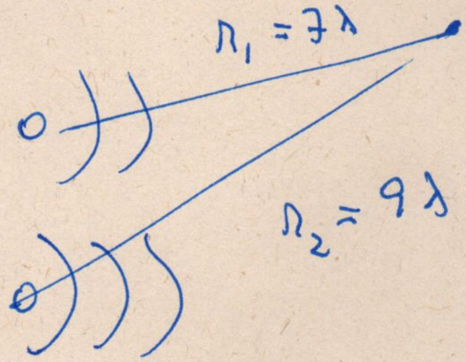
Interferencia



Interferencia constructiva

- FUENTES COHERENTES

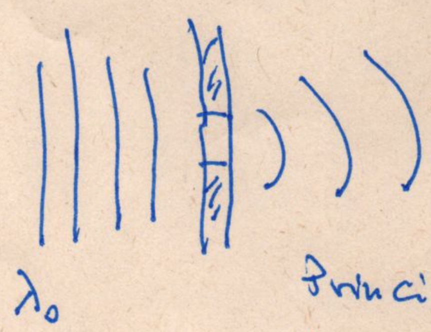
  (vibran al unísono)

  Laser

- Principio de Superposición

- SUPONEMOS que todas las fuentes ~~sean~~ tienen la misma POLARIZACION

ONDAS PLANAS

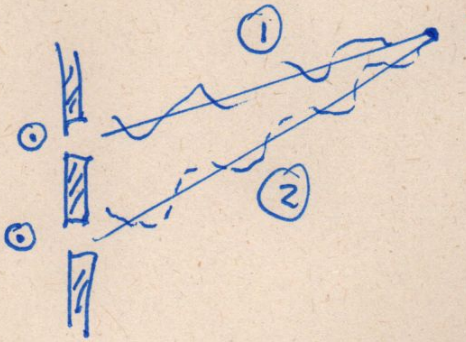


Principio de Huygens

La ranura se comporta como una fuente puntual (2 ó 3 dims.)

NOTA:

Para este curso, polarización significa que la ~~cada~~ Amplitud de la onda es $\perp$ al papel.



(ver pag 1209 Sears-Z)

Las ondas en el punto P se superponen (suman)

$$E_{Total} = E_0 \cos(kr_1 - \omega t) + E_0 \cos(kr_2 - \omega t)$$

(PLANO $\perp$ al papel)

$$kr_2 = kr_1 + k(r_2 - r_1)$$

$$* \quad \boxed{E_{Total} = E_0 \left[\cos(kr_1 - \omega t) + \cos[(kr_1 - \omega t) + k(r_2 - r_1)] \right]}$$

El factor de fase $k(r_2 - r_1)$ es el que hace diferente la amplitud de ambas ondas.

Consideremos dos fuentes COHERENTES

Si la diferencia de camino de la onda $F_2 - F_1 = m\lambda$ $m = 0, \pm 1, \pm 2,$

$\Rightarrow$ Reforzamiento

las ondas se refuerzan.

Si la diferencia es $0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \ldots, \pm m \cdot 2\pi,$

$$\frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = 2\pi m$$

$$\boxed{r_2 - r_1 = m\lambda}$$

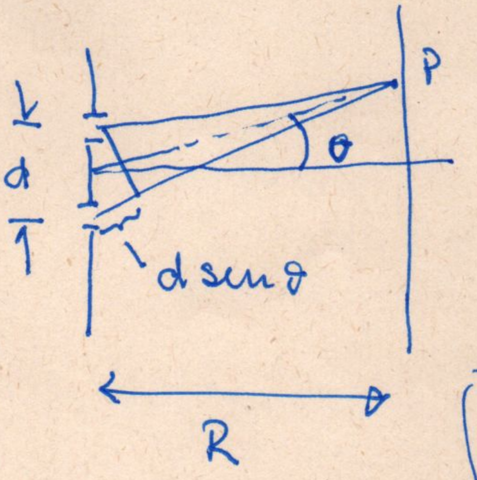
si los caminos de $(F_2 - F_1) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

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

$\Rightarrow$ Interferencia Destructiva.

