

4302212 – Física IV

Sexta lista de exercícios

1. Considere a superfície plana refletora que consta na Figura 1, sobre a qual incidem dois raios luminosos paralelos 1 e 2, que pertencem a uma mesma onda, com um ângulo θ_1 em relação à normal desta superfície.

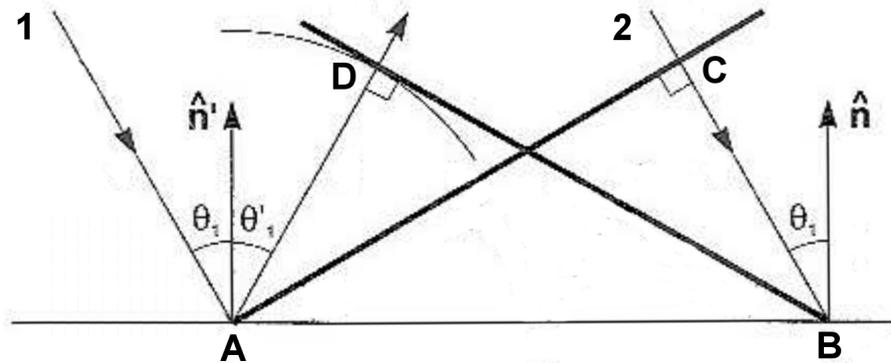


Figura 1

- (a) Admitindo que o segmento \overline{AC} representa uma frente de onda e que A é o ponto onde o raio 1 toca a superfície no instante t_0 , por que é válido afirmar que, quando o meio é homogêneo, a distância que o raio 2 percorre, entre t_0 e o instante em que ele atinge o ponto B, é exatamente a mesma percorrida pelo raio 1 (refletido) entre os pontos A e D?
- (b) Qual é a explicação física que nos permite afirmar que $\sphericalangle ABC$ e $\sphericalangle ADC$ são dois ângulos retos?
- (c) Prove que o ângulo θ_2 com que esses dois raios são refletidos é igual a θ_1 .
2. Considere que você tem dois meios homogêneos, com índices de refração n_1 e n_2 , separados por uma interface plana. Considere também que dois raios luminosos 1

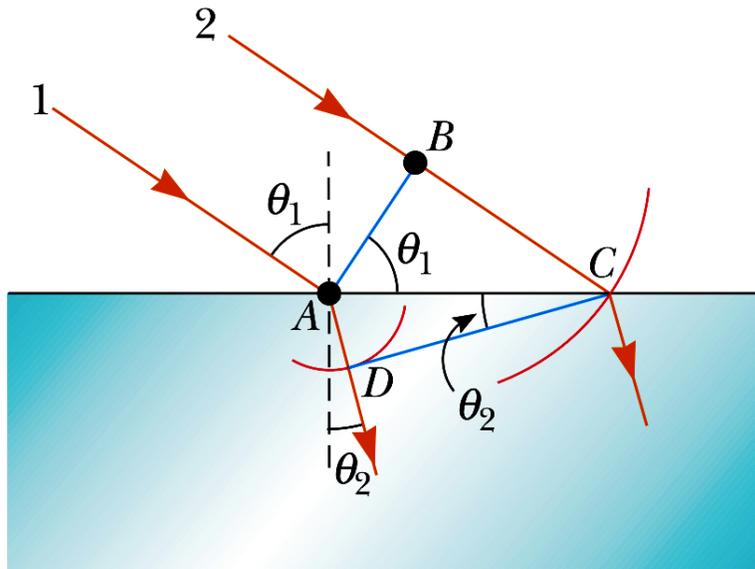


Figura 2

e 2, que são paralelos e pertencem a uma mesma onda, cheguem a essa interface fazendo um ângulo θ_1 em relação à normal conforme mostra a Figura 2.

