

Nome: _____ Nº: _____

1ª Parte – Duração 1h

As respostas desta parte devem ser escritas neste mesmo enunciado.
Não é permitido o uso de qualquer tipo de calculadora.

Secção A – Assinale a resposta certa.

1 – [1 Valor] Ao ser transmitida de um meio dieléctrico para outro, uma onda electromagnética:

- a) Mantém o seu comprimento de onda e frequência.
- b) Mantém o seu comprimento de onda e altera a sua frequência.
- c) Altera o seu comprimento de onda e mantém a sua frequência.
- d) Altera o seu comprimento de onda e a sua frequência.

Resposta
c

2 – [1 Valor] Relativamente à Reflexão Interna Total, pode-se dizer que:

- a) Ocorre sempre que a luz passa do ar para o vidro.
- b) Pode ocorrer quando a luz passa do ar para o vidro.
- c) Pode ser frustrada através da colocação de um terceiro meio.
- d) Ocorre sempre que a luz passa do vidro para o ar.

Resposta
c

3 – [1 Valor] As cores primárias são:

- a) Apenas o azul, o vermelho e o verde.
- b) Apenas o ciano, o amarelo e o magenta.
- c) Quaisquer três cores que combinadas formam o branco.
- d) Por exemplo o preto, o amarelo e o verde.

Resposta
c

4 – [1 Valor] A pupila de entrada de um sistema óptico:

- a) Localiza-se sobre a primeira lente do sistema.
- b) É determinada pela imagem do diafragma de campo, dada por todas as lentes que se encontrem à sua direita.
- c) Localiza-se sobre a última lente do sistema.
- d) É determinada pela imagem do diafragma de abertura, dada por todas as lentes que se encontrem à sua esquerda.

Resposta
d

5 – [1 Valor] Um exemplo de um interferómetro de divisão de frente de onda é:

- a) O interferómetro de Michelson.
- b) O interferómetro de Sagnac.
- c) O interferómetro de Mach-Zender.
- d) O espelho duplo de Fresnel.

Resposta
d

Secção B – Questões directas.

6 – [1 Valor] Escreva uma expressão para a diferença de fase entre os braços de um interferómetro de Michelson, em função do deslocamento d de um dos braços.

Resposta:

$$\delta = k\Lambda = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2nd$$

7 – [1 Valor] Imagine que tem 3 polarizadores lineares, com os eixos de transmissão alinhados segundo os ângulos 0° , θ e 2θ . Qual é a expressão que lhe permite calcular a transmissão desse sistema, quando ele é iluminado com luz natural?

Resposta:

$$I(\theta) = \frac{I_0}{2} \cos^2(\theta) \cos^2(\theta) = \frac{I_0}{2} \cos^4(\theta)$$

8 – [1 Valor] Preencha a seguinte tabela, relativa a espelhos:

Tipo	Côncavo	Convexo
f	+20	+40
r	-40	-80
s_o	+40	+20
s_i	+40	-40
M_T	-1	+2
Real /Virtual	Real	Virtual
Direita /Invertida	Invertida	Direita

Secção C – Perguntas de desenvolvimento.

Nota: Utilize o espaço no fundo da página, caso deseje fazer algum esquema para complementar as suas respostas.

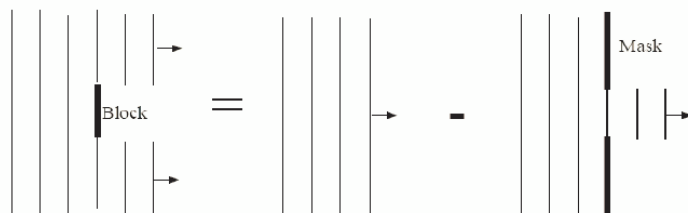
9 – [1 Valor] Descreva o defeito do olho humano conhecido por miopia, e uma forma de o corrigir.

Para corrigir a miopia usam-se lentes divergentes

(Para pontos próximos o olho, mesmo com a lente, ainda é capaz de obter uma imagem focada.)

