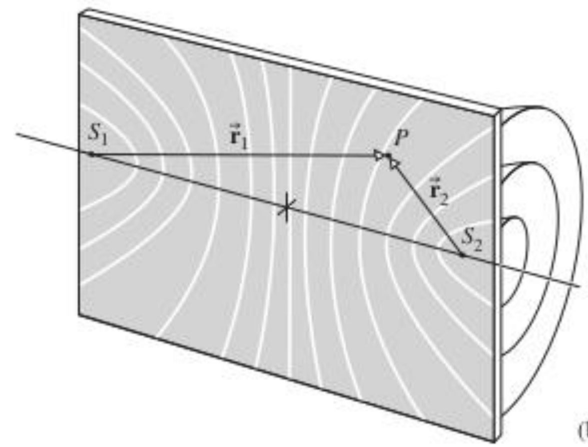


Ojo: no son rectas…son hiperbolas

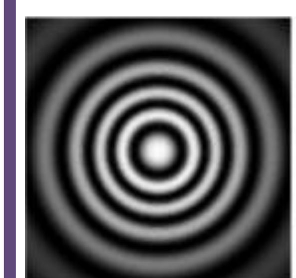
Que veo?



(a)



(b)



$$(r_{max2} - r_{max1}) = m\lambda$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

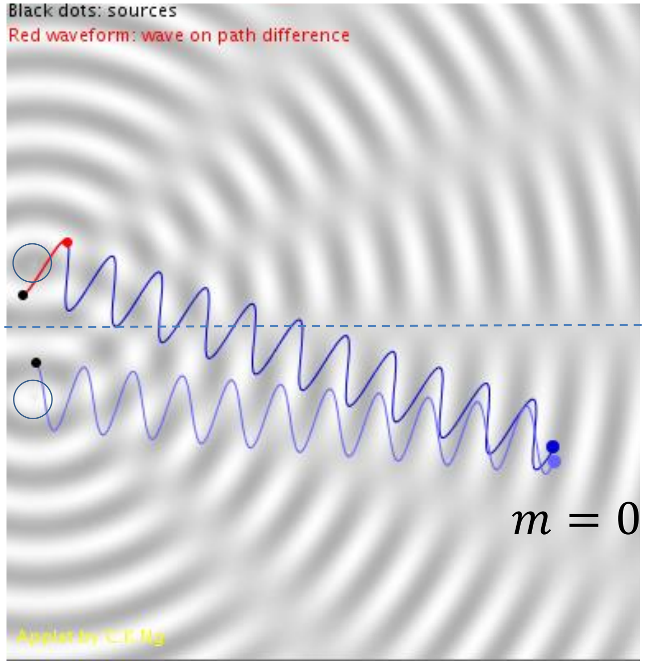
Maximos de fuentes desfasadas ($\varepsilon_2 \neq \varepsilon_1$)

$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m \longrightarrow I = 4\, I_0$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = \pi(2m+1) \longrightarrow I = 0$$

$\Delta\varepsilon = \pi$



$m = 0$

Empecemos analizando los **máximos** :

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

$$(k_2 r_{max2} - w\,t + \varepsilon_2) - (k_1 r_{max1} - w\,t + \varepsilon_1) = 2\pi m$$

$$k(r_{max2} - r_{max1}) + \Delta\varepsilon = 2\pi m$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = \frac{2\pi m}{k} - \frac{\Delta\varepsilon}{k}$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = m\lambda - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\lambda = \lambda\left(m - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\right)$$

El orden cero (m=0) se produce ahora cuando

$$r_{max2} - r_{max1} = -\frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\lambda$$

Applet

Mínimos de fuentes desfasadas

$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m \longrightarrow I = 4\, I_0$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = \pi(2m+1) \longrightarrow I = 0$$

Ahora analicemos los **mínimos**:

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = (2m+1)\pi$$

$$(k_2 r_{min2} - w\, t + \varepsilon_2) - (k_1 r_{min1} - w\, t + \varepsilon_1) = (2m+1)\pi$$

$$k(r_{min2} - r_{min1}) = (2m+1)\pi - \Delta\varepsilon$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = \frac{(2m+1)\pi - \Delta\varepsilon}{k}$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\lambda = \lambda\left(m + \frac{1}{2} - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\right)$$

Máximos y mínimos para fuentes desfasadas

$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

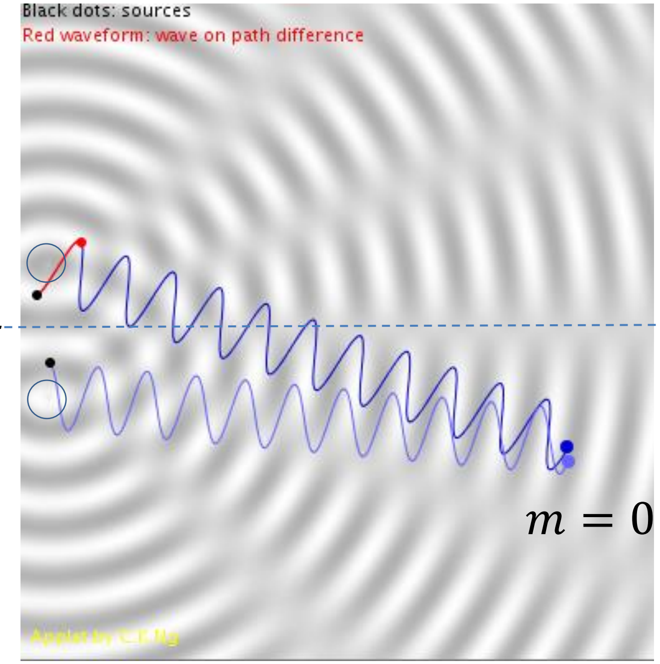
$$\Delta\varphi(\vec{r}_{max}) = 2\pi m$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = \lambda(m - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi})$$

$$\Delta\varphi(\vec{r}_{min}) = (2m + 1)\pi$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = \lambda\left(m + \frac{1}{2} - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\right)$$

$\Delta\varepsilon = \pi$



La condición oculta*

- Por qué no vemos interferencia de manera cotidiana?

$$I = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$(r_{max2} - r_{max1}) = \lambda\left(m - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\right)$$

$$(r_{min2} - r_{min1}) = \lambda\left(m + \frac{1}{2} - \frac{\Delta\varepsilon}{2\pi}\right)$$

- El patron de interferencia podrá ser detectado sólo si no varía en el tiempo (sino cambia todo el tiempo y en promedio se borronea todo…o sea no veo patron alguno)

- Eso significa que, para que sea detectable, la diferencia de fases iniciales $\Delta\varepsilon$ entre las dos fuentes, debe permanecer constante.

- Pero vimos que por cómo se genera la luz, cada emisor radía un tren de ondas durant… un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-8}$. Entonces su fase sólo puede considerarse con… a cachos muy cortos.

- Es virtualmente imposible que dos fuentes de luz indepen… …engan $\Delta\varepsilon = \text{cte}$

Pero entonces!??!!

*Gran título para una película

Interferómetros

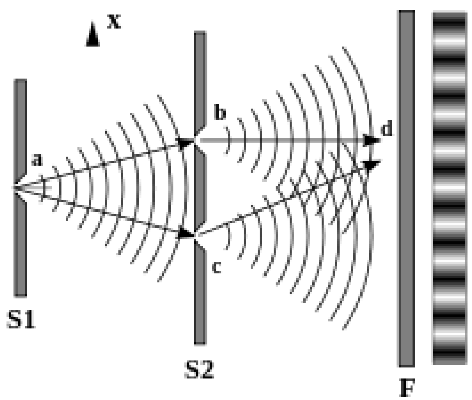
- Dispositivos para <u>generar</u> fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\varepsilon = \text{cte}$

- Vienen en dos sabores:

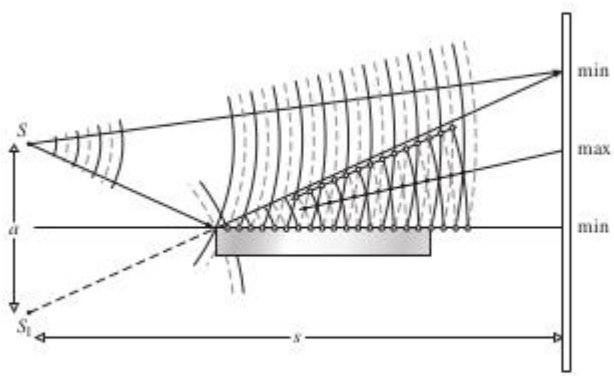
Interferómetros por división de frente de onda

Se toma un frente de onda y se usa una parte del mismo como fuente1 y otra parte como fuente 2

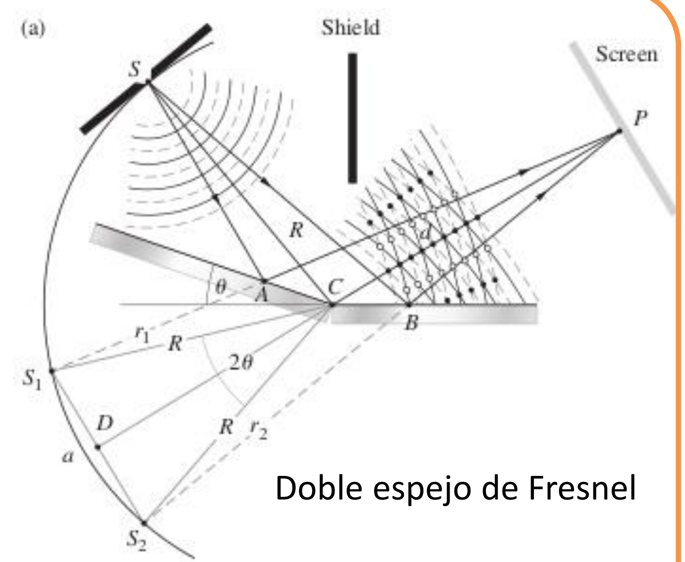
Cada dispositivo permite generar fuentes diferenciadas con una relacion de fase constante. Pero yo sabemos resolver eso! No te tenemo miedo interferometro!



