Interferencia 3/3

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

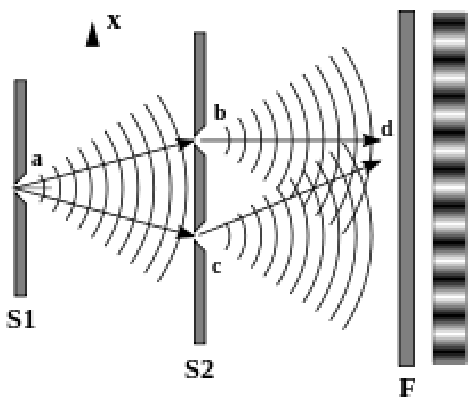
- Dispositivos para generar fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\varepsilon = \mathrm{cte}$

- Vienen en dos sabores:

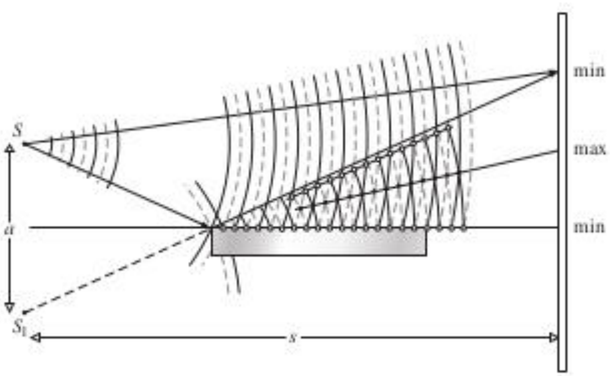
Interferómetros por división de frente de onda

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

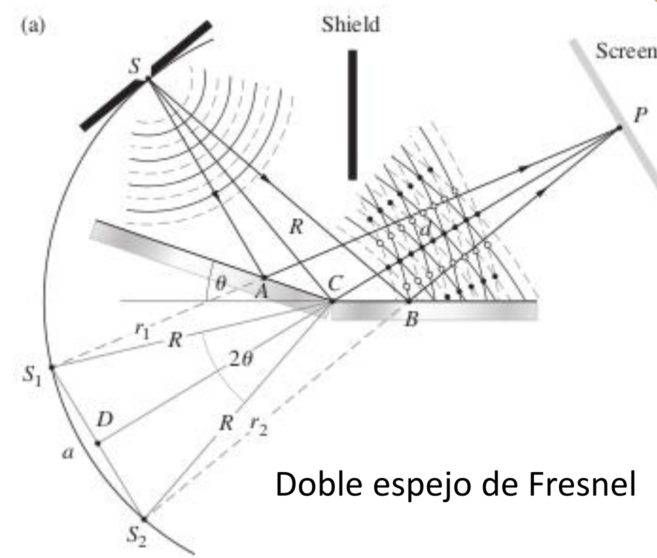
Cada dispositivo permite generar fuentes diferenciadas con una relacion de fase constante. Pero yo sabemos resolver eso! No te tenemo miedo interferometro!



Interferómetro de Young



Espejo de Lloyd



Doble espejo de Fresnel

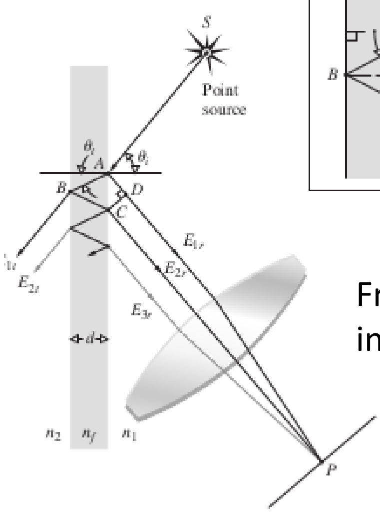
Interferómetros

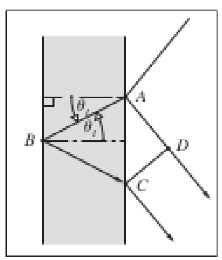
- Dispositivos para <u>generar</u> fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\varepsilon = \mathrm{cte}$

- Vienen en dos sabores:

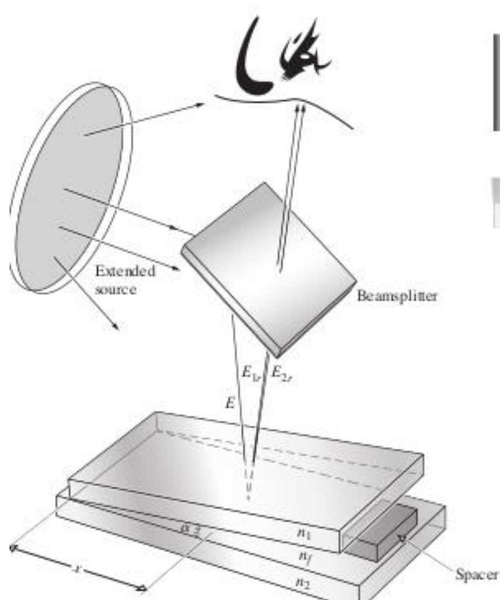
Interferómetros por división de frente de onda
Se toma un frente de onda y se usa una parte del mismo como fuente1 y otra parte como fuente 2

