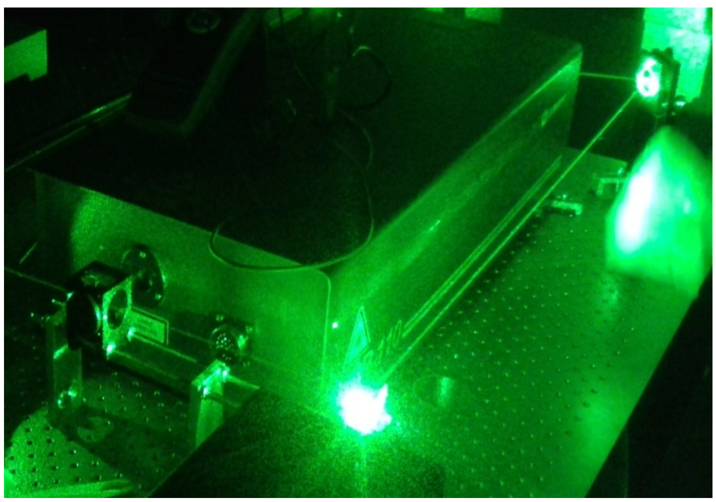
LISTA DE EXERCÍCIOS



NHT3044 - ÓPTICA

Prof. Herculano Martinh

LISTA 1

1. No modelo corpuscular clássico para a luz, cada "cor" corresponde a um corpúsculo de tipo ou natureza diferente. Assim, a luz branca é "a soma de todas as cores". Tendo em vista este modelo, interprete o fenômeno de dispersão da luz branca por um prisma.

2. Demonstre que, de acordo com o modelo corpuscular clássico, a velocidade de propagação de luz em sólidos e líquidos deve ser maior do que no ar ou no vácuo.

3. Demonstre que a velocidade da luz em relação a Terra, sob um ponto de vista puramente mecânico tendo o éter como meio de propagação, vale

(i) $v_T = c - v$, quando o feixe luminoso se move paralelo à Terra e no mesmo sentido;

(ii) $v_T = c + v$, quando o feixe luminoso se move paralelo à Terra e no sentido oposto;

(iii) $v_T = \sqrt{c^2 - v^2}$, quando o feixe luminoso se move perpendicular à Terra.

4. Demonstre que os tempos para a luz percorrer as duas trajetórias perpendiculares de comprimento L no interferômetro de Michelson são, respectivamente, $t_1 = \frac{2Lc}{c^2 - v^2}$ e $t_2 = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v^2}}$.

5. Interprete as 4 características experimentais principais do efeito fotoelétrico de acordo com a interpretação quântica (fótons) da luz formulada por Einstein.

6. Explique porque é que a energia de um fóton emitido ou absorvido por um sistema não é exatamente igual á diferença de energia entre os dois estados energéticos implicados. (Dica: considere o momento do fóton). Aplique a discussão ao caso de um átomo de Hg que emite um fóton de energia 4,86 eV.

7. Considere um fóton monocromático de luz caracterizada por um único comprimento de onda λ incidindo sobre uma superfície. Obtenha a pressão exercida por este fóton (i) no caso de incidência normal e (ii) no caso de reflexão um por ângulo θ.

8. Ex.7 do Cap. 28 do livro Serway Jewett.

9. Ex.9 do Cap. 28 do livro Serway Jewett.

LISTA 2

1. Considere um fóton monocromático de luz caracterizada por um único comprimento de onda λ incidindo sobre uma superfície. Obtenha a pressão exercida por este fóton (i) no caso de incidência normal e (ii) no caso de reflexão por ângulo θ.

2. Demonstre que ao observar um objeto qualquer imerso num meio de índice de refração n, a sua profundidade aparente, d, é menor que a profundidade real, t, e é dada por: $d = t/n$.

3. Mostre que o aumento produzido por um espelho esférico vale $M = -q/p$.

4. Um espelho esférico tem um raio de 0,40 m. Um objeto está situado em frente ao espelho a uma distância de 0,30 m. Determine a posição da imagem e o aumento, se o espelho for (i) côncavo, (ii) convexo.

5. Mostre que o aumento produzido por uma lente é $M=q/p$.

6. As duas superfícies convexas de uma lente esférica tem raios de 0,80 m e 1,20 m. O índice de refração da lente é n = 1,50. Determine a distancia focal e a posição da imagem de um ponto situado a 2,00 m da lente.

7. Encontre a posição dos focos de um sistema de duas lentes delgadas separadas por uma distância t.

8. Mostre que o aumento produzido por um microscópio composto vale $M=dL/ff'$, onde d é a distância de mínima de visão distinta (25 cm), L é a distância entre a objetiva e a imagem formada por ela antes da ocular, f e f′são os focos da objetiva

9. Demonstre, à partir da aproximação paraxial, a fórmula de Descartes para reflexão em superfícies esféricas

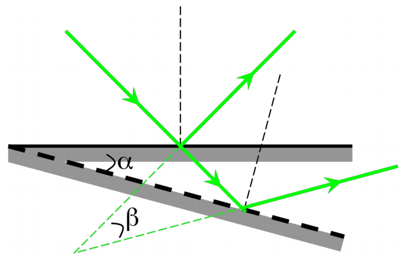
$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$$

10. Demonstre que para considerar-se ângulos maiores, a expressão do ex. 1 deve ser alterada para

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{r}+\frac{h^2}{r}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{p}\right)^2$$

considerando-se correções de ordens superiores. Ela mostra que q depende da distância h e por isso não existe um ponto imagem único.

