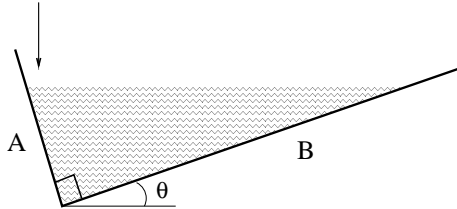


1. A figura abaixo mostra um raio sendo refletido nas duas superfícies perpendiculares, *A* e *B*, do recipiente preenchido com um material transparente de índice de refração *n*. Com que ângulo em relação à vertical o raio sai do material?



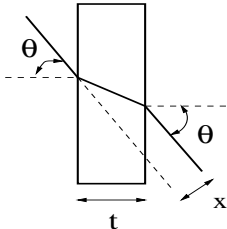
2. Mostre que um raio de luz incidente sobre a superfície de uma lâmina de vidro, de espessura *t*, emerge na face oposta paralelamente à direção inicial, mas deslocada lateralmente, como mostra a figura. Além disso, mostre que o desvio vale

$$x = t \sin \theta \left( 1 - \frac{\cos \theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \right)$$

e que, para pequenos ângulos de incidência  $\theta$ , este deslocamento se reduz a

$$x = t\theta \frac{n-1}{n}, \quad \theta \ll 1$$

onde *n* é o índice de refração e  $\theta$  é medido em radianos.



3. Ondas oceânicas movendo-se a  $4 \text{ m/s}$  aproximam-se de uma praia num ângulo de  $30^\circ$  com a normal. Suponha que a profundidade da água varie abruptamente e que a velocidade das ondas caia para  $3 \text{ m/s}$ . a) Próximo à praia, qual é o ângulo  $\theta$  entre a direção do movimento ondulatório e a normal? b) Explique por que a maioria das ondas chega na direção normal à costa, embora, a grandes distâncias, elas se aproximem em diversos ângulos. Sugestão: admita a mesma Lei de Refração da luz.

4. Uma moeda está no fundo de uma piscina cuja profundidade é *d* e índice de refração *n*. a) Qual o raio de curvatura de uma superfície plana? b) Mostre que os raios luminosos próximos à normal parecem vir de um ponto  $d_a = d/n$  abaixo da superfície. Esta distância é a profundidade aparente da piscina. c) Se usarmos apenas um olho para observar a moeda, o que ocorre?

5. Uma fibra óptica consiste num núcleo de vidro (índice de refração  $n_1$ ) circundado por uma película (índice de refração  $n_2 < n_1$ ). Suponha um feixe de luz entrando na fibra, proveniente do ar, num ângulo  $\theta$  com o eixo da fibra. (a) Mostre que

o maior valor possível de  $\theta$  para o qual o raio pode se propagar na fibra é dado por  $\theta = \sin^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ . (b) Suponha que os índices de refração de vidro e da película sejam 1.58 e 1.53, respectivamente, e calcule o valor deste ângulo.

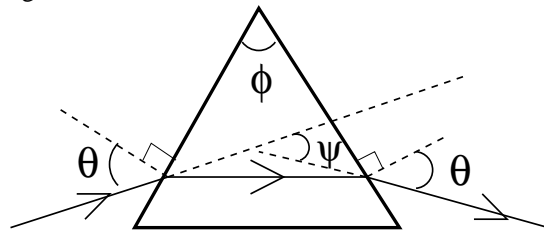
6. Um raio luminoso incide sobre um cubo de vidro segundo um ângulo  $\phi$  com a normal à superfície horizontal do material. Mostre que o valor mínimo do índice de refração do vidro, para que ocorra reflexão interna total na face vertical, é  $n = \sqrt{1 + \sin^2 \phi}$ .

7. Um pequeno objeto está a 10 cm de um espelho plano. Se você estiver atrás do objeto, a 30 cm do espelho, e olhar a imagem do objeto, a que distância você deverá focalizar seus olhos?

8. Na figura abaixo, um raio incide em uma face de um prisma triangular. O ângulo de incidência  $\theta$  é escolhido de modo que o raio emergente também faz o mesmo ângulo  $\theta$  com a normal na outra face. Mostre que o índice de refração *n* do prisma é dado por

$$n = \frac{\sin \frac{\psi + \phi}{2}}{\sin(\phi/2)}$$

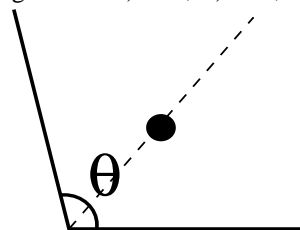
onde  $\phi$  é o ângulo do vértice do prisma e  $\psi$  o ângulo de desvio (sob estas condições, o ângulo de desvio tem seu valor mínimo).



9. Você está de pé em frente a um grande espelho plano, contemplando sua imagem. Se você se mover em direção ao espelho com velocidade *v*, com que velocidade se moverá sua imagem em direção a você? Dê esta velocidade: (a) no seu sistema de referência e (b) no sistema de referência da sala em relação ao qual o espelho está em repouso.