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



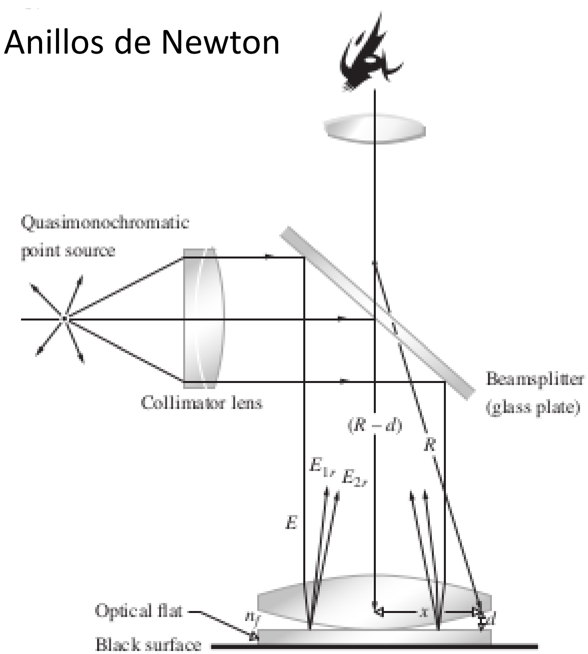


Franjas de igual inclinacion

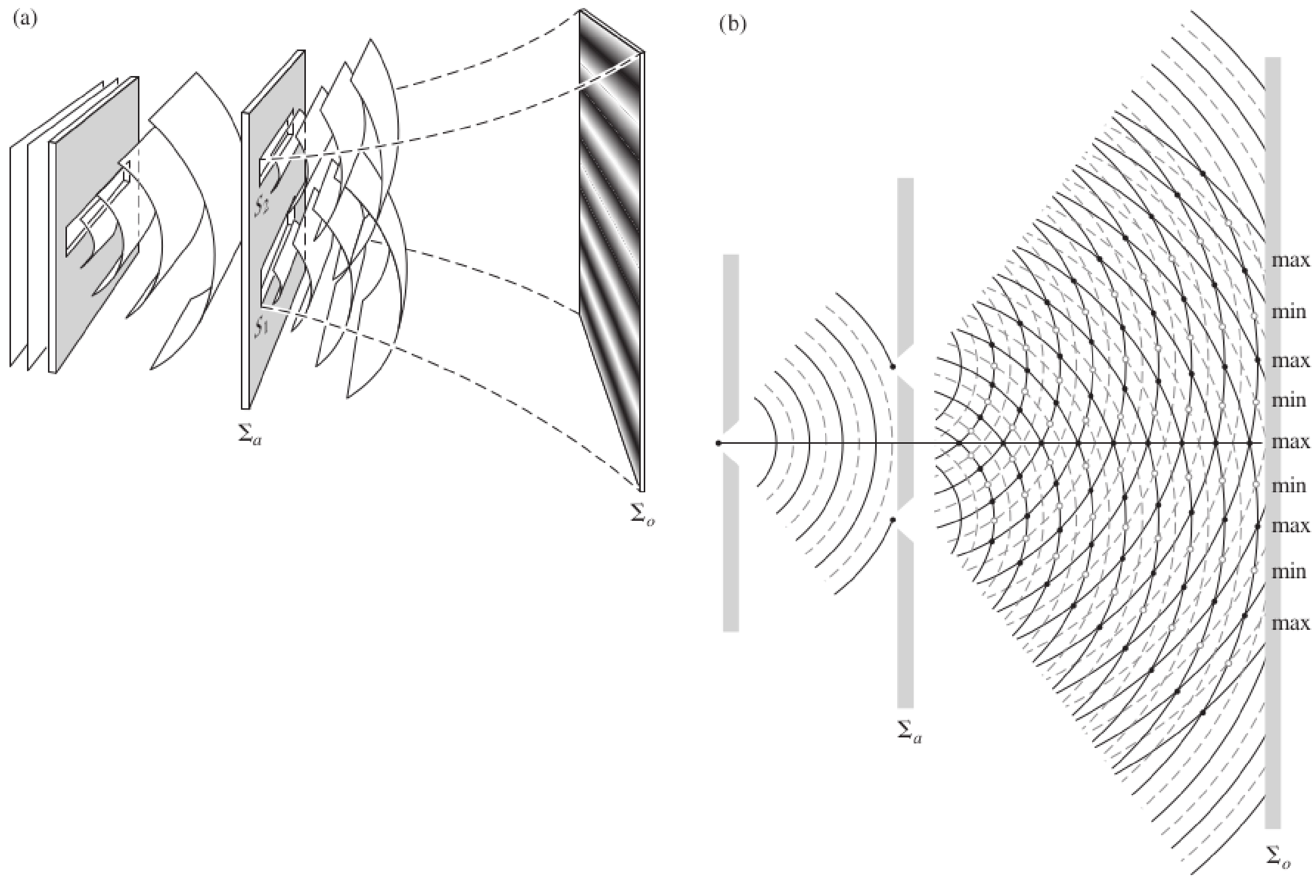


Franjas de Fizeau

Anillos de Newton

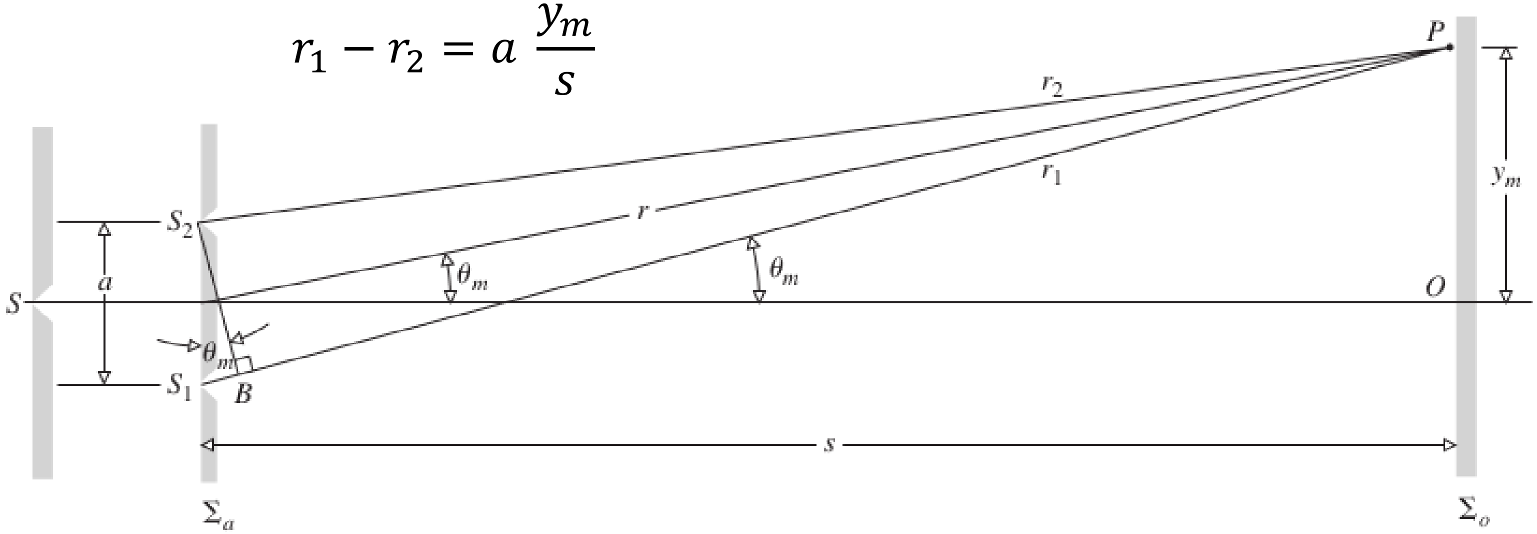


Empecemos por Young



Young 2: Un poco de geometria

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



- 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

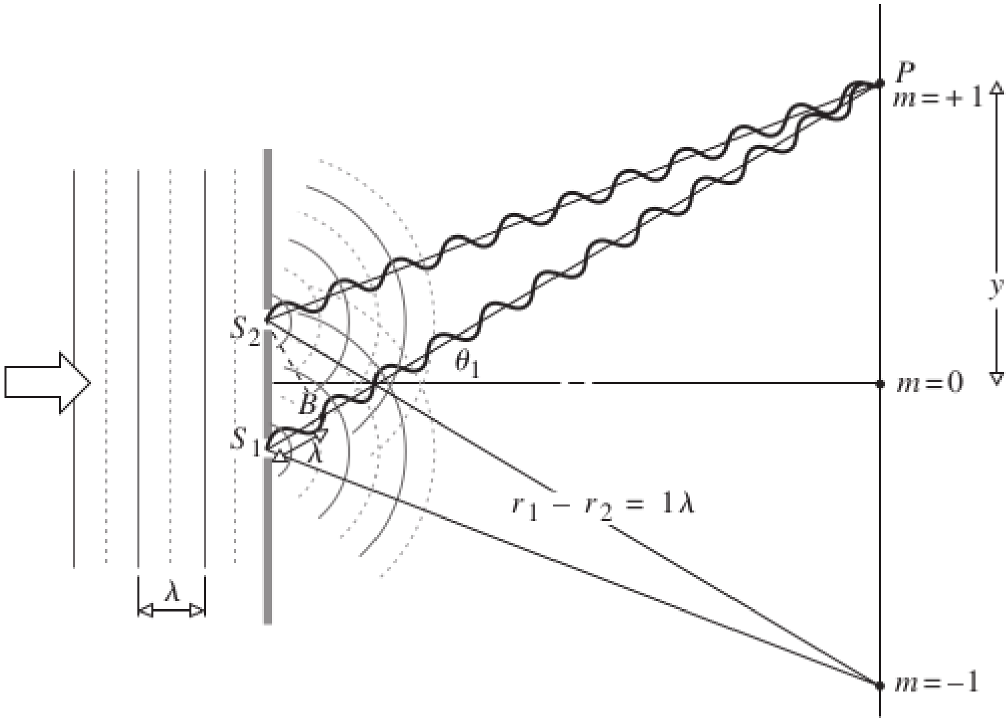
$$r_1 - r_2 = a\sin\theta_m \sim a\tan\theta_m = a\,\frac{y_m}{s}$$

altura sobre la pantalla del punto que estoy analizando

distancia doble rendija-pantalla

distancia entre rendijas

Young 3



Máximos sobre la pantalla

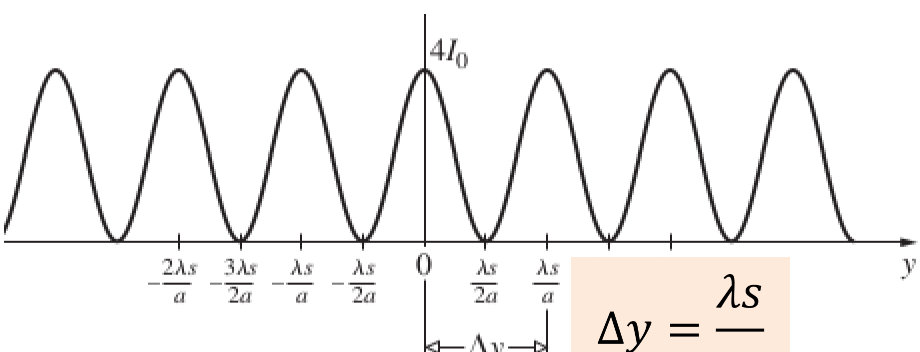
$$r_1 - r_2 = a\,\frac{y_m}{s} = m\lambda$$

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

La irradiancia sobre la pantalla:

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

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



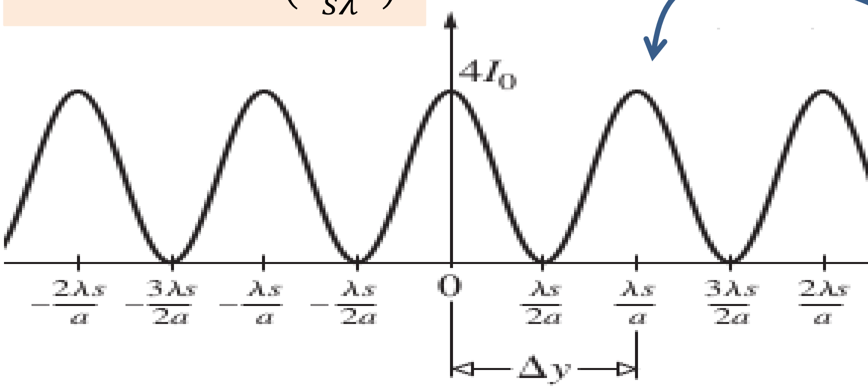
$$\boxed{\Delta y = \frac{\lambda s}{a}}$$

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

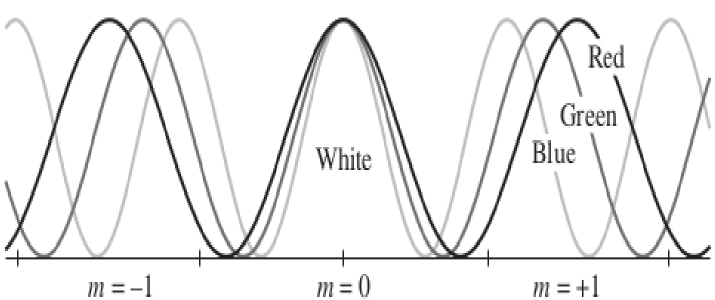
Midiendo separacion de maximos uno puede determinar la long de onda

