

P2

Física IV

Escola Politécnica - 2005

FAP 2204 - GABARITO DA P2

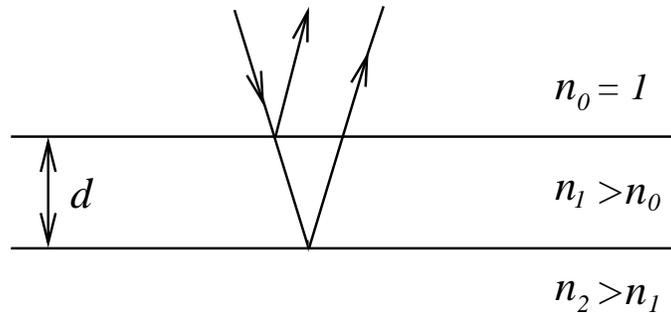
18 de outubro de 2005

Questão 1

Um filme fino de óleo de espessura d uniforme e índice de refração n_1 está espalhado sobre uma superfície sólida e transparente de índice de refração $n_2 > n_1$. Luz proveniente da parte superior do filme incide normalmente sobre este e interferência construtiva da luz refletida por cada uma de suas interfaces pode ser observada.

- (1,5 ponto) (a) Deduza as expressões para os máximos de interferência observados por reflexão.
- (1,0 ponto) (b) Se $n_1 = 1,4$, qual é a espessura mínima d_{min} do filme para que seja observada interferência construtiva em primeira ordem ($m = 1$) para luz com comprimento de onda entre 400 e 700 nm?

Solução



(a) O comprimento de onda no meio 1, filme de óleo, é

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_0}{n_1}$$

Como $n_2 > n_1 > n_0$, existe uma mudança de fase de π em cada reflexão. Logo, neste caso, como a mudança total de fase no processo de reflexão é de $\pi + \pi = 2\pi$, a interferência construtiva será observada quando a diferença de fase devido à diferença de caminho for um múltiplo inteiro de 2π , ou equivalentemente quando a diferença de caminho for igual a um número inteiro de comprimentos de onda no meio 1 (filme).

$$\Delta\ell = 2d = m\lambda_1 = m\frac{\lambda_0}{n_1}$$

ou $\boxed{2dn_1 = m\lambda_0}$

(b) Para $m = 1$ e $n_1 = 1.4$ temos

$$2dn_1 = \lambda_0, \quad 400 \leq \lambda_0 \leq 700 \text{ nm}$$

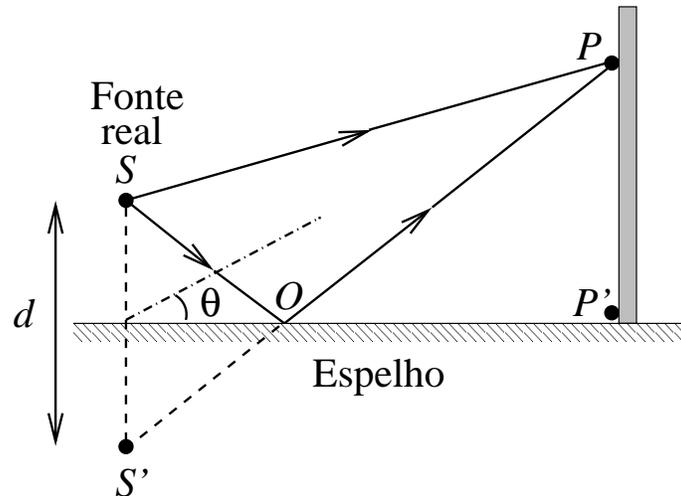
Logo, o menor d ocorre para

$$2d_{min} 1.4 = 400 \text{ nm}$$

ou $\boxed{d_{min} \approx 143 \text{ nm}}$

Questão 2

No arranjo conhecido como espelho de Lloyd, uma fonte de luz puntiforme monocromática de comprimento de onda λ é colocada em S perto de um espelho como mostrado na figura.



