

Capítulo

15

Instrumentos ópticos

Os instrumentos ópticos são formados por associações de lentes, que, ao serem justapostas, corrigem defeitos, como as aberrações cromáticas, que podem aparecer quando se utiliza uma única lente para obtenção da imagem dos objetos.

▶ 15.1 Associação de lentes. Lentes justapostas

Nos aparelhos ópticos frequentemente as lentes aparecem justapostas e podem também estar associadas a outros sistemas ópticos.

▶ 15.2 Instrumentos de projeção

As imagens obtidas por meio das câmeras fotográficas, dos projetores de slides ou de filmes e do retroprojetor podem ser projetadas sobre um anteparo ou tela. Por esse motivo eles são denominados instrumentos de projeção.

▶ 15.3 Instrumentos de observação

Os instrumentos de observação são divididos, de acordo com as características das imagens que formam, em instrumentos de aumento e instrumentos de aproximação.

▶ 15.4 O olho humano

O olho humano é um sistema óptico composto de meios transparentes cujo funcionamento pode ser comparado ao de uma máquina fotográfica.

A invenção do telescópio permitiu uma grande evolução do conhecimento científico. Dotados de lentes e espelhos (esféricos ou parabólicos), os telescópios são instrumentos de aproximação: as imagens de objetos distantes, como planetas ou galáxias, são vistas segundo um ângulo visual maior.



Associação de lentes. Lentes justapostas

Objetivo

► Compreender a necessidade da associação de lentes nos instrumentos ópticos.

Termos e conceitos

- aberração cromática
- lentes objetivas

Muitos dos instrumentos ópticos, de larga utilização na vida moderna, são constituídos por associações de lentes. Tais associações visam corrigir os defeitos que uma única lente produz ou são impostas pelo tipo de imagem que o instrumento deve formar.

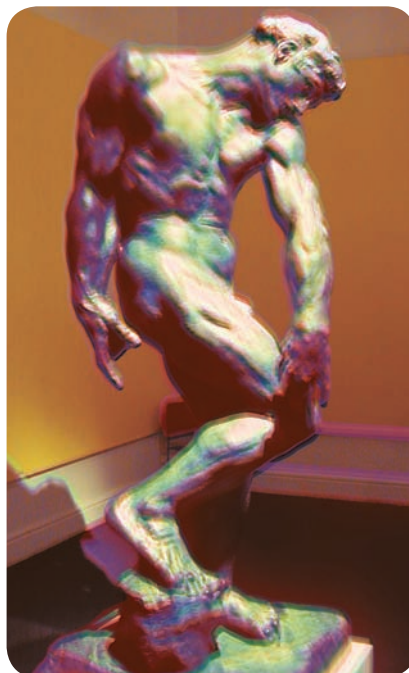
As chamadas **objetivas** (lentes voltadas para o objeto), em máquinas fotográficas, microscópios e lunetas de boa qualidade, são constituídas por pares de lentes com separação nula entre elas: são **lentes justapostas** (fig. 1). Esse tipo de associação corrige a **aberração cromática** causada pela decomposição da luz branca (policromática) ao atravessar uma única lente. Assim, com a justaposição de lentes constituídas de materiais de índices de refração diferentes, essa aberração é corrigida. O conjunto das duas lentes constitui um sistema acromático.



◀ **Figura 1.** Lentes justapostas (lente biconvexa e lente convexo-côncava).

A lente equivalente à associação de duas lentes justapostas apresenta vergência D igual à soma algébrica das vergências das lentes associadas:

$$D = D_1 + D_2$$



▲ A foto da esquerda foi tirada com uma lente que apresenta aberração cromática: os limites da imagem são irrisados e mal definidos. A foto da direita foi tirada com um sistema de lentes sem esse problema.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 105 A objetiva acromática de uma filmadora é a associação de duas lentes delgadas justapostas (veja a figura). Uma delas é convexo-côncava, de índice de refração 1,7, e a outra é biconvexa, de índice de refração 1,5 e raios de curvatura iguais a 10 cm. A face livre da lente convexo-côncava tem raio de 20 cm.

Determine:

- a vergência de cada uma das lentes;
- a vergência da lente equivalente ao sistema.

Solução:

- a) A vergência de cada lente pode ser determinada aplicando-se a fórmula dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = D = \left(\frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{ar}}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Nessa fórmula, n_{lente} é o índice de refração da lente e R_1 e R_2 são os raios de curvatura de suas faces.

