

CEJA >>

CENTRO DE EDUCAÇÃO
de JOVENS e ADULTOS

**CIÊNCIAS DA
NATUREZA**

e suas **TECNOLOGIAS** >>

Física

Fascículo 7
Unidades 16 e 17

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Wilson Witzel

Vice-Governador
Claudio Castro

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretário de Estado
Leonardo Rodrigues

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

Secretário de Estado
Pedro Fernandes

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Gilson Rodrigues

PRODUÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

Coordenação Geral de
Design Instrucional

Cristine Costa Barreto

Elaboração

Claudia Augusta de Moraes Russo

Ricardo Campos da Paz

Revisão de Língua Portuguesa

Ana Cristina Andrade dos Santos

Coordenação de
Design Instrucional

Flávia Busnardo

Paulo Miranda

Design Instrucional

Aline Beatriz Alves

Coordenação de Produção

Fábio Rapello Alencar

Capa

André Guimarães de Souza

Projeto Gráfico

Andreia Villar

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades

[http://www.sxc.hu/browse.](http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517)

[phtml?f=download&id=1381517](http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517)

Diagramação

Equipe Cederj

Ilustração

Bianca Giacomelli

Clara Gomes

Fernando Romeiro

Jefferson Caçador

Sami Souza

Produção Gráfica

Verônica Paranhos

Sumário

Unidade 16 | O mundo dentro do espelho 5

Unidade 17 | Refração e aplicações 49

Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

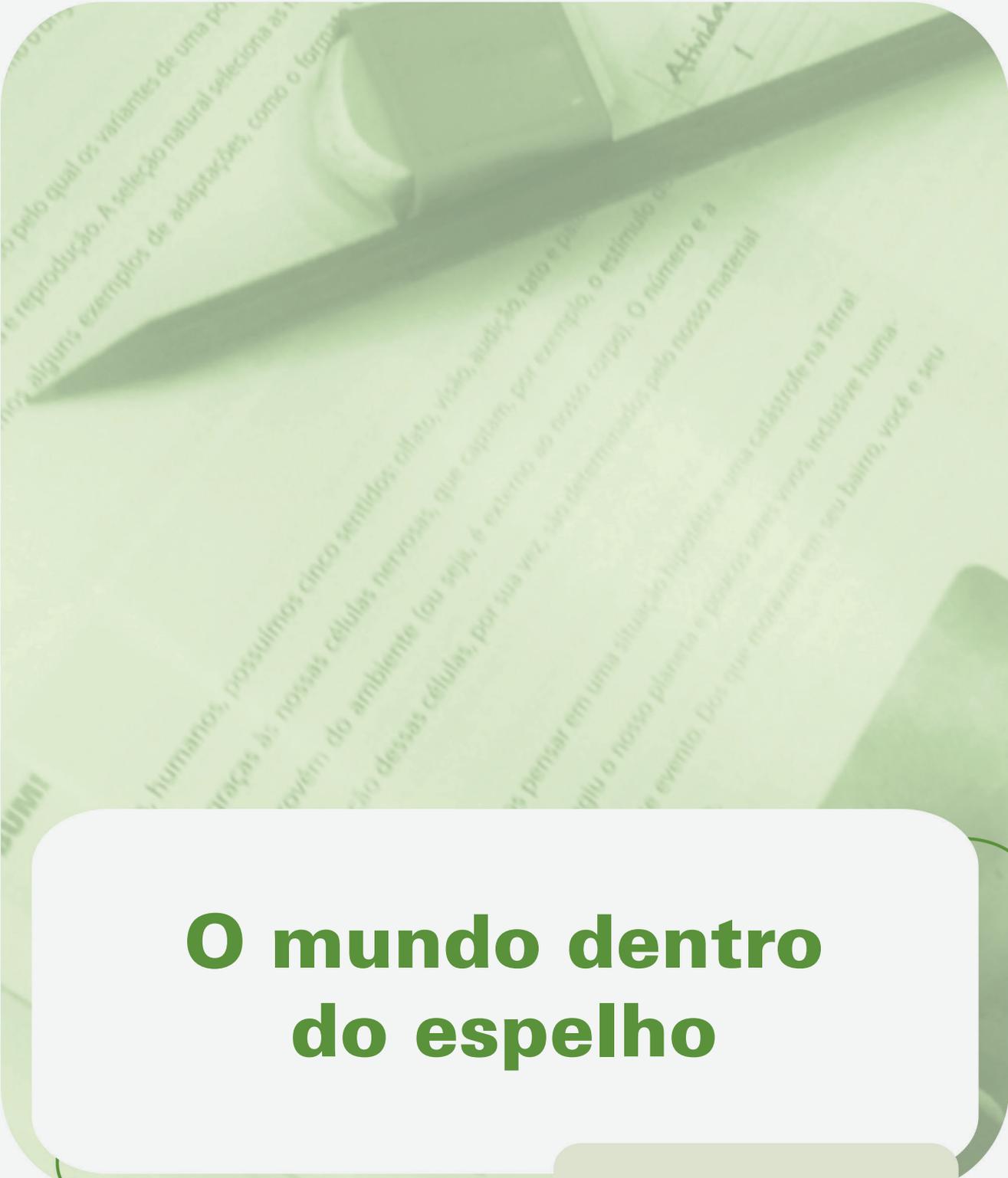
Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos "nome de usuário" e "senha".

Feito isso, clique no botão "Acesso". Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



O mundo dentro do espelho

Fascículo 7
Unidade 16

O mundo dentro do espelho

Para início de conversa..

Você já parou para pensar o que seria a sua vida sem luz? Seria como não ter visão. Talvez você não saiba, mas o cérebro humano, capaz de proezas formidáveis, dedica cerca de um terço (30%) da sua capacidade para este sentido. Desde as tarefas mais simples, como observar-se no espelho ao escovar os dentes ou assistir a um filme, até atividades mais complexas, como tentar atravessar uma avenida central a pé ou dirigir um automóvel.

Nosso objetivo é discutir a ciência envolvida nesses processos. Podemos dizer que o ramo da física que se dedica a esse estudo é a óptica. Estudaremos, em específico, a chamada óptica geométrica, que é capaz de explicar o funcionamento do olho enquanto instrumento óptico, de uma câmera fotográfica, e até mesmo a formação dos eclipses. Além disto, a óptica nos permite fabricar diversos dispositivos ópticos, como lentes, telescópios, microscópios, óculos, dentre outros.



Figura 1: A óptica geométrica vai nos ajudar a entender como funcionam nossos olhos, como somos capazes de tirar uma foto com uma câmera e descobrir o que está por trás de um eclipse.

Foi com os estudos de óptica geométrica que conseguimos criar lentes super poderosas, revelando dois mundos distintos, até então desconhecidos. Conseguimos visualizar escalas de comprimento bastante

distintas, do espaço sideral (cosmos), que é estudado com o auxílio de telescópios ao mundo microscópico, que foi descoberto em meados do século XVII com o auxílio do microscópio feito pelo holandês Leeuwenhoek.

Saiba Mais

Leeuwenhoek e suas observações

Antonie Philips van Leeuwenhoek viveu entre 1623 e 1723 na Holanda. Foi lojista, porteiro da prefeitura de sua cidade e cientista. Devido à estabilidade dada pelo seu emprego na pre-



feitura, ele pôde se dedicar, nos tempos livres, à fabricação de lentes e usá-las para observar o mundo microscópico.

Com microscópios simples de apenas uma lente, Leeuwenhoek fez estudos em materiais como água suja, embriões de plantas, sangue e esperma. Com isso sua pesquisa conseguiu derrubar a teoria da geração espontânea.

Para entender um pouco sobre o funcionamento desses objetos, precisamos entender antes o que é raio luminoso e como se formam as sombras. Vamos começar?

Objetivos de aprendizagem

- Utilizar o modelo de raio luminoso para representar sombras e imagens formadas em espelhos.
- Distinguir feixes de luz convergentes, divergentes e colimados.
- Esquematizar projeções de imagens em espelhos planos e esféricos.
- Exemplificar usos para espelhos esféricos.

Seção 1

E das sombras fez-se a luz

Ao caminhar num dia ensolarado, você muito provavelmente já observou diversas sombras, das mais variadas formas e tamanhos. Quando a luz incide em um objeto que não permite a sua passagem, podemos ver um contorno deste corpo projetado em um outro objeto (no caso das sombras da rua, você as vê no chão, ou projetadas em prédios, muros). Chamamos a objetos desse tipo, que não permitem a passagem de luz, objetos opacos (veja a Figura 2).



Figura 2: Sombra de um balão, projetada no chão.

Vamos analisar mais de perto a imagem da Figura 3.

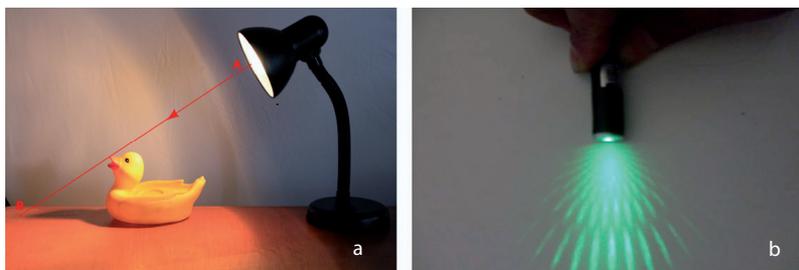


Figura 3: Em (a), ressaltamos em vermelho, uma linha, que passa rente ao patinho e que delimita a região de sombra. Na Figura 3-b é formado um conjunto de raios luminosos.

Na Figura 3a, você vê uma luz incidindo sobre um objeto opaco, o patinho. Ressaltamos em vermelho, uma linha, que passa rente ao patinho e que delimita a região de sombra. Chamaremos a esta linha vermelha segmento AB. Podemos muito bem representar a trajetória descrita pela luz utilizando este segmento de reta AB, que chamamos raio luminoso. Mas este é apenas um dos raios de luz que sai da luminária – afinal, você vê a luz iluminar muito mais do que o segmento AB delimita, não é?

Usando essa mesma lógica, podemos imaginar que o fecho de luz que sai da lâmpada na Figura 3b é formado por um conjunto de raios luminosos. Chamamos feixe luminoso a esse conjunto de raios. Uma característica desse feixe é que ele parte de um ponto, a lâmpada da figura, e se abre. Chamamos este tipo de feixe de divergente. Como outros exemplos de feixes divergentes temos a luz emitida pelo farol de uma moto, de uma lanterna ou de um poste. Em geral, utilizamos este tipo de feixe quando queremos iluminar grandes áreas.

Um feixe de luz também pode ser convergente. Veja a Figura 4.

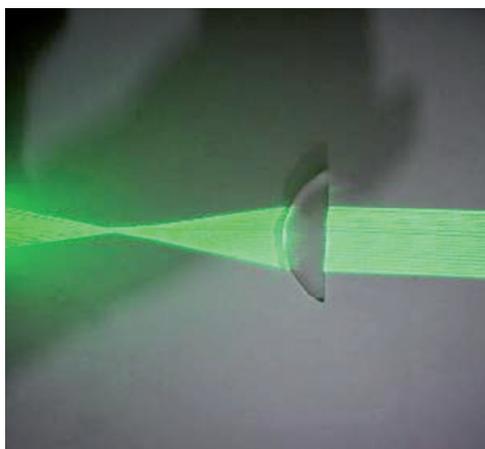


Figura 4: Feixe convergente. Nesta imagem, tal feixe foi criado utilizando-se uma lente convergente. Esse tipo de lente será discutida na próxima aula.

Um feixe convergente é aquele cujos raios luminosos, ao saírem de sua origem, vão se aproximando até se encontrarem em um determinado ponto, como em um funil. Este tipo de feixe é utilizado em diversos instrumentos, como a lupa, ou os óculos de alguém que possui **hipermetropia**.

Hipermetropia

É uma deformação no olho humano que faz com que a pessoa tenha um erro na focalização das imagens. Ao contrário da miopia, as pessoas com hipermetropia têm dificuldade em focalizar imagens de perto.

Por fim, um feixe também pode ser dito colimado, que é quando os raios luminosos são paralelos entre si, como mostrado na Figura 5.

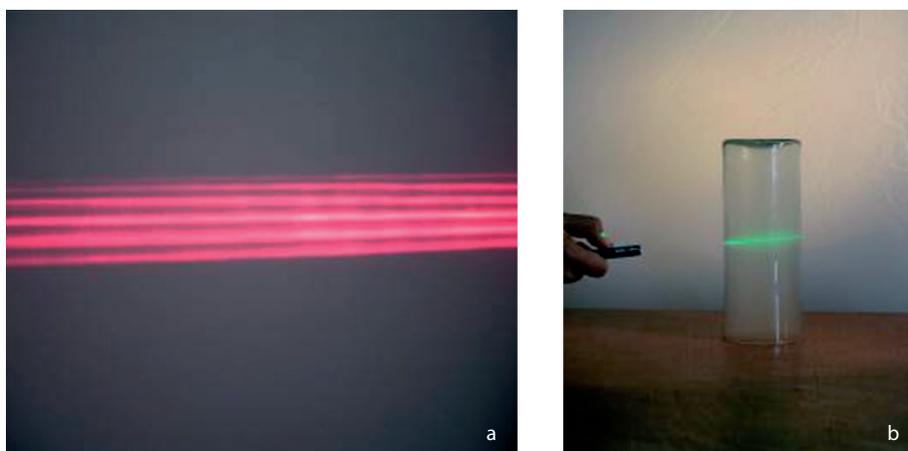


Figura 5: Exemplos de feixe colimado.

Um feixe laser é um exemplo de feixe colimado (veja a Figura 5b). Se projetarmos o laser em uma parede e caminharmos em sua direção, veremos que o tamanho do ponto luminoso não se alterará, o que indica que o feixe não é nem convergente nem divergente. Se fosse, o tamanho do ponto se alteraria conforme nos movimentamos (se você fizer essa experiência aproximando uma luminária comum da parede, poderá observar a diferença).

Atividade

1

Projetando uma sombra

Veja o ponto luminoso e a vela na figura a seguir

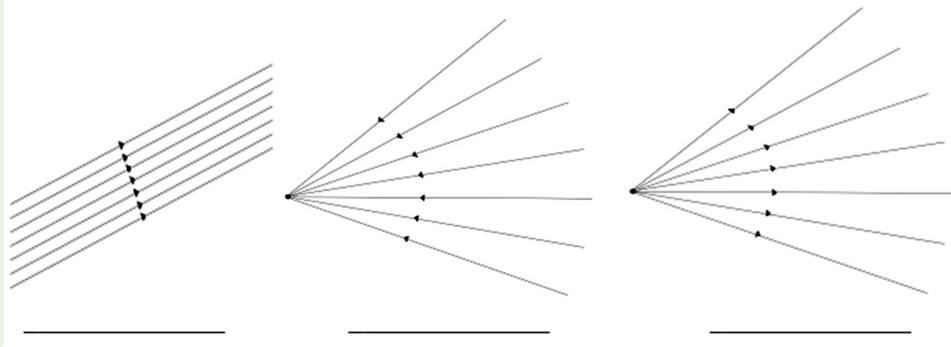


Represente a sombra da vela projetada no chão, de acordo com a luz que vem da luminária.

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Classificando os feixes de luz

Classifique os feixes a seguir como sendo convergentes, divergentes ou colimados.



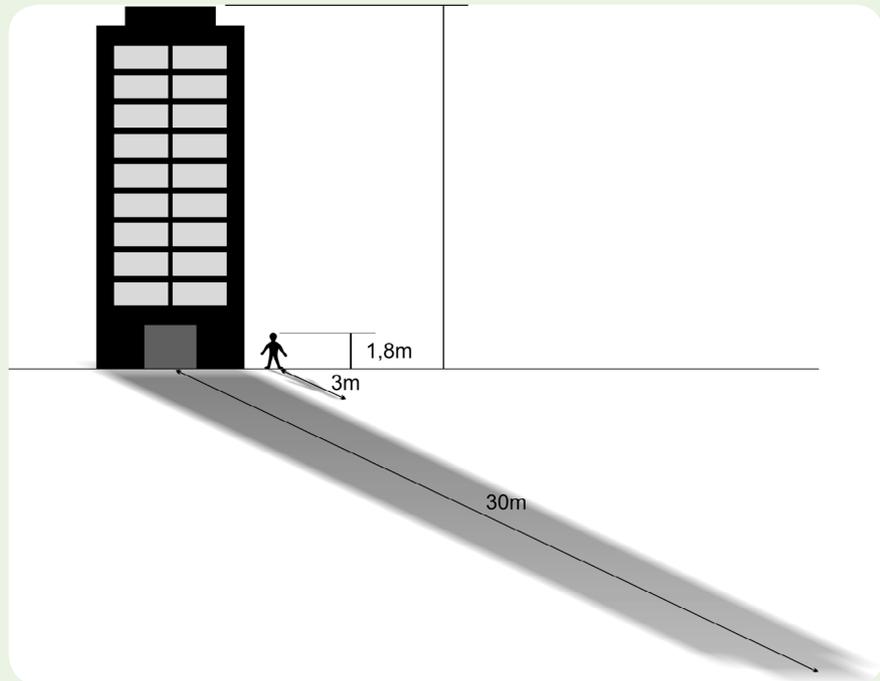
Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Atividade
2

Atividade
3

Nas alturas

Suponha que uma pessoa de 1,8 m de altura esteja interessada em estimar a altura de um prédio. Esta pessoa mediu o tamanho de sua própria sombra, e obteve um valor de 3,0 m. Logo em seguida, ele estimou o tamanho da sombra deste edifício como tendo cerca de 30m. Qual seria o valor aproximado da altura do prédio?



