

Nome: _____ N.º: _____

1ª Parte – Duração 1h

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

Secção A – Escolha múltipla.

1 – [1 Valor] Assinale a resposta errada:

- a) as imagens reais são formadas por raios convergentes.
- b) as imagens virtuais são formadas por raios divergentes.
- c) as fontes virtuais emitem raios divergentes.
- d) as fontes reais emitem raios divergentes.

Resposta
c

2 – [1 Valor] Assinale a resposta certa:

- a) as aberrações de Seidel têm origem na dependência do índice de refração no comprimento de onda.
- b) as aberrações de Seidel representam a diferença entre a teoria paraxial de 1ª e de 3ª ordem.
- c) as aberrações cromáticas resultam da cor do material.
- d) as aberrações cromáticas podem ser corrigidas com uma lente simples.

Resposta
b

3 – [1 Valor] Os polarizadores polaróide baseiam-se no fenómeno do:

- a) dicroísmo.
- b) birrefringência.
- c) dispersão.
- d) reflexão.

Resposta
a

4 – [1 Valor] Um interferómetro de Michelson:

- a) é um interferómetro de divisão de amplitude.
- b) é um interferómetro de divisão de frente de onda.
- c) gera um padrão de franjas cuja separação é $\Delta y = s \cdot \lambda / a$.
- d) tem uma finesse de 1000.

Resposta
a

5 – [1 Valor] O padrão de intensidade formado por uma abertura rectangular unidimensional, no regime de Fresnel, é:

- a) do tipo seno cardinal (Sinc).
- b) do tipo seno cardinal ao quadrado (Sinc²).
- c) proporcional ao quadrado da transformada de Fourier da abertura.
- d) tem que ser calculado através da espiral do Cornu.

Resposta
d

Secção B – Questões directas.

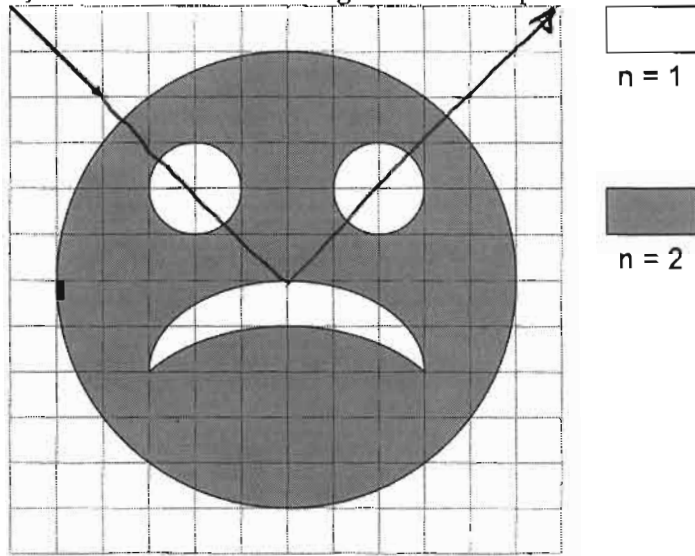
6 – [1 Valor] Um raio de luz, que se desloca no ar, incide a 45° num vidro, com índice de refração $\sqrt{2}$. Qual será o ângulo do feixe reflectido?

Resposta: 45° ($\theta_{\text{reflectido}} = \theta_{\text{incidente}}$)

7 – [1 Valor] Colocam-se dois polarizadores lineares em frente a uma fonte de luz natural. Sabendo que o eixo do segundo polarizador está a 60° em relação ao primeiro, qual será a percentagem da luz transmitida?

Resposta: $I = I_0 \cos^2(\theta) \Rightarrow \cos^2(60^\circ) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 25\%$

8 – [1 Valor] Desenhe o traçado do raio indicado no seguinte sistema óptico:



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] Enuncie o princípio da sobreposição, e explique-o sumariamente.

Os campos somam-se.
 Se ψ_1 e ψ_2 são soluções, então
 $\psi_1 + \psi_2$ também é

10 – [1 Valor] Explique como se pode anular a reflectividade de um substrato, através da deposição de um filme.

$n_f^2 = n_0 \cdot n_s$ $d = \frac{\lambda}{4}$
 filme com estas características

Nome: _____ N.º: _____

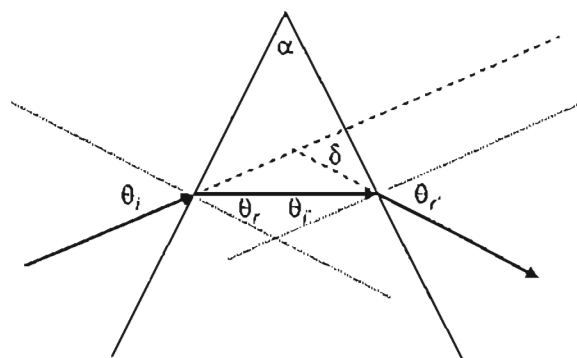
2ª Parte – Duração 1h30 (+30min tolerância)