Lente convexo-côncava:

Temos: $n_{\text{lente}} = 1,7$; $n_{\text{ar}} = 1$; $R_1 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$; $R_2 = -10 \text{ cm} = -0,1 \text{ m}$ (sinal negativo: face côncava). Assim, obtemos:

$$D_1 = \left(\frac{1,7}{1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,1} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_1 = 0,7 \cdot (5 - 10) \Rightarrow \boxed{D_1 = -3,5 \text{ di}}$$

Lente biconvexa:

Temos:

$n_{\text{lente}} = 1,5$; $n_{\text{ar}} = 1$; $R_1 = R_2 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$; logo:

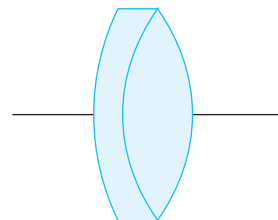
$$D_2 = \left(\frac{1,5}{1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,1} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_2 = 0,5 \cdot (10 + 10) \Rightarrow \boxed{D_2 = 10 \text{ di}}$$

- b) A vergência da lente equivalente é a soma algébrica das vergências das lentes associadas:

$$D = D_1 + D_2 \Rightarrow D = -3,5 + 10 \Rightarrow \boxed{D = 6,5 \text{ di}}$$

Respostas: a) $-3,5 \text{ di}$ e 10 di ; b) $6,5 \text{ di}$



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 368 Uma lente convergente, de distância focal 10 cm, é justaposta a outra divergente, de distância focal 20 cm, em módulo. Determine a distância focal e a vergência da lente equivalente à associação.

P. 369 O esquema mostra a associação de uma lente biconvexa de raio 10 cm e índice de refração 1,8 com uma lente plano-côncava de índice de refração 1,5.

Determine:

- a distância focal e a vergência de cada lente;
- a distância focal e a vergência da lente equivalente.



P. 370 (Faap-SP) Uma pequena lâmpada está a 20 cm de uma lente delgada e, sobre seu eixo principal, produz imagem real a 20 cm da lente. Determine a distância focal da lente que, justaposta à anterior, permite que os raios luminosos provenientes da lâmpada sejam paralelos ao emergirem do sistema.

Objetivos

- ▶ Compreender como se dá a formação das imagens nos instrumentos de projeção.
- ▶ Conhecer as características das imagens formadas nos instrumentos de projeção.
- ▶ Conhecer o funcionamento da máquina fotográfica comum e das câmeras digitais.
- ▶ Conhecer o funcionamento dos projetores de filmes, dos slides e do retroprojetor.

Termos e conceitos

- sinais elétricos
- sinais digitais
- pixel

Chamamos de **instrumentos de projeção** aqueles que fornecem uma **imagem real** – que pode, portanto, ser projetada sobre um anteparo, uma tela ou um filme.

1 Câmera fotográfica

A **câmera fotográfica** é constituída essencialmente por uma câmara escura provida de uma lente (a objetiva) e pelo filme, posicionado na parede oposta à da objetiva, perpendicular ao eixo óptico dessa lente.

A câmara representada na **figura 2** está extremamente simplificada, sem os refinamentos ópticos e mecânicos. A objetiva está representada por uma única lente convergente L . Na verdade, a objetiva das câmeras modernas é constituída por duas ou mais lentes, visando corrigir os diferentes tipos de aberração.

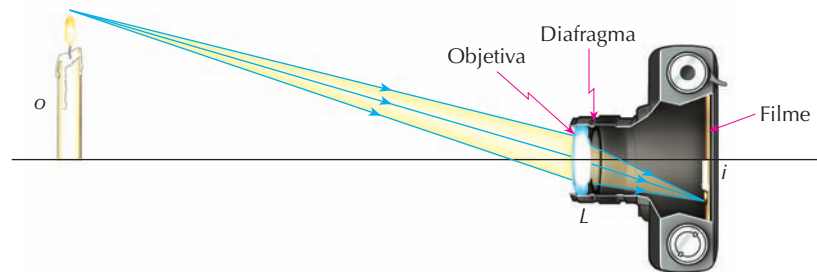


Figura 2. A imagem, na máquina fotográfica, é real e invertida.

O mecanismo de focalização, ao variar a distância do objeto à lente, é basicamente o seguinte: quando o objeto se aproxima, a imagem se afasta da lente e deixa de se formar sobre o filme. Para que novamente a imagem se projete sobre o filme, a lente deve ser afastada dele, como está indicado na **figura 3**.