11. Verifique que, quando um objeto plano roda um ângulo α, os raios refletidos rodam um ângulo duplo de α, isto é, $\beta=2\alpha$ na figura abaixo.



12. Explique o princípio de funcionamento de uma fibra óptica. Demonstre que a abertura numérica é dada por $sen\theta_1 = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$, onde n_1 e n_2 são os índices de refração do ar e do material interno, respectivamente.

13. Exercícios 41, 42, 46, e 47 do Capítulo 31 do Tipler, vol. 2.

14. Exercícios 25-29; 30-33; 36; 41; 42-45; 51-57; 66 do Capítulo 32 do Tipler, vol. 2.

LISTA 3

1. Enuncie e discuta o Princípio de Fermat.
2. Discuta em que consiste a aberração esférica em espelhos esféricos.
3. Enuncie e discuta todas as propriedades de lentes delgadas, incluindo equações características e processos de formação de imagens.
4. Exercícios 4.6, 4.8 à 4.10, 4.13 à 4.21, 4.27, 4.33 do livro do Hecht.
5. Exercícios 5.8 à 5.20 do livro do Hecht.

LISTA 4

1. Demonstre as principais propriedades dos operadores divergência ($\vec{\nabla}.$) e rotacional ($\vec{\nabla} x$) para os campos vetoriais $\vec{F}$ e $\vec{G}$ descritas abaixo. Considere c e f uma constante e uma função qualquer, respectivamente.

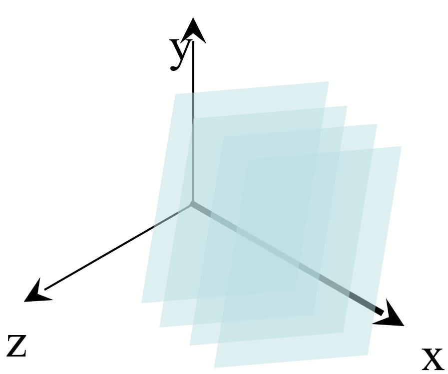
(i) $\vec{\nabla}\cdot(c\vec{F})=c\vec{\nabla}\cdot\vec{F}$
(ii) $\vec{\nabla}\cdot(\vec{F}+\vec{G})=\vec{\nabla}\cdot\vec{F}+\vec{\nabla}\cdot\vec{G}$
(iii) $\vec{\nabla}\cdot(f\vec{F})=f\vec{\nabla}\cdot\vec{F}+(\vec{\nabla}f\cdot\vec{F})$
(iv) $\vec{\nabla}\cdot(f\vec{\nabla}g)=f\vec{\nabla}\cdot(\vec{\nabla}g)+(\vec{\nabla}f\cdot\vec{\nabla}g)$
(v) $\vec{\nabla}\times(c\vec{F})=c\vec{\nabla}\times\vec{F}$
(vi) $\vec{\nabla}\times(\vec{F}+\vec{G})=\vec{\nabla}\times\vec{F}+\vec{\nabla}\times\vec{G}$
(vii) $\vec{\nabla}\times(f\vec{F})=f\vec{\nabla}\times\vec{F}+\vec{\nabla}f\times\vec{G}$
(viii) $\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}f+\vec{\nabla}\times\vec{F})=\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}f)+\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{F})$
(ix) $\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}f)=0$
(x) $\vec{\nabla}\cdot(\vec{\nabla}\times\vec{F})=0$

2. Aplique o teorema da divergência aos campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$ e demonstre que $\nabla\cdot\vec{E}=\rho/\varepsilon$ e $\nabla\cdot\vec{B}=0$.

3. Demonstre a igualdade $\vec{\nabla}x(\vec{\nabla}x)=\vec{\nabla}(\vec{\nabla}.)-\nabla^2$.

4. Demonstre que no vácuo, o campo de indução magnética $\vec{B}$ obedece a equação $\nabla^2\vec{B}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}$.

5. Considere uma onda eletromagnética plana propagando-se na direção positiva do eixo-x, como na fig. abaixo. Uma onda plana caracteriza-se por possuir intensidade de campo elétrico constante sobre cada um dos infinitos planos perpendiculares ao eixo de propagação.



Usando a forma diferencial das equações de Maxwell,

i) Mostre que $\vec{E}$ e $\vec{B}$ propagam-se transversalmente.
ii) Mostre que $\vec{E}$ e $\vec{B}$ são perpendiculares entre sí.