1 – [1 Valor] Sabendo que o desvio provocado por um prisma, de ângulo α , é dado pela expressão:

$$\delta = (\theta_i - \theta_r) + (\theta_r' - \theta_i')$$

demonstre que na aproximação paraxial:

$$\delta = (n-1)\alpha$$



2 – [2 Valores] Foi colocado um diafragma (diâmetro 2 cm) num sistema óptico composto por duas lentes ($f_1 = +4$ cm, $f_2 = +6$ cm), de modo a que o diafragma limite a abertura do sistema. Sabendo que a distância entre as lentes é de 3 cm, e que o diafragma está 1 cm à direita da 1ª lente, calcule a posição e o tamanho das pupilas de entrada e de saída.

3 – Utilize as seguintes matrizes de Mueller para:

Polarizador linear horizontal $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Polarizador linear vertical $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Polarizador linear a $+45^\circ$ $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Lâmina de $\lambda/4$, com eixo rápido vertical $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

Lâmina de $\lambda/4$, com eixo rápido horizontal $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$

a) [1 Valor] determinar a matriz de Stokes que descreve um feixe, que inicialmente estava polarizado na vertical, depois deste se ter propagado através de um polarizador linear a $+45^\circ$. Descreva o estado de polarização do feixe transmitido.

b) [1 Valor] calcular uma matriz de Mueller que represente uma lâmina de $\lambda/2$ com eixo rápido horizontal.

c) [1 Valor] qual é o grau de polarização do feixe descrito pela matriz $\begin{bmatrix} 4 & 0 & 3 & 1 \end{bmatrix}$?

4 – a) [1 Valor] Uma rede de difração com linhas separadas por $d = 2,5 \cdot 10^{-6}$ m é iluminada com um feixe de luz vermelha ($\lambda = 650$ nm). Observam-se as franjas obtidas num alvo a 2,9 m de distância. Calcule a separação angular entre as franjas de ordem 0 e -2.

b) [1 Valor] Qual é o limite de resolução de angular de uma lente com diâmetro 4 cm, ($f = +10$ cm), para $\lambda = 500$ nm?

5 – a) [1 Valor] Escreva a expressão para a intensidade da radiação à saída de um interferómetro de Michelson, em função do deslocamento d de um dos braços.

b) [1 Valor] Faça uma estimativa da altura das pistas de um DVD, sabendo que o comprimento da luz utilizada é de 650 nm, e que o índice de refração do disco é 1,50.

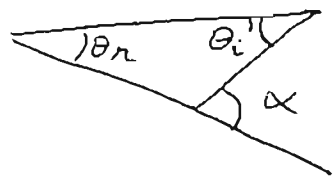
①

$$\delta = (\theta_i - \theta_r) + (\theta_r' - \theta_i')$$

$$\delta = \theta_i + \theta_r' - (\theta_r + \theta_i')$$

$$\rightarrow \theta_r + \theta_i' = \alpha$$

Vejra a figura.



$$\delta = \theta_i + \theta_r' - \alpha$$

$$\rightarrow n \theta_r = \theta_i$$

$$\rightarrow n \theta_i' = \theta_r'$$

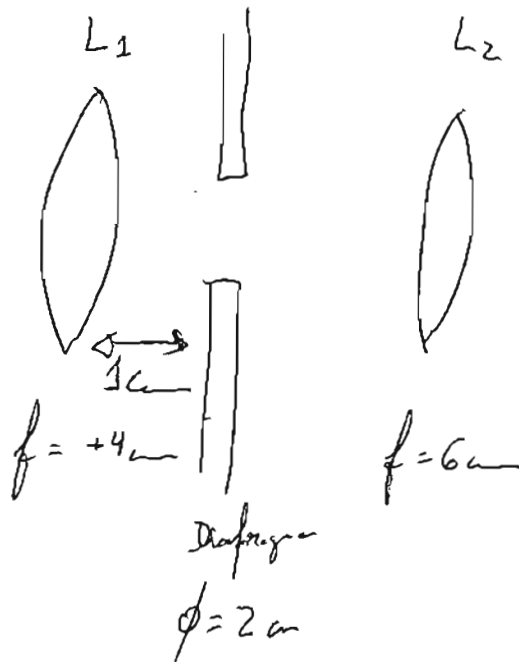
$$\delta = n \theta_r + n \theta_i' - \alpha$$