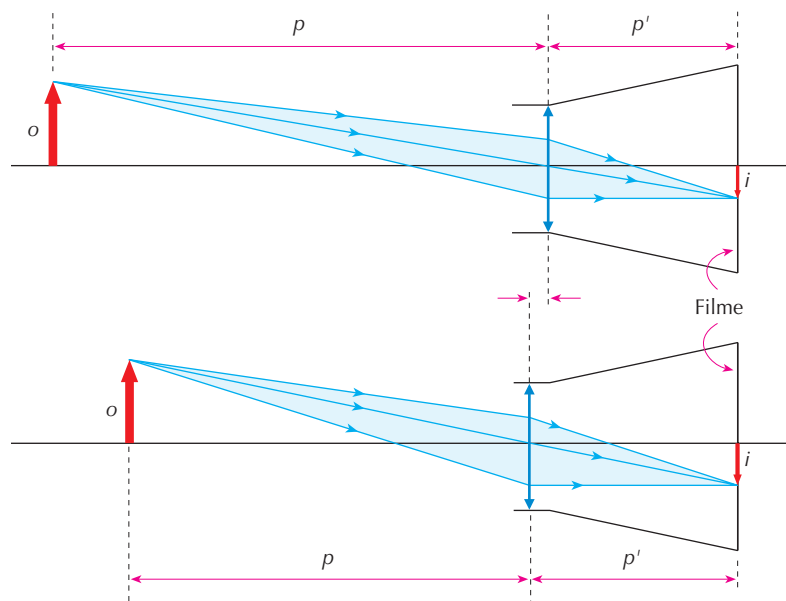


Figura 3. Para “focalizar a imagem”, varia-se a distância lente-filme. Diminuindo-se p , sendo a distância focal f constante, p' deve aumentar de acordo com a equação dos pontos conjugados $\left(\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}\right)$.

Câmera digital

As câmeras digitais, assim como as analógicas, são dotadas de um conjunto de lentes que focalizam a luz proveniente do objeto a ser fotografado. O dispositivo utilizado para registrar as imagens é, no lugar do filme fotográfico, um sensor constituído por um conjunto de células sensíveis à luz. Essas células originam sinais elétricos que variam de acordo com a quantidade de luz que nelas incide. Esses sinais elétricos são transformados em sinais digitais que podem ser armazenados na memória da câmera, em cartões de memória e/ou em memórias removíveis, ou podem ser transferidos para um computador, para serem editados, gravados em um CD, ou impressos.

Na própria câmera, os sinais digitais são reconvertidos em analógicos, de modo que as imagens sejam visualizadas no monitor da câmera, permitindo ao fotógrafo o correto enquadramento da cena.

Chama-se **pixel** a menor região onde se forma uma imagem digital. A palavra *pixel* advém da união de duas outras palavras, ambas em inglês: *picture* (cuja abreviatura é *pix*) e *element*. A imagem completa do objeto fotografado é obtida por meio de um conjunto muito grande de *pixels*, que correspondem às células fotossensíveis do sensor. De modo geral, a resolução da imagem é tanto maior quanto maior for a quantidade de *pixels*.

O dispositivo que registra as imagens numa câmera digital

O dispositivo que substitui o filme fotográfico em uma câmera digital é conhecido como CCD (*Charge Coupled Device*). Ele converte a intensidade de luz incidente em dados digitais armazenáveis na forma de *bits* e *bytes*.

Existem dois tipos de CCD, que são utilizados dependendo da aplicação da câmera.

O primeiro tipo é composto de uma fileira com milhares de elementos fotossensíveis que “varrem” a área onde a imagem é projetada na câmera e, dessa maneira, captura um série de linhas que formam a foto. As câmeras dotadas desse tipo de CCD são utilizadas em estúdios fotográficos e capturam fotos em alta definição.

O segundo tipo de CCD é formado por uma matriz com vários elementos fotossensíveis que capturam os pontos (*pixels*) todos de uma vez. A técnica é bem semelhante à captação da foto analógica no que se refere ao tempo de captura, mas produz imagens de qualidade inferior. Câmeras desse tipo são as mais populares, pois são bem mais baratas e de fácil manuseio.