Interferómetro de Young



Espejo de Lloyd



Doble espejo de Fresnel

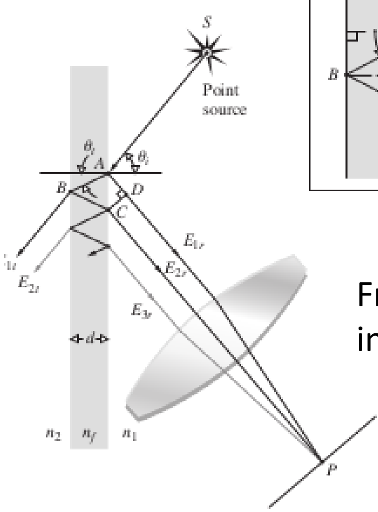
Interferómetros

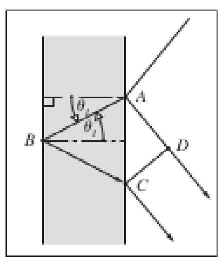
- Dispositivos para <u>generar</u> fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\varepsilon = \text{cte}$

- Vienen en dos sabores:

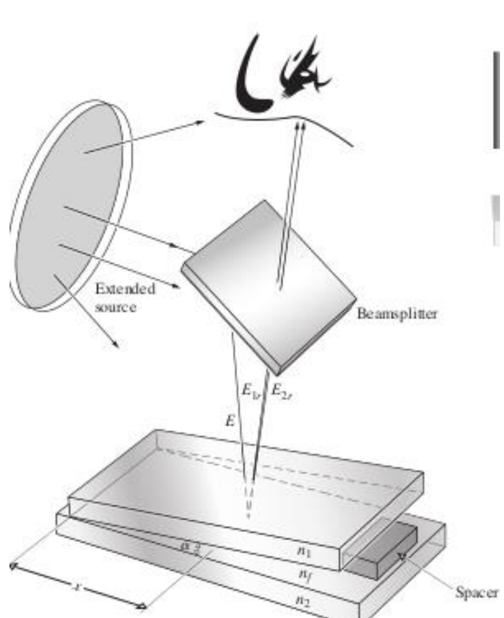
Interferómetros por división de frente de onda
Se toma un frente de onda y se usa una parte del mismo como fuente1 y otra parte como fuente 2

Interferómetros por división de amplitud: la onda original se divide en dos o mas que, luego de recorrer caminos opticos diferentes, se recombinan e interfieren



