

Física 2



Profesor: Ignacio J. General

Escuela de Ciencia y Tecnología

UNSAM

Física 2



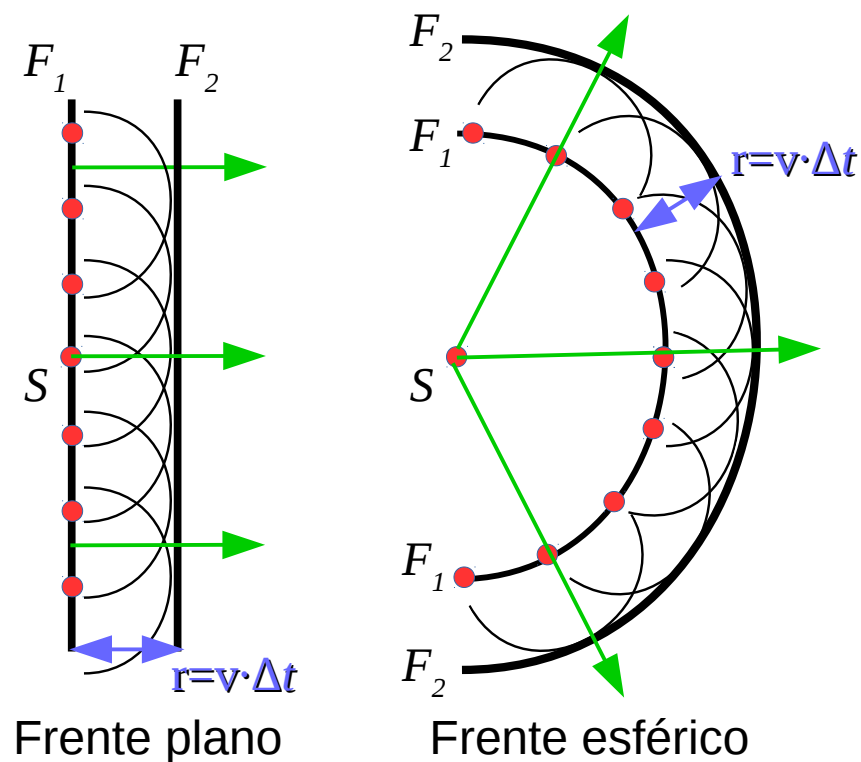
Óptica física: Interferencia 2

Repaso interferencia

Principio de Huygens:

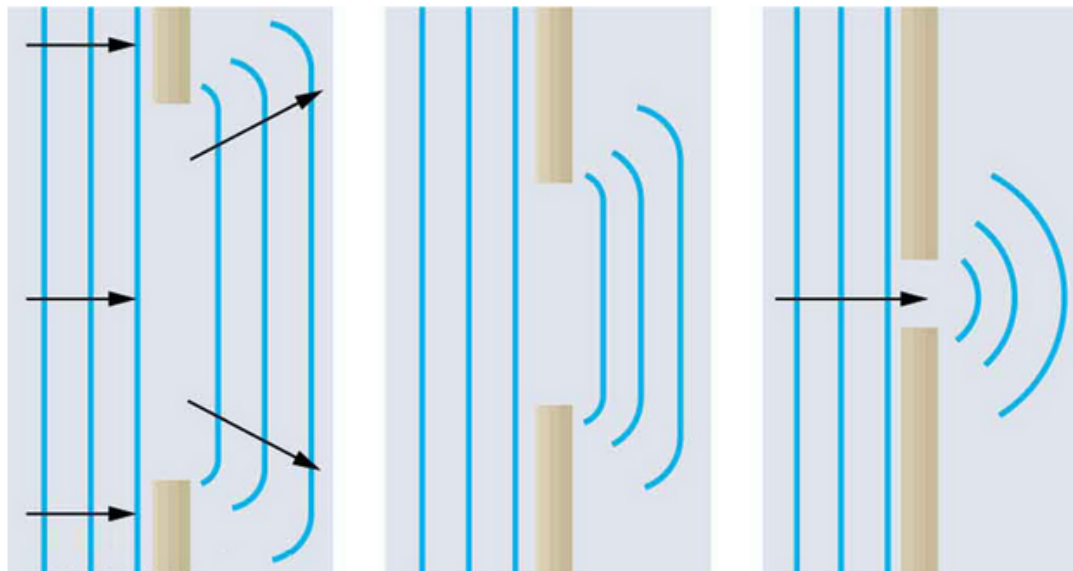
Cada punto en un frente de ondas es una fuente puntual de ondas secundarias. Después de un cierto tiempo, la nueva posición del frente de ondas será la superficie tangente a estas ondas secundarias.