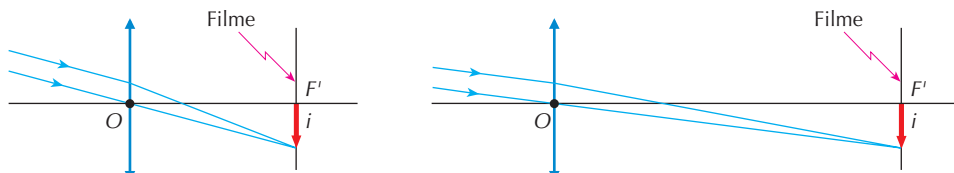


EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 106 Um fotógrafo, com uma câmera cuja lente apresenta 5 cm de distância focal, fotografa um objeto situado a 50 m de distância. Um segundo fotógrafo, obrigado a ficar a 1 km do objeto, quer obter um negativo em que a imagem tenha o mesmo tamanho que o da imagem obtida pelo primeiro fotógrafo. Determine a distância focal da objetiva da câmara que deve ser usada para tal finalidade.

Solução:

Nas duas situações, pode-se considerar que a imagem se forma no plano focal da objetiva, dada a grande distância do objeto à lente (respectivamente 50 m e 1 km)



As abscissas das imagens são, portanto, praticamente iguais às respectivas distâncias focais:

$$p'_1 = f_1 \text{ e } p'_2 = f_2$$

O aumento linear transversal da imagem, na primeira situação, vale: $A_1 = -\frac{p'_1}{p_1} = -\frac{f_1}{p_1}$

Sendo $f_1 = 5 \text{ cm}$ e $p_1 = 5.000 \text{ cm}$, vem: $A_1 = -\frac{5}{5.000} \Rightarrow A_1 = -\frac{1}{1.000}$

O aumento linear transversal da imagem, na segunda situação, tem o mesmo valor que na primeira:

$$A_2 = A_1 = -\frac{1}{1.000}$$

Mas: $A_2 = -\frac{p'_2}{p_2} = -\frac{f_2}{p_2}$; assim, sendo $p_2 = 1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$, obtemos:

$$-\frac{1}{1.000} = -\frac{f_2}{1.000} \Rightarrow \boxed{f_2 = 1 \text{ m}}$$

Resposta: A lente da câmara do segundo fotógrafo deve ter 1 m de distância focal, sendo destinada a fotografar a grande distância. Tal lente é conhecida como **teleobjetiva**.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: *Fotografia em preto e branco*

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 371 (PUC-SP) Uma máquina fotográfica simples é constituída por uma câmara escura. Numa das faces verticais, é colocado um filme fotográfico sensível e, na oposta, está uma lente adequada que pode se afastar ou se aproximar do filme. Pergunta-se:

- A lente pode ser divergente? Justifique a resposta.
- Em que lugar, relativamente à lente, deve ser colocado o filme, para se obterem imagens nítidas de um objeto infinitamente afastado?
- Fixando o filme na face vertical acima indicada, como proceder para que a imagem continue nítida no filme quando o objeto se aproximar da câmara?

P. 372 Uma câmara fotográfica tem como objetiva original uma lente delgada, de distância focal 10 cm. Como dispositivo acessório, dispõe-se de uma teleobjetiva que equivale a uma lente delgada de distância focal 40 cm. Fotografa-se um objeto situado à distância de 50 m, uma vez com a objetiva original e outra vez com a teleobjetiva. Determine a relação entre os tamanhos das imagens obtidas no filme nas duas situações.

2 Projetores

Os **projetores** constam fundamentalmente de uma lente convergente, como objetiva, que fornece de um objeto bem iluminado (*slide*, filme) uma imagem real, invertida e maior. A **figura 4** representa um projetor de *slides* bastante simplificado.

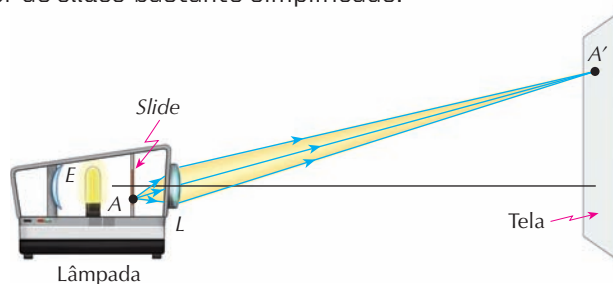


Figura 4. Esquema do projetor de *slides*.