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Seção 2

Espelho, espelho meu

Lembre-se das vezes que você se arrumou para ir a alguma festa. Muito provavelmente, durante essas atividades, você se olha em algum espelho, que é uma superfície plana, onde você vê a sua própria imagem. Na falta de um espelho, como você faria para conferir se o seu penteado está do seu agrado? Sem dúvida, apenas alguns objetos são capazes de gerar uma imagem. Quais características que um objeto precisa ter para que ele consiga formar uma imagem sua?

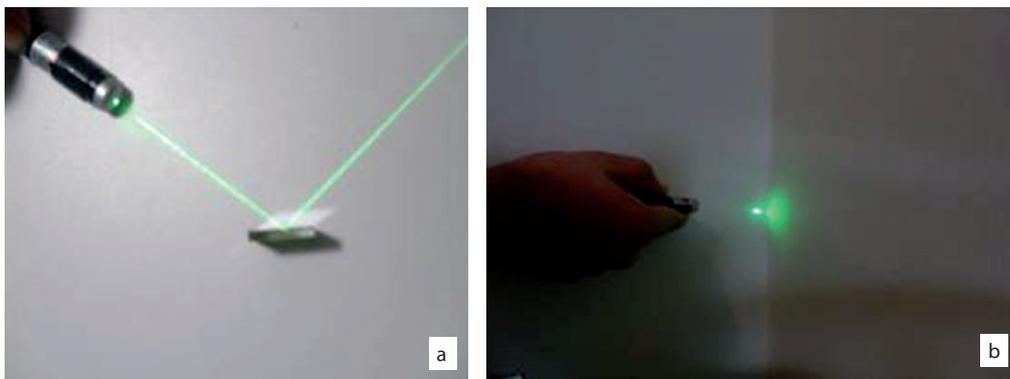
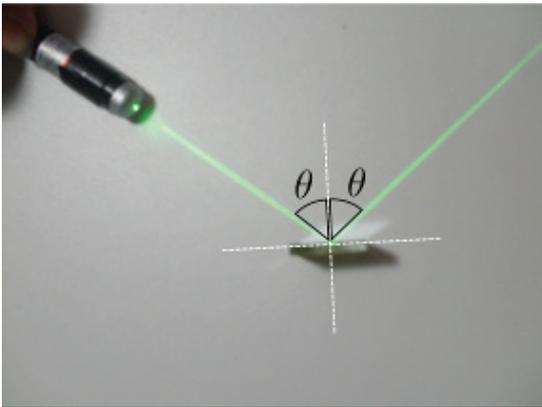


Figura 6: Em (a), temos a reflexão regular (em um espelho). Em (b), temos um exemplo de reflexão difusa, que pode ser observada quando o feixe laser reflete na parede. Isto se deve à irregularidade da parede, que não é suficientemente polida.

Um característica que o seu espelho possui é a polidez de sua superfície. Esta é uma característica primordial para a formação de imagens, pois é a regularidade da superfície polida que faz com que os raios luminosos que incidem na superfície sejam refletidos de maneira regular (veja na Figura 6).

Repare o caso da Figura (6-b). A irregularidade da parede faz com que o feixe laser, inicialmente colimado, seja refletido de maneira difusa. Por causa disso, não conseguimos ver uma imagem bem definida do feixe na outra parede, e sim uma mancha.

Vamos ver mais de perto como ocorre a reflexão numa superfície lisa, tal como um espelho (veja a Figura 7).



Primeiramente, o que significa normal? Nesse contexto, a palavra normal não possui o significado que você deve estar habituado, o de corriqueiro. Imagine uma superfície, como a do espelho da Figura 7. A normal é uma reta que faz um ângulo de 90 graus com a superfície num determinado ponto. Nesse caso, a palavra normal quer dizer perpendicular. Note que o ângulo formado entre o raio luminoso (laser) da Figura 8 com a normal é o mesmo, tanto para o raio incidente, quanto para o raio refletido. Este fato é conhecido

Figura 7: Repare que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

como lei da reflexão, que nos diz:



“O ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão”.

Vamos agora utilizar a lei da reflexão para entender um pouco mais a formação de imagens em um espelho como o do seu banheiro, conhecido como espelho plano. Na Figura 8, temos três raios luminosos, que partem de uma única fonte laser.

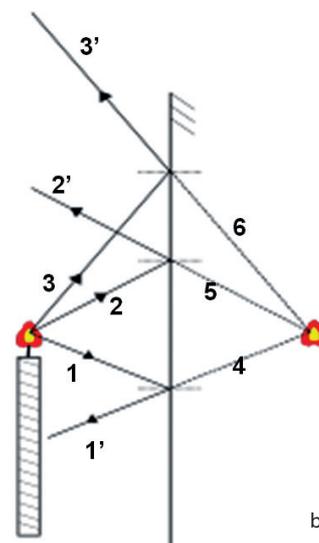
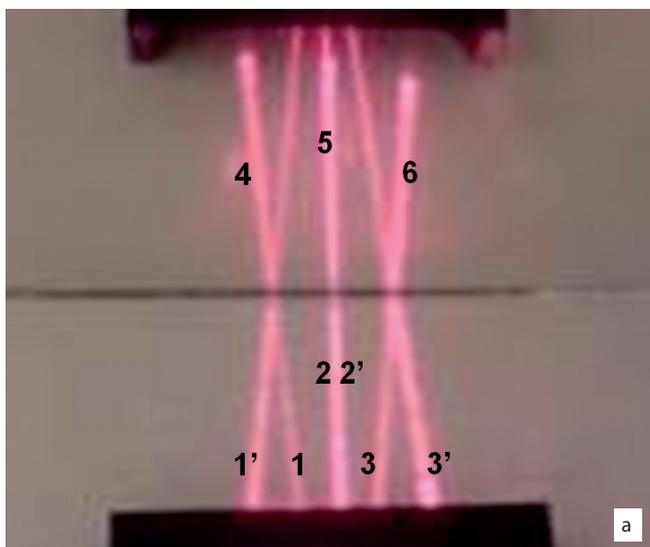


Figura 8: Você pode ver claramente que os raios 1, 2 e 3 são refletidos pelo espelho, gerando respectivamente os raios 1', 2' e 3'.

Devido à lei da reflexão, podemos notar que a imagem associada à fonte laser (na Figura 8a), formada atrás do espelho corresponde ao prolongamento dos raios refletidos para o lado de dentro do espelho, em específico os raios 4, 5 e 6. A esse tipo de imagem damos o nome de imagem virtual, pois se situa atrás do espelho e é formada pelo prolongamento dos raios refletidos. Na Figura 8b podemos ver esquematicamente como a lei da reflexão pode explicar a formação de imagens num espelho plano.

O fenômeno representado visualmente na Figura 8 sempre ocorre. Entretanto, em situações normais, não somos capazes de ver a trajetória dos raios luminosos (veja a Figura 9).

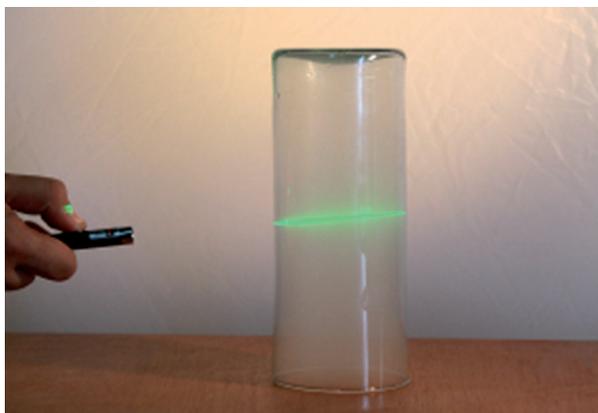


Figura 9: Repare que, para enxergarmos o feixe, foi necessário que a luz atravessasse um recipiente que contém fumaça.

Vejamos por exemplo a figura 10.

Embora não possamos ver o trajeto dos raios, todos os pontos da chama emitem inúmeros raios luminosos, que se comportam da mesma maneira que os raios laser da Figura 9. Deste modo, a cada um dos pontos da vela temos associado um prolongamento de raios que formam a imagem de cada um deles.



Figura 10: Uma vela acesa em frente a um espelho plano.

A superposição da imagem destes pontos forma a imagem completa da vela, que enxergamos no espelho. Perceba que não é apenas a chama da vela que aparece na imagem, e sim todo o corpo da vela. Embora a chama da vela seja o que identificamos como fonte luminosa, somos capazes de enxergá-la por completo em função das reflexões de diversos raios luminosos, provenientes da chama no corpo da vela.

Para discutir o conceito de fonte luminosa, comece imaginando-se num quarto fechado, sem nenhum tipo de iluminação. O que você seria capaz de enxergar? Talvez você não fosse capaz de ver um objeto

nem que ele estivesse a um palmo do seu nariz. Isso se deve ao fato de precisarmos de uma fonte de luz, como uma lâmpada, TV ou mesmo uma simples chama para enxergarmos. Só somos capazes de ver objetos que não são fontes luminosas por que estes objetos refletem a luz oriunda de uma fonte.

Podemos concluir disto que a grande maioria dos objetos refletem luz, pelo simples fato de sermos capazes de enxergá-los.

Por exemplo, não é muito incomum (talvez isso já lhe tenha ocorrido) se deparar com uma placa de vidro que, de tão limpa e polida, lhe passou a impressão de não existir, e que o fez acabar se chocando com a mesma.

Mesmo uma placa de vidro com estas características, se observada com mais atenção, reflete a luz que nela incide, formando uma imagem sua, funcionando como um espelho. Perceba que isto também ocorre quando você observa a vitrine de uma loja. Além de sermos capazes de ver o seu interior, podemos também observar a nossa imagem refletida no vidro.



Se a sua luz não brilha, não tente apagar a minha!

Os objetos podem ser classificados em dois tipos, de acordo com a sua emissão ou reflexão de raios luminosos:

Fonte própria: Quando o objeto é emissor de luz. É um objeto que não depende da luz refletida sobre ele para ser visto (por exemplo a chama da vela da Figura 10).

Fonte não própria: São os objetos que só são vistos por refletirem iluminação proveniente de uma fonte qualquer (por exemplo o corpo da vela da Figura 10).

Propriedades das imagens formadas pelos espelhos planos

Distâncias (e tamanhos) iguais

Uma propriedade bastante importante das imagens formadas pelos espelhos planos é o fato de a distância entre a imagem e o espelho ser igual à distância entre o espelho e o objeto. Para ilustrar esse fenômeno, imagine que dispomos uma placa de vidro de pé, sobre uma folha centimetrada, tal como na Figura 11.

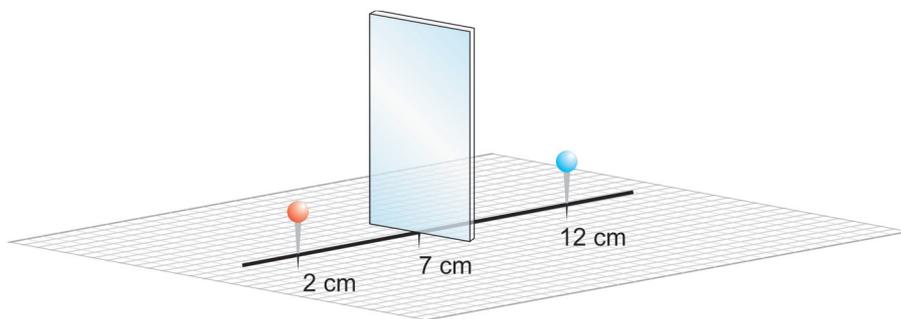


Figura 11: Folha de papel centimetrado com uma placa de vidro na vertical.

Dispomos, a 5cm da placa de vidro, um alfinete de cabeça azul e do lado oposto da placa de vidro, repetimos o procedimento, colocando desta vez um alfinete de cabeça vermelha. O alfinete vermelho encontra-se na posição 2, a placa, na posição de número 7, e o alfinete azul, na posição 12.

Note que a imagem do alfinete azul localiza-se exatamente sobre o alfinete vermelho, estando ambos a uma distância de 5cm da placa. Uma outra característica importante é que a imagem formada tem o mesmo tamanho do objeto, já que o casamento entre ambos foi perfeita.

Velocidade da imagem com relação ao objeto

Utilizando o experimento descrito anteriormente, podemos pensar no seguinte procedimento: se mudarmos a posição do alfinete azul de um centímetro, da posição 12 para a posição 13, a imagem formada também se moverá de um centímetro, movendo-se para a posição 1 cm. Isto ocorre porque a distância entre a imagem e o espelho deve ser igual à distância entre o objeto e o espelho.

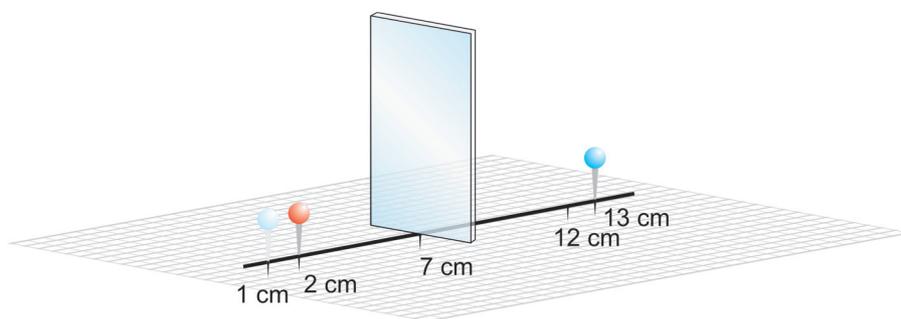


Figura 12: Mudança de posição do alfinete azul (de 12cm para 13 cm) com consequente mudança na posição de sua imagem de 2cm para 1 cm.

Definindo a velocidade como a distância percorrida por um corpo num certo intervalo de tempo, isto é, a rapidez com que o corpo se move, podemos dizer que, tanto a imagem quanto o objeto deslocaram-se com a mesma velocidade, porque ambos percorreram a mesma distância (no caso, 1cm), gastando o mesmo intervalo de tempo.

Agora, se ao invés de movermos o alfinete movermos a placa de vidro, fazendo com que ela passe da posição 7 para a posição 6, a imagem deverá caminhar da posição 2 para a posição 0cm e, portanto, desloca-se o dobro do deslocamento percorrido pela placa. Novamente, isto ocorre porque a distância entre o objeto e a placa deve ser igual à distância entre a placa e a imagem.

Vemos então que a velocidade da imagem será duas vezes maior que a da placa, pois, ao movimentar o vidro de um centímetro, a imagem formada terá de se mover dois centímetros.

Enantiomorfismo

Da próxima vez que você estiver de frente a um espelho, faça a seguinte experiência: levante a mão esquerda e perceba que ao se colocar no lugar de sua imagem você estaria com a mão direita erguida, ou seja, a imagem a aparece invertida. A esse fenômeno damos o nome de enantiomorfismo (veja a Figura 10).

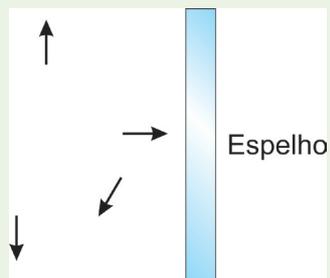


Figura 13: Temos uma moça de frente a um espelho. Veja que o cabelo dela está do seu lado direito. Se nos colocarmos no lugar da sua imagem, entretanto, seu cabelo estará do lado esquerdo.

É devido a este fenômeno que carros de bombeiro e ambulâncias possuem letreiros invertidos, para que possam ser lidos corretamente no espelho retrovisor de um carro.

O que é visto no espelho

Faça um diagrama que forma a imagem dos objetos, representados pelas setas, a seguir num espelho plano.



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Atividade

4

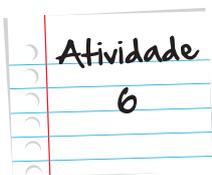
Fugindo do espelho

Se uma pessoa afasta-se de um espelho, sua imagem também se afastará, no sentido oposto. Se o indivíduo caminha com uma velocidade de um passo por segundo, a qual velocidade sua imagem se afasta dele? E do espelho?

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Atividade

5

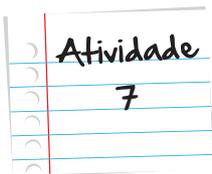


O oposto do que é visto

Desenhe as imagens formadas pelas letras a seguir, se estas forem colocadas em frente a um espelho plano:

A L V N Q

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte



Virando do avesso

Escreva o seu nome de forma que a imagem formada pelo seu nome num espelho plano possa ser lido corretamente.

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Seção 3

Espelhos curvos

Na seção anterior, discutimos as imagens formadas por espelhos e superfícies planas. No exemplo das ambulâncias, falamos do espelho retrovisor do carro. Você já notou que a imagem produzida por esse espelho é menor que o objeto em si? Isso se deve ao fato de a superfície desse espelho não ser plana. Na verdade, esse espelho é dito convexo, ou seja, a superfície refletora do espelho é abaulada (curvada) para fora como a forma de uma esfera ou bola de futebol (veja a Figura 14).



Figura 14: Repare que a superfície refletora nas imagens (a) e (b) é abaulada, modificando a imagem que é vista.

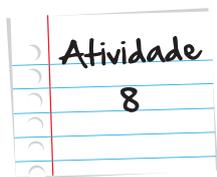
Imagens formadas por espelhos convexos

A imagem formada por um espelho convexo é sempre virtual (formada atrás do espelho, pelos prolongamentos dos raios refletidos), como no espelho plano de seu banheiro. Entretanto, a imagem será sempre menor que o objeto, e a distância entre a imagem e o espelho, menor que a do objeto ao espelho (veja a Figura 14).