1. El frente de ondas F_1 se aleja de la fuente S
2. Según Huygens, cada punto rojo sobre F_1 puede ser considerado como una nueva fuente que emite sus propias ondas secundarias
3. Un tiempo Δt después, al formar la superficie tangente a esas ondas secundarias, se forma el nuevo frente de ondas F_2



Difracción:

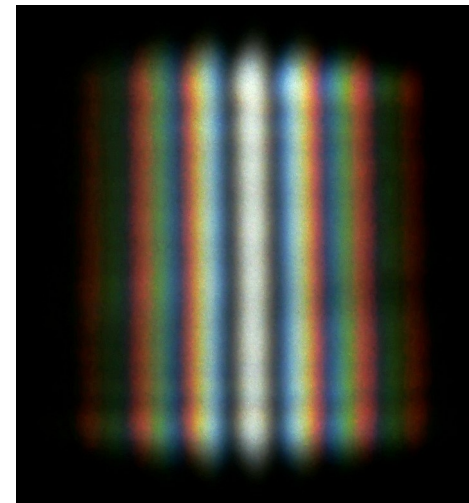
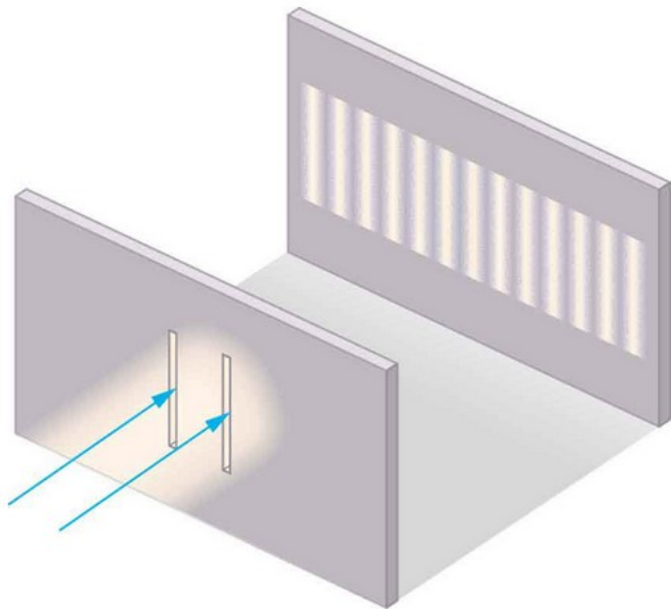
Es el desvío de una onda incidente al pasar por un obstáculo



By <https://opentextbc.ca/physicstestbook2/chapter/huygenss-principle-diffraction> (CC BY 4.0)

Experimento de Young de la doble rendija:

Al pasar luz por una doble rendija, si se cumple que $d \sim \lambda$, entonces se produce un patrón de interferencia:



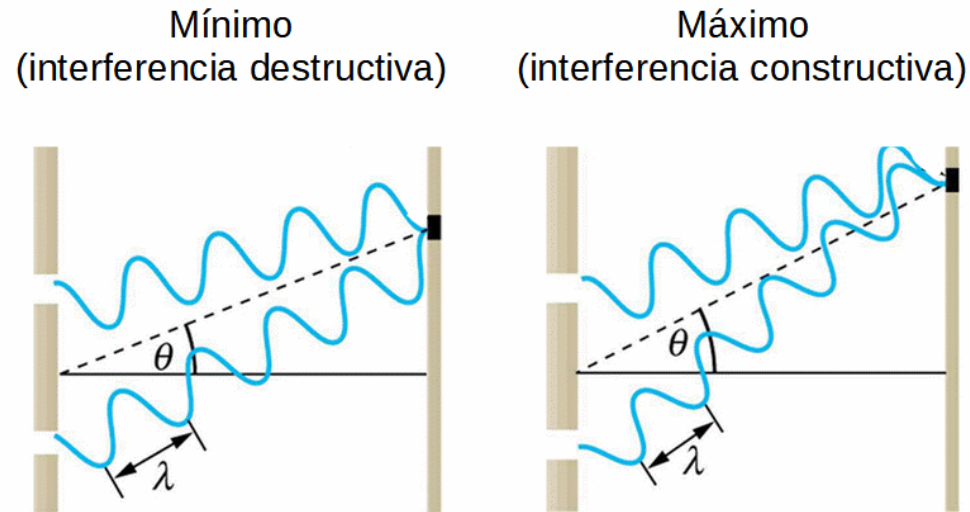
Patrón de doble rendija de luz solar

Izquierda: By <https://opentextbc.ca/physicstestbook2/chapter/youngs-double-slit-experiment> (CC BY 4.0)

Derecha: By Aleksandr Berdnikov - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53009002>

Experimento de Young de la doble rendija:

- Analicemos las ondas individuales:



By <https://opentextbc.ca/physicstestbook2/chapter/youngs-double-slit-experiment> (CC BY 4.0)

- Izquierda: las ondas llegan a la pantalla en *contrafase* → **interferencia destructiva**
- Derecha: las ondas llegan *en fase* → **interferencia constructiva**
 - ➔ Si $\Delta l = m \cdot \lambda$, habrá interferencia constructiva,
 - ➔ Si $\Delta l = (m+1/2) \cdot \lambda$, habrá interferencia destructiva,
(orden de la franja: $m= 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)

