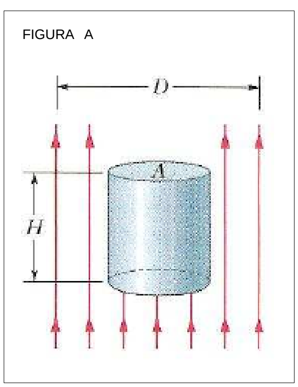
UFPR – Departamento de Física
CF1804/Física Básica Geral IV – P_1
Prof. Alexandre D. Ribeiro (09/09/2019)

Observações: **i)** Indique de forma organizada o raciocínio e todos os cálculos usados na solução; **ii)** Ao resolver o problema literalmente, deixando para substituir os valores somente no final, existe uma chance maior dos passos intermediários serem pontuados; **iii)** Fórmulas não-pertencentes ao formulário da prova, quando utilizadas, devem ser deduzidas.

Problema 1: A Estrela Polar está a 400 anos-luz da Terra e emite energia a uma taxa de cerca de 2×10^3 vezes maior que o Sol ($P_{Sol} \approx 4 \times 10^{26}\ W$). Despreze qualquer efeito de absorção desta Luz até chegar na superfície terrestre.
(a) Determine a intensidade da luz que chega na Terra, vinda da Estrela Polar. (1,00)
(b) Calcule a amplitude do campo elétrico e magnético desta onda ao chegar na Terra. (1,00)

Resolução do Problema 1: Problema resolvido 33-1.

Problema 2: Na figura A, um feixe de laser de potência $P_l = 5$ W e diâmetro $D = 2,5$ mm é apontado para cima perpendicularmente a uma das faces circulares (com diâmetro menor que D) de um cilindro perfeitamente refletor, que é mantido suspenso pela pressão de radiação do laser. A massa específica do cilindro é $\rho = 1,5$ g/cm^3. Qual é a altura H do cilindro?



Resolução do Problema 2: Assumindo que o cilindro encontra-se em repouso, podemos concluir que a força gravitacional $F_g = mg$ compensa a força causada pela pressão de radiação $F_r = p_r A$:

$$mg = p_r A.$$

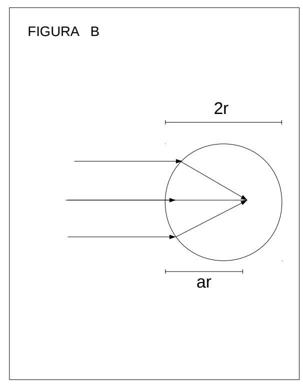
A massa pode ser expressa através da sua massa específica $m = \rho V = \rho A H$. A pressão de radiação pode ser expressa pela intensidade I do laser $p_r = 2I/c$:

$$\rho A H g = \frac{2AI}{c} \Longrightarrow \rho H g = \frac{2I}{c}.$$

Finalmente, a intensidade do laser depende de sua potência e da área em que ele está distribuído $I = P_l/A_l = P_l/[\pi(D/2)^2]$:

$$\rho H g = \frac{2P_l}{c\pi(D/2)^2} \Longrightarrow H = \frac{2P_l}{c\rho g\pi(D/2)^2} \approx 0,5\ \mu\text{m}.$$

Problema 3: Um feixe de raios luminosos produzidos por um laser distante incide em uma esfera maciça transparente de índice de refração n, conforme mostra a figura B. Se uma imagem pontual é produzida na posição em que $a = 4/3$, qual é o índice de refração da esfera? Encontre a expressão para o índice de refração para um valor qualquer de a, e mostre que não poderemos ter imagens formadas na região em que $a < 1$. (2,00)



Resolução do Problema 3: Sabemos que raios refratados por uma superfície esférica passam pelo seu foco quando incidem paralelamente ao eixo. No caso em questão, concluimos portanto que os raios se orginam de um objeto localizado no infinito ($p = \infty$) e que a imagem se forma a uma distância $i = +ar$ da superfície. O sinal positivo se justifica pelo fato de se tratar de uma imagem real. Usando estes valores na expressão

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{r},$$

e considerando $n_1 = 1$ (ar), obtemos

$$\frac{1}{\infty} + \frac{n_2}{ar} = \frac{n_2 - 1}{r} \Longrightarrow n_2 = \frac{a}{a-1}.$$

Se $a = 4/3$, então $n_2 = 4$.

Para o caso em que $a < 1$, note que a expressão acima implica em valores negativos para n_2, resultado não-físico.