CASO de la LUZ : LASER $\equiv$ fte. coherente

2 RANURAS



La diferencia de camino en el pto. P es

d sen θ

$\boxed{R \gg d}$

Interferencia Constructiva

$$d \operatorname{sen} \theta = m\lambda \quad , \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

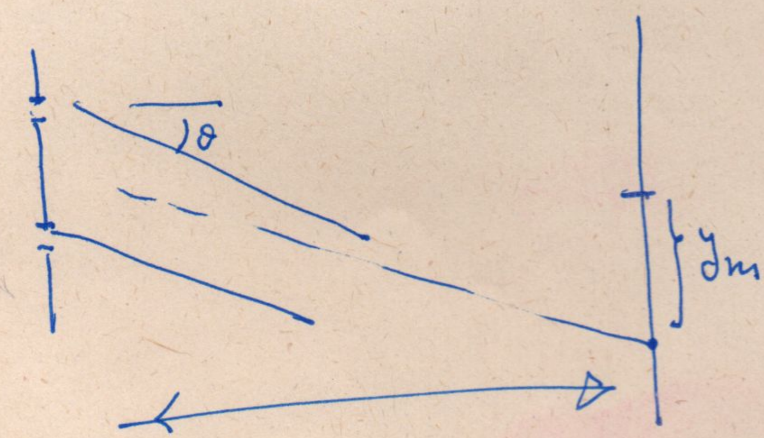
Interferencia Destructiva

$$d \operatorname{sen} \theta = \left(m + \tfrac{1}{2}\right)\lambda \quad , \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

$$y_m = R \tan \theta_m$$

$\downarrow$ $\theta \ll 1$ (radianes.

$$y_m = R \operatorname{sen} \theta_m \qquad \theta_m \Rightarrow d \operatorname{sen} \theta_m = m\lambda$$



$$y_m = R \operatorname{sen} \theta_m = \frac{m\lambda R}{d} = R\left(\frac{m\lambda}{d}\right)$$

INTENSIDAD

Interesa, por razones físicas, saber el flujo de energía por unidad de tiempo.

Por Ejplo: • si Ud. se expone al Sol, cuanta energía lo impacta

• Si quiere saber la radiación solar en algún lugar

$\Rightarrow$ Intensidad.

$$[\text{Intensidad}] = \frac{[\text{Energía}]}{[\text{U. de área}] \cdot [\text{U. de tiempo}]}$$

La energía es proporcional a la amplitud de oscilación, decae como $\left(\frac{1}{4\pi r^2}\right)$ al desplegarse en 3-dimensiones y Ud. quiere saber, en el lugar donde Ud. está, cuanta energía pasa por unidad de tiempo

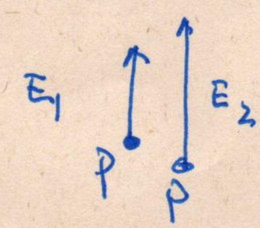
Como permanece en el mismo lugar (Estamos analizando la interferencia de la luz proveniente de 2 ranuras fijas), la única (¡En este caso!) variable interesante es la diferencia de fase al recorrer los dos caminos (r_1 y r_2).

Por esta razón ponemos.

$$I = I_0 \cdot \left[\begin{matrix} \text{factor de} \\ \text{fase} \\ \text{de las ondas} \end{matrix} \right]$$

está aquí E_0, $\left(\begin{matrix}\text{la distancia al} \\ \text{cuadrado}\end{matrix}\right)$, ...

Calculamos el FACTOR de FASE que el libro denomina ϕ



la diferencia proviene del camino recorrido ($r_2 - r_1$).

Diferencia de camino

$$\frac{\phi}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

[De donde sale esta fórmula??

ver 6']

Si $\phi = 2\pi, 4\pi, 6\pi,$

→ Si $(r_2 - r_1) = \lambda \Rightarrow \phi = 2\pi \Rightarrow$ están en fase

→ Si $(r_2 - r_1) = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \phi = \pi \Rightarrow$ están en oposición

$$\cos\frac{\phi}{2} = \cos\frac{\pi}{2} = 0 \quad ¡!$$

λ cambia al pasar de un medio a otro.

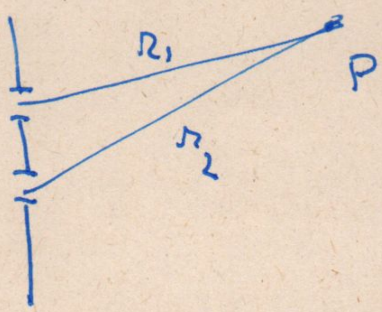
ν : permanece sin cambio

$$v = \frac{c}{n} = \nu_0 \frac{\lambda}{n} = \nu_0 \underline{\lambda_{new}}$$

Para $R \gg d$ $\quad r_2 - r_1 = d \,\text{sen}\,\theta$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = k\, d \,\text{sen}\,\theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \,\text{sen}\,\theta$$

Diferencia de camino



Conviene medir la diferencia de camino en unidades de LONGITUD de ONDA

$$\Rightarrow \frac{(r_2 - r_1)}{\lambda} \equiv \# \text{ Real.}$$

$\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda}$, NO TIENE DIMENSIONES y nos dice cuántas unidades de λ y fracción caben en $(r_2 - r_1)$

Pero cada diferencia en unidades de λ, genera una diferencia de fase

$$\phi = k\,(r_2 - r_1)$$

ver (*) en Pag 1'.

$$\Rightarrow \phi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\phi}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda}}$$