Experimento de Young de la doble rendija:

- Analizando las ondas individuales se llega a:

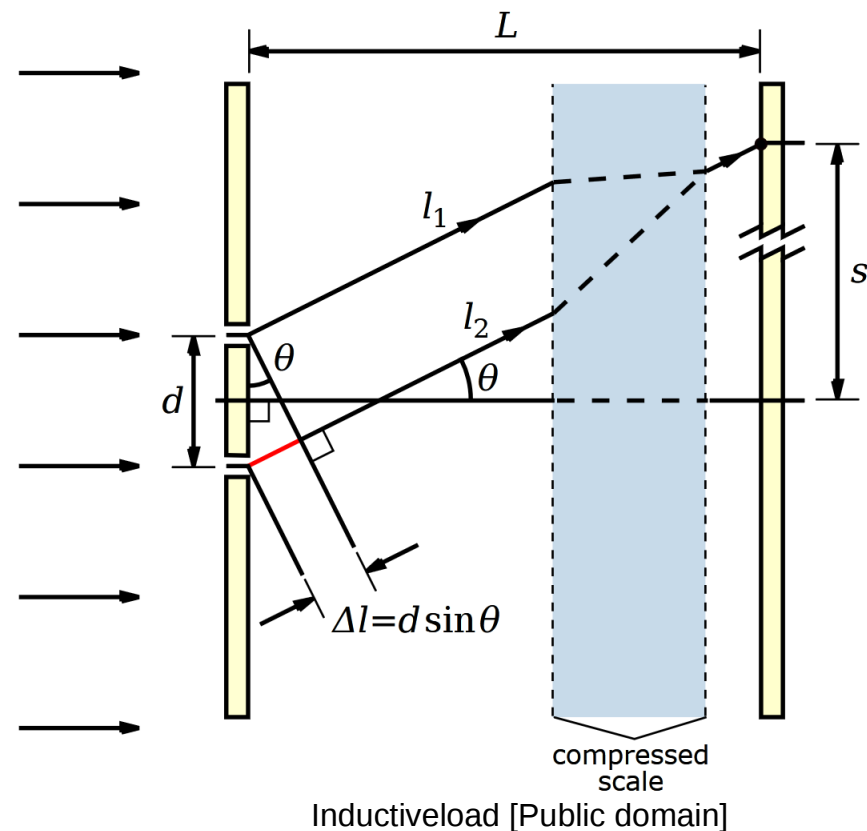
$$d \cdot \sin(\theta) = m \lambda \longrightarrow \text{Interferencia constructiva}$$

$$d \cdot \sin(\theta) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \longrightarrow \text{Interferencia destructiva}$$

- Si θ es chico:

$$s = \frac{m \lambda L}{d} \longrightarrow \text{Posición de franjas brillantes}$$

$$s = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda L}{d} \longrightarrow \text{Posición de franjas oscuras}$$



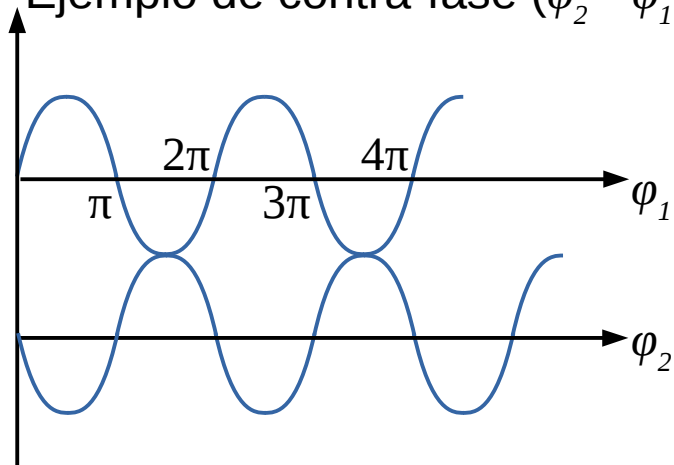
Experimento de Young de la doble rendija:

O, desde el punto de vista de las fases:

$$\begin{array}{l}
 E_1 = A \text{sen}(k x_1 - \omega t) \\
 E_2 = A \text{sen}(k x_2 - \omega t)
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} E_1 \\ E_2 \end{array}} \right\} \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\phi_i}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} E_1 \\ E_2 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \phi_1 = k x_1 - \omega t \\ \phi_2 = k x_2 - \omega t \end{array}
 \longrightarrow
 \boxed{\Delta \phi = k \Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x}$$

