Notas de aula

Física Geral 4 – F 428

Odilon D. D. Couto Jr.

Instituto de Física "Gleb Wataghin"
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Departamento de Física da Matéria Condensada

http://sites.ifi.unicamp.br/odilon

⇒ Interferência é um fenômeno ondulatório que acontece quando duas ou mais ondas se sobrepõem em uma mesma região do espaço. A questão aqui é o atraso, que pode ser escrito em termos da diferença de caminho entre as ondas que se interferem.

De forma geral $\vec{E} = E_0 e^{i(kx-wt)} \hat{j}$

Se dois campos colineares em $\hat{j}$ interferem podemos escrevê-los como:

$E_1 = E_0 \sin(kx - wt)$ $\quad$ $E_2 = E_0 \sin(kx - wt + \phi)$

Suponhamos que olhamos estas ondas se sobrepondo em um instante qualquer. Por simplicidade, vamos fazer $t=0$.

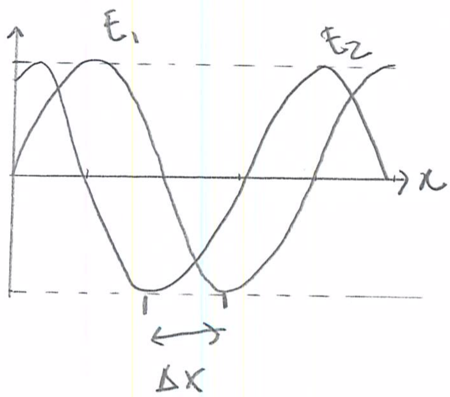
$E_1 = E_0 \sin(kx)$ $\quad$ $E_2 = E_0 \sin(kx + \phi)$

Neste caso $k = k_1 = k_2 = \frac{2\pi}{\lambda}$ ⇒ as duas ondas têm o mesmo comp. de onda.

Imaginemos $0 < \phi < \frac{\pi}{2}$

$x = 0$ $\quad$ $E_2 = E_0 \sin\phi > 0$

$$\frac{dE_2}{dx} = kE_0 \cos(kx + \phi) > 0$$



Se $\Delta x = m\lambda$ ⇒ interferência construtiva.

↳ $m = 0, \pm 1, \pm 2$

Se $\Delta x = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$ ⇒ int. destrutiva

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

INTERFERÊNCIA EM MEIOS MATERIAIS

Como vimos na aula anterior, num meio material a luz sofre um atraso.

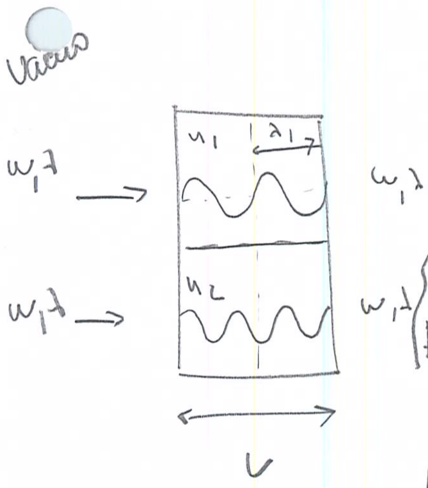
$v = \frac{c}{n}$ Além disso $v = \lambda f$

Como f não muda, se o campo passa em 2 meios diferentes:

$$f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$$ ⇒ que no fim é a Lei de Snell.

⊗ DEVE VIR AQUI

⇒ Sendo assim, velocidade e comp. de onda mudam em diferentes meios materiais.



$t_1 = \frac{L}{v_1} = n_1 \frac{L}{c}$ $t_2 = n_2 \frac{L}{c}$

$\frac{\Delta t}{T}$ inteiro CONSTRUTIVA

$\frac{\Delta t}{T}$ semi-inteiro DESTRUT.

Atraso: $\Delta t = |t_2 - t_1| = (n_2 - n_1)\frac{L}{c}$

Podemos olhar também para o nº de comprimentos de onda em L.

$N_1 = \frac{L}{\lambda_1}$ $N_2 = \frac{L}{\lambda_2}$

$$\Delta N = N_2 - N_1 = L\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)$$

$$\Delta N = L\left(\frac{n_2}{\lambda} - \frac{n_1}{\lambda}\right) = \boxed{L(n_2 - n_1)\frac{1}{\lambda}}$$

⊗ Mas: $\lambda_1 = \frac{v_1}{f} = \frac{c}{n_1}\frac{1}{f}$

$\lambda_1 n_1 = \frac{c}{f} = \lambda \Rightarrow \lambda_1 = \frac{\lambda}{n_1}$

↳ escrita em função das grandezas medidas no vácuo.