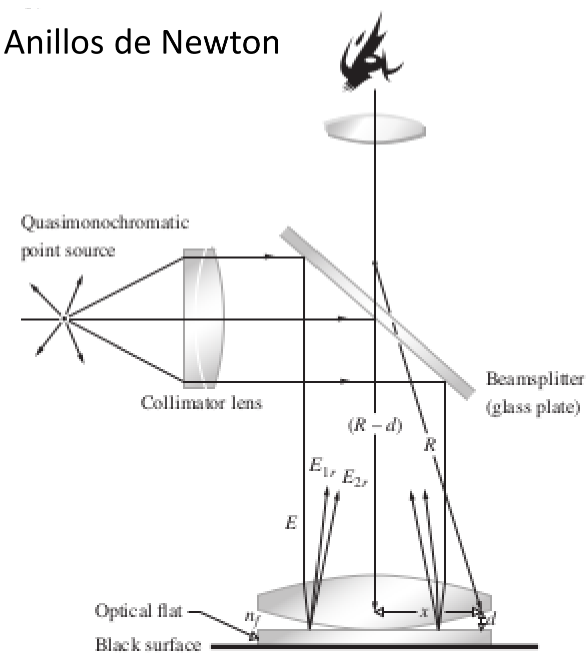


Franjas de igual inclinacion

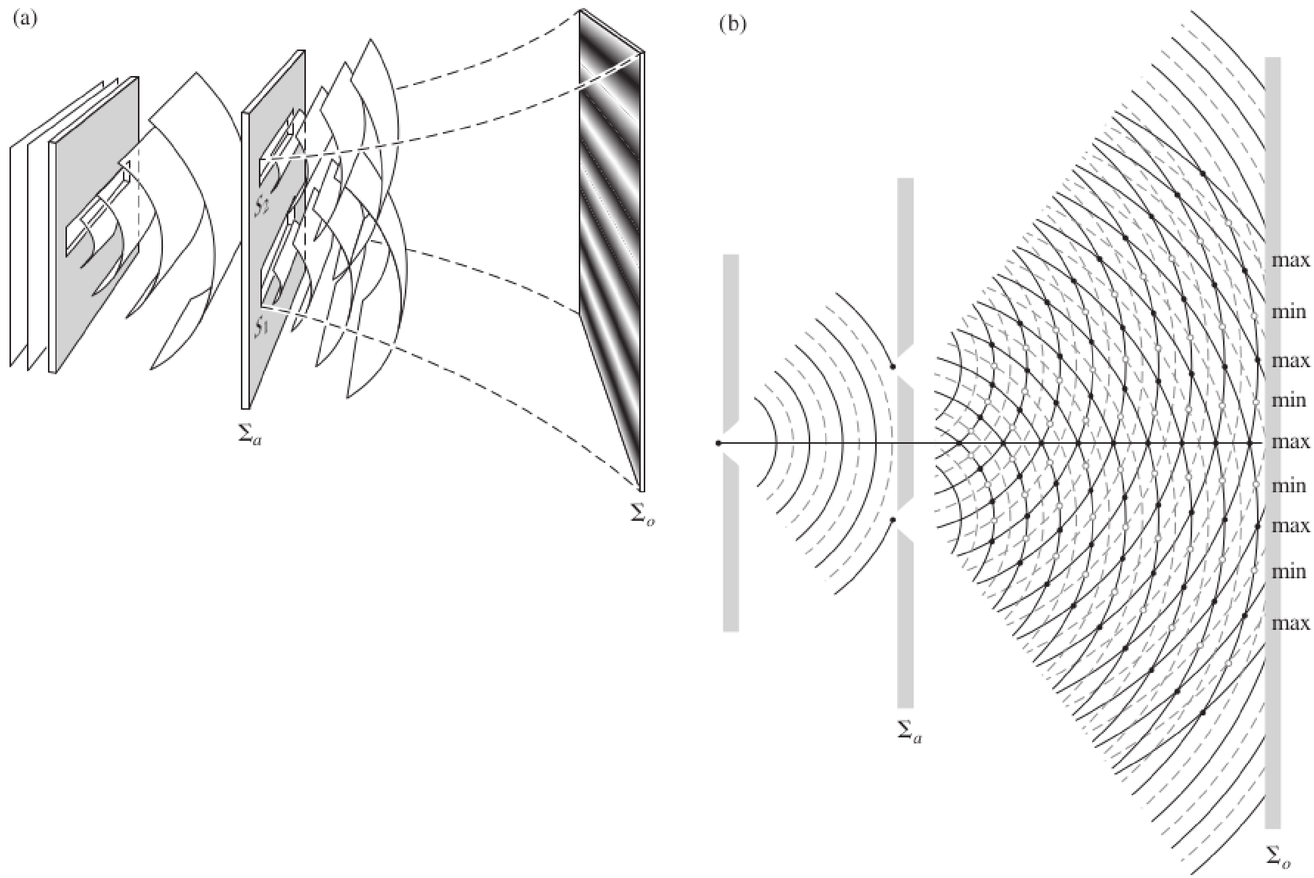


Franjas de Fizeau

Anillos de Newton

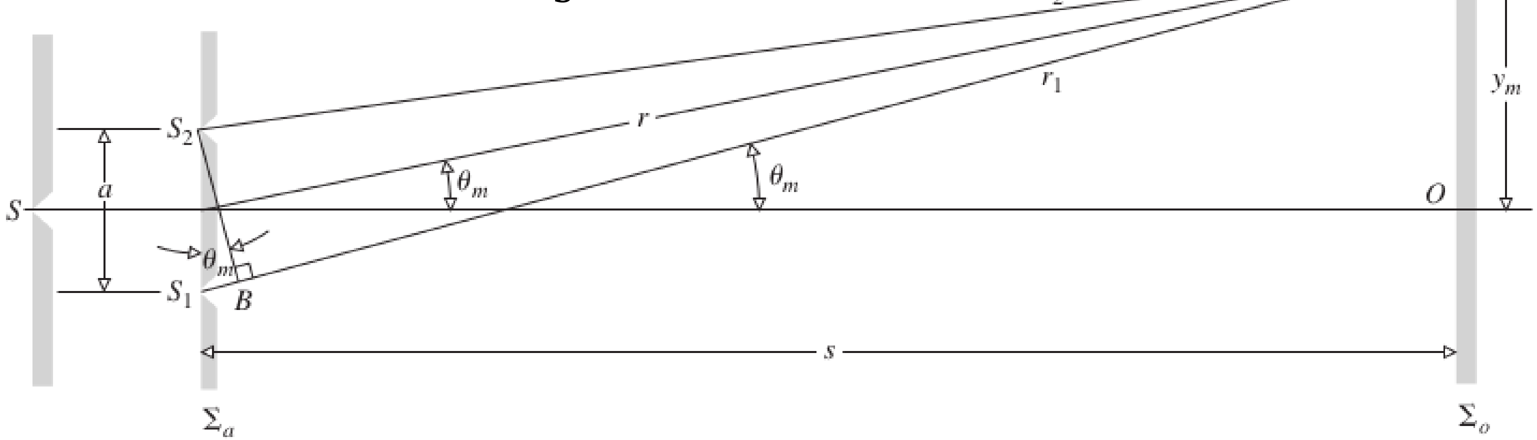


Empecemos por Young



Young 2

$$r_1 - r_2 = a\,\frac{y_m}{s}$$



- Ambas fuentes, S_1 y S_2 emiten en fase
- La diferencia de fase que aparece en P surge de la diferencia de caminos

para θ chicos

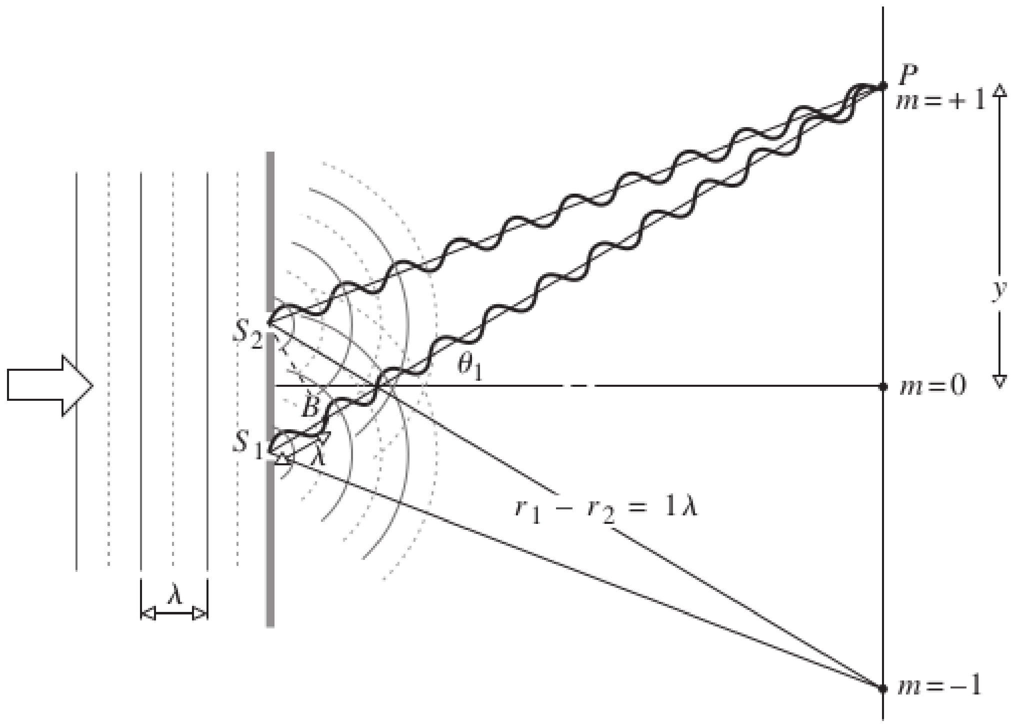
$$r_1 - r_2 = a\sin\theta_m \sim a\tan\theta_m = a\,\frac{y_m}{s}$$

altura sobre la pantalla del punto que estoy analizando

distancia doble rendija-pantalla

distancia entre rendijas

Young 3



Máximos sobre la pantalla

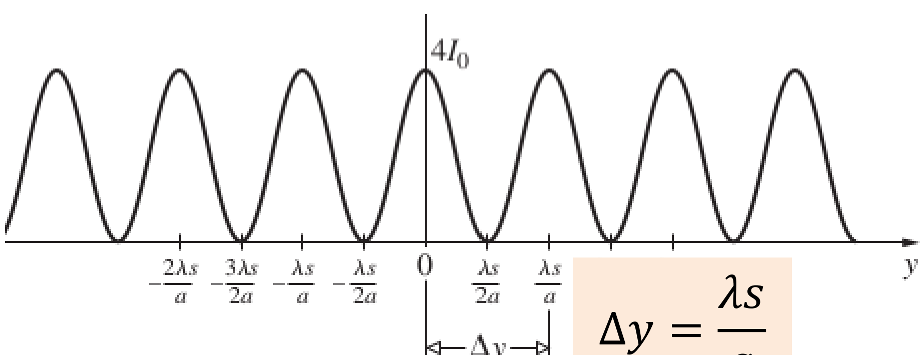
$$r_1 - r_2 = a\,\frac{y_m}{s} = m\lambda$$

$$\boxed{y_m = m\lambda\,\frac{s}{a}}$$

La irradiancia sobre la pantalla:

$$I = 4\,I_0\cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right)$$

$$= 4\,I_0\cos^2\left(\frac{k\,(r_1 - r_2)}{2}\right)$$

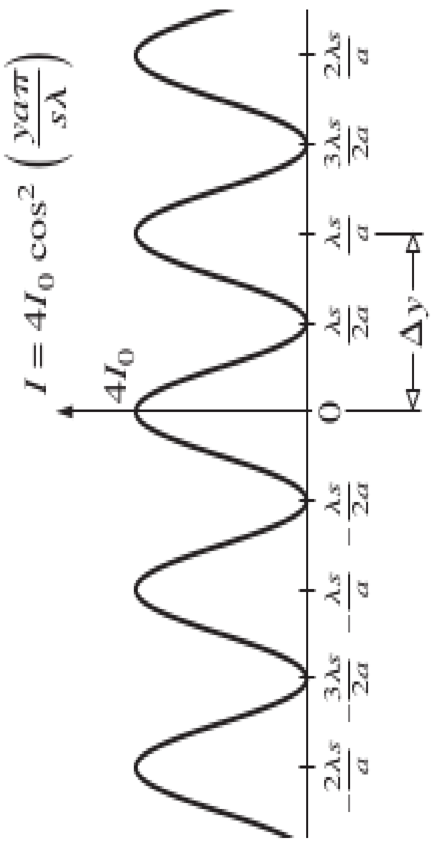


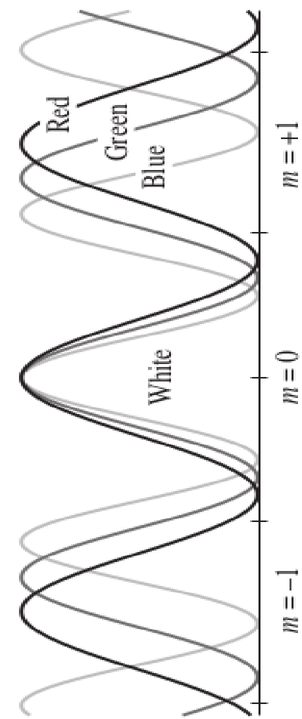
$$\boxed{\Delta y = \frac{\lambda s}{a}}$$