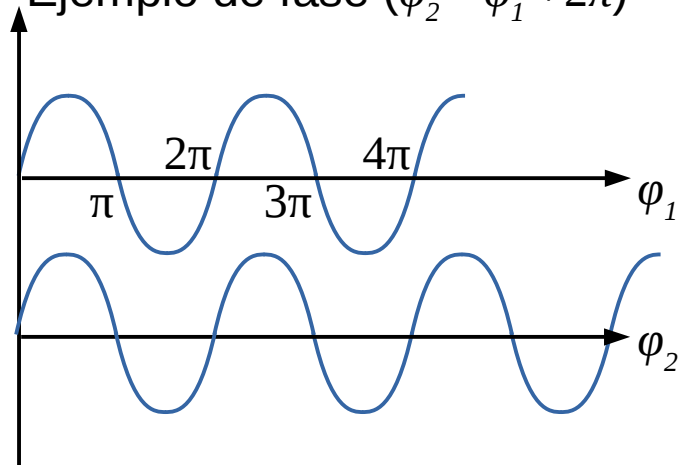
$$\boxed{\Delta \phi = 2\pi \left(m + \frac{1}{2} \right)} \longrightarrow \text{Interferencia destructiva}$$

Ejemplo de contra-fase ($\phi_2 = \phi_1 + \pi$)



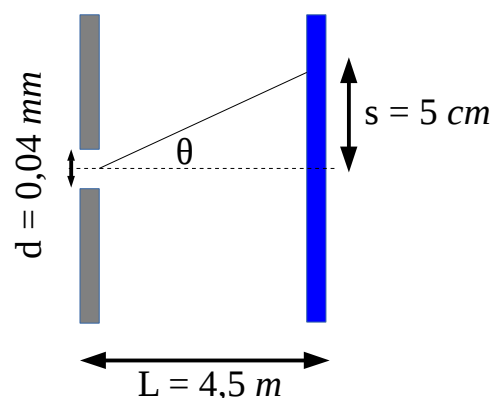
$$\boxed{\Delta \phi = 2\pi m} \longrightarrow \text{Interferencia constructiva}$$

Ejemplo de fase ($\phi_2 = \phi_1 + 2\pi$)



Ejemplo) En una experiencia de doble rendija se observa un patrón de interferencia, donde la primera franja brillante fuera del eje óptico se encuentra a 5 cm de dicho eje. La separación entre rendijas es de 0,04 mm, y la pantalla está ubicada a 4,5 m de las rendijas. ¿Cuál es la longitud de onda de la luz que genera el patrón?

Ejemplo) En una experiencia de doble rendija se observa un patrón de interferencia, donde la primera franja brillante fuera del eje óptico se encuentra a 5 cm de dicho eje. La separación entre rendijas es de 0,04 mm, y la pantalla está ubicada a 4,5 m de las rendijas. ¿Cuál es la longitud de onda de la luz que genera el patrón?



- Interferencia constructiva: $d \cdot \text{sen}(\theta) = m \lambda$

- Si θ es chico: $\text{sen}(\theta) = s/\text{hipo} \simeq s/L$

- Podemos escribir $\text{sen}(\theta) \simeq s/L = \frac{m \lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{sd}{mL}$

→ $\lambda = \frac{sd}{mL} = \frac{0,05 \text{ m} \cdot 0,00004 \text{ m}}{1 \cdot 4,5 \text{ m}} = 444 \text{ nm}$ (corresponde al color azul)

Fin del repaso interferencia

Interferencia en películas delgadas:

Interferencia en película de nafta diesel sobre el asfalto



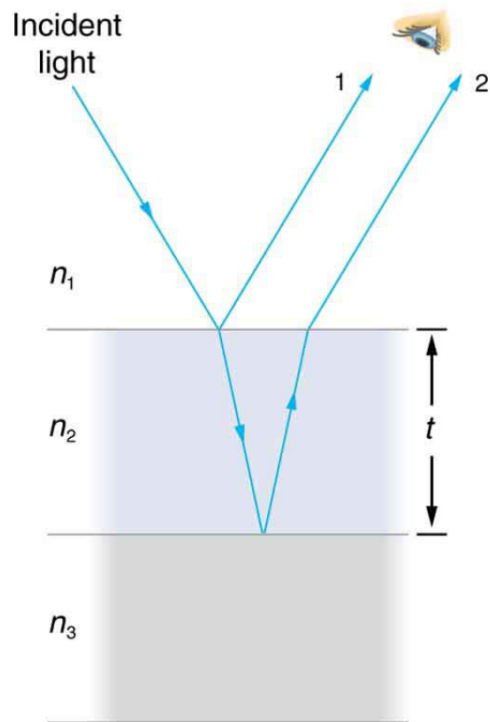
Mariojan photo
[CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)]