Se ΔN é inteiro: interferência construtiva

Se ΔN é semi-inteiro: interferência destrutiva.

⇓

ESTA É UMA OUTRA FORMA DE CRIAR INTERFERÊNCIA, ADICIONANDO UMA FASE DEVIDO À DIFERENÇA DE VELOCIDADES.

Duas fontes, cuja fase relativa não muda com o tempo são chamadas COERENTES.

$$E_1 = E_0^1 \sin(k_1 x - \omega_1 t) \qquad E_2 = E_0^2 \sin(k_2 x - \omega_2 t + \phi)$$

$E \quad \phi = cte \Rightarrow$ coerente.

⇒ A maioria das fontes (especialmente as naturais) não é coerente.

DIFRAÇÃO

⇒ É um efeito de onda, que aparece quando as dimensões do obstáculo são da ordem de grandeza do comprimento de onda envolvido.

⇒ Pode-se usar este fenômeno para criar fontes pontuais.

⇒ É como se a luz fizesse uma curva.

⇒ MOSTRAR VIDEO deste FENÔMENO NA ÁGUA

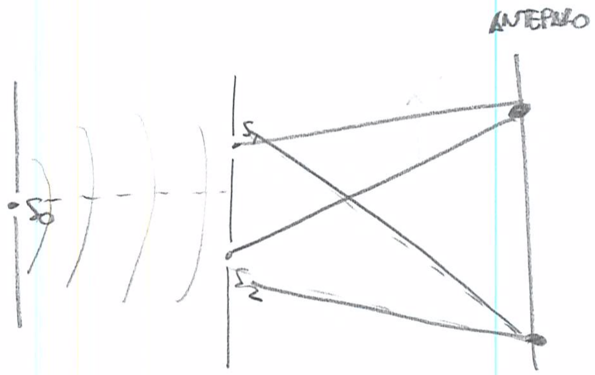
⇒ MOSTRAR SLIDES.

EXPERIMENTO DE YOUNG

⇒ Em perturbações mecânicas é evidente o fenômeno de difração

⇒ Para ondas E.M. é um pouco mais sutil.

⇒ Para isso, Thomas Young usou a INTERFERÊNCIA para estudar o caráter ondulatório da luz.

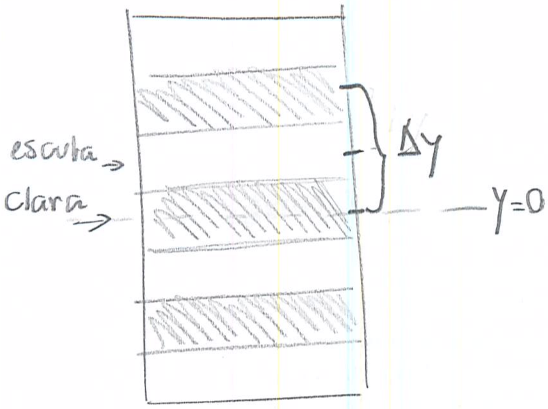


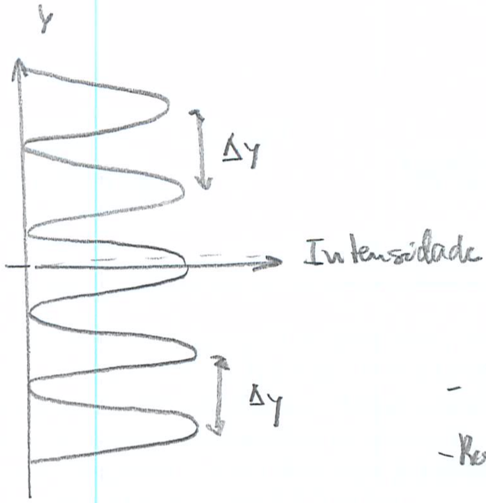
$S_0 \Rightarrow$ fonte pontual

S_1 e $S_2 \Rightarrow$ EM FASE

O que foi observado?

⇒ Mostrar SLIDE.

