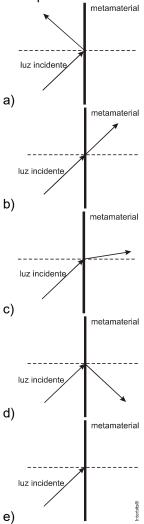
1. (Enem 2010) Um grupo de cientistas liderado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro metamaterial que apresenta valor negativo do índice de refração relativo para a luz visível. Denomina-se metamaterial um material óptico artificial, tridimensional, formado por pequenas estruturas menores do que o comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Esse material tem sido chamado de "canhoto".

Disponível em: http://inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 28 abr. 2010 (adaptado).

Considerando o comportamento atípico desse metamaterial, qual é a figura que representa a refração da luz ao passar do ar para esse meio?

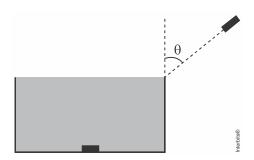


2. (Unicamp 2022)



Uma imagem capturada recentemente pela sonda *Perseverance* na superfície de Marte mostrou o que parece ser um arco-íris no céu daquele planeta. Na Terra, um arco-íris surge como resultado da decomposição da luz branca do Sol por refração nas gotículas quase esféricas de água, suspensas na atmosfera. Em Marte, contudo, não há chuva. Portanto, a origem do arco-íris ainda é controversa. Em relação ao fenômeno de formação do arco-íris na Terra, quando a luz solar incide em uma gotícula de água, é correto afirmar que

- a) o índice de refração da água para as diferentes cores da luz branca é <u>menor</u> do que o do ar; assim, no interior das gotículas, os raios de luz das diferentes cores se <u>aproximam</u> mais da reta normal à interface entre os meios de refração, quanto maior for o índice de refração corresponde àquela cor, na água.
- b) o índice de refração da água para as diferentes cores da luz branca é <u>menor</u> do que o do ar; assim, os raios de luz das diferentes cores, no interior das gotículas, se <u>afastam</u> mais da reta normal à interface entre os meios de refração, quanto maior for o índice de refração corresponde àquela cor, na água.
- c) o índice de refração da água para as diferentes cores da luz branca é <u>maior</u> do que o do ar; assim, os raios de luz das diferentes cores, no interior das gotículas, se <u>aproximam</u> mais da reta normal à interface entre os meios de refração, quanto maior for o índice de refração corresponde àquela cor, na água.
- d) o índice de refração da água para as diferentes cores da luz branca é <u>maior</u> do que o do ar; assim, os raios de luz das diferentes cores, no interior das gotículas, se <u>afastam</u> mais da reta normal à interface entre os meios de refração, quanto maior for o índice de refração corresponde àquela cor, na água.
- 3. (Fuvest 2016) Uma moeda está no centro do fundo de uma caixa d'água cilíndrica de 0,87 m de altura e base circular com 1,0 m de diâmetro, totalmente preenchida com água, como esquematizado na figura.



Se um feixe de luz *laser* incidir em uma direção que passa pela borda da caixa, fazendo um ângulo θ com a vertical, ele só poderá iluminar a moeda se

Note e adote:

Índice de refração da água: 1,4

 $n_1 \operatorname{sen}(\theta_1) = n_2 \operatorname{sen}(\theta_2)$

 $sen(20^\circ) = cos(70^\circ) = 0.35$

 $sen(30^\circ) = cos(60^\circ) = 0,50$

 $sen(45^{\circ}) = cos(45^{\circ}) = 0.70$

 $sen(60^\circ) = cos(30^\circ) = 0.87$

 $sen(70^\circ) = cos(20^\circ) = 0.94$

a) $\theta = 20^{\circ}$

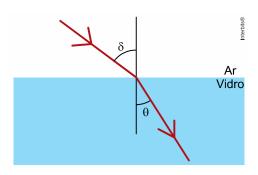
b) $\theta = 30^{\circ}$

c) $\theta = 45^{\circ}$

d) $\theta = 60^{\circ}$

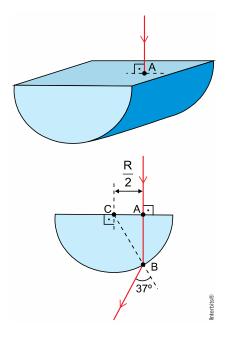
e) $\theta = 70^{\circ}$

4. (Fmj 2022) Um raio de luz monocromática se propaga no ar, cujo índice de refração absoluto é igual a 1,0, e incide na superfície de uma lâmina de vidro formando um ângulo δ com a reta normal à superfície. Ao penetrar no vidro, o raio passa a formar um ângulo θ com a reta normal.



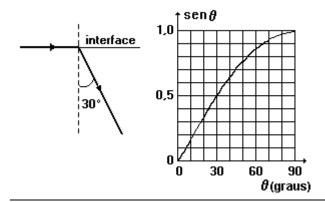
Sabendo que a luz se propaga no ar com velocidade de $3,00\times10^8$ m/s, que sen $\delta=0,80$ e sen $\theta=0,60$, a velocidade de propagação da luz no vidro que constitui a lâmina é

- a) $1,15 \times 10^8$ m/s.
- b) $1,80 \times 10^8$ m/s.
- c) $4,00 \times 10^8$ m/s.
- d) $1,40 \times 10^8$ m/s.
- e) $2,25 \times 10^8$ m/s.
- 5. (Unesp 2021) Um semicilindro circular reto de raio R está imerso no ar e é atingido por um raio de luz monocromática que incide perpendicularmente no ponto A de uma de suas faces planas. Após atravessá-lo, esse raio emerge pelo ponto B contido na superfície circular do semicilindro. As figuras indicam as duas situações.