Interferencia en burbujas de jabón

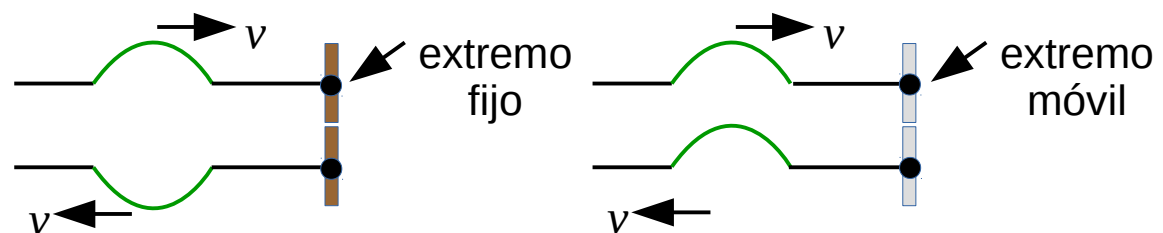


credito: Scott Robinson, Flickr

Interferencia en películas delgadas:



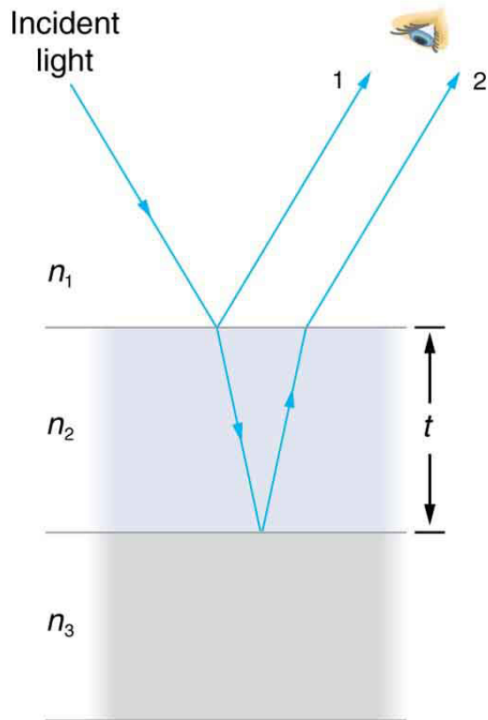
- Al iluminar desde arriba 3 medios de distinto n , con luz **monocromática**, el reflejo se puede ver brillante u oscuro, dependiendo del grosor de la capa intermedia.
- Ello se debe a la interferencia entre las ondas reflejadas por las dos caras de la capa intermedia: la onda que entra en la capa intermedia recorre una distancia mayor que la otra, introduciendo una diferencia de fase entre ellas.
- Como en el caso de la cuerda, una reflexión de una onda incidente de un medio menos denso a otro más denso conlleva una inversión en la onda:



Reflexión	Cambio de fase
$n_1 > n_2$	0
$n_2 > n_1$	π

- Esto representa un cambio de fase de π .

Interferencia en películas delgadas:



Recordemos que la diferencia de fase entre dos caminos viene dado por:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

Entonces, en la figura, asumiendo $n_2 > n_1$ y $n_2 > n_3$:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda_2} 2t + \pi \quad (\pi \text{ debido al paso de } n_1 \text{ a } n_2)$$

- Para que haya interferencia constructiva (franja brillante):

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda_2} 2t + \pi = 2\pi m \longrightarrow t = (2m - 1) \frac{\lambda_2}{4} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

- Para que haya interferencia destructiva (franja oscura):

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda_2} 2t + \pi = (2m + 1)\pi \longrightarrow t = m \frac{\lambda_2}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

O, en función de la longitud de onda en vacío (usando $\lambda = \lambda_0/n$):

$$t = (2m - 1) \frac{\lambda_0}{4n_2} \quad ; \quad t = m \frac{\lambda_0}{2n_2}$$

Interferencia en películas delgadas:

¿Y si la luz incidente no es monocromática?

- Como los distintos colores difieren en su λ , entonces en general solo habrá un color que cree interferencia constructiva
- Ese color se verá muy brillante, los otros no tanto, como en las figuras mostradas más arriba
- Si el grosor de la película no es uniforme, entonces habrá distintos colores brillantes en distintas partes de la película

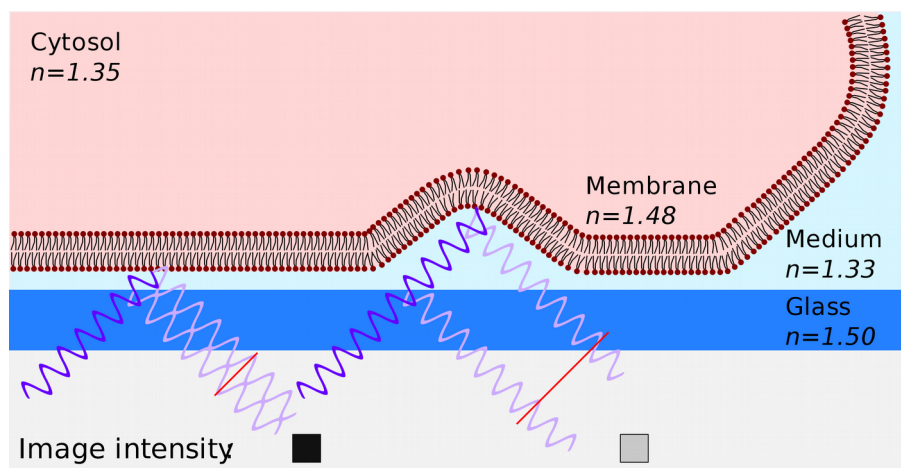
Interferencia en películas delgadas:

Ejemplo)

- Elegir una de las fórmulas de interferencia constructiva o destructiva en películas delgadas
- Buscar parámetros que la cumplan
- Ir a <https://ophysics.com/l6.html>
- Chequear que dichos parámetros efectivamente cumplen ese tipo de interferencia.