$$\boxed{I(y) = 4\,I_0\cos^2\left(\frac{y\,a\,\pi}{s\lambda}\right)}$$

Midiendo separacion de maximos uno puede determinar la long de onda

Young en colores

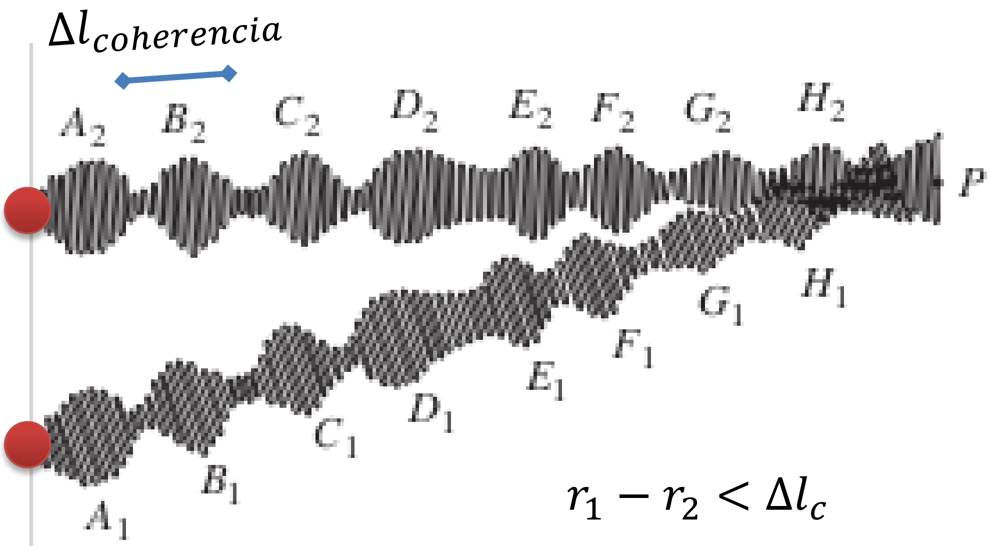


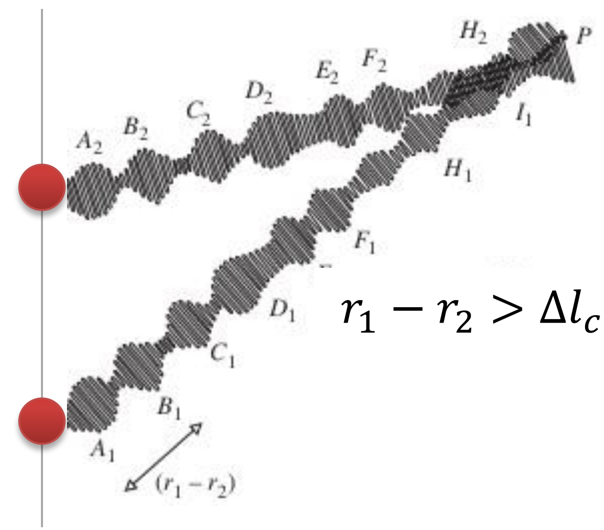


$$I(y) = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{y\, a\, \pi}{s\lambda}\right)$$

Warning…Tiempo y longitud de coherencia

- Una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Cada emisor radía un tren de ondas durante un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-9} s$
- La longitud típica que presenta fase constante resulta: $\Delta l_{coherencia} = c\Delta t_{coherencia} \sim 30cm$
- Por lo tanto la diferencia de fase entre dos fuentes puede permanecer constante **a lo sumo** durante un tiempo$\Delta t_{coherencia}$.



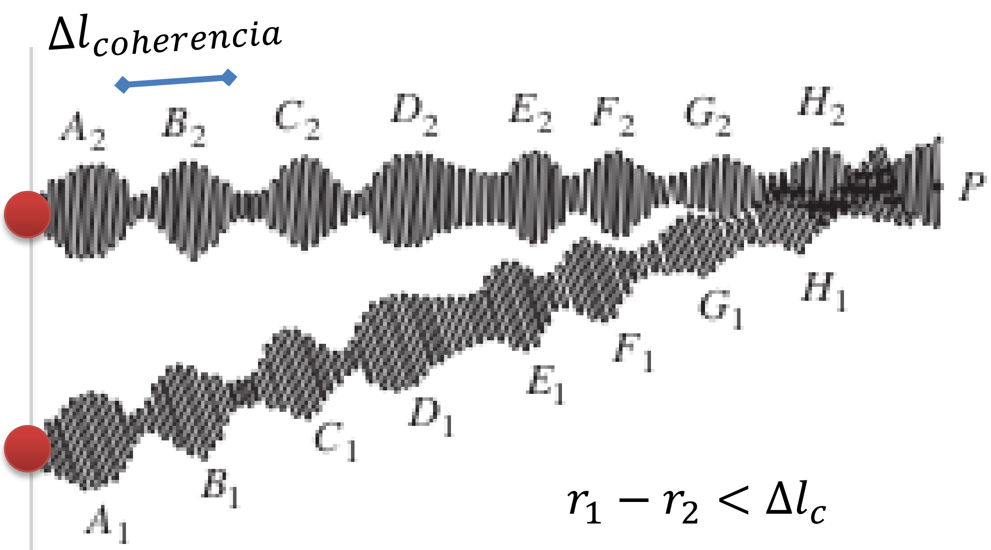


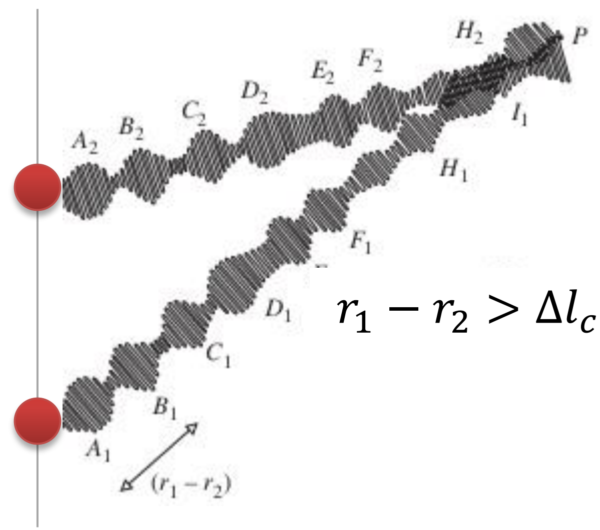
… si al punto de interes llegan simultaneamente paquetes H1-H2, G1-G2, etc,…todo bien

Pero si llegan G2-H1, F2-G1, etc…la dif de fase va a cambiar aleatoriamente en el tiempo y se borronea la interferencia

Warning…Tiempo y longitud de coherencia

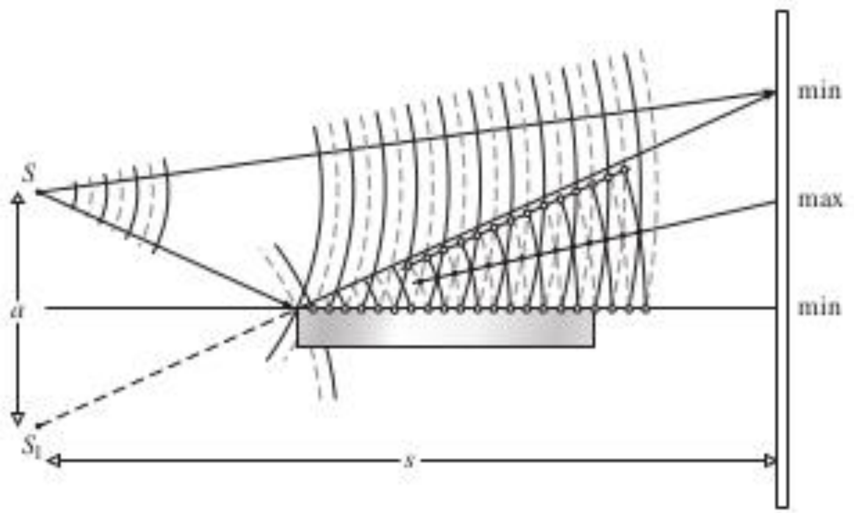
- Una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Cada emisor radía un tren de ondas durante un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-9} s$
- La longitud típica que presenta fase constante resulta: $\Delta l_{coherencia} = c \Delta t_{coherencia} \sim 30 cm$
- Por lo tanto la diferencia de fase entre dos fuentes puede permanecer constante **a lo sumo** durante un tiempo $\Delta t_{coherencia}$.





Si la diferencia de caminos es mayor a la longitud de coherencia no se produce interferencia en ese punto. El término $I_{12}=0$ y la irradiancia resulta constante $I=I_1+I_2$

Espejo de Lloyd



El único cuidado que hay que tener aquí es que al reflejarse la onda sufre un desfasaje en π. O sea es idéntico a Young pero con las fuentes desfasadas.

