Práctica 12 - Óptica

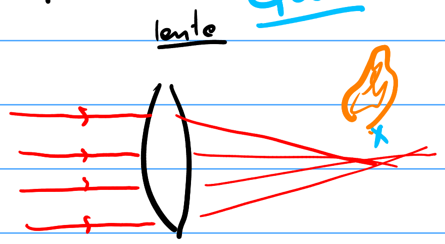
Veremos: → óptica geométrica → ley reflexión
→ ley refracción (Snell)

→ interferencia (ondulatoria)

Un poco confuso: luz → como rayos: opt geométrica
→ como ondas: opt ondulatoria

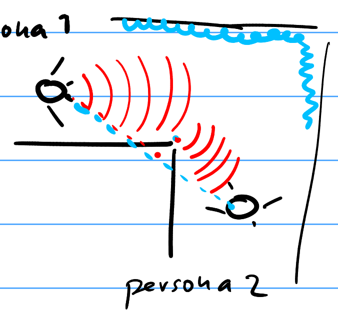
Ejemplo

Geom



Rayos convergen en un punto

por qué escucho a alguien en cuando el corredor dobla?



Difracción

Recordemos:

- onda EM plana: $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kz)\,\hat{x}$
$\vec{B} = B_0 \cos(\omega t - kz)\,\hat{y}$ $\perp$

ondas planas

$\omega = ck$, $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $E_0 = c B_0$

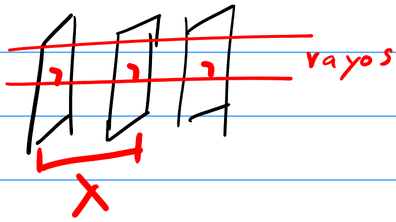
$|\vec{E}| = c|\vec{B}|$

$\vec{E} \times \vec{B}$ apunta en dir de propagación $(+z)$

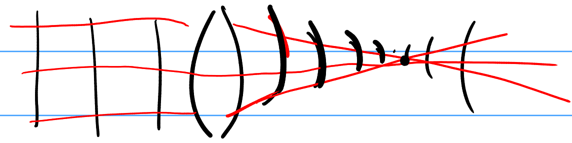
$$\boxed{c = \lambda f}$$

Óptica geométrica

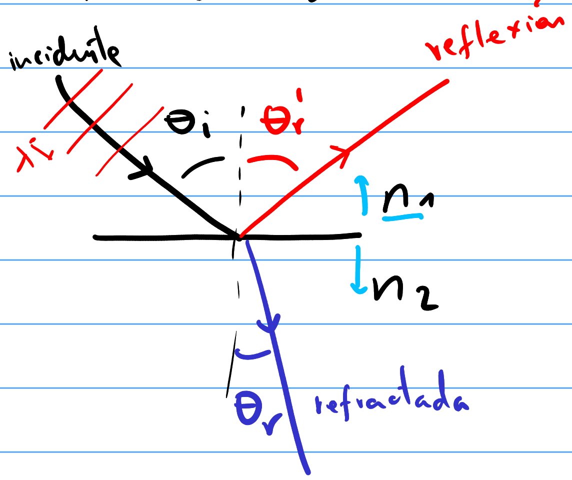
$\omega t - kz = cte + 2\pi$



Rayos: normales a frente de ondas



Lente "deforma" frente de onda



Ley reflexión : $\boxed{\theta_i' = \theta_i}$

Ley refracción : $\boxed{n_1 \sin\theta_i = \underbrace{n_2}_{n_2(\lambda)} \sin \underbrace{\theta_r}_{\theta_r(\lambda)}}$

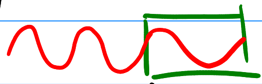
Índice de refracción (n)

$$c_{vacío} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$$\boxed{c_{mat} = \frac{c_{vacío}}{n}, \quad n \geq 1}$$

$\underline{f^{(\omega)}}$ no cambia en material

$$\lambda_{mat} = \frac{\lambda_{vacío}}{n}$$



vidrio : $n \simeq 1{,}5$

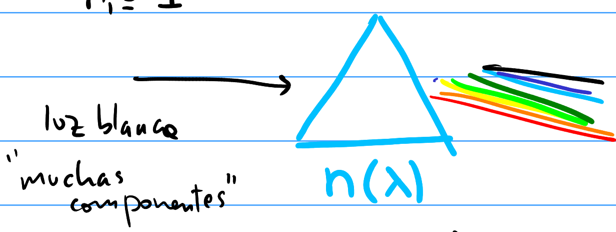
agua : $n \simeq 1{,}33$

diamante : $n \simeq 2{,}5$

Aplicaciones

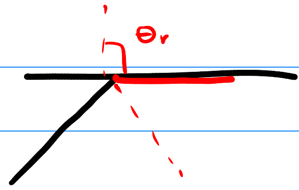
Dispersión

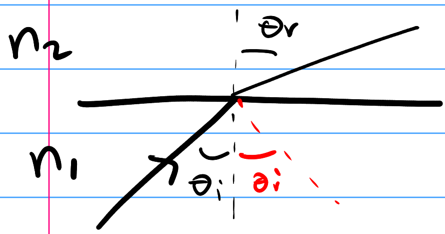
$n_1 = 1$



$\underline{\theta_r(\lambda)}$

Reflexión interna total





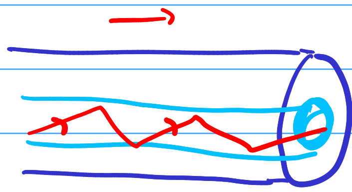
$$\sin\theta_r = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_i$$