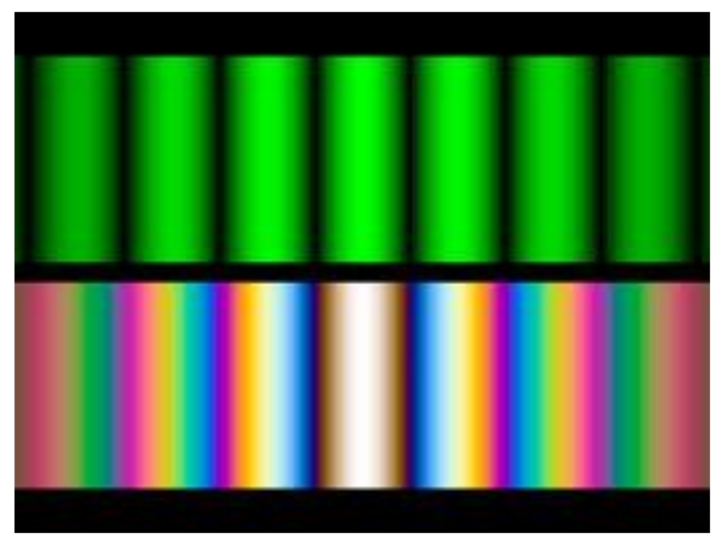
Young en colores

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

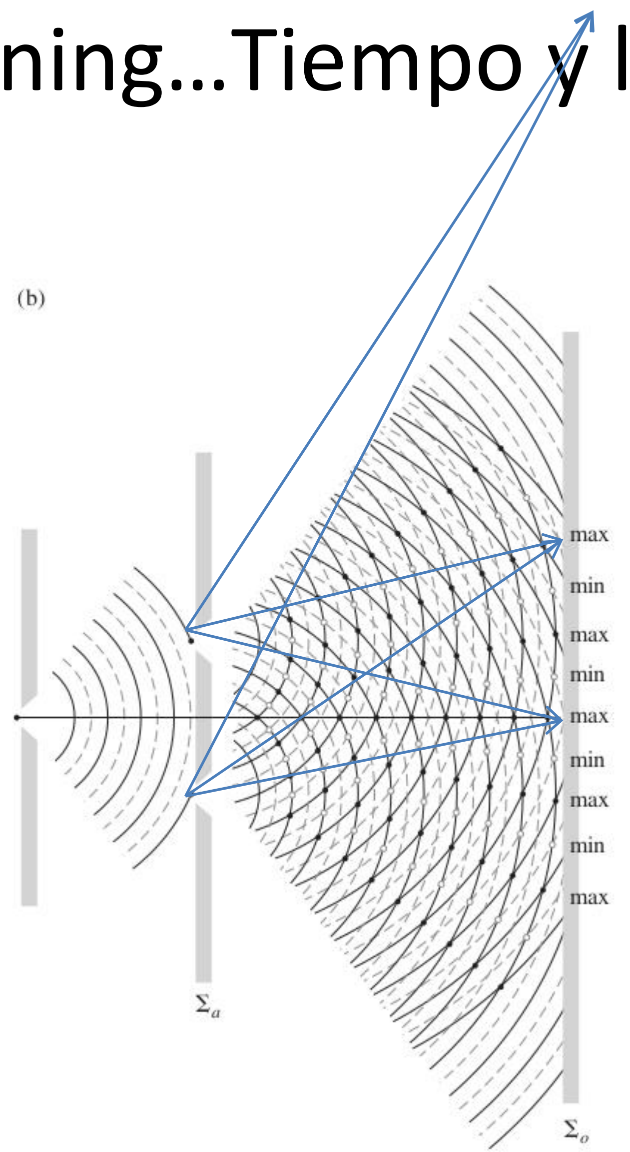


La posicion sobre la pantalla de maximos y minimos depende de λ





Warning…Tiempo y longitud de coherencia



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

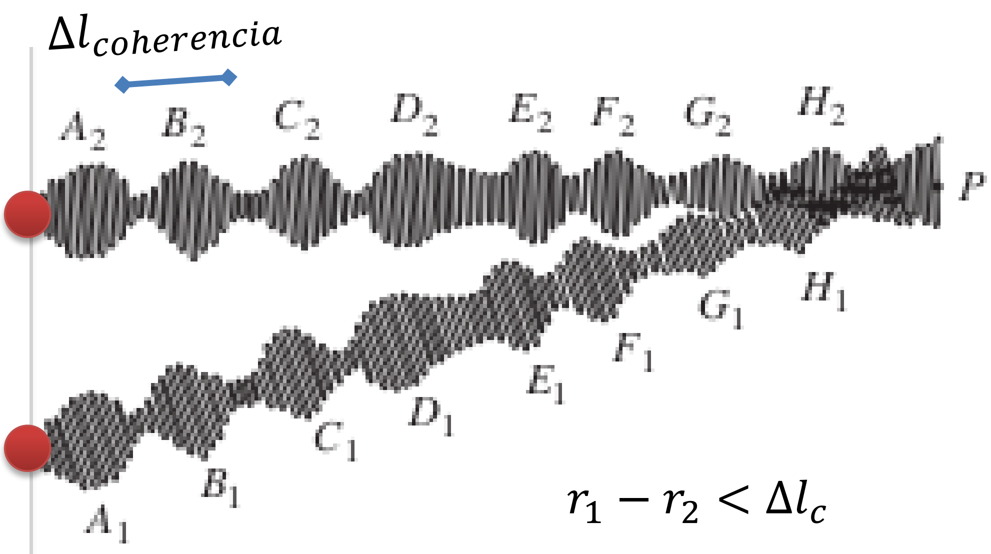
$$\boxed{I(y) = 4\,I_0 \cos^2\left(\frac{y\,a\,\pi}{s\lambda}\right)}$$

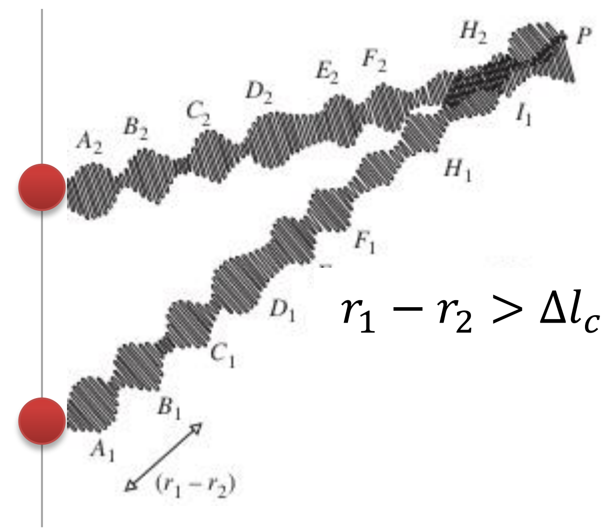
En principio deberiamos ser capaces de ver infinitos ordenes de max interferencia sobre la pantalla…

Pero….

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 $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-9} s$
- Por lo tanto la diferencia de fase entre dos fuentes puede permanecer constante **a lo sumo** durante un tiempo$\Delta t_{coherencia}$.
- La longitud típica que presenta fase constante resulta: $\Delta l_{coherencia} = c\Delta t_{coherencia} \sim 30cm$



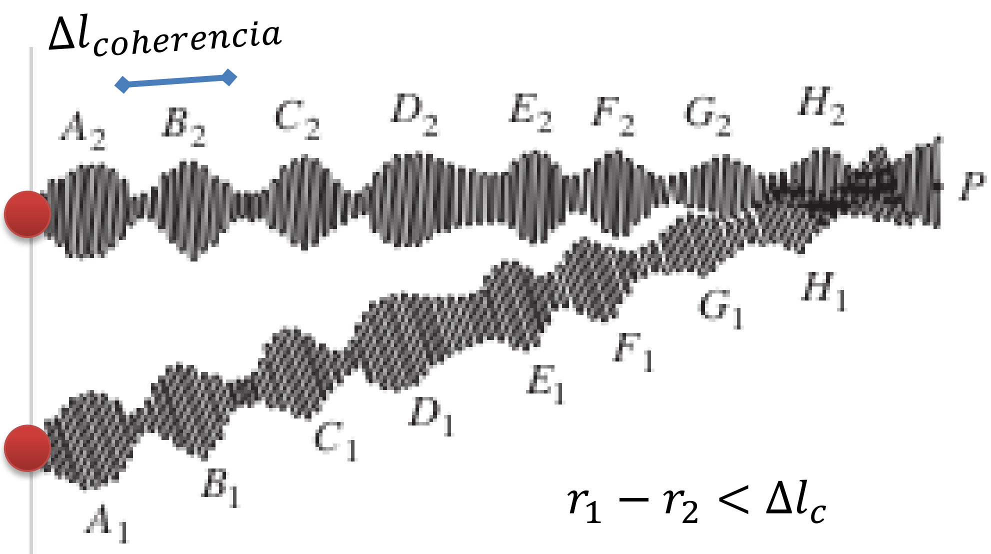


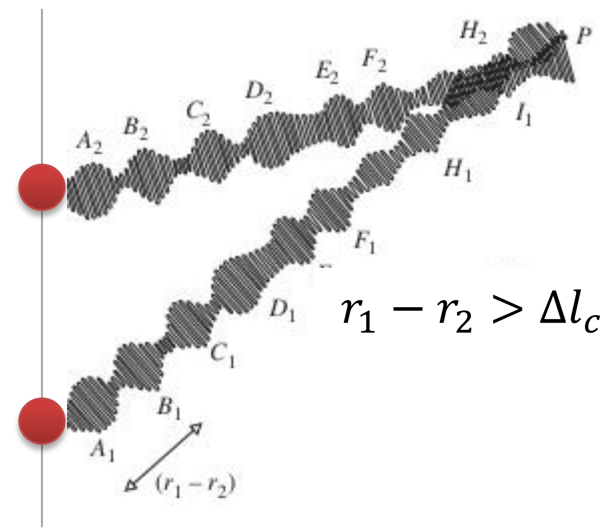
… si al punto de interes llegan simultaneamente paquetes H1-H2, G1-G2, etc,…todo bien

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

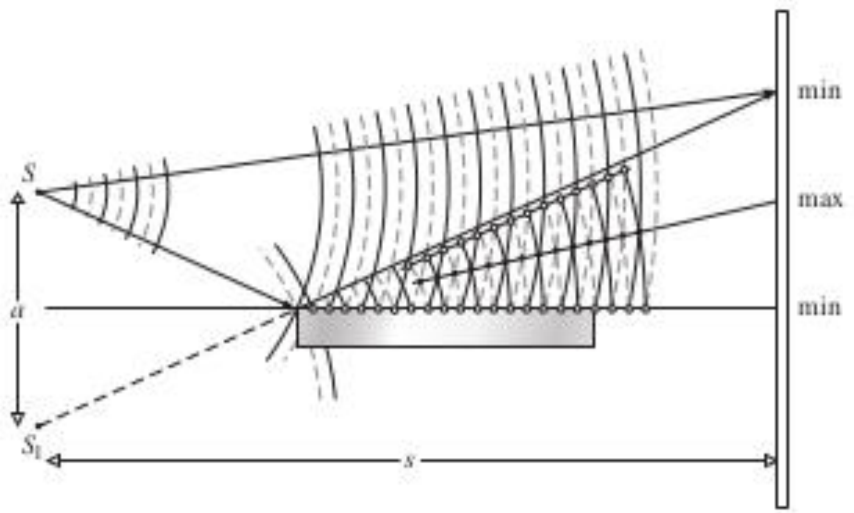
- Una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Cada emisor radía un tren de ondas durante un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-9} s$
- Por lo tanto la diferencia de fase entre dos fuentes puede permanecer constante **a lo sumo** durante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





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.

