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

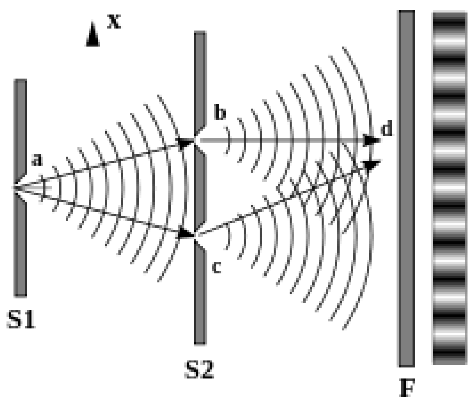
Interferómetros

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

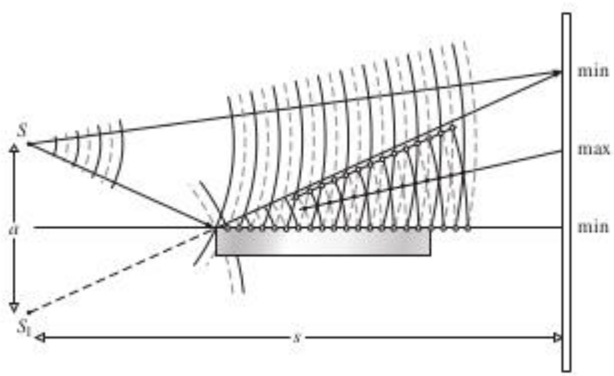
Cada dispositivo permite generar fuentes diferenciadas con una relacion de fase constante. Pero yo sabemos resolver eso! No te tenemo miedo interferometro!

- Vienen en dos sabores:

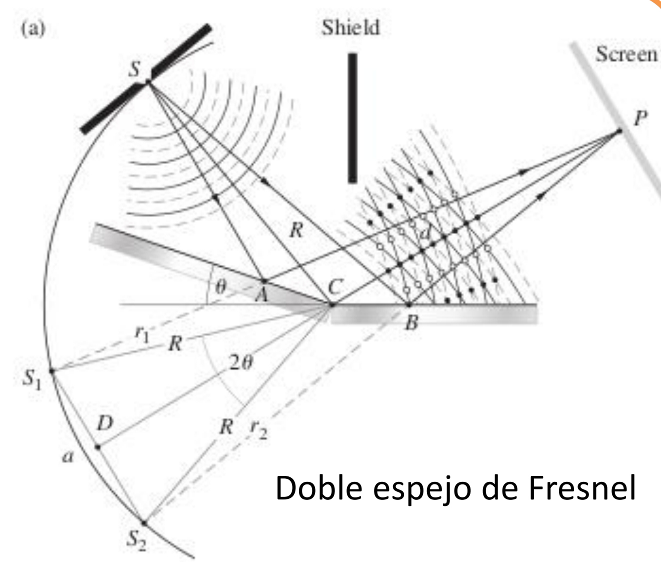
Interferómetros por división de frente de onda
Se toma un frente de onda y se usa una parte del mismo como fuente1 y otra parte como fuente 2



Interferómetro de Young



Espejo de Lloyd



Doble espejo de Fresnel

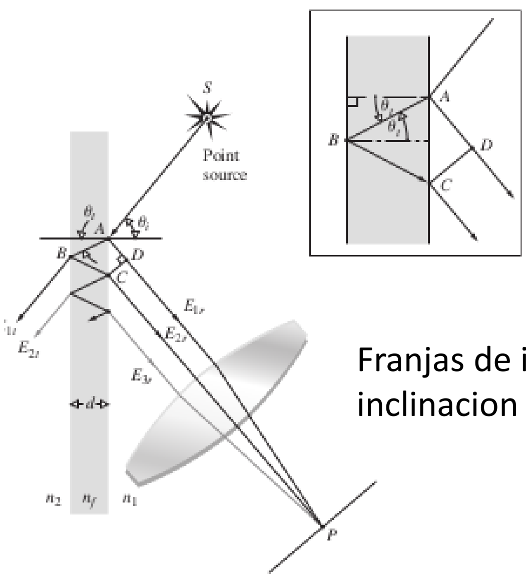
Interferómetros

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

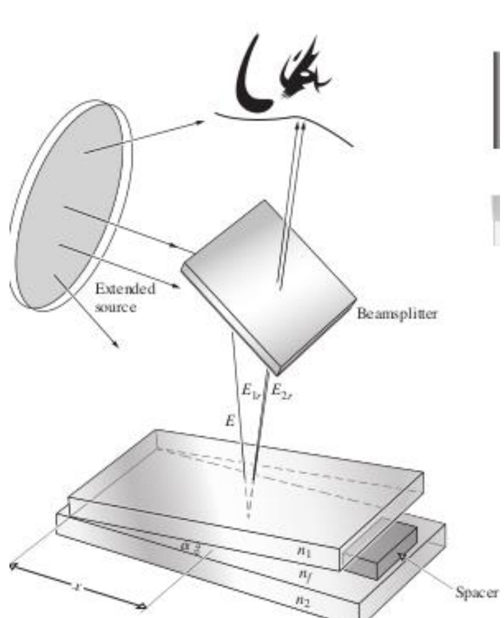
- Vienen en dos sabores:

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

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

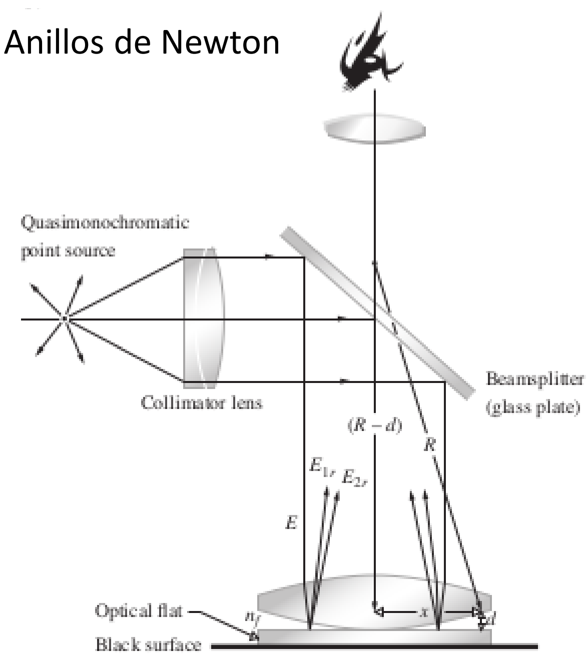


Franjas de igual inclinacion

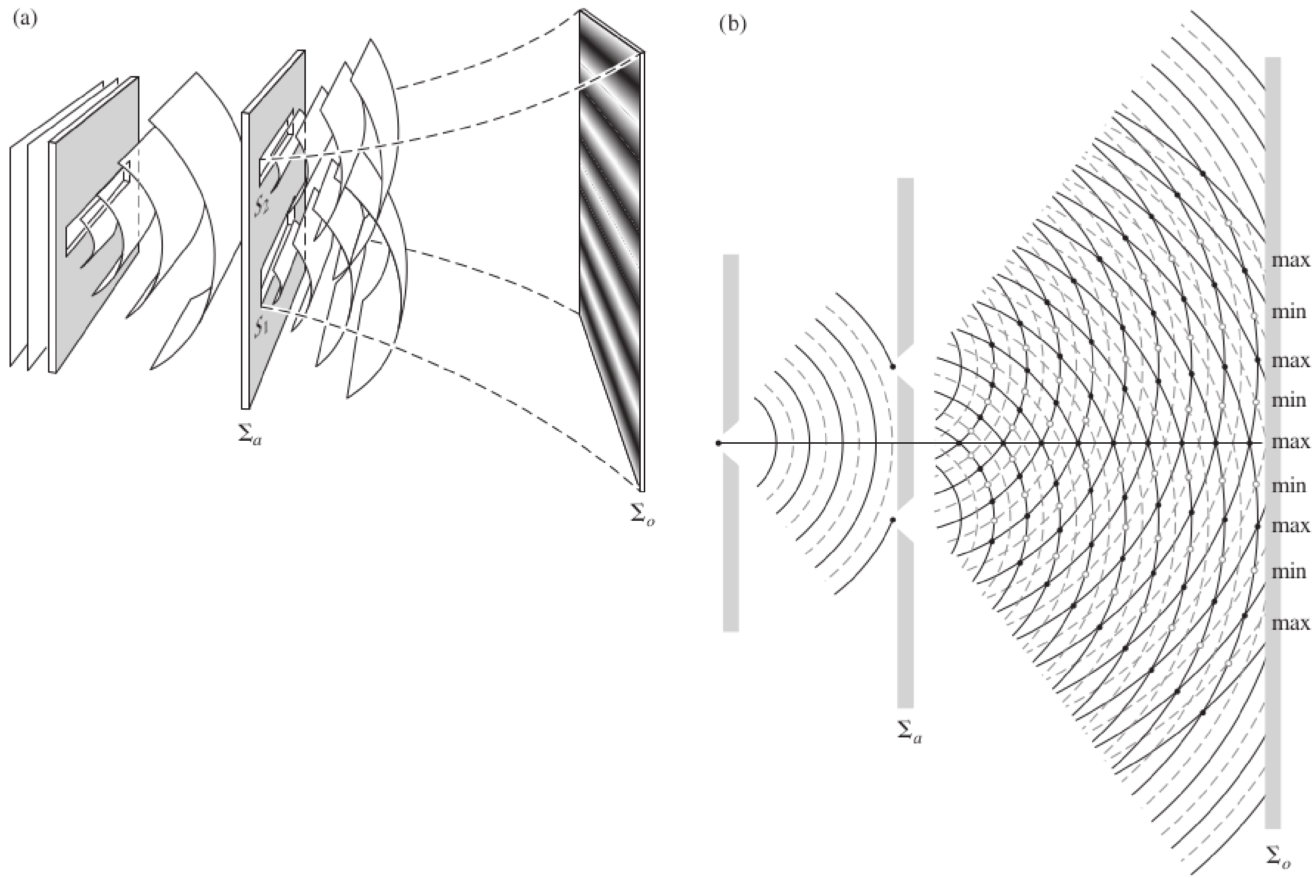


Franjas de Fizeau

Anillos de Newton

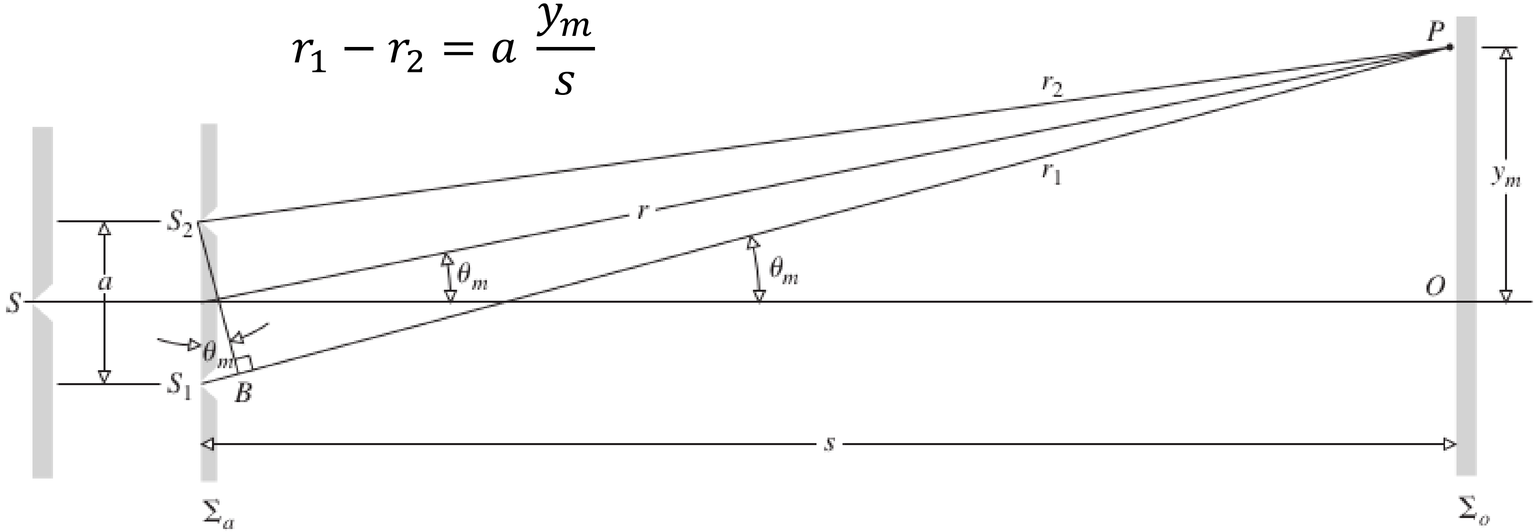


Empecemos por Young



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

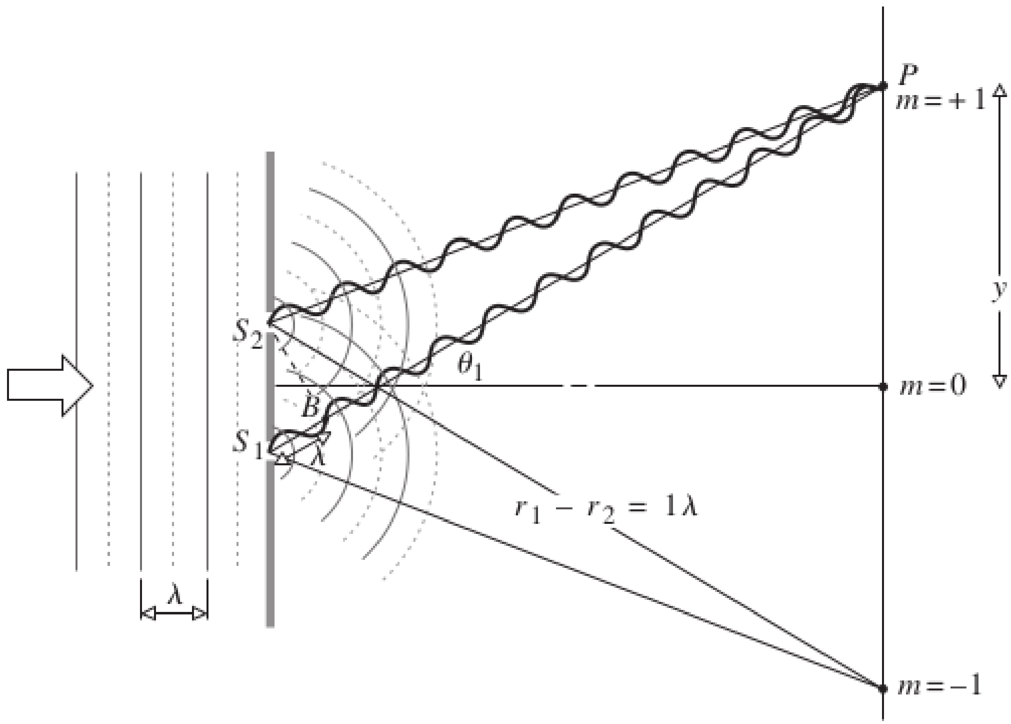
$$r_1 - r_2 = a\sin\theta_m \sim a\tan\theta_m = a\,\frac{y_m}{s}$$

altura sobre la pantalla del punto que estoy analizando

distancia doble rendija-pantalla

distancia entre rendijas

Young 3



Máximos sobre la pantalla

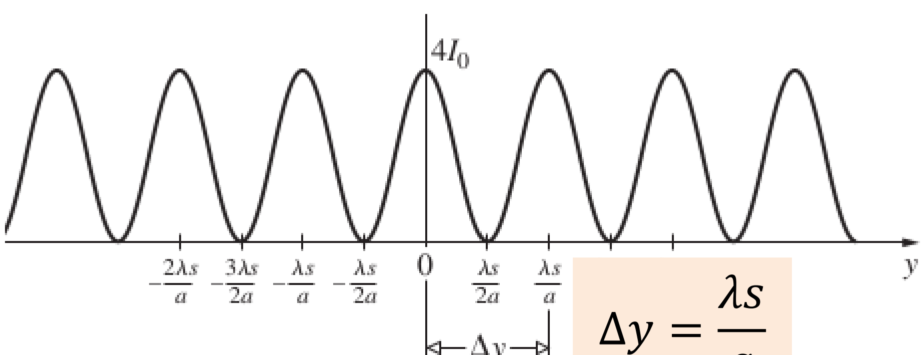
$$r_1 - r_2 = a\,\frac{y_m}{s} = m\lambda$$

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

La irradiancia sobre la pantalla:

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

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



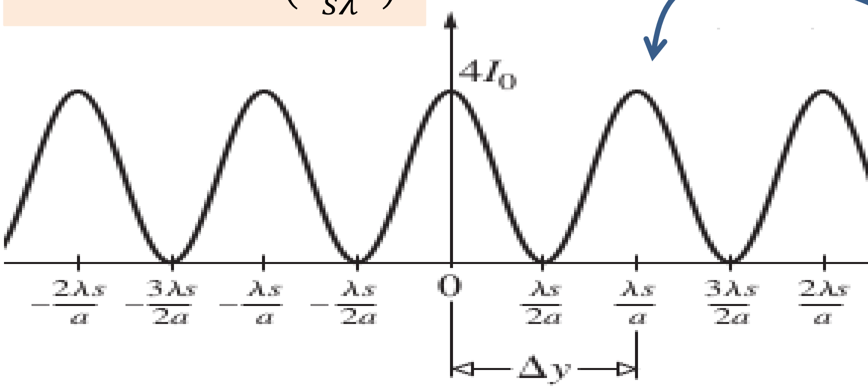
$$\Delta y = \frac{\lambda s}{a}$$

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

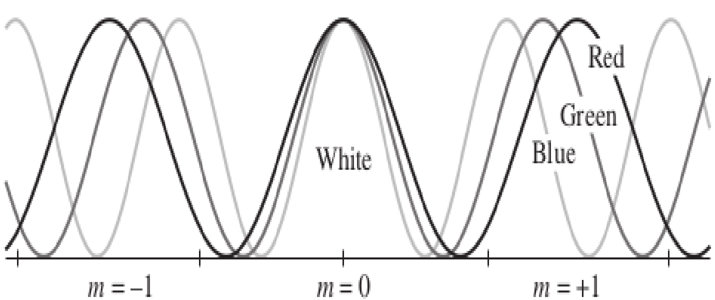
Midiendo separacion de maximos uno puede determinar la long de onda