Geometricamente podemos entender esse fenômeno da seguinte forma: pela lei da reflexão, o ângulo formado entre a normal e o raio incidente deve ser igual ao ângulo entre a normal e o raio refletido.

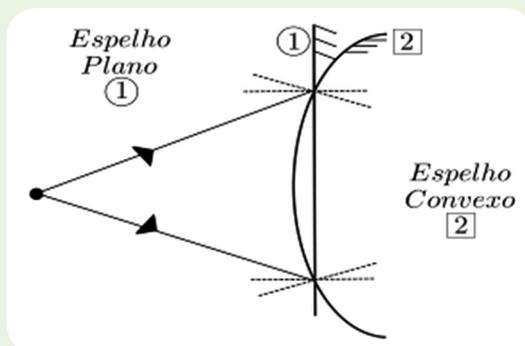
No caso do espelho convexo, entretanto, a curvatura do mesmo faz com que a normal mude de direção de tal forma que o prolongamento dos raios refletidos torna-se mais convergente se comparado com o espelho plano. Na Atividade 8, você aplicará a lei da reflexão, verificando o que descrevemos em palavras neste parágrafo.

Esse mesmo efeito faz com que a distância entre a imagem e o espelho diminua, se comparado à imagem formada no espelho plano.



Olhando em um espelho convexo

Desenhe os raios refletidos para os espelhos 1 e 2 da figura a seguir, utilizando a lei da reflexão.



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte



Figura 15: Calota esférica.

Para compreendermos melhor o que se passa, vamos estudar com mais cuidado a construção de um espelho convexo. Imagine uma esfera de vidro tal qual uma bolinha de gude ou uma bola de cristal (dessas usadas por cartomantes que prometem ler a sua sorte). Podemos fazer um corte plano, de tal modo que o objeto retirado seja uma **calota** (veja a Figura 15).

Se espelhamos a parte abaulada (curvada) dessa calota, temos um espelho convexo. Esse espelho provém de uma esfera que possui um determinado raio. Existe uma

distância bastante especial para entendermos a construção de imagens em espelhos convexos que é a distância focal. Essa distância mede exatamente a metade do valor do raio da esfera.

Todos os raios luminosos que sejam paralelos ao eixo focal (reta horizontal que passa pelo centro de curvatura do espelho), terão prolongamentos que se encontram em um ponto dentro do espelho (ver Figura 16).

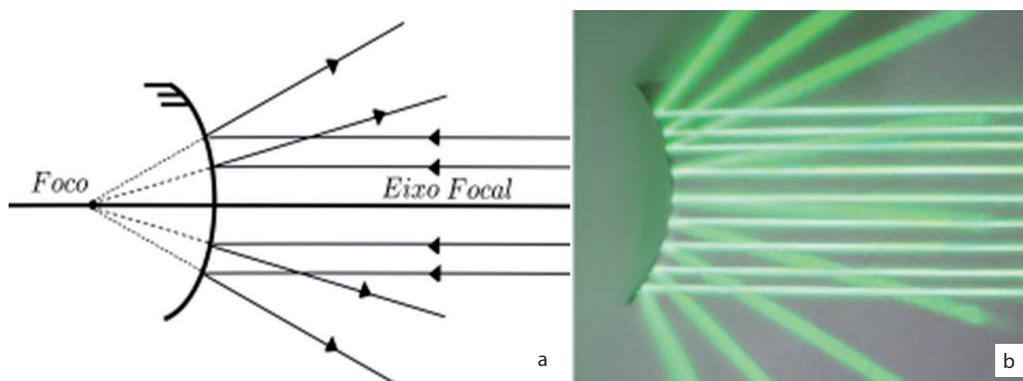


Figura 16: Reflexão de raios paralelos ao eixo focal em um espelho convexo. Na figura (a), temos um esquema mostrando como os reflexos dos raios são prolongamentos a partir do foco. Em (b), temos a imagem real de uma reflexão de raios em um espelho convexo.

A esse ponto damos o nome de foco. Para construir uma imagem nesse espelho, usaremos o mesmo processo que usamos no espelho plano. Pegaremos um raio luminoso que sai do objeto e chega ao espelho e que seja paralelo ao eixo focal, e a partir do ponto onde ele encontra a superfície do espelho, traçaremos o raio refletido.

A partir daí, podemos prolongar o raio refletido para dentro do espelho, mas precisamos de pelo menos um outro raio luminoso para completar essa imagem (na verdade, conforme discutimos anteriormente, o prolongamento de todos os raios luminosos que saem de um ponto é que formam a sua imagem. Entretanto, se quisermos saber apenas onde a imagem se encontra, apenas dois raios tornam-se necessários).

Na verdade podemos escolher qualquer raio luminoso, mas escolheremos aqui um raio bastante simples que é o raio que sai do objeto e encontra o espelho exatamente onde o eixo focal o atravessa (a esse ponto damos o nome de vértice). O prolongamento desse raio refletido se encontra com o prolongamento feito anteriormente, e neste ponto de cruzamento teremos a imagem do ponto que originou os dois raios (veja a Figura 17).

Se repetirmos essa tarefa para todos os outros pontos que constituem o objeto, formaremos por completo a imagem no espelho convexo. Perceba que, se desejamos representar a imagem de um objeto similar a uma vela, só precisamos saber onde se tocam os raios referentes à “cabeça” da vela, utilizando dois raios particulares: um que passa paralelo ao eixo focal, e um que passa pelo vértice do espelho (veja a Figura 17).

Devido ao formato do espelho e à lei da reflexão, é simples prever a direção desse raio refletido. Como a normal ao espelho no vértice é o próprio eixo focal, o ângulo entre este raio incidente e o eixo focal será igual ao ângulo formado pelo seu raio refletido e o eixo. A Figura 17 ilustra um esquema deste fenômeno.

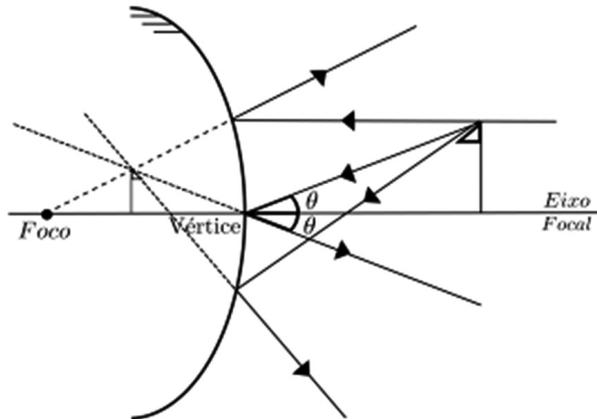
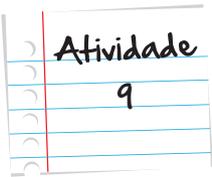


Figura 17: Veja que o raio paralelo ao eixo focal é refletido de tal modo que sua projeção passa pelo foco do espelho. O raio que incide no vértice do espelho é tal que os dois ângulos mostrados na figura são iguais. Devido ao fato de ambos os raios serem provenientes da "cabeça" da bandeira, o ponto onde as projeções destes raios refletidos se tocam corresponde à "cabeça" da imagem da mesma. Temos ainda um terceiro raio qualquer, para ressaltar o fato de que QUALQUER raio que passe pela "cabeça" do objeto corresponderá à imagem deste ponto.



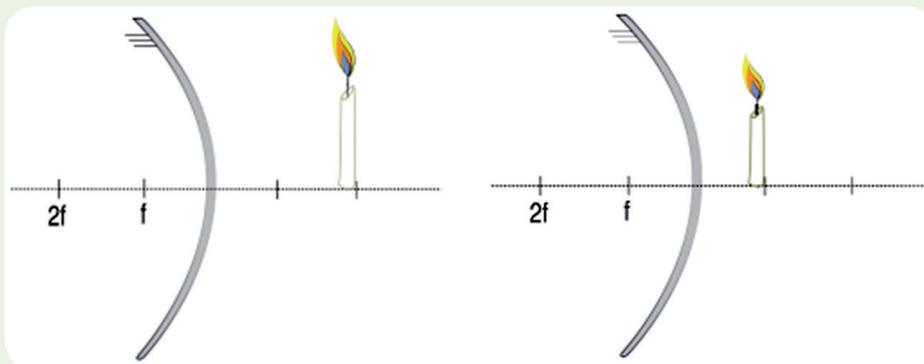
Os usos de um espelho convexo

Pesquise algumas aplicações de espelhos convexos no seu dia a dia e dê, pelo menos, um exemplo do uso de espelhos convexos que são comuns em nosso cotidiano.

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Construção de imagens

Construa geometricamente, utilizando os raios especiais que discutimos nesta seção, a imagem formada pelo espelho dos objetos na figura a seguir.



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Atividade

10

Olhe pelo retrovisor!

De acordo com o que foi visto até aqui, explique por que motivo espelhos convexos são amplamente utilizados em retrovisores de automóveis?

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Atividade

11

Imagens formadas por espelhos côncavos

Bem, muito provavelmente você já se olhou em uma colher de aço inox, cuja superfície é refletora e bem polida. A imagem formada “pelas costas” da colher é uma imagem virtual e menor, pois ela tem um formato convexo.

Mas se olharmos na parte interna da colher, notaremos que as características da imagem formada dependem da distância do objeto (no caso, seu rosto) à colher. Há inclusive uma determinada distância em que a imagem desaparece.

Nós convidamos você a realizar o seguinte experimento: pegue uma colher de metal bem limpa e segure-a em uma das mãos com o braço esticado, o mais distante possível de seus olhos. Feche um olho e aproxime a colher lentamente do olho que está aberto. Você perceberá que, no ponto mais distante, a imagem formada está de cabeça para baixo (invertida) e se forma atrás da colher (e, portanto, virtual). Ao aproximá-la, você verá a imagem aumentar gradualmente; num ponto específico, a imagem sumirá (ficará borrada e indistinguível) e prosseguindo com o movimento, surgirá uma imagem não invertida (direita) que aumentará à medida que o movimento de sua mão continuar. Diferentemente das outras imagens que vimos até o momento, esta última não se forma atrás da colher, mas sim é projetada diretamente em seus olhos (veja a Figura 18).



Figura 18: Exemplo de imagem projetada. Neste caso, a imagem foi projetada numa parede. É exatamente desta maneira que funcionam os retroprojetores.

Há imagens deste tipo, que não se formam atrás do espelho por prolongamento de raios, mas sim são projetadas à sua frente. São chamadas **imagens reais**. Vamos esquematizar os fenômenos descritos anteriormente, que esperamos que você tenha reproduzido com a colher.

Como podemos construir geometricamente as imagens formadas por um espelho côncavo?

Bem, na Figura 19, podemos ver dois tipos de raios bastante peculiares, que já foram explorados no caso dos espelhos convexos.

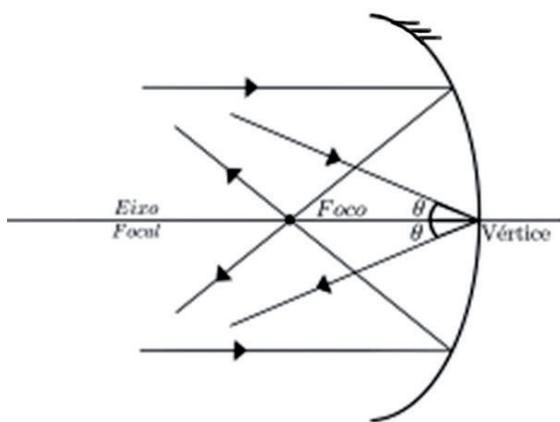


Figura 19: Em (a), temos destacados dois tipos de raios especiais. Um deles é o que viaja paralelamente ao eixo focal (e que é refletido de modo a passar pelo foco do espelho), e o que incide no vértice. Em (b), temos um feixe de raios solares paralelos ao eixo focal incidindo num espelho côncavo. Com o auxílio de fumaça, vemos a convergência desses raios no foco do espelho.

Todo raio que viaja paralelamente ao eixo focal do espelho é refletido de maneira a convergir num único ponto, que chamamos foco. Um raio que incide exatamente no centro de curvatura é refletido tal como mostrado na Figura 19a, isto é, simétrico com relação ao eixo focal. Utilizando esses dois raios especiais, ilustramos, a seguir, as imagens formadas pelo espelho côncavo, em função da posição relativa do objeto ao espelho.

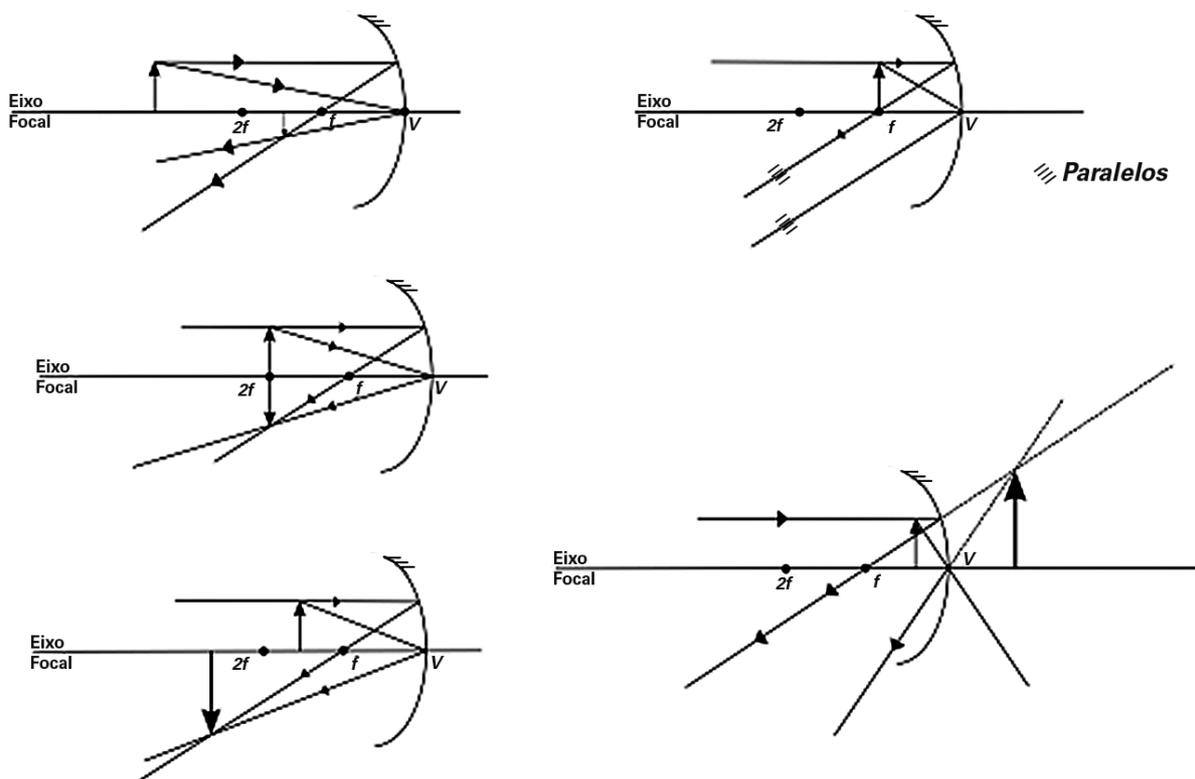
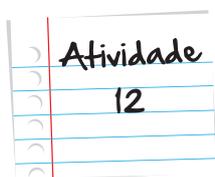


Figura 20: Imagens formadas num espelho côncavo, com respeito às posições do objeto relativas ao foco (f), vértice (V) e o raio (que é o dobro da distância focal, por isso o rotulamos por $2f$).

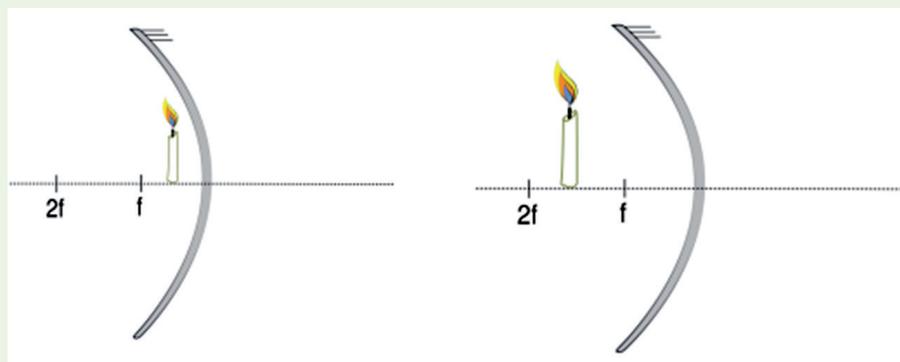
Você pode reproduzir estes diagramas facilmente. Basta possuir uma régua, papel e lápis. Escolha primeiramente onde estará o espelho. Marque a posição do foco desse espelho (por exemplo, a 5 cm do vértice), e em seguida, o raio do espelho representado na Figura por $2f$ (no exemplo anterior, $2f$ estará a 10 cm do vértice).

Lembrando que todo raio paralelo ao eixo focal passa pelo foco do espelho côncavo, e sabendo que o raio que incide no vértice e seu raio refletido correspondente estão dispostos como se o eixo focal fosse um espelho plano, podemos representar esquematicamente as imagens formadas no espelho côncavo, de maneira análoga ao que vemos na Figura 20. Finalmente, colocamos uma pergunta. As características das imagens que representamos na Figura 18 são condizentes com as imagens que você observou na superfície da colher? Lembre-se de que você controlou a distância entre o seu rosto e a superfície refletora da colher.



Construindo imagens no espelho côncavo

Construa geometricamente, utilizando os raios especiais que discutimos nesta seção, a imagem formada pelo espelho dos objetos na figura a seguir.