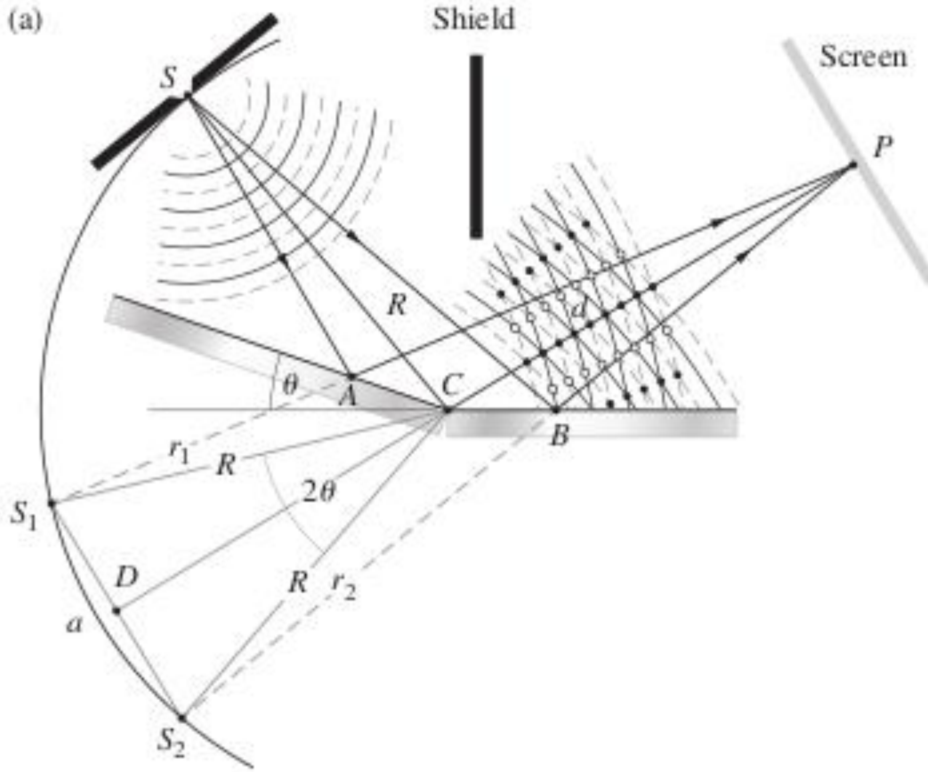
$$\Delta\varphi(\vec{r}) = k\,(r_1 - r_2) + \pi$$

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

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

Donde antes tenía maximos ahora tengo mínimos y viceversa

Doble espejo de Fresnel



Igual que Young

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

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

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

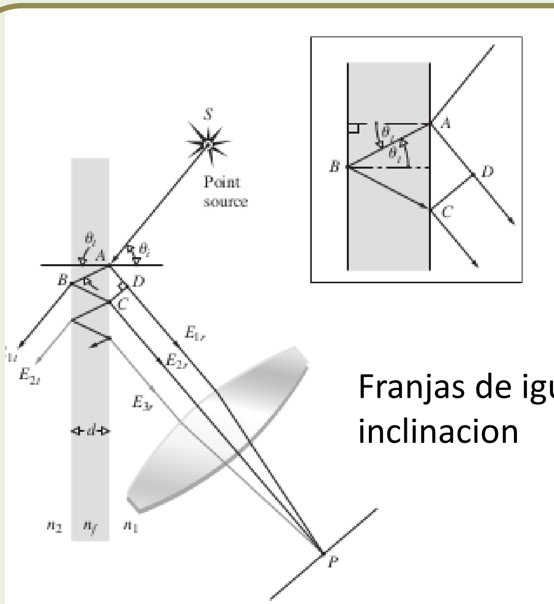
Interferómetros

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

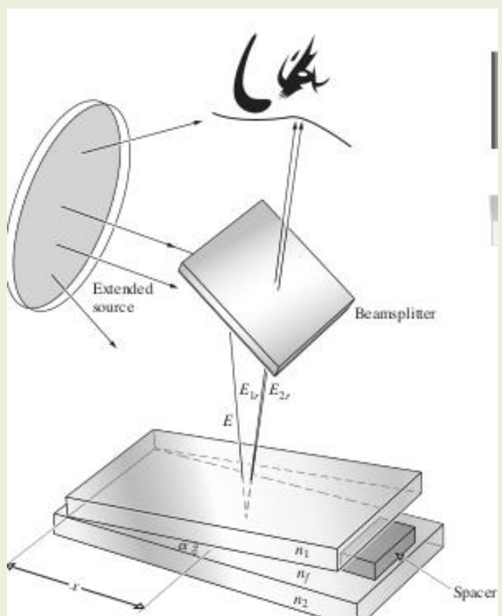
- Vienen en dos sabores:

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

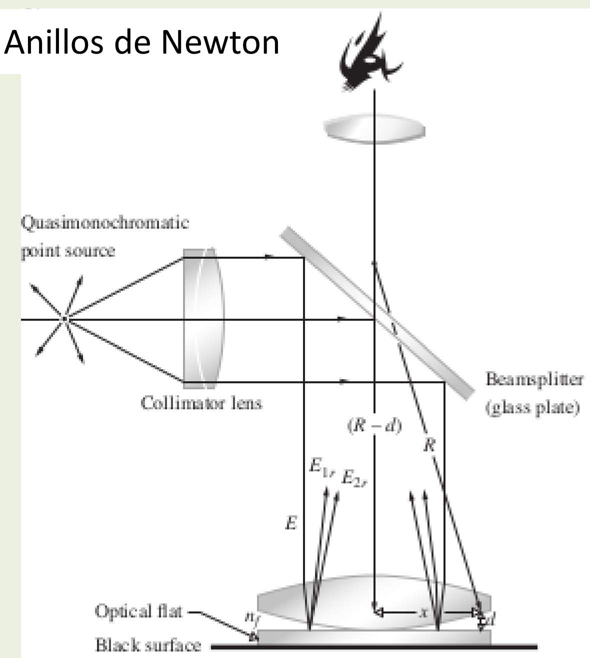


Franjas de igual inclinacion



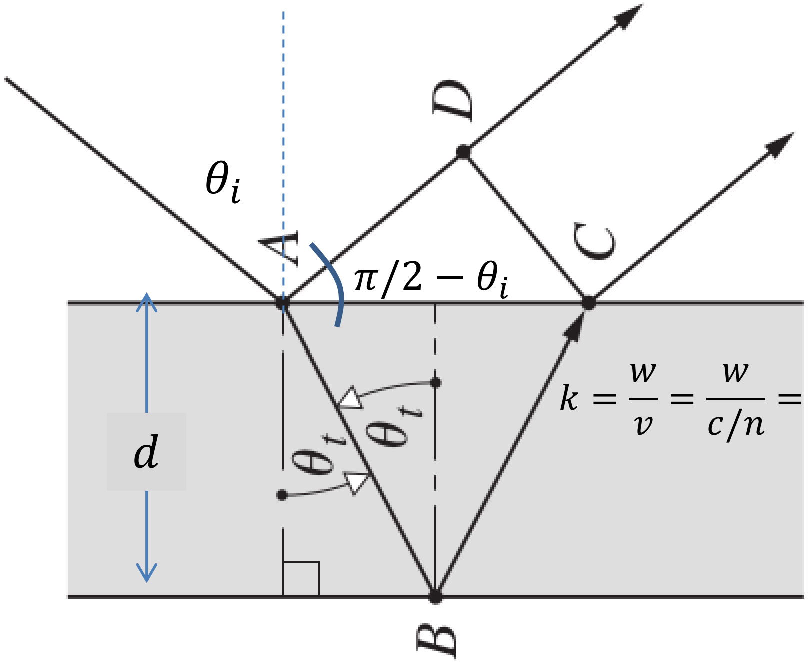
Franjas de Fizeau

Anillos de Newton



Rayos de igual inclinación

- El rayo incidente se divide en rayo reflejado y transmitido (cada uno de ellos de menor amplitud que la original)
- En A ambos se separan (ahí estan en fase)
- La diferencia de fase con la que se ´reencuentran´ en CD resulta:



$$k = \frac{w}{v} = \frac{w}{c/n} = n\frac{w}{c} = nk_0$$

$$\Delta\varphi(\theta_i) = k_t\, 2\, AB \; - \; k_i AD$$

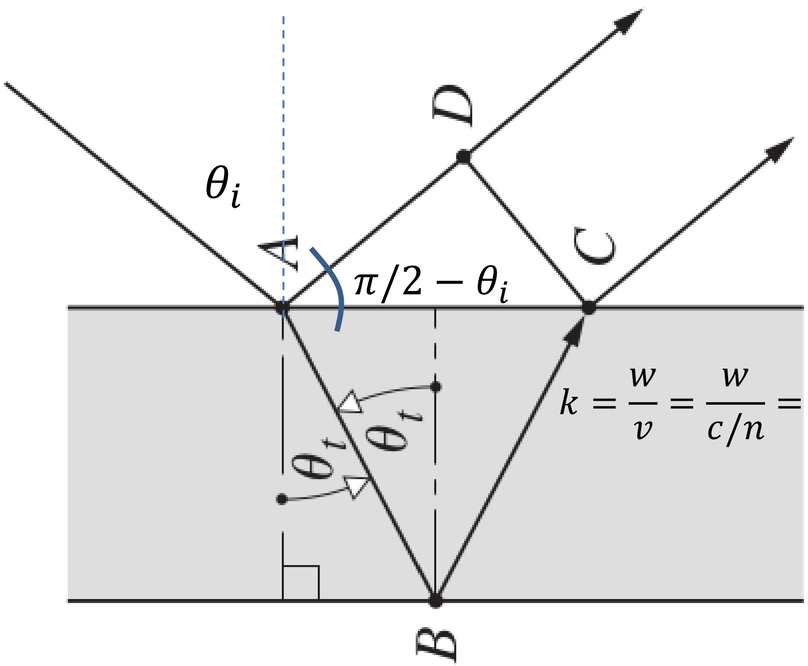
$$= k_0\, (\underbrace{n_t\, 2\, AB \; - n_i\, AD}_{\text{diferencia de caminos opticos}})$$

$$AB \cos\theta_t = d \longrightarrow AB = \frac{d}{\cos\theta_t}$$

$$AD = AC\ \cos(\frac{\pi}{2} - \theta_i) = AC \sin\theta_i$$

Rayos de igual inclinación

- El rayo incidente se divide en rayo reflejado y transmitido (cada uno de ellos de menor amplitud que la original)
- En A ambos se separan (ahí estan en fase)
- La diferencia de fase con la que se ´reencuentran´ en CD resulta:



$$k = \frac{w}{v} = \frac{w}{c/n} = n\frac{w}{c} = nk_0$$

$$\Delta\varphi(\theta_i) = k_t\, 2\, AB \; - \; k_i AD$$

$$= k_0\,(\underbrace{n_t\, 2\, AB \; - n_i\, AD}_{\text{diferencia de caminos opticos}})$$

$$AB = \frac{d}{\cos\theta_t}$$

$$AD = AC\;\sin\theta_i = AC\;\frac{n_t}{n_i}\;\sin\theta_t = 2d\;\frac{n_t}{n_i}\;\frac{\sin^2\theta_t}{\cos\theta_t}$$

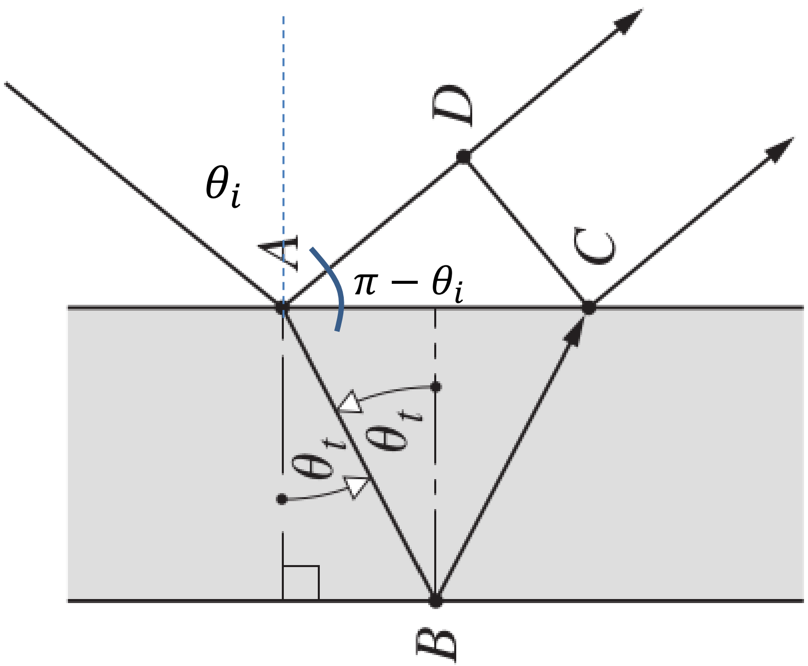
$$AC = 2\;AB\;\sin\theta_t = 2d\tan\theta_t$$

$$= k_0\,(n_t 2\frac{d}{\cos\theta_t} - 2dn_t\frac{\sin^2\theta_t}{\cos\theta_t})$$

$$= \frac{2n_t d}{\cos\theta_t}k_0(1 - \sin^2\theta_t)$$

$$\boxed{\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d\cos\theta_t}$$

Rayos de igual inclinación



$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t$$

$$\frac{n_i}{n_t}\sin\theta_i = \sin\theta_t$$

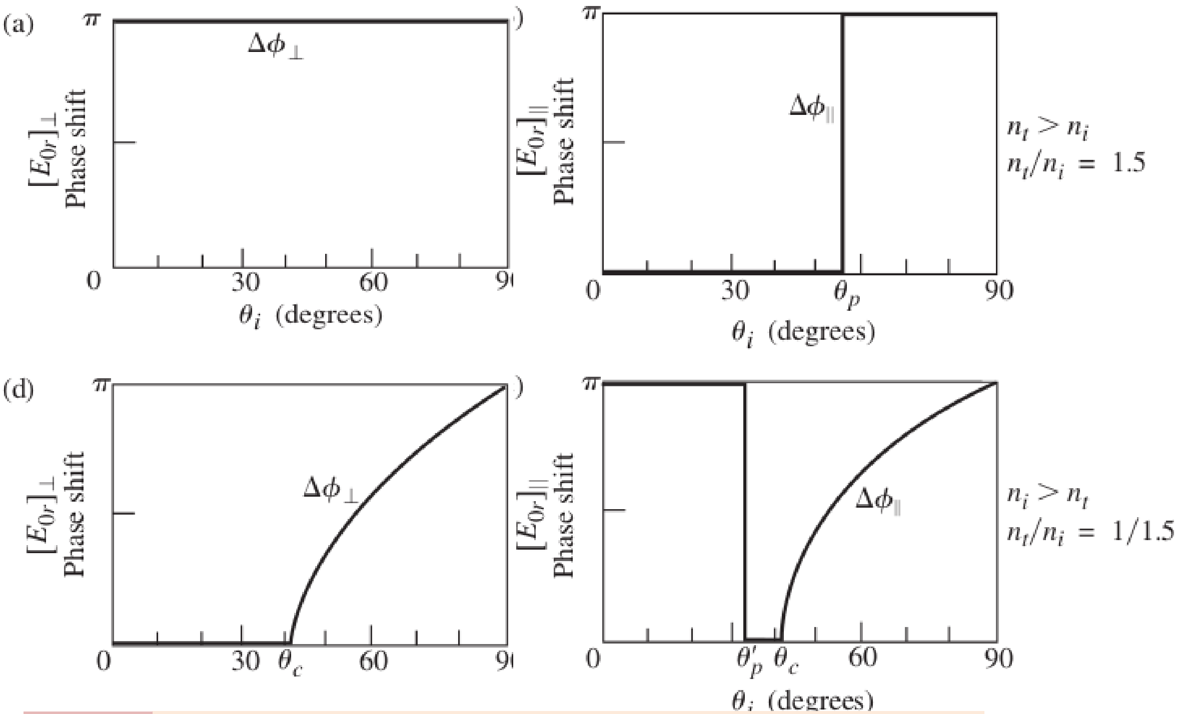
$$\sqrt{1-\left(\frac{n_i}{n_t}\sin\theta_i\right)^2} = \sqrt{1-\sin^2\theta_t} = \cos\theta_t$$

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \ \frac{1}{n_t}\sqrt{{n_t}^2 - (n_i \ \sin\theta_i)^2}$$

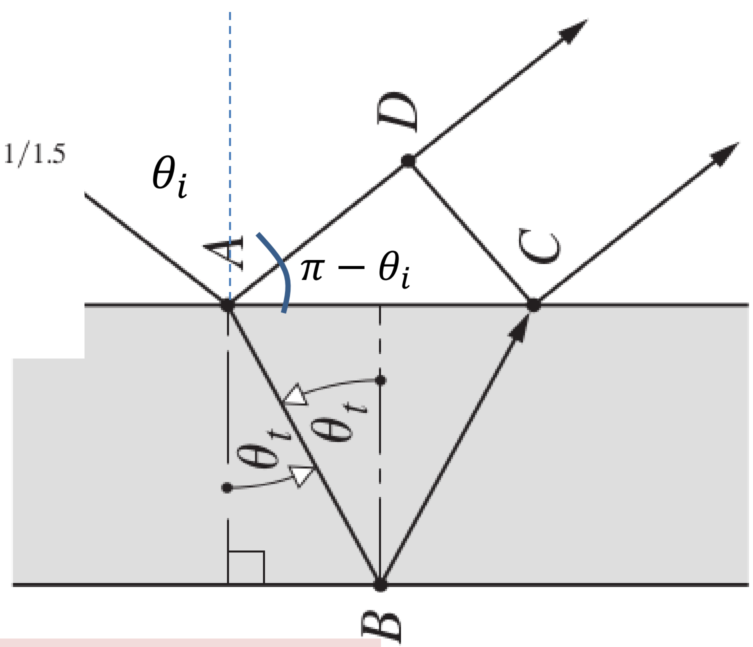
$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2k_0 d \ \sqrt{{n_t}^2 - (n_i \ \sin\theta_i)^2}$$

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2k_0 d \ \sqrt{{n_t}^2 - (n_i \ \sin\theta_i)^2}$$