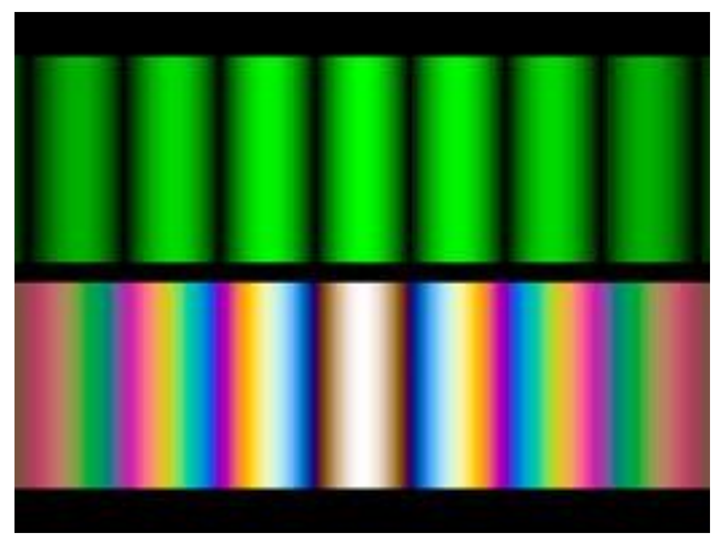
Young en colores

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

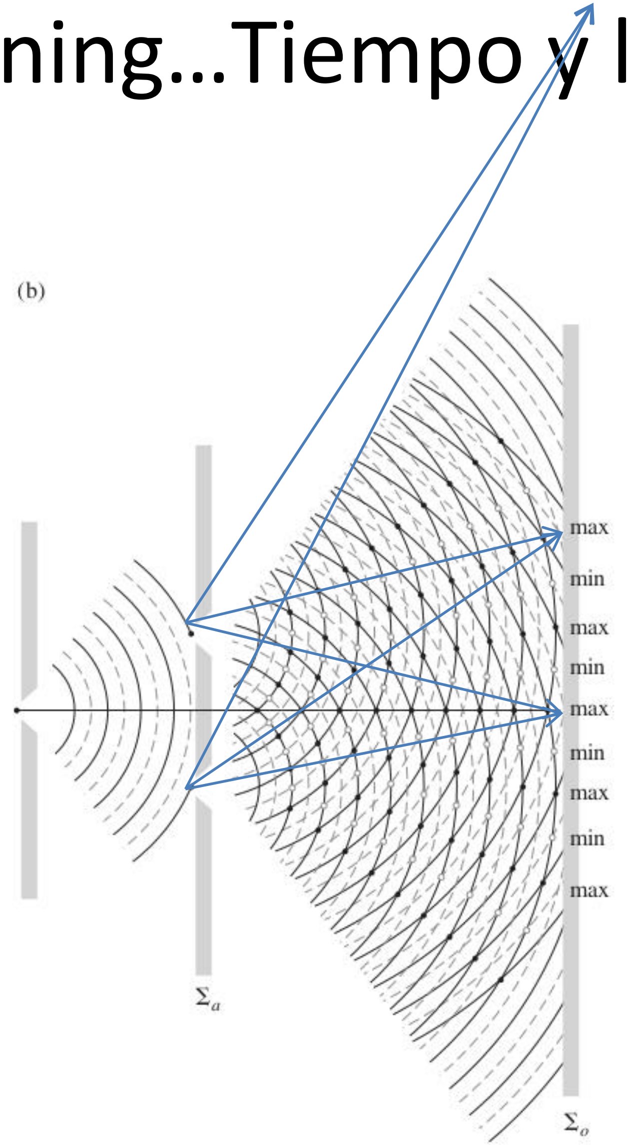


La posicion sobre la pantalla de maximos y minimos depende de λ





Warning…Tiempo y longitud de coherencia



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

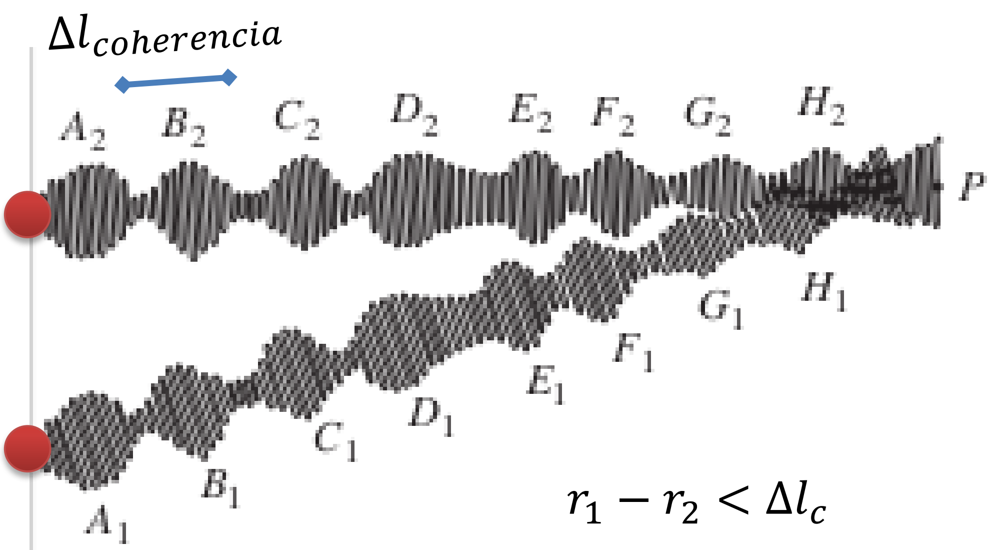
$$\boxed{I(y) = 4\,I_0 \cos^2\left(\frac{y\,a\,\pi}{s\lambda}\right)}$$

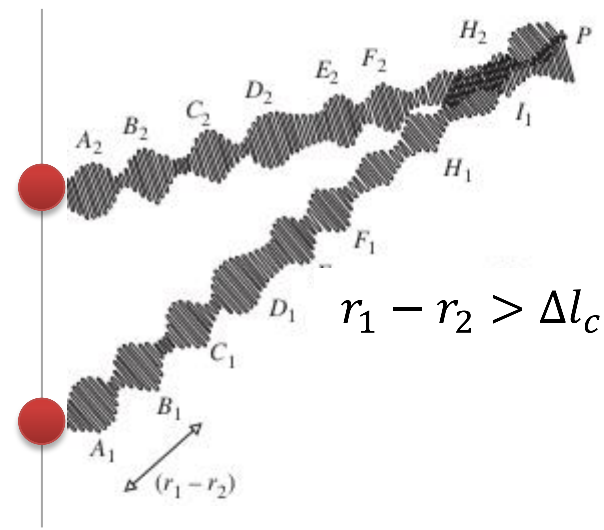
En principio deberiamos ser capaces de ver infinitos ordenes de max interferencia sobre la pantalla…

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: $\Delta l_{coherencia} = c\Delta t_{coherencia} \sim 30cm$



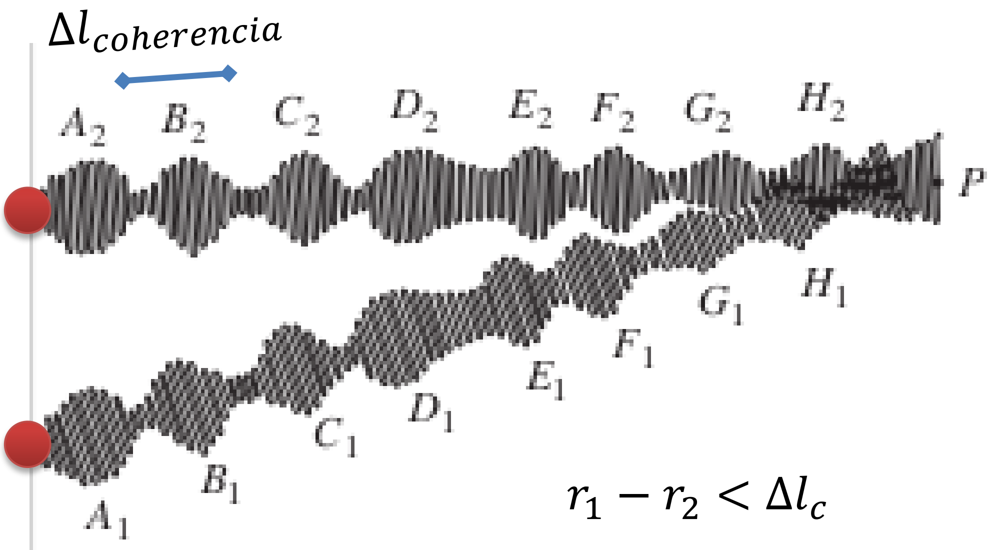


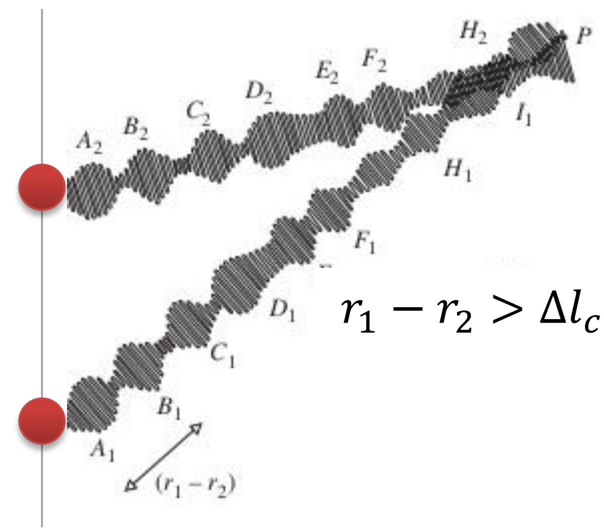
… si al punto de interes llegan simultaneamente paquetes H1-H2, G1-G2, etc,…todo bien