10 – [1 Valor] Explique o papel do Princípio de Babinet no cálculo de padrões de difração de obstáculos.

A resposta está no princípio de Babinet, que nos diz o seguinte: O campo eléctrico que temos após o obstáculo pode ser visto como a soma do campo que teríamos se não tivéssemos nenhum obstáculo, menos o campo que obtínhamos se tivéssemos o inverso do obstáculo. Graficamente talvez seja mais fácil entender a ideia:



Ora, o campo que teríamos se não tivéssemos nenhum obstáculo seria uma onda plana. Por outro lado o inverso de um obstáculo é uma fenda, e esse padrão nós já conhecemos! Então campo eléctrico que obtemos depois de um obstáculo é igual a um certo valor médio (a onda plana) menos o padrão que obtemos com uma fenda. Como o que vemos é a irradiância, ou seja o quadrado do campo eléctrico, essa troca de sinal não é importante, e o padrão que obtemos com um obstáculo ou com uma fenda é igual! (Excepto em termos de valor médio, mas se estamos a olhar para o padrão não estamos preocupados com esse detalhe).

Nome: _____ N.º: _____

2ª Parte – Duração 1h30 (+30min tolerância)

1 – [2 Valores] Demonstre que a luz reflectida por um retro-reflector (“corner-cube reflector”) é paralela à luz incidente. (Pode tratar o problema a duas dimensões).

2 – Uma lente biconvexa de vidro, com um índice de refração 1,5, e com 4 cm de espessura, tem raios de curvatura de módulo 4 cm e 15 cm.

a) [1,5 Valores] Localize os pontos principais e calcule a distância focal dessa lente. (Faça um esquema indicando as posições dos diferentes pontos);

b) [1 Valor] Se se colocar um objecto a 8,0 cm dessa lente, a que distância da lente se forma a imagem?

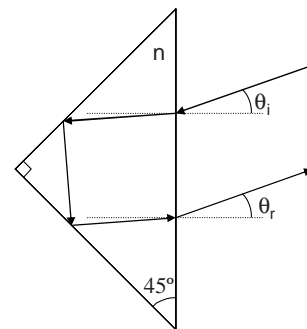
3 – [2 Valores] Considere um interferómetro de Michelson. Um dos braços contém um recipiente cilíndrico com ar, com 9,30 cm de comprimento interior e bases transparentes. No interferómetro é utilizada luz monocromática, com $\lambda = 694,3$ nm. Com uma bomba de vácuo extrai-se o ar do recipiente, até se ter praticamente vácuo. Sabendo que durante esse processo passam pelo alvo 72 pares de franjas claro/escuro, calcule o índice de refração do ar.

4 – [1,5 Valor] Uma rede de difracção com 6000 pares de linhas por centímetro é iluminada com a luz de uma lâmpada de hidrogénio, que tem um espectro com duas riscas, em $\lambda_1 = 410$ nm e $\lambda_2 = 656$ nm. Determine a separação angular entre as riscas de 1ª ordem.

5 – Os faróis de um automóvel estão separados por 1,4 m. Considere que o diâmetro da pupila do observador é 5,0 mm e que o comprimento de onda da luz é 550 nm. Considere também que a resolução é determinada exclusivamente pelos efeitos da difracção. Calcule:

a) [1 Valor] O valor resolução angular para este observador;

b) [1 Valor] A distância máxima a que o observador conseguirá distinguir os dois faróis.



1 Análise do q.e. de uma
 "Corner Cube Reflector"
 ("espelho de canto de cubo").

Vamos analisar o problema apenas no plano horizontal. No plano vertical, o feixe sofre igualmente duas reflexões.

