

Interferencia

Parte 2

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 borrona 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 durante un lapso de $\Delta t_{coherencia} \sim 10^{-8}$. Entonces su fase sólo puede considerarse constante a cachos muy cortos.
- Es virtualmente imposible que dos fuentes de luz independientes tengan $\Delta \varepsilon = \text{cte}$

Pero entonces!?!?

*Gran título para una película

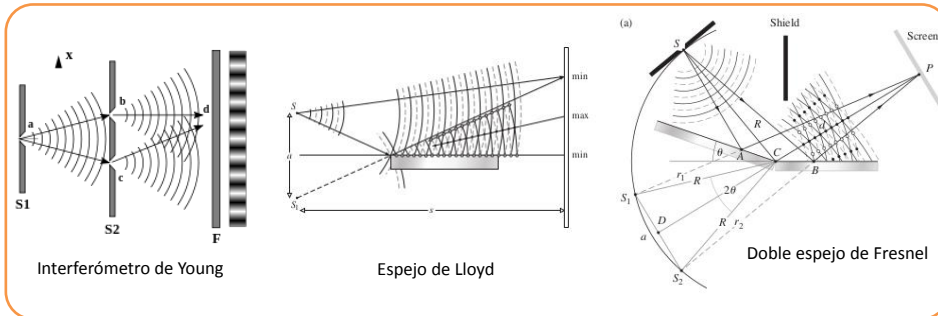
Interferómetros

- Dispositivos para generar fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\epsilon = \text{cte}$
- 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 fuente 1 y otra parte como fuente 2

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



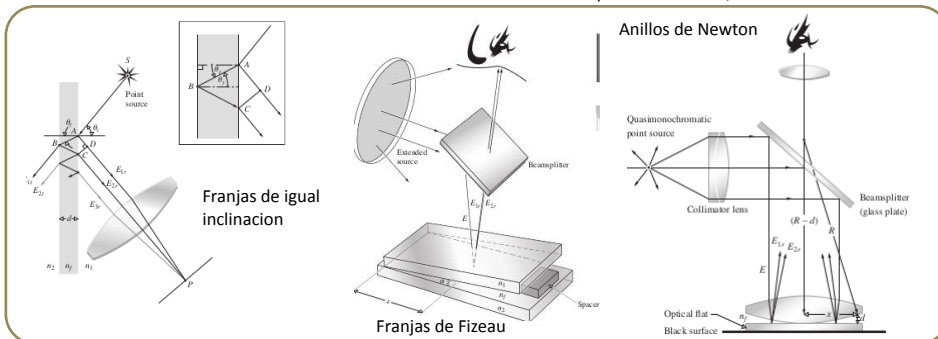
Interferómetros

- Dispositivos para generar fuentes que mantienen una relación de fase inicial $\Delta\epsilon = \text{cte}$
- Vienen en dos sabores:

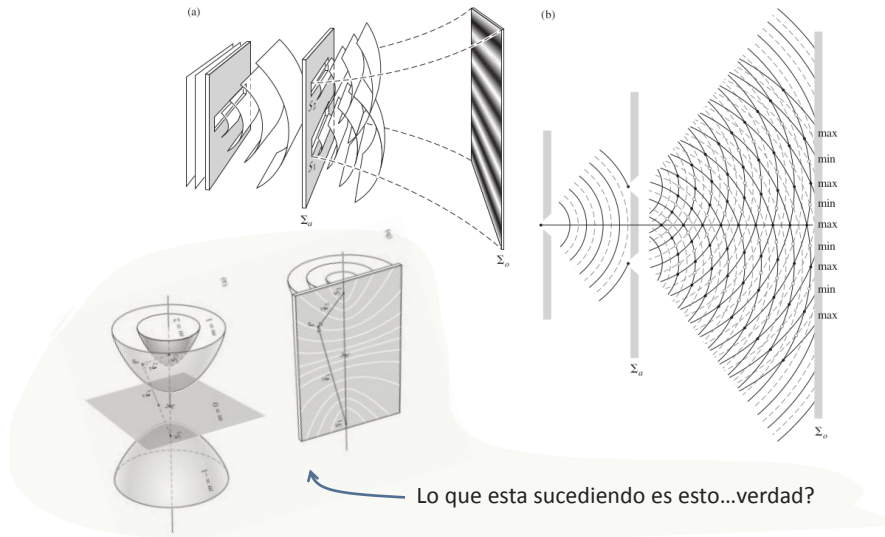
Interferómetros por división de frente de onda