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

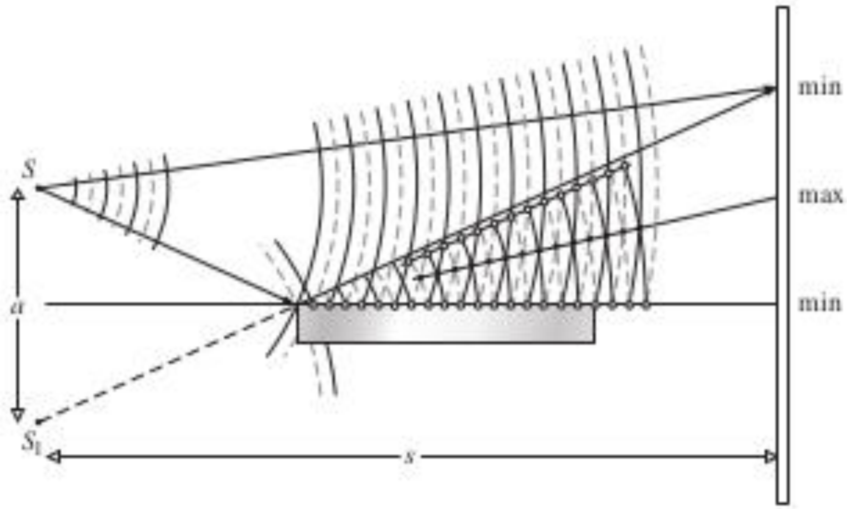
- Una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Cada emisor radía un tren de ondas durante un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-9} s$
- Por lo tanto la diferencia de fase entre dos fuentes puede permanecer constante **a lo sumo** durante 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.

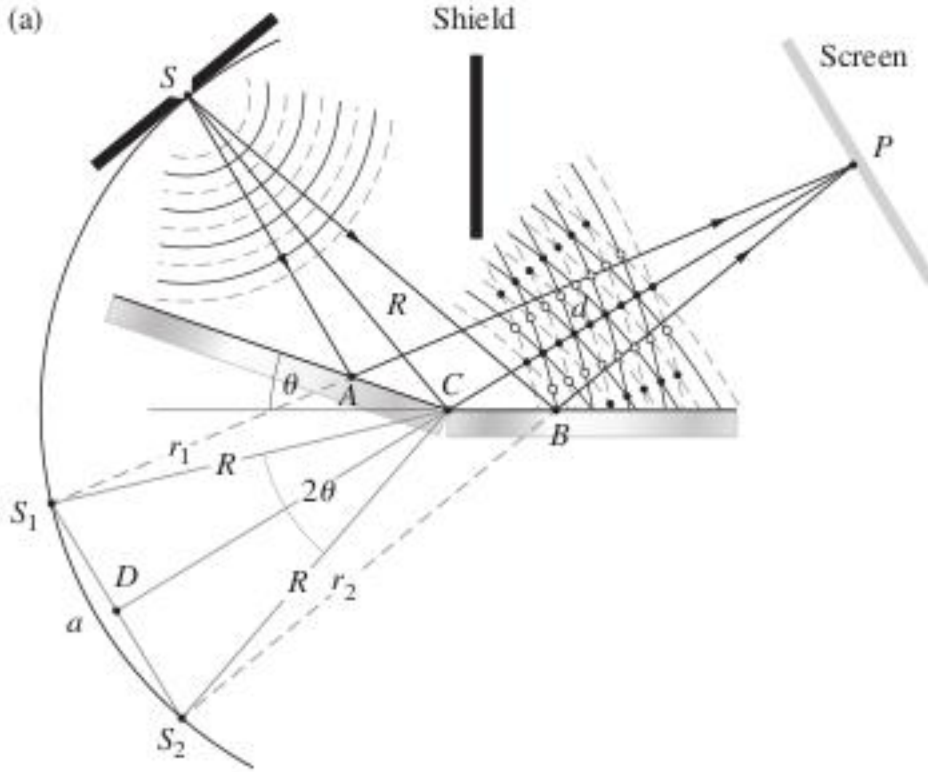
$$\Delta\varphi(\vec{r}) = k\,(r_1 - r_2) + \pi$$

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

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

Donde antes tenía maximos ahora tengo mínimos y viceversa

Doble espejo de Fresnel



Igual que Young

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

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

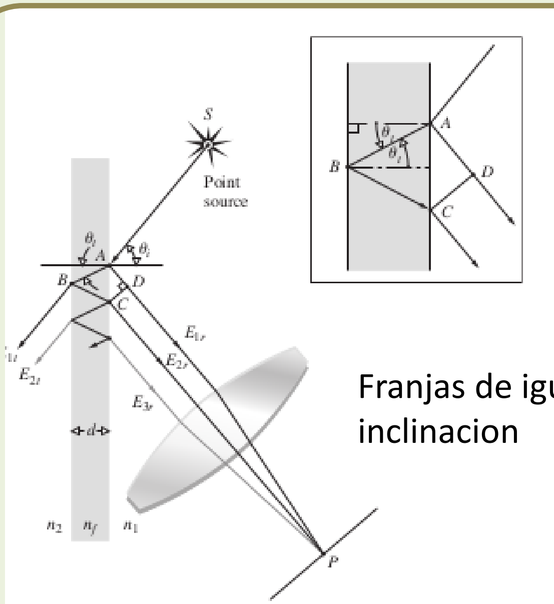
$$\Delta y = \frac{\lambda s}{a}$$

Interferómetros

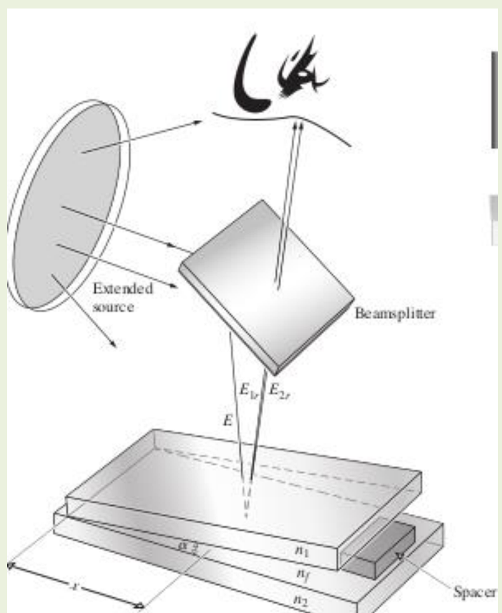
- Dispositivos para <u>generar</u> fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\varepsilon = \mathrm{cte}$
- Vienen en dos sabores:

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

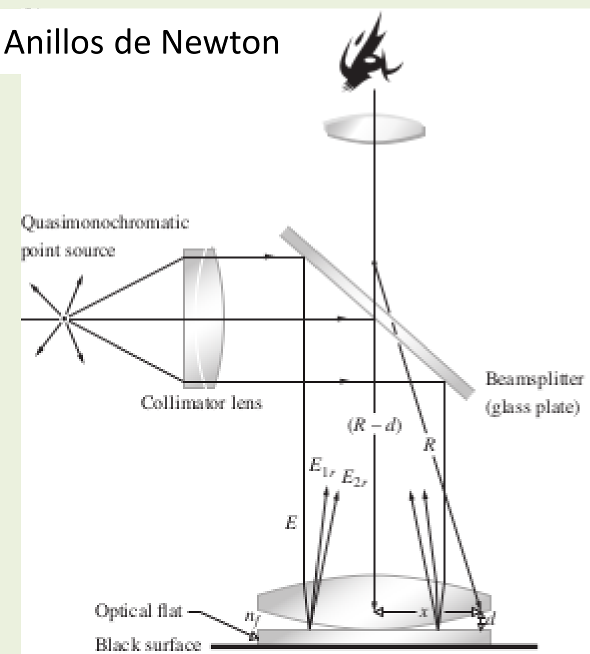


Franjas de igual inclinacion



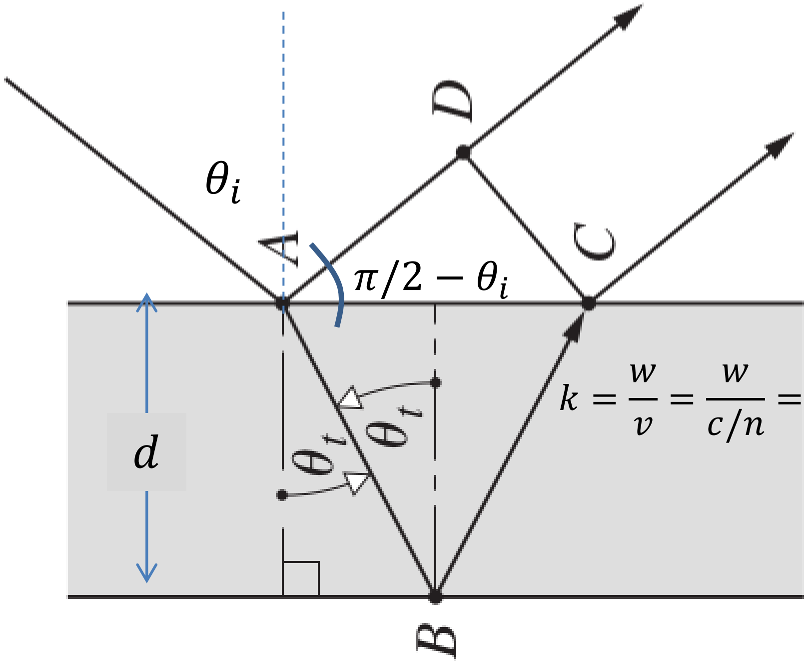
Franjas de Fizeau

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:



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

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

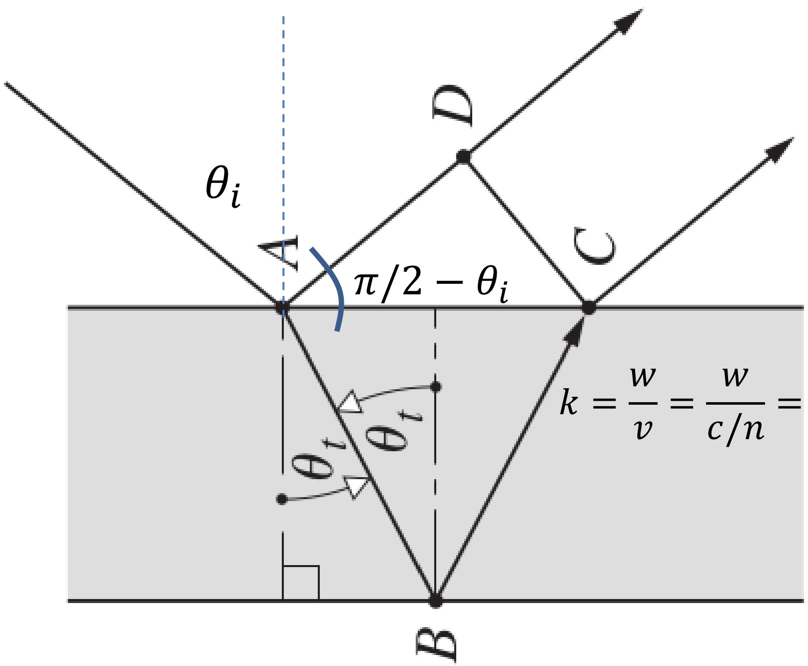
$$=k_0\,(n_t\,2\,AB\;-n_i\,AD)$$

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:

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

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

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

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

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

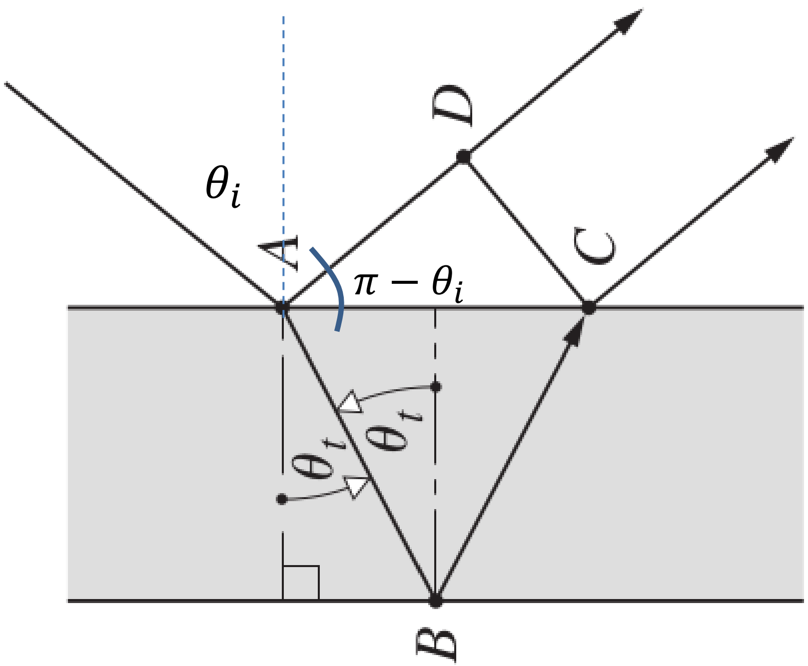
$$AC = 2\ AB\ \sin\theta_t = 2d\tan\theta_t$$

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

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

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

Rayos de igual inclinación



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

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

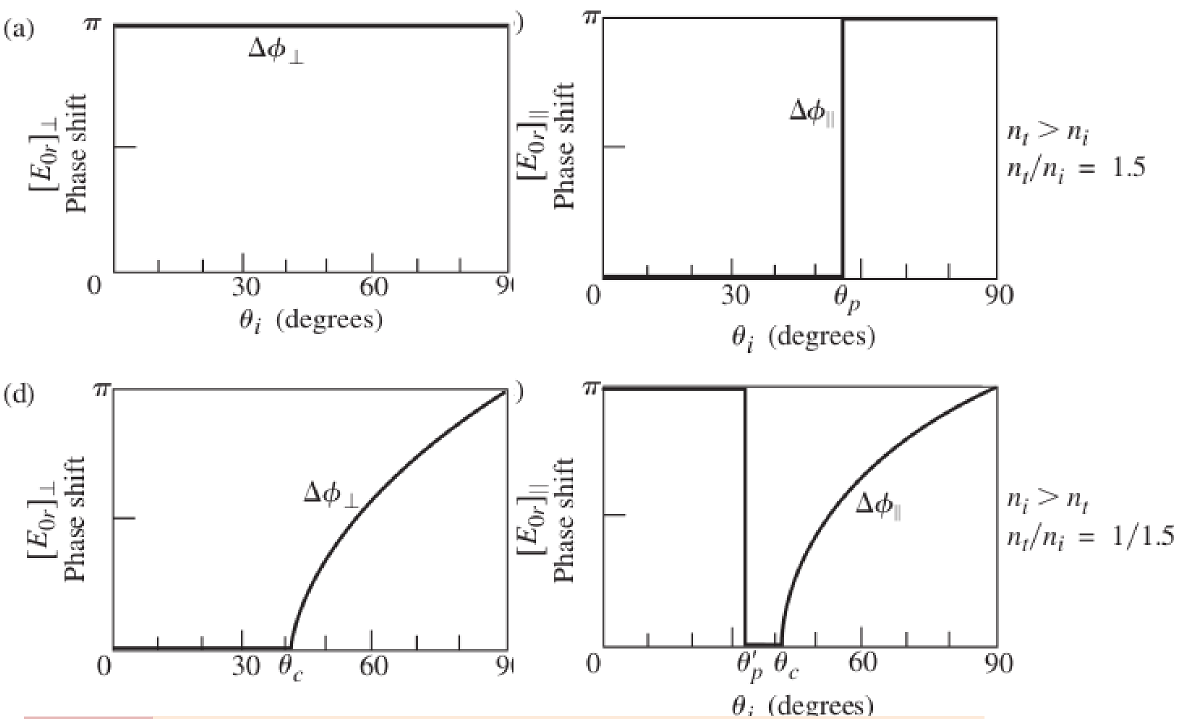
$$\sqrt{1-\left(\frac{n_i}{n_t}\sin\theta_i\right)^2} = \sqrt{1-\sin^2\theta_t} = \cos\theta_t$$

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

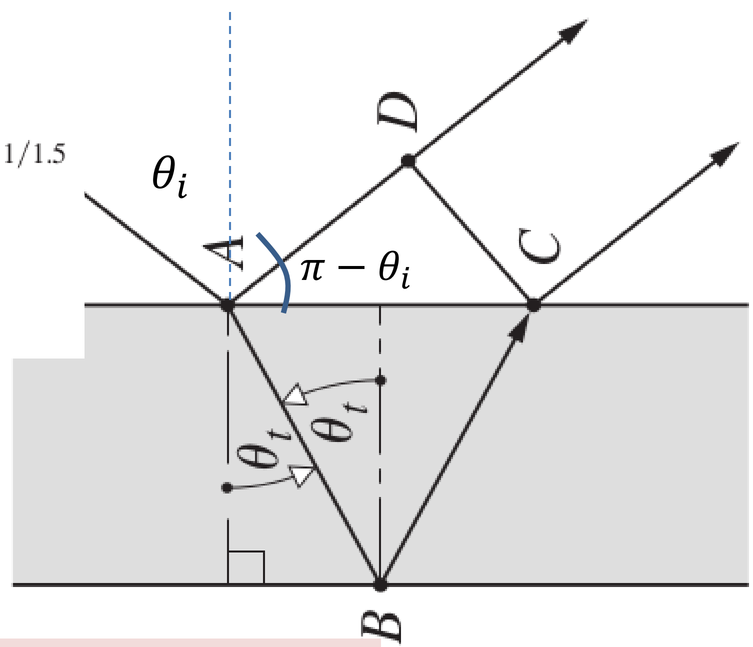
$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2k_0 d\ \sqrt{{n_t}^2 - (n_i\ \sin\theta_i)^2}$$

