

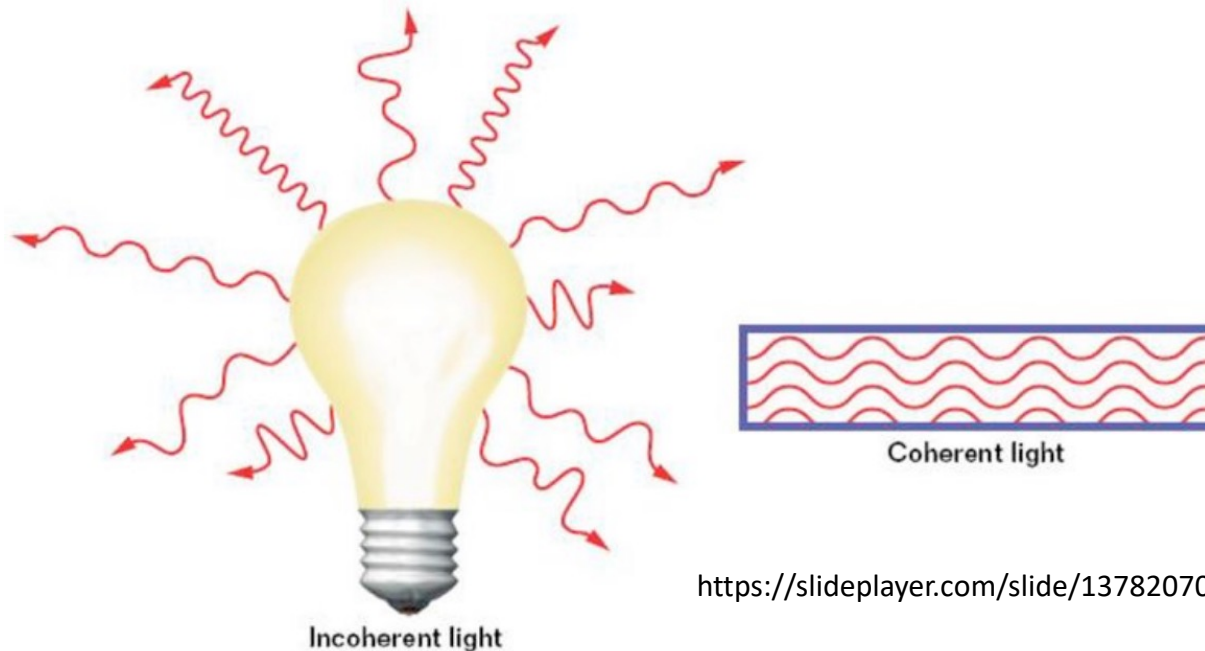


4302212 – Física IV

Interferência – IV

# Coerência

**Emissão térmica de luz:** Processos em escala atômica aleatórios, com duração de  $\sim 10^{-8}$  s. Em um modelo simples, a lâmpada emite trens de onda aproximadamente monocromáticos. Como simplificação adicional, vamos admitir que todos os trens de onda têm a mesma frequência  $\omega$ .



- **Modelo para a emissão térmica:**  $N$  fontes puntiformes com *distribuição aleatória de diferenças de fase*.

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^N \nu_j e^{-i\omega t} = \sum_{j=1}^N A_j e^{i\phi_j} e^{-i\omega t}$$