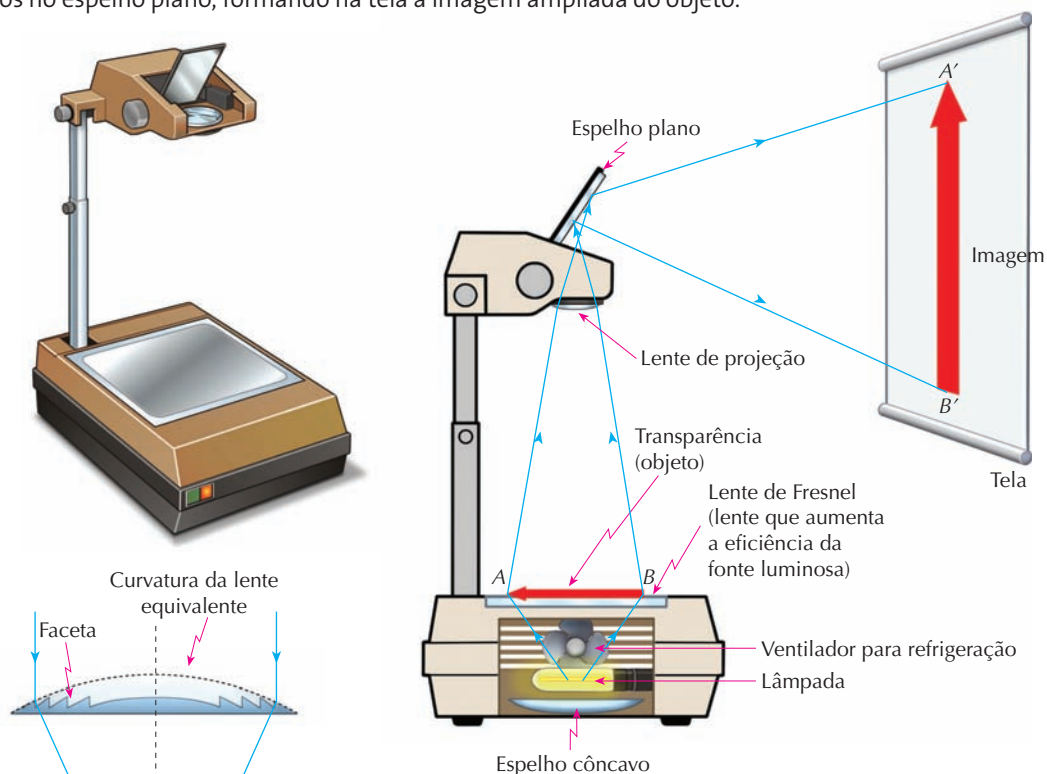
O espelho côncavo E , colocado atrás da lâmpada do projetor, tem por finalidade aumentar a intensidade da luz que ilumina o objeto, minimizando a perda de energia luminosa. O filamento da lâmpada deve situar-se no centro de curvatura do espelho, de modo que sua imagem real se forme nessa mesma posição.

O retroprojektor

O retroprojektor fornece a imagem de um objeto como um desenho ou um texto impressos numa lâmina transparente, comumente denominada transparência.

A transparência, colocada sobre uma base de vidro, situa-se entre o foco-objeto e o ponto antiprincipal objeto da lente de projeção. Os raios de luz emitidos pela lâmpada atravessam uma lente denominada **lente de Fresnel***, que é construída de forma a aumentar a eficiência da fonte luminosa.

Os raios de luz atravessam a transparência, incidem na lente de projeção, sofrem refração e em seguida são refletidos no espelho plano, formando na tela a imagem ampliada do objeto.



◀ A lente de Fresnel (mostrada em corte, nesta figura) é multifacetada, construída de modo que todas as facetas tenham a mesma curvatura. Assim, ela apresenta a mesma distância focal e a mesma vergência de uma lente de curvatura contínua, mas é muito menos espessa. Com isso, além de ser mais leve, a lente de Fresnel produz menor perda de energia luminosa.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 373** Um projetor de slides deve projetar sobre a tela situada a 7 m do aparelho uma imagem 20 vezes maior. Determine:
- a distância do slide à lente;
 - a vergência da objetiva do projetor.

- P. 374** (Fuvest-SP) Um projetor de slides tem lente de distância focal igual a 10 cm. Ao se focalizar a imagem, o slide é posicionado a 10,4 cm da lente.
- Faça um esquema que represente o objeto, a lente e a imagem formada.
 - Qual é a distância da tela à lente?

* **FRESNEL**, Augustin Jean (1788-1827), físico francês, autor de trabalhos sobre a teoria ondulatória da luz e o fenômeno da polarização. Entre suas inúmeras realizações, destaca-se a construção das lentes formadas por anéis concêntricos finos, de peso bem menor do que o das lentes convencionais, com mesma curvatura. Faróis marítimos, holofotes, refletores e retroprojetores são construídos com lentes de Fresnel.