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

Ojo con la interfase



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

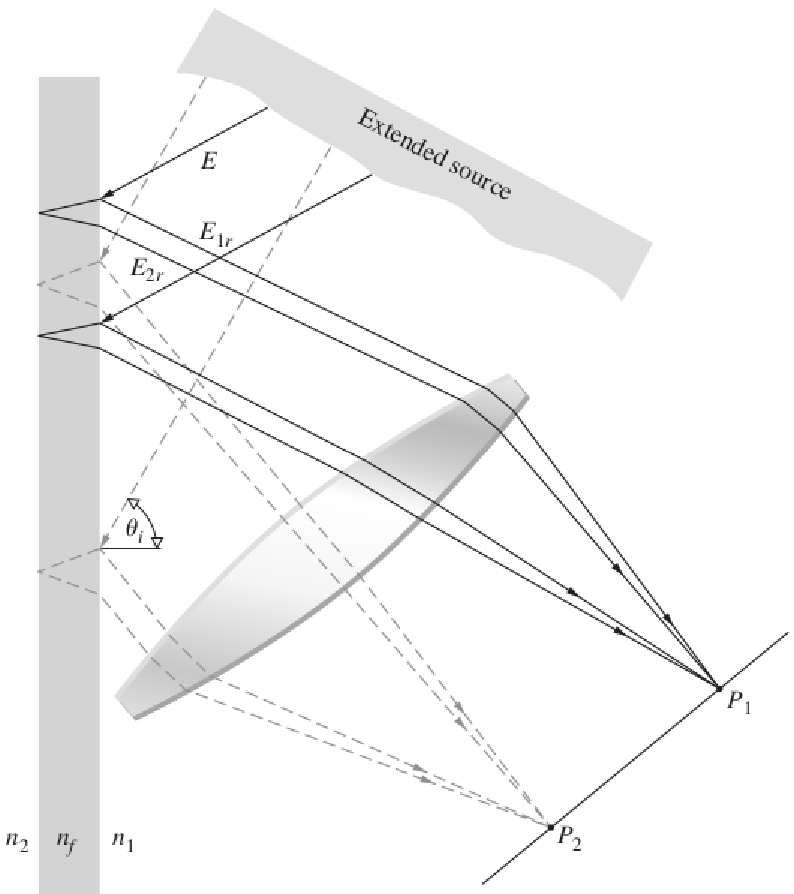


Ojo! $\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos\theta_t - \boldsymbol{\delta}$

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



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

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

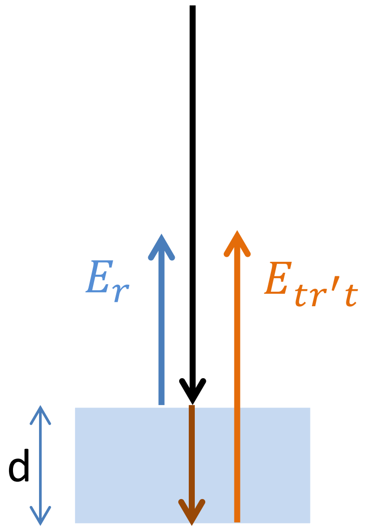
$$2n_t k_0 d \cos\theta_{t,max} - \pi = 2m\pi$$

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

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

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

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

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

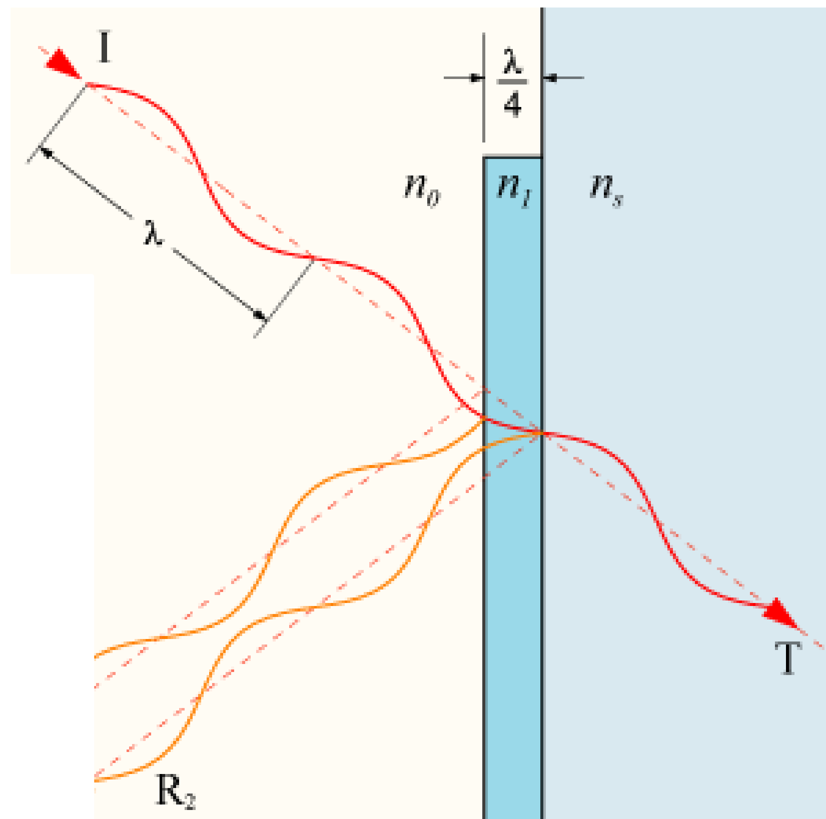
$$d_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4n_t}$$

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



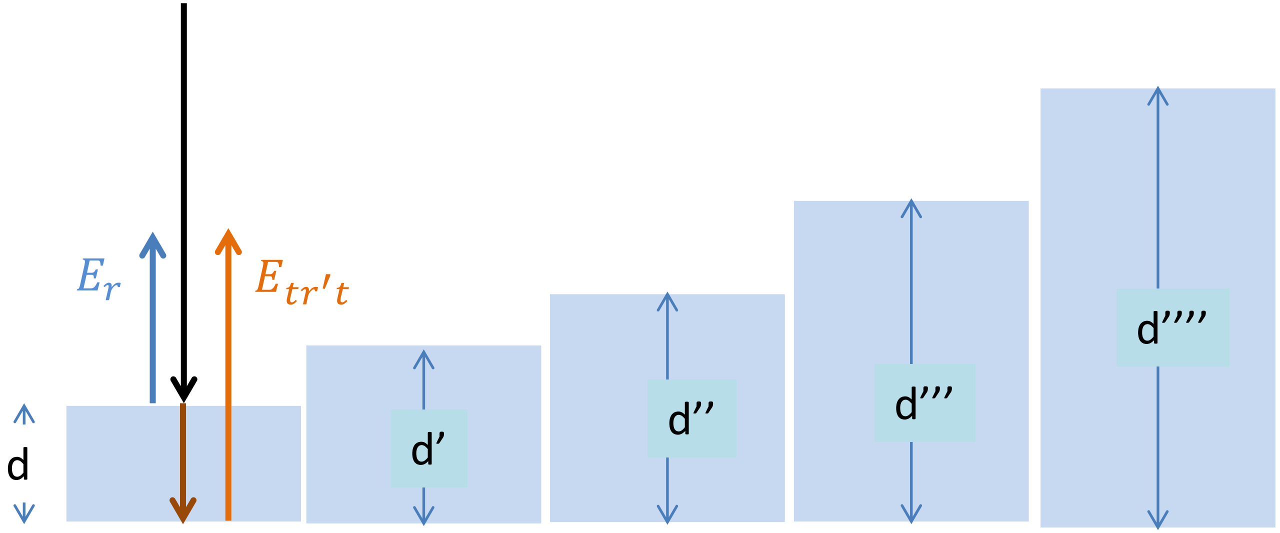
Con este diseño todo se trasmite

Franjas de igual espesor

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

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

Que pasa si tengo esto?



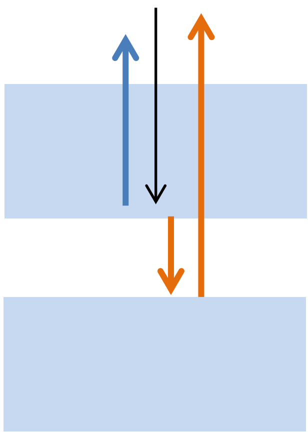
Y esto? (pelicula de jabon)

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?