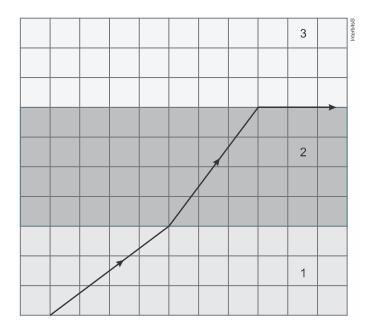
Considerando sen $37^{\circ} = 0.6$ e que o índice de refração absoluto do ar é $n_{Ar} = 1$, o índice de refração absoluto do material de que o semicilindro é feito é

- a) 1,2.
- b) 1,4.
- c) 1,6.
- d) 1,8.
- e) 2,0.
- 6. (Fuvest) Um raio rasante, de luz monocromática, passa de um meio transparente para outro, através de uma interface plana, e se retrata num ângulo de 30° com a normal, como mostra a figura adiante. Se o ângulo de incidência for reduzido para 30° com a normal, o raio refratado fará com a normal um ângulo de, aproximadamente:

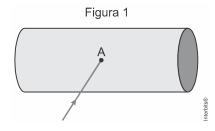


- a) 90°
- b) 60°
- c) 30°
- d) 15°
- e) 10°

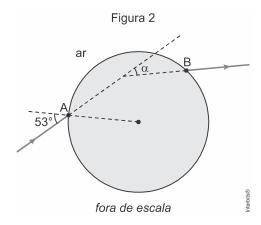
7. (Unifesp 2021) Três blocos em formato de paralelepípedo retângulo, numerados de 1 a 3, são empilhados conforme mostra a figura. Os blocos são feitos de substâncias transparentes, de índices de refração absolutos n_1, n_2 e n_3 , respectivamente. A figura mostra uma visão lateral desse empilhamento, uma malha quadriculada para referência e a trajetória de um raio de luz monocromática que segue paralela ao plano das faces exibidas.



- a) Sabendo que o índice de refração absoluto do meio 1 vale 1,5 e que a velocidade de propagação da luz no vácuo é $c = 3 \times 10^8$ m/s, determine a velocidade da luz no meio 1 e o índice de refração do meio 2.
- b) Observando o comportamento do raio de luz que, a partir do meio 2, dirige-se ao meio 3, responda se o meio 3 é mais refringente ou menos refringente que o meio 2 e, em seguida, determine o valor do índice de refração relativo do meio 3 em relação ao meio 2, no meio 2, no meio 2.
- 8. (Unifesp 2017) Para demonstrar o fenômeno da refração luminosa, um professor faz incidir um feixe monocromático de luz no ponto A da superfície lateral de um cilindro reto constituído de um material homogêneo e transparente, de índice de refração absoluto igual a 1,6 (figura 1).

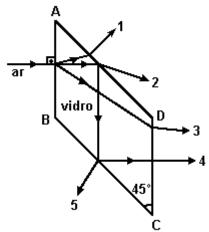


A figura 2 representa a secção transversal circular desse cilindro, que contém o plano de incidência do feixe de luz. Ao incidir no ponto A, o feixe atravessa o cilindro e emerge no ponto B, sofrendo um desvio angular α .



Sabendo que a velocidade da luz no vácuo é igual a 3×10^8 m/s, que o índice de refração absoluto do ar é igual a 1,0 e adotando sen $53^\circ = 0.8$, calcule:

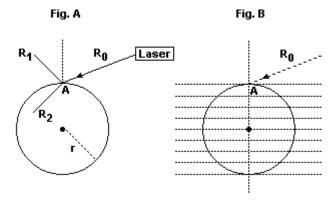
- a) a velocidade escalar do feixe luminoso, em m/s, no interior do cilindro.
- b) o desvio angular α , em graus, sofrido pelo feixe luminoso ao atravessar o cilindro.
- 9. (Unifesp) Um raio de luz monocromático, propagando-se no ar, incide perpendicularmente à face AB de um prisma de vidro, cuja secção reta é apresentada na figura. A face AB é paralela à DC e a face AD é paralela à BC.



Considerando que as faces DC e BC formam um ângulo de 45° e que o ângulo limite de refração para esse raio, quando se propaga do vidro para o ar, é 42°, o percurso que melhor representa a trajetória do raio de luz é

- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) 4.
- e) 5.

10. (Fuvest) Uma pequena esfera de material sólido e transparente é utilizada para produzir, a partir de um pulso de luz laser, vários outros pulsos. A esfera, de raio r=2,2cm, é espelhada, exceto em uma pequena região (ponto A).

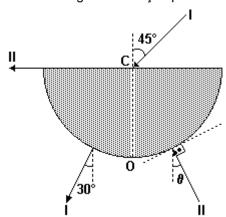


Um pulso de luz, de pequena duração, emitido pelo laser, segue a trajetória R_0 , incidindo em A com ângulo de incidência de 70° . Nesse ponto, o pulso é, em parte, refletido, prosseguindo numa trajetória R_1 , e, em parte, refratado, prosseguindo numa trajetória R_2 que penetra na esfera com um ângulo de 45° com a normal. Após reflexões sucessivas dentro da esfera, o pulso atinge a região A, sendo em parte, novamente refletido e refratado. E assim sucessivamente. Gera-se, então, uma série de pulsos de luz, com intensidades decrescentes, que saem da esfera por A, na mesma trajetória R_1 . Considere sen 70° =0,94; sen 45° =0,70. Nessas condições,

- 3 ,
- a) Represente, na figura B, toda a trajetória do pulso de luz dentro da esfera.
- b) Determine, em m/s, o valor V da velocidade de propagação da luz no interior da esfera.
- c) Determine, em segundos, a separação (temporal) Δt , entre dois pulsos sucessivos na trajetória R₁.

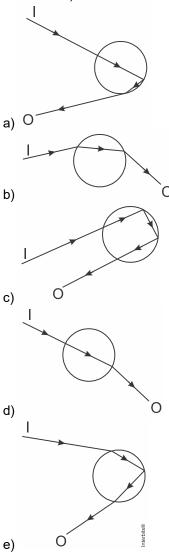
O índice de refração de um material é igual à razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse material.

11. (Fuvest) Um raio de luz I, no plano da folha, incide no ponto C do eixo de um semicilindro de plástico transparente, segundo um ângulo de 45° com a normal OC à face plana. O raio emerge pela superfície cilíndrica segundo um ângulo de 30° com a direção de OC. Um raio II incide perpendicularmente à superfície cilíndrica formando um ângulo θ com a direção OC e emerge com direção praticamente paralela à face plana. Podemos concluir que



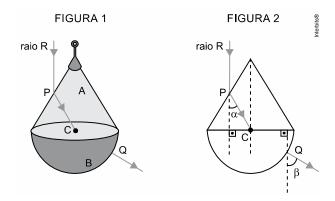
- a) $\dot{e} = 0^{\circ}$
- b) $\theta = 30^{\circ}$
- c) $\theta = 45^{\circ}$
- d) $\theta = 60^{\circ}$
- e) a situação proposta no enunciado não pode ocorrer
- 12. (Unifesp) O arco-íris resulta da dispersão da luz do Sol quando incide nas gotas praticamente esféricas da água da chuva. Assinale a alternativa que melhor representa a trajetória de um raio de luz em uma gota de água na condição

em que ocorre o arco-íris (I indica o raio incidente, vindo do Sol, o círculo representa a gota e O indica a posição do observador).