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

A partir dos conhecimentos que você obteve nesta seção, explique por que os refletores presentes em lâmpadas e faróis possuem um formato côncavo?



Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Neste texto, discutimos os fenômenos e conceitos básicos para o estudo da óptica geométrica. Você deve ter reparado que muitos desses fenômenos você já havia observado antes, em diversas situações de sua vida. Com o conceito de raio luminoso e a lei da reflexão, fomos capazes de construir as imagens formadas por espelhos curvos e planos. Na próxima aula, discutiremos o fenômeno de refração, e como podemos utilizá-lo para explicar a formação de imagens em lentes.

Resumo

Nesta unidade você viu que:

- Um raio luminoso é a trajetória que a luz faz a partir da sua origem.
- A lei da reflexão diz que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
- A formação de sombra se dá quando um raio luminoso encontra um objeto opaco que impede a continuação de sua trajetória.
- Um feixe divergente é aquele cujos raios luminosos partem de um ponto único e se espalham em várias direções.
- Um feixe convergente é aquele cujos raios luminosos partem de direções diversas e chegam a um ponto comum.
- Um feixe colimado é aqueles cujos raios luminosos são sempre paralelos.
- Uma imagem virtual é aquela que se forma atrás do espelho.
- Uma imagem real é aquela que se forma na frente do espelho.

- Para se construir uma imagem em espelhos esféricos, usamos os prolongamentos dos raios luminosos incidentes e refletidos que passam pelo vértice e pelo foco do espelho.

Veja Ainda

Observando um espelho côncavo

Caso você não tenha conseguido realizar o experimento com a colher, como foi proposto nesta unidade, não fique triste, no link a seguir há uma animação muito interessante que descreve como a imagem de um objeto se comporta, quando é aproximado de um espelho côncavo.

- <http://www.youtube.com/watch?v=U4B8F2hCYus>

Atividade 1

Sombra



Respostas
das
Atividades

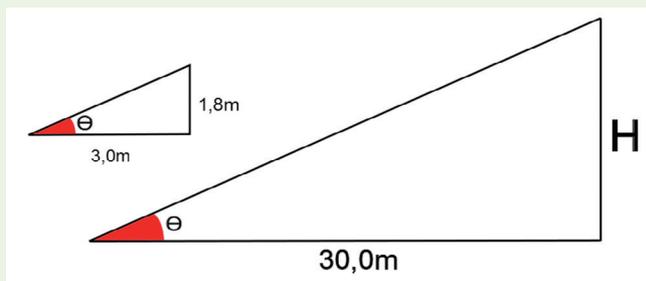
Atividade 2

Da esquerda para a direita!

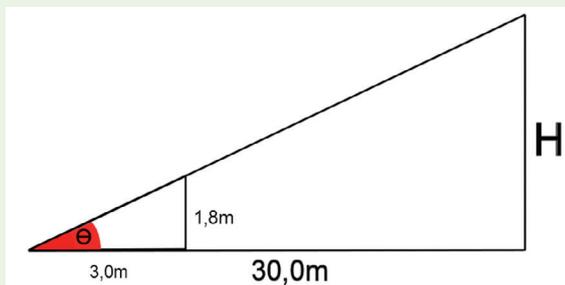
Colimado, convergente e divergente.

Atividade 3

Bem, a pessoa mede 1,8m e o tamanho de sua sombra é 3,0m. Com esses dados, e sabendo que os raios de luz caminham em linha reta, podemos montar um triângulo retângulo cujo cateto adjacente mede 3,0m e o cateto oposto 1,8m. Veja a figura a seguir.



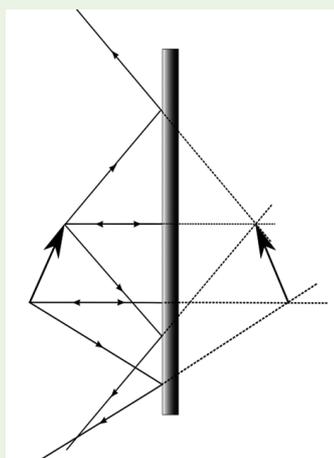
Agora podemos fazer o mesmo com o prédio e sua sombra; montar um triângulo retângulo cujo cateto adjacente ao ângulo mede 30,0m e o cateto oposto mede H, a altura que procuramos, como você pode ver na figura.



Como os raios de luz do sol vêm de muito longe, podemos considerar que eles são todos paralelos ou seja, podemos considerá-los um feixe colimado. Isso nos permite dizer que os dois triângulos formados são semelhantes. Logo, podemos realizar a semelhança de triângulos, que nos permitirá encontrar o valor da altura H do prédio.

Veja: $1,8/3,0 = H/30,0$. Desenvolvendo essa equação, temos: $H = (1,8 \times 30,0)/3 = 18,0\text{m}$

Atividade 4



Para construir esse diagrama, basta escolher dois pontos do objeto (no caso extremidades). Traçar dois raios luminosos provenientes desses pontos e prolongar os raios refletidos para dentro do espelho.

Atividade 5

Ao se afastar do espelho, dê um passo e a sua imagem também se afastará de um passo do espelho. Note que você caminha em sentido contrário à sua imagem. Logo, nesse instante, você estará dois passos mais distante de sua imagem. Se você se afasta a um passo por segundo do espelho, a sua imagem também se afastará, com a mesma velocidade, para dentro do espelho. Isso faz com que a distância entre você e sua imagem seja o dobro da distância entre você e o espelho. Contudo, a velocidade de afastamento entre a sua imagem e você será o dobro!

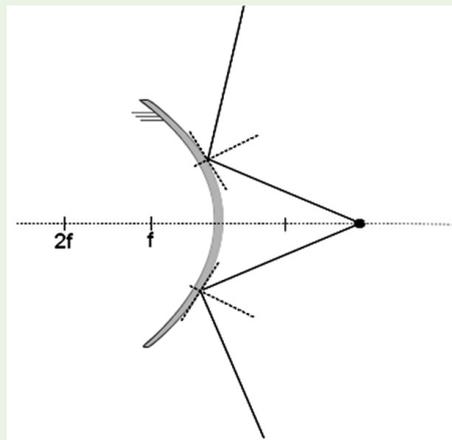
Atividade 6

A J V N O

Atividade 7

l o 2 È

Atividade 8

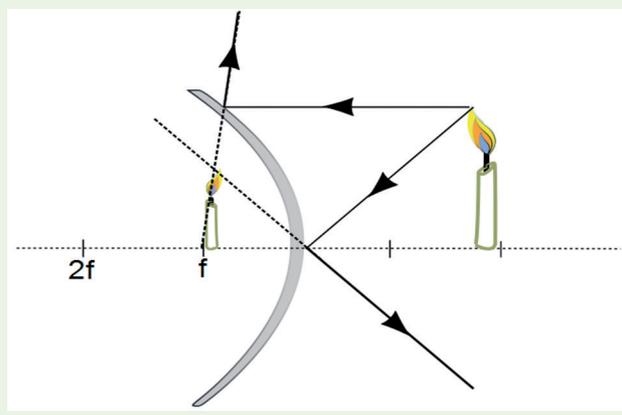


Atividade 9

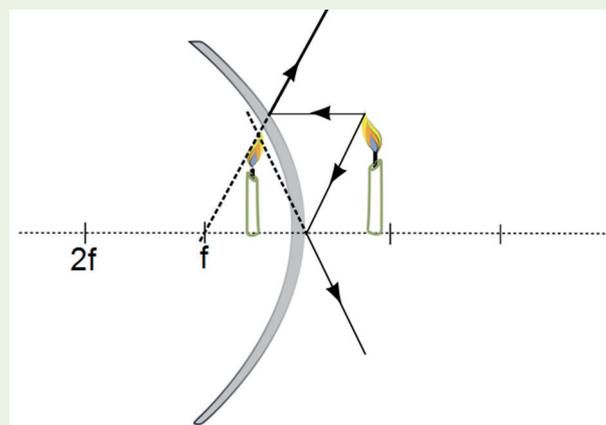
Os espelhos convexos são amplamente usados em saídas de garagem ou em lojas, pois eles ampliam o campo de visão do observador. A imagem formada por um espelho convexo tem maior amplitude, se comparada a de um espelho plano, embora seja menor que o objeto.

Atividade 10

a)



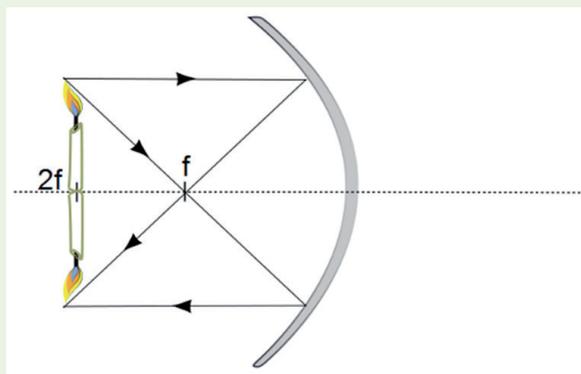
b)



Atividade 11

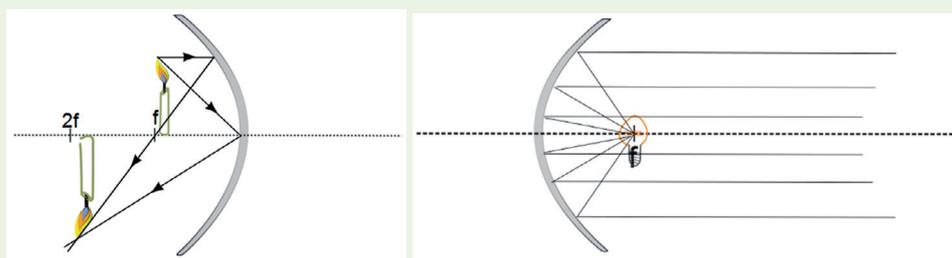
Como discutido, os espelhos convexos são capazes de ampliar o espectro de visão, ou seja vemos uma imagem bem ampla em uma pequena área. Essa propriedade permite que o motorista tenha uma melhor visão do trânsito.

Atividade 12



Atividade 13

Quando usamos um espelho côncavo, geralmente queremos focalizar um feixe de luz, ou pelo menos evitar que ele seja muito divergente. Veja a figura a seguir.



Bibliografia

- HEWITT, Paul. *Física Conceitual*, 9ª. Edição. Porto Alegre: ARTMED Ed., 2002
- LUZ, Antonio Máximo Ribeiro da e ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. *Curso de física*. São Paulo: Scipione. 2007.
- Boa, M. F. & Guimarães, L. A. *Física: Termologia e óptica Ensino Médio* São Paulo: Harbra, 2007.

Imagens



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1221586>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1368439>.



• <http://www.sxc.hu/photo/765219>.



• http://en.wikipedia.org/wiki/File:Jan_Verkolje_-_Antonie_van_Leeuwenhoek.jpg.



• http://en.wikipedia.org/wiki/File:Leeuwenhoek_Microscope.png.



• <http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=47993>.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• Vitor Lara e Leonardo Pereira Vieira.



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1220957> • Ivan Prole.

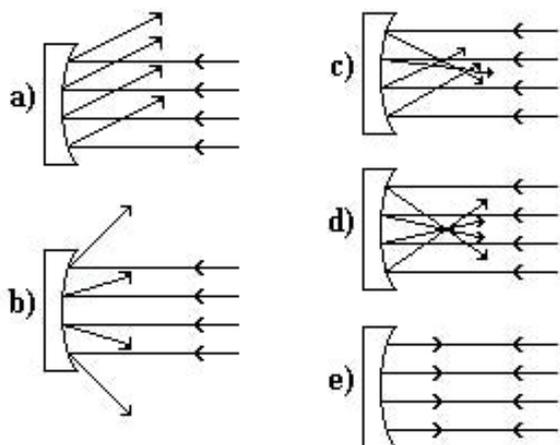


• http://www.sxc.hu/985516_96035528.

O que perguntam por aí?

Questão 1 (Unesp/1992)

Isaac Newton foi o criador do telescópio refletor. O mais caro desses instrumentos até hoje fabricado pelo homem, o telescópio espacial Hubble (1,6 bilhão de dólares), colocado em órbita terrestre em 1990, apresentou em seu espelho côncavo, dentre outros, um defeito de fabricação que impede a obtenção de imagens bem definidas das estrelas distantes (O Estado de São Paulo, 01/08/91, p.14). Qual das figuras a seguir representaria o funcionamento perfeito do espelho do telescópio?



Questão 2 (Fei/1992)

O espelho retrovisor de uma motocicleta é convexo porque:

- a. Reduz o tamanho das imagens e aumenta o campo visual;
- b. Aumenta o tamanho das imagens e aumenta o campo visual;

- c. Reduz o tamanho das imagens e diminui o campo visual;
- d. Aumenta o tamanho das imagens e diminui o campo visual;
- e. Mantém o tamanho das imagens e aumenta o campo visual.

Gabarito

- 1. D
- 2. A



Atividade extra

Questão 1 (Adaptado de ENEM - 1998)

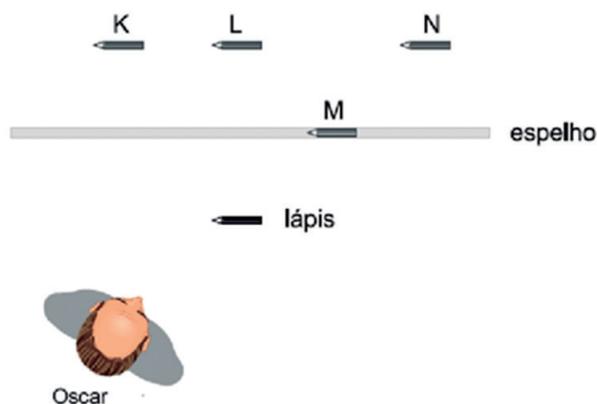
A sombra de uma pessoa que tem 1,80 m de altura mede 60 cm. No mesmo momento, a seu lado, a sombra projetada de um poste mede 2,00 m.

Se, mais tarde, a sombra do poste diminuiu 50 cm, a sombra da pessoa passou a medir, em cm:

- a. 30;
- b. 45;
- c. 50;
- d. 80.

Questão 2 (Adaptado de UFMG - 2003)

Oscar está na frente de um espelho plano, observando um lápis, como representado na figura:

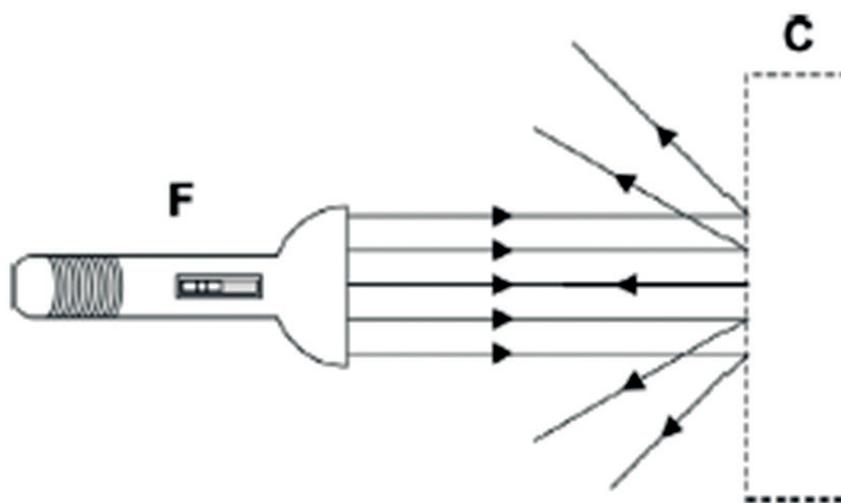


Com base nessas informações, Oscar verá a imagem do lápis na posição:

- a. K;
- b. L;
- c. M;
- d. N.

Questão 3 (Adaptado de UEA - 2004)

Na situação apresentada a seguir, uma fonte de luz **F**, proveniente de uma lanterna especial, emite um feixe de raios luminosos paralelos. O feixe incide sobre uma caixa **C**, transparente, contendo um elemento óptico, responsável pelo feixe emergente.



Pela análise do feixe emergente, podemos concluir que, no interior da caixa, pode existir:

- a. um espelho esférico côncavo;
- b. um espelho esférico convexo;
- c. uma lente convergente;
- d. um espelho plano.

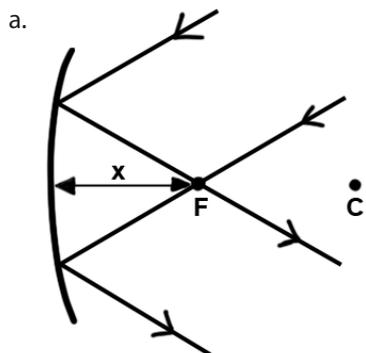
Questão 4 (Adaptado de UFF)

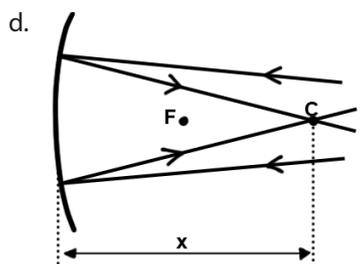
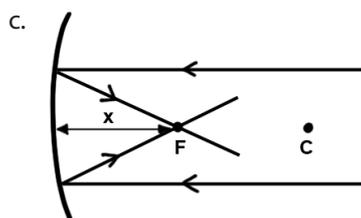
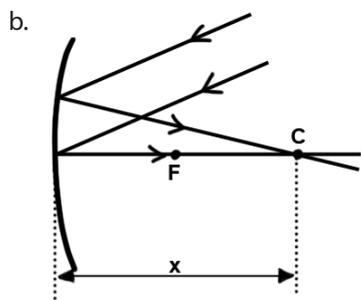
Um projeto que se beneficia do clima ensolarado da caatinga nordestina é o fogão solar (figura 1), que transforma a luz do sol em calor para o preparo de alimentos. Esse fogão é constituído de uma superfície côncava revestida com lâminas espelhadas que refletem a luz do sol. Depois de refletida, a luz incide na panela, apoiada sobre um suporte a uma distância x do ponto central da superfície.