Instrumentos de observação

Objetivos

- ▶ Classificar os instrumentos de observação em instrumentos de aumento ou de aproximação.
- ▶ Compreender como se dá a formação das imagens nos instrumentos de observação.
- ▶ Conhecer as características das imagens formadas nos instrumentos de observação.
- ▶ Conhecer o funcionamento da lupa e do microscópio composto.
- ▶ Conhecer o funcionamento da luneta astronômica, da luneta terrestre e do telescópio.

Termos e conceitos

- lente objetiva
- lente ocular
- aumento visual
- luneta de Galileu
- binóculo

Os instrumentos ópticos que fornecem uma **imagem final virtual** do objeto são denominados **instrumentos de observação**.

Entre eles, chamamos de **instrumentos de aumento** os que fornecem imagem virtual maior que o objeto e de **instrumentos de aproximação** àqueles em que a imagem formada não é maior que o objeto, mas sim vista segundo um ângulo visual maior. No primeiro grupo enquadram-se a lupa e o microscópio; do segundo grupo fazem parte as lunetas.

1 Lupa ou lente de aumento

Chamamos de **lupa** ou **lente de aumento** a uma simples lente convergente que fornece de um objeto real uma imagem virtual, direita e maior.

A **figura 5** representa uma pessoa segurando uma lupa diante de um lápis (**fig. 5A**) e a imagem observada por ela (**fig. 5B**).

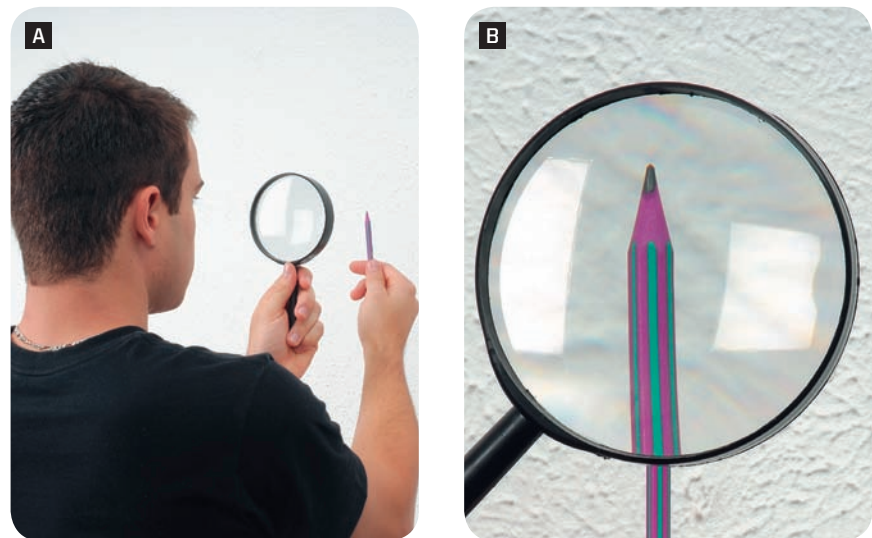


Figura 5. Lupa ou lente de aumento.

Na **figura 6**, esquematizamos a trajetória dos raios que determinam a formação da imagem i de um objeto o na lupa.

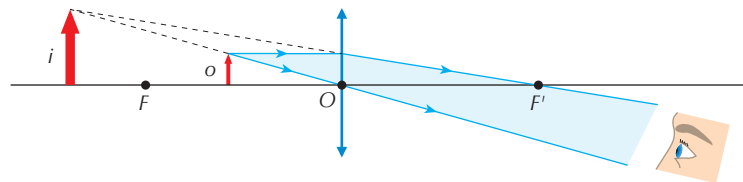


Figura 6. Esquema da formação de imagem na lupa.

Perceba que o objeto está situado entre o foco-objeto e a lupa.

Quando a lupa e o objeto são fixados a suportes estáveis, o aparelho é denominado **microscópio simples**.

Instrumentos ópticos mais complexos, como o microscópio composto, são dotados de uma objetiva, e a imagem fornecida por ela é observada através de outra lente, chamada de **ocular** (lupa).

Microscópio composto

O **microscópio composto** (fig. 7) é um instrumento óptico normalmente utilizado na observação de objetos de pequenas dimensões. Discutiremos aqui apenas sua parte óptica.