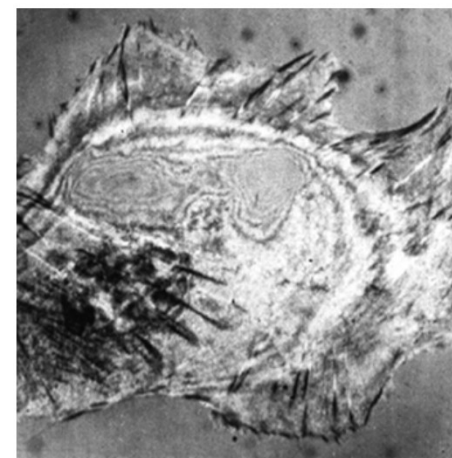
Aplicación: Microscopia de interferencia por reflexión

Permite observar puntos de contacto muestra-superficie de vidrio. La muestra es típicamente una célula



By Jhpbroeke - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9476862>

Fibroblasto de corazón de gallina. Las líneas negras en la periferia representan los puntos de adhesión

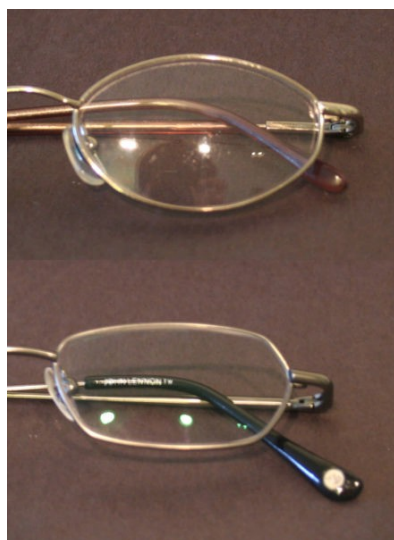


<https://www.microscopyu.com/techniques/confocal/confocal-reflection-microscopy>

- Luz monocromática incide desde abajo, desde el vidrio
- Al reflejarse en la interfase con el medio, se refleja parcialmente sin inversión de fase ($n_{\text{vidrio}} > n_{\text{medio}}$)
- La parte transmitida, al reflejarse en la interfase con la membrana celular, también se refleja parcialmente, pero esta vez con inversión de fase ($n_{\text{medio}} < n_{\text{membrana}}$)
- Entonces, si la separación membrana/vidrio es muy pequeña ($t \ll \lambda$, $t \sim 0$), las dos reflexiones estarán en contrafase → interferencia destructiva → no se observa luz

Aplicación: Recubrimientos anti-reflectantes

- Los reflejos en los lentes correctivos pueden ser molestos para los ojos
- También lo son las reflexiones en las varias lentes de un instrumento óptico
- Un película delgada, con el grosor apropiado, puede hacer que las reflexiones de una cierta longitud de onda se cancelen entre ellas, así evitando esas molestias
- Longitudes de onda cercanas a esa se cancelarán solo parcialmente.
- En general, el recubrimiento se diseña para eliminar el centro del espectro reflejado (alrededor de 550 nm)
- Los extremos del espectro (rojo y violeta) no se reducirán tanto
- Puesto que una mezcla de rojo y violeta produce púrpura, la luz que se ve reflejada en tales lentes recubiertas es púrpura

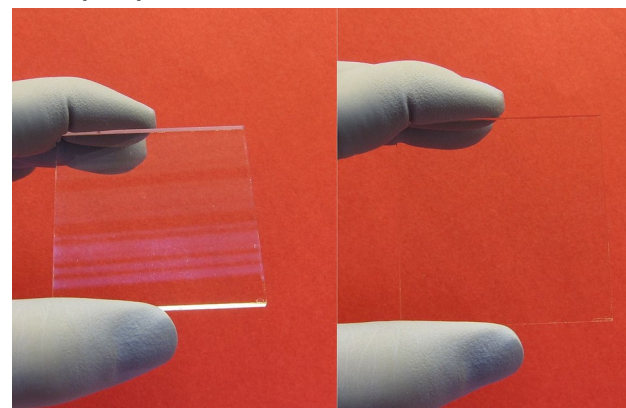


Sin anti-reflejo

Con anti-reflejo
(notar el tono distinto de las luces reflejadas)