Ojo con la interfase



$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t$$

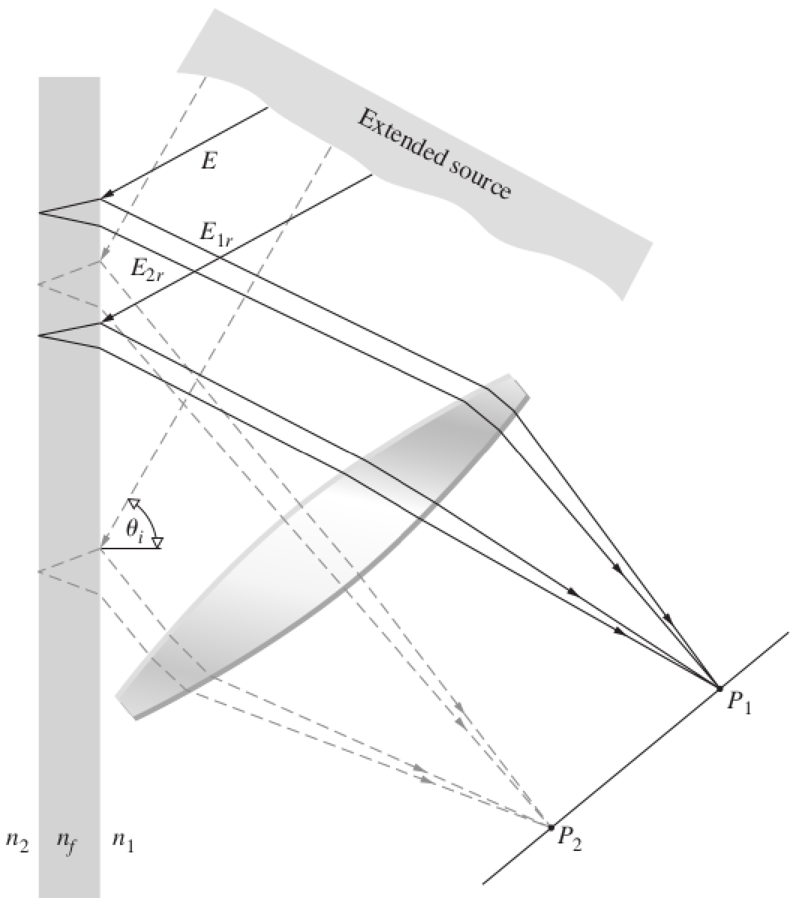


Ojo! $\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \boldsymbol{\delta}$

Desfasaje adicional introducido en E_r en dielectricos

En lo que sigue…vamos a asumir que $\mathrm{E} = E_\perp$ … $\delta = \pi$ $(si\ n_t > n_i)$

Condición de máximos y mínimos



$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

$$\Delta\varphi(\theta_{i,max}) = 2m\pi$$

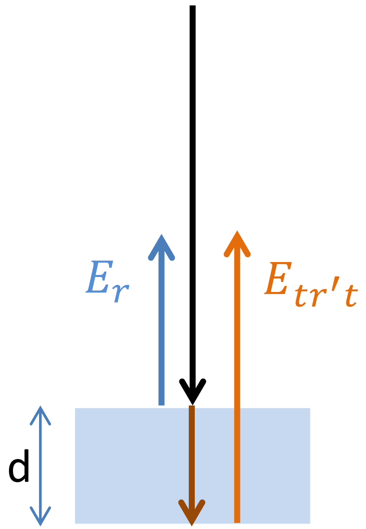
$$2n_t k_0 d \cos\theta_{t,max} - \pi = 2m\pi$$

$$n_t\, d \cos\theta_{t,max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4}$$

$$\Delta\varphi(\theta_{i,min}) = (2m+1)\pi$$

$$n_t\, d \cos\theta_{t,min} = 2m\frac{\lambda}{4}$$

Franjas de igual espesor



Como antes:

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

Pero para este tipo de interferencia el factor dominante no es θ_i (o θ_t) , sino ***d***, el espesor del dielèctrico

$$\Delta\varphi_{max}(\theta_i = 0) = \frac{4\pi}{\lambda} n_t d - \pi = 2m\pi$$

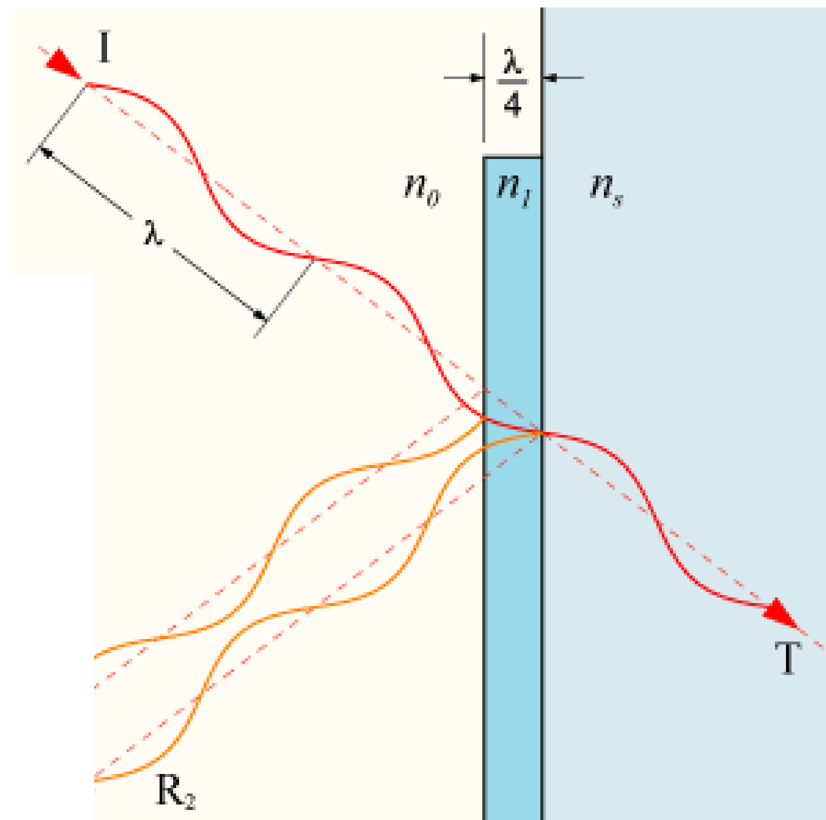
$$\boxed{d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}}$$

Notar que la condicion anterior equivale a

$$2n_t d_{max} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Recubrimiento antireflejo

La idea es que la pelicula provea interferencia destructiva para λ:amarillo, en incidencia normal



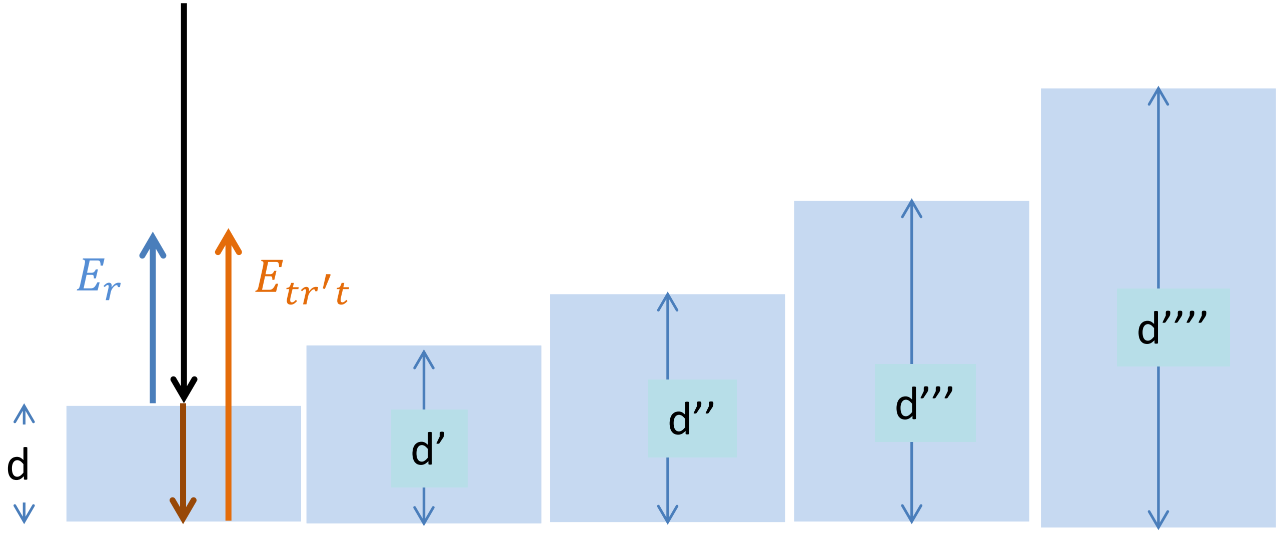
Con este diseño todo se trasmite

Franjas de igual espesor

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

$$d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}$$

Que pasa si tengo esto?



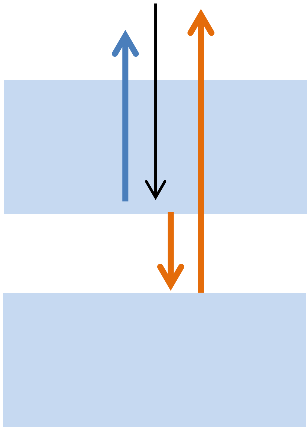
Y esto? (pelicula de jabon)

Franjas de igual espesor

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

$$\boxed{d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}}$$

Que pasa si tengo dos cubreobjetos? … me interesa la interferencia sobre la cara inferior del primer dielectrico?