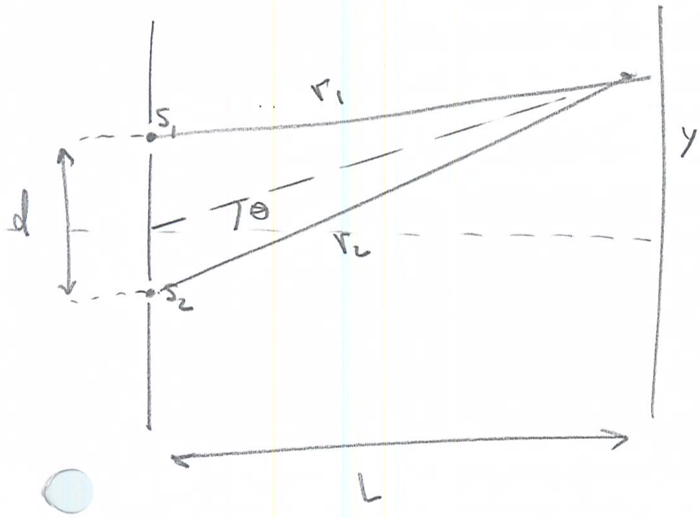


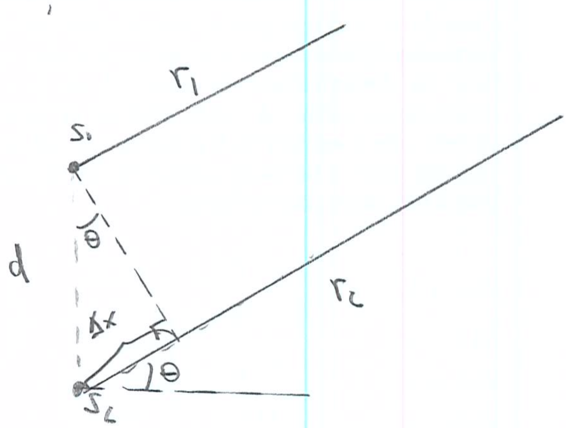


- Como compreender?
- Resp. Interferência.

Diferentes pontos ao longo de y terão diferentes diferenças de caminho ⇒ diferença de fase depende de y!

Considerando a distância ao anteparo >> separação entre as fendas: $L \gg d$





$$\Delta x = d \sin\theta \Rightarrow \text{se } d \sin\theta = m\lambda \Rightarrow \text{construtiva}$$

$$d \sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow \text{destrutiva}$$

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

Podemos calcular tb. a posição no anteparo para cada máximo e mínimo.

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{y}{L} \quad \text{se } \theta \text{ é pequeno: } \operatorname{tg}\theta \approx \theta \approx \sin\theta$$

$$\Rightarrow \frac{y}{L} = \frac{m\lambda}{d} \Rightarrow y_m = m\frac{\lambda L}{d} \Rightarrow \text{posição dos máximos (os de pequeno } m\text{)}$$

$$\boxed{\Delta y = \frac{\lambda L}{d}} \Rightarrow \text{DISTÂNCIA ENTRE MÁXIMOS!}$$

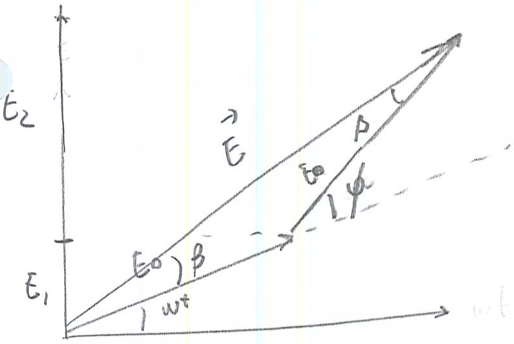
Analogamente: $Y_{MIN} = \left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda L}{d}$

A questão agora é obter o padrão de intensidade observado.

No caso do exp. de Young a intensidade dos campos saindo de S_1 e S_2 é a mesma, sendo, portanto, a única diferença entre eles a fase ϕ.

$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \, sen(kx - \omega t)$ $\qquad$ $\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \, sen(kx - \omega t + \phi)$

Podemos usar o método de fasores para encontrar a amplitude do campo resultante.



No pto P $x = cte$. Podemos fazer $x=0$

$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \, sen(-\omega t)$

$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \, sen(-\omega t + \phi)$

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$\phi = 2\beta$

$E = |\vec{E}| = E_0 \cos\beta + E_0 \cos\beta = 2E_0 \cos\beta = 2E_0 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)$

$\bar{S}_0 = I_0 = \frac{1}{2}\frac{E_0^2}{\mu_0 c}$

Como $I \propto E^2$ $\Rightarrow$ $\boxed{I = 4 I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}$

$I_0 \propto E_0^2$

Para achar a diferença de fase fazemos uma regra de 3:

$2\pi - \phi$

$\lambda - \Delta x = d \, sen\theta$

$\Rightarrow$ $\boxed{\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \, sen\theta}$

Aí é só lembrar a relação de $d\,sen\theta$ com o nº inteiro ou fracionário de comprimento de onda.

