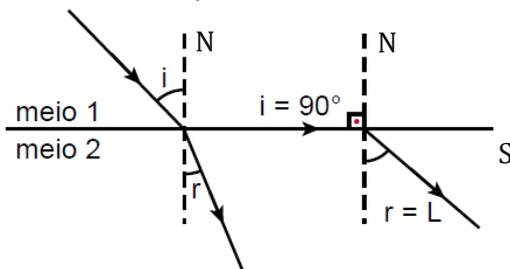


Resumo da aula

Quando uma luz monocromática se propaga do meio menos refringente para o meio mais refringente, não existe nenhuma restrição à ocorrência da refração.



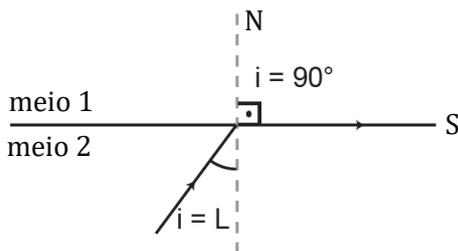
Na figura acima tem-se dois meios, 1 e 2, separados por uma superfície S, tais que $n_1 < n_2$. Quando a luz incide obliquamente no sentido de 1 para 2, o raio luminoso se aproxima da normal. Aumentando-se o ângulo de incidência, verifica-se que, à medida que o ângulo de incidência tende para 90° (incidência rasante), o ângulo de refração tende para um valor máximo L, denominado **ângulo limite de refração**.

Para quaisquer dos meios, podemos escrever:

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Portanto, o seno de ângulo limite L é dado pela relação entre os índices de refração dos meios entre os quais a luz se propaga. O valor do ângulo limite depende da luz que se propaga e dos meios considerados.

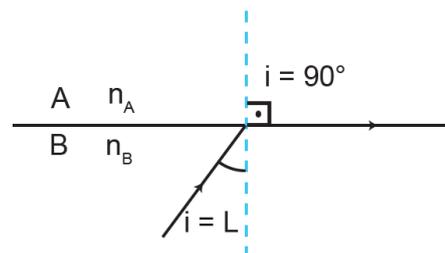
Passemos agora a uma segunda experiência, na qual faremos o raio luminoso passar do meio 2, mais refringente, para o meio 1, menos refringente.



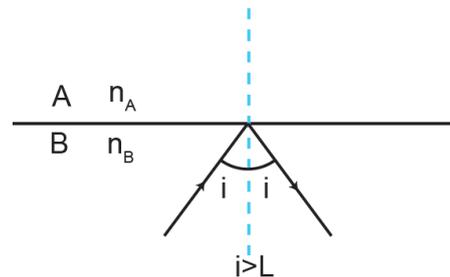
Aumentando gradativamente o ângulo de incidência, observamos que, na incidência oblíqua, o raio de luz se refrata, afastando-se da normal. Quando o ângulo de refração atinge seu valor máximo (90°), o ângulo de incidência atinge o seu valor limite, denominado **ângulo limite de incidência**.

Pelo princípio da reversibilidade da luz, o ângulo limite de refração e o ângulo limite de incidência são iguais e, por esse motivo, esses ângulos são chamados simplesmente **ângulos-limites**.

No caso de a luz propagar-se do meio mais refringente B para o meio menos refringente A, na situação extrema descrita no item anterior, o ângulo de incidência será igual ao ângulo limite L e o ângulo de refração será igual a 90° (emergência rasante), como é indicado na figura a seguir.



Se o ângulo de incidência for superior ao ângulo limite, quando a luz se propaga do meio mais refringente para o meio menos refringente, não ocorre refração. A luz sofre, então, o fenômeno da reflexão total, como se representa na abaixo.



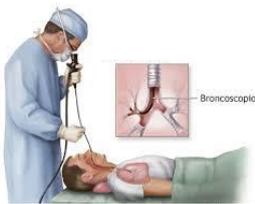
É importante assinalar que, quando ocorre a reflexão total, não há refração de nenhuma parcela de luz. Há muitos instrumentos ópticos, como binóculos, máquinas fotográficas, dentre outros, em que o fenômeno da reflexão total é utilizado, através de sistemas denominados

prismas de reflexão total (que iremos estudar mais adiante).