6. Demonstre que qualquer componente do campo eletromagnético ($E_x, E_y, E_z, B_x, B_y, B_z$) é solução da equação de ondas escalar $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}$, onde $v=\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ é a velocidade de propagação da onda.

7. Pesquise em livros avançados de Eletrodinâmica e na literatura, como são escritas as equações de Maxwell em unidades gaussianas. Como transformá-las para o sistema SI?

8. Descreva as principais características de ondas harmônicas (comprimento de onda, frequencia, número de onda, período, fase e velocidade de fase)

9. Mostre que uma onda harmônica, dada por $\vec{E}=E_{0y}\cos[\omega(t-x/c)+\delta]\vec{j}$, onde c é a velocidade de propagação, ω é a frequencia da onda e δ uma diferença de fase, é solução da equação de onda $\nabla^2\vec{E}=\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$. Mostre que a diferença de fase entre $\vec{E}$ e $\vec{B}$ é nula.

2.1 How many "yellow" lightwaves ($\lambda = 580$ nm) will fit into a distance in space equal to the thickness of a piece of paper (0.003 in.)? How far will the same number of microwaves ($\nu = 10^{10}$ Hz, i.e., 10 GHz, and $v = 3 \times 10^8$ m/s) extend?

2.2* The speed of light in vacuum is approximately 3×10^8 m/s. Find the wavelength of red light having a frequency of 5×10^{14} Hz. Compare this with the wavelength of a 60-Hz electromagnetic wave.

2.3* It is possible to generate ultrasonic waves in crystals with wavelengths similar to light (5×10^{-5} cm) but with lower frequencies (6×10^8 Hz). Compute the corresponding speed of such a wave.

2.4* A youngster in a boat on a lake watches waves that seem to be an endless succession of identical crests passing with a half-second interval between each. If every disturbance takes 1.5 s to sweep straight along the length of her 4.5-m-long boat, what are the frequency, period, and wavelength of the waves?

2.5* A vibrating hammer strikes the end of a long metal rod in such a way that a periodic compression wave with a wavelength of 4.3 m travels down the rod's length at a speed of 3.5 km/s. What was the frequency of the vibration?

3.1 Consider the plane electromagnetic wave (in SI units) given by the expressions $E_x = 0$, $E_y = 2\cos[2\pi \times 10^{14}(t - x/c) + \pi/2]$, and $E_z = 0$.

(a) What are the frequency, wavelength, direction of motion, amplitude, initial phase angle, and polarization of the wave?

(b) Write an expression for the magnetic flux density.

3.2 Write an expression for the $\vec{\mathbf{E}}$- and $\vec{\mathbf{B}}$-fields that constitute a plane harmonic wave traveling in the $+z$-direction. The wave is linearly polarized with its plane of vibration at 45° to the yz-plane.

3.3* Considering Eq. (3.30), show that the expression

$$\vec{\mathbf{k}} \times \vec{\mathbf{E}} = \omega \vec{\mathbf{B}}$$

is correct as it applies to a plane wave for which the direction of the electric field is constant.

3.4* Imagine an electromagnetic wave with its $\vec{\mathbf{E}}$-field in the y-direction. Show that Eq. (3.27)

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

applied to the harmonic wave $\vec{\mathbf{B}}$

$$\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{E}}_0 \cos(kx - \omega t) \qquad \vec{\mathbf{B}} = \vec{\mathbf{B}}_0 \cos(kx - \omega t)$$

yields the fact that

$$E_0 = cB_0$$

in agreement with Eq. (3.30).

3.5* An electromagnetic wave is specified (in SI units) by the following function:

$$\vec{\mathbf{E}} = (-6\hat{\mathbf{i}} + 3\sqrt{5}\,\hat{\mathbf{j}})(10^4\ \mathrm{V/m})e^{i[(\sqrt{5}x + 2y)\pi \times 10^7 - 9.42 \times 10^{15} t]}$$

Find (a) the direction along which the electric field oscillates, (b) the scalar value of amplitude of the electric field, (c) the direction of propagation of the wave, (d) the propagation number and wavelength, (e) the frequency and angular frequency, and (f) the speed.

3.31* A amplitude do campo eléctrico associado a uma onda luminosa harmónica, plana e polarizada linearmente, é:

$$E_z = E_0 \cos \pi \, 10^{15} \left(t - \frac{x}{0.65c} \right)$$

no interior de um vidro. Determine:

a) A frequência da luz;

b) O seu comprimento de onda;

c) O índice de refracção do vidro.

3.32* O índice de refracção do diamante é 2.42. Qual a velocidade da luz no diamante?

3.33* Sabendo que o comprimento de onda da luz no vazio é de 540 nm, qual será na água (n=1.33)?

3.34* Determine o índice de refracção de um meio em que a velocidade da luz é 10% inferior à velocidade da luz no vazio.

3.35 Se a velocidade da luz (velocidade de fase) em $SrTi0_3$ (fabulite) é de 1.245×10^8 m/s, qual o índice de refracção do material?

3.36* Qual a distância percorrida por luz amarela na água (n = 1.33) durante 1.00 s?