- **Interferência:**

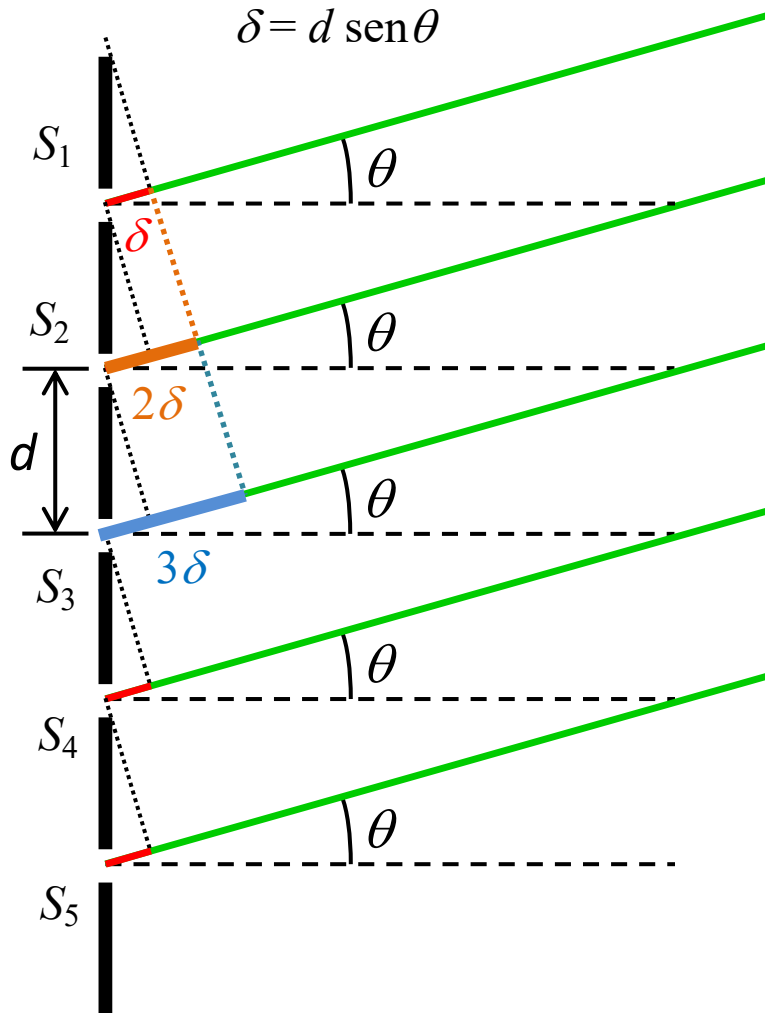
$$\begin{aligned} \mathcal{I} &= \sum_{j=1}^N \mathcal{I}_j + \sum_{k < j} 2\sqrt{I_j I_k} \underbrace{\cos(\phi_j - \phi_k)}_{\substack{\text{distribuição aleatória} \\ \text{(equiprovável)}}} \\ &= \sum_{j=1}^N \mathcal{I}_j \end{aligned}$$

$\cos(\pi - \theta) = -\cos(\theta)$

- Para observar a interferência, é preciso que as ondas sejam *coerentes* (em termos simples, diferenças de fase constantes).

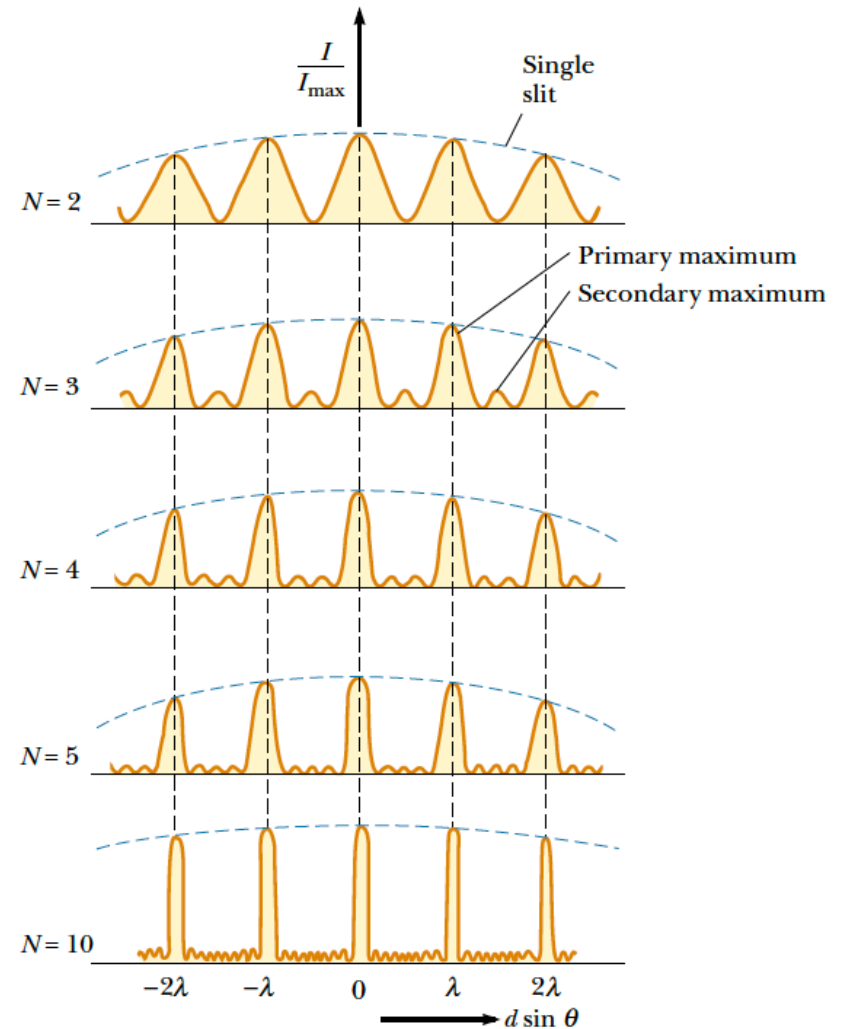
# $N$ Fendas

(superposição coerente)

