

CAPÍTULO 2 – NATUREZA E PROPAGAÇÃO DA LUZ

(*) Capítulo 33 do Livro Texto

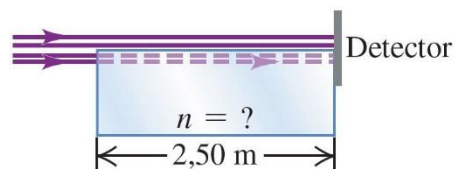
2ª LISTA DE EXERCÍCIOS

1- Exercícios

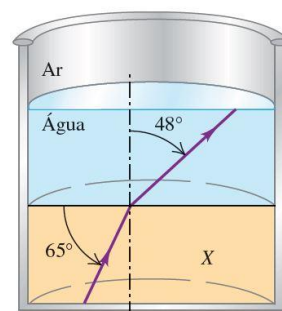
1.1 - Reflexão e refração

1- (Exercício 7 – Livro Texto) Um feixe de luz paralelo se propaga no ar e forma um ângulo de $47,5^\circ$ com a superfície de uma placa de vidro que possui índice de refração igual a 1,66. (a) Qual é o ângulo entre a parte do feixe refletida e a superfície do vidro? (b) Qual é o ângulo entre a parte refratada e a superfície do vidro?

2- (Exercício 8 – Livro Texto) Um feixe de laser atravessa a superfície de um bloco de material transparente (veja a Figura ao lado). Metade do feixe atinge diretamente um detector, enquanto a outra metade atravessa o bloco antes de atingir o detector. O atraso entre a chegada dos dois feixes no detector é de 6,25 ns. Qual é o índice de refração desse material?



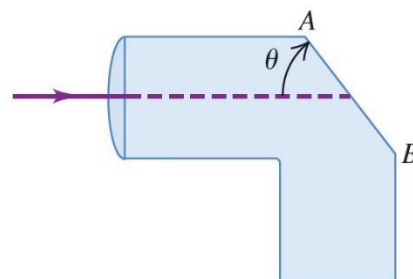
3- (Exercício 11 – Livro Texto) Como mostra a Figura ao lado, uma camada de água cobre uma placa do material X em um recipiente. Um raio de luz deslocando-se para cima segue o caminho indicado. Usando a informação na figura, encontre (a) o índice de refração do material X e (b) o ângulo que a luz forma com a normal no ar.



4- (Exercício 14 – Livro Texto) Um raio de luz atravessando a água incide sobre uma interface com um pedaço de vidro plano. O comprimento de onda da luz na água é 726 nm e seu comprimento de onda no vidro é 544 nm. Se o raio na água forma um ângulo de 56° com a normal à interface, que ângulo o raio refratado no vidro forma com a normal?

1.2 - Reflexão interna total

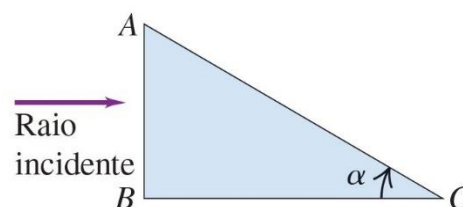
5- (Exercício 15 – Livro Texto) Tubo de luz. A luz entra em um tubo sólido feito de plástico que possui um índice de refração igual a 1,60. A luz se desloca paralelamente à parte superior do tubo (Figura ao lado). Você deseja cortar a face AB de modo que toda a luz seja refletida de volta para dentro do tubo depois de atingir essa face. (a) Qual é o maior ângulo θ possível se o tubo está no ar? (b) Se o tubo for imerso em água, cujo índice de refração é 1,33, qual é o maior ângulo θ possível?



6- (Exercício 17 – Livro Texto) O ângulo crítico para a reflexão interna total em uma interface líquido-ar é $42,5^\circ$. (a) Se um raio de luz atravessando o líquido possui um ângulo de incidência na interface de 35° , que ângulo o raio refratado no ar forma com a normal? (b) Se um raio de luz viajando no ar possui um ângulo de incidência na interface de 35° , que ângulo o raio refratado no líquido forma com a normal?