Suponha que a superfície refletora seja um espelho esférico de pequena abertura, com centro de curvatura C e ponto focal F .

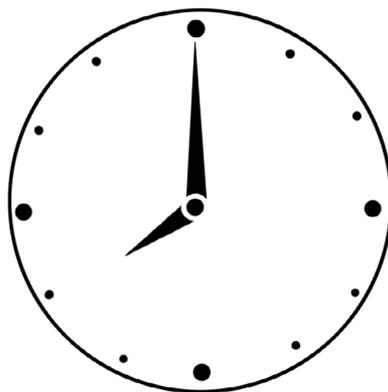
A representação da incidência e a reflexão dos raios solares, assim como a distância x na qual o rendimento do fogão é máximo é:





Questão 5 (Cecierj - 2013)

Considere um relógio de parede com ponteiros. Um estudante observou a imagem desse relógio refletida em um espelho plano, conforme a figura a seguir, e fez a leitura de 8 horas.



Qual a leitura que o estudante faz diretamente no relógio? Faça um desenho que representa o relógio, o espelho plano e a imagem do relógio.

Gabarito

Questão 1

- A** **B** **C** **D**

Questão 2

- A** **B** **C** **D**

Questão 3

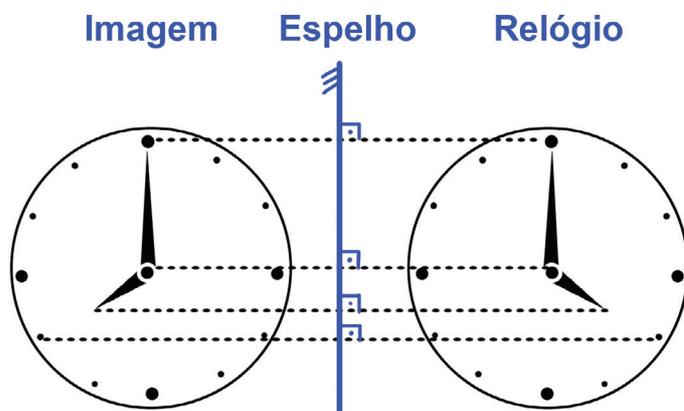
- A** **B** **C** **D**

Questão 4

- A** **B** **C** **D**

Questão 5

A leitura realizada pelo estudante diretamente no relógio será 4 horas.





Refração e aplicações

Fascículo 7
Unidade 17

Refração e aplicações

Para início de conversa...

Na unidade anterior, introduzimos a ideia de raio luminoso e aplicamos esta ideia, explicando a formação de sombras e imagens em espelhos planos e curvos. Agora, vamos focar nossa atenção no fenômeno conhecido como refração, que nos permitirá entender o funcionamento das lentes, utilizadas em óculos, retroprojetores, e até nos mais poderosos telescópios, tais como o famoso **Hubble**.



Figura 1: Hubble é um satélite astronômico artificial que não possui tripulação e transporta um grande telescópio que captura tanto a luz visível quanto a infravermelha.

Objetivos de aprendizagem

- Identificar o fenômeno da refração em alguns casos simples;
- Associar a Lei de Snell à aproximação (ou afastamento) do raio, refratado com relação à normal;
- Esquematizar a construção de imagens em lentes convergentes e divergentes, como função da distância relativa entre o objeto e a lente;
- Relacionar a reflexão interna total ao funcionamento das fibras ópticas;
- Associar a refração e as lentes estudadas a situações reais em que elas podem ser utilizadas, em função de suas propriedades.

Seção 1

Refração

Para discutir o fenômeno da refração, pedimos a você que providencie um copo cheio d'água e um lápis. Coloque o lápis no copo obliquamente (inclinado) e observe a imagem formada na lateral do recipiente (veja a Figura 2).



Figura 2: Um lápis dentro de um copo d'água. Repita essa montagem e verifique que isto acontece.

O que você pode observar de estranho? O lápis parece estar “quebrado”, certo? O fenômeno físico responsável por essa ilusão de óptica é chamado de refração.

Em nosso estudo sobre os fenômenos que envolvem a luz, introduzimos vários aspectos e modelos relacionados a como a luz comporta-se em determinadas situações. Agora é hora de discutirmos um pouco sobre a natureza da luz.

Você já se perguntou quanto tempo leva para que a luz saia de uma lâmpada e chegue ao chão de seu quarto, quando você a acende? Ou ainda, se ela simplesmente não chega ao chão instantaneamente, sem demorar tempo algum?

Muito provavelmente você já observou uma tempestade e viu um relâmpago na linha do horizonte. É interessante notar que o som provocado por esse fenômeno é ouvido somente alguns segundos depois dele ser visto, o que nos leva à conclusão que no mínimo a velocidade de propagação da luz é consideravelmente maior que a do som.

Para essas questões, trazemos a seguinte resposta: a velocidade da luz não é infinita, isto é, a luz leva um certo tempo para percorrer uma determinada distância. Junto a essa informação, discutiremos rapidamente um princípio muito importante em vários ramos da física.

Imagine a seguinte situação: estamos dentro de uma ambulância, que está sobre uma pista de asfalto. Queremos atravessar esta pista de asfalto, para chegar até uma emergência, que está num solo barroso (veja a Figura 3).

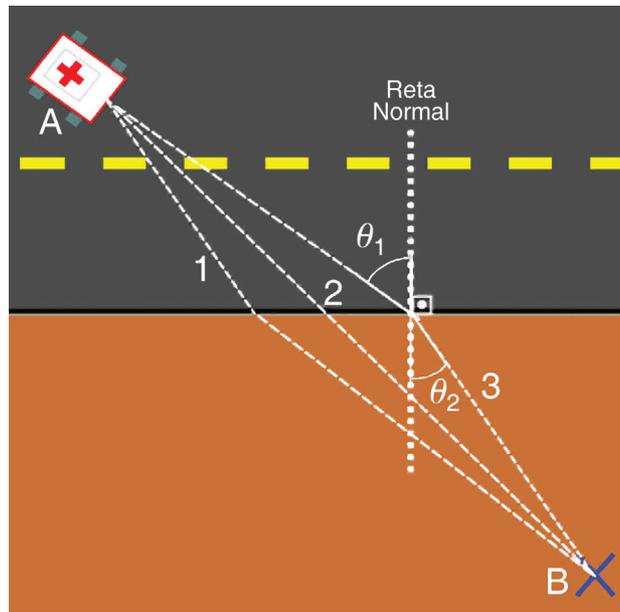


Figura 3: Vista de cima, onde temos duas pistas distintas, com formato retangular. O carro encontra-se na quina superior esquerda (ponto A), e deseja chegar à quina inferior direita (ponto B). Temos indicado 3 trajetórias possíveis para o carro, numeradas como trajetórias 1, 2 e 3.

Como você bem sabe, a maior velocidade que o carro pode atingir será maior na pista de asfalto do que na pista de barro. Suponha então que o carro viaja a 100 km/h na pista de asfalto. Se o motorista não exigir mais do motor à medida que o carro adentrar na pista de barro, a velocidade da ambulância inevitavelmente diminuirá (digamos que ela passou de 100 a 70 km/h). Agora, lembre-se que desejamos chegar ao ponto B da emergência no menor tempo possível. Na Figura 2, temos indicadas 3 possíveis trajetórias. Você seria capaz de dizer em qual das três trajetórias o carro de socorro chegará mais rapidamente ao ponto B?



Registre a seguir como seria essa trajetória e por que você a escolheu.

Lembre-se:
faça em uma
folha à parte

Esta situação que criamos com a ambulância ilustra também o que ocorre com um raio de luz, quando o mesmo passa de um meio para outro. O fato é que a velocidade de propagação da luz depende do meio no qual a mesma está viajando. A seguir, damos alguns valores para a velocidade da luz no vácuo, no ar, no vidro e na água.

Meio	Velocidade da luz
Vácuo	300.000 km/s
Ar	~300.000 km/s
Água	225.500 km/s
Vidro	200.000 km/s



Figura 4: Ao atravessar diferentes meios, a luz refrata-se, mudando assim a sua velocidade. Isso causa uma deformação da imagem que está sendo vista.

Índice de refração

Vimos anteriormente que a velocidade da luz varia conforme o meio em que ela se propaga. Podemos associar esta mudança na velocidade da luz a um índice, que nos quantifique de alguma maneira essa variação. Definiremos o índice de refração n através da relação

$$n = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo } (V_v)}{\text{velocidade da luz no meio em que ela se encontra } (V_m)}$$

$$n = \frac{V_v}{V_m} \quad \text{ou} \quad n = \frac{C}{V_m}$$

Alguns valores de índices de refração:

Meio	Símbolo	Valor
Vácuo	n_{vacuo}	1,0
Ar	n_{ar}	1,0
Água	n_{agua}	1,33
Vidro	n_{vidro}	1,50

Agora, para ilustrar o fenômeno de maneira mais esquemática, usaremos uma fonte laser (como as facilmente encontradas em papelarias), um aquário retangular e duas gotas de leite. Misturamos o leite à água do aquário para evidenciar o trajeto do feixe luminoso, produzido pelo laser pointer, uma vez que a mistura da água com o leite acentua o espalhamento da luz, tratado na aula anterior (veja a Figura 4).

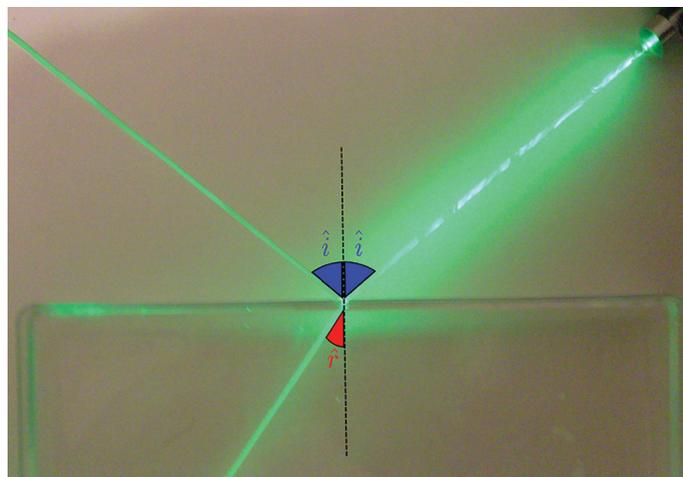


Figura 5: Veja que a direção do feixe luminoso altera-se, quando o mesmo passa do ar para a água.

Observe que direcionamos o feixe laser obliquamente à superfície do líquido, de modo que o raio incidente faça um ângulo \hat{i} com relação a uma reta normal (perpendicular) à superfície. A este ângulo, damos o nome de **ângulo incidente** (veja a Figura 5).

Note que parte da luz que chega à superfície é refletida, segundo a lei da reflexão (ver aula anterior), enquanto que outra parcela penetra na mistura líquida. O ângulo r formado pelo feixe que adentrou o fluido e a normal (feixe refratado), entretanto, é diferente do ângulo incidente. Repare que ao penetrar no fluido o feixe luminoso aproximou-se da normal, o que equivale a dizer que o ângulo r é menor que o i .

Podemos buscar uma relação **empírica** que nos permita relacionar os ângulos r e i , para um par de meios. No exemplo do parágrafo anterior os meios distintos são o ar e a mistura água-leite.

Empírico

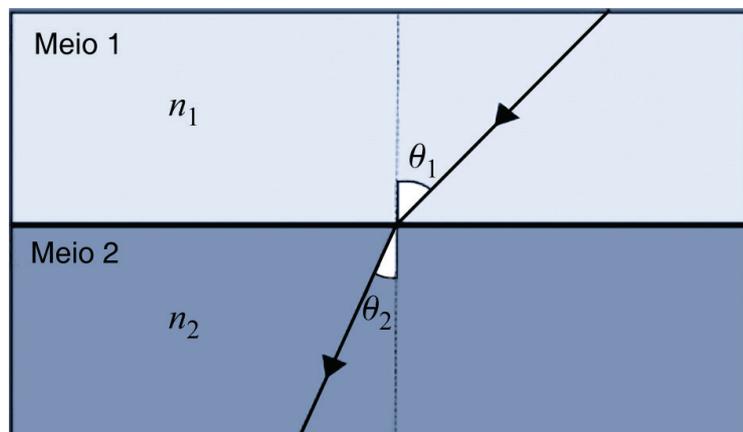
Baseado em observação de experiências.

Lei de Snell-Descartes

Existe uma equação que nos fornece quantitativamente a variação angular entre os raios incidente e refratado, e que nos possibilita descobrir qual o ângulo do raio refratado, a partir do ângulo incidente e vice versa. Ela é dada por:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

onde n_1 é o índice de refração do meio 1 e θ_1 o ângulo incidente, e n_2 é o índice de refração do meio 2 e θ_2 o ângulo refratado (veja a figura a seguir).



Representação esquemática da refração observada na Figura 4.

Entretanto, não vamos nos prender à aplicação da equação da lei de Snell-Descartes, pois temos como objetivo apenas deixar claro que a refração ocorre devido a uma diferença na velocidade de propagação da luz em dois meios distintos.



No exemplo anterior, vimos que o raio refratado aproximou-se da normal. Isso sempre ocorrerá quando a luz vier de um meio menos **refringente**, para um meio mais refringente, isto é, de um meio onde a velocidade é maior, para um meio onde a velocidade é menor.

Refringência

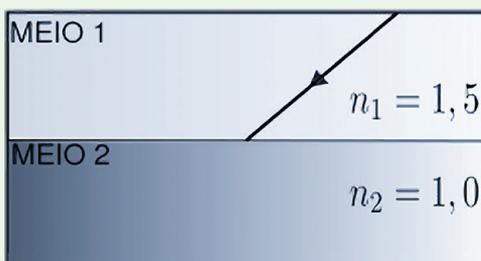
É o nome dado para a medida do índice de refração absoluto do meio onde o raio propaga-se e está diretamente relacionado à velocidade da luz, neste meio. Quanto menor for a refingência, maior será a velocidade da luz neste meio e vice versa.

Você pode se lembrar do exemplo da ambulância. Como podemos ver na Figura 3, o fato de a trajetória 3 ser a indicada, implica que a velocidade no meio 1 é maior que a velocidade no meio 2 (a ambulância percorreu uma distância maior nesse meio). O que observamos foi que o raio refratado aproximou-se da normal. Agora, quando o raio luminoso vem de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio refratado afasta-se da normal, pelo mesmo motivo.

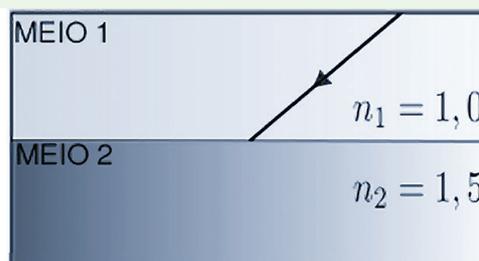


Desvio no caminho

Esboce os raios refratados nos casos abaixo, onde são válidas as relações entre os índices de refração, indicados na figura.



(a)

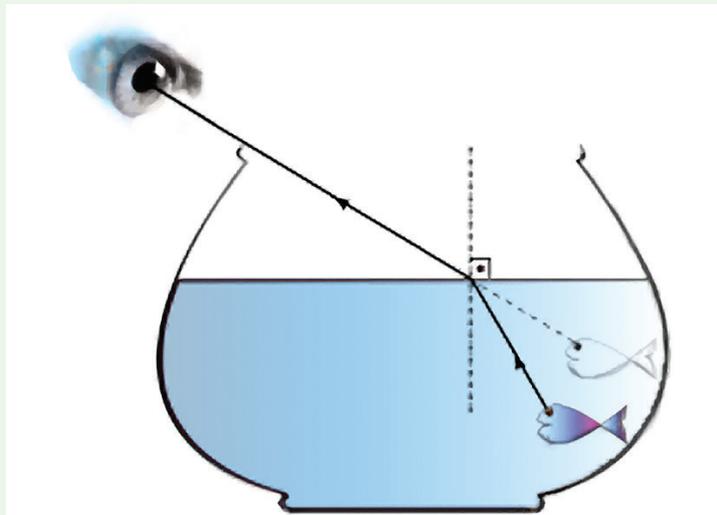


(b)

Anote suas
respostas em
seu caderno

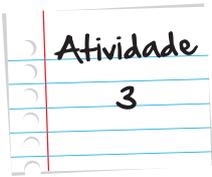
Ele está mesmo ali?

Imagine o seguinte questionamento: Será que a posição que vemos um peixe num aquário pode ser alterada em função do fenômeno de refração, de maneira análoga ao que vimos no caso do lápis no copo d'água (veja a Figura 1)? Formule uma resposta e justifique a mesma (dica: lembre-se que o índice de refração da luz na água é maior que o índice de refração da luz no ar).