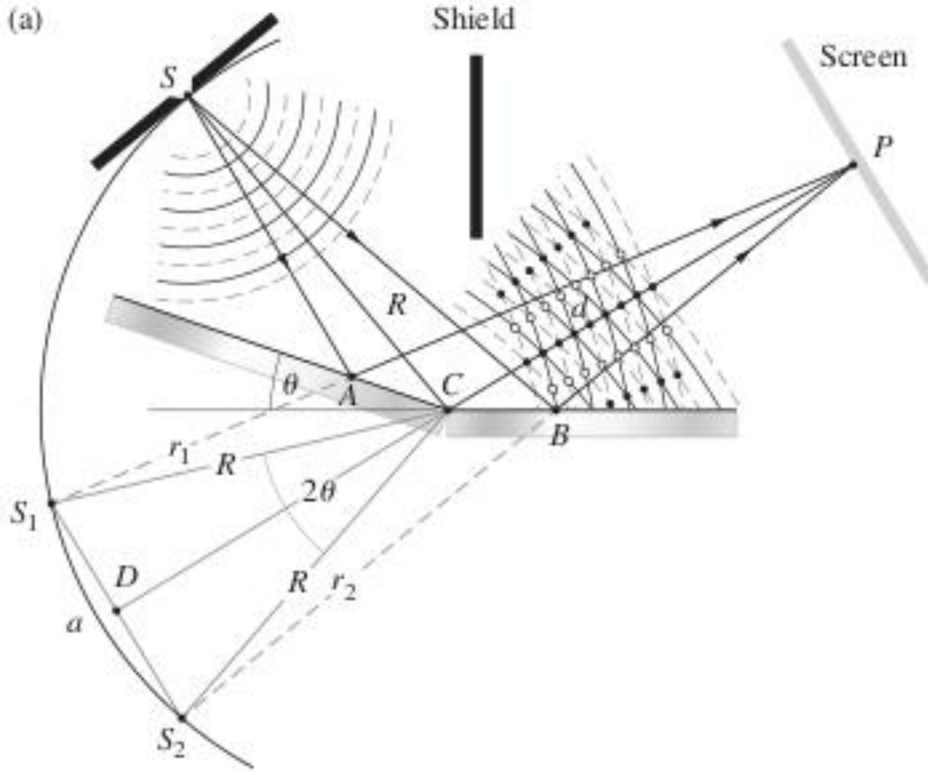
$$\Delta\varphi(\vec{r}) = k\,(r_1 - r_2) + \pi$$

$$I = 4\,I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi(\vec{r})}{2}\right) = 4\,I_0 \cos^2\left(\frac{k\,(r_1 - r_2) + \pi}{2}\right)$$

$$I(y) = 4\,I_0 \sin^2\left(\frac{y\,a\,\pi}{s\lambda}\right)$$

Donde antes tenía maximos ahora tengo mínimos y viceversa

Doble espejo de Fresnel



Igual que Young

$$y_m = m\lambda \, \frac{s}{a}$$

$$I(y) = 4\, I_0 \cos^2\left(\frac{y\, a\, \pi}{s\lambda}\right)$$

$$\Delta y = \frac{\lambda s}{a}$$

Direccionando la energía*

*Todos los creditos de esta parte vayan para Mariano Sigman

Se dispone de dos fuentes que emiten luz monocromatica. Las fuentes pueden moverse y podemos ajustar su fase a voluntad. Queremos emitir en la dirección norte sur, pero no en la dirección Este-Oeste.

Que hacer?

Que viene a ser lo mismo

$$\boxed{\lambda / 2}$$

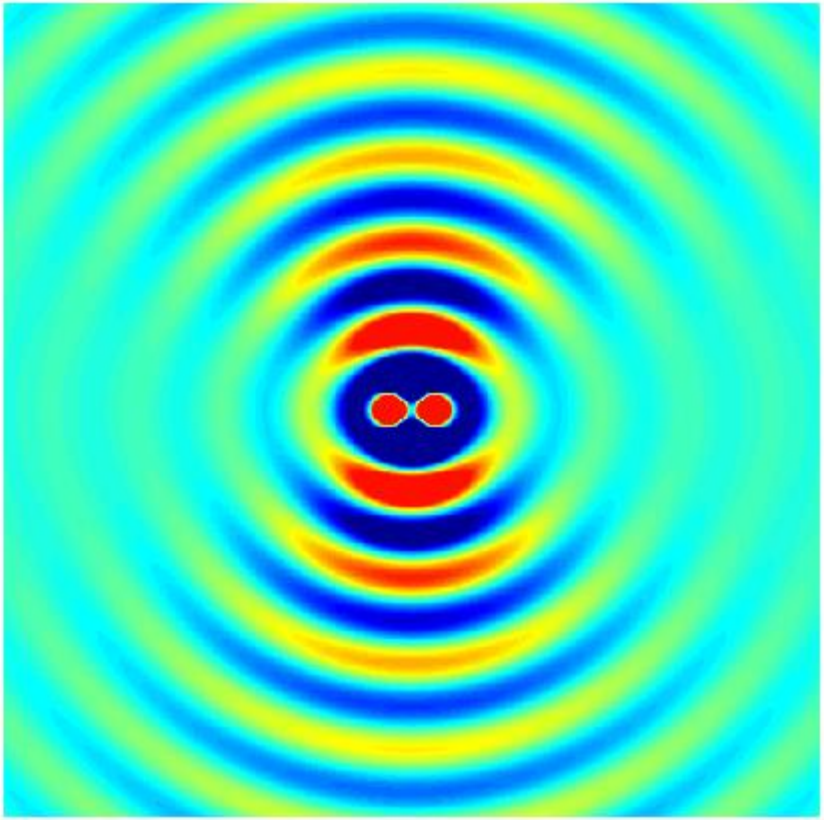
Para cualquier punto en este eje, la diferencia de fase resulta:

$$\boxed{\varphi_d = 2\pi \frac{-d}{\lambda} = -\pi}$$

$$\boxed{\varphi_d = 2\pi \frac{d}{\lambda} = \pi}$$

Si están en fase, acabamos de ver, en el centro y hacia el norte la interferencia es constructiva. (mitad del problema resuelto – que esten en fase)

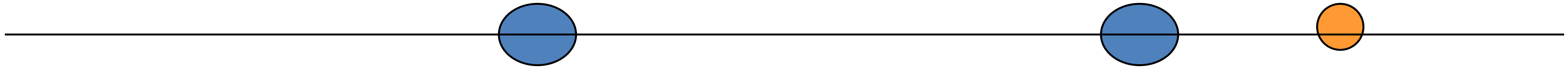
Para que en el eje horizontal la interferencia sea destructiva, la distancia ha de ser la mitad de la longitud de onda. (problema resuelto)



SUPONGAMOS QUE POR ALGUN MOTIVO LAS FUENTES HAN DE QUEDAR ALINEADAS EN EL EJE X, EXISTE ALGUNA OTRA SOLUCION?

$$\boxed{\lambda / 2 + \lambda = 3\lambda / 2}$$

Para cualquier punto en este eje, la diferencia de fase resulta:

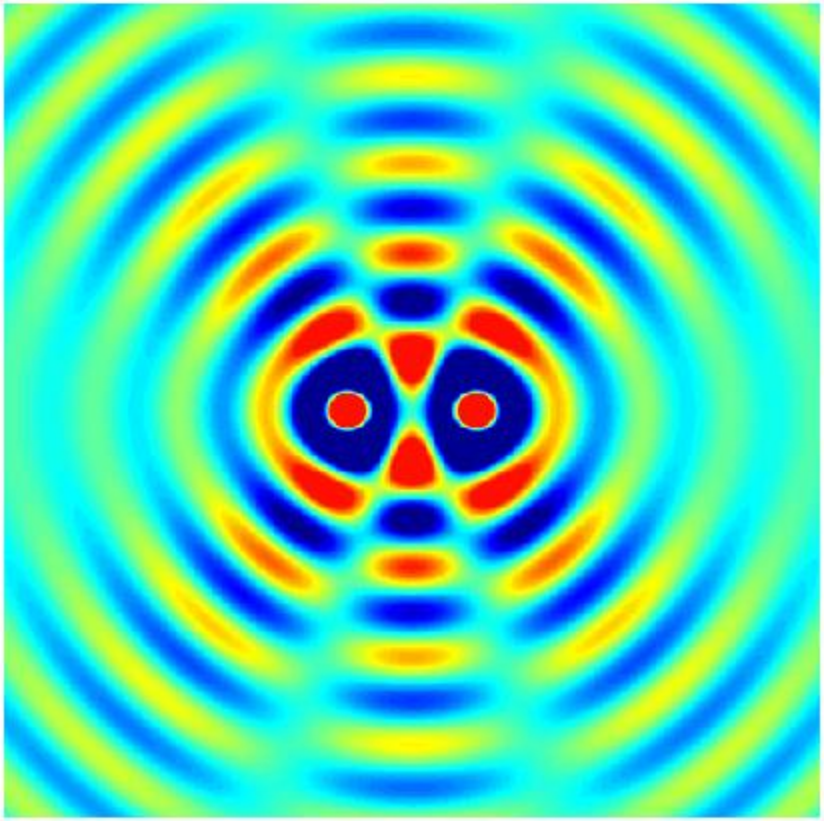


$$\boxed{\varphi_d = 2\pi \frac{d}{\lambda} = 3\pi = \pi (\bmod 2\pi)}$$

Agregarle una longitud de onda entera.

Esto resultara en algún cambio o será todo lo mismo.