Si $n_1 > n_2 \Rightarrow \sin\theta_r \geq 1$ para $\theta_r \geq \theta_c$

$\Rightarrow$ No hay refracción

Ejemplo

Fibras ópticas



$n_{in} > n_{out}$ (vidrios)

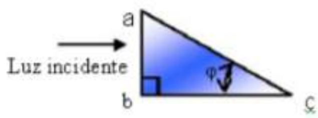
$\Rightarrow$ base de telecomunicaciones moderna

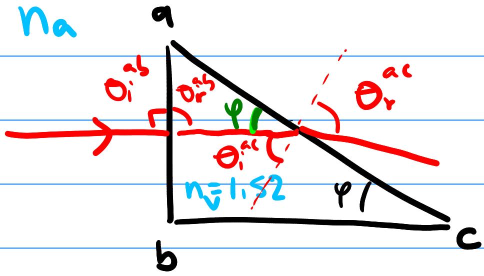
Ejercicios

Ejercicio 4 Un rayo de luz incide normalmente sobre la cara ab de un prisma de vidrio ($n = 1{,}52$), tal como se muestra en la figura.

a) Suponiendo que el prisma está inmerso en aire, halle el valor del ángulo máximo φ para el cual el rayo se refleja totalmente en la cara ac.

b) Halle φ si el prisma se encuentra inmerso en agua ($n = 1{,}33$)





$n_v > n_a$ $\quad (n_a \simeq 1)$

Cara ab: $\theta_i^{ab} = 0$

$$n_a \sin\theta_i^{ab} = n_v \sin\theta_r^{ab}$$

$$\Rightarrow \theta_r^{ab} = 0$$

$$n_v \sin\theta_i^{ac} = n_a \operatorname{sen}\theta_r^{ac}$$

θ_i^{ac} crítico / $\theta_r^{ac} = 90°$

$\rightarrow \operatorname{sen}\theta_r^{ac} = 1$ refl interna total

$\theta_i^{ac} = \frac{\pi}{2} - \varphi \qquad \sin\theta_i^{ac} = \cos\varphi$

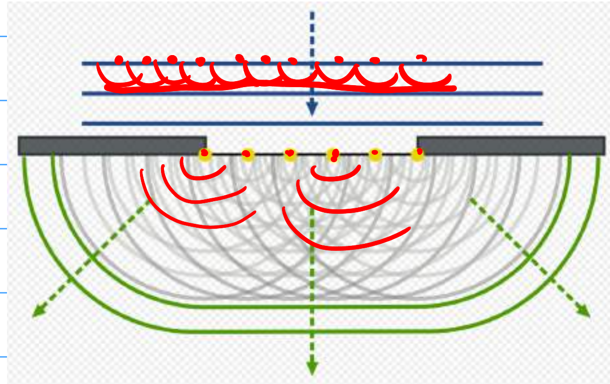
$$n_v \cos\varphi = n_a \Rightarrow \boxed{\cos\varphi = \frac{n_a}{n_v}}$$

Interferencia

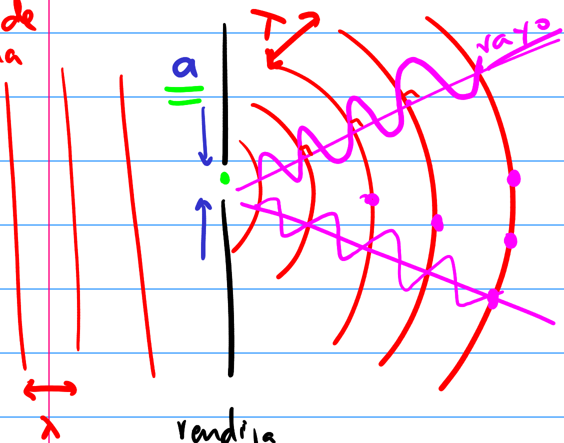
1678

Ppio de Huygens:

un frente de ondas es superposición de emisores esféricos. en fase



Frentes de onda



rendija

$a \ll \lambda$ (rendija es fuente puntual)