Anote suas respostas em seu caderno

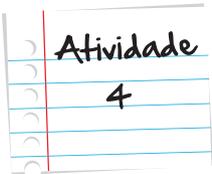
Atividade
2



No limite entre os meios

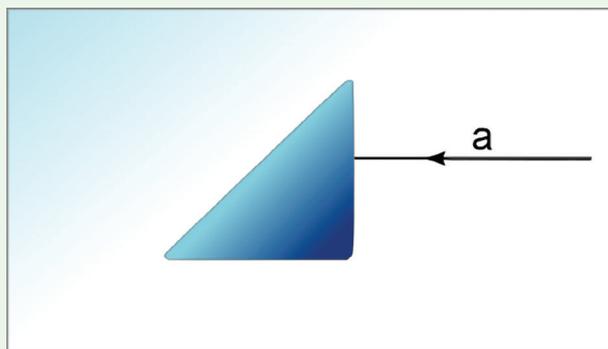
Perceba que pelo que discutimos nesta seção, quando saímos de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio refratado afasta-se da normal. Será que existe um raio inclinado de tal maneira, que o raio refratado encontrar-se-ia exatamente sobre a interface que separa os dois meios? Qual seria o ângulo refratado? Se um raio incidente possuir um ângulo superior a este, como será o raio refratado?

Anote suas respostas em seu caderno



Por um prisma diferente

A imagem a seguir indica um raio luminoso (a) que entrará no prisma. Esboce na figura o raio, refratado do ar para o prisma e o raio que refrata do prisma para o ar. Lembre-se do que acontece com o raio refratado, quando o mesmo sai de um meio mais refringente para um menos refringente (e vice-versa).



Anote suas respostas em seu caderno

Seção 2

Ângulo Limite

Com a discussão que fizemos agora há pouco, podemos explorar um fenômeno bastante interessante, responsável por 90% das comunicações digitais, tais como telefonia móvel e fixa, Internet com e sem fio, transações bancárias, dentre outros. A fibra óptica, largamente usada nas comunicações, baseia-se no fenômeno de **reflexão interna total**, que pode acontecer quando a luz viaja num meio mais refringente e tenta passar para um meio menos refringente, mas não consegue.

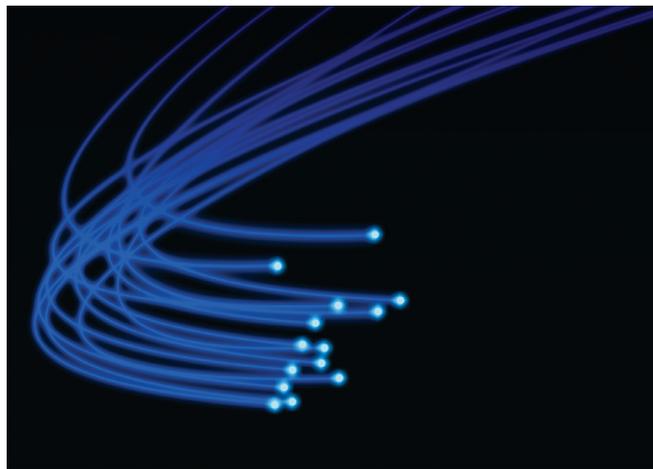


Figura 6: A fibra óptica é uma realidade em nosso cotidiano, através de aplicações cada vez mais diversificadas, desde linhas telefônicas a conexões com a Internet. Seu funcionamento baseia-se nos fenômenos de reflexão interna total.

Existe uma condição especial para que isso ocorra. O ângulo de incidência tem de ser maior que o *ângulo limite*. Esse ângulo específico é determinado da seguinte forma: se formos aumentando o ângulo de incidência, podemos notar que o raio refratado afasta-se cada vez mais da reta normal.

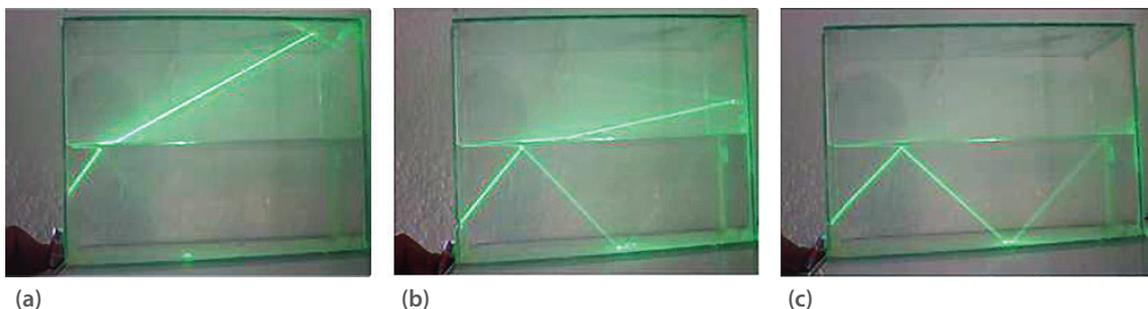


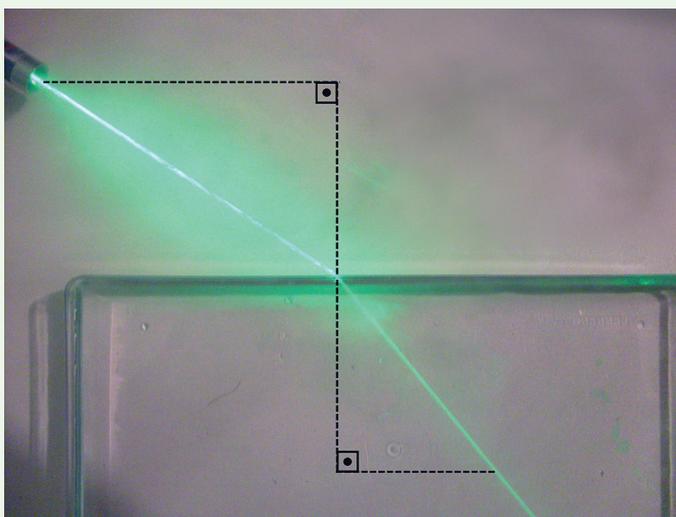
Figura 7: Repare que aos poucos, o raio refratado, que sai da mistura água-leite para o ar com fumaça, afasta-se cada vez mais da normal. Existe um ângulo especial a partir do qual nenhuma parcela do feixe incidente será refratada (7c).

Chegará um momento que o raio refratado passará rente à superfície da água (veja a Figura 7b). Note que o ângulo de refração mede 90° , justamente por que o raio sai paralelo à interface que separa ambos os meios. Se aumentarmos o ângulo de incidência, nem que seja de muito pouco, a luz será refletida totalmente e não sairá de dentro da água (veja a Figura 7c).

Atividade
5

Na velocidade da luz (ou quem sabe de um cometa)

Para o raio incidente e refratado da figura abaixo:



Utilizando uma régua e a lei de Snell, que discutimos anteriormente, estime o índice de refração da água, utilizando para o ar $n_{\text{ar}} = 1$

Anote suas
respostas em
seu caderno

A fibra óptica é capaz de transmitir informação, através de raios luminosos que são refletidos repetidas vezes dentro de um tubo transparente, como pode ser visto na Figura 8.

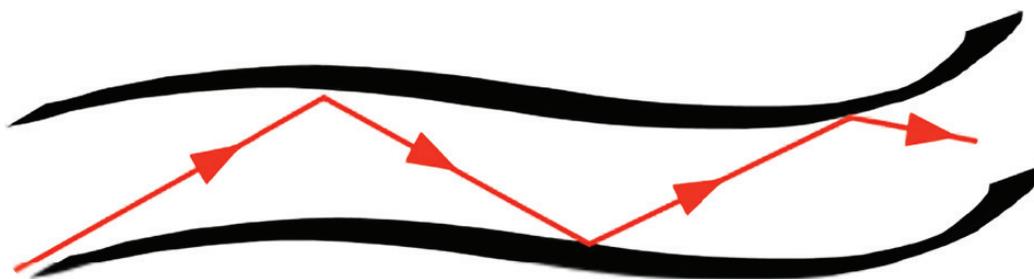


Figura 8: Representação esquemática do funcionamento da fibra óptica (onde ocorrem sucessivas reflexões totais).

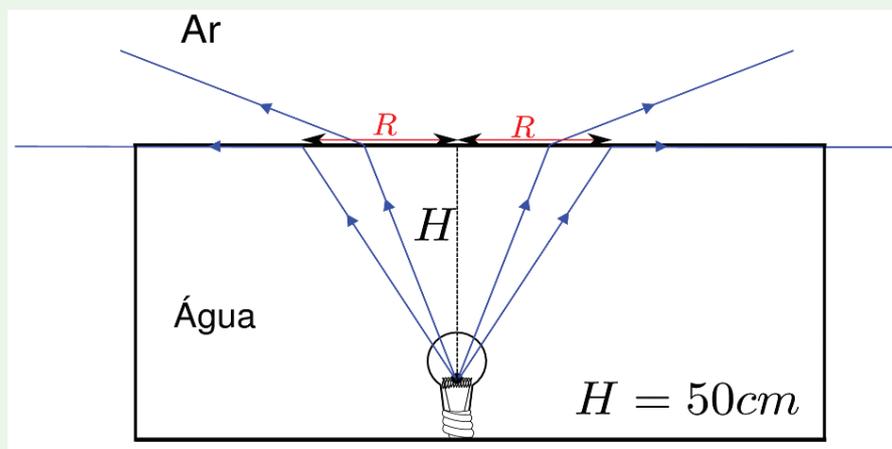
Com um copo transparente, que possui a mistura de água e leite, podemos repetir o fenômeno de reflexão interna ocorrido na fibra (veja a Figura 9).



Figura 9: Utilizando um copo com água e leite, conseguimos reproduzir o fenômeno da reflexão total, responsável pelo funcionamento das fibras ópticas.

Atividade
6

Passando dos limites



Consultando a tabela com alguns índices de refração, utilize a fórmula do ângulo limite para determinar qual será o valor do raio R que se forma na superfície que separa o ar e a água, na figura deste exercício, devido à reflexão total.

Anote suas
respostas em
seu caderno

Seção 3

Lentes

Vamos utilizar o exemplo do prisma, que discutimos agora há pouco. Suponha que temos a nossa disposição dois prismas, dispostos como na figura a seguir.

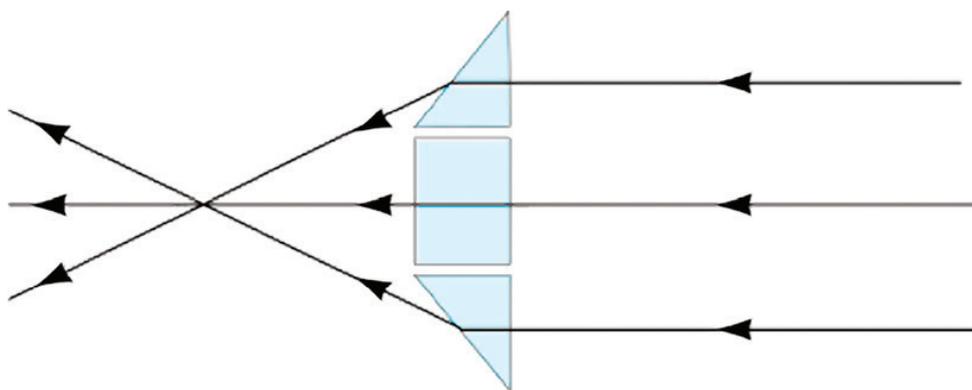


Figura 10: Conjunto de prismas, utilizados em conjunto para convergir os raios paralelos que incidem neles.

Perceba que os raios incidentes, paralelos entre si, têm a sua direção alterada, depois de atravessar o arranjo de prismas. Isso aconteceu devido ao formato peculiar deste arranjo e às propriedades do prisma, que você explorou na atividade 4. Chamamos qualquer objeto transparente, com um formato similar ao da Figura 10 de lente. Repare que o feixe da Figura 10, que inicialmente era *colimado*, converge para um único ponto, que chamamos de foco. As lentes capazes de concentrar feixes luminosos são chamadas de **lentes convergentes**.

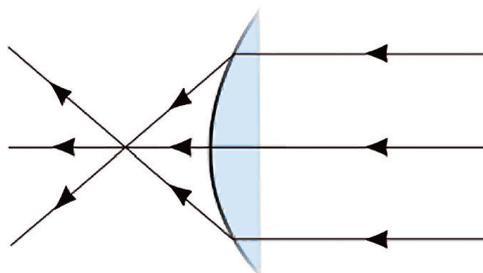


Figura 11: À esquerda, vemos como uma lente convergente (no caso uma lupa) consegue concentrar os raios solares. À direita, temos um diagrama que esquematiza o fenômeno visto com a lupa.

Podemos construir uma lente que possua um formato diferente do que vemos na Figura 11 e que possui a capacidade de divergir feixes luminosos, como podemos ver na figura a seguir.

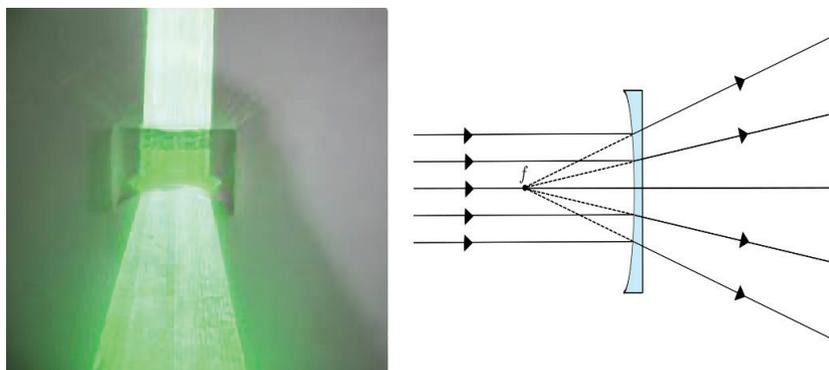


Figura 12: Temos um feixe colimado, incidindo numa lente divergente. Este feixe é paralelo ao eixo principal da lente. Podemos ver que o feixe passa a ser divergente.

Note que o formato de lentes deste tipo é diferente das lentes convergentes. Enquanto as lentes convergentes possuem pelo menos uma face abaulada para fora, as lentes divergentes possuem uma sinuosidade para “dentro”. Não iremos nos aprofundar muito nas especificidades das lentes. Entretanto, é importante acrescentar que existe toda uma variedade de lentes distintas.

Vamos agora nos debruçar sobre a formação de imagens nestas duas categorias de lentes, as divergentes e as convergentes, explorando as características das imagens formadas.

Saiba Mais

O mundo colorido dos prismas

Os prismas são largamente usados em binóculos, pois se tornam um ótimo espelho, quando ocorre a reflexão interna total. Para tanto, o raio de luz que tenta sair do prisma, tem de fazer um ângulo com a normal que seja maior que no ângulo limite. Mas, existe uma condição muito interessante que faz com que uma luz branca (como a do sol) seja decomposta em muitas outras por um prisma (veja a figura).

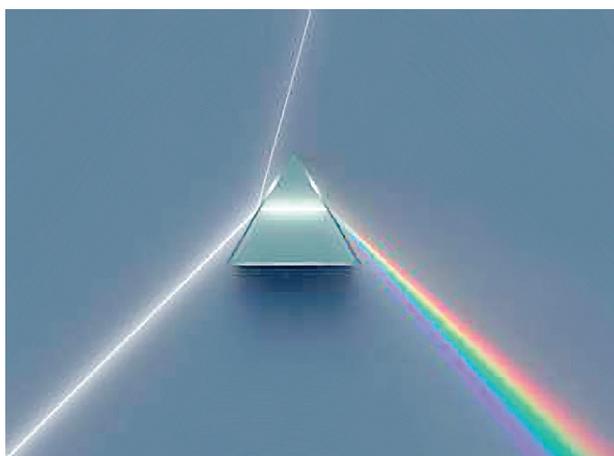


Imagem de um prisma. Cada cor possui um índice de refração diferente e por isso as cores são separadas.

Isso ocorre por que cada cor tem uma faixa de frequência e cada frequência tem um índice de refração distinto para um dado material. Logo, a luz branca quando entra num prisma, cada frequência terá um ângulo de refração diferente. O que separa todas essas cores. Vale dizer que as cores são inúmeras e não sete como comumente pensamos.



Seção 4

Fomação de imagens em Lentes

Lentes Divergentes

Algum dos membros da sua família possui dificuldade para enxergar de longe? A esta disfunção damos o nome de **miopia**. Se você tiver alguém assim ao seu redor, peça a esta pessoa que lhe empreste, se ela tiver, seu par de óculos.

As lentes que compõe esse par de óculos são divergentes, conforme você pode constatar pelo seu formato. Segure com uma das mãos o par de óculos, feche um dos seus olhos e posicione os óculos o mais distante que puder do seu olho aberto.

Agora, fixe sua visão na direção da imagem formada por uma das lentes. Modifique a distância entre a lente e seu olho aberto, trazendo-o lentamente na direção do seu olho. O que acontece com a imagem?

Note que a imagem formada será sempre menor que o objeto observado e será sempre direita, de maneira bastante similar ao caso do espelho convexo. Como podemos entender um pouco mais a formação de imagens neste tipo de lente?

Primeiro, perceba que existe uma distância muito peculiar. Se direcionarmos um feixe colimado numa lente divergente, ele abrirá, conforme podemos ver na Figura 13.

Veja que não existe um ponto onde todos os raios que compõe o feixe encontram-se para que possamos chamá-lo de foco. Entretanto, podemos ver na Figura 13 que o prolongamento dos raios refratados parece emanar de um único ponto, que chamaremos de foco da lente.