SUPONGAMOS QUE POR ALGUN MOTIVO LAS FUENTES HAN DE QUEDAR



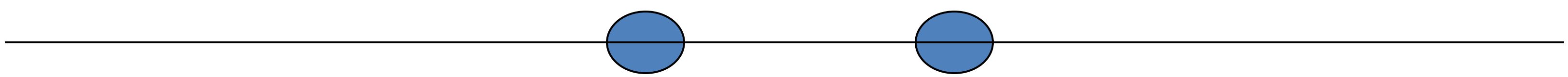
$$\boxed{sen(\theta) = m\frac{\lambda}{d}}$$

A medida que d aumenta, esta ecuación tiene mas soluciones enteras (recordar que el seno vale como mucho uno) y por ende mas máximos.

SUPONGAMOS QUE POR ALGUN MOTIVO LAS FUENTES HAN DE QUEDAR ALINEADAS EN EL EJE X, Y QUEREMOS TRANSMITIR EN LA DIRECCION ESTE-OESTE. SE PUEDE?

$$\boxed{d = \lambda / 2}$$

$$\boxed{\Delta \varphi = \pi}$$



Para cualquier punto en este eje, la diferencia de fase resulta:

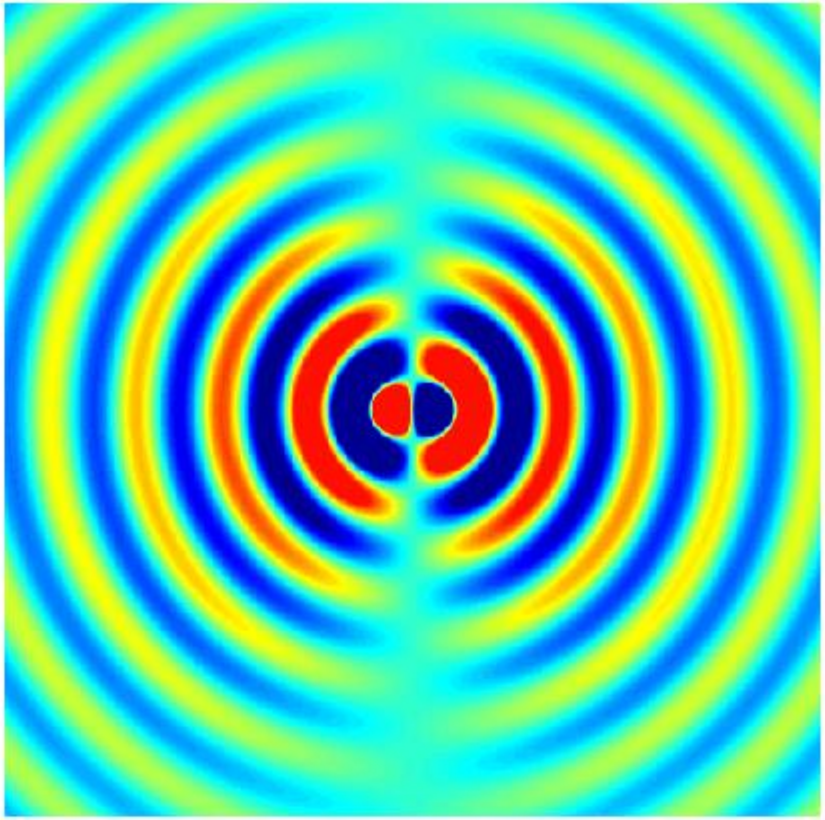
$$\boxed{\varphi_d = \Delta \varphi + 2\pi \frac{d}{\lambda} = \pi + \pi = 2\pi = 0}$$

Primer problema. Como hacer que en la dirección norte, en el centro de los dos emisores, donde el camino es necesariamente el mismo, la senal sea nula.

(desfasando las fuentes en medico ciclo. Primer mitad resuelta!)

La diferencia de camino en el eje x ha de completar el otro medio ciclo, por ende d=lambda/2

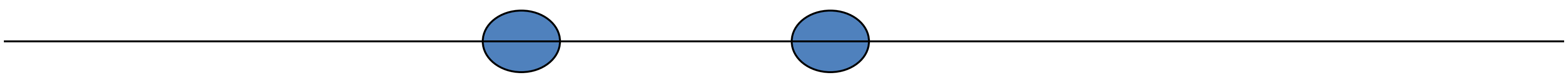
SUPONGAMOS QUE POR ALGUN MOTIVO LAS FUENTES HAN DE QUEDAR ALINEADAS EN EL EJE X, EXISTE ALGUNA OTRA SOLUCION?



ULTIMO PROBLEMA… UN POCO MAS DIFICIL. COMO HACER PARA TRANSMITIR AL ESTE, PERO NO AL OESTE. O VICEVERSA.

$$\boxed{d = \lambda / 4}$$

$$\boxed{\Delta\varphi = \pi / 4}$$



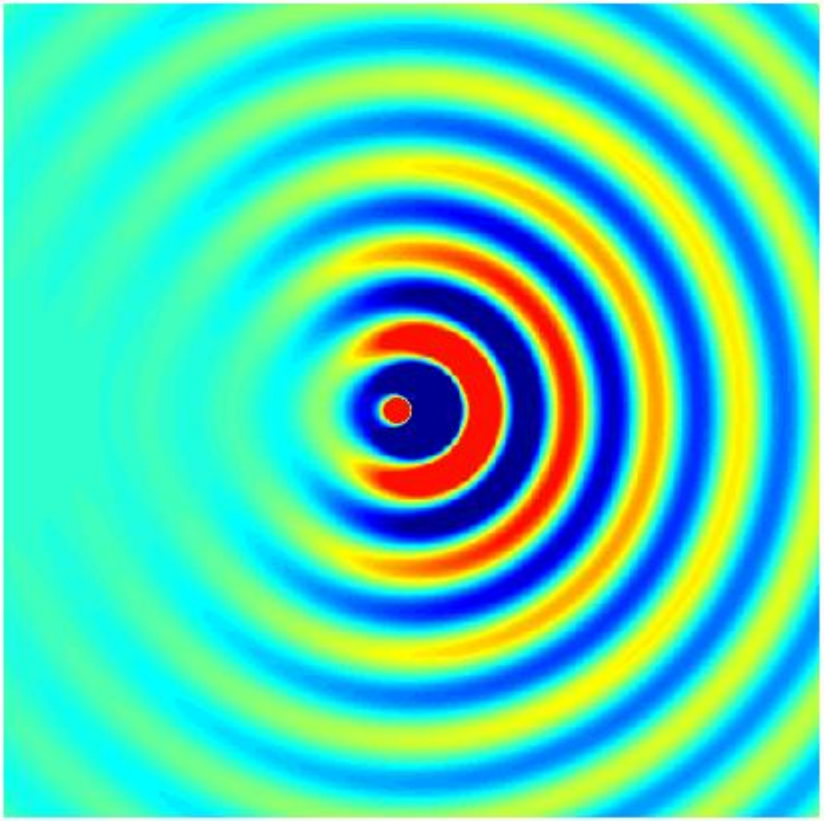
$$\boxed{\varphi_d = \Delta\varphi + 2\pi\frac{d}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} = -\pi}$$

$$\boxed{\varphi_d = \Delta\varphi + 2\pi\frac{d}{\lambda} = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}}$$

Primer hecho, las fases han de ser distintas. Sino, para que no transmita a la izquierda no queda otra que hacer que la diferencia de camino sea media longitud de onda.

Interferencia destructiva corresponde a un desfasaje de pi, y constructiva de dos pi (o cero pi) la solucion, que el desfasaje este en el medio….

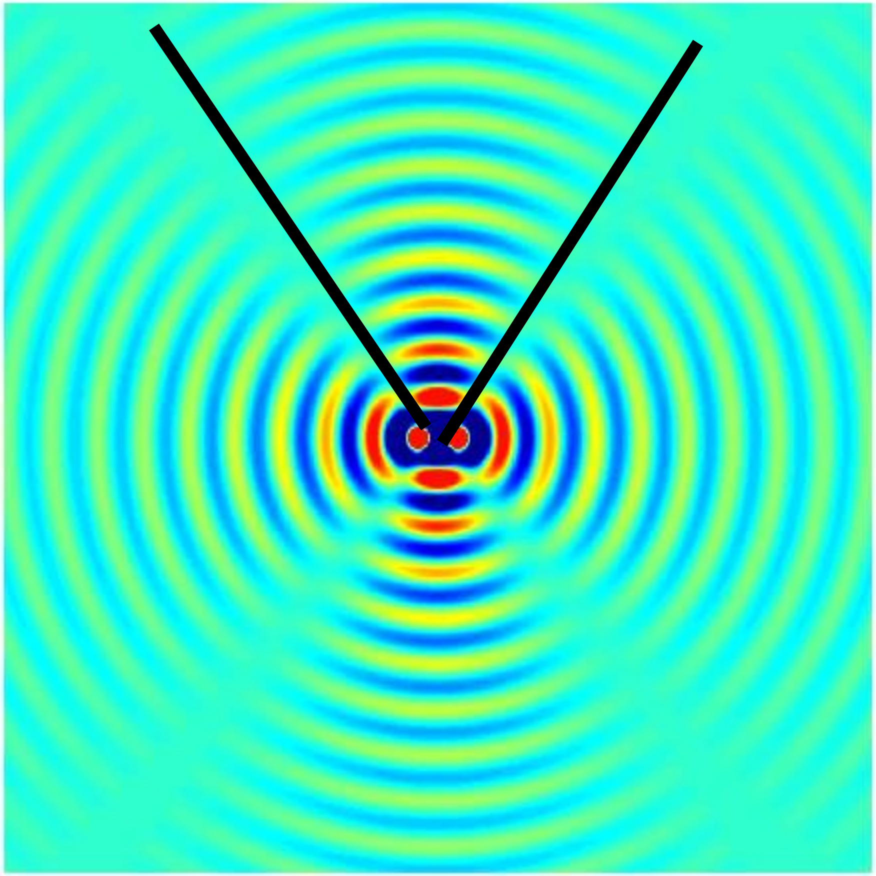
PROBLEMA… UN POCO MAS DIFICIL. COMO HACER PARA TRANSMITIR AL ESTE,