⇓

↑ sólo emisor

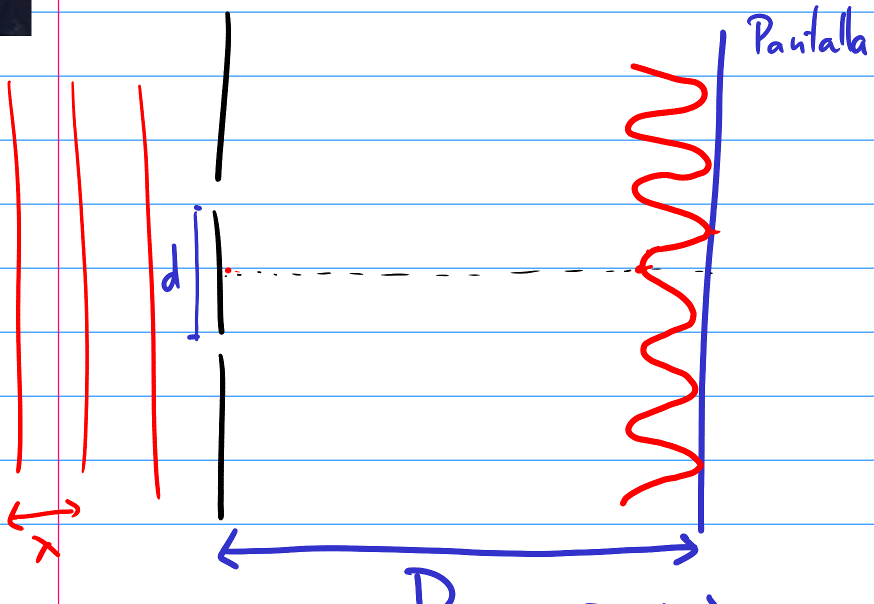
$\boxed{\text{distancia entre frentes de onda} = \lambda}$

Frentes de onda = lugar geom de fase cte

Ondas: · ondas en cuerdas, barras, etc
· sonido
· ondas superficiales en fluidos

1801

Experimento de Young

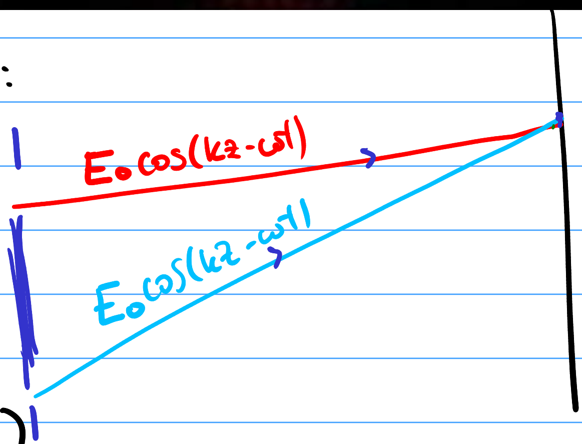


Qué se observa?

$D \gg \lambda$

$D \gg d$

En pantalla:



I? Intensidad de la luz

$$\bar{I} = |\bar{S}| \propto |E_0|^2$$

$$\left.\begin{aligned} I_1 &\propto |E_0|^2 \\ I_2 &\propto |E_0|^2 \end{aligned}\right\} \quad I_{Tot} \overset{?}{=} I_1 + I_2 \propto 2|E_0|^2$$

Es esto así?

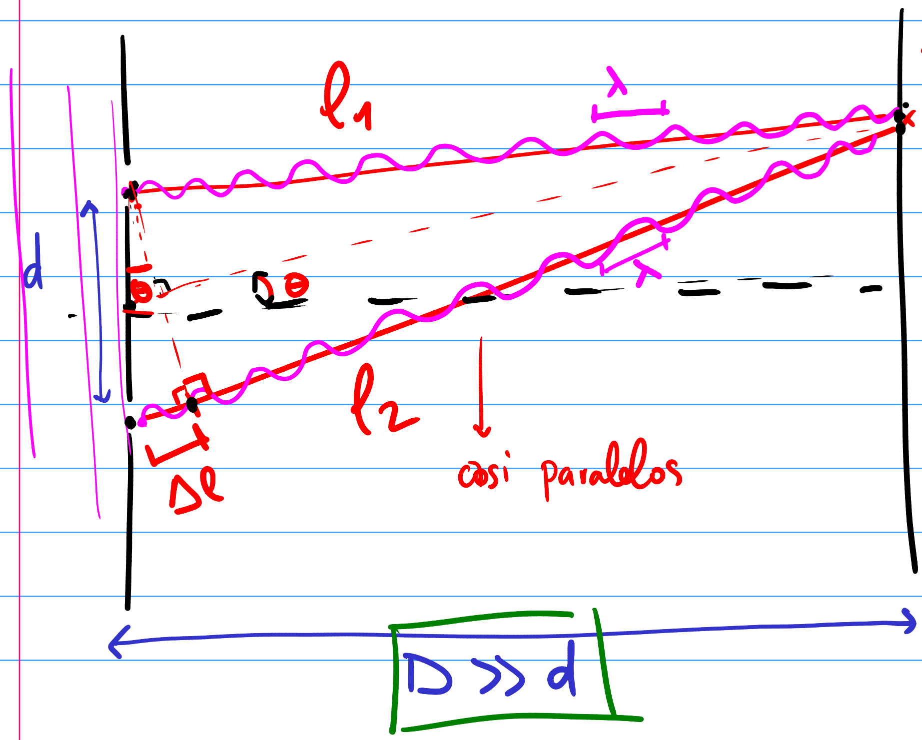
NO!!