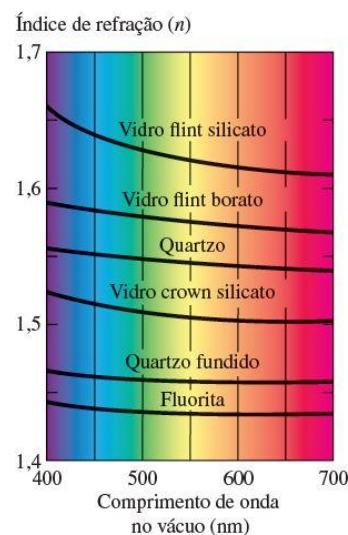
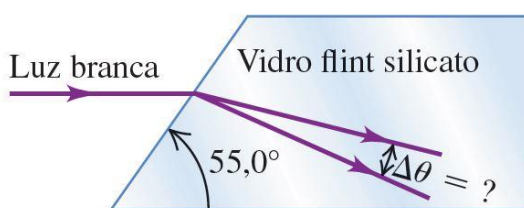
7- (Exercício 20 – Livro Texto) No final da série de óperas de Wagner, O anel dos Nibelungos, Brunhilda tira o anel de ouro do dedo de Siegfried e o arremessa dentro do rio Reno, onde o anel submerge até o fundo. Supondo que o anel fosse pequeno o bastante comparado à profundidade do rio para ser considerado um ponto e que o Reno tenha 10 m de profundidade no ponto em que o anel foi jogado, qual é a área do maior círculo na superfície da água em que a luz do anel poderia escapar da água?

8- (Exercício 21 – Livro Texto) A luz incide na direção da normal na face AB de um prisma de vidro de índice de refração 1,52, como mostra a Figura ao lado. Encontre o maior valor que o ângulo α pode ter para que nenhuma luz seja refratada na face AC do prisma se (a) o prisma estiver imerso no ar e (b) o prisma estiver imerso na água.



1.3 – Dispersão

9- (Exercício 23 – Livro Texto) Um estreito feixe de luz branca atinge uma face de uma placa de vidro flint silicato. A luz se desloca paralelamente às duas faces contíguas, como mostra a Figura abaixo. Para a luz transmitida dentro do vidro, por qual ângulo $\Delta\theta$ a parte do espectro visível entre 400 nm e 700 nm é dispersada? (Consulte o gráfico ao lado.)



1.4 - Polarização

10- (Exercício 26 – Livro Texto) (a) Em que ângulo a partir da horizontal o sol está se sua luz refletida na superfície de um lago tranquilo for completamente polarizada? (b) Qual é o plano do vetor de campo elétrico na luz refletida?

11- (Exercício 33 – Livro Texto) Luz não polarizada de intensidade $20,0 \text{ W/cm}^2$ incide sobre dois filtros polarizadores. O eixo do primeiro filtro forma um ângulo de 25° no sentido anti-horário a partir da

vertical (vista na direção em que a luz está se deslocando), e o eixo do segundo filtro está a 62° no sentido anti-horário a partir da vertical. Qual é a intensidade da luz depois de passar pelo segundo polarizador?

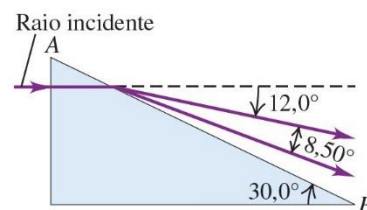
1.5 - Espalhamento da luz

12- (Exercício 35 – Livro Texto) Um feixe de luz branca passa por ar de densidade uniforme. Se a intensidade da luz espalhada no meio da região verde ($\lambda_G = 532 \text{ nm}$) do espectro visível é I , encontre a intensidade (em função de I) da luz espalhada no meio (a) da região vermelha ($\lambda_R = 685 \text{ nm}$) do espectro e (b) da região violeta ($\lambda_V = 415 \text{ nm}$) do espectro.

2 - Problemas

12- (Exercício 37 – Livro Texto) **Ultrassonografia do coração:** Os médicos usam ondas de som de alta frequência ($f = 1\text{-}5 \text{ MHz}$), chamadas ultrassom, para visualizar órgãos internos. A velocidade dessas ondas é 1.480 m/s no músculo e 344 m/s no ar. **Definimos o índice de refração de um material para ondas sonoras como a relação entre a velocidade do som no ar e a velocidade do som no material.** A lei de Snell, então, se aplica à refração das ondas sonoras. (a) Em que ângulo em relação à normal um feixe de ultrassom entra no coração se ele sai do pulmão em um ângulo de $9,73^\circ$ em relação à normal à parede do coração? (Considere que a velocidade do som no pulmão é 344 m/s .) (b) Qual é o ângulo crítico para as ondas sonoras no ar incidentes no músculo?