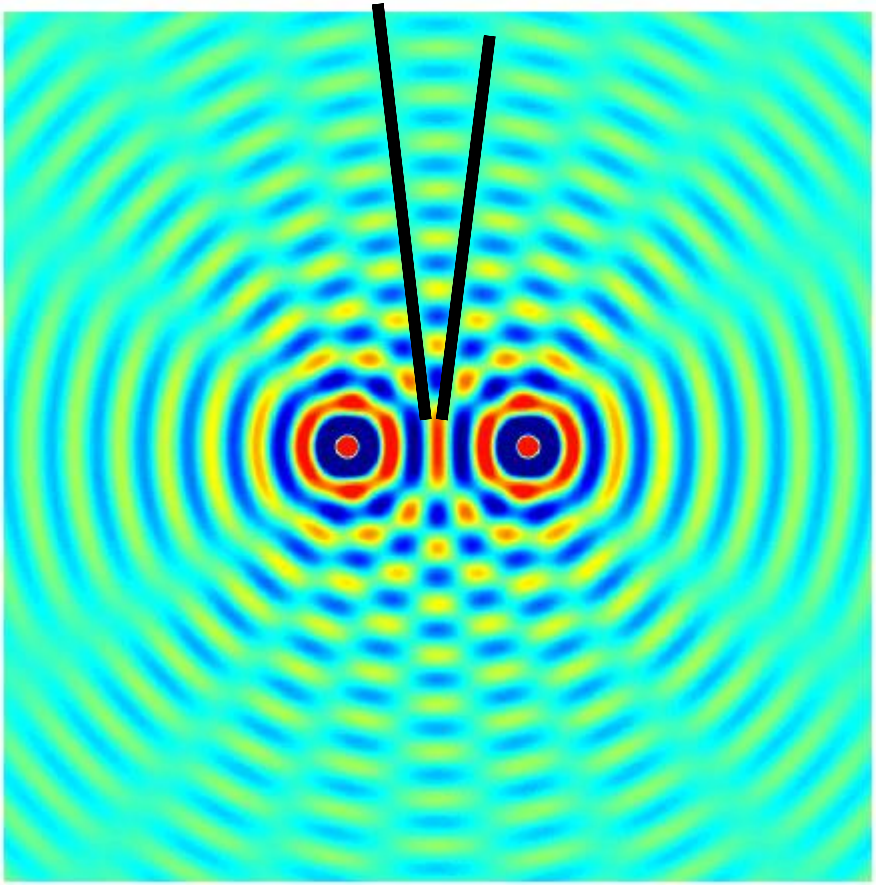
Interferencia aplicada:

AHORA QUE SABEMOS DIRECCIONAR LA LUZ (O LA RADIO) COMO DIRIGIR ESE HAZ EN UNA BANDA ANGOSTA?

VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?

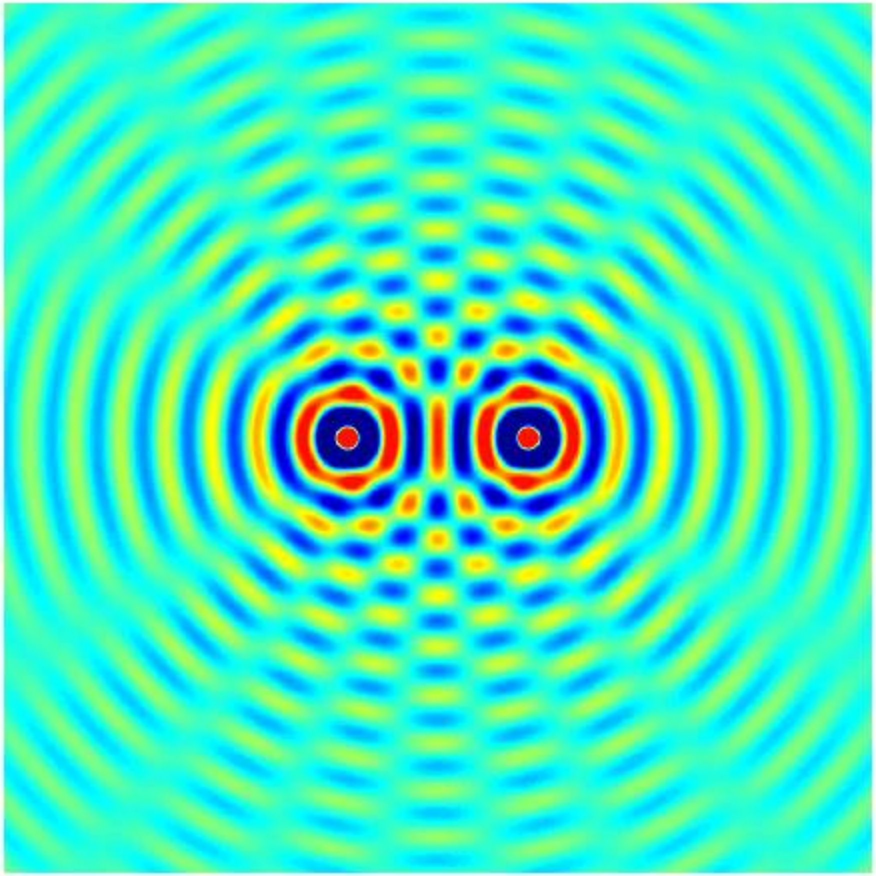


VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



Resolvimos un problema para agregar otro. El máximo es mas angosto, pero hay (como hubiésemos podido predecir), mas máximos…
Como resolverlo?

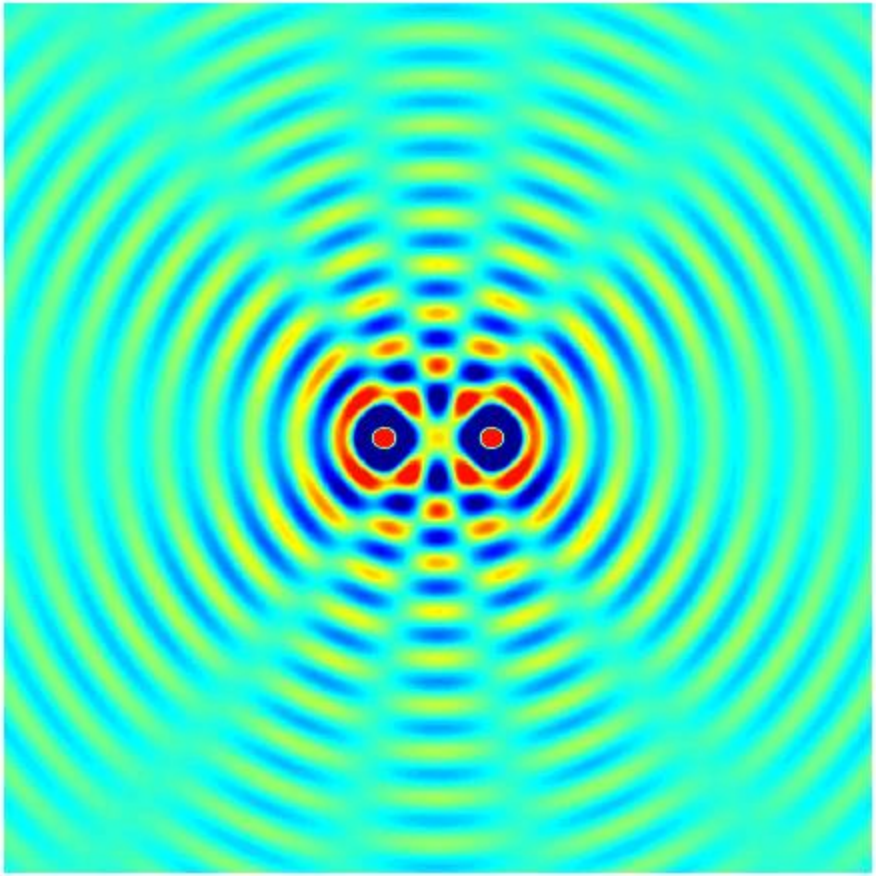
VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