Para ocorrer reflexão total, há duas condições:

1ª condição: A luz deve propagar do meio mais refringente para o menos refringente.

2ª condição: O ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo limite.



Observação: Uma aplicação da reflexão total ocorre em fibras ópticas, as quais são flexíveis e possuem diâmetros em torno de

0,10 a 0,15 mm. São constituídas por dois materiais de índices de refração diferentes. O material do miolo é mais refringente que o da casca. Como o ângulo de incidência é sempre maior que o ângulo limite, ocorre a reflexão total. Dessa maneira, a luz pode acompanhar o cabo de fibra óptica.

As fibras ópticas são muito utilizadas na Medicina, principalmente para iluminar as partes internas do corpo, com aparelhos como o endoscópio broncoscópico. Esses aparelhos servem para ver, podendo-se até mesmo filmar ou fotografar, as partes internas do estômago e dos pulmões. A iluminação é feita pelos cabos de fibra óptica.

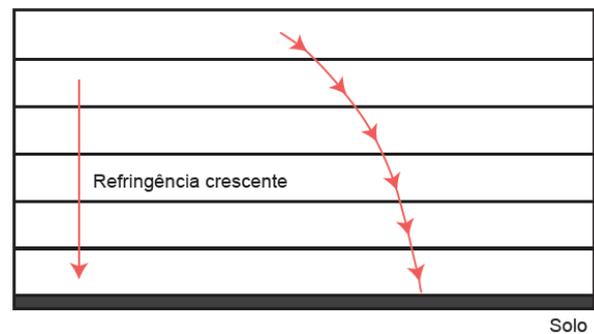
Na tecnologia moderna das comunicações sua importância destaca-se pela



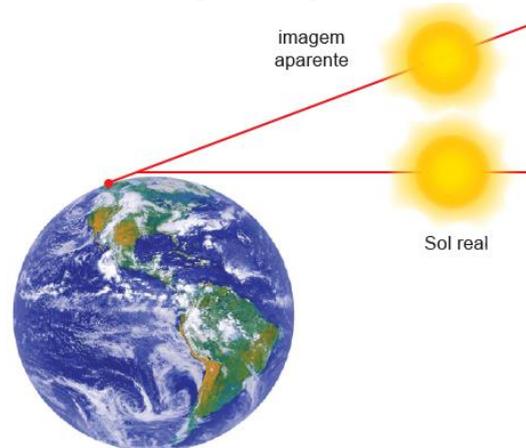
grande capacidade de transporte simultâneo de uma enorme quantidade de informações. Outra vantagem é a imunidade às interferências eletromagnéticas, por serem feitas de materiais dielétricos, como vidros de óxido de silício e óxido de germânio, plásticos e outros materiais.

Segundo o Princípio da Propagação Retilínea da Luz, a luz propaga-se em linha reta nos meios transparentes e homogêneos. A atmosfera, porém, não é um meio homogêneo, pois apresenta uma densidade tanto menor quanto maior a altitude. Além disso, as predominâncias gasosas variam com a altitude.

Conseqüentemente, quanto maior a altitude, menor é o índice de refração do ar. Então, a trajetória de um raio de luz na atmosfera é, em geral, curvilínea.



Um raio de luz originário do vácuo quando incide obliquamente na atmosfera segue trajetória semelhante à da figura a seguir.



Veja, na figura seguinte, um astro representado na posição P real, sendo contemplado por um observador O, situado na Terra.

A luz proveniente do astro situado em P desvia-se ao atravessar a atmosfera. Por isso, quando essa luz atinge o observador, ele tem a impressão de que o astro está na posição P', que é uma posição aparente. Assim, conclui-se que, em geral, os astros são vistos com uma aparente

elevação em relação à sua posição real.