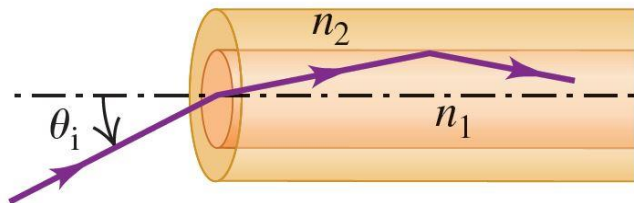
13- (Exercício 40 – Livro Texto) Um raio de luz no ar incide sobre o prisma de ângulo reto mostrado na Figura ao lado. O ângulo do prisma em B é 30° e o raio possui dois comprimentos de onda diferentes. Quando emerge na face AB, o raio se divide em dois raios diferentes com um ângulo de $8,5^\circ$ entre si. Calcule o índice de refração do prisma para cada um dos dois comprimentos de onda.



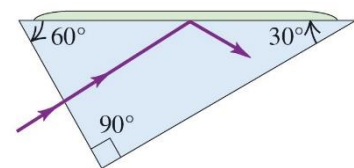
14- (Exercício 41 – Livro Texto) Um raio de luz viajando em um bloco de vidro ($n=1,52$) incide na superfície superior em um ângulo de $57,2^\circ$ com a normal no vidro. Se uma camada de óleo for colocada sobre a superfície do vidro, o raio é totalmente refletido. Qual é o índice de refração máximo possível do óleo?

15- (Exercício 43 – Livro Texto) Uma placa de vidro com espessura de $2,50 \text{ mm}$ e índice de refração de $1,40$ é colocada entre uma tela e uma fonte de luz puntiforme de comprimento de onda igual a 540 nm (no vácuo). A distância entre a fonte e a tela é de $1,80 \text{ cm}$. Quantos comprimentos de onda existem entre a tela e a fonte?

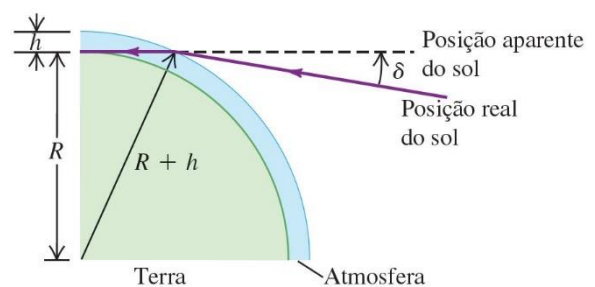
16- (Exercício 46 – Livro Texto) As fibras óticas são construídas com um núcleo cilíndrico revestido por um material protetor. Os materiais mais comumente utilizados são sílica pura ($n_2 = 1,450$) para o revestimento e sílica banhada com germânio ($n_1 = 1,465$) para o núcleo. (a) Qual é o ângulo crítico θ_{crit} para a luz viajando no núcleo e refletindo na interface com o material de revestimento? (b) A abertura numérica (NA) é definida como o ângulo de incidência θ_i na extremidade plana do cabo para o qual a luz incide na interface núcleo-revestimento no ângulo θ_{crit} (Figura ao lado). Mostre que $\text{sen } \theta_i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. (c) Qual é o valor de θ_i para $n_1 = 1,465$ e $n_2 = 1,450$?



17- (Exercício 50 – Livro Texto) Um feixe de luz incide normalmente sobre uma das faces menores de um prisma com ângulos de 30° , 60° e 90° (Figura ao lado). Uma gota de líquido é colocada sobre a hipotenusa do prisma. Sabendo que o índice de refração do prisma é $1,56$, qual é o maior índice de refração que o líquido deve ter para que o feixe seja totalmente refletido?