Se toma un frente de onda y se usa una parte del mismo como fuente 1 y otra parte como fuente 2

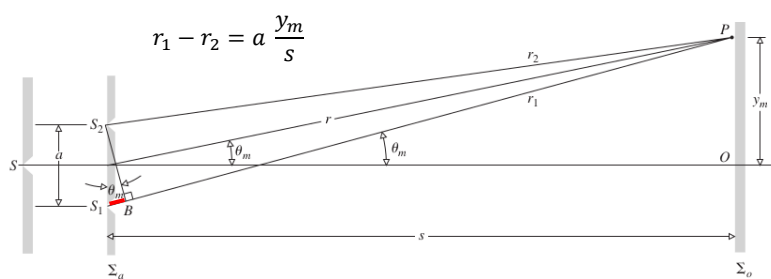
Interferómetros por división de amplitud: la onda original se divide en dos o mas que, luego de recorrer caminos opticos diferentes, se recombinan e interfieren



Empecemos por Young



Young 2



- 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

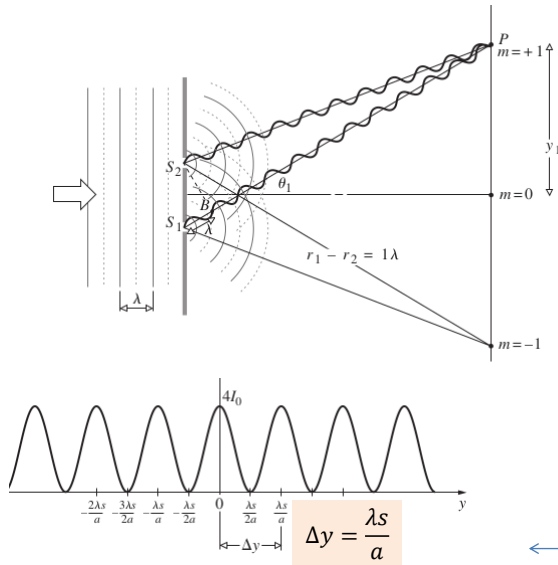
$$r_1 - r_2 = a \sin \theta_m \sim a \tan \theta_m = a \frac{y_m}{s}$$

altura sobre la pantalla del punto que estoy analizando

distancia entre rendijas

distancia doble rendija-pantalla

Young 3



Máximos sobre la pantalla

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

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

Veamos la irradiancia sobre la pantalla:

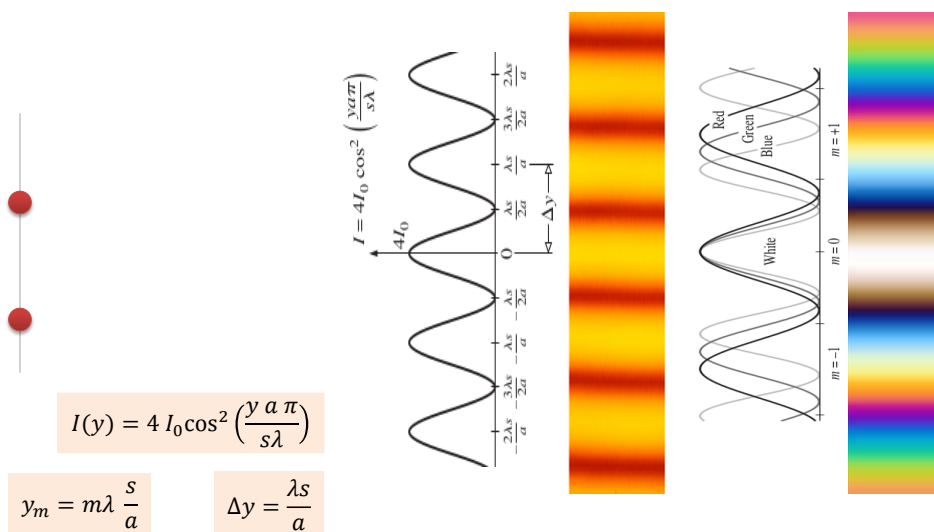
$$I = 4 I_0 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi(\vec{r})}{2} \right)$$