3.37* Uma onda luminosa de 500 nm no vazio incide numa placa de vidro de 1.00 cm de espessura (n = 1.60) e propaga-se perpendicularmente à face. Quantos ciclos completos de oscilação preenchem completamente a lâmina de vidro?

3.38* Luz amarela de uma lâmpada de sódio ($\lambda_0 =$ = 589 nm) atravessa uma tina de glicerina (n = 1.47) de 20.0 m de comprimento, num intervalo de tempo t_1. Se o tempo de travessia for t_2 quando a glicerina é substituída por dissulfito de carbono (n = 1.63), determine o valor de $t_2 - t_1$.

3.39* Uma onda luminosa propaga-se de A para B no vazio. No seu percurso é introduzida uma lâmina de vidro (n_v = 1.50) de espessura L = 1.00 mm. Se o comprimento de onda da radiação no vazio for de 500 nm,

LISTA 5

1. Mostre que, para ondas planas harmônicas, usando notação exponencial, as equações de Maxwell pode ser escritas como

$$\vec{k}\cdot\vec{E}=0$$
$$\vec{k}\cdot\vec{B}=0$$
$$\vec{k}\times\vec{E}=\omega\vec{B}$$
$$\vec{k}\times\vec{B}=\mu_0\varepsilon_0\vec{E}$$

2. Descreva em detalhes o que são dicroísmo e birefringência, citando exemplos de materiais, propriedades e aplicações.
3. Discutir em detalhes a polarização elíptica da luz.
4. Considere uma fonte luminosa pontual e isótropa no vácuo, emitindo em todas as direções ondas esféricas. Aplicando o princípio de conservação de energia, mostre que a amplitude das ondas varia com o inverso do quadrado da distância.
5. Quatro ondas eletromagnéticas são representadas pelas expressões abaixo, nas quais os coeficientes E^0 são reais e a fase α é escrita explicitamente:

Onda 1: $\vec{E}_1=\vec{e}_x E_1^0 e^{i(kz-\omega t)}$ $\vec{B}_1=\vec{e}_y E_1^0 e^{i(kz-\omega t)}$

Onda 2: $\vec{E}_2=\vec{e}_y E_2^0 e^{i(kz-\omega t+\alpha)}$ $\vec{B}_2=-\vec{e}_x E_2^0 e^{i(kz-\omega t+\alpha)}$

Onda 3: $\vec{E}_3=\vec{e}_x E_3^0 e^{i(kz-\omega t+\alpha)}$ $\vec{B}_3=\vec{e}_y E_3^0 e^{i(kz-\omega t+\alpha)}$

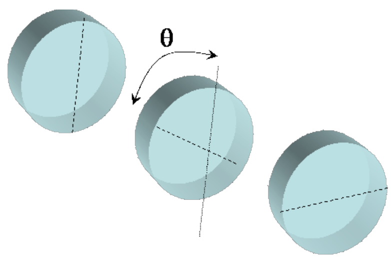
Onda 4: $\vec{E}_4=\vec{e}_x E_1^0 e^{i(-kz-\omega t)}$ $\vec{B}_4=-\vec{e}_y E_1^0 e^{i(-kz-\omega t)}$

a) Calcule a média temporal do vetor de Poynting $\langle\vec{S}\rangle$ para a superposição das ondas 1 e 2. Mostre que esta quantidade é justamente a soma de $\langle\vec{S}\rangle$ para as ondas tomadas separadamente. Porquê?

b) Calcule $\langle\vec{S}\rangle$ para a superposição das ondas 1 e 3. Compare com o resultado da parte a) e explique a diferença.

c) Calcule $\langle\vec{S}\rangle$ para a superposição das ondas 1 e 4. Interprete o resultado. Calcule a densidade de energia dependente do tempo $u(t)$. Obtenha as contribuições elétrica e magnética separadamente e mostre que elas oscilam no espaço e no tempo, mas estão fora de fase.

7. Considere três polarizadores como dispostos abaixo. O primeiro e o último estão com seus eixos cruzados (perpendiculares), enquanto que o segundo faz um ângulo θ com o eixo do primeiro. Se a luz natural de intensidade I_o incide sobre este sistema, mostre que a intensidade transmitida será $I=\frac{I_0}{2}\cos^2\theta\cdot sen^2\theta$.



8.1 Describe completely the state of polarization of each of the following waves:

(a) $\vec{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{i}}E_0 \cos(kz - \omega t) - \hat{\mathbf{j}}E_0 \cos(kz - \omega t)$

(b) $\vec{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{i}}E_0 \sin 2\pi(z/\lambda - \nu t) - \hat{\mathbf{j}}E_0 \sin 2\pi(z/\lambda - \nu t)$

(c) $\vec{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{i}}E_0 \sin(\omega t - kz) + \hat{\mathbf{j}}E_0 \sin(\omega t - kz - \pi/4)$

(d) $\vec{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{i}}E_0 \cos(\omega t - kz) + \hat{\mathbf{j}}E_0 \cos(\omega t - kz + \pi/2)$.