18- (Exercício 51 – Livro Texto) Quando o sol nasce ou se põe, ele parece estar no horizonte, mas na realidade ele está abaixo do horizonte. A explicação para esse aparente paradoxo é que a luz se curva ligeiramente quando penetra na atmosfera terrestre, como indicado na Figura ao lado. Como temos a percepção de que a luz se propaga sempre em linha reta, intuimos que ela provenha de um ponto situado em uma posição aparente que forma um ângulo δ acima da posição real do sol. (a) Suponha, para simplificar, que a atmosfera tenha uma densidade uniforme e, portanto, um índice de refração n constante, e que ela se estenda até uma altura h acima da superfície terrestre, onde se interrompe abruptamente. Mostre que o ângulo δ é dado por

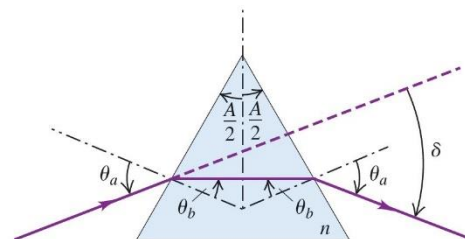


(a) Suponha, para simplificar, que a atmosfera tenha uma densidade uniforme e, portanto, um índice de refração n constante, e que ela se estenda até uma altura h acima da superfície terrestre, onde se interrompe abruptamente. Mostre que o ângulo δ é dado por

$$\delta = \arcsen\left(\frac{nR}{R+h}\right) - \arcsen\left(\frac{R}{R+h}\right)$$

onde $R = 6.378$ km é o raio da Terra. (b) Calcule δ usando $n = 1,0003$ e $h = 20$ km. Como esse resultado se compara com o raio angular do sol, que é aproximadamente igual a um quarto de grau? (Na verdade, um raio de luz do sol se curva gradualmente, e não abruptamente, visto que o índice de refração da atmosfera varia gradualmente com a altura.)

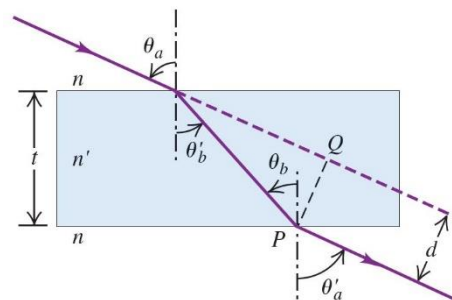
19- (Exercício 53 – Livro Texto) **Ângulo de desvio:** O ângulo de incidência θ_a , mostrado na Figura ao lado, é escolhido de modo que a luz passe simetricamente através do prisma, cujo índice de refração é n e o ângulo do vértice é A . (a) Mostre que o ângulo de desvio δ (o ângulo entre a direção do raio incidente e a direção do raio emergente) é dado por



$$\text{sen}\left(\frac{A + \delta}{2}\right) = n \text{sen}\frac{A}{2}$$

(Quando a luz passa simetricamente, como indicado, o ângulo do desvio é mínimo.) (b) Use o resultado do item (a) para determinar o ângulo do desvio para um raio luminoso que passa simetricamente através de um prisma com três ângulos iguais ($A = 60^\circ$) e $n = 1,52$. (c) Um certo vidro possui índice de refração igual a 1,61 para a luz vermelha (700 nm) e 1,66 para o violeta (400 nm). Sabendo que os raios dessas duas cores passam simetricamente como descrito no item (a) e considerando $A = 60^\circ$, calcule a diferença entre os ângulos de desvio desses dois raios.

20- (Exercício 54 – Livro Texto) Um raio de luz propagando-se no ar incide com um ângulo θ_a sobre a superfície superior de uma placa transparente (Figura ao lado), sendo suas duas superfícies planas e paralelas. (a) Mostre que $\theta_a = \theta_a'$. (b) Prove que isso é verdade para qualquer número de placas paralelas diferentes. (c) Demonstre que o deslocamento lateral d do raio emergente é dado pela relação



$$d = t \frac{\text{sen}(\theta_a - \theta_b')}{\cos \theta'}$$

onde t é a espessura da placa. (d) Um raio de luz incide com um ângulo de 66° sobre a superfície superior de uma placa de vidro com espessura de 2,40 cm e índice de refração igual a 1,80. O meio dos dois lados da placa é o ar. Calcule o deslocamento lateral entre os raios incidente e emergente.

21- (Exercício 59 – Livro Texto) Um feixe de luz propagando-se horizontalmente apresenta um componente não polarizado com intensidade I_0 e um componente polarizado com intensidade I_p . O plano de polarização do componente polarizado forma com a vertical um ângulo igual a θ . A Figura ao lado é um gráfico da intensidade total I_{total} após a luz passar por um polarizador em função do ângulo α que o eixo do polarizador forma com a vertical. (a) Qual é a orientação do componente polarizado (ou seja, qual é o ângulo θ)? (b) Quais são os valores de I_0 e de I_p ?