Problema 4: Um filme de acetona (n=5/4) está sobre uma placa espessa de vidro (n=3/2). Um feixe de luz branca incide perpendicularmente ao filme. Nas reflexões, a interferência destrutiva total ocorre para 600 nm e a interferência construtiva total para 700 nm. Determine a espessura do filme de acetona. (2,00)

Resolução do Problema 4: Primeiro devemos notar que, na primeira interface (ar-acetona), a luz refletida sofre uma defasagem de π porque $n_{ar} < n_{acetona}$. O feixe refratado encontra então a segunda interface (acetona-vidro) e, ao refletir, também sofre uma defasagem de π porque $n_{acetona} < n_{vidro}$. Logo, como serão estes dois raios a serem combinados de modo a gerar o padrão de interferência, e ambos sofrem da mesma defasagem, não precisamo nos preocupar com isso ao avaliar a diferença de caminho óptico.

Basta, portanto, notar que a diferença de caminho percorrido $2L$, em que L é a espessura do filme, deve respeitar:

$$2L = m' \frac{\lambda}{n_{acetona}}, \qquad m' = 0, 1, 2, \ldots \quad \text{(construtiva)},$$

$$2L = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{acetona}}, \quad m = 0, 1, 2, \ldots \qquad \text{(destrutiva)}.$$

Conforme o enunciado, a interferência construtiva aconteceu para $\lambda_c = 700$ nm. Portanto, pode-se concluir que $L \neq 0$ deve satisfazer

$$L = \frac{m' \lambda_c}{2n_{acetona}} = m' \cdot 280 \text{ nm} \begin{cases} 280 \text{ nm} & (\text{para} \quad m' = 1), \\ 560 \text{ nm} & (\text{para} \quad m' = 2), \\ 840 \text{ nm} & (\text{para} \quad m' = 3), \\ \vdots & \ddots \end{cases}$$

Também conforme o enunciado, a interferência construtiva aconteceu para $\lambda_d = 600$ nm. Portanto, pode-se concluir que $L \neq 0$ deve satisfazer

$$L = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_d}{2n_{acetona}} = \left(m + \frac{1}{2}\right) 240 \text{ nm} = \begin{cases} 120 \text{ nm} & (m = 0), \\ 360 \text{ nm} & (m = 1), \\ 600 \text{ nm} & (m = 2), \\ 840 \text{ nm} & (m = 3), \\ \vdots & \ddots \end{cases}$$

Note que a observação das interferências construtiva e destrutiva, ocorre apenas para $L = 840$ nm.

Problema 5: Uma rede de difração com 30 mm de largura possui 6000 ranhuras. Uma luz com comprimento de onda de 600 nm incide perpendicularmente na rede. Determine o maior, o segundo maior e o terceiro maior valor de θ para o qual são observados máximos em uma tela distante.

Resolução do Problema 5: Os máximos de intensidades ocorrem quando valer a igualdade

$$d\text{sen}\theta = m\lambda,$$

para $m = 0, 1, 2, \ldots$. A distância entre ranhuras d vale $d = \frac{30 \text{ mm}}{6000} = 5$ μm. Substituindo também $\lambda = 600$ nm, a equação para os máximos se torna

$$\text{sen}\theta = m\frac{\lambda}{d} = 0,12m.$$

Como, para o nosso problema, temos a restrição $0 < \text{sen}\theta < 1$, conclui-se que m não pode ser maior que 8 (note que $0,12 \times 9 > 1$!). Logo o maior valor de θ para observarmos um máximo é (fazendo $m = 8$)

$$\text{sen}\theta = 8\frac{\lambda}{d} = 0,96.$$

O segundo e terceiro maiores valores são dados por $m = 7$ e 8, respectivamente:

$$\text{sen}\theta = 7\frac{\lambda}{d} = 0,84 \quad \text{e} \quad \text{sen}\theta = 6\frac{\lambda}{d} = 0,72.$$

Formulário

1 ano-luz $\approx 10^{13}$ km, $c = \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$,
$E = E_m \text{sen}(kx - \omega t)$,
$B = B_m \text{sen}(kx - \omega t)$, $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$, $I = \frac{E_m^2}{2c\mu_0}$,
$I = \frac{P}{Area}$, $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$, $p_r = \frac{I}{c}$, $p_r = \frac{2I}{c}$,
$\frac{n_1 \text{sen}\theta_1}{n_2 \text{sen}\theta_2} = 1$, $\theta_c = \text{arcsen}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$, $\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$,
$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$, $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$, $m = -\frac{i}{p}$,
$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$, $d\text{sen}\theta = 0; \lambda; 2\lambda; \ldots$, $d\text{sen}\theta = \frac{1}{2}\lambda; \frac{3}{2}\lambda; \frac{5}{2}\lambda; \ldots$,
$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{2\pi d \text{sen}\theta}{2\lambda}\right)$, $2L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_2}$,
$2L = m\frac{\lambda}{n_2}$, $P_S \approx 4 \times 10^{26}$ W, $G \approx 7 \times 10^{-11}$ m^3/s$^2 \cdot$ kg,
$M_{Sol} = 2 \times 10^{30}$ kg, $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\pi \approx 3$.