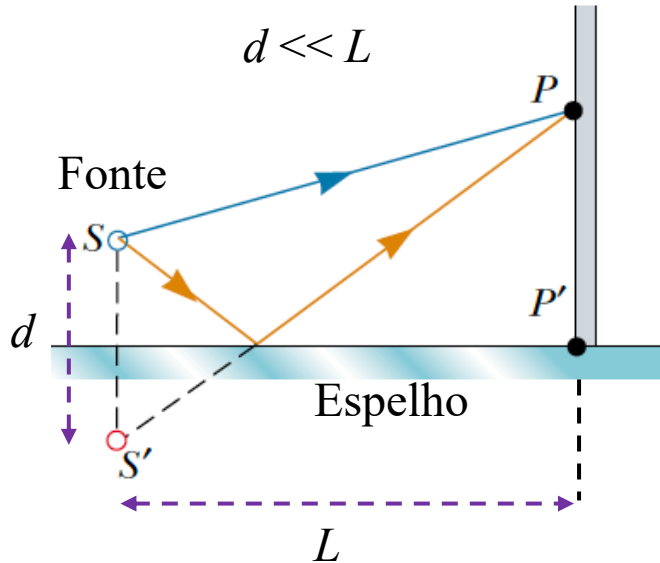


$$\mathcal{I} = \sum_{j=1}^N \mathcal{I}_j + \sum_{k < j} 2\sqrt{\mathcal{I}_j \mathcal{I}_k} \cos(\phi_j - \phi_k)$$

$$(\phi_j - \phi_l) = (j - l) k d \sin \theta$$



## Espelho de Llyoid

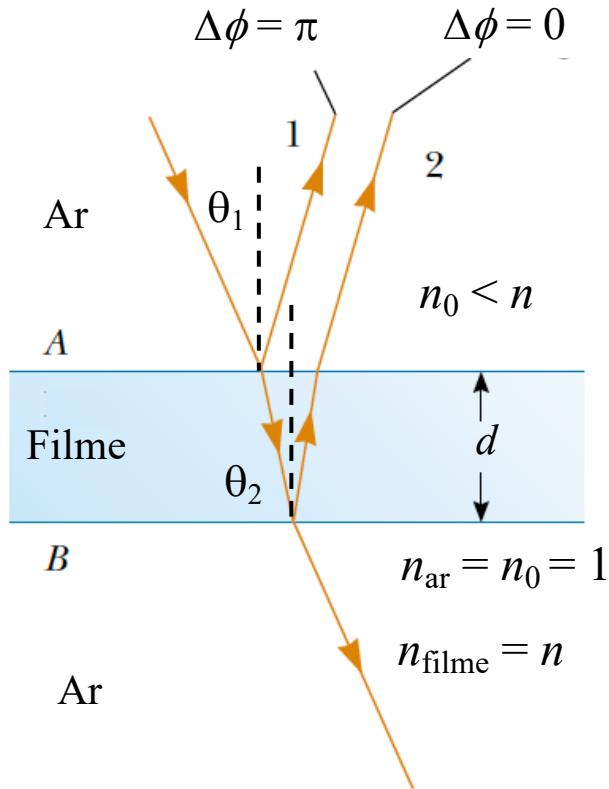


- A superposição em  $P$  equivale àquela produzida pelas fontes coerentes  $S$  e  $S'$ .
- O padrão de franjas claras e escuras é *invertido* em relação ao experimento de Young.

Quando refletidas por um meio com *maior índice de refração*, ondas EM sofrem *defasagens*  $\Delta\phi = \pi$ .