$$\delta = n (\theta_r + \theta_i') - \alpha$$

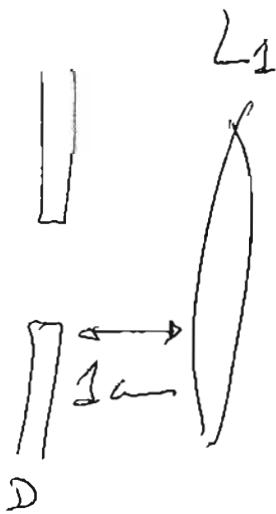
$$\delta = n \alpha - \alpha$$

$$\delta = (n - 1) \alpha$$

②



P Entrada: Tamanho do diafragma, dada por L_1



$$S_o = +1\text{ cm} \quad \frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

$$f = +4\text{ cm}$$

$$\frac{1}{1} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{4}$$

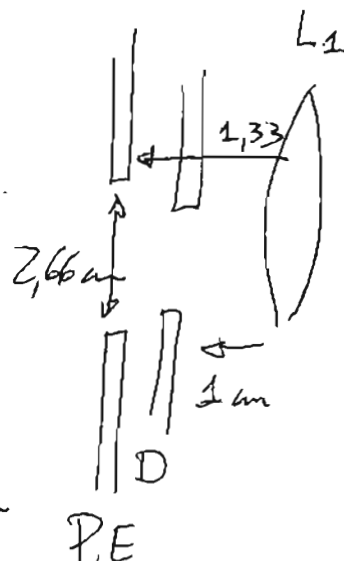
$$\frac{1}{S_i} = -\frac{3}{4} \quad S_i = -1,33\text{ cm}$$

$$M_T = -\frac{S_i}{S_o} = -\frac{(-1,33)}{1} = 1,33$$

$$M_T = \frac{Y_i}{Y_o}$$

Se $Y_o = 2\text{ cm}$ (diâmetro)

$$\text{então } \phi_{PE} = 1,33 \times 2 = 2,66\text{ cm}$$



⇓
O diafragma e a pupila de entrada são do mesmo lado da lente L_1

P. Saída: Imagem da difractor dada por L_2

$$s_o = 2 \text{ cm}$$

$$f = 6 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{6}$$

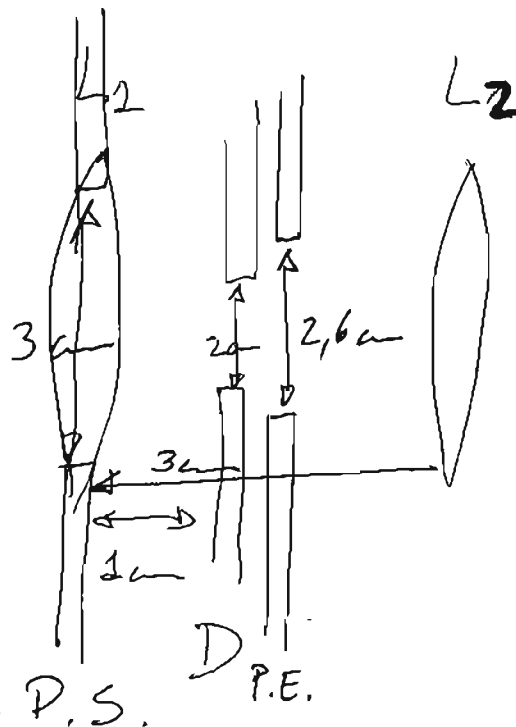
$$\frac{1}{s_i} = \frac{1}{6} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{3}$$

$$s_i = -3 \text{ cm}$$

↑
P. Saída do outro lado do difractor

$$M_T = -\frac{(-3)}{2} = 1,5$$

$$\phi_{PS} = 2 \times 1,5 = 3 \text{ cm}$$



3

a)

$$\begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} =$ Pol. linear a 45° , com
vetor de intensidade

b)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c)

$$\frac{\sqrt{0+9+1}}{4} = \frac{\sqrt{10}}{4} = 79,1\%$$

4)

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

$\sin \theta = \frac{n \lambda}{d}$ $\theta = \arcsin \left(\frac{n \lambda}{d} \right)$

$\theta = \arcsin \left(\frac{2 \times 500 \times 10^{-9}}{2,5 \times 10^{-6}} \right) = 31^\circ$

b)

$r_{\text{first zero}} = \frac{0,61 \lambda f}{a}$

$a = \frac{4}{2} = 2 \text{ cm}$

$\lambda = 500 \text{ nm}$

$\frac{r}{f} = 0,61 \frac{\lambda}{a}$

$\frac{r}{f} = \frac{0,61 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-2}} = 1,55 \times 10^{-5} \text{ rad}$

5-a)

$I = I_1 + I_2 + 2 \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$

$= 4 I_0 \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right)$

$\delta = 2 \frac{\pi}{\lambda} n d$

$= 4 I_0 \cos^2 \left(2 \frac{\pi}{\lambda} n d \right)$

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

$d = \frac{\lambda}{n 4}$

$d = \frac{650 \times 10^{-9}}{4 \times 1,5}$

$d = 1,08 \times 10^{-7} \text{ m}$

$= 108 \text{ nm}$