A lei de Snell da refração impõe:

$$n \cdot \sin(\theta_2) = \sin(\theta_1)$$

$$n \cdot \sin(\theta_5) = \sin(\theta_6)$$

Como a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180° , temos:

$$90^\circ - \theta_3 + 45^\circ + 90^\circ + \theta_2 = 180^\circ$$

$$\rightarrow \theta_3 = 45^\circ + \theta_2$$

$$90^\circ - \theta_3 + 90^\circ + 90^\circ - \theta_4 = 180^\circ$$

$$\rightarrow \theta_4 = 90^\circ - \theta_3$$

$$90^\circ - \theta_4 + 45^\circ + 90^\circ - \theta_5 = 180^\circ$$

$$\rightarrow \theta_5 = 45^\circ - \theta_3$$

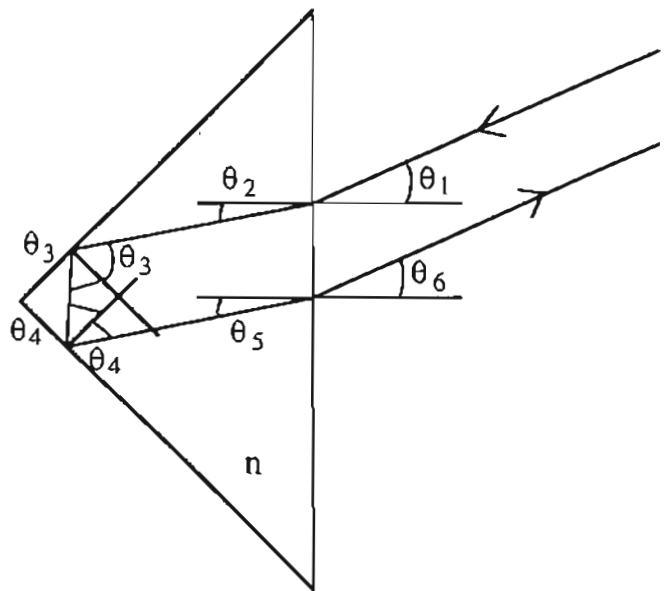
Utilizando as equações anteriores, obtemos θ_5 em função de θ_2 :

$$\theta_5 = 45^\circ - 90^\circ + 45^\circ + \theta_2 = \theta_2$$

Obtemos assim:

$$n \cdot \sin(\theta_5) = n \cdot \sin(\theta_2) = \sin(\theta_6) = \sin(\theta_1)$$

A última igualdade impõe $\theta_1 = \theta_6$ q.q.d.



②

a) $n = 1,5$

$d = 4 \text{ cm}$

$R_1 = +4 \text{ cm}$

$R_2 = -15 \text{ cm}$

$$\frac{1}{f} = [n-1] \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = [1,5-1] \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{15} - \frac{(1,5-1)4}{1,5 \times 4 \times 15} \right]$$

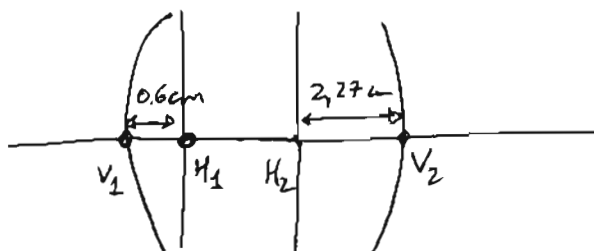
$$\frac{1}{f} = [0,5] \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{15} - \frac{0,5 \times 4}{1,5 \times 4 \times 15} \right]$$

$$\frac{1}{f} = [0,5] \left[\frac{1,5 \times 15 + 4 \times 1,5 - 0,5 \times 4}{1,5 \times 4 \times 15} \right]$$

$$\frac{1}{f} = [0,5] \left[\frac{22,5 + 6 - 2}{6 \times 15} \right]$$

$$\frac{1}{f} = [0,5] \left[\frac{26,5}{90} \right]$$

$$\frac{1}{f} = 0,1472 \quad f = 6,8 \text{ cm}$$



$$\overline{H_1 V_1} = - \frac{f(n-1)d}{R_2 n}$$

$$= - \frac{6,8 \times (1,5-1) \times 4}{-15 \times 1,5}$$

$$= 0,6 \text{ cm}$$

$$\overline{H_2 V_2} = - \frac{f(n-1)d}{R_1 n}$$

$$= - \frac{6,8 \times (1,5-1) \times 4}{4 \times 1,5}$$

$$= 2,27 \text{ cm}$$

b)