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

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

Midiendo separación de maximos uno puede determinar la long de onda

Young en colores



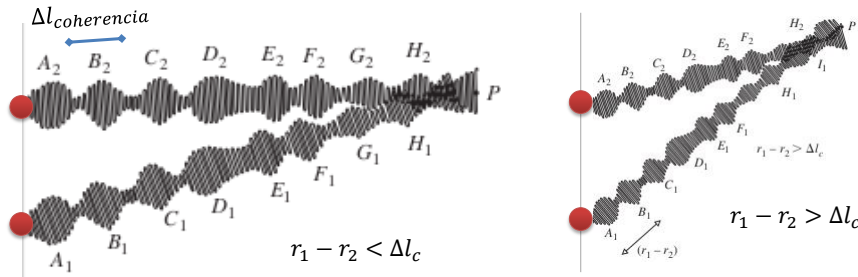
$$I(y) = 4 I_0 \cos^2 \left(\frac{y a \pi}{s \lambda} \right)$$

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

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

Warning...Tiempo y longitud de coherencia

- Una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Para luz natural: cada emisor radia un tren de ondas durante un lapso de $\Delta t_{\text{coherencia}} \sim 10^{-14} \text{ s}$
- La longitud típica que presenta fase constante resulta: $\Delta l_{\text{coherencia}} = c \Delta t_{\text{coherencia}} \sim \mu\text{m}$.



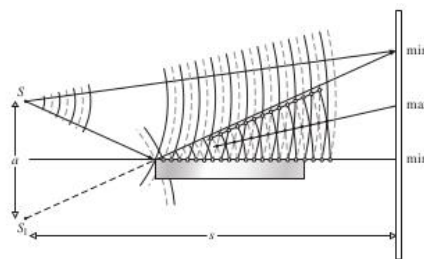
Si la diferencia de caminos es mayor a la longitud de coherencia no se produce interferencia en ese punto. El término $I_{12}=0$ y la irradiancia resulta constante $I=I_1+I_2$

Esto pone un limite practico al orden mas grande en el que se puede observar interferencia

Fuentes monocromaticas (laseres, lamparas de sodio) presentan

$\Delta t_{\text{coherencia}}$ mucho mayores, alcanzando $\Delta l_{\text{coherencia}}$ del orden de 10cm-1m

Espejo de Lloyd



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

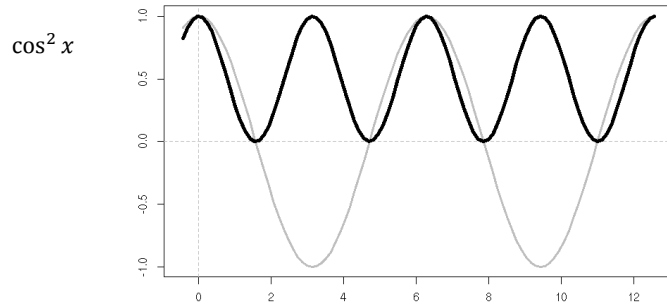
$$\Delta\varphi(\vec{r}) = k(r_1 - r_2) + \pi$$

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

Ver siguiente slide

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

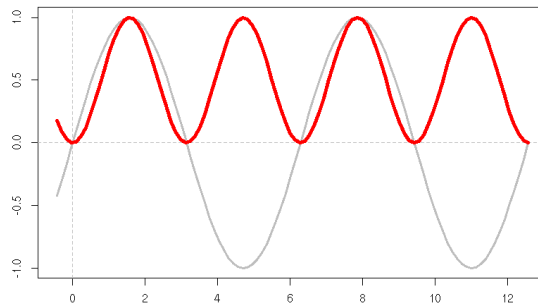
Donde antes tenía maximos ahora tengo mínimos y viceversa



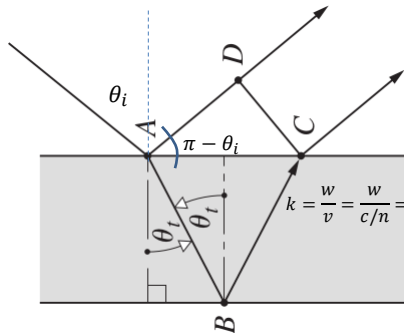
$$\sin^2 x = \cos^2\left(x + \frac{\pi}{2}\right)$$

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

Donde antes tenía máximos
ahora tengo mínimos y
viceversa



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 están en fase)
- La diferencia de fase con la que se 'reencuentran' en CD resulta:

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

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

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

$$\Delta\phi(\theta_i) = k_t 2 AB - k_i AD$$

$$= k_0 (n_t 2 AB - n_i AD)$$

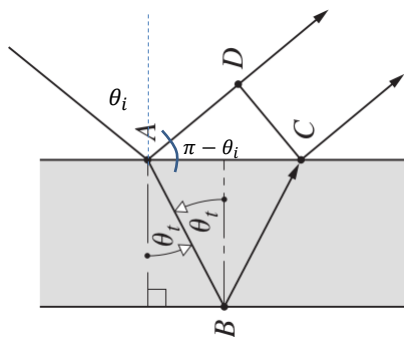
diferencia de caminos opticos

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

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

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

Rayos de igual inclinación



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

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

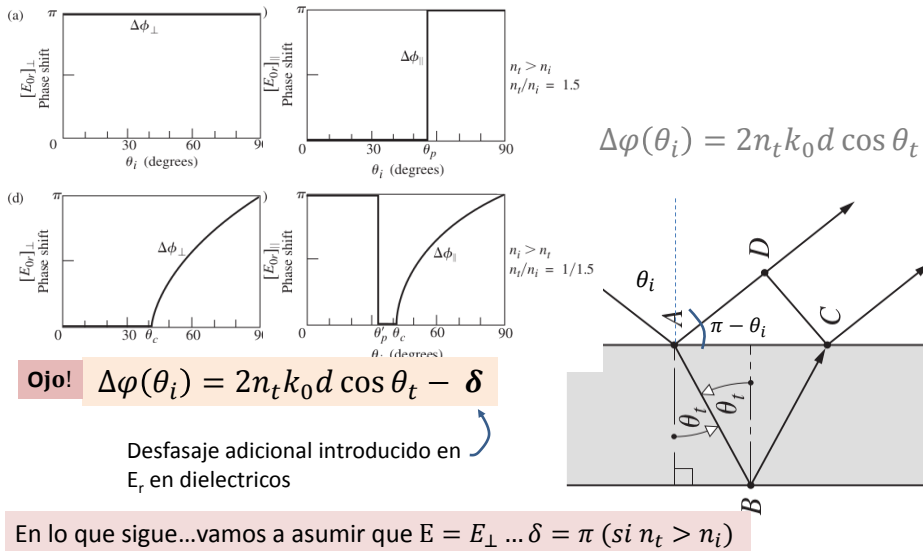
$$\sqrt{1 - \left(\frac{n_i}{n_t} \sin \theta_i \right)^2} = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_t} = \cos \theta_t$$

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

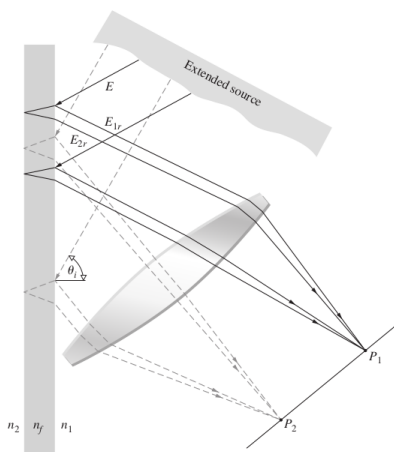
$$\Delta\phi(\theta_i) = 2k_0 d \sqrt{n_t^2 - (n_i \sin \theta_i)^2}$$

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

Ojo con la interfase



Condición de máximos y mínimos



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

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

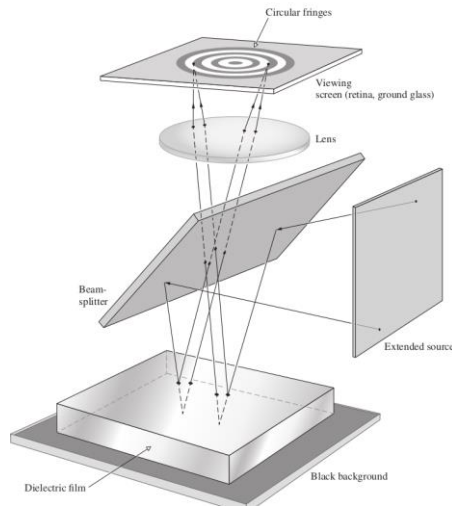
$$2n_t k_0 d \cos \theta_{t,max} - \pi = 2m\pi$$

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

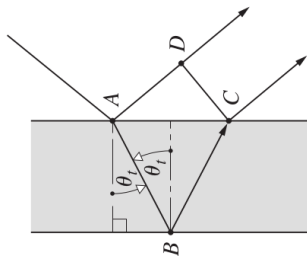
$$\Delta\varphi(\theta_{i,min}) = (2m + 1)\pi$$

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

Franjas circulares de Haidinger



A colores



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

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

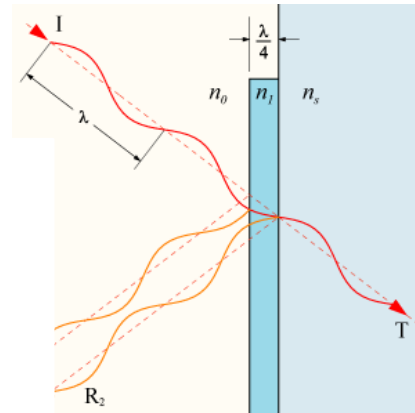
Diferentes colores van a tener maximos y mínimos en diferentes direcciones.....