- (a) Admitindo que o segmento \overline{AB} representa uma frente de onda no primeiro meio, prove que o ângulo $\sphericalangle ABC$ é igual a θ_1 . Aqui, A e C são os pontos nos quais os raios 1 e 2 atingem a interface respectivamente.
- (b) Admitindo agora que o segmento \overline{CD} representa uma frente de onda no segundo meio, mostre que $\sphericalangle ACD$ é igual ao ângulo de refração θ_2 .
- (c) Dado que o tempo gasto para o raio 1 (já refratado) ir de A até D foi exatamente o mesmo que o raio 2 levou para ir de B até C , mostre que

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 .$$

3. Tome a situação exposta na Figura 3 que está na próxima página, onde dois espelhos planos M_1 e M_2 formam um ângulo de 120° . Considerando que um raio luminoso incide sobre M_1 formando um ângulo de 65° em relação à normal, encontre a nova

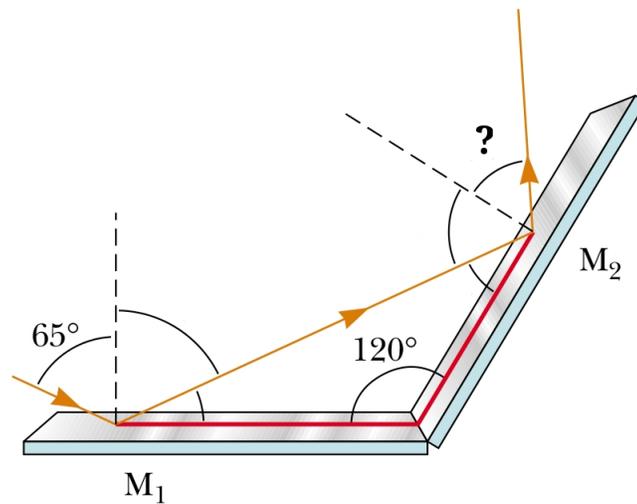


Figura 3

direção deste raio após ser refletido por M_2 .

(a) E se, ao invés disso, este raio luminoso incidir sobre M_1 com um ângulo $0^\circ < \theta < 90^\circ$ arbitrário e com os espelhos formando um outro ângulo $0^\circ < \phi < 90^\circ$ qualquer entre eles: qual seria a nova direção α tomada pelo raio depois da sua reflexão por M_2 ? Aliás, neste novo caso, uma situação onde $\theta = 40^\circ$, $\phi = 100^\circ$ e $\alpha = 70^\circ$ seria possível?

4. Quando um raio incide sobre a superfície plana refletora que separa dois meios, o ângulo de incidência θ_{1B} para o qual o raio refletido é perpendicular ao refratado se chama *ângulo de Brewster*.

(a) Usando a Lei de Snell-Descartes, encontre a expressão de θ_{1B} em função do índice de refração relativo n_{12} do meio 1 em relação ao meio 2.

(b) Calcule θ_{1B} para as interfaces ar/água e ar/vidro comum.

5. Suponha que, para uma pessoa de 1,75 m de altura, a distância entre os seus olhos e o chão sobre o qual ela está de pé é de 1,60 m. Para que essa pessoa seja capaz

de ver a sua imagem completa num espelho plano, que está preso na porta de um armário,

(a) Qual é a altura mínima que esse espelho deve possuir?

(b) A que distância do chão deve estar a borda inferior do espelho?

6. Considere que você tenha dois espelhos planos que, inicialmente, formam um ângulo de 90° entre eles e que as suas faces refletoras estão voltadas para um mesmo quadrante.

(a) Se você colocar um objeto arbitrário neste quadrante, quantas imagens serão formadas por este jogo de espelhos? Como você explica isso em termos de um diagrama de formação de imagens?

(b) E se, ao invés de 90° , esses espelhos formassem um ângulo de 45° na região onde as suas faces refletoras estão voltadas uma para a outra: quantas imagens seriam formadas neste caso?

(c) Com base nos resultados que você obteve nos dois itens anteriores, é possível generalizar esta situação para uma abertura angular qualquer? Por quê?