$$S_o = 8 + 0.6 \text{ cm}$$

$$= 8.6 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{S_o}$$

$$\frac{1}{S_i} = \frac{1}{6.8} - \frac{1}{8.6}$$

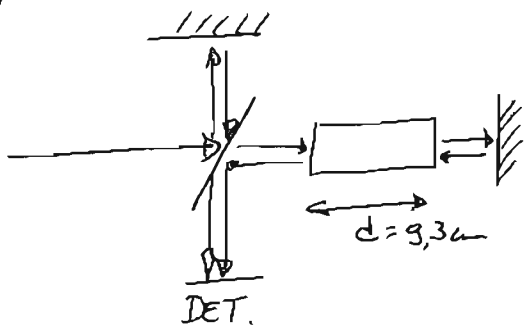
$$\frac{1}{S_i} = 0.147 - 0.116$$

$$S_i = 32,26 \text{ cm}$$

$$S_i = H_2 V_2 + d$$

$$d = 32,26 - 2,27 = 29,99 \text{ cm}$$

③



$$\delta = K \cdot \Delta$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2 \cdot \Delta n \cdot d$$

Δn = diferença de índice de refração
entre o ar ou o vácuo

72 fringes claras/escuro $\rightarrow \delta = 72 \cdot 2\pi$

$$72 \cdot 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2 \Delta n d \rightarrow \Delta n = \frac{72 \cdot \lambda}{2d}$$

$$\Delta n = \frac{72 \times 694,3 \times 10^{-9}}{2 \times 0,093}$$

$$\Delta n = 0,000268$$

$$\text{Se } n_{\text{vac}} = 1 \Rightarrow n_{\text{ar}} = 1,000268$$

④

$$n\lambda = d \sin \theta$$

$$d = \frac{1}{6000 \text{ cm}^{-1}} = \frac{1}{6000} \text{ cm}$$

$$\sin \theta_{\lambda_1} = \frac{n\lambda_1}{d}$$

$$\sin \theta_{\lambda_2} = \frac{n\lambda_2}{d}$$

$$n = 1 \quad (1^{\text{a}} \text{ order})$$

$$\theta_{\lambda_1} = \arcsin \left(\frac{\lambda_1}{d} \right)$$

$$\theta_{\lambda_2} = \arcsin \left(\frac{\lambda_2}{d} \right)$$

$$\theta_{\lambda_1} = \arcsin (410 \times 10^{-9} \times 6000 \times 10^2) \quad \theta_{\lambda_2} = \arcsin (656 \times 10^{-9} \times 6 \times 10^5)$$

$$\theta_{\lambda_1} = \arcsin (0.25)$$

$$\theta_{\lambda_2} = \arcsin (0.393)$$

$$\theta_{\lambda_1} = 14,5^\circ$$

$$\theta_{\lambda_2} = 22,9^\circ$$

$$\begin{aligned} \Delta \theta &= 22,9 - 14,5^\circ \\ &= \underline{8,4^\circ} \end{aligned}$$

⑤

$$a) \quad \theta_{\text{res}} = \frac{\pi_{\text{first zero}}}{f} = 0.61 \frac{\lambda}{a}$$

(aprox. principal)

$$\theta_{\text{res}} = 0.61 \frac{550 \times 10^{-9}}{2,5 \times 10^{-3}}$$

$$a = \frac{5 \text{ mm}}{2} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\theta_{\text{res}} = 1,34 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

b)

$$\theta_{\text{res}} = \frac{\text{separasi}}{\text{distansi}} = \frac{d}{z}$$

$$z = \frac{d}{\theta_{\text{res}}}$$

$$d = 1,4 \text{ m}$$

$$\theta_{\text{res}} = 1,34 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$z = \frac{1,4}{1,34 \times 10^{-4}} = 10,4 \text{ Km}$$

(Estimasi ini mengabaikan efek pembiasan atmosferis
yang mungkin berpengaruh pada nilai).