Problema 35.48 , Interferencia, DOS RANURAS

7

$$\left.\begin{aligned} E_1(t) &= E\cos(kx - \omega t + \phi) \\ E_2(t) &= E\cos(kx - \omega t) \end{aligned}\right\} E_p = E_1 + E_2$$

La onda está polarizada en una dirección

$$E_1 = E\cos\left[\left(\alpha + \phi/2\right) + \phi/2\right]$$

$$E_2 = E\cos\left[\left(\alpha + \phi/2\right) - \phi/2\right]$$

Ya vimos que la

$$\boxed{\cos\left[\left(\alpha + \phi/2\right) + \phi/2\right] + \cos\left[\left(\alpha + \phi/2\right) - \phi/2\right] = 2\cos\left(\alpha + \phi/2\right) \cdot \cos\phi/2 .}\ \dagger$$

Tomamos módulo de $\cos\phi/2$ puesto que la Amplitud $E_p > 0$ por definición

$\dagger$ Recordar $\cos(x+y) + \cos(x-y) = 2\cos x \cdot \cos y$

De aquí la Intensidad es selectiva en cuanto a la dirección donde se propaga!

$$I \propto E_0^2 \left[\cos(kr_1 - \omega t) + \cos(kr_2 - \omega t)\right]^2$$

$$\boxed{I = I_0 \cdot \cos^2 \phi}$$

$$I_0 \propto E_p \equiv 4E^2$$

como $k(r_2 - r_1) = \frac{2\pi d}{\lambda} \operatorname{sen} \theta$

(ver 35.13, pág 1216 Sears-Z)

$$\boxed{\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2\left(\frac{1}{2} k d \operatorname{sen}\theta\right) \\ &= I_0 \cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda} d \operatorname{sen}\theta\right) \end{aligned}}$$

$\Rightarrow$ MAXIMA INTENSIDAD para

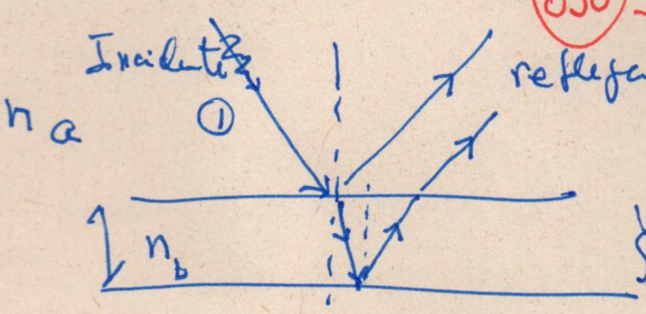
$$\frac{\pi}{\lambda} d \operatorname{sen}\theta = \pi \cdot m \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, .$$

$$\Rightarrow \boxed{d \operatorname{sen}\theta = m\lambda}$$

Interferencia en Películas Delgadas

- Pompas de Jabón, películas de aceite, Investigación acerca de la estructura cristalina de materiales, ...

OJO — ojo detecta franjas brillantes y oscuras



} película delgada

Existe interferencia (si la placa es delgada) entre el rayo reflejado en la superficie primera (cambio de $n_a \rightarrow n_b$) y en la otra ~~extrema~~ superficie de la película delgada.

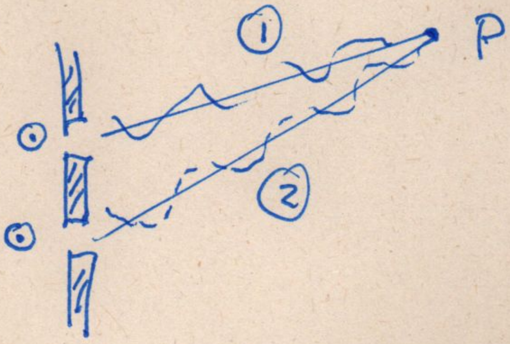
DOS COSAS A CONSIDERAR EN ESTA INTERFERENCIA

① La diferencia de camino (OBVIA)

② Si $n_b > n_a$, la onda reflejada en la Interfase cambia de fase: $\underline{\Delta\phi = \pi}$

NOTA:

Para este curso, polarización significa que la ~~onda~~ amplitud de la onda es $\perp$ al papel.



(ver pag 1209 Sears-Z)

Las ondas en el punto P se superponen (suman)

$$E_{total} = E_0 \cos(kr_1 - \omega t) + E_0 \cos(kr_2 - \omega t)$$

(PLANO $\perp$ al papel)

$$kr_2 \equiv kr_1 + k(r_2 - r_1)$$

* $$\boxed{E_{Total} = E_0 \left[\cos(kr_1 - \omega t) + \cos\left[(kr_1 - \omega t) + k(r_2 - r_1)\right] \right]}$$

El factor de fase $k(r_2 - r_1)$ es el que hace diferente la amplitud de ambas ondas.