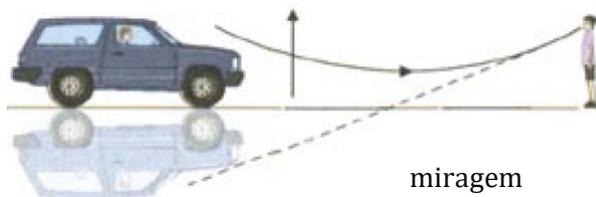
Poços de água no asfalto (miragem)

Em dias muito ensolarados, as camadas de ar mais próximas do asfalto estão bem mais quentes e, portanto, com

menor índice que as camadas superiores. A luz proveniente de objetos distantes, ou mesmo a luz solar, atinge as camadas de ar afastando-se da Normal até chegar a um grande ângulo de incidência, podendo sofrer reflexão total. Daí surge um feixe de luz intensa que vem do asfalto, o que nos dá a ilusão de que existem poças d'água à nossa frente, como na figura anterior (lembre-se de que uma poça d'água produziria um efeito semelhante). O interessante é que, para um motorista de carro, essas poças vão avançando junto com ele, nunca podendo o motorista alcançá-las.

No deserto, esse fenômeno se combina com a sede do observador e com a imaginação, podendo produzir resultados surpreendentes.

Note esquematicamente o que ocorre com a luz na figura a seguir.



Em regiões muito frias, como o Pólo Ártico, as camadas de ar próximas à superfície estão mais frias e, portanto, são mais refringentes. A luz que sai de baixo é que pode, à medida que sobe, ir se afastando da Normal até superar o ângulo limite, refletir e produzir miragens aéreas interessantes.

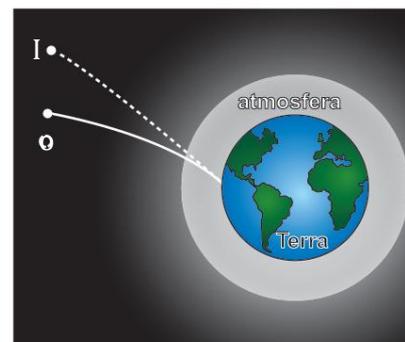


miragem

Exercícios

01 - (UFRJ) A figura mostra uma estrela localizada no ponto O, emitindo um raio de luz que se propaga até a Terra. Ao atingir a atmosfera, o raio desvia-se da trajetória retilínea original, fazendo com que um observador na Terra veja a imagem da estrela na posição I. O desvio do raio de luz deve-se ao fato de o índice de refração absoluto da atmosfera variar com a altitude.

Explique por que o desvio ocorre do modo indicado na figura, respondendo se o índice de refração absoluto cresce ou diminui à medida que a altitude aumenta. (Na figura, a espessura da atmosfera e o desvio do raio foram grandemente exagerados para mostrar com clareza o fenômeno).

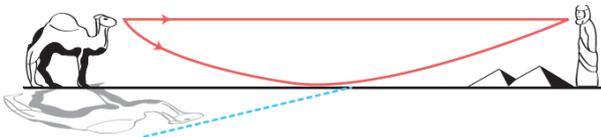


02 - Geralmente, os astros são vistos por um observador na Terra numa posição diferente da posição real deles. Isso ocorre porque a luz se desvia ao atravessar as diferentes camadas da atmosfera, as quais:

- (A) são tanto refringentes quanto mais afastada da superfície da Terra.
- (B) têm densidade e índice de refração uniformes.
- (C) são tanto menos refringentes quanto mais afastadas da superfície da Terra.
- (D) se comportam como um meio opaco, não sendo atravessadas pela luz.
- (E) se comportam opticamente da mesma maneira que o vácuo.

03 - (UFG) As miragens são efeitos ópticos, produzidos por desvios de raios luminosos. Em dias ensolarados e quentes, olhando ao longo do asfalto, tem-se a impressão de que está molhado. Com base nas leis da refração da luz, explique por que esse fenômeno ocorre.

04 - Nos desertos, em dias muito quentes, os viajantes costumam ver, nas planícies, imagens invertidas dos objetos, como se o chão fosse um espelho. Você explicaria essa miragem pelos fenômenos:



- (A) só de reflexão total.
- (B) só de refração.
- (C) de refração e dispersão.
- (D) de refração e difusão.
- (E) de refração e reflexão total.