As ondas podem atingir um ponto P do anteparo tanto pela trajetória direta SP como pela trajetória indireta SOP envolvendo a reflexão no espelho. Neste último caso, o raio refletido atinge o anteparo como se fosse originado por uma fonte em S' localizada sob o espelho. Em pontos distantes da fonte, sobre um anteparo, observa-se uma figura de interferência devido às ondas provenientes de S e S' .

- (1.0 ponto) (a) A franja em P' (muito próximo do espelho, veja na figura) será clara ou escura? Justifique.
- (1.0 ponto) (b) Escrever as condições para haver interferência destrutiva e construtiva como função de θ .
- (0.5 ponto) (c) Fazer um esboço da intensidade luminosa em função de $d \sin \theta$, indicando o valor da abscissa de alguns mínimos e máximos.

Solução

(a) Como P' está muito próximo do espelho, o caminho direto SP' é praticamente igual ao caminho indireto SOP' . Porém, o raio SOP' sofre uma mudança de fase de 180° ao ser refletido no espelho. Assim, a interferência em P' é destrutiva e a franja é escura.

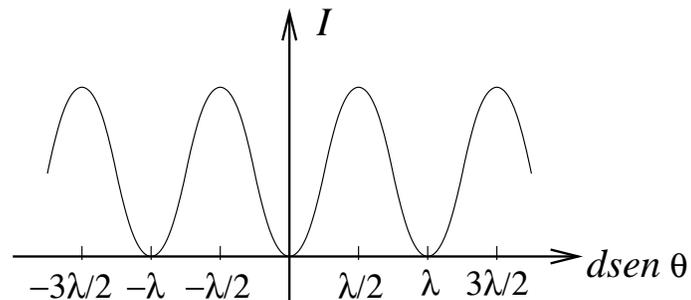
(b) As condições para interferência destrutiva e construtiva são:

$$d \operatorname{sen} \theta = m\lambda \quad \text{interferência destrutiva}$$

$$d \operatorname{sen} \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \text{interferência construtiva}$$

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

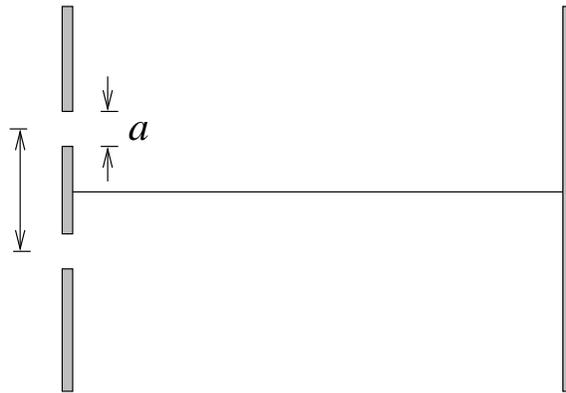
(c) Gráfico da Intensidade $\times d \operatorname{sen} \theta$



Questão 3

Luz monocromática com comprimento de onda $\lambda = 500 \text{ nm}$ passa por uma fenda de largura $a = 10\lambda$ e incide sobre um anteparo situado a uma distância $D \gg a$.

- (1,0 ponto) (a) Quantas regiões escuras serão observadas entre os ângulos zero e noventa graus?
Quantos mínimos existem entre zero e trinta graus?
- (1,5 ponto) (b) Substitua agora a fenda simples por duas fendas, onde cada fenda tem largura $a = 10\lambda$ e a distância entre as fendas é d (de centro a centro), conforme a figura.
Nesse caso, quantas regiões iluminadas serão observadas entre zero e trinta graus?



Solução

(a) Os mínimos de difração ocorrem para

$$\text{sen } \theta = \frac{p\lambda}{a} = \frac{p}{10} \leq 1 \quad (a = 10\lambda).$$

No intervalo $[0, 90^\circ]$, $\text{sen } \theta = \text{sen}90^\circ = 1$ e a equação se torna

$$1 = \frac{p_{max}}{10} \implies p_{max} = 10 \quad \text{e existem } \underline{10 \text{ mínimos}}.$$