## Filmes Finos



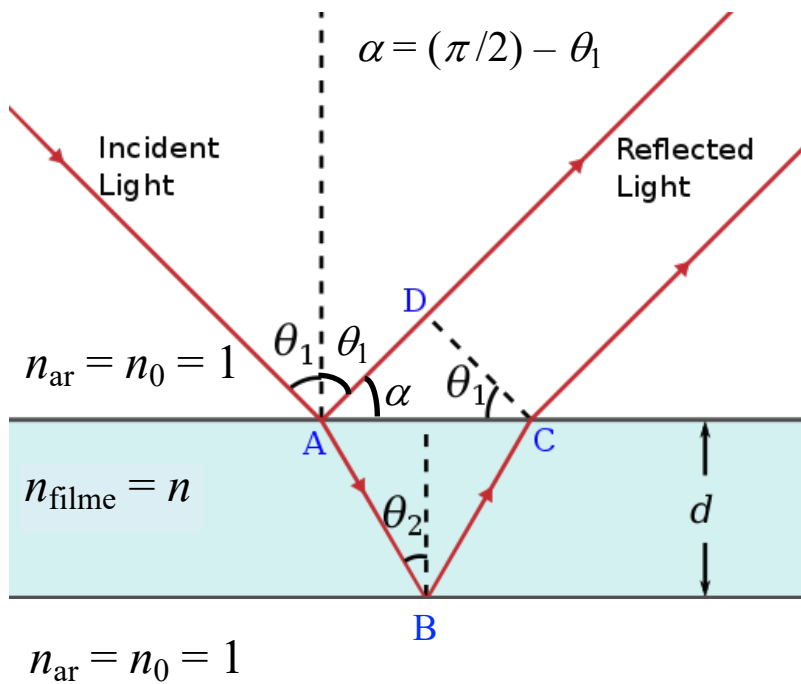
– Inicialmente, vamos considerar incidência próxima à normal,  $\theta_1 \approx 0$ .

– Diferença de fase (caminho óptico):

$$\Delta\phi' \approx k_n(2d) = nk_0(2d)$$

– Defasagem por reflexão:

$$\Delta\phi \approx nk_0(2d) + \pi = k_0 \left( 2nd + \frac{1}{2}\lambda_0 \right)$$



– Em geral, para o ângulo de incidência  $\theta_1$ :

$$\begin{aligned} \Delta\phi' &= k_n(\overline{AB} + \overline{BC}) - k_0(\overline{AD}) \\ &= k_0[n(\overline{AB} + \overline{BC}) - \overline{AD}] \end{aligned}$$

– Utilizando a Lei de Snell e incorporando a defasagem por reflexão:

$$\Delta\phi = k_0 \left( 2nd \cos \theta_2 + \frac{1}{2} \lambda_0 \right)$$

$$(\overline{AB} + \overline{BC}) = \frac{2d}{\cos \theta_2}$$

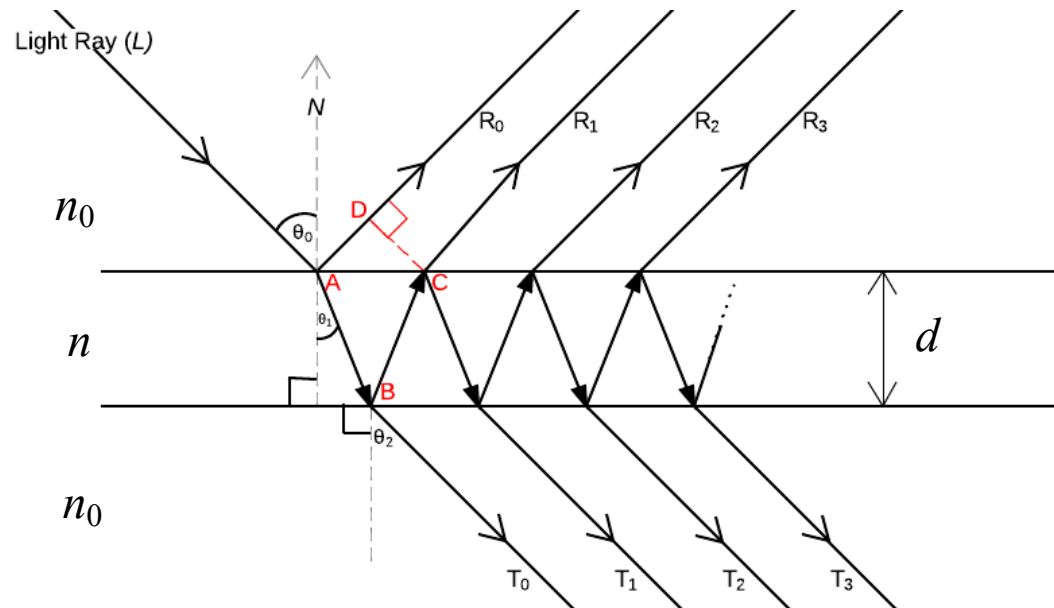
$$\begin{aligned} \overline{AD} &= \overline{AC} \cos \alpha \\ &= 2d \operatorname{sen} \theta_1 \operatorname{tg} \theta_2 \end{aligned}$$