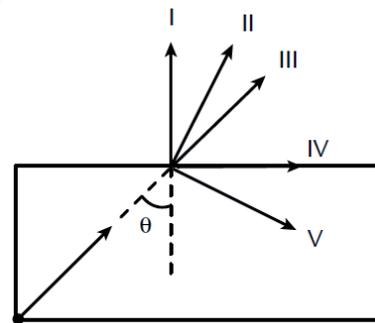
05 - A visão de manchas brilhantes semelhantes a poças d'água em estradas, nos dias quentes, é explicada como sendo determinada por:

- (A) reflexão total da luz nas camadas de ar próximas ao solo, cujo índice é superior ao das camadas superiores, por estarem mais quentes.
- (B) reflexão total da luz nas camadas de ar próximas ao leito da estrada, as quais, por estarem mais quentes, são menos refringentes que as camadas superiores.
- (C) reflexão da luz no próprio leito da estrada, que é uma superfície plana e polida.
- (D) existência real de água sobre a estrada.
- (E) condições psicológicas desfavoráveis do observador, cansado da viagem, com sono ou mesmo doente.

06 - (UNIFESP) Um raio de luz monocromática provém de um meio mais refringente e incide na superfície de separação com outro meio menos refringente. Sendo ambos os meios transparentes, pode-se afirmar que esse raio,

- (A) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre refração, mas pode não sofrer reflexão.
- (B) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre reflexão, mas pode não sofrer refração.
- (C) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode sofrer refração, nunca reflexão.
- (D) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode sofrer reflexão, nunca refração.
- (E) qualquer que seja o ângulo de incidência, sempre sofre refração e reflexão.

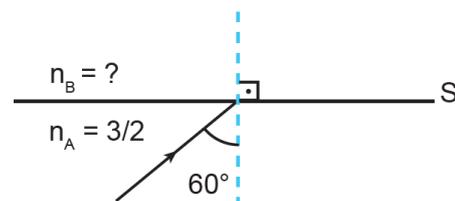
07 - (PUCPR) A figura mostra um arranjo experimental. No fundo do vaso, uma fonte pontual emite um raio que se desloca na água e atinge a superfície dióptrica.



Considerando o ângulo θ como ângulo limite, o raio emergente é o raio:

- (A) IV.
- (B) V.
- (C) I.
- (D) II.
- (E) III.

08 - (U.F.UBERLÂNDIA-MG) Tem-se uma superfície S separadora de dois meios, A e B, cujos respectivos índices de refração são n_A e n_B . Um raio de luz vindo de A incide em S , conforme a figura.



Para ocorrência de reflexão total do raio incidente, é necessário e suficiente que:

- (A) $n_B = \sqrt{2}$
- (B) $n_B < n_A$
- (C) $n_B = 2\sqrt{3}/3$
- (D) $n_B < 3\sqrt{3}/4$
- (E) $n_B < 3\sqrt{3}/2$

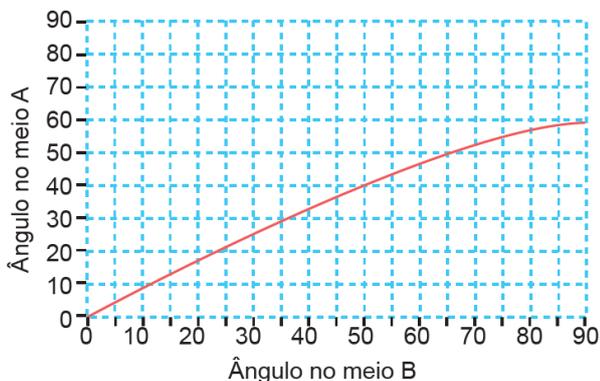
09 - (UECE) As fibras ópticas, de grande uso diagnóstico em Medicina (exame do interior do estômago e de outras cavidades), devem sua importância ao fato de que nelas a luz se propaga sem “escapar” do seu interior, não obstante serem feitas de material transparente.

A explicação para o fenômeno reside na ocorrência, no interior das fibras, de:

- (A) reflexão total da luz.
- (B) dupla refração da luz.
- (C) polarização da luz.
- (D) difração da luz.
- (E) interferência da luz.