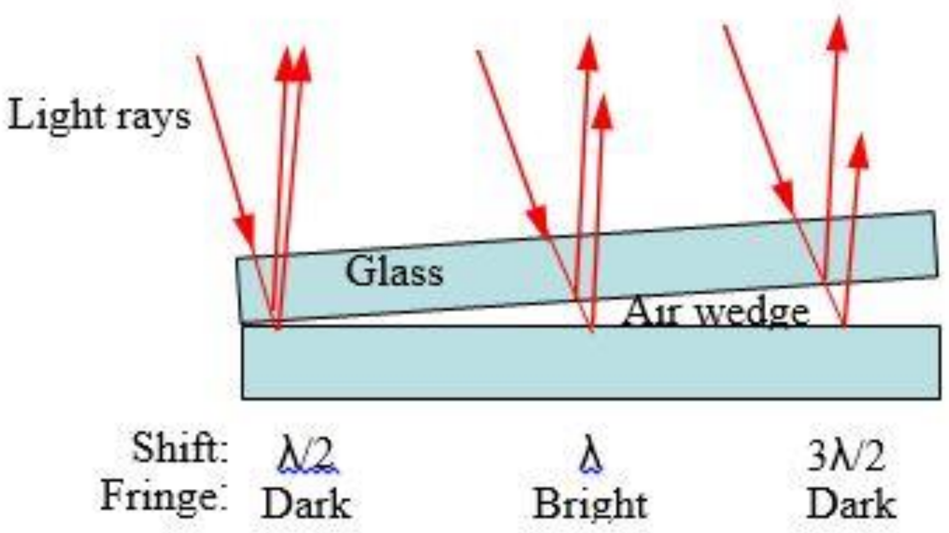


Franjas de igual espesor

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

$$d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}$$

Que pasa si tengo dos cubreobjetos? … me interesa la interferencia sobre la cara inferior del primer dielectrico?

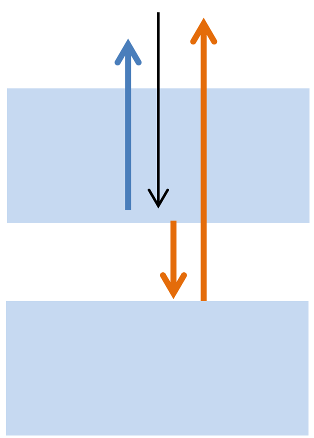


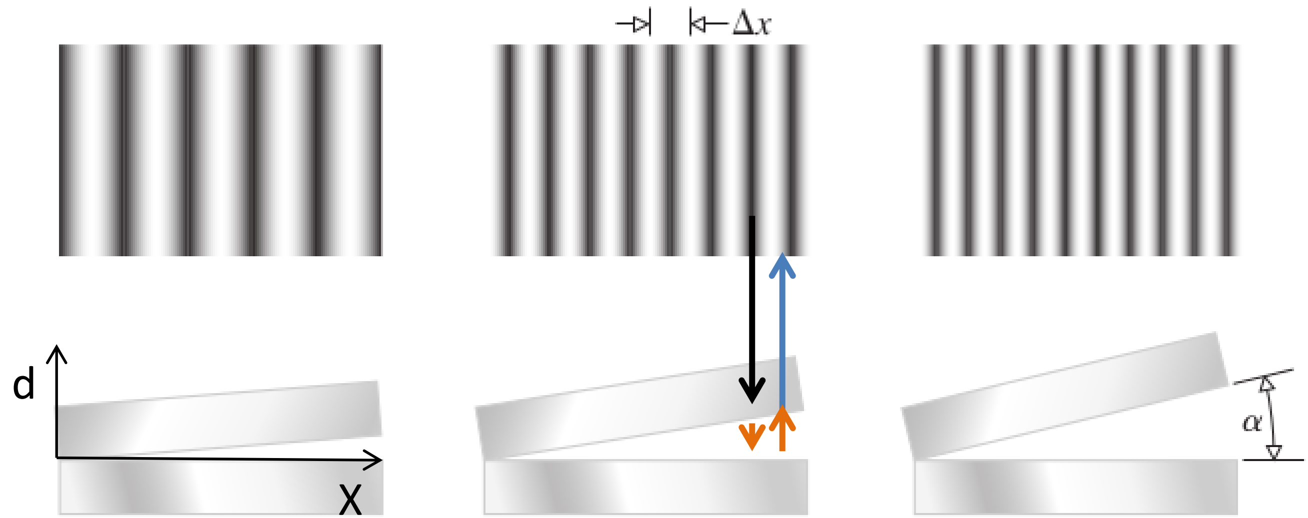
Franjas de igual espesor

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \pi$$

$$\boxed{d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}}$$

Que pasa si tengo dos cubreobjetos? … me interesa la interferencia sobre la cara inferior del primer dielectrico?

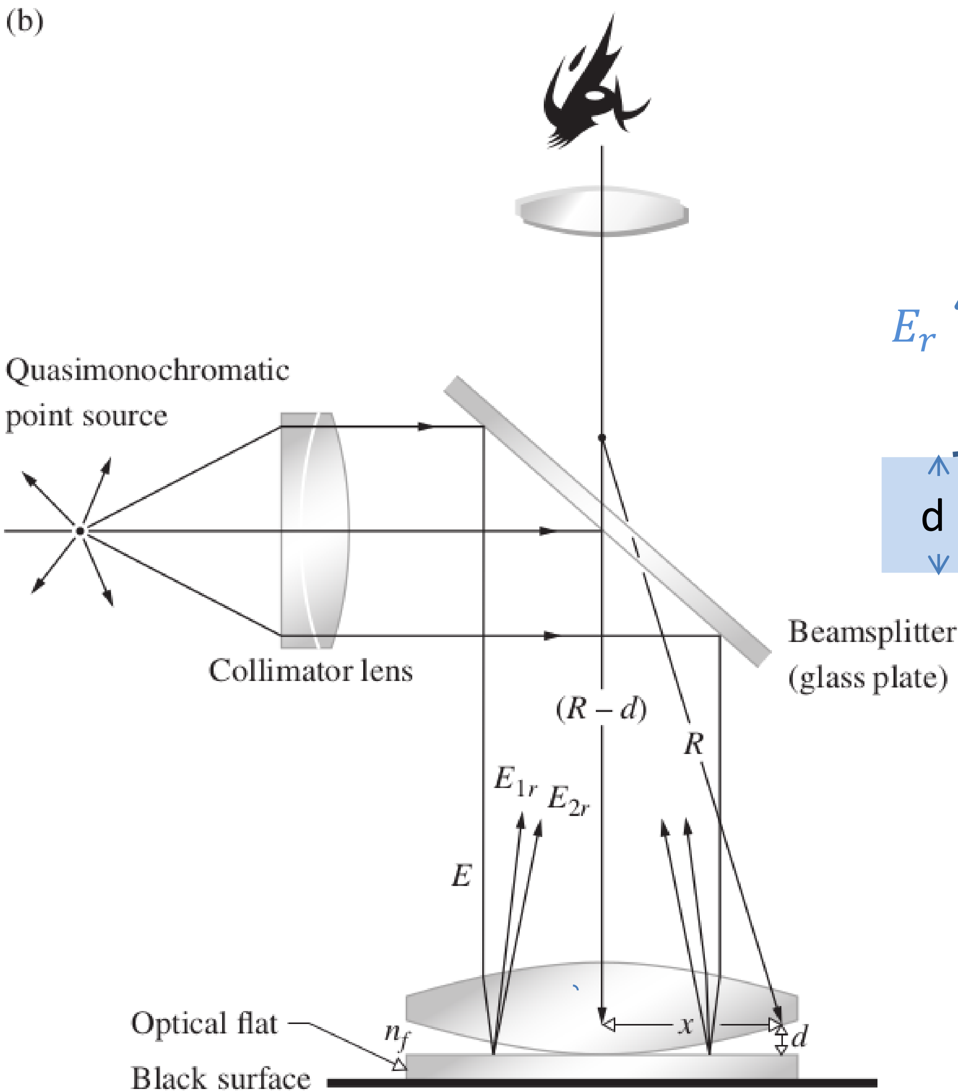




$\tan\alpha = d/x \rightarrow d = \tan\alpha\, x$

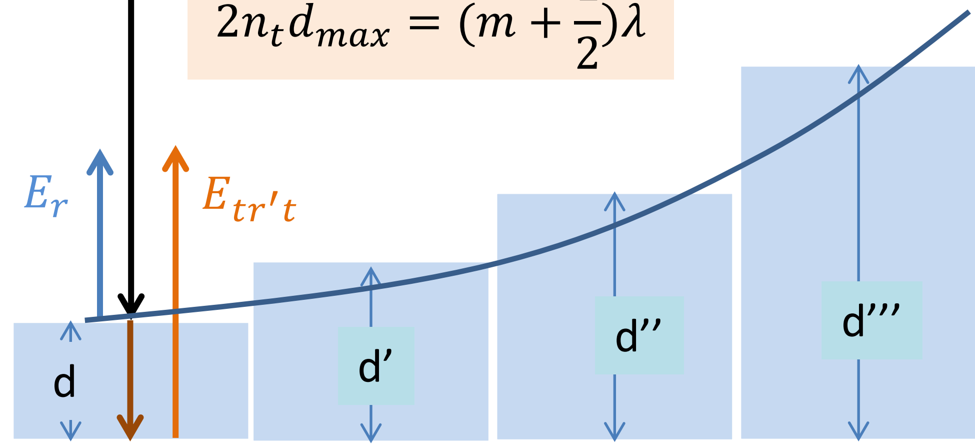
Si $\alpha \ll 1$ entonces: $d = \alpha x$ $\qquad x_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4\alpha n_t}$ $\qquad \Delta x_{max} = \frac{\lambda}{2\alpha n_t}$