No!! Ppio de superposición: $\vec{E}_{TOT} = \sum_i \vec{E}_i$

en algunos puntos

$$\Rightarrow \quad I_{Tot} \propto |\vec{E}_{TOT}|^2 = |\vec{E}_0 + \vec{E}_0|^2 \propto 4|E_0|^2$$

$$\boxed{I_{Tot} = 4 I_1}$$



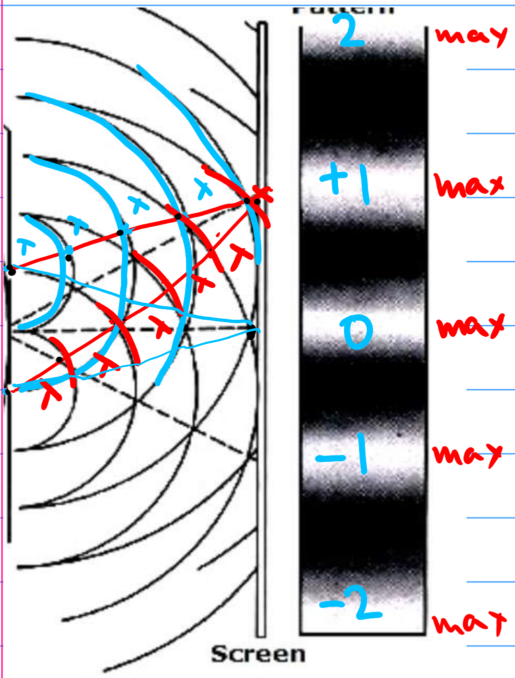
$$\Delta l = l_2 - l_1$$

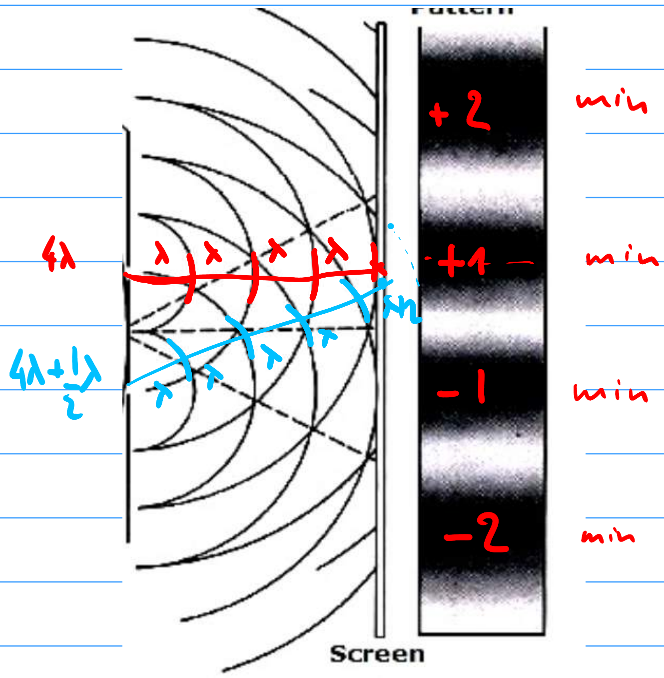
$$\frac{\Delta l}{d} = \text{sen}\,\theta$$

$$\boxed{\Delta l = d\,\text{sen}\,\theta}$$

Interferencia constructiva

Interferencia destructiva





$\Delta \ell = 5\lambda - 4\lambda$

Máximos

$\Delta \ell = m\lambda \quad , m \in \mathbb{Z}$

$\Delta \ell = \boxed{d \operatorname{sen} \theta_{max} = m\lambda}$

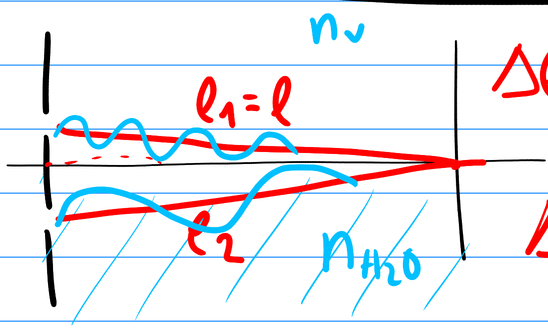
$m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$