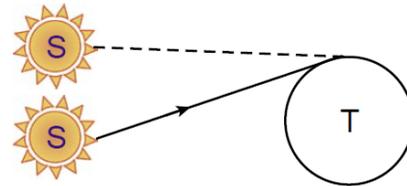
10 - (UNIFESP) O gráfico mostra a relação entre os ângulos de incidência e de refração entre dois materiais transparentes e homogêneos, quando um raio de luz incide sobre a superfície de separação entre esses meios, qualquer que seja o sentido do percurso.

Se esses materiais fossem utilizados para produzir a casca e o núcleo de fibras ópticas, deveria compor o núcleo da fibra o meio:



- (A) A, por ser o mais refringente.
- (B) B, por ser o menos refringente.
- (C) A, por permitir ângulos de incidência maiores.
- (D) B, porque nele a luz sofre maior desvio.
- (E) A ou B, indiferentemente, porque nas fibras ópticas não ocorre refração.

11 - (UFTM) Uma pessoa na Terra pode ver o Sol mesmo quando este ainda se encontra abaixo da linha do horizonte devido, principalmente, ao fato de que a atmosfera:



- (A) absorve a luz.
- (B) difrata a luz.
- (C) polariza a luz.
- (D) reflete a luz.
- (E) refrata a luz.

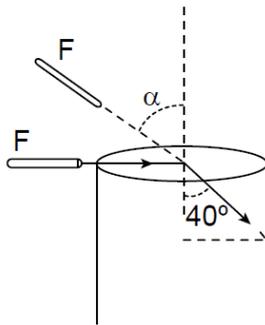
12 - (UFSM) Um raio de luz é refletido totalmente na superfície de separação de dois meios a partir do ângulo limite de 45° .

Sendo $\sin 45^\circ = \sqrt{2}/2$ e $\sin 90^\circ = 1$, assinale o índice de refração do meio de incidência.

Considere que um dos meios é o ar, cujo índice de refração igual a 1.

- (A) $(\sqrt{2})/2$
- (B) $1 - [(\sqrt{2})/2]$
- (C) 1
- (D) $2/\sqrt{2}$
- (E) $2\sqrt{2}$

13 - Um cilindro maciço de vidro tem, acima de sua base superior, uma fonte luminosa que emite um fino feixe de luz, como mostra a figura a seguir.



Um aluno deseja saber se toda luz que penetra por essa extremidade superior do tubo vai sair na outra extremidade, independentemente da posição da fonte **F** e, portanto, do ângulo de incidência α . Para tanto, o aluno analisa o raio luminoso rasante e verifica que o ângulo de refração correspondente a esse raio vale 40° .

$\text{seno } 40^\circ = 0,64$ e $n(\text{ar}) = 1$

Qual o índice de refração do material do cilindro?

- (A) 1,33
- (B) 1,48
- (C) 1,56
- (D) 1,74
- (E) 1,82

14 – (FATEC) Uma fibra óptica é uma estrutura cilíndrica feita de vidro, constituída, basicamente, de dois materiais diferentes, que compõem o núcleo e a casca, como pode ser visto em corte na figura a seguir.



Sua propriedade de guiamento dos feixes de luz está baseada no mecanismo da reflexão interna total da luz que ocorre na interface núcleo-casca. Designando por $n(\text{núcleo})$ e $n(\text{casca})$ os índices de refração do núcleo e da casca, respectivamente, analise as afirmações a seguir,

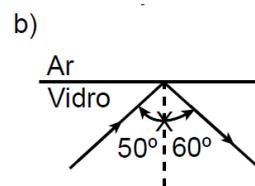
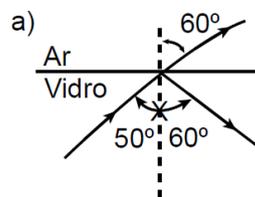
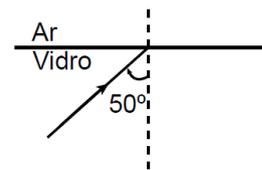
que discutem as condições para que ocorra a reflexão interna total da luz.