– Máximos de reflexão (mínimos de transmissão):

$$2nd \cos \theta_2 = \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda_0, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$
$$= \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

– Mínimos de reflexão (máximos de transmissão):

$$2nd \cos \theta_2 = m \lambda_0, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$





$$2nd \cos \theta_2 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$



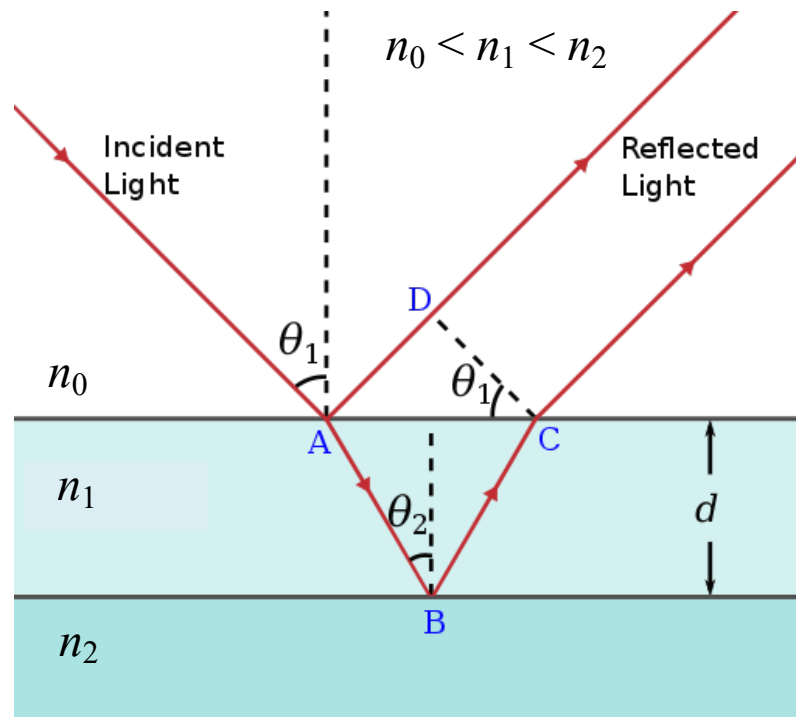
(bolha de sabão)

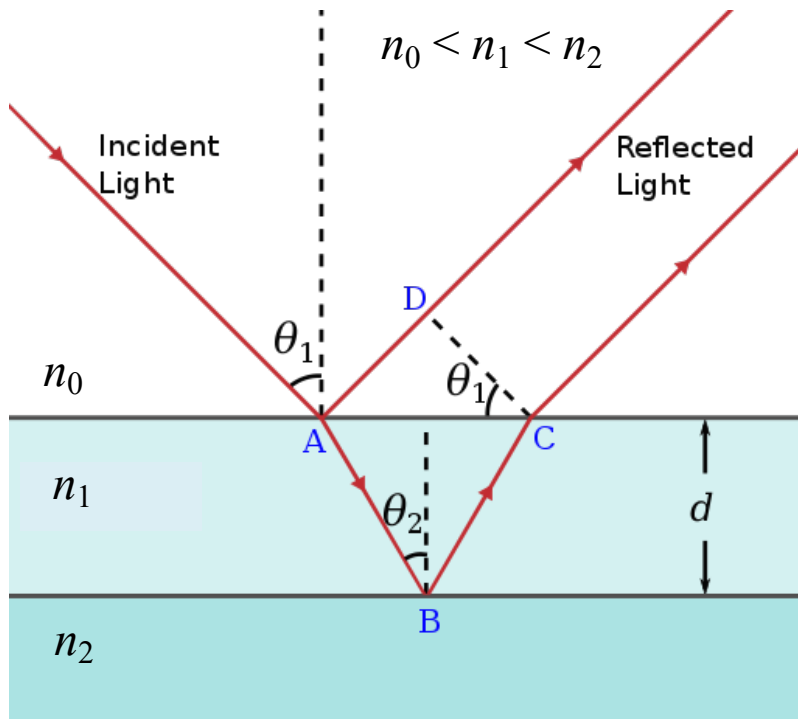


(óleo na superfície da água)

**Questão:** O espectro visível vai do vermelho ( $\sim 700$  nm) ao violeta ( $\sim 400$  nm). Os reflexos intensamente vermelhos resultam de regiões onde o filme de sabão/óleo é mais ou menos espesso?