Recubrimiento antirreflejo

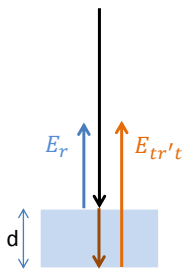


La idea es que la película provea interferencia destructiva para λ : amarillo, en incidencia normal



Con este diseño todo se trasmite

Franjas de igual espesor



Como antes:

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

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

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

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

Notar que la condicion anterior equivale a

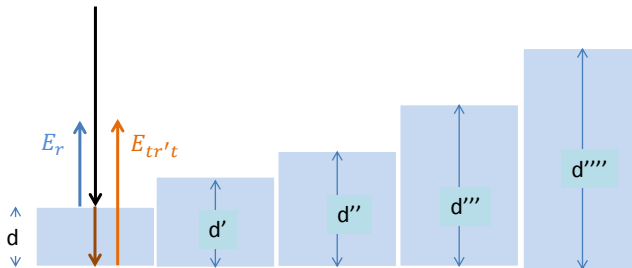
$$2n_t d_{max} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Franjas de igual espesor

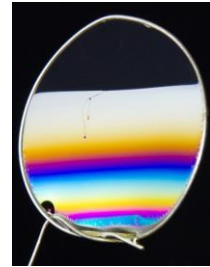
$$\Delta\phi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos \theta_t - \pi$$

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

Que pasa si tengo esto?



Y esto? (pelicula de jabon)

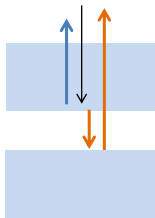


Franjas de igual espesor

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

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

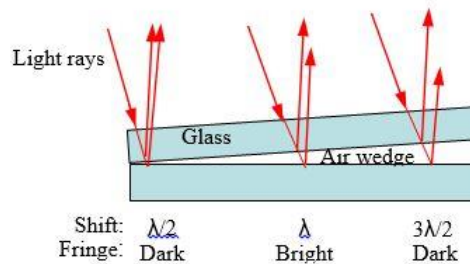
Que pasa si tengo dos cubreobjetos? ... me interesa la interferencia sobre la cara inferior del primer dielectrico?



Franjas de igual espesor

$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos \theta_t - \pi \quad d_{max} = (2m + 1) \frac{\lambda}{4n_t}$$

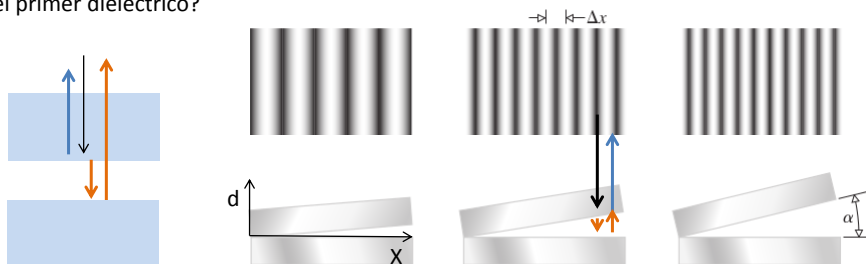
Que pasa si tengo dos cubreobjetos? ... me interesa la interferencia sobre la cara inferior del primer dielectrico?