Resolvimos un problema para agregar otro. El máximo es mas angosto, pero hay (como hubiésemos podido predecir), mas máximos…

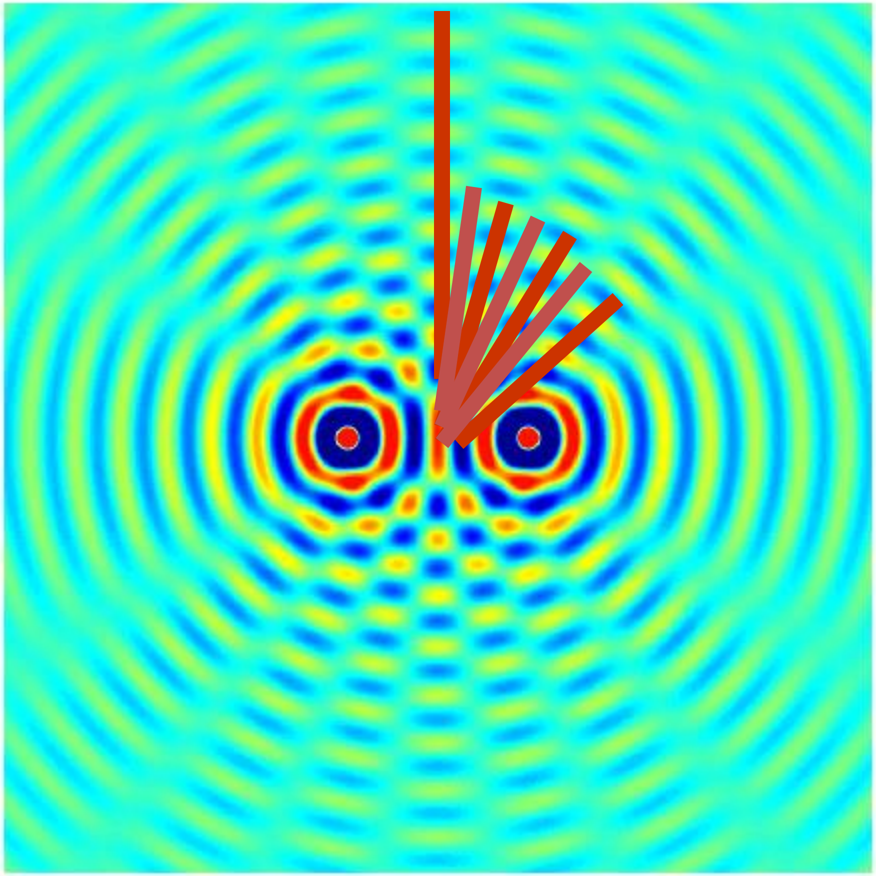
Como resolverlo?

VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



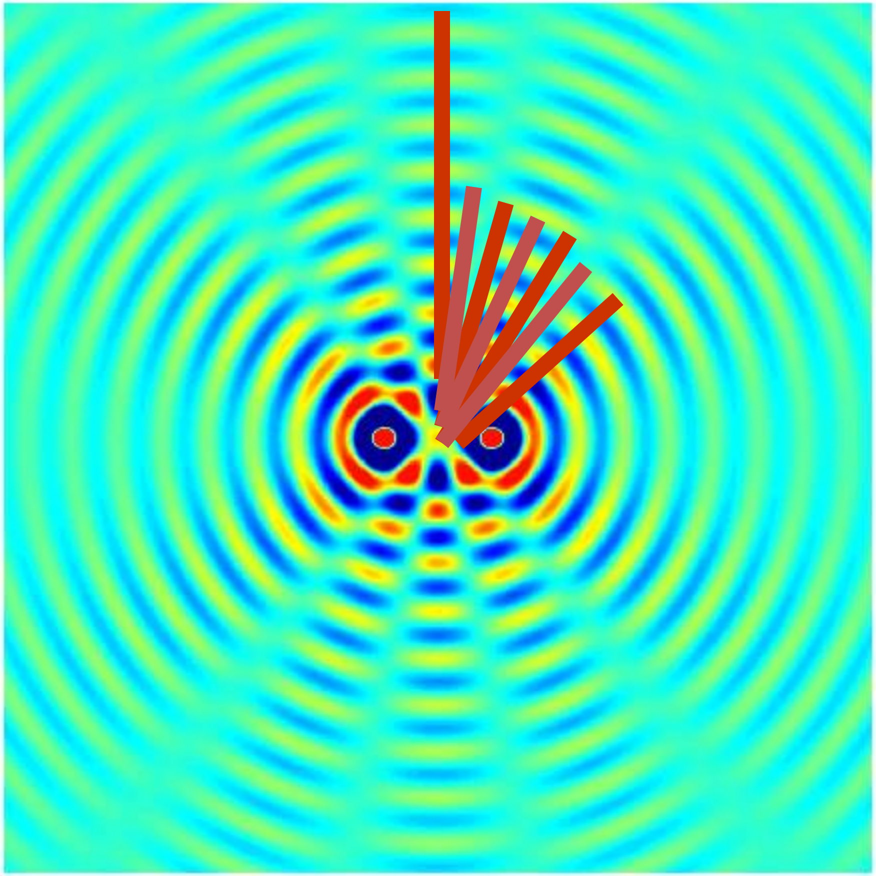
Resolvimos un problema para agregar otro. El máximo es mas angosto, pero hay (como hubiésemos podido predecir), mas máximos…
Como resolverlo?

VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



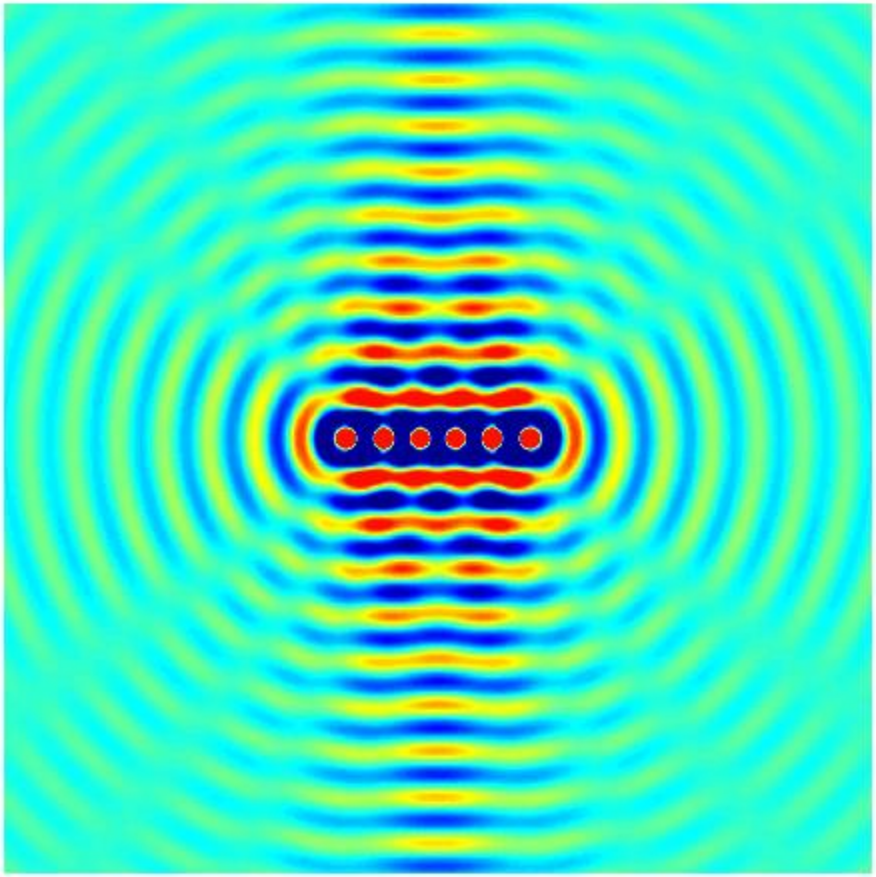
Resolvimos un problema para agregar otro. El máximo es mas angosto, pero hay (como hubiésemos podido predecir), mas máximos…
Como resolverlo?

VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



Resolvimos un problema para agregar otro. El máximo es mas angosto, pero hay (como hubiésemos podido predecir), mas máximos…
Como resolverlo?

VOLVAMOS AL PROBLEMA ORIGINAL. LA ANTENA QUE EMITE AL NORTE. COMO PODEMOS CONTROLAR EL ANCHO DEL MAXIMO?



Dos hechos que merecen una pausa:

1) En que difiere esta solución de las anteriores.
2) Además de para emitir como una quiere, lo que constituye un problema no menor. Para que sirve saber todo esto?