**Questão:** A figura mostra um filme fino com índice de refração  $n_1$  sobre um substrato com índice de refração  $n_2 > n_1$ . Caso a luz incida sobre a face em contato com o ar ( $n_0 = 1 < n_1$ ), qual a condição de máxima intensidade refletida?





– Nesse caso, há defasagem de  $180^\circ$  também na interface entre o filme fino ( $n_1$ ) e o substrato ( $n_2$ ):

$$\Delta\phi = k_0 (2nd \cos \theta_2)$$

[www.hellenicaworld.com/Science/Physics/en/ThinFilmInterference.html](http://www.hellenicaworld.com/Science/Physics/en/ThinFilmInterference.html)

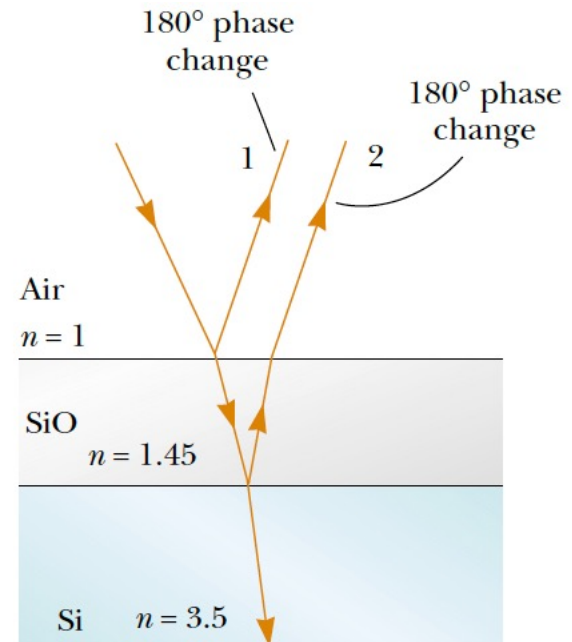
– Máximos de reflexão (mínimos de transmissão):

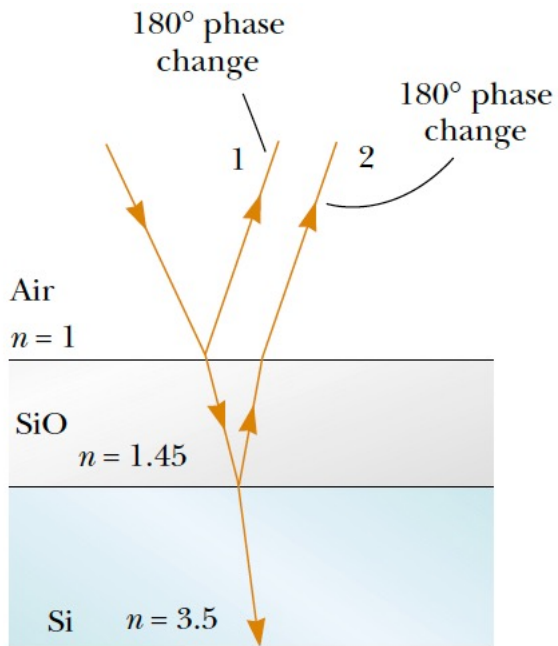
$$2nd \cos \theta_2 = m\lambda_0, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

– Mínimos de reflexão (máximos de transmissão):

$$2nd \cos \theta_2 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

**Questão:** Células solares, utilizadas para conversão fotovoltaica, são usualmente revestidas com filmes transparentes antirreflexo de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ,  $n = 1.45$ ). Esses revestimentos minimizam perdas por reflexão na foto-conversão. Estime a menor espessura do filme que minimiza a reflexão no centro do espectro visível, 550 nm.





$$2nd \cos \theta_2 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Menor espessura:  $m = 0$  e  $\theta_2 = 0$

$$d = \frac{\lambda_0}{4n} = \frac{550}{4 \times 1.45} = 94.8 \text{ nm}$$



Lentes fotográficas utilizam revestimentos semelhantes. A julgar pelo reflexo com tons de vermelho e violeta, quais as características dos revestimentos ?