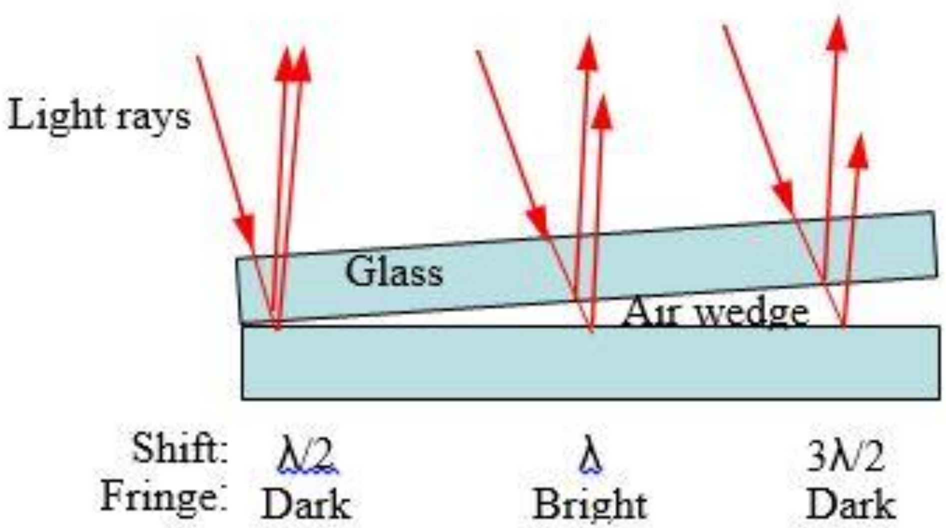


Franjas de igual espesor

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

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

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

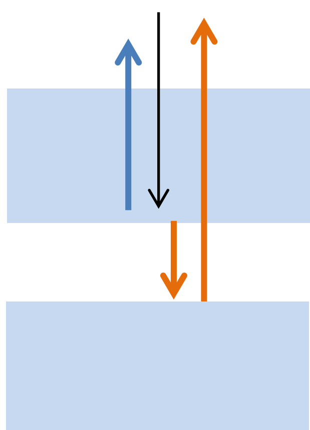


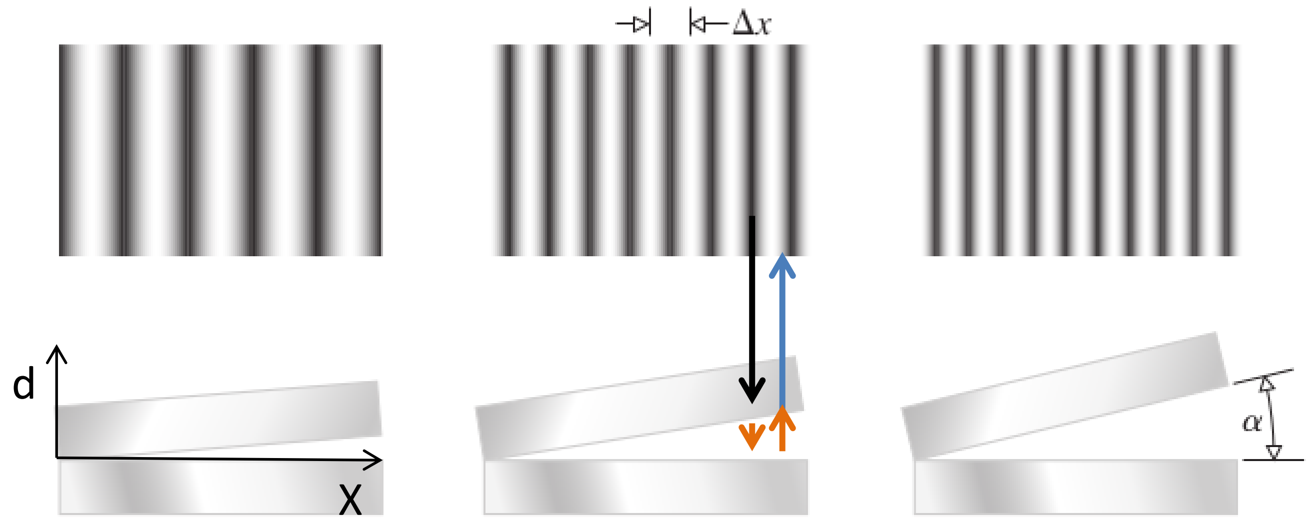
Franjas de igual espesor

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

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

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





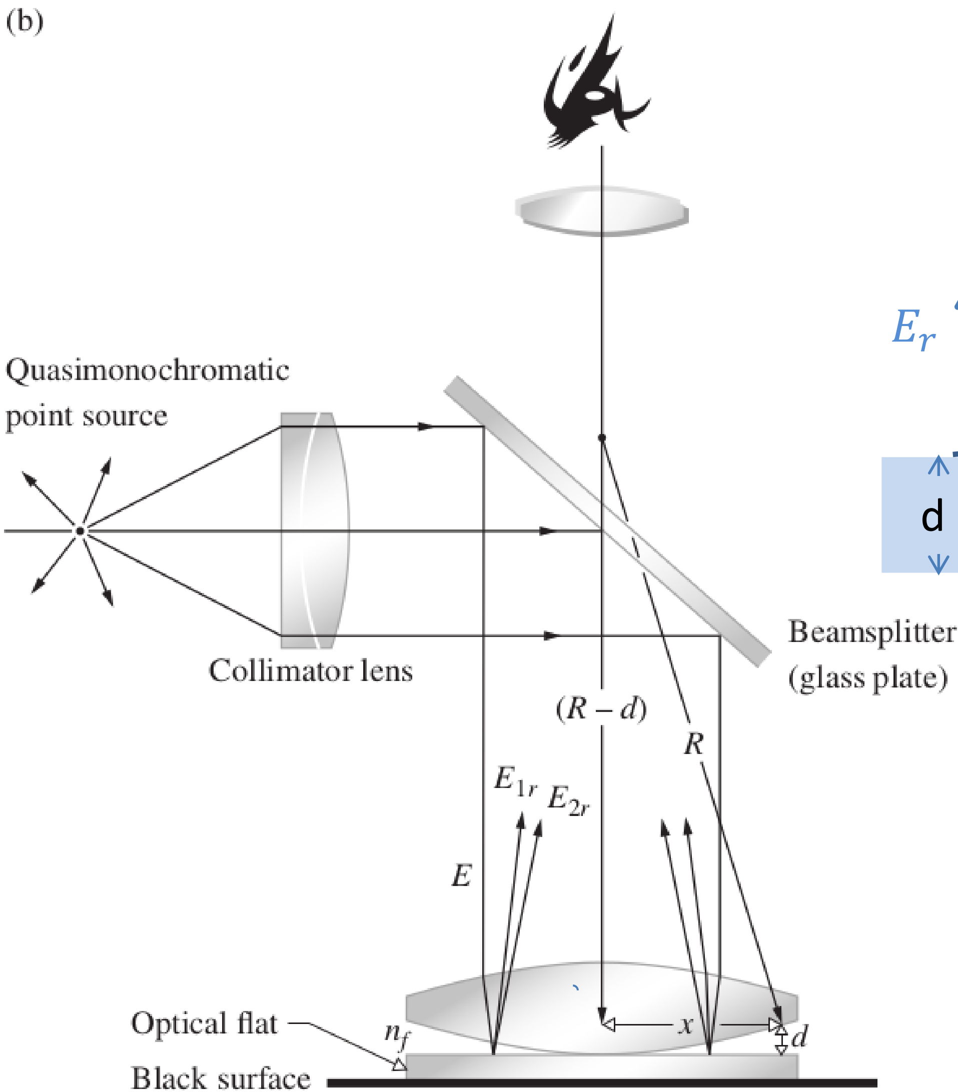
$\tan\alpha = d/x \rightarrow d = \tan\alpha\, x$

Si $\alpha \ll 1$ entonces: $d = \alpha x$

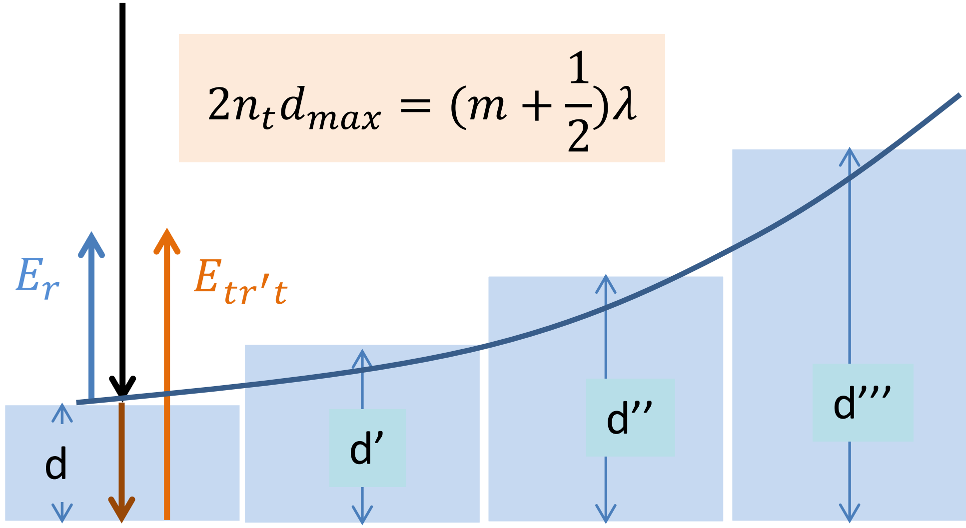
$$x_{max} = (2m+1)\frac{\lambda}{4\alpha n_t}$$