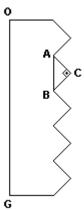


13. (Unifesp 2015) O pingente de um colar é constituído por duas peças, A e B, feitas de materiais homogêneos e transparentes, de índices de refração absolutos $n_A = 1,6 \cdot \sqrt{3}$ e $n_B = 1,6$. A peça A tem o formato de um cone reto e a peça B, de uma semiesfera.

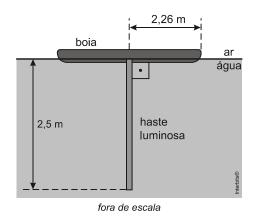
Um raio de luz monocromático R propaga-se pelo ar e incide, paralelamente ao eixo do cone, no ponto P da superfície cônica, passando a se propagar pelo material da peça A. Atinge o ponto C, no centro da base do cone, onde sofre nova refração, passando a propagar-se pelo material da peça B, emergindo do pingente no ponto Q da superfície esférica. Desde a entrada até a sua saída do pingente, esse raio propaga-se em um mesmo plano que contém o vértice da superfície cônica. A figura 1 representa o pingente pendurado verticalmente e em repouso e a figura 2, a intersecção do plano que contém o raio R com o pingente. As linhas tracejadas, indicadas na figura 2, são paralelas entre si e $\alpha=30^{\circ}$.



- a) Calcule o valor do ângulo $\,\beta\,$ indicado na figura 2, em graus.
- b) Considere que a peça B possa ser substituída por outra peça B', com o mesmo formato e com as mesmas dimensões, mas de maneira que o raio de luz vertical R sempre emerja do pingente pela superfície esférica. Qual o menor índice de refração do material de B' para que o raio R não emerja pela superfície cônica do pingente?
- 14. (Unicamp) Um tipo de sinalização utilizado em estradas e avenidas é o chamado olho-de-gato, o qual consiste na justaposição de vários prismas "retos" feitos de plástico, que refletem a luz incidente dos faróis dos automóveis.



- a) Reproduza o prisma ABC indicado na figura acima, e desenhe a trajetória de um raio de luz que incide perpendicularmente sobre a face OG e sofre reflexões totais nas superfícies AC e BC.
- b) Determine o mínimo valor do índice de refração do plástico, acima do qual o prisma funciona como um refletor perfeito (toda a luz que incide perpendicularmente à superfície OG é refletida). Considere o prisma no ar, onde o índice de refração vale 1,0.
- 15. (Unesp 2013) Uma haste luminosa de 2,5 m de comprimento está presa verticalmente a uma boia opaca circular de 2,26 m de raio, que flutua nas águas paradas e transparentes de uma piscina, como mostra a figura. Devido à presença da boia e ao fenômeno da reflexão total da luz, apenas uma parte da haste pode ser vista por observadores que estejam fora da água.



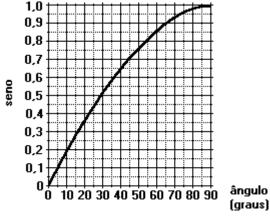
Considere que o índice de refração do ar seja 1,0, o da água da piscina $\frac{4}{3}$, sen 48,6° = 0,75 e tg 48,6° = 1,13. Um

observador que esteja fora da água poderá ver, no máximo, uma porcentagem do comprimento da haste igual a a) 70%.

- b) 60%.
- c) 50%.
- d) 20%.
- e) 40%.
- 16. (Enem 2012) Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranquilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe.

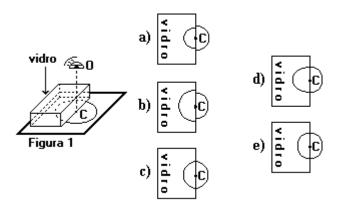
Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz

- a) refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- b) emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- c) espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.
- d) emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.
- e) refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.
- 17. (Unicamp) Um mergulhador, dentro do mar, vê a imagem do Sol nascendo numa direção que forma um ângulo agudo (ou seja, menor que 90°) com a vertical.
- a) Faça um desenho esquemática mostrando um raio de luz vindo do Sol ao nascer e o raio refratado. Represente também a posição aparente do Sol para o mergulhador.
- b) Sendo n = 1,33 $\approx \frac{4}{3}$ o índice de refração da água do mar, use o gráfico a seguir para calcular aproximadamente o ângulo entre o raio refratado e a vertical.

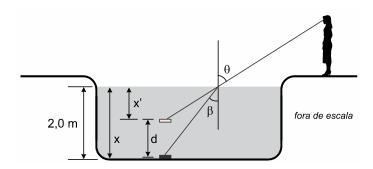


ângulo

colocada uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. A figura 1, a seguir mostra uma pessoa olhando para o círculo, com seu olho no eixo vertical OC. A alternativa que melhor representa o que a pessoa enxerga é:



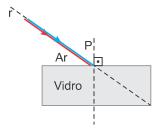
19. (Famerp 2018) Uma pessoa observa uma moeda no fundo de uma piscina que contém água até a altura de 2,0 m. Devido à refração, a pessoa vê a imagem da moeda acima da sua posição real, como ilustra a figura. Considere os índices de refração absolutos do ar e da água iguais a 1,0 e $\frac{4}{3}$, respectivamente.



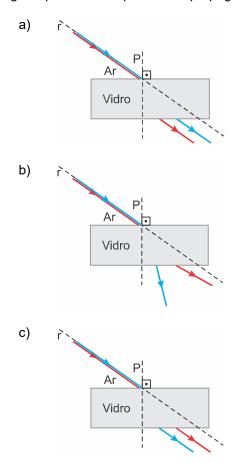
- a) Considerando sen $\theta = 0.80$, qual o valor do seno do ângulo β ?
- b) Determine a quantos centímetros acima da posição real a pessoa vê a imagem da moeda.
- 20. (Efomm 2022) Durante a inspeção de rotina em uma planta industrial, acidentalmente um funcionário deixa cair sua lanterna acesa em um tanque de 5,0 m de profundidade cheio de um fluido transparente. No fundo do tanque, a sua lanterna emite um feixe luminoso formando um pequeno ângulo θ com a vertical. O funcionário tem a impressão de que a profundidade em que se encontra a lanterna é de 3,4 m. Considerando as informações do texto e a aproximação de pequenos ângulos (dada por sen θ = tg θ = θ), o índice de refração do fluido no tanque é de:
- a) 1,05
- b) 1,21
- c) 1,28
- d) 1,39
- e) 1,47
- 21. (Fuvest) Um pássaro sobrevoa em linha reta e a baixa altitude uma piscina em cujo fundo se encontra uma pedra. Podemos afirmar que
- a) com a piscina cheia o pássaro poderá ver a pedra durante um intervalo de tempo maior do que se a piscina estivesse
- b) com a piscina cheia ou vazia o pássaro poderá ver a pedra durante o mesmo intervalo de tempo.
- c) o pássaro somente poderá ver a pedra enquanto estiver voando sobre a superfície da água.
- d) o pássaro, ao passar sobre a piscina, verá a pedra numa posição mais profunda do que aquela em que ela realmente se encontra.
- e) o pássaro nunca poderá ver a pedra.
- 22. (Uepg-pss 3 2020) Uma placa de vidro, cujo índice de refração é 1,5, possui uma espessura uniforme de 15 cm e