Mínimos

$\Delta \ell = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad , m \in \mathbb{Z}$

$\boxed{d \operatorname{sen} \theta_{min} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda}$

$m = \pm 1, \pm 2, \ldots$



$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = \ell - \ell = 0$ ✗

$\Delta \ell = n_{H_2O}\,\ell - n_v\,\ell \neq m\lambda$

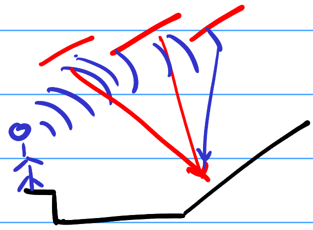
Nota: "

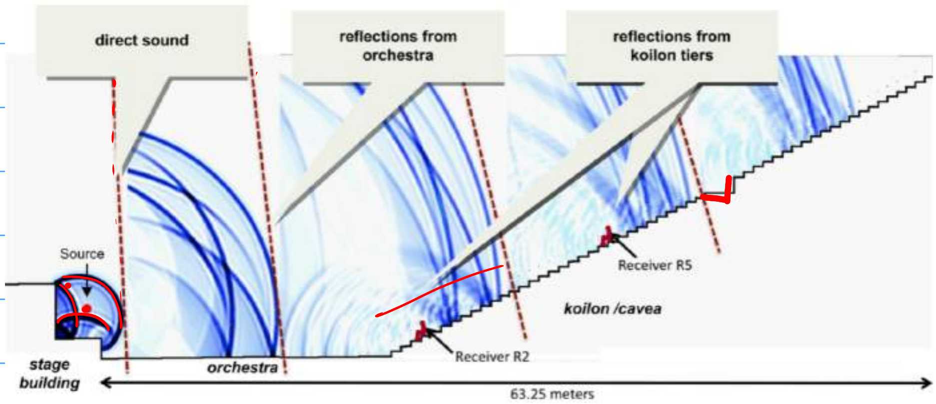
$$\ell_{óptico} = n \;"\; \ell_{geom}$$

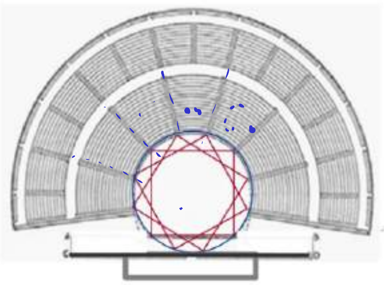
$$\boxed{\Delta \ell_{óptico} = \begin{cases} m\lambda & \text{máx} \\ \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda & \text{min} \end{cases}}$$

Interferencia en ingeniería

Acústica en teatros / cines





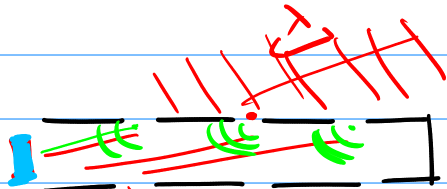


classical Greek amphitheatric
circa 450 BC

Micrófono direccional

Concha del Maeso, 1980

"espía"

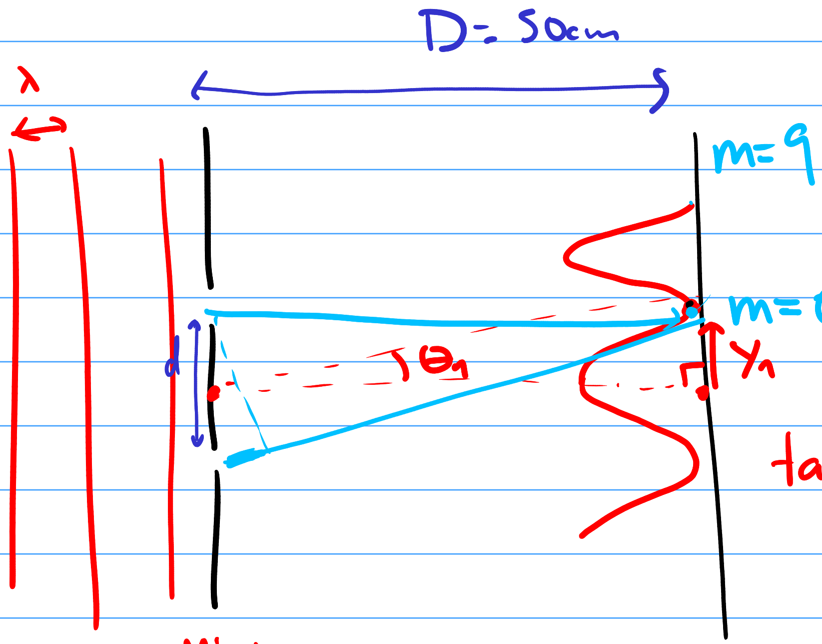


"sensor"

interferencia ⇒ Dependencia con "ángulo"

Ejercicios

Ejercicio 6 La distancia entre el primer y el décimo mínimo del patrón de interferencia de dos rendijas (iluminadas por una onda monocromática plana) es de $18mm$. Las rendijas están separadas $0{,}15mm$, y la pantalla está a $50cm$ de las rendijas. Cuál es la longitud de onda de la luz empleada?