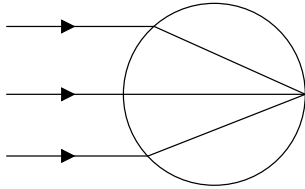
10. Você coloca uma fonte puntual de luz *S* a uma distância *d* de uma tela *A*. De quanto variará a intensidade no centro da tela se você colocar um espelho *M* a uma distância *d* atrás da fonte? Sugestão: use a variação da intensidade com a distância a partir de uma fonte puntual.

11. Considere um ponto colocado na bissetriz, entre os dois espelhos da figura abaixo. Quantas imagens podem ser observadas se o ângulo for a)  $90^\circ$ , b)  $45^\circ$ , c)  $60^\circ$  e d)  $120^\circ$ ?



12. Um espelho côncavo, cujo raio de curvatura é 35 cm, está posicionado de modo que a imagem (direita) da face de um homem seja 2.5 vezes o tamanho de sua face. A que distância está o espelho da sua face?

**13.** Um feixe de raios paralelos (e paraxiais) incide sobre uma esfera sólida transparente (índice de refração  $n$ ). *a)* Quanto deve valer  $n$  para a imagem ser produzida na borda da esfera como mostra a figura? *b)* E para ser produzida no centro da esfera?



**14.** Um pequeno objeto linear, de comprimento  $L$ , está colocado *horizontalmente*, ao longo do eixo de um espelho esférico a uma distância  $o$  do espelho. *a)* Mostre que sua imagem tem um comprimento  $L' = Lf^2/(o - f)^2$ . *b)* Mostre que a amplificação longitudinal  $m' (= L'/L)$  é igual a  $m^2$ , onde  $m$  é a amplificação transversal. Sugestão:  $L \ll 1$ .

**15.** *a)* Um ponto luminoso move-se com velocidade  $v_o$  em direção a um espelho esférico, ao longo de seu eixo. Mostre que a imagem deste objeto puntual está se movendo com velocidade dada por  $v_{s'} = -f^2 v_s / (s - f)^2$ . *b)* Explique o que ocorre quando  $s \rightarrow f$  e o que significa o sinal negativo. *c)* Suponha que o espelho seja côncavo, com  $r = 15$  cm e que  $v_s = 5$  cm/s. Determine a velocidade da imagem quando o objeto estiver longe ( $s = 30$  cm), próximo ao ponto focal ( $s = 8$  cm) e bem próximo ao espelho ( $s = 0.1$  cm).

**16.** Duas lentes convergentes, de distâncias focais  $f_1$  e  $f_2$ , estão colocadas a uma distância  $f_1 + f_2$  uma da outra. Disposi-

tivos como este são chamados de alargadores de feixes e são seguidamente empregados para aumentar os diâmetros de feixes luminosos provenientes de lasers. *a)* Sendo  $W_1$  a largura do feixe incidente, mostre que a largura do feixe emergente é  $W_2 = (f_2/f_1)W_1$ . *b)* Mostre como se pode obter um alargador de feixe combinando uma lente convergente e uma divergente. A relação entre as larguras dos feixes se modifica?

**17.** Você focaliza uma imagem do Sol sobre uma tela, usando uma lente delgada, cuja distância focal é de 20 cm. Qual é o diâmetro da imagem?

**18.** Uma lente convergente com distância focal de +20 cm está localizada 10 cm à esquerda de uma lente divergente com distância focal de -15 cm. Se um objeto real estiver localizado 40 cm à esquerda da primeira lente, localize e descreva completamente a imagem formada.

**19.** Um objeto é colocado a 1 m de distância em frente a uma lente convergente, de distância focal 0.5 m, a qual se encontra a 2 m de distância, em frente a um espelho plano. *a)* Onde está a imagem final, medida a partir da lente, que seria vista por alguém olhando para o espelho, através da lente? *b)* A imagem final é real ou virtual? *c)* A imagem final é direita ou invertida? *d)* Qual é a amplificação transversal linear?

**20.** Um objeto luminoso está a uma distância  $D$  de um anteparo. *a)* Mostre que uma lente convergente de distância focal  $f$  pode formar uma imagem real do objeto no anteparo, quando colocada em duas posições separadas de  $d = \sqrt{D(D - 4f)}$ . *b)* Mostre que a relação entre as dimensões das duas imagens para essas duas posições da lente é igual a  $(D - d)^2 / (D + d)^2$ . Este é o *Método de Bessel* para determinar o foco de uma lente.

---

**RESPOSTAS:** 1. - 2. - 3. *a)*  $22^\circ$  4. - 5. *b)*  $0.4 \text{ rad}$  6. - 7.  $40 \text{ cm}$  8. - 9. *a)*  $2v$  *b)*  $v$  10.  $I_0/9$  11. *a)* 3 *b)* 7 *c)* 5 *d)* 2  
12.  $10.5 \text{ cm}$  13. - 14. - 15. *c)*  $-0.55 \text{ cm/s}$ ;  $-1125 \text{ cm/s}$ ;  $-5.14 \text{ cm/s}$  16. - 17.  $0.18 \text{ cm}$  18.  $-30 \text{ cm}$  19.  $0.6 \text{ m}$  20. -