8.2 Consider the disturbance given by the expression $\vec{\mathbf{E}}(z, t) = [\hat{\mathbf{i}} \cos \omega t + \hat{\mathbf{j}} \cos(\omega t - \pi/2)]E_0 \sin kz$. What kind of wave is it? Draw a rough sketch showing its main features.

8.3 Analytically, show that the superposition of an $\mathscr{R}$- and an $\mathscr{L}$-state having different amplitudes will yield an $\mathscr{E}$-state, as shown in Fig. 8.8. What must ε be to duplicate that figure?

8.4 Write an expression for a $\mathscr{P}$-state lightwave of angular frequency ω and amplitude E_0 propagating along the x-axis with its plane of vibration at an angle of 25° to the xy-plane. The disturbance is zero at $t = 0$ and $x = 0$.

8.5* Write an expression for a $\mathscr{P}$-state lightwave of angular frequency ω and amplitude E_0 propagating along a line in the xy-plane at 45° to the x-axis and having its plane of vibration corresponding to the xy-plane. At $t = 0$, $y = 0$, and $x = 0$ the field is zero.

8.6 Write an expression for an $\mathscr{R}$-state lightwave of frequency ω propagating in the positive x-direction such that at $t = 0$ and $x = 0$ the $\vec{\mathbf{E}}$-field points in the negative z-direction.

8.70 An optical filter can be described by a Jones matrix

$$\begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \cos \alpha \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin \alpha & \sin^2 \alpha \end{bmatrix}$$

(a) Obtain the form of the emerging beam when the incident light is plane poloarized at angle θ to the horizontal (see Problem 8.52).

(b) Deduce from the result of part (a) the nature of the filter.

(c) Confirm your deduction above with at least one other test.

8.71* Two linear optical filters have Jones matrices

$$\mathscr{A}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix}$$

and
$$\mathscr{A}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\pi/4} \begin{bmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{bmatrix}.$$

Identify these filters.

8.72* A liquid cell containing an optically active sugar solution has a Jones matix given by

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1+\sqrt{3} & -1+\sqrt{3} \\ 1-\sqrt{3} & 1+\sqrt{3} \end{bmatrix}$$

(a) Determine the polarization of the emerging light if the incident beam is a horizontal $\mathscr{P}$-state.

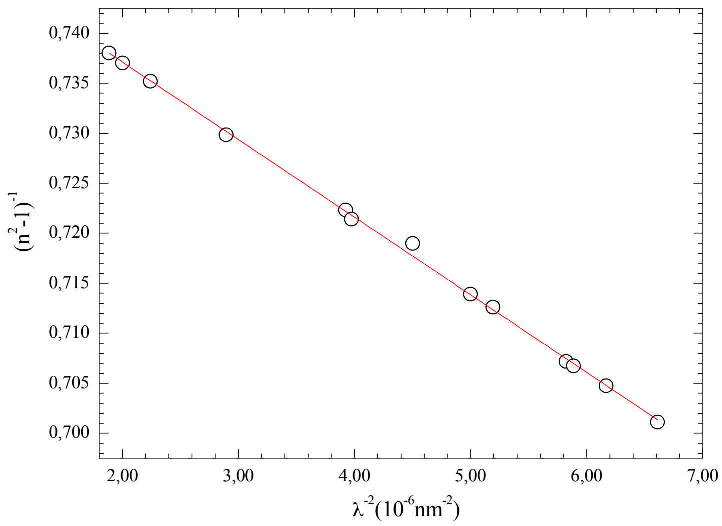
(b) Determine the polarization of the emerging light if the incident beam is a vertical $\mathscr{P}$-state.

(c) Determine the angle of rotation produced by the optically active material.

LISTA 6

1. Mostre que a equação de dispersão $n^2(\omega) = 1 + \frac{Nq_0^2}{\epsilon_0}\left(\frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2}\right)$ pode ser escrita como $(n^2 - 1)^{-1} = -C\lambda^{-2} + C\lambda_0^{-2}$ onde $C = 4\pi^2 c^2 \epsilon_0 \frac{m_e}{Nq_e^2}$.

2. Um estudante realizou a medição do índice de refração de um certo material para vários comprimentos de onda. Ao plotar os dados de $(n^2 - 1)^{-1}$ vs λ^{-2} ele encontrou a curva abaixo que ajustada à uma reta forneceu como intercepto o valor de 0,7527 e inclinação de -7759 nm^2. Encontre os valores de C e λ_0. Compare com o valor esperado para C e discutas as possíveis fontes de disparidades.