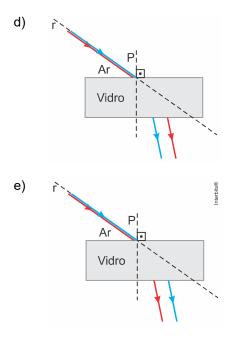
encontra-se no ar. Um raio de luz atinge a interface ar-vidro de maneira que o ângulo entre a direção de propagação do raio de luz e a direção da normal à interface é 30°. A partir dessas informações, assinale o que for correto.

- 01) As direções de propagação do raio de luz refletido na interface ar-vidro e do raio de luz refratado na interface vidroar são paralelas.
- 02) Para as condições descritas no enunciado, a distância que o raio de luz percorre no interior do vidro é 10 cm.
- 04) A velocidade de propagação do raio de luz no interior do vidro é 2×10^8 m/s.
- 08) O menor ângulo que a direção de propagação do raio de luz, no interior do vidro, faz com a direção da normal à interface ar–vidro é menor do que 30°.
- 23. (Unesp 2021) A figura representa um feixe formado por dois raios de luz monocromática, um azul e um vermelho, que se propagam juntos pelo ar em uma direção definida pela reta r e incidem, no ponto P, sobre uma lâmina de faces paralelas constituída de vidro homogêneo e transparente.

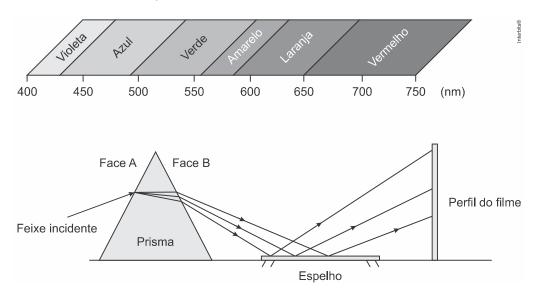


Após atravessarem a lâmina, os dois raios de luz emergem separados e voltam a se propagar pelo ar. Sendo n_A e n_V os índices de refração absolutos do vidro para as cores azul e vermelha, respectivamente, e sabendo que $n_A > n_V$, a figura que melhor representa a propagação desses raios pelo ar após emergirem da lâmina de vidro é:





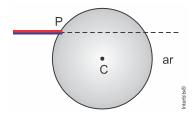
24. (Enem 2018) A figura representa um prisma óptico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face A, emerge na face B e, após ser refletido por um espelho, incide num filme para fotografia colorida, revelando três pontos.



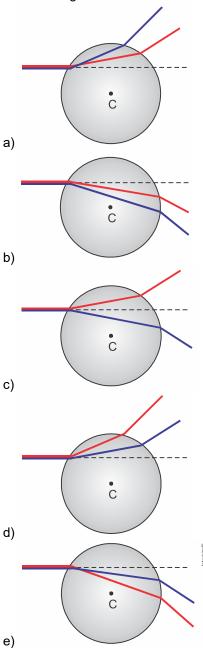
Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constatam-se as seguintes cores:

- a) Vermelha, verde, azul.
- b) Verde, vermelha, azul.
- c) Azul, verde, vermelha.
- d) Verde, azul, vermelha.
- e) Azul, vermelha, verde.

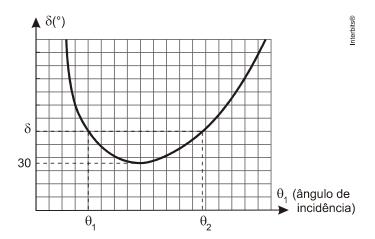
25. (Famerp 2017) Dois raios de luz monocromáticos provenientes do ar, um azul e o outro vermelho, incidem no ponto P da superfície de uma esfera maciça de centro C, paralelos um ao outro, na direção da linha tracejada indicada na figura. A esfera é feita de vidro transparente e homogêneo.



Se o índice de refração absoluto do vidro é maior para a cor azul do que para a vermelha e se não houve reflexão total dentro da esfera, a figura que representa corretamente a trajetória desses raios desde a sua incidência no ponto P até a sua emergência da esfera está indicada em

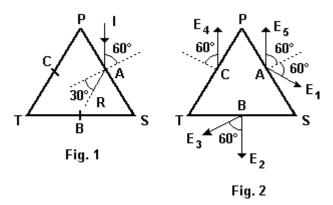


26. (Unesp) A figura representa o gráfico do desvio (δ) sofrido por um raio de luz monocromática que atravessa um prisma de vidro imerso no ar, de ângulo de refringência A = 50°, em função do ângulo de incidência θ_1 .



É dada a relação $\left(\delta\right)=\theta_1+\theta_2-A$, em que θ_1 e θ_2 são, respectivamente, os ângulos de incidência e de emergência do raio de luz ao atravessar o prisma (pelo princípio da reversibilidade dos raios de luz, é indiferente qual desses ângulos é de incidência ou de emergência, por isso há no gráfico dois ângulos de incidência para o mesmo desvio δ). Determine os ângulos de incidência $\left(\theta_1\right)$ e de emergência $\left(\theta_2\right)$ do prisma na situação de desvio mínimo, em que $\delta_{\text{mín}}=30^{\circ}$.

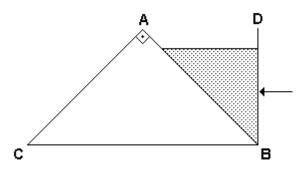
27. (Fuvest) Um raio monocromático de luz incide no ponto A de uma das faces de um prisma feito de vidro e imerso no ar. A figura 1 representa apenas o raio incidente I e o raio refratado R num plano normal às faces do prisma, cujas arestas são representadas pelos pontos P, S e T, formando um triângulo equilátero. Os pontos A, B e C também formam um triângulo equilátero e são, respectivamente, equidistantes de P e S, S e T, e T e P. Considere os raios E₁, E₂, E₃, E₄ e E₅, que se afastam do prisma representado na figura 2.