$$\Delta x_{max} = \frac{\lambda}{2\alpha n_t}$$

Anillos de Newton



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



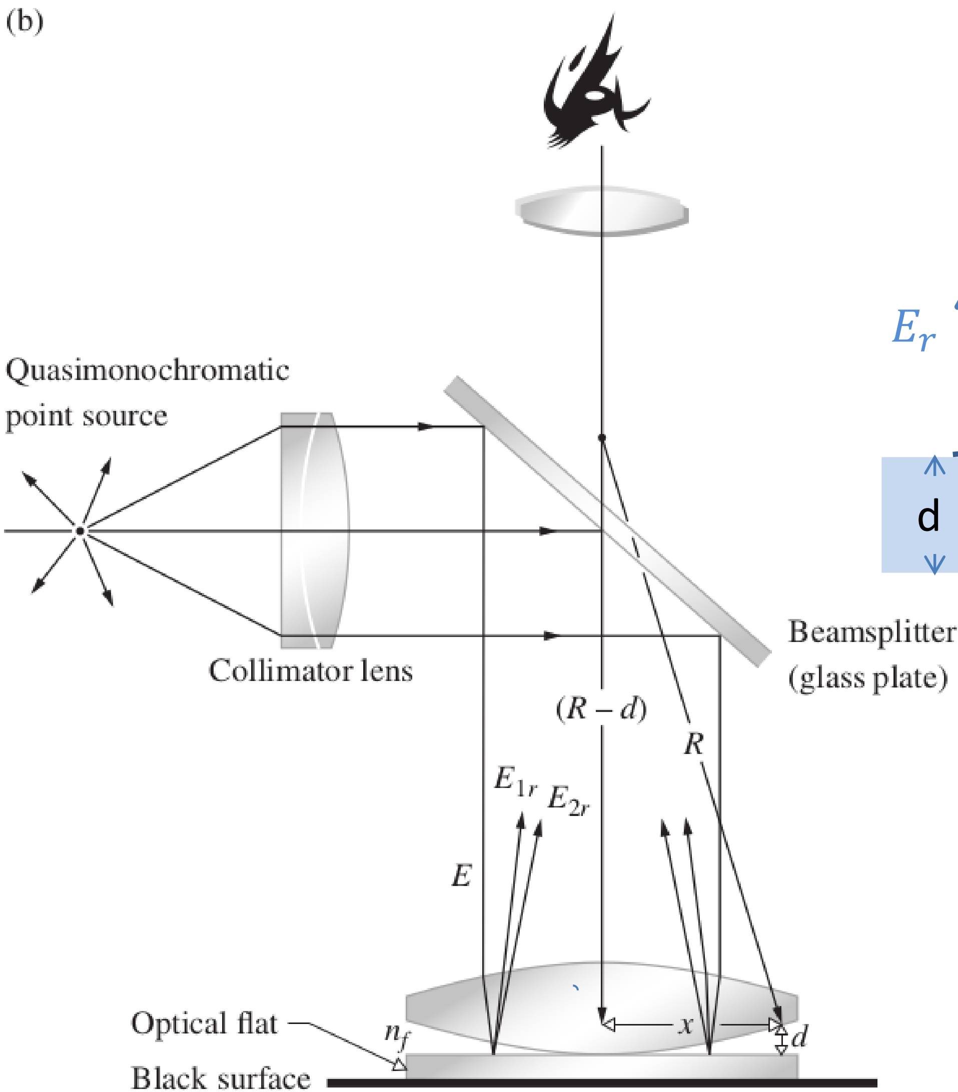
d crece como x^2

$$x^2 = R^2 - (R-d)^2$$
$$= R^2 - R^2 + 2Rd - d^2$$
$$= 2Rd - \cancel{d^2}$$

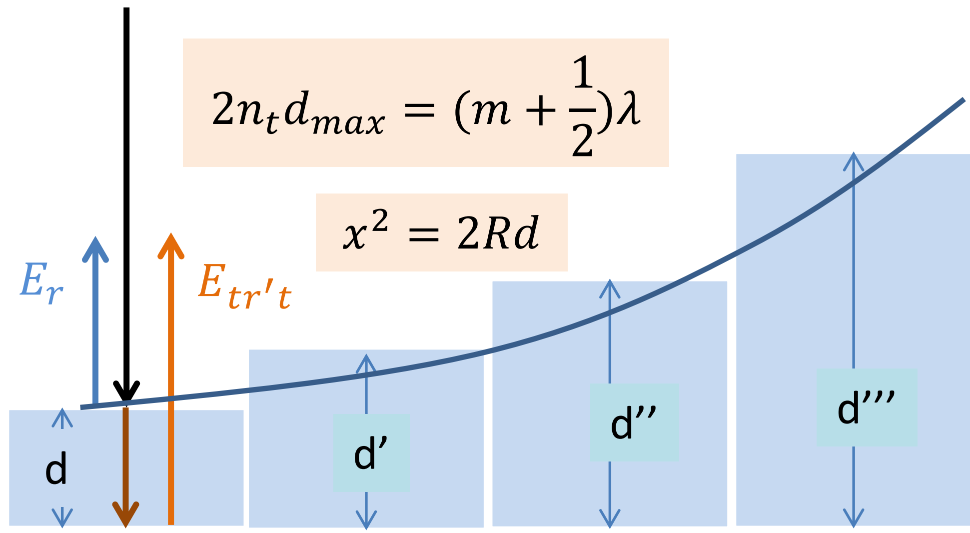
R>>d

$$\boxed{x^2 = 2Rd}$$

Anillos de Newton



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



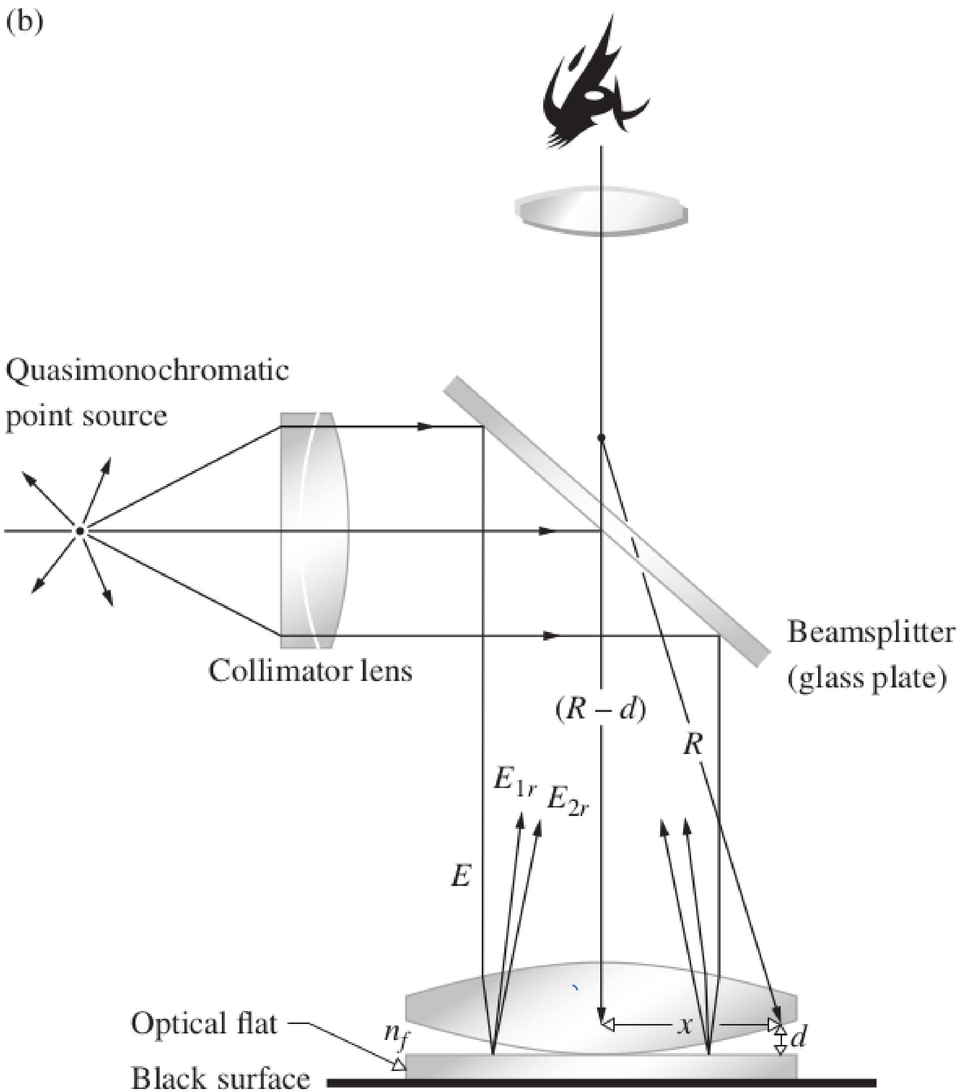
$$2n_t d_{max} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

$$x^2 = 2Rd$$

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

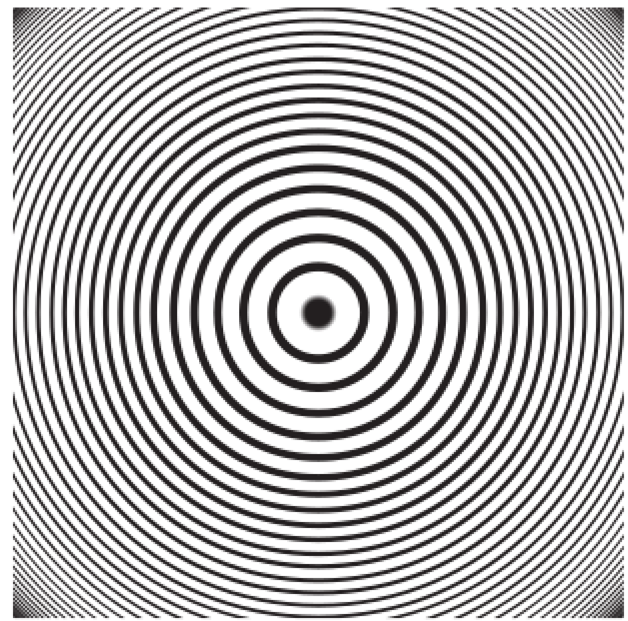
$$x_{max} = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_t}\, R}$$

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