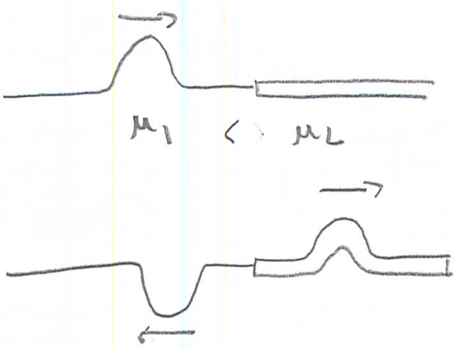
INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS

Vamos analisar o caso de uma onda mecânica em uma corda.

IDA

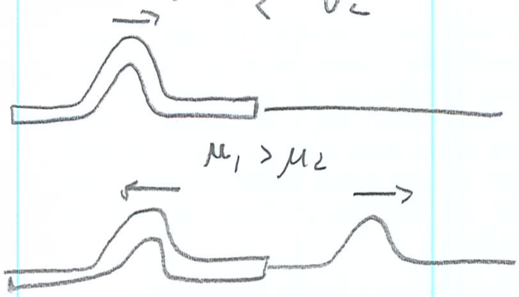
$v_1 > v_2$ $\qquad$ $\mu_1 < \mu_2$

VOLTA



$\phi = \pi$

$v_1 < v_2$ $\qquad$ $\mu_1 > \mu_2$



$\phi = 0$

$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

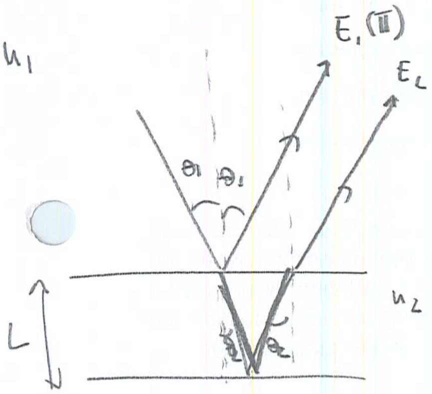
⇓

ANIMAÇÃO

O mesmo fenômeno acontece com a radiação eletromagnética.

⇒ Quando uma onda EM vai de um meio com maior p/ menor velocidade uma fase de π é adicionada na reflexão.

⇒ $v_1 > v_2 \Rightarrow n_1 < n_2$ ⇒ ESSENCIAL P/ PROCESSOS DE INTERFERÊNCIA!



A dif. de caminho é:

$\Delta x \cong 2L$ para θ_2 pequeno.

Se $n_1 < n_2$

$$\Rightarrow 2L = \left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_2 = \boxed{\left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{n_1}{n_2}\lambda_1}$$ ⇒ MÁXIMO de INTERFERÊNCIA

Mas $\lambda = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{n_1}{n_2}\lambda_1$

se $\lambda_1 = \lambda$ e $n_1 = 1 \Rightarrow 2L = \left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n}$ $\qquad$ $n_2 = n$

PARA O MÍNIMO: $\boxed{2L \simeq (m)\frac{n_1}{n_2}\lambda_1}$

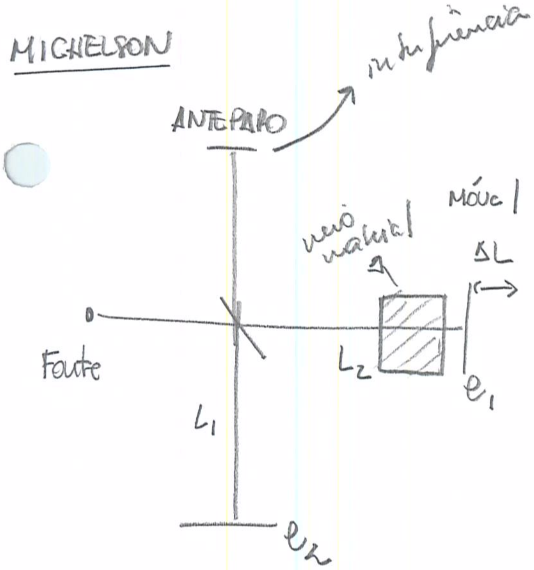
se $\lambda >> L$ ⇒ INTERFERÊNCIA DESTRUTIVA

INTERFERÔMETROS

São sistemas que usam o princípio de interferência para medir propriedades de materiais, meios materiais, vibrações e linhas de emissão.

Basicamente, confiam na relação entre fase e distância espacial, associado à atraso da luz em meios materiais.

MICHELSON



A diferença de percurso entre os feixes de vem de e_1 e e_2 é:

$$\Delta x = 2L_2 - 2L_1 = 2(L_2 - L_1).$$

Para o anteparo

$\Delta x = m\lambda \Rightarrow$ construtiva

$\Delta x = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow$ destrutiva