Podemos afirmar que os raios compatíveis com as reflexões e refrações sofridas pelo raio incidente I, no prisma, são:

- a) somente E3
- b) somente E₁ e E₃
- c) somente E₂ e E₅
- d) somente E₁, E₃ e E₄
- e) todos (E_1 , E_2 , E_3 , E_4 e E_5)

28. (Ita) Um prisma de vidro, de índice de refração $n=\sqrt{2}$, tem por secção normal um triângulo retângulo isósceles ABC no plano vertical. O volume de secção transversal ABD é mantido cheio de um líquido de índice de refração n'= $\sqrt{3}$. Um raio incide normalmente à face transparente da parede vertical BD e atravessa o líquido.

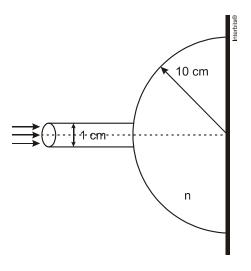


Considere as seguintes afirmações:

- I) O raio luminoso não penetrará no prisma.
- II) O ângulo de refração na face AB é de 45°.
- III) O raio emerge do prisma pela face AC com ângulo de refração de 45°.
- IV) O raio emergente definitivo é paralelo ao raio incidente em BD.

Das afirmativas mencionadas, é (são) correta (s):

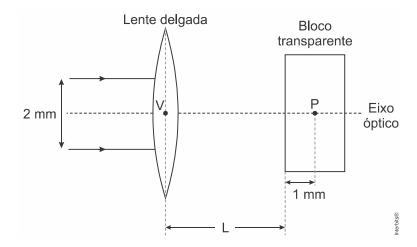
- a) Apenas I
- b) Apenas I e IV
- c) Apenas II e III
- d) Apenas III e IV
- e) II. III e IV
- 29. (Ita) No final de uma tarde de céu límpido, quando o sol está no horizonte, sua cor parece "avermelhada". A melhor explicação para esse belo fenômeno da natureza é que:
- a) o Sol está mais distante da Terra.
- b) a temperatura do Sol é menor no final da tarde.
- c) a atmosfera da Terra espalha comprimentos de ondas mais curtos, como por exemplo o da luz azul.
- d) a atmosfera da Terra absorve os comprimentos de onda azul e verde.
- e) a atmosfera da Terra difrata a luz emitida pelo Sol.
- 30. (Ita) Um hemisfério de vidro maciço de raio de 10 cm e índice de refração n = 3/2 tem sua face plana apoiada sobre uma parede, como ilustra a figura.



Um feixe colimado de luz de 1 cm de diâmetro incide sobre a face esférica, centrado na direção do eixo de simetria do hemisfério. Valendo-se das aproximações de ângulos pequenos, sen $\theta \approx \theta$ e tg $\theta \approx \theta$, o diâmetro do círculo de luz que se forma sobre a superfície da parede é de

- a) 1 cm.
- b) $\frac{2}{3}$ cm.
- c) $\frac{1}{2}$ cm.
- d) $\frac{1}{3}$ cm.
- e) $\frac{1}{10}$ cm.

31. (Ita 2020) Dois raios luminosos paralelos e simétricos em relação ao eixo óptico, interdistantes de 2 mm, devem ser focado sem um ponto P no interior de um bloco transparente, a 1 mm de sua superfície, conforme mostra a figura.



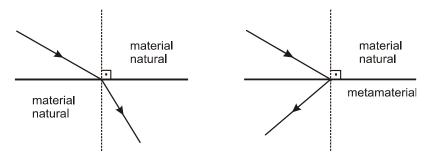
Para tal, utiliza-se uma lente delgada convergente com distância focal de 1 mm. Considerando que o bloco tem índice de refração $n = \sqrt{2}$, a distância L entre o vértice V da lente e a superfície do bloco deve ser ajustada para a) 1 mm.

- b) $\sqrt{2}/2$ mm.
- c) $(1-\sqrt{2}/2)$ mm.
- d) $\sqrt{3}/3$ mm.
- e) $(1-\sqrt{3}/3)$ mm.

Gabarito:

Resposta da questão 1:

Nos materiais naturais, quando ocorre incidência oblíqua da luz, os raios incidente e refratado estão em meios diferentes e em quadrantes opostos, definidos pela superfície e pela normal a essa superfície. No metamaterial, esses raios estão em meios diferentes, mas em quadrantes adjacentes.



Resposta da questão 2:

[C]

Para uma raio de luz branca que se propaga no ar e atinge uma gota, o ângulo de incidência é o mesmo para as cores componentes.

Então, de acordo com a lei de Snell:

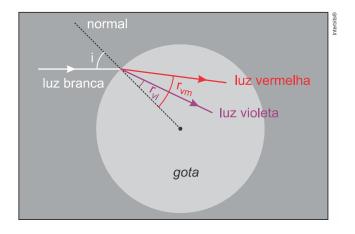
$$n_{ar} seni = n_{\acute{a}gua} senr \implies senr = \frac{n_{ar}}{n_{\acute{a}gua}} seni$$

Como r < 90° e o índice de refração da água é maior que o do ar para todas as cores, essa expressão mostra que o que o ângulo de refração é menor (o raio aproxima-se mais da normal) para a cor de maior índice de refração na

Para as diferentes cores do espectro visível, a ordem <u>crescente</u> de índice de refração é:

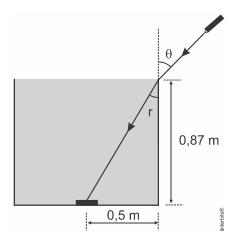
Vermelho Alaranjado Amarelo Verde Azul Anil **Violeta**

Portanto, essa é a mesma ordem de aproximação da normal, conforme a figura.



Resposta da questão 3:

A figura mostra o caminho seguido pelo feixe de laser.



$$tgr = \frac{0.5}{0.87} = \frac{\frac{1}{2}}{\sqrt{3}/2} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \implies r = 30^{\circ}.$$

Aplicando a lei de Snell:

$$n_{ar} sen \theta = n_{\acute{a}\acute{g}} sen 30^{\circ} \Rightarrow 1 \times sen \theta = 1, 4 \left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow sen \theta = 0,7 \Rightarrow$$

$$\theta = 45^{\circ}$$
.