$d = 0{,}15\,mm$ $\quad d \ll D$

$\Delta y = 18\,mm$

$x?$

$\tan\theta_1 = \dfrac{y_1}{D} \simeq \operatorname{sen}\theta_1$

si θ_1 es chico (D es grande)

Mínimo

$$\Delta\ell = d\operatorname{sen}\theta_m = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

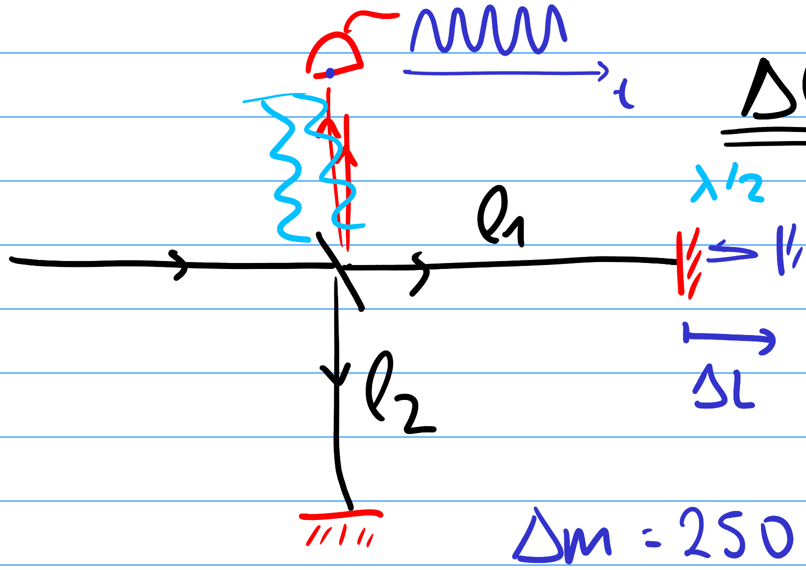
$$d\operatorname{sen}\theta_1 = \left(m_1 \pm \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\boxed{d\,\frac{y_1}{D} = \left(m_1 + \frac{1}{2}\right)\lambda} \Rightarrow \boxed{y_m = \frac{\lambda D}{d}\left(m + \frac{1}{2}\right)}$$

$$\left[\Delta y = y_{m=9} - y_{m=0} = \frac{\lambda D}{d}\left[\left(9 + \cancel{\tfrac{1}{2}}\right) - \left(0 + \cancel{\tfrac{1}{2}}\right)\right] = \frac{\lambda D\,9}{d}\right]$$

$$\boxed{\lambda = \frac{\Delta y\, d}{D\, 9}}$$

Ejercicio 10 El espejo en uno de los brazos de un interferómetro de Michelson se desplaza una distancia ΔL. Durante el desplazamiento se cuentan 250 corrimientos de franjas (sucesiones de franjas oscuras y brillantes). Si la luz utilizada tiene una longitud de onda de $632{,}8nm$, calcule el desplazamiento ΔL.



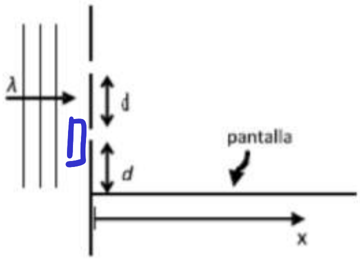
$$\underline{\underline{\Delta l}} = 2l_2 - 2l_1$$

$$\Delta m = 250$$

$$2\Delta L = \Delta m \, \lambda$$

$$\Delta L = \frac{\Delta m \lambda}{2}$$

Ejercicio 12 (Seg. parcial Seg. semestre 2009) Una onda plana monocromática de longitud de onda λ incide normalmente sobre una pared en la cual existen 2 rendijas separadas una distancia d. Perpendicularmente a la pared se coloca una pantalla a una distancia d de la rendija inferior, como muestra la figura.



a) Hallar x_m, posición de los máximos de intensidad sobre la pantalla, suponiendo $x >> d$.

b) Sobre la rendija inferior se coloca una hoja delgada de un material transparente, de espesor 3λ (siendo λ la longitud de onda en el vacío) e índice de refracción $n = 1.5$. La hoja cubre completamente la rendija. Halle la nueva expresión de x_m.