Anillos de Newton



$$\Delta\varphi(\theta_i = 0) = 2n_t k_0 d - \pi$$

$$2n_t d_{max} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$



d crece como x^2

$$x^2 = R^2 - (R-d)^2$$

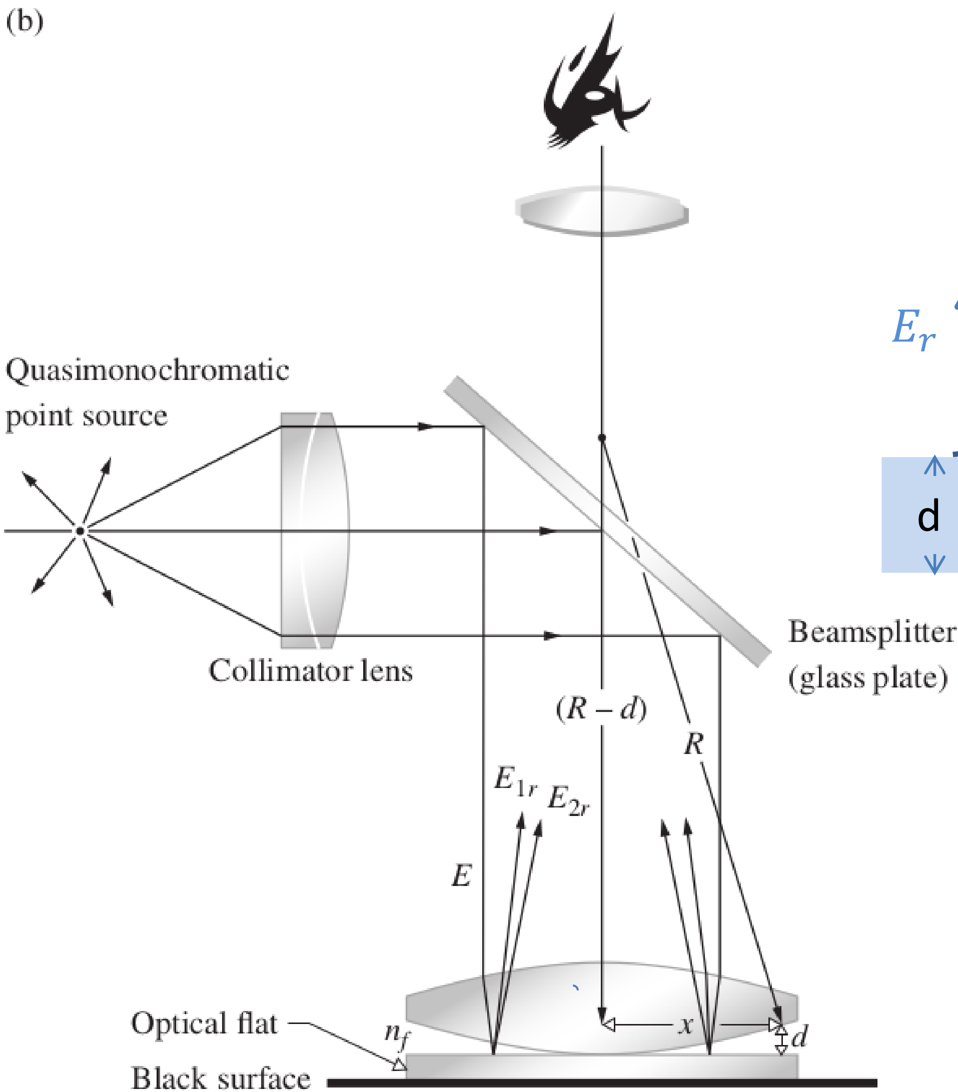
$$= R^2 - R^2 + 2Rd - d^2$$

$$= 2Rd - \cancel{d^2}$$

R>>d

$$x^2 = 2Rd$$

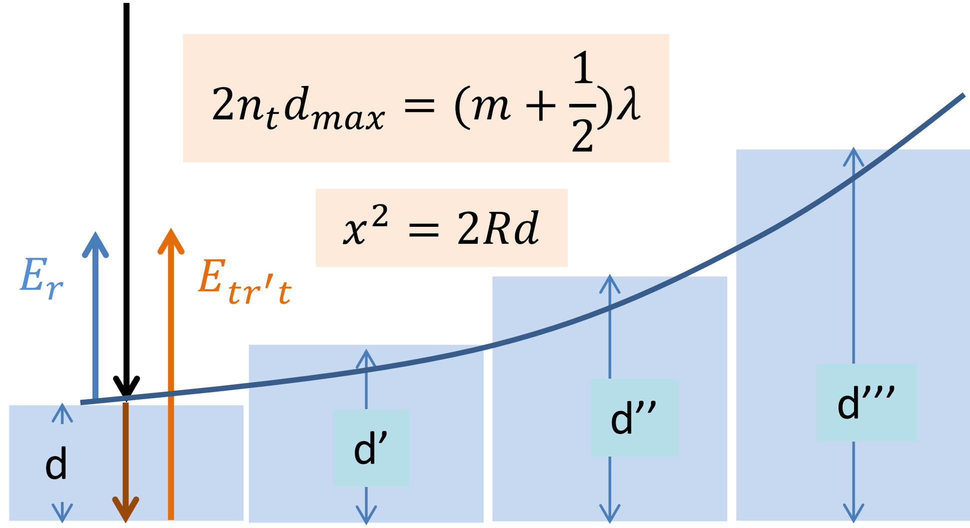
Anillos de Newton



$$\Delta\varphi(\theta_i = 0) = 2n_t k_0 d - \pi$$

$$2n_t d_{max} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

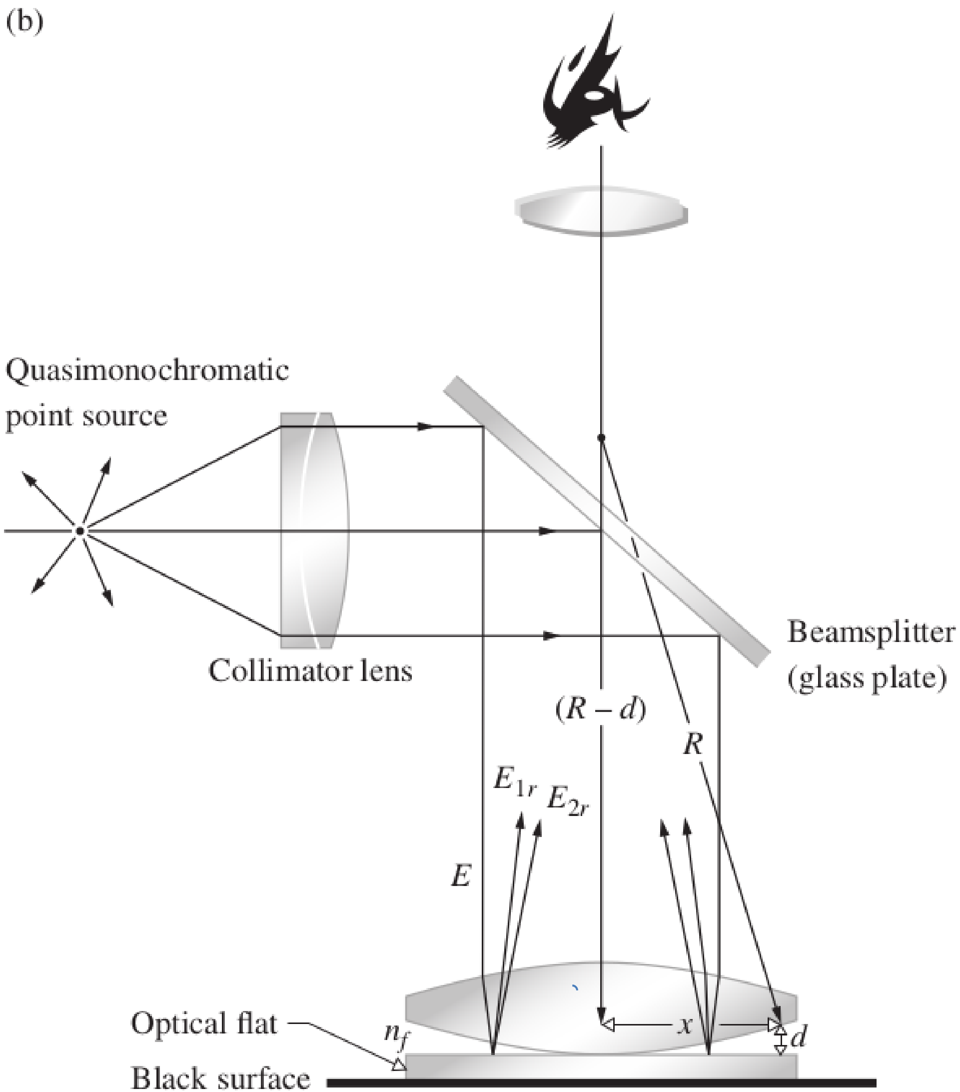
$$x^2 = 2Rd$$



$$2n_t {x^2}_{max} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda\, 2R$$

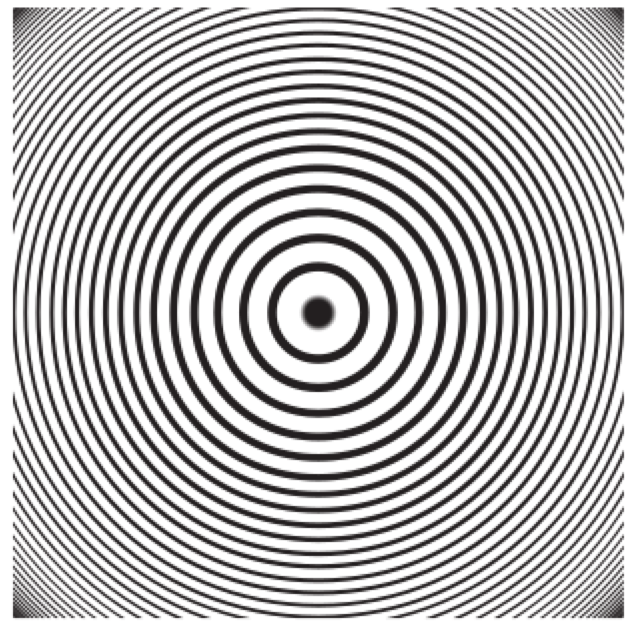
$$x_{max} = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_t}\, R}$$

Anillos de Newton



$$\Delta\varphi(\theta_i = 0) = 2n_t k_0 d - \pi$$

$$x_{max} = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_t}\, R}$$



Como $x_{max} \propto \sqrt{m}$ la interfranja ($x_{max,m+1} - x_{max,m}$), va disminuyendo con m