Resposta da questão 4:

[E]

Pela lei de Snell, obtemos:

 $n_{ar} sen \delta = n_{vidro} sen \theta$

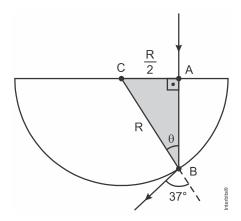
$$1 \cdot 0.8 = \frac{3 \cdot 10^8}{v_{vidro}} \cdot 0.6$$

$$\therefore v_{vidro} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Resposta da questão 5:

[A]

Da figura abaixo, obtemos:



$$sen\theta = \frac{R/2}{R} = \frac{1}{2}$$

Aplicando a lei de Snell, chegamos a:

 $n_{obj}\,sen\,\theta=n_{Ar}\,sen\,37^\circ$

$$n_{obj} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot 0.6$$

$$\therefore n_{obj} = 1,2$$

Resposta da questão 6:

[D]

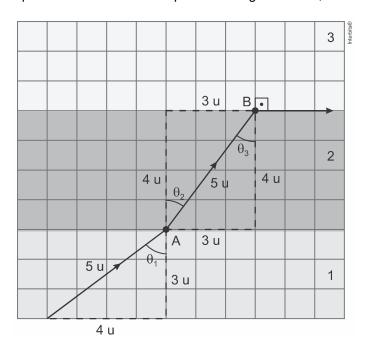
Resposta da questão 7:

a) Velocidade da luz no meio 1:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \Longrightarrow 1,5 = \frac{3 \cdot 10^8}{v_1}$$

$$\therefore v_1 = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Aplicando a lei de Snell no ponto A da figura abaixo, obtemos:



 $n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$

$$1.5 \cdot \frac{4}{5} = n_2 \cdot \frac{3}{5}$$

∴
$$n_2 = 2$$

b) Aplicando a lei de Snell agora no ponto B da figura, chegamos a: $n_2\,sen\,\theta_3=n_3\,sen\,90^\circ$

$$2\cdot\frac{3}{5}=n_3\cdot 1$$

$$\therefore$$
 $n_3 = 1,2$

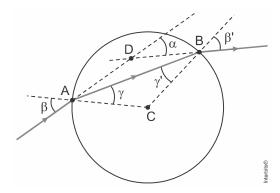
 $\label{eq:como} \text{Como } n_3 < n_2, \text{ o meio 3 \'e menos refringente que o meio 2}.$

Е

$$\frac{n_3}{n_2} = \frac{1,2}{2} = 0,6$$

Resposta da questão 8:

Considere a figura 2 do enunciado. Observe que foi acrescido à figura o segmento pontilhado \overline{BC} , sendo C o centro da seção circular.



Aplicando-se a Lei de Snell à refração pelo ponto A, tem-se que:

$$n_{ar}sen\beta = n_{cil}sen\gamma$$
 (1)

 $Como\ o\ triângulo\ ABC\ \acute{e}\ is\acute{o}sceles,\ pois\ \overline{AC}=\overline{CB}=R,\ sendo\ R\ o\ raio\ da\ seção\ transversal,\ conclui-se\ que:$

$$\gamma = \gamma'$$
 (2)

Aplicando-se a Lei de Snell para a refração através do ponto B, tem-se que:

$$n_{cil}sen\gamma' = n_{cil}sen\gamma = n_{ar}sen\beta'$$
 (3)

Da equação (1) e da segunda igualdade da equação (3), conclui-se que:

$$n_{ar}sen\beta = n_{ar}sen\beta'$$

$$\beta = \beta'$$
 (4)

Da figura 2, tem-se que:

$$\beta = D\hat{A}C e \beta' = D\hat{B}C$$
 (5)

Do triângulo ABD, conclui-se que:

$$\alpha = 180^{\circ} - B\hat{D}A = 180^{\circ} - (180^{\circ} - D\hat{A}B - D\hat{B}A)$$

$$\alpha = D\hat{A}B + D\hat{B}A$$

$$\alpha = (D\hat{A}C - \gamma) + (D\hat{B}C - \gamma)$$

$$\alpha = (\beta - \gamma) + (\beta - \gamma)$$

$$\alpha = 2(\beta - \gamma) \qquad (6)$$

a) Por definição: $n = \frac{c}{v}$, sendo n o índice de refração absoluto num determinado meio, c a velocidade de

propagação da luz no vácuo, e v a velocidade de propagação da luz no meio. Conclui-se que

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1,6} \cong 1.9 \times 10^8 \text{ m/s}$$

b) Da figura 2 conclui-se que
$$\beta = 53^{\circ}$$
.

Aplicando-se a Lei de Snell no feixe luminoso que passa pelo ponto A, tem-se que:

$$n_{ar}sen\beta=n_{cil}sen\gamma$$

$$1 \operatorname{sen53^{\circ}} = 1,6 \operatorname{sen}\gamma$$

$$sen \gamma = \frac{sen 53^{\circ}}{1,6} = \frac{0,8}{1,6} = \frac{1}{2}$$

$$\gamma=30^{\circ}$$

Substituindo os valores de $\beta=53^{\circ}$ e $\gamma=30^{\circ}$ na equação (6), tem-se que:

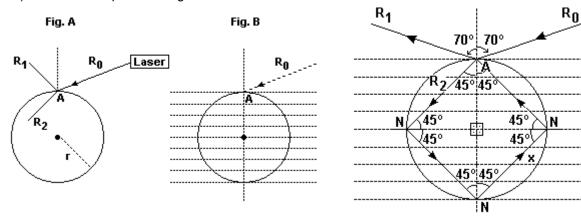
$$\alpha = 2 \times (53 - 30) = 2 \times 23 = \boxed{46^{\circ}}$$

Resposta da questão 9:

[D]

Resposta da questão 10:

a) Observe o esquema a seguir:



b)
$$V = 2.2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

c)
$$\Delta t = 4 \sqrt{2} \cdot 10^{10} \text{ s}$$

Resposta da questão 11:

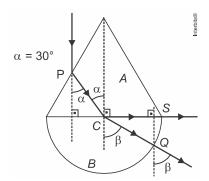
[C]

Resposta da questão 12:

[E]

Resposta da questão 13:

A figura ilustra duas trajetórias para o raio incidente, uma sofrendo emersão pelo ponto Q e, a outra, pelo ponto S.



a) Aplicando a lei de Snell na interface cone-semiesfera:

$$n_{A} sen \alpha = n_{B} sen \beta \implies 1.6\sqrt{3} \left(\frac{1}{2}\right) = 1.6 sen \beta \implies sen \beta = \frac{\sqrt{3}}{2} \implies \beta = 60^{\circ}.$$

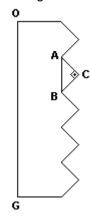
b) Para que a emersão seja rasante (pelo ponto S), o ângulo de refração deve ser igual a 90°. Nesse caso, o angulo α torna-se o ângulo limite.