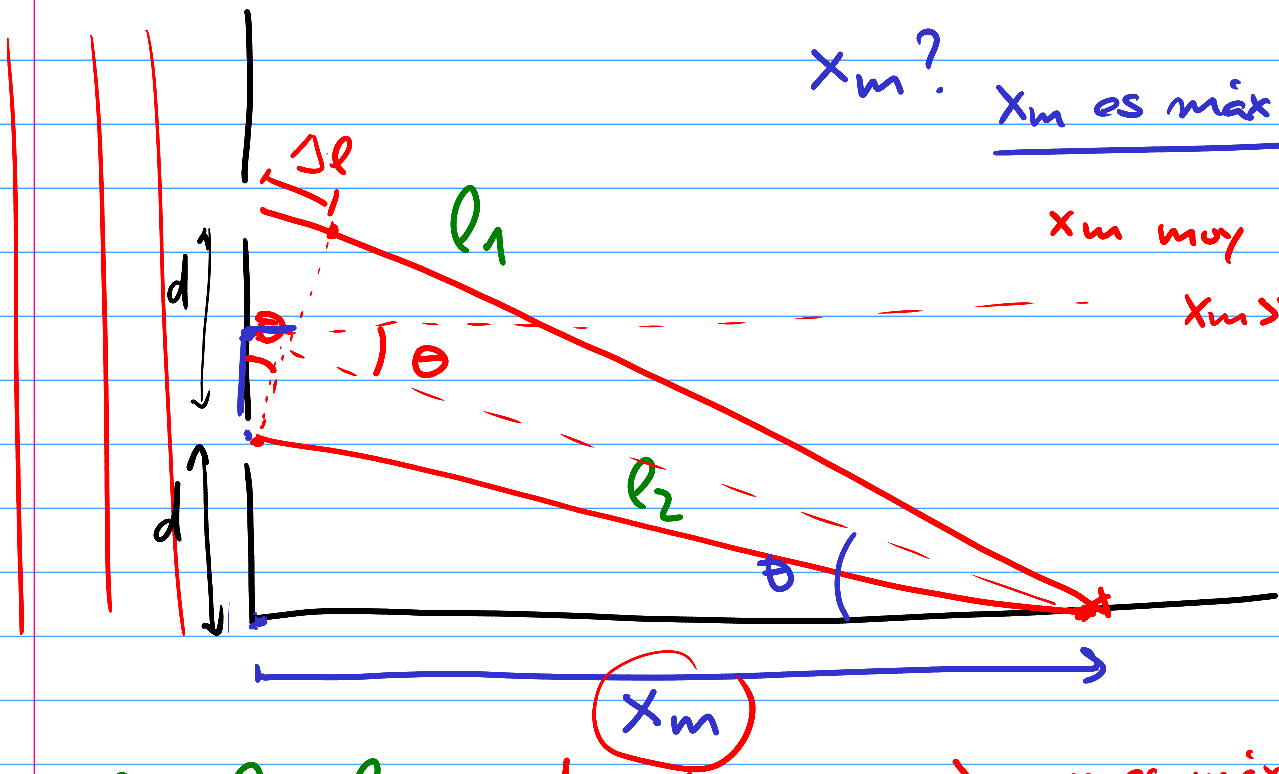
c) En la configuración original (sin la hoja transparente) determine cuál debe ser el mínimo valor de d para que en la pantalla se vean por lo menos 3 máximos de intensidad, sin considerar el máximo de orden cero en el infinito.

x_m?