No intervalo $[0, 30^\circ]$, $\text{sen } \theta = \text{sen}30^\circ = 1/2$ e a equação se torna

$$\frac{1}{2} = \frac{p_{max}}{10} \implies p_{max} = 5 \quad \text{e existem } \underline{5 \text{ mínimos}}.$$

(b) Para duas fendas separadas por $d = 100\lambda$ teremos, devido à interferência, linhas iluminadas em ângulos tais que

$$100\lambda \text{sen } \theta = m\lambda.$$

Portanto, entre $[0, 30^\circ]$ teremos um total de 50 linhas:

$$100\lambda \frac{1}{2} = m'\lambda \implies m' = 50,$$

não incluindo a linha central. Algumas dessas linhas não serão observadas devido à difração pela abertura. Elas ocorrem nos ângulos θ tais que

$$d \text{sen } \theta = m\lambda \quad (\text{interferência máx.})$$

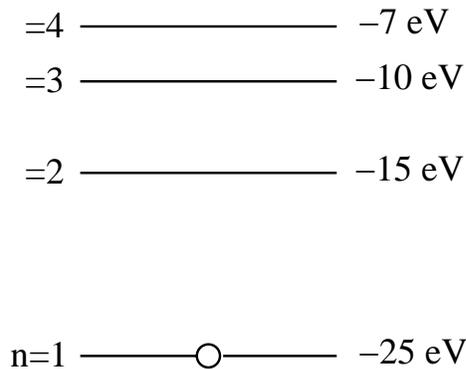
$$a \text{sen } \theta = p\lambda \quad (\text{difração mín.})$$

$$\text{ou seja, } \frac{m}{p} = \frac{d}{a} = 10 \implies m = 10p$$

Como no intervalo $[0, 30^\circ]$ os mínimos de difração ocorrem para $p = 1, 2, 3, 4$ e 5 , as linhas com $m = 10$, $m = 20$, $m = 30$, $m = 40$ e $m = 50$ não serão observadas. Logo teremos um total de 45 linhas mais a linha central.

Questão 4

O diagrama de níveis de energia para o elemento hipotético *fisquatromium* é indicado na figura. A energia potencial é igual a zero quando a distância entre o elétron e o núcleo é infinita.



- (0,5 ponto) (a) Qual é a energia necessária (em elétron-volts) para ionizar um elétron a partir do nível fundamental?
- (0,5 ponto) (b) Um fóton de 15 eV é absorvido pelo átomo de *fisquatromium* em seu nível fundamental. Quando o átomo retorna para o seu nível fundamental, quais são as energias possíveis para os fótons emitidos?
- (0,5 ponto) (c) Explicar o que ocorreria se um fóton de 8 eV colidisse com um átomo de *fisquatromium* em seu nível fundamental.
- (1,0 ponto) (d) Fótons emitidos por um átomo de *fisquatromium* nas transições $n = 3 \rightarrow n = 2$ e $n = 3 \rightarrow n = 1$ produzem foto-elétrons quando incidem sobre um metal desconhecido, porém os fótons emitidos na transição $n = 4 \rightarrow n = 3$ não produzem foto-elétrons. Qual é o intervalo de valores possíveis (o valor máximo e valor mínimo) para a função trabalho desse metal desconhecido?

Solução

(a) A energia de ionização é 25 eV.

(b) O elétron no estado fundamental ao absorver um fóton de 15 eV vai para o nível $n = 3$, com energia -10 eV. Ele pode voltar ao estado fundamental diretamente, ou passando antes pelo nível com $n = 2$. As energias dos fótons emitidos nestas transições são: $E(3 \rightarrow 2) = 5 \text{ eV}$, $E(2 \rightarrow 1) = 10 \text{ eV}$, e $E(3 \rightarrow 1) = 15 \text{ eV}$.

(c) O elétron permaneceria no estado fundamental, pois não há um nível com energia $E = -25 + 8 = -17 \text{ eV}$.

(d) Para um elétron poder ser emitido, sua energia cinética E_{cin} deve satisfazer

$$E_{cin} = E_{fóton} - \phi > 0 \implies E_{fóton} > \phi$$

Portanto,

$$\boxed{3 \text{ eV} < \phi < 5 \text{ eV}}$$