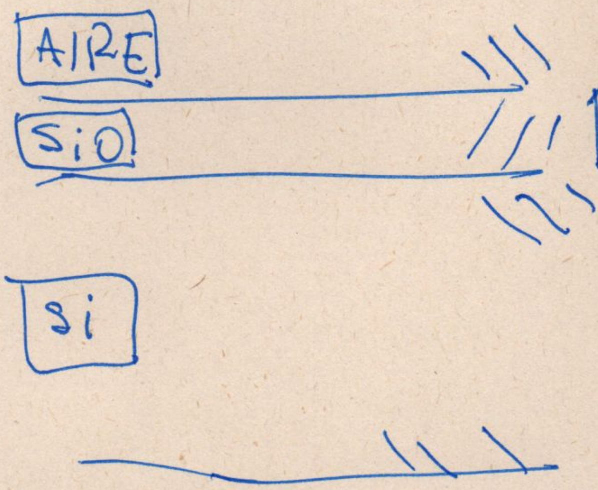
(Sears - Z)

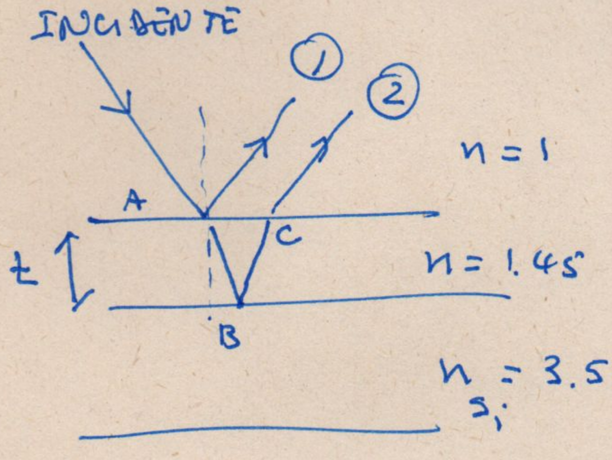
En la pág. 1220 ^{V} aparece una tabla con la receta, pero creo que es mejor saber cómo funcionan los cambios de fase que memorizar un protocolo.

Ejemplo

Las celdas solares de Silicio tienen un índice de refracción $n_{Sil} = 3.5$ y se recubren con una película delgada de MONÓXIDO de Silicio, $n_{SiO} = 1.45$, para reducir al máximo las pérdidas por reflexión. (LÁMINAS ANTIREFLECTANTES)

Determinar el espesor mínimo de la película para que NO se produzca reflexión de la luz de 550 nm, perteneciente al centro del espectro visible.





Los rayos 1 y 2 deben ~~interferir~~ ~~destructivamente~~ ($\Delta\phi = \pi, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \dots$)

$\boxed{A}$: RAYO INCIDE AIRE – SiO $\Rightarrow n = 1 \to n_{SiO} = 1.45$

$\Rightarrow$ 1 se refleja con $\Delta\phi = \pi$.

$\boxed{B}$: RAYO INCIDE SiO $\to$ Si $\Rightarrow n_{SiO} = 1.45 \to n_{Si} = 3.5$

$\Rightarrow$ rayo ~~sufre un~~ reflejado en B experimenta $\Delta\phi = \pi$.

$\boxed{C}$: Rayo TRANSMITIDO SiO $\to$ Aire

$n_{SiO} > n_{aire} \Rightarrow$ No hay cambio de fase

Por otra parte queremos que la capa de SiO tenga el mínimo de espesor.

Recordemos los cambios de fase medidos en longitudes de onda ya que ω o ν NO cambian en los distintos medios:

~~$\Delta\phi$~~

Veamos: el RAYO 1 Experimenta un salto $\Delta\phi = \pi$ por la reflexión en A

El RAYO 2 Experimenta un salto $\Delta\phi = \pi$ por la reflexión en B.

NO HAY MÁS SALTOS en la FASE

$\Rightarrow$ Recordamos la relación entre fase y λ:

$$\frac{\Delta\phi}{2\pi} = \frac{2t}{\left(\frac{\lambda_0}{n_{SiO}}\right)}$$

$\lambda_0 \equiv$ longitud de onda en el aire

$t_{mínimo} \Rightarrow \Delta\phi = \pi$ (interferencia negativa entre 1 y 2)

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{2} = \frac{2t}{\left(\frac{\lambda_0}{n_{SiO}}\right)} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t = \frac{\lambda_0}{4\, n_{SiO}}}$$

$$\Rightarrow \quad t \sim 95\ nm = \underline{95 \times 10^{-9}\ m}$$

<u>OJO</u> que para otras longitudes de onda no funciona.
De todas formas con esta película se reporta que la eficiencia del PANEL SOLAR aumenta en un 20%