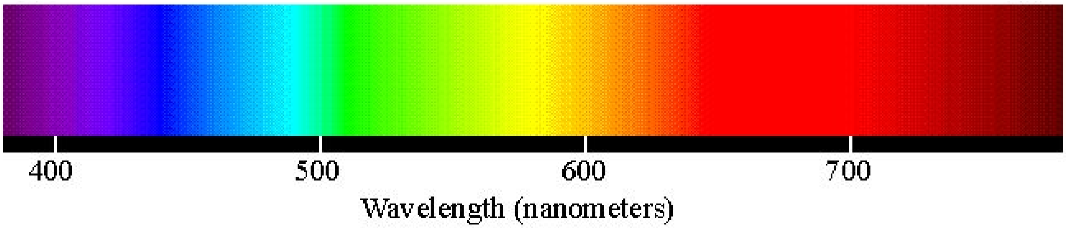
Exercício 2

3. Uma onda eletromagnética plana incide normalmente na interface entre dois meios dielétricos. Estabeleça a condição sobre os índices de refração que forneça intensidades refletidas e transmitidas iguais. Este é um bom modo prático de construir um beam-spliter 50-50?

4. Um feixe de luz incide normalmente do ar (n_1=1) em uma placa plana de espessura h constituída por meio dielétrico transparente com índice de refração n_2. A luz passa através da placa e entra em um terceiro meio de extensão infinita com índice de refração n_3. Encontre a condição para retro-reflexão nula para o primeiro meio.

5. Considere o exemplo anterior para o caso de n_3=1,5 (vidro), calculando o coeficiente de reflexão como função de h.

6. Utilizando as equações de Fresnel e a condição para retro-reflexão nula num filme fino, explique fisicamente as diferenças observadas entre uma bolha de sabão simetrica em equilibrio (direita) e outra instantes após iniciar a explosão (esquerda). Use a escala do espectro eletromagnético caso ache necessário.



Exercicio 6

3.38* A plane, harmonic, linearly polarized light wave has an electric field intensity given by

$$E_z = E_0 \cos \pi \, 10^{15}\left(t - \frac{x}{0.65c}\right)$$

while traveling in a piece of glass. Find

(a) The frequency of the light.

(b) Its wavelength.

(c) The index of refraction of the glass.

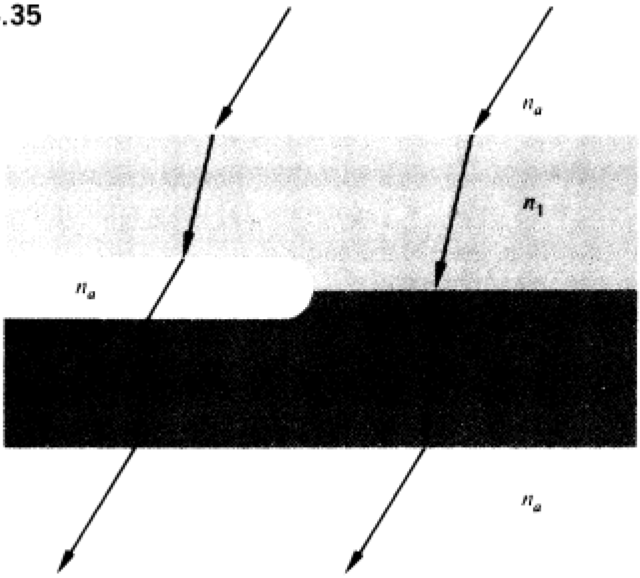
3.39* What is the speed of light in diamond if the index of refraction is 2.42?

3.40* Given that the wavelength of a lightwave in vacuum is 540 nm, what will it be in water, where $n = 1.33$?

3.41* Determine the index of refraction of a medium if it is to reduce the speed of light by 10% as compared to its speed in vacuum?

4.35* Show that the two rays that enter the system in Fig. P.4.35 par allel to each other emerge from it being parallel.

Figure P.4.35



4.38 Suppose a lightwave that is linearly polarized in the plane-of-incidence impinges at 30° on a crown-glass ($n_g = 1.52$) plate in air. Compute the appropriate amplitude reflection and transmission coefficients at the interface. Compare your results with Fig. 4.39.