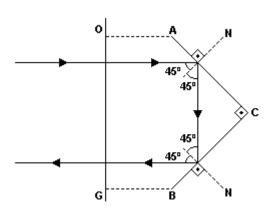
Aplicando novamente a lei de Snell:

$$n_A \operatorname{sen} \alpha = n_{B'} \operatorname{sen} 90^\circ \implies 1.6\sqrt{3} \left(\frac{1}{2}\right) = n_{B'} \implies \boxed{n_{B'} = 0.8\sqrt{3}}.$$

Resposta da questão 14:

a) Observe a figura a seguir:



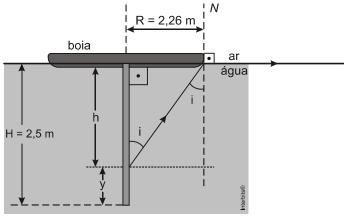


b)
$$\sqrt{2}$$

Resposta da questão 15:

[D]

A figura ilustra o fenômeno ocorrido.



fora de escala

Aplicando a Lei de Snell para o dioptro ar-água:

$$n_{\text{água}} \text{ seni} = n_{\text{ar}} \text{ sen90}^{\circ} \Rightarrow \frac{4}{3} \text{ seni} = 1(1) \Rightarrow \text{seni} = \frac{1}{4/3} \Rightarrow \text{seni} = \frac{3}{4}.$$

Da tabela dada: $i = 48.6^{\circ} \Rightarrow tgi = 1.13$.

Mas, da figura:

$$tgi = \frac{R}{h} \quad \Rightarrow \quad 1{,}13 = \frac{2{,}26}{h} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{2{,}26}{1{,}13} \quad \Rightarrow \quad h = 2 \ m.$$

Ainda da figura, a parte visível da haste (y) é:

$$y + h = H$$
 \Rightarrow $y = H - h = 2,5 - 2$ \Rightarrow $y = 0,5$ m.

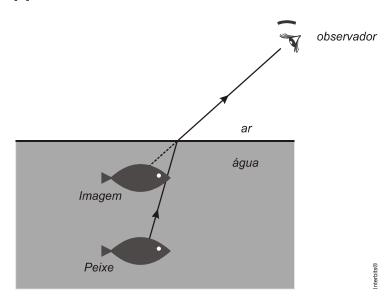
Em valores percentuais:

$$y_{(\%)} = \frac{0.5}{2.5} \times 100 = \frac{50}{2.5}$$
 \Rightarrow

$$y_{(\%)} = 20\%$$
.

Resposta da questão 16:

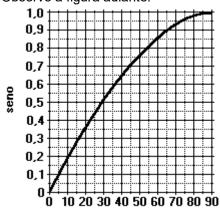
[E]



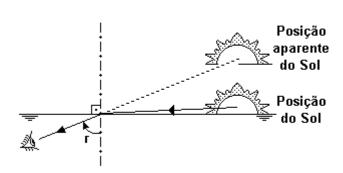
A figura mostra um raio refletido pelo peixe, que atinge o olho do observador. Ao refratar-se da água para o ar, ele sofre desvio em sua trajetória. O observador vê a imagem do peixe acima de sua posição real.

Resposta da questão 17:

a) Observe a figura adiante:



ângulo (graus)



b) r ≈ 50°

Resposta da questão 18:

[B]

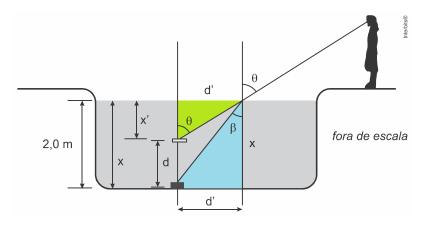
Resposta da questão 19:

a) De acordo com a Lei de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen } \beta = n_2 \cdot \text{sen } \theta$$

$$\frac{4}{3} \cdot \text{sen } \beta = 1 \cdot 0.8 \therefore \boxed{\text{sen } \beta = 0.6}$$

b) Considerando a figura, podemos identificar triângulos retângulos que serão úteis para a resolução com o auxílio da trigonometria.



Da trigonometria:

$$\begin{split} & \text{sen } \theta = 0,80 \Rightarrow \cos\theta = \sqrt{1-\text{sen}^2 \; \theta} \Rightarrow \cos\theta = 0,60 \; \therefore \, \text{tan } \theta = \frac{0,80}{0,60} = \frac{4}{3} \\ & \text{sen } \beta = 0,80 \Rightarrow \cos\beta = \sqrt{1-\text{sen}^2 \; \beta} \Rightarrow \cos\beta = 0,60 \; \therefore \, \text{tan } \beta = \frac{0,60}{0,80} = \frac{3}{4} \end{split}$$

Ainda temos que: $\tan \alpha = \frac{\text{cateto oposto à }\alpha}{\text{cateto adjacente à }\alpha}$, então:

$$\tan \theta = \frac{d'}{x'} \Rightarrow \boxed{d' = x' \cdot \tan \theta}$$

$$\tan \beta = \frac{d'}{x} \Rightarrow \boxed{d' = x \cdot \tan \beta}$$

Juntando as duas equações temos:

$$d' = x' \cdot \tan \theta = x \cdot \tan \beta \Rightarrow x' = \frac{x \cdot \tan \beta}{\tan \theta} = \frac{2 \cdot 3/4}{4/3} = \frac{9}{8} \therefore \boxed{x' = 1,125 \text{ m}}$$

Logo, a distância procurada é:

$$d=x-x' \Rightarrow d=2-1{,}125 \, : \, \boxed{d=0{,}875 \; m}$$

Resposta da questão 20:

[E]

Temos que:

$$n_{fluido}h' = n_{ar}h$$

$$n_{fluido} \cdot 3, 4 = 1 \cdot 5$$

$$\therefore n_{fluido} = 1,47$$

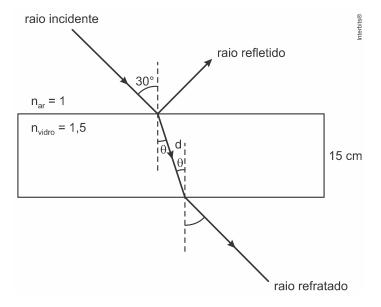
Resposta da questão 21:

[A]

Resposta da questão 22:

$$04 + 08 = 12$$
.