7. Durante a reconstituição de um crime, um perito da polícia científica anota (cuidadosamente) não apenas a posição V da vítima, mas as posições T_1 e T_2 de duas testemunhas que afirmam ter visto, através de um espelho plano, a vítima ser atingida por um tiro. No entanto:

I. a testemunha, que estava em T_1 , diz não ter visto de onde partiu o tiro; e

II. a outra testemunha, que estava na posição T_2 , afirma não apenas que pode reconhecer o atirador, mas que o tiro foi dado (no mesmo corredor onde a vítima estava) a uma distância de 2,0 m entre V e posição A do atirador.

Independente do que as testemunhas alegam ter visto, o perito confirma que o tiro partiu de uma distância entre 1,5 m e 2,0 m da vítima. No entanto, o advogado de defesa do acusado contesta a testemunha que estava em T_2 dizendo que, desta posição, ela não teria condições de ver o seu cliente na posição indicada pelo perito.

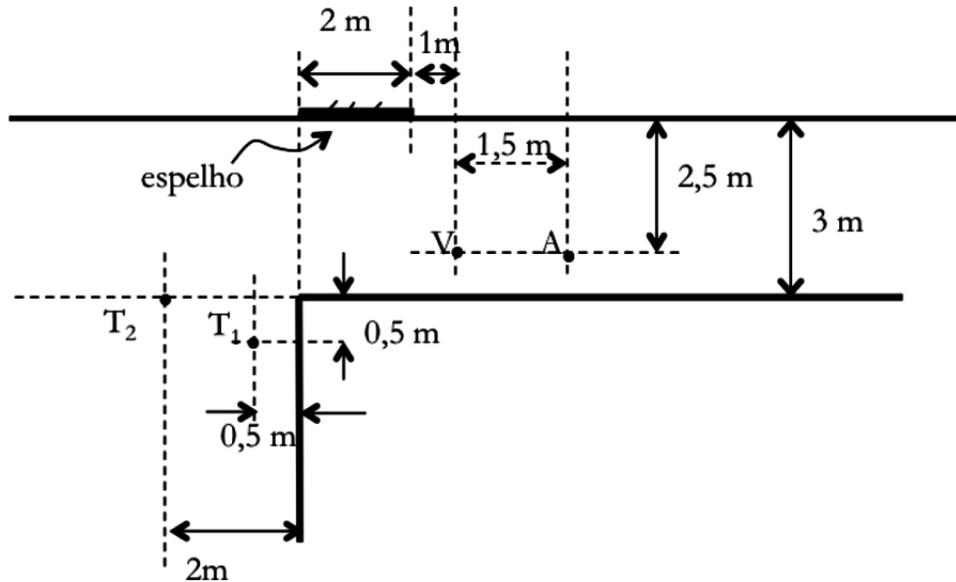


Figura 4

- (a) Com base no esboço que consta na Figura 4 feito pelo perito, faça um diagrama (em escala) e determine o campo de visão de cada testemunha através do espelho.
- (b) De acordo com este diagrama, o depoimento dado pela testemunha que estava em T_2 pode realmente ser refutado pela defesa? Por quê?
8. Considere uma lâmina de vidro com índice de refração n_2 , cujas faces planas paralelas estão a distância h uma da outra.
- (a) Considerando que um raio de luz incide, com um ângulo θ_1 , sobre uma destas faces conforme ilustra a Figura 5 a seguir, mostre que o raio que é retransmitido (ao ambiente externo de índice de refração n_1) pela lâmina é *paralelo* ao incidente.