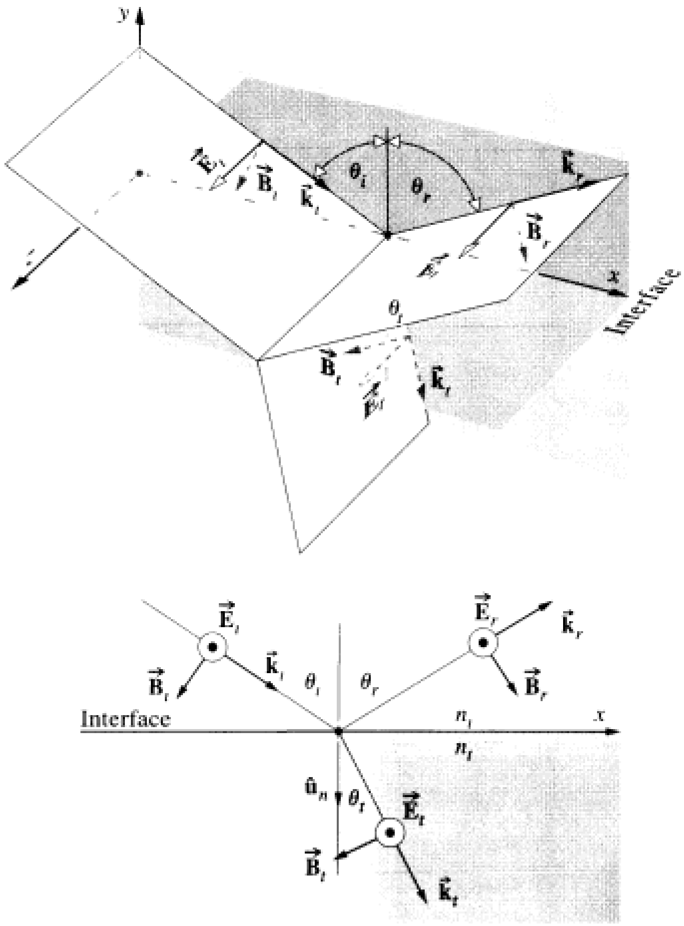


Figure 4.39 An incoming wave whose $\vec{\mathbf{E}}$-field is normal to the plane-of-incidence.

3.42 If the speed of light (the phase speed) in Fabulite ($SrTiO_3$) is 1.245×10^8 m/s, what is its index of refraction?

3.43* What is the distance that yellow light travels in water (where $n = 1.33$) in 1.00 s?

3.44* A 500-nm lightwave in vacuum enters a glass plate of index 1.60 and propagates perpendicularly across it. How many waves span the glass if it's 1.00 cm thick?

3.45* Yellow light from a sodium lamp ($\lambda_0 = 589$ nm) traverses a

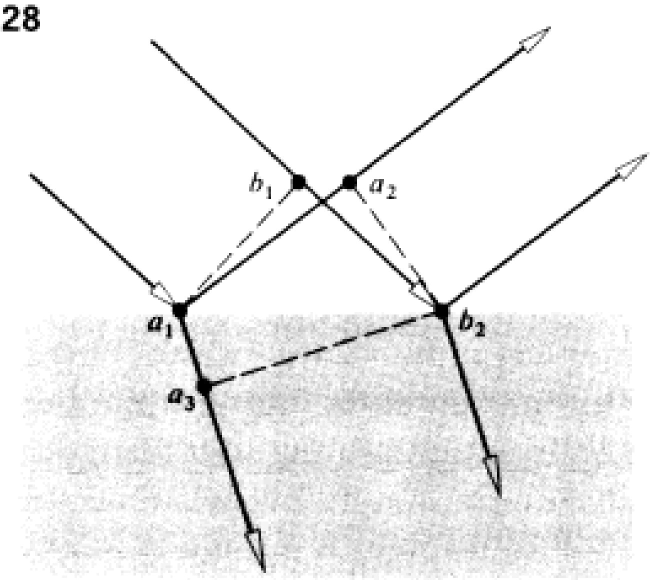
f it

led

t_1.

4.28 Making use of the ideas of equal transit times between corresponding points and the orthogonality of rays and wavefronts, derive the law of reflection and Snell's Law. The ray diagram of Fig. P.4.28 should be helpful.

Figure P.4.28



4.29 Starting with Snell's Law, prove that the vector refraction equation has the form

$$n_t\hat{\mathbf{k}}_t - n_i\hat{\mathbf{k}}_i = (n_t \cos\theta_t - n_i \cos\theta_i)\hat{\mathbf{u}}_n \qquad [4.7]$$

4.30 Derive a vector expression equivalent to the Law of Reflection. As before, let the normal go from the incident to the transmitting medium, even though it obviously doesn't really matter.

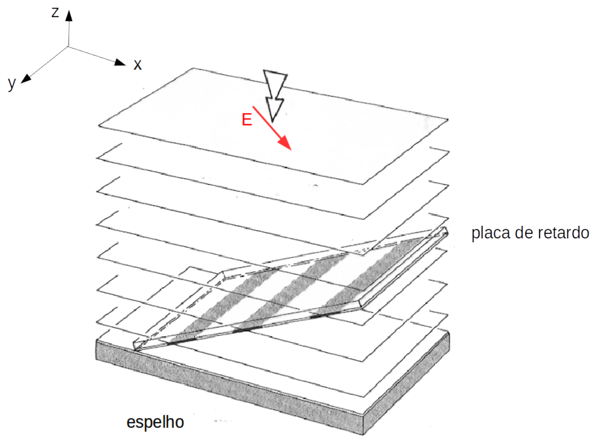
4.31 In the case of reflection from a planar surface, use Fermat's Principle to prove that the incident and reflected rays share a common plane with the normal $\hat{\mathbf{u}}_n$, namely, the plane-of-incidence.

4.32* Derive the Law of Reflection, $\theta_i = \theta_r$, by using the calculus to minimize the transit time, as required by Fermat's Principle.

<u>LISTA 7</u>

1. Uma ferramenta amplamente usada para medida de comprimentos de onda da luz em espectroscopia é a rede de difração, que consiste em um grande número de linhas ou fendas igualmente espaçadas em uma superfície plana. Explique qual o padrão de interferência produzido por uma grade de difração arbitrária, deduzindo as expressões correspondentas aos máximos e mínimos.