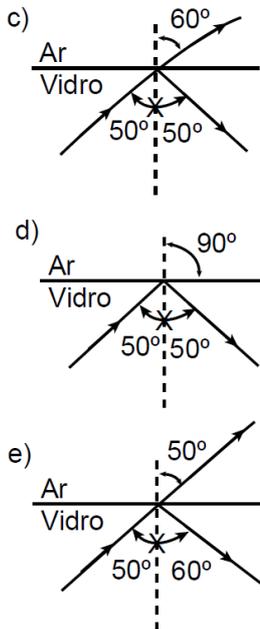
- I) $n(\text{núcleo}) > n(\text{casca})$.
- II) Existe um ângulo L , de incidência na interface núcleo-casca, tal que $\text{sen}(L) = n(\text{casca}) / n(\text{núcleo})$.
- III) Raios de luz com ângulos de incidência $\theta > L$ sofrerão reflexão interna total, ficando presos dentro do núcleo da fibra.

Analisando as afirmações, podemos dizer que:

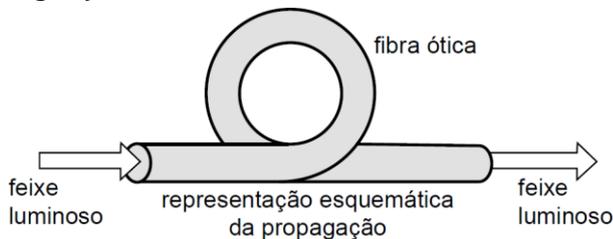
- (A) somente I está correta.
- (B) somente I e II estão corretas.
- (C) somente I e III estão corretas.
- (D) todas estão corretas.
- (E) nenhuma se aplica ao fenômeno da reflexão interna total da luz em uma fibra óptica.

15 – (UFV) A figura a seguir ilustra um raio de luz incidindo na interface de dois meios, vidro e ar, de índices de refração 1,5 e 1,0, respectivamente. Sabendo-se que o ângulo crítico, ou ângulo limite, entre o vidro e o ar é aproximadamente 42° , a única situação que retrata **corretamente** as trajetórias dos raios refletido e refratado é:





16 - (UFRN) Uma fibra ótica, mesmo encurvada, permite a propagação de um feixe luminoso em seu interior, de uma extremidade à outra, praticamente sem sofrer perdas (veja a figura a seguir).



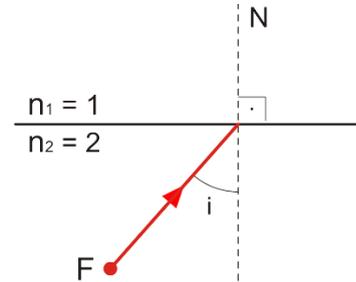
A explicação física para o fato descrito é a seguinte:

Como o índice de refração da fibra ótica, em relação ao índice de refração do ar, é:

- (A) baixo, ocorre a reflexão interna total.
- (B) alto, ocorre a reflexão interna total.
- (C) alto, a refração é favorecida, dificultando a saída do feixe pelas laterais.
- (D) baixo, a refração é favorecida, dificultando a saída do feixe pelas laterais.

17 - Uma fonte de luz F está situada num líquido de índice de refração 2. O índice de refração do ar é igual a 1. Na figura individualizamos um raio

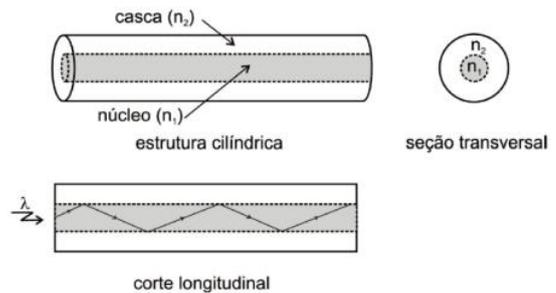
de luz R que incide na superfície de separação segundo um ângulo i .



Calcule:

- a) O ângulo limite deste par de meios.
- b) Para $i = 20^\circ$ ocorre refração ou reflexão total?
- c) Para $i = 40^\circ$ ocorre refração ou reflexão total?