Franjas de igual espesor

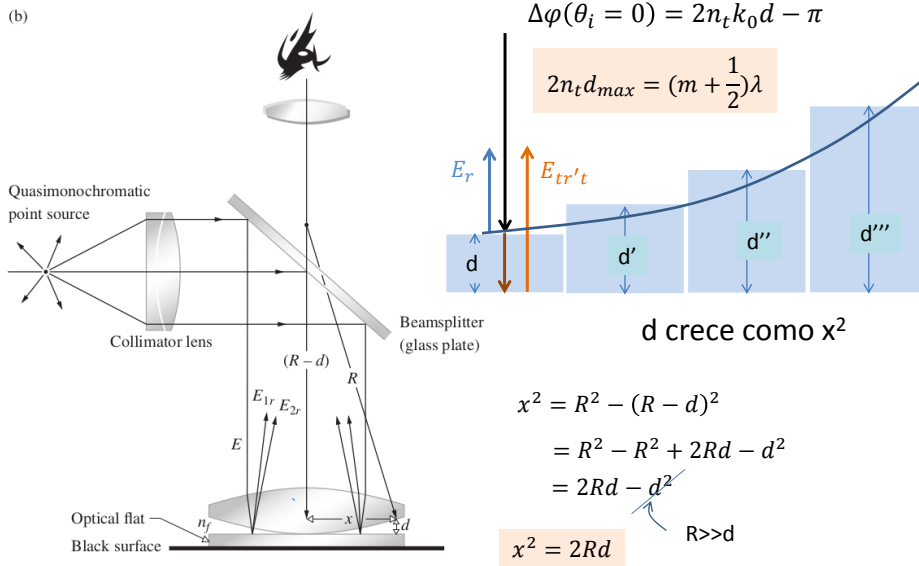
$$\Delta\varphi(\theta_i) = 2n_t k_0 d \cos \theta_t - \pi \quad d_{max} = (2m + 1) \frac{\lambda}{4n_t}$$

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

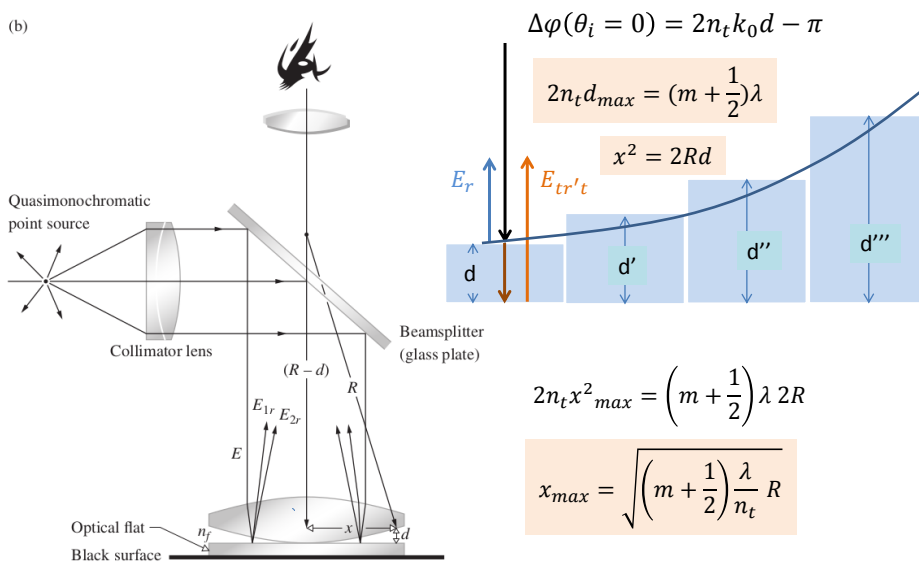


Si $\alpha \ll 1$ entonces: $d = \alpha x$ $x_{max} = (2m + 1) \frac{\lambda}{4\alpha n_t}$ $\Delta x_{max} = \frac{\lambda}{2\alpha n_t}$

Anillos de Newton

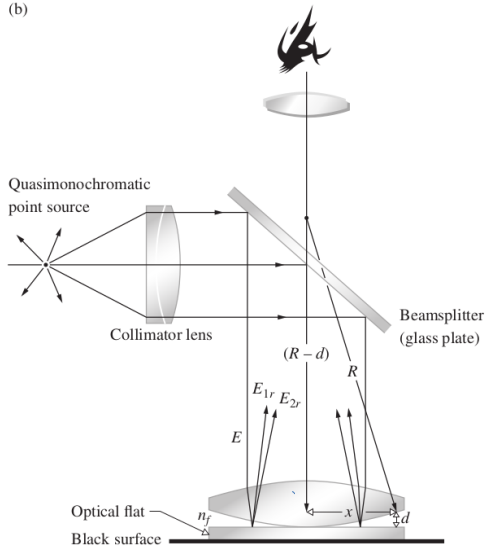


Anillos de Newton



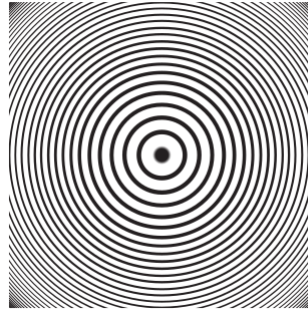
Anillos de Newton

(b)



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

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



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