O microscópio composto consta de duas lentes convergentes, geralmente compostas, associadas coaxialmente, isto é, com eixos coincidentes (fig. 8). A primeira, próxima do objeto, é denominada **objetiva**. A segunda é uma lupa denominada **ocular**, com a qual observamos a imagem fornecida pela objetiva.

O esquema da **figura 8** representa o trajeto de raios luminosos que determinam a formação das imagens no microscópio. Note que o objeto a ser observado está situado um pouco além do foco-objeto F_1 da objetiva, que é uma lente de pequena distância focal, da ordem de alguns milímetros. A imagem formada pela objetiva (i_1) é real, invertida e maior que o objeto. Essa imagem é objeto para a ocular, que fornece a imagem final do sistema (i_2) virtual, invertida e maior que o objeto. A distância focal da ocular é da ordem de alguns centímetros.



Figura 7. Microscópio composto.

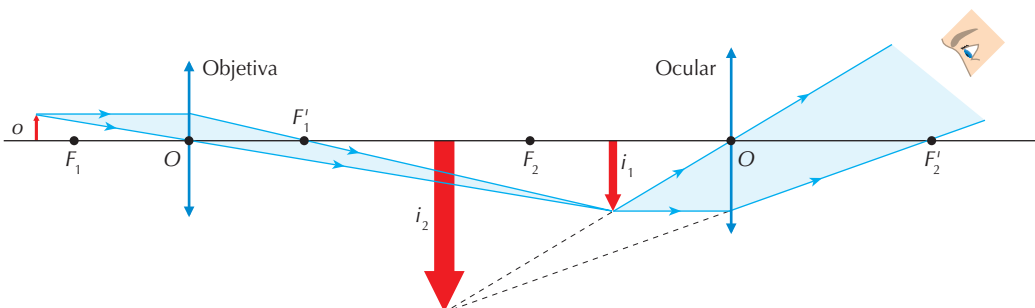


Figura 8. Formação da imagem no microscópio composto.

O aumento linear transversal A do microscópio pode ser expresso por:

$$A = \frac{i_2}{o}$$

Multiplicando o segundo membro da fórmula anterior por $\left(\frac{i_1}{i_1}\right)$, obtemos: $A = \frac{i_2}{o} \cdot \frac{i_1}{i_1}$

Sabemos que $\frac{i_1}{o} = A_{ob.}$ é o aumento linear transversal da objetiva e $\frac{i_2}{i_1} = A_{oc.}$ é o aumento linear transversal da ocular. Assim:

$$A = A_{ob.} \cdot A_{oc.}$$

O aumento linear transversal A do microscópio composto é dado pelo **produto** dos aumentos lineares transversais da objetiva e da ocular.

Os microscópios compostos produzem aumentos entre 300 e 2.000 vezes, aproximadamente. Os microscópios eletrônicos, por sua vez, permitem aumentos muito maiores que os obtidos nos microscópios ópticos. Nesses aparelhos, em vez de luz, utilizam-se feixes de elétrons que são desviados por campos magnéticos que funcionam como verdadeiras “lentes magnéticas”. A imagem formada não é observada diretamente; obtêm-se “fotografias” dela ou imagens na tela de um osciloscópio. A maior parte dos microscópios eletrônicos produz aumentos superiores a 100 mil vezes.

A evolução do microscópio

O microscópio é um instrumento destinado à observação de objetos pequenos. Com o passar do tempo, ele evoluiu dos modelos mais rudimentares (figs. 1 e 2) até os modelos atuais, mais sofisticados (fig. 3). Atualmente os grandes centros de pesquisa possuem microscópios eletrônicos (fig. 4), nos quais os componentes, em vez de ópticos, são eletromagnéticos e utilizam um feixe de elétrons em vez de uma fonte de luz.



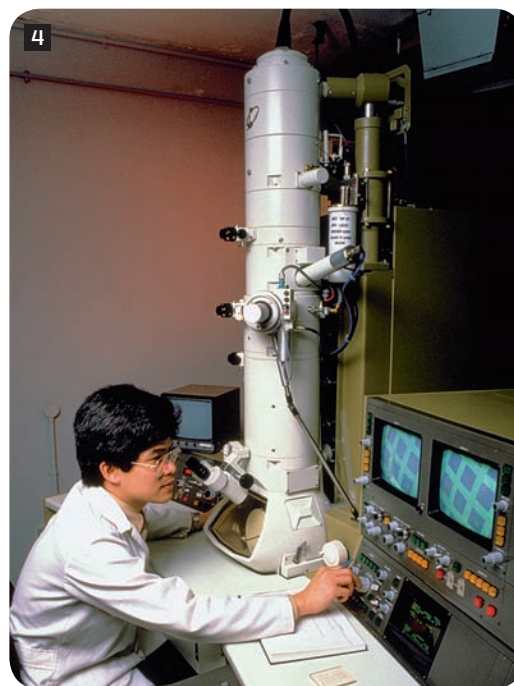
1 Microscópio do século XVIII.