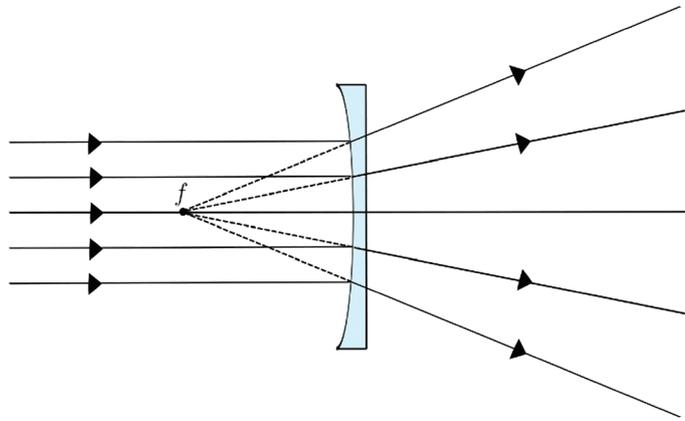


Figura 13: Diagrama que representa o que ocorre com um feixe colimado, quando o mesmo incide sobre uma lente divergente.

A distância entre o vértice e o foco é chamada de **distância focal**.

Para finalmente efetuarmos a construção de uma imagem por uma lente divergente, precisamos de alguns raios bastante especiais. O primeiro deles será o raio paralelo ao eixo focal. Podemos ver raios deste tipo na figura acima. O feixe colimado que incide na lente é composto por raios deste tipo. Como podemos observar, estes raios possuem como propriedade o fato de seu prolongamento emanar do foco da lente. Já o segundo tipo de raio não sofre mudança na sua direção de propagação. Sempre que um raio passa no vértice (ponto onde o eixo focal cruza com a lente), ele não sofre desvio.

Vamos agora utilizar estes raios para construir a imagem formada por este tipo de lente. Temos na Figura 14 o objeto, a lente e a imagem formada.

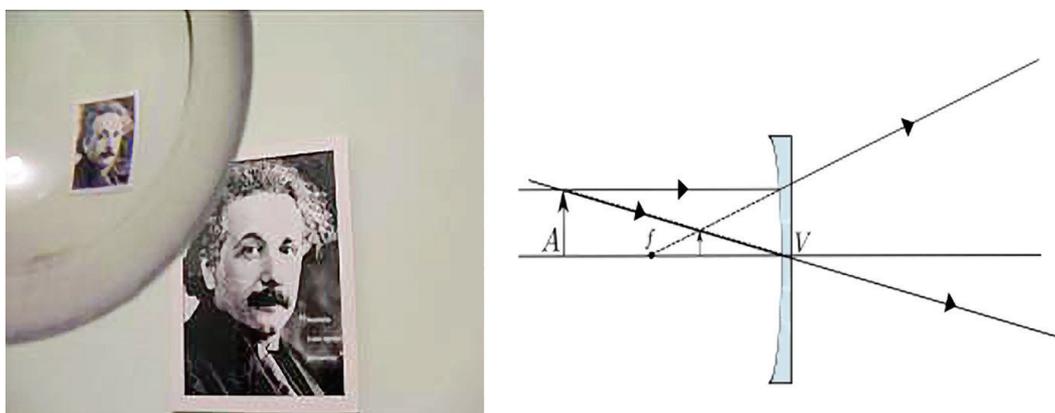


Figura 14: À esquerda, temos a imagem formada por uma lente divergente da foto de Einstein. Já à direita, temos um diagrama esquemático que mostra como a imagem vista à esquerda se forma.

Já, à direita da Figura 14, temos um diagrama que ilustra como a utilização dos dois raios descritos no parágrafo anterior nos permite construir a imagem do objeto A. O raio paralelo ao eixo focal que passa pela “cabeça” do objeto diverge de tal maneira que seu prolongamento passa pelo foco da lente. Já o raio que passa no vértice da lente não sofre desvio (por causa disso, a projeção deste raio acaba “caindo” nele mesmo). Perceba que apenas a projeção dos raios é que se cruzam, entre o objeto e a lente. No cruzamento destas projeções, será formada a “cabeça” da imagem. Ressaltamos novamente que, embora tenhamos utilizado apenas dois raios, todo e qualquer raio que passe pela “cabeça” do objeto e atravesse a lente contribuirá na formação da imagem.

Mantendo o foco

Como você faria para determinar a distância focal dos óculos de alguém que é míope, sem perguntar a ela? Procure um par de óculos feito para míopes e determine o valor da distância focal das lentes (sugestão: pode ser útil utilizar fumaça e um apontador laser, para poder ver o traçado dos raios luminosos).



Anote suas
respostas em
seu caderno

Lentes Convergentes

Esse tipo de lente é largamente usado em instrumentos ópticos, tais como: lunetas, microscópios, farol de carros, projetores de cinema, entre outros. Diferente das lentes divergentes, a convergente é capaz de concentrar os raios que nela chegam (veja a Figura 15).



Figura 15: Temos um feixe luminoso paralelo ao eixo principal da lente (ou perpendicular à superfície plana da mesma, se você preferir). Podemos ver que a lente converge todos estes raios para o seu foco.

As imagens formadas por esse tipo de lente podem ser projetadas em um anteparo (uma parede, por exemplo), e por isso são tão importantes. Todos os casos em que você viu uma imagem projetada, como num cinema ou seminário, uma lente convergente estava presente.

Vamos agora entender a construção de imagens para essa lente. Como anteriormente precisaremos de pelo menos 2 raios para construí-las. Usaremos um raio que passa paralelamente ao eixo focal e um outro que passa pelo vértice da lente. Desta vez, todos os raios que se propagam paralelamente ao eixo focal serão convergidos de tal modo a passarem pelo ponto que chamamos de foco da lente. Já os raios que passam pelo vértice continuam transpassando a lente sem sofrer desvio algum, como na lente divergente.

Mais uma vez nós o convidamos a participar ativamente na construção de um experimento. Para essa atividade você pode utilizar uma lupa ou um par de óculos usado por portadores de hipermetropia. Dentro de um cômodo com uma janela disponha a lente, da lupa ou dos óculos, entre a janela e uma parede. Ao variar a distância entre a parede e a lente, você perceberá que uma imagem da janela (e da paisagem de fundo que ela dispõe) surgirá projetada na parede. Para exemplificar este mesmo fenômeno, dispomos a imagem de uma vela, projetada numa parede (veja a Figura 16). Sugerimos que você procure fazer experiências semelhantes com os instrumentos indicados anteriormente.



Figura 16: Imagem da vela, projetada na parede com o auxílio de uma lente convergente.

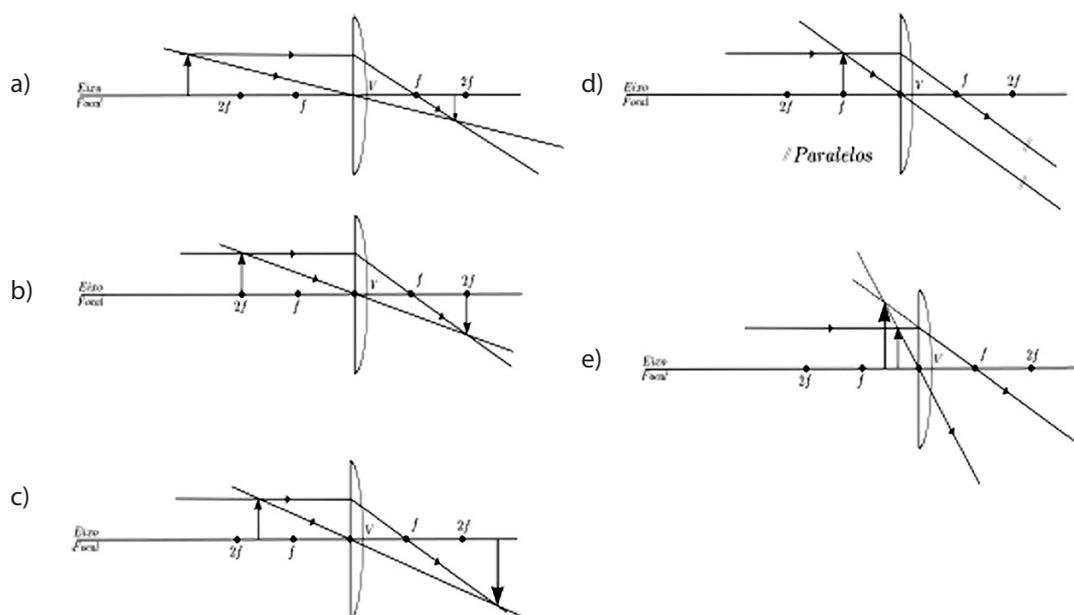


Figura 17: Imagem de uma lente projetada numa parede por uma lente convergente. Perceba que uma das faces da lente é abaulada.

Estamos aptos agora a construir as imagens geradas por uma lente convergente. Quando a lente está a uma distância superior a duas vezes a distância focal, a imagem será projetada, e será invertida e menor, conforme você pôde constatar com a lupa. Veja o diagrama na Figura 17. Observe a trajetória descrita por um raio paralelo ao eixo focal e que passa pela cabeça do objeto e a de um raio que passa pelo vértice da lente (cujas direção portanto não se altera). Estes raios encontram-se em um ponto, que está “atrás” da lente (para o objeto). A este ponto corresponde a imagem da “cabeça” do objeto, o que mostra que a imagem projetada será de fato menor e invertida. Como a imagem é projetada, trata-se de uma imagem real. À medida que o objeto aproxima-se da lente, o comportamento da imagem altera-se. Quando o objeto está a uma distância exatamente igual ao dobro da distância focal, a imagem terá exatamente o mesmo tamanho que o objeto (veja a Figura 17c), e continuará sendo invertida e real. Quando aproximamos o objeto um

pouco mais, de modo que ele esteja entre $2f$ e f , a imagem passa a ser maior que o objeto, embora ainda seja real e invertida. Quando o objeto está exatamente em cima do foco, não haverá imagem (conforme você pode ver na Figura 17b os raios nunca se encontram, isto é, são paralelos). Por fim, quando o objeto estiver entre o vértice e o foco da lente, sua imagem voltará a ser formada pelas projeções de raios refradados, de modo que será virtual, direita e aumentada (veja a Figura 18).



Figura 18: Quando o objeto está entre o vértice e o foco, a imagem é maior, virtual (formada pela projeção de raios) e direita.

Nesta aula, introduzimos o fenômeno de refração, relacionando-o à diversas ferramentas e tecnologias, tais como a fibra óptica e diferentes tipos de lentes. Descobrimos que este fenômeno está relacionado à variação de velocidade que a luz sofre quando a mesma vai de um meio à outro. Utilizando alguns raios especiais, fomos capazes de construir a imagem formada em lentes convergentes e divergentes.

Resumo

Nesta unidade, discutimos:

- O fenômeno da refração, que ocorre quando a luz troca de meio, associando este fenômeno à variação da velocidade da luz entre meios distintos;
- A reflexão total, que pode ocorrer quando a luz vai de um meio mais refringente (menor velocidade) para um menos refringente (maior velocidade), e sua aplicação tecnológica, por exemplo, as fibras ópticas;
- Utilizando os raios principais, fomos capazes de descrever as imagens formadas por lentes convergentes e divergentes, obtendo resultados compatíveis com os verificados experimentalmente.

Veja Ainda

O Olho Humano

Com todo o conhecimento construído até agora, seremos capazes, tentaremos entender o funcionamento do olho humano. Esquemáticamente, podemos modelá-lo como um instrumento óptico formado por um globo dotado de duas lentes convergentes, um obturador e um anteparo. Um obturador é um dispositivo que controla a entrada de luz numa cavidade. No olho, quem faz esse papel é a íris, um músculo que, quando tencionado, é capaz de se fechar, diminuindo seu diâmetro.

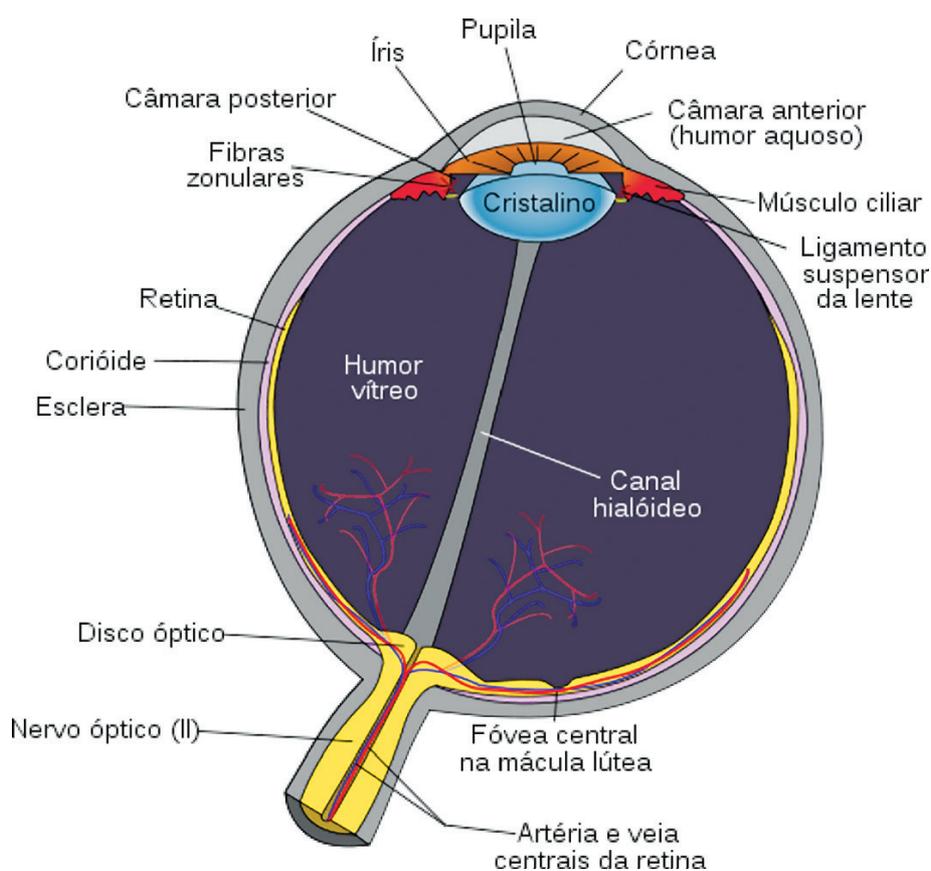


Figura 19: Representação esquemática de um olho humano.

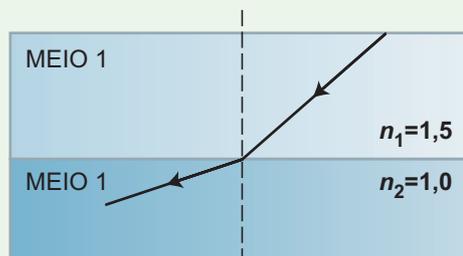
Nesta imagem, também podemos ver a córnea e o cristalino, que são um par de lentes convergentes acopladas. Um feixe luminoso que vem de um determinado local é refratado pela córnea e pelo cristalino, formando uma imagem no fundo do olho, que é chamado de retina. A retina é dotada de células capazes de transformar a luz em impulsos nervosos que são interpretados pelo cérebro. A visão dá-se por todo esse processo. Como toda imagem que o olho

capta é projetada em sua retina, temos que toda imagem será invertida e real, conforme aprendemos (ver a parte relativa à formação de imagens em lentes convergentes). Não vemos o mundo de maneira invertida por que nosso cérebro corrige todas estas imagens, girando-as adequadamente.

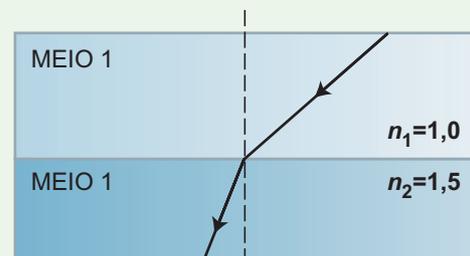
Respostas
das
Atividades

Atividade 1

Nessa questão temos que nos lembrar que quando a luz passa de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz tende a se afastar da reta normal à superfície de separação entre os meios; e quando a luz vem de um meio menos refringente para um meio mais refringente o raio luminoso tende a se aproximar da reta normal!



a) o raio refratado se afasta da normal



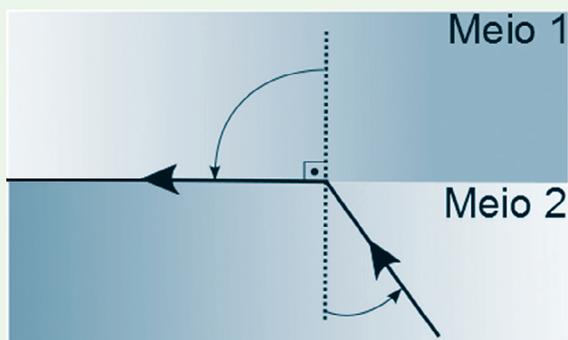
b) o raio refratado se aproxima da normal

Atividade 2

Sim! Pois a luz que vem do peixe sai de um meio mais refringente para um meio menos refringente e portanto se afasta da normal. Isso faz com que a luz que chega aos olhos do observador tenha uma direção diferente da aquela que seria se não houvesse água. Logo, temos a impressão que o peixe está mais acima do que realmente está!

Atividade 3

Sim, ele existe! Como nesse caso o raio refratado tende a se afastar da normal. A medida que o ângulo do raio incidente o ângulo do raio refratado também aumenta, assim o raio refratado tende a se afastar de reta normal até que chega a um limite, que vale 90° .