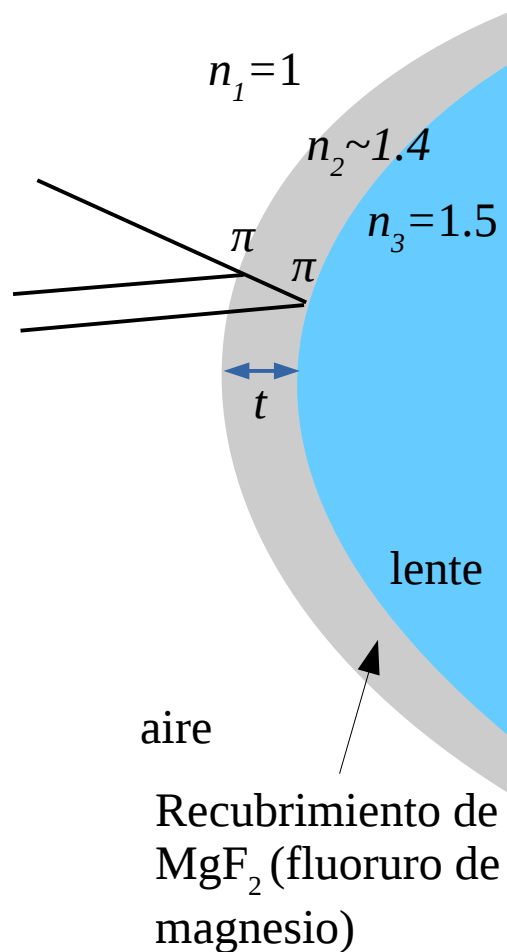
Justin Lebar [CC BY-SA 3.0
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]

Con anti-reflejo, visto a 45° (izquierda) y 0° (derecha)
Notar tono púrpura en las reflexiones



Zaereth [CC0]

Aplicación: Recubrimientos anti-reflectantes



- Diferencia de fase:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda_2} 2t + \pi + \pi = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0} 2t + 2\pi$$

- Interferencia destructiva si:

$$\Delta \phi = (2m+1)\pi$$

- Entonces:

$$\Delta \phi = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0} 2t + 2\pi = (2m+1)\pi$$

$$t = \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_0}{2n_2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

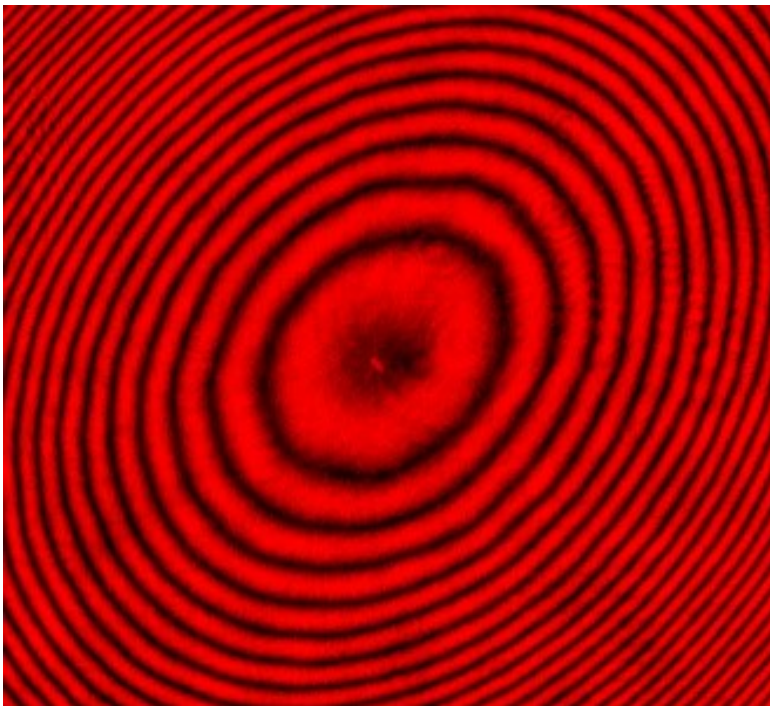
Grosor del recubrimiento para cancelar reflexiones de longitud de onda λ_0

- Para $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$ (mitad del espectro visible), $t \sim 100 \text{ nm}$

Anillos de Newton:

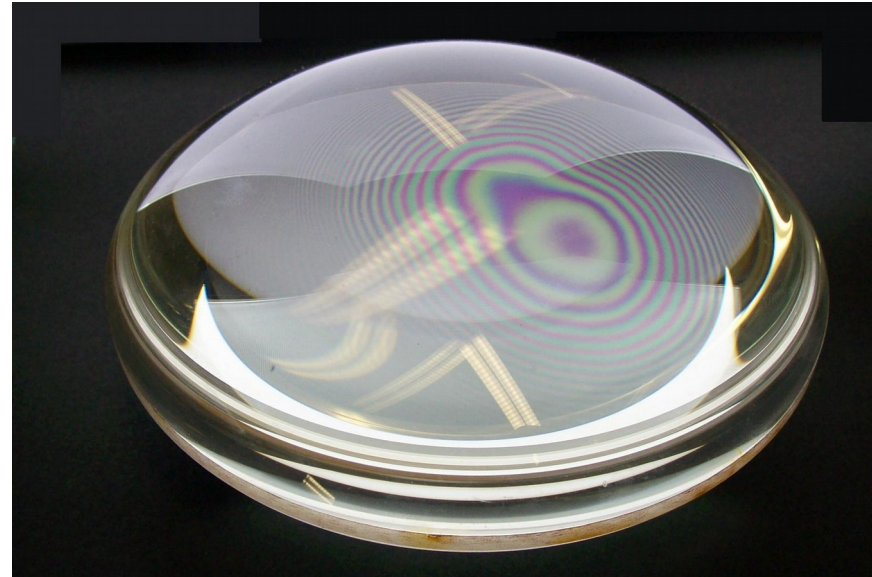
Cuando una superficie curva de vidrio se pone en contacto con una superficie plana de vidrio, y se ilumina desde arriba con luz monocromática, se observa una serie de anillos concéntricos, siendo el punto de contacto oscuro

Láser rojo iluminando lente plano-convexo desde arriba



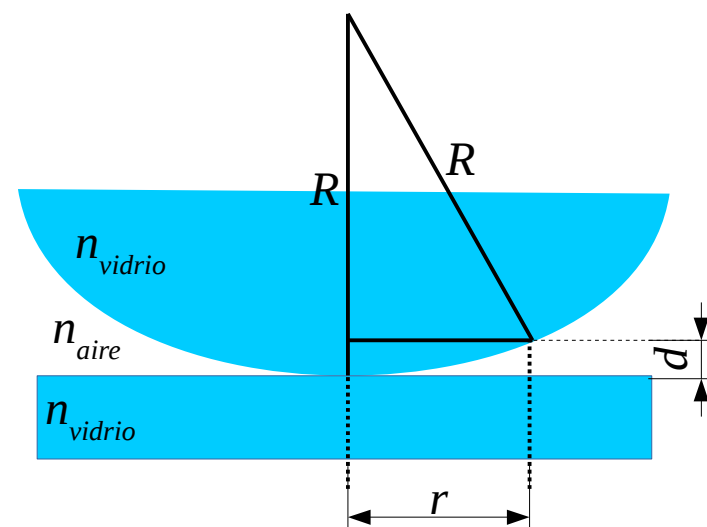
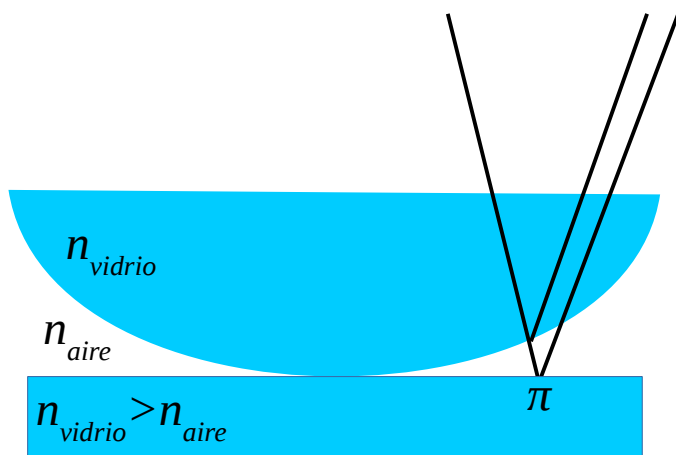
By Robert D. Anderson - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24752194>

Lentes plano-convexas en contacto, con una de las dos superficies levemente curvada



By Ulfbastel - Own work, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7372629>

Anillos de Newton:



- Suponiendo incidencia normal a la superficie superior, y que $R \gg d$:

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2 \Rightarrow R^2 = R^2 + d^2 - 2Rd + r^2 \rightarrow R^2 \approx R^2 - 2Rd + r^2 \Rightarrow 2Rd = r^2 \Rightarrow d = \frac{r^2}{2R}$$

- Diferencia de fase: $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{aire}}} 2d + \pi = \frac{4\pi d}{\lambda_{\text{aire}}} + \pi \rightarrow \Delta\phi = \frac{4\pi r^2}{2R\lambda_{\text{aire}}} + \pi$

- Interferencia constructiva/destructiva si: $\Delta\phi^{\text{constr}} = 2m\pi$; $\Delta\phi^{\text{destr}} = (2m+1)\pi$

- Entonces: $r^{\text{constr}} = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R \lambda_{\text{aire}}} \quad (m=1,2,3,\dots)$; $r^{\text{destr}} = \sqrt{m R \lambda_{\text{aire}}} \quad (m=0,1,2,\dots)$