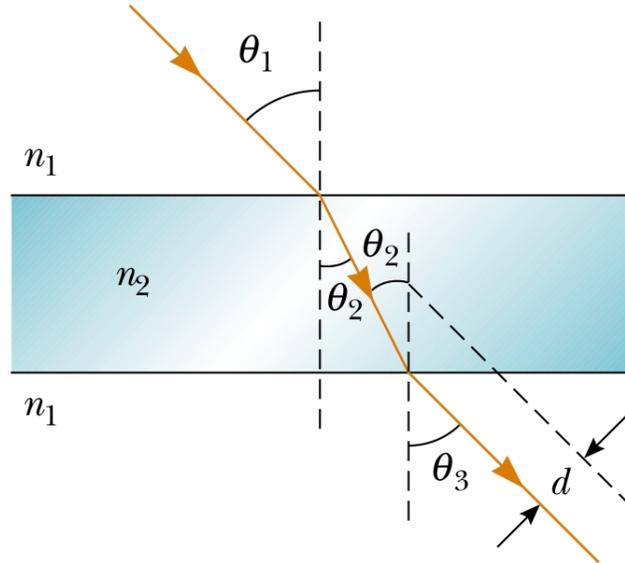


Figura 5

(b) Calcule o *desvio lateral* (ou seja, a distância perpendicular d entre o raio transmitido e o prolongamento do raio incidente) em função das variáveis h , θ_1 e do índice de refração relativo n_{12} .

9. Seja um prisma de um ângulo de abertura α e índice de refração n , sobre o qual um raio luminoso incide (sobre uma das faces que definem α) com um ângulo de incidência θ_1 , de acordo com o que mostra a Figura 6 abaixo. Mostre que, nas situ-

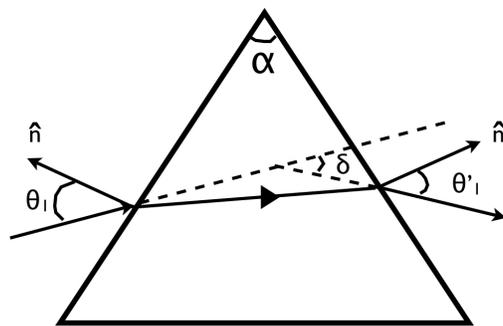


Figura 6

ações onde α , $\theta_1 \ll 1$, o desvio angular (entre as direções dos raios emergente e incidente) é dado por $\delta = (n - 1)\alpha$.

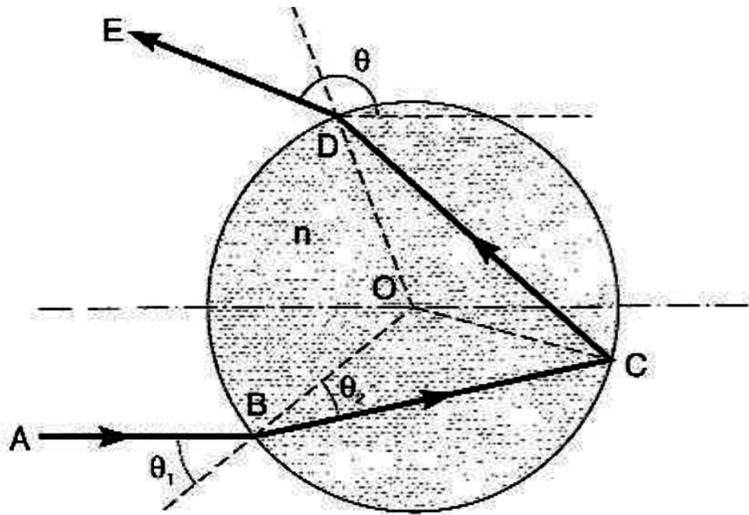


Figura 7

10. Quando um raio de sol penetra numa gota de água, ele sofre reflexões múltiplas internas acompanhadas de transmissões parciais para fora. Considere o raio luminoso $ABCDE$ que consta na Figura 7, o qual sofre uma única reflexão interna antes de emergir da gota.

(a) Assumindo que a gota é uma esfera com índice de refração n , mostre que o desvio θ sofrido pelo trecho DE deste raio, o qual emerge em relação à direção de incidência, é dado por

$$\theta = \pi + 2\theta_1 - 4\theta_2,$$

onde θ_2 é o ângulo de refração que está associado ao ângulo de incidência θ_1 .

(b) Sabendo que o *arco-íris primário* é formado quando esse desvio θ é mínimo, mostre que isso acontece para um ângulo de incidência

$$\sin \theta_{1R} = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

e calcule o valor deste ângulo para a luz amarela.