18 - (ACAFE-SC) A fibra ótica é muito utilizada nas telecomunicações para guiar feixes de luz por um determinado trajeto. A estrutura básica dessas fibras é constituída por cilindros concêntricos, com índices de refração diferentes, para que ocorra o fenômeno da reflexão interna total. O centro da fibra é denominado de núcleo, e tem índice de refração n_1 e a região externa é denominada de casca, com índice de refração n_2 .

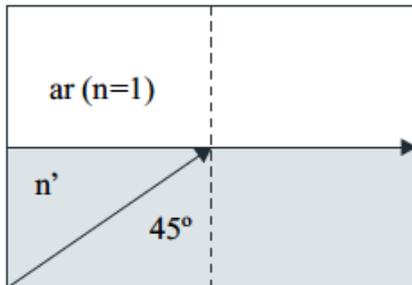


Assinale a alternativa correta que completa as lacunas a seguir.

Para ocorrer o fenômeno da reflexão interna total numa fibra ótica, o ângulo crítico de incidência da luz em relação à direção normal é _____ 90° , e n_1 deve ser _____ n_2 .

- (A) menor do que - menor que
- (B) menor do que - maior que
- (C) igual a - menor que
- (D) igual a - maior que

19 – Dois meios transparentes, sendo um deles o ar e o outro mais refringente, estão separados por uma interface plana. Sabe-se que o ângulo limite, a partir do qual há reflexão total, é igual a 45° , conforme figura.



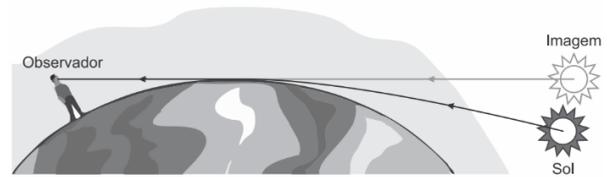
Considere os dados da tabela.

	0°	30°	45°	60°	90°
sen	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1

Em nova situação, o raio luminoso, proveniente do ar, incide na interface formando com ela, novamente, um ângulo de 45° . Nessa nova condição, o valor do ângulo que o raio refratado forma com a interface é

- (A) 60° .
- (B) 30° .
- (C) 90° .
- (D) 45° .
- (E) 0° .

20 – (ENEM) No Hemisfério Sul, o solstício de verão (momento em que os raios solares incidem verticalmente sobre quem se encontra sobre o Trópico de Capricórnio) ocorre no dia 21 ou 23 de dezembro. Nessa data, o dia tem o maior período de presença de luz solar. A figura mostra a trajetória da luz solar nas proximidades do planeta Terra quando ocorre o fenômeno óptico que possibilita que o Sol seja visto por mais tempo pelo observador.



Qual é o fenômeno óptico mostrado na figura?

- (A) A refração da luz solar ao atravessar camadas de ar com diferentes densidades.
- (B) A polarização da luz solar ao incidir sobre a superfície dos oceanos.
- (C) A reflexão da luz solar nas camadas mais altas da ionosfera.
- (D) A difração da luz solar ao contornar a superfície da Terra.
- (E) O espalhamento da luz solar ao atravessa a atmosfera.

Gabarito

01 – A luz proveniente do astro, ao penetrar na atmosfera terrestre, vai passar de camadas menos refringentes para camadas sucessivamente mais refringentes, desviando-se de sua direção inicial, até atingir o observador. Este, ao receber a luz, terá a impressão de que ela provém de uma direção tangente à trajetória descrita na atmosfera.

02 – Letra C

03 – As camadas de ar quente próximas ao asfalto (menos densa – índice de refração menor) refratam a luz do ambiente para o olho do observador.

04 – Letra E

05 – Letra B

06 – Letra B

07 - Letra A

08 - Letra D

09 - Letra A

10 - Letra A

11 - Letra E

12 - Letra D

13 - Letra C

14 - Letra D

15 - Letra B

16 - Letra B

17 -

a) 30° (logo, L vale 30°)

b) refração (ainda não ultrapassou o ângulo limite)

c) reflexão total (pois ultrapassou o ângulo limite)

18 - Letra B

19 - Letra B

20 - Letra A