[01] Falsa. Vide figura abaixo:



[02] Falsa. Aplicando a Lei de Snell, vem:

$$n_{ar} \, sen 30^{\circ} = n_{vidro} \, sen \, \theta \Rightarrow 1 \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \, sen \, \theta \Rightarrow sen \, \theta = \frac{1}{3}$$

Pela relação fundamental, obtemos:

$$\left(\frac{1}{3}\right)^2 + \cos^2\theta = 1 \Rightarrow \cos^2\theta = \frac{8}{9} \Rightarrow \cos\theta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

Portanto, a distância percorrida vale:

$$\cos \theta = \frac{15}{d} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \Rightarrow d = \frac{45\sqrt{2}}{4} \quad \therefore d \cong 15,9 \text{ cm}$$

[04] Verdadeira. A velocidade pedida é dada por:

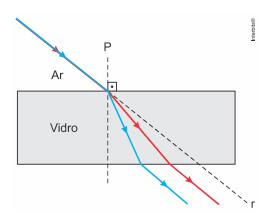
$$n_{vidro} = \frac{c}{v} \Rightarrow 1.5 = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \quad \therefore v = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

[08] Verdadeira. Como sen θ < sen 30° , com θ sendo um ângulo do primeiro quadrante, temos que θ < 30° .

Resposta da questão 23:

[C]

Como o índice de refração para a cor azul é maior, o feixe azul deve sofrer um desvio em relação à reta do movimento inicial maior que o feixe vermelho, formando a configuração mostrada abaixo:



Resposta da questão 24:

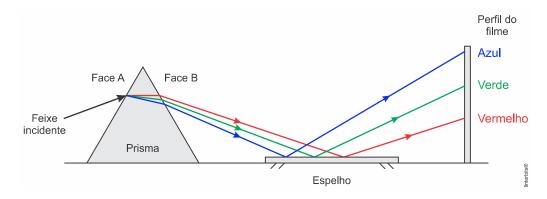
[A]

Pela equação $V = \lambda f$, percebemos que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Logo:

$$\lambda_{azul} < \lambda_{verde} < \lambda_{vermelha} \Rightarrow f_{azul} > f_{verde} > f_{vermelha}$$

$$\therefore n_{azul} > n_{verde} > n_{vermelha}$$

Sendo assim, o raio de frequência azul é o que sofre maior desvio, e o de frequência vermelha, o menor. De acordo com a figura abaixo, podemos concluir que de baixo para cima, constatam-se as cores na seguinte ordem: vermelha, verde e azul.



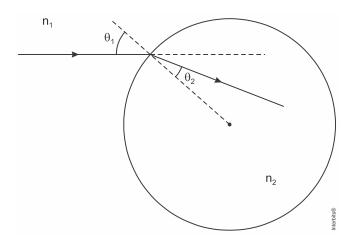
Resposta da questão 25:

[B]

Para um raio de luz genérico passando de um meio menos para um meio mais refringente (como é o caso deste exercício), ele deve se aproximar da normal, pois, pela Lei de Snell:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$$

$$n_1 < n_2 \Rightarrow sen \theta_1 > sen \theta_2 \Rightarrow \theta_1 > \theta_2$$



Como $n_{\text{azul}} > n_{\text{vermelho}}$, devemos ter a configuração do item [B].

Resposta da questão 26:

Dados: **A** =
$$50^{\circ}$$
; $(\delta)_{min} = 30^{\circ}$.

Pelo gráfico, vemos que, quando se trata de desvio mínimo os ângulos de incidência e de emergência são iguais.

$$(\delta)_{\min} \Rightarrow \theta_1 = \theta_2 = \theta.$$

Substituindo valores na expressão dada:

$$(\delta) = \theta_1 + \theta_2 - A \Rightarrow$$

$$\left(\delta\right)_{\text{min}} = 2 \ \theta - A \quad \Rightarrow \quad 30^{\circ} = 2 \ \theta - 50^{\circ} \quad \Rightarrow \quad 2 \ \theta = 80^{\circ} \quad \Rightarrow$$

$$\theta = 40^{\circ}$$
.

Resposta da questão 27:

[D]

Resposta da questão 28:

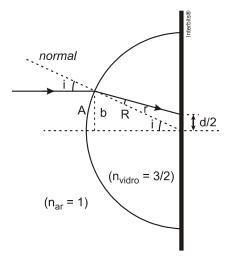
[D]

Resposta da questão 29:

[C]

Resposta da questão 30:

[B]



Dados: n_{ar} = 1; n_{vidro} = $\frac{3}{2}$; **R** = 10 cm; **A** \cong **b** = 0,5 cm.

Aplicando a lei de Snell na figura dada, temos:

 n_{ar} sen $i = n_{vidro}$ sen r.

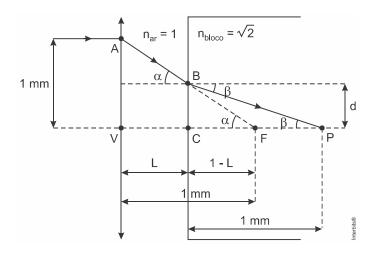
Mas i e r são ângulos pequenos. Então, de acordo com o enunciado, podemos escrever:

$$\begin{aligned} & n_{ar} \, i = n_{vidro} \, r \ \Rightarrow \ \left(n_{ar} \right) \! \left(\frac{A}{R} \right) \! = \! \left(n_{vidro} \right) \! \left(\frac{\frac{d}{2}}{R} \right) \quad \Rightarrow \quad (1) \! \left(0, 5 \right) \! = \! \left(\frac{3}{2} \right) \! \left(\frac{d}{2} \right) \quad \Rightarrow \\ & d = \frac{2}{3} \quad cm. \end{aligned}$$

Resposta da questão 31:

[E]

Do enunciado, podemos desenhar:



No ΔAFV, temos:

$$tg\alpha = \frac{1}{1} \Rightarrow \alpha = 45^{\circ}$$

Pela Lei de Snell, vem:

$$\begin{split} &n_{ar}\cdot sen\alpha = n_{bloco}\cdot sen\beta \Rightarrow 1\cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}\cdot sen\beta \Rightarrow \\ &\Rightarrow sen\beta = \frac{1}{2} \Rightarrow \beta = 30^{\circ} \end{split}$$

No ΔBPC, temos:

$$tg\beta = \frac{d}{1} \Rightarrow d = \frac{\sqrt{3}}{3} mm$$

Logo, no ΔBFC, obtemos:

$$tg\alpha = \frac{d}{1-L} \Rightarrow 1 = \frac{\sqrt{3}}{3(1-L)} \Rightarrow 1-L = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\therefore L = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{3}\right) mm$$