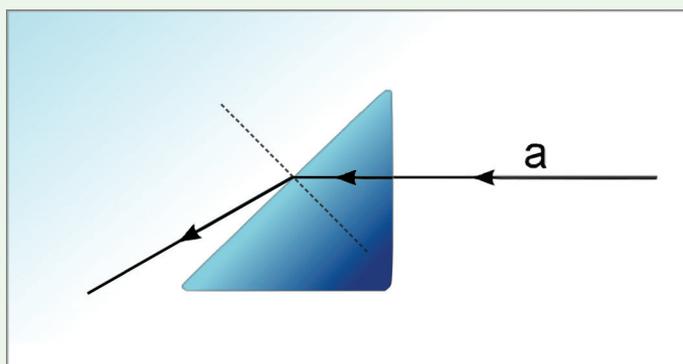


Respostas
das
Atividades

Atividade 4

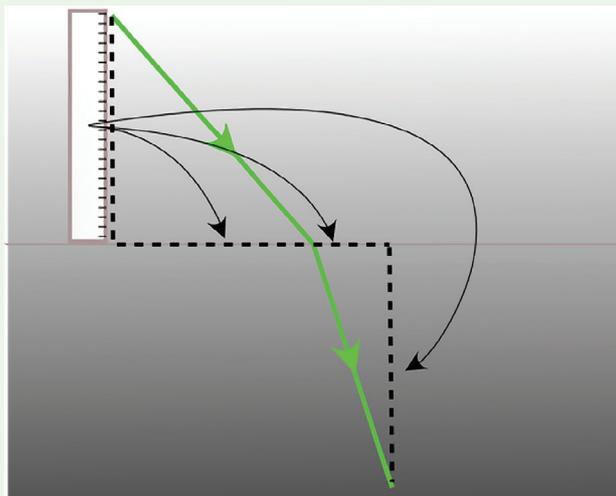
Nesse caso o que pode parecer difícil é o fato de que a reta normal a superfície de separação está inclinada, pois a superfície onde a luz passa do vidro para o ar também está inclinada.

Visto isso, basta aplicar a regra que já conhecemos: quando a luz passa de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz se afasta da normal.



Atividade 5

Nessa questão, você deve utilizar uma régua para medir os catetos dos triângulos retângulos formados pelos raios incidentes, refratados e as linhas pontilhada. Veja a figura a seguir:



assim podemos utilizar a semelhança de triângulos onde o cateto menor está para o cateto menor e o cateto maior está para o cateto maior.

Atividade 6

Para essa questão temos que usar a fórmula que aprendemos: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \times \sin 90^\circ$. vamos lembrar que e em $\sin \theta_2, \theta_2 = 90^\circ$ por que o ângulo refratado da água para o ar é paralelo e rente a superfície da água. Assim o ângulo que ela faz com a normal vale 90° . Sabemos também que o $\sin 90^\circ = 1$, portanto temos a seguinte equação:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \times 1$$

Então podemos escrever:

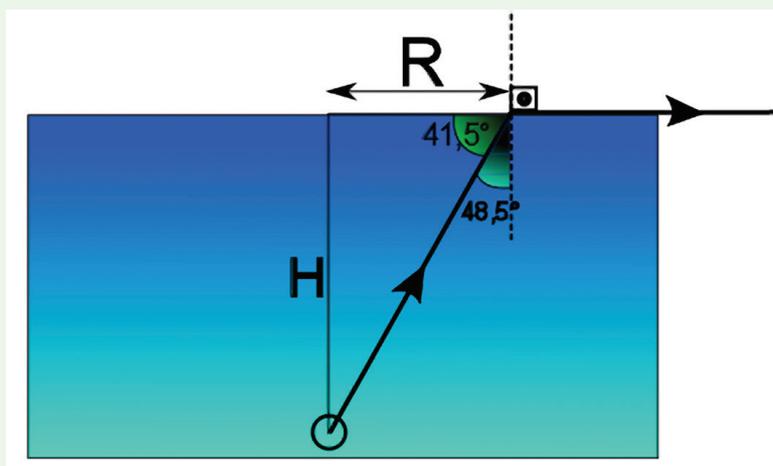
$$\sin \theta_1 = n_2/n_1$$

Sabemos que $n_1=1,3$ e que $n_2 = 1,0$. Assim temos que descobrir o ângulo cujo seno vale 0,75!

Ao olhar uma tabela de senos vemos que esse ângulo vale $48,5^\circ$ aproximadamente.

Agora sim!

Podemos construir um esquema geométrico para determinar o raio pedido na questão ver figura.



Agora podemos fazer a seguinte relação: $\tan 41,5^\circ = H/R$ e $H=50\text{cm}$, logo:

$1,33=50/R$ portanto $R=50/1,33=37,6\text{ cm}$.

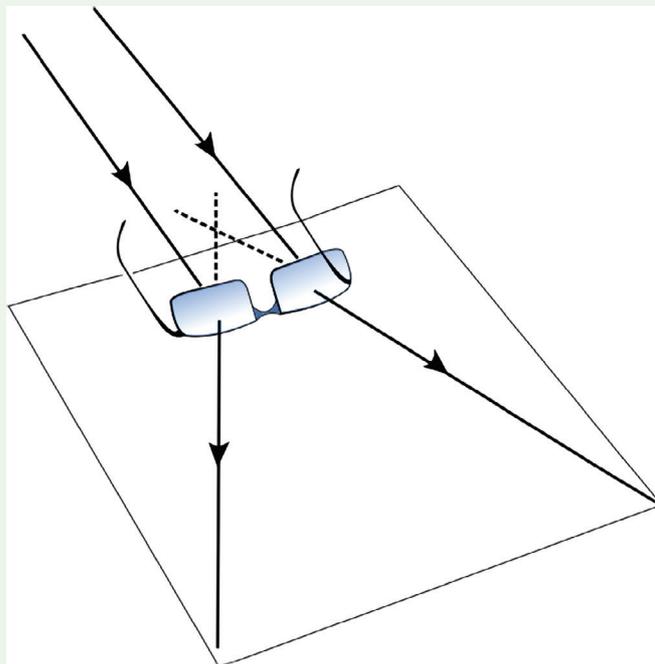
Obs: podemos perceber a complexidade na resolução desse exercício, mas o consideramos muito esclarecedor e completo em vários aspectos!

Atividade 7

Bem esse exercício lhe pede, na verdade, uma estimativa desse valor. Para tanto, basta apoiar o par de óculos sobre uma folha branca e injetar um feixe laser (desse tipo chaveiro). Você notará que esse feixe tende a divergir; marque com uma régua o feixe refratado e em seguida mude o feixe de posição e repita a marcação, veja na figura!

Agora você só precisa prolongar os feixes refratados até que eles se encontram. Com uma régua meça a distância entre a lente do óculos e o ponto de encontro dos feixes prolongados.

Respostas
das
Atividades



Bibliografia

- HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9ª. Edição. Porto Alegre: ARTMED Ed., 2002
- LUZ, Antonio Máximo Ribeiro da e ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Curso de física**. São Paulo: Scipione. 2007.
- Boa, M. F. & Guimarães, L. A. **Física**: Termologia e óptica. Ensino Médio, São Paulo: Harbra, 2007

Imagens



• <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



• <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sts109-708-038a.jpg>.



• <http://www.sxc.hu/photo/968512>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1067599>.



• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg.



• <http://www.sxc.hu/photo/517386> • David Hartman.



• http://www.sxc.hu/985516_96035528.

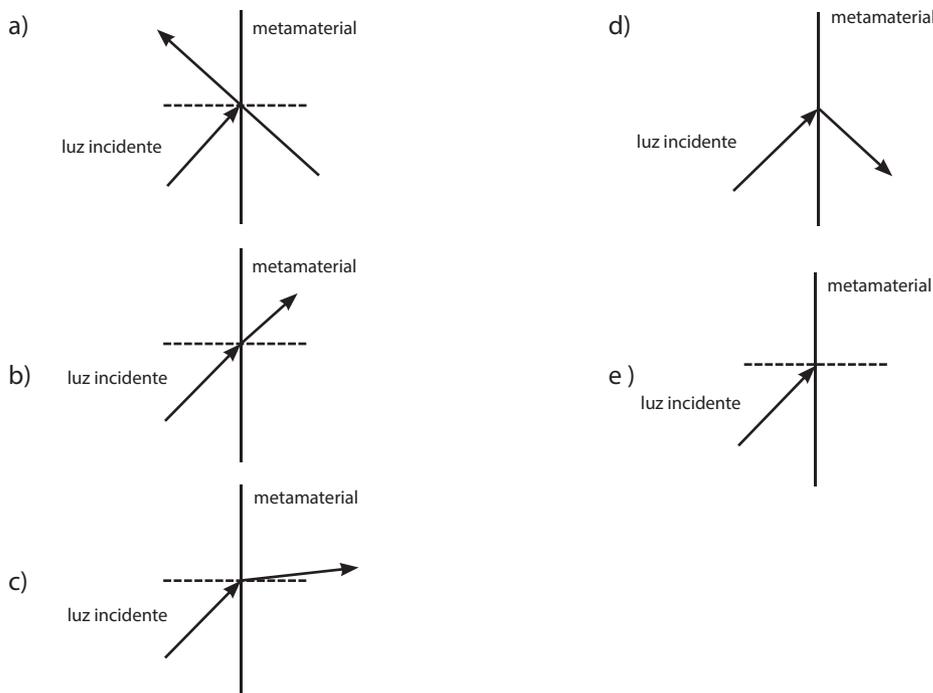
O que perguntam por aí?

Questão 1 (ENEM 2011)

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?



Gabarito

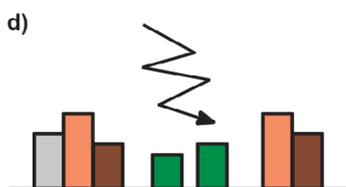
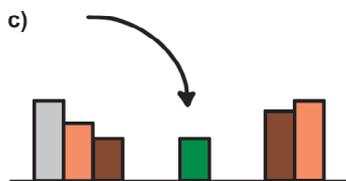
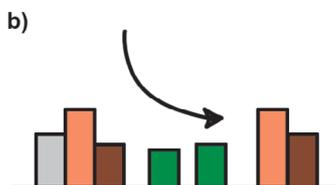
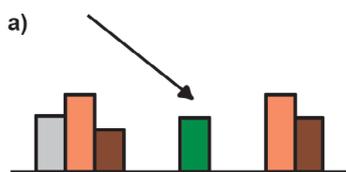
1. d. De acordo com o enunciado, o metamaterial apresenta propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Assim sendo, a única alternativa que pode representar a refração da luz ao passar para o metamaterial é a D



Atividade extra

Questão 1 (Adaptado de CEFET)

Durante o dia, um raio luminoso solar, atravessa a camada atmosférica e atinge a poluída cidade de São Paulo. A camada atmosférica poluída apresenta índice de refração maior do que o ar não poluído. A trajetória provável, devido ao fenômeno da refração, é:



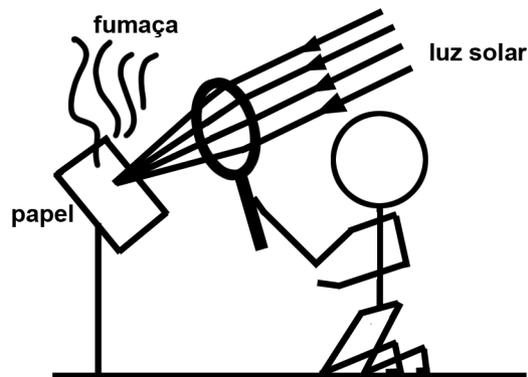
Questão 2 (Adaptado de UERGS - 2004)

A velocidade da luz no vácuo é 300.000 km/s e em certo plástico transparente é 150.000 km/s. O índice de refração desse plástico é:

- a. 0,2;
- b. 0,5;
- c. 2,0;
- d. 5,0.

Questão 3 (Adaptado de UEMG - 2008)

Uma pessoa usa uma lupa para queimar uma folha de papel, usando a luz solar, conforme ilustração:

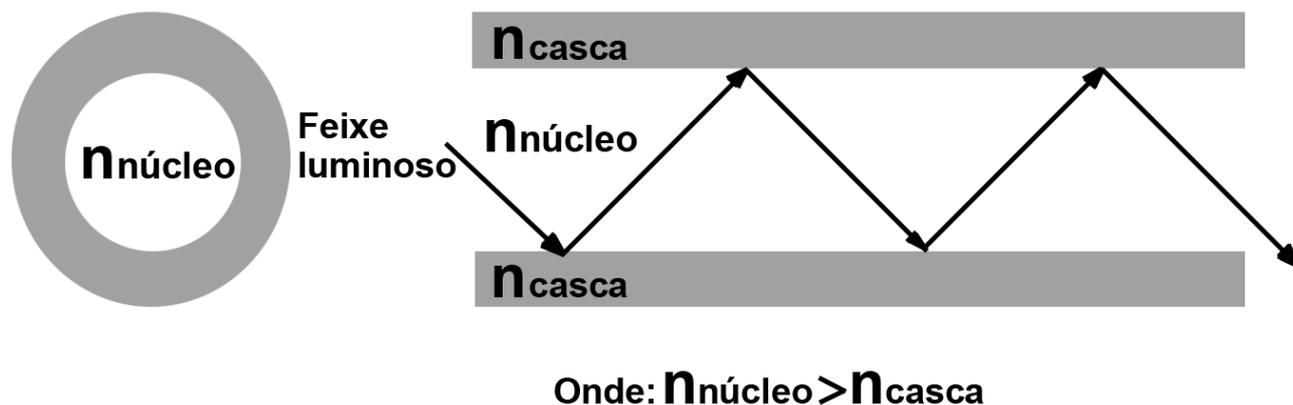


A lente usada pela pessoa é:

- a. convergente;
- b. divergente;
- c. coróide;
- d. plana.

Questão 4 (Adaptado de CEFET - 2005)

A medicina utiliza-se da Endoscopia para a observação de órgãos internos. O endoscópio é o equipamento utilizado para se fazer a endoscopia. Ele tem, entre suas partes componentes, as fibras ópticas. Veja um esquema do endoscópio na figura a seguir:

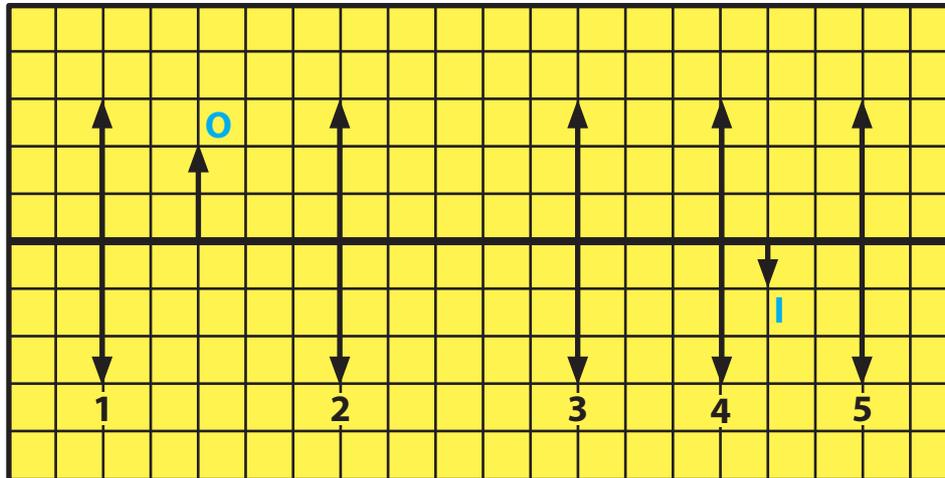


O funcionamento do endoscópio se deve ao fenômeno físico:

- refração da luz em um núcleo vítreo e uma casca metálica;
- reflexão total da luz, devido aos diferentes índices de refração do núcleo e da casca da fibra óptica;
- dispersão da luz, de maneira que o feixe luminoso incidente tem sua energia dissipada ao longo da sua trajetória;
- refração da luz, de maneira que a incidência de um feixe luminoso na fronteira que separa o núcleo da casca se dá por um ângulo inferior ao ângulo limite.

Questão 5 (Adaptado de UNESP)

Considere as cinco posições de uma lente convergente numeradas de 1 a 5 e apresentadas na figura a seguir:



Faça um desenho mostrando a trajetória dos raios refratados pela única lente que está em posição adequada para formar a imagem real I do objeto O.

Gabarito

Questão 1

- A** **B** **C** **D**

Questão 2

- A** **B** **C** **D**

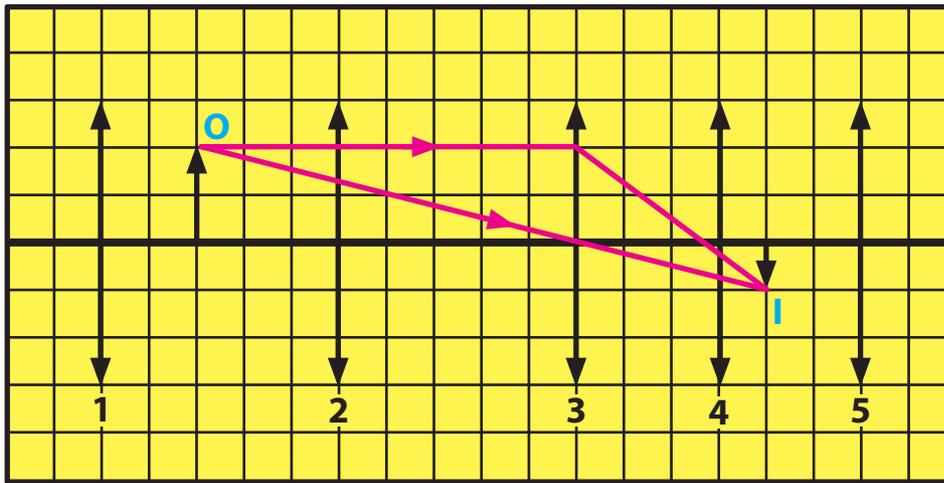
Questão 3

- A** **B** **C** **D**

Questão 4

- A** **B** **C** **D**

Questão 5



A única lente que está em posição adequada para formar a imagem real I do objeto O é a lente que está na posição 3.