2. Investigue o formato do padrão de interferência do experimento de Wiener para uma onda incidente normal da superfície refletora polarizada à +45º no plano do espelho refletor e considerando a placa de retardo como região de interferência.



Exercício 2.

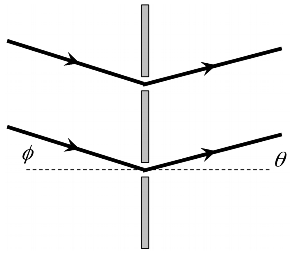
3. A luz de uma lâmpada de sódio incide em uma rede de difração com 1200 linhas por milímetro. Em que ângulo as duas linhas amarelas (chamadas de linhas D do sódio) em 589,0 e 589,59 nm serão vistas em primeira ordem?

4. Qual a mínima diferença de caminho óptico que produzirá uma diferença de fase de π para luz com λ=800; 500 e 633 nm?

5. Um experimento de interferência de fenda dupla é montado em uma câmara na qual é possível fazer vácuo. Usando luz de um laser de He-Ne, um padrão de interferência é observado quando a câmara esta aberta ao ar. O que ocorre com as franjas de interferência quando é feito vácuo na câmara?

6. Um filme de ar no formato de uma cunha é feito colocando um pequeno pedaço de papel entre as bordas de duas placas planas de vidro. Luz com comprimento de onda de 700 nm incide normalmente nas placas de vidro e são observadas franjas de interferência por reflexão. (a) A primeira franja próxima ao ponto de contato entre as placa é escura ou brilhante? Porquê? (b) Se há cinco franjas escuras por centímetro, qual é o ângulo da cunha?

7. Luz incide formando um ângulo ϕ com a normal em um plano vertical que contém duas fendas de separação d (vide figura). Mostre que os máximos de interferência estão localizados em ângulos θ_m dados por $sen\theta_m + sen\phi = m\lambda / d$



Exercício 7

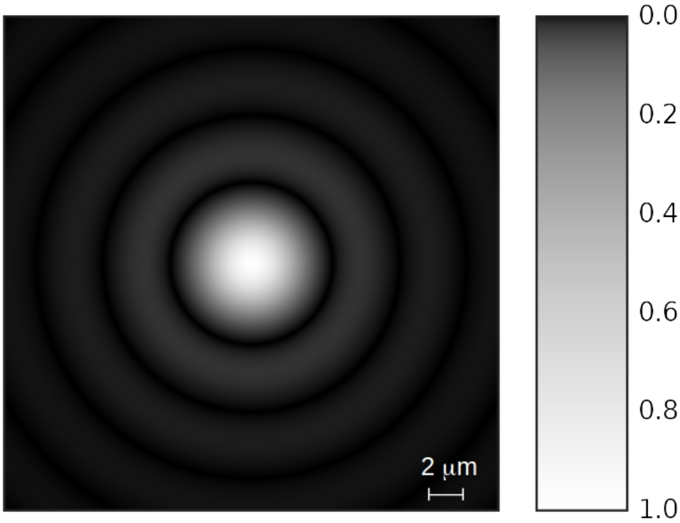
8. A medida da distância até a Lua é rotineiramente feita através de pulsos curtos de laser e da medida do tempo que eles levam para refletir na Lua. Um pulso é disparado da Terra. Para enviá-lo o pulso é expandido para que preencha a abertura de um telescópio de 15 cm de diâmetro. Considerando que a única causa da abertura do feixe ao longo do caminho seja a difração, qual será a largura do mesmo ao atingir a Lua, a 3,82 x 10^5 km de distância usando luz de λ =500 nm?

9. De acordo com o critério de Rayleigh dois objetos estão no limite de resolução quando o máximo central de difração de um coincide com o primeiro mínimo do outro. Nesse caso, a separação angular é dada por $\Delta\theta_R = 1{,}22\lambda / d$, onde d é o diametro da abertura que a luz atravessa. Demonstre essa expressão e aplique ao caso de uma pessoa que olha um objeto a 20 m de distância (pupila com 4,00 mm de diametro de λ = 500 nm). Qual a menor distância que ela é capaz de resolver?

10. Um “compac disc” (cd) contém quatro camadas: a primeira consiste no rótulo, conhecida como camada adesiva; a segunda é uma camada de acrílico, que contém os dados propriamente ditos e constitui-se por um conjunto de trilhas que servem para guiar o feixe laser na leitura dos dados. a terceira é uma camada reflexiva composta de alumínio e, finalmente, uma quarta, chamada de camada plástica, feita de policarbonato. Com base nestas informações, explique o que é observado na figura ao lado.

Exercício 10.

11. Um determinado sistema de microscopia óptica utiliza-se de um laser e objetiva de 100x de aumento para a sua operação. A principal etapa do procedimento de alinhamento deste sistema envolve observar um padrão de difração simétrico ao focalizar o laser sob uma superfície plana com esta objetiva, como na figura abaixo. Qual o comprimento de onda do laser?



Exercício 11.