x_m es máximo

x_m muy lejos

$x_m >> d$

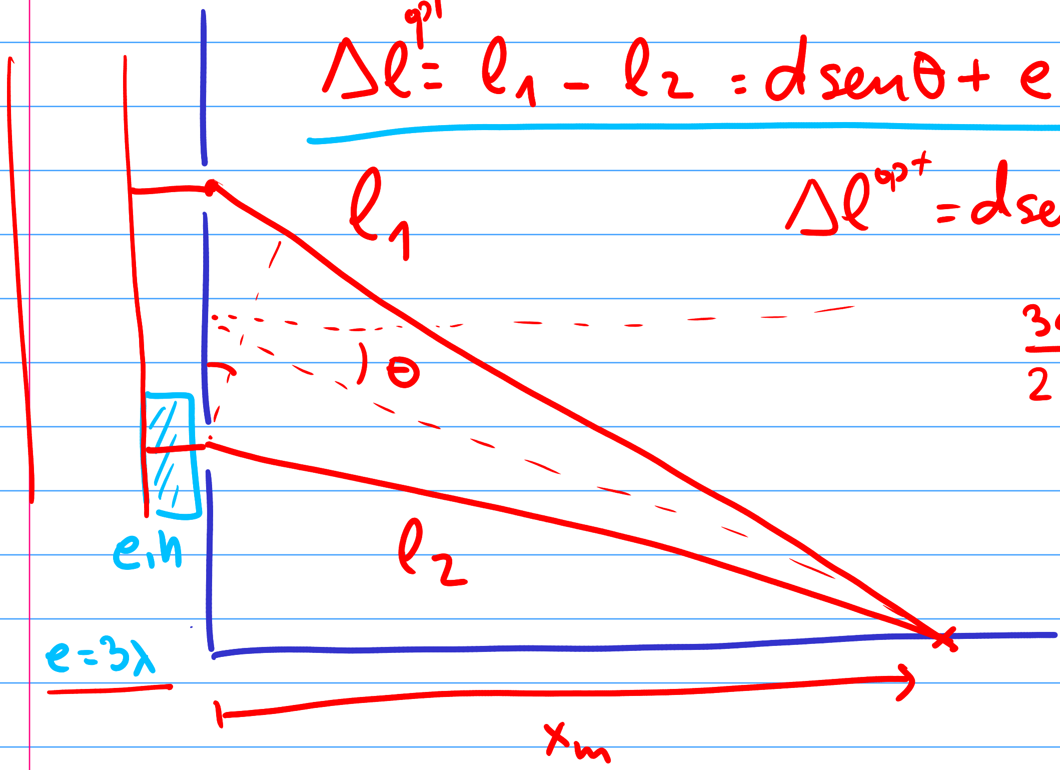


$\Delta l = l_1 - l_2 = d\,\text{sen}\,\theta = m\lambda$ xq es máximo

$$\tan\theta = \frac{3d}{2}\Big/x_m = \frac{3d}{2x_m} \simeq \text{sen}\,\theta$$

$$d\,\text{sen}\,\theta \simeq d\tan\theta = d\cdot\frac{3d}{2x_m} = m\lambda \Rightarrow \boxed{x_m = \frac{3d^2}{2m\lambda}}$$

$$\Delta l^{opt} = l_1 - l_2 = d\,\text{sen}\,\theta + e - en$$

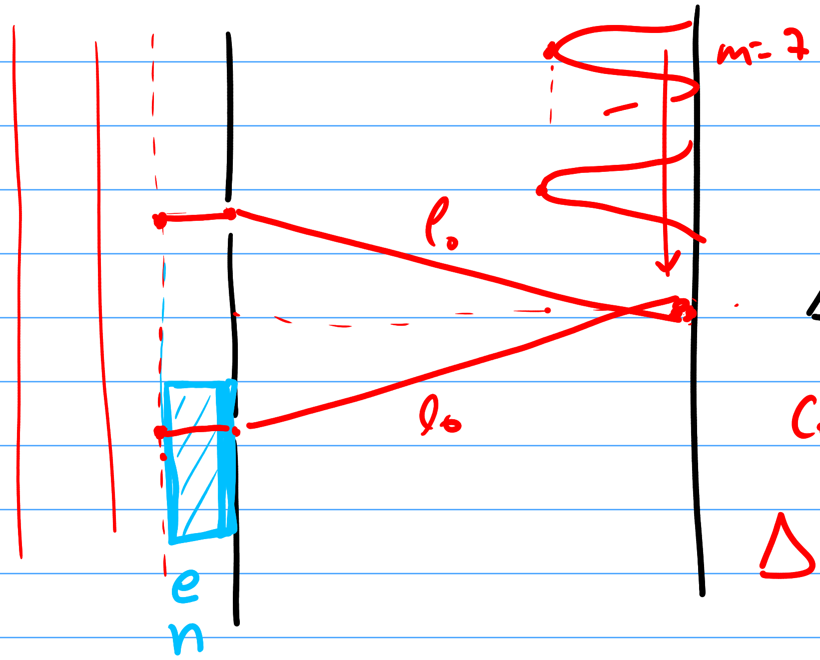


$$\Delta l^{opt} = d\,\underbrace{\text{sen}\,\theta}_{=\frac{3d}{2x_m}} + e(1-n)$$

$$\Delta l^{opt} = m\lambda = \frac{3d^2}{2x_m} + e(1-n) \Rightarrow \underline{x_m}$$

Ejercicio 8 Se usa una hoja delgada de mica ($n = 1{,}58$) para cubrir una rendija de un interferómetro de Young. El punto central en la pantalla está ocupado por lo que era la séptima franja brillante. Si $\lambda = 550nm$, cuál es el espesor de la mica?

$m \overset{?}{=} 7$



Sin mica:

$$\Delta \ell = m_7 \cdot \lambda$$

Con mica

$$\Delta \ell = \ell_{abajo} - \ell_{arriba}$$

"ópticos"

$$\left.\begin{array}{l} \ell_{abajo} = n \cdot e + \ell_0 \cdot 1 \\ \ell_{arriba} = 1 \cdot e + \ell_0 \cdot 1 \end{array}\right] \Rightarrow \Delta \ell^{óptico} = \ell_{abajo} - \ell_{arriba}$$

$$\Delta \ell^{óptico} = (ne + \cancel{\ell_0}) - (e + \cancel{\ell_0}) = (n-1)e$$

$$\Delta \ell^{óptico} = m_7 \lambda_{vacío} = (n-1)e$$

$$\boxed{e = \frac{7 \cdot \lambda_{vacío}}{n-1}}$$