2 Microscópio de 1876.



3 Microscópio moderno, com câmera fotográfica acoplada.



4 Microscópio eletrônico.

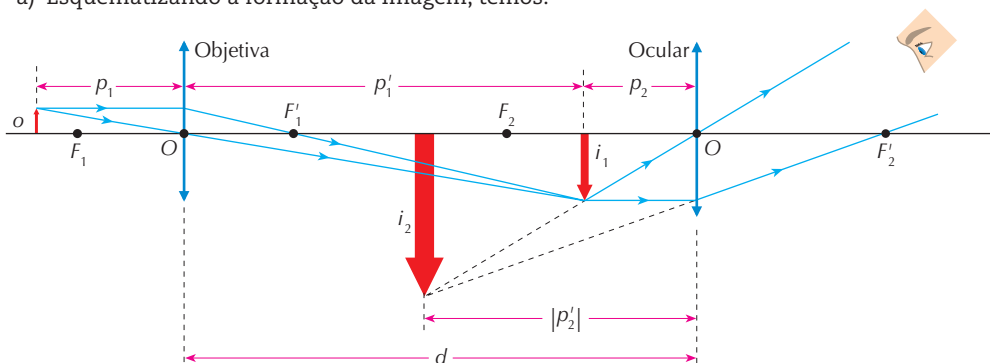
EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 107 Um microscópio composto é constituído por duas lentes convergentes com distâncias focais de 5 mm (objetiva) e 4,8 cm (ocular). De um objeto a 5,1 mm da objetiva, o instrumento fornece uma imagem virtual a 24 cm da ocular. Determine:

- a) o aumento linear transversal da objetiva e da ocular; c) a distância d entre as duas lentes.
b) o aumento linear transversal do microscópio;

Solução:

a) Esquematizando a formação da imagem, temos:



A abscissa da imagem i_1 na objetiva em que $p_1 = 5,1$ mm e $f_1 = 5$ mm é calculada pela equação de Gauss:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{p_1} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{5} - \frac{1}{5,1} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{5,1 - 5}{25,5} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{0,1}{25,5} \Rightarrow p'_1 = 255 \text{ mm}$$

O aumento linear transversal da objetiva vale: $A_{ob.} = \frac{i_1}{o} = -\frac{p'_1}{p_1} \Rightarrow A_{ob.} = -\frac{255}{5,1} \Rightarrow A_{ob.} = -50$

Para a ocular, i_1 é objeto e sua abscissa p_2 é calculada pela equação de Gauss: $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2}$

Sendo $p'_2 = -24$ cm (imagem virtual) e $f_2 = 4,8$ cm, vem:

$$\frac{1}{p_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{1}{4,8} - \left(\frac{1}{-24} \right) \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{5 + 1}{24} \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{6}{24} \Rightarrow p_2 = 4 \text{ cm}$$

O aumento linear transversal da ocular vale: $A_{oc.} = \frac{i_2}{i_1} = -\frac{p'_2}{p_2} \Rightarrow A_{oc.} = -\left(\frac{-24}{4} \right) \Rightarrow A_{oc.} = 6$

- b) O aumento linear transversal A do microscópio é dado pelo produto dos aumentos da objetiva e da ocular:

$$A = A_{ob.} \cdot A_{oc.} \Rightarrow A = (-50) \cdot 6 \Rightarrow A = -300$$

A imagem formada é virtual, invertida (aumento negativo) e 300 vezes maior que o objeto.

- c) Observe que a distância d entre as lentes é igual à soma: $d = p'_1 + p_2$

Como $p'_1 = 255$ mm = 25,5 cm e $p_2 = 4$ cm, resulta: $d = 25,5 + 4 \Rightarrow d = 29,5$ cm

Respostas: a) $A_{ob.} = -50$ e $A_{oc.} = 6$; b) $A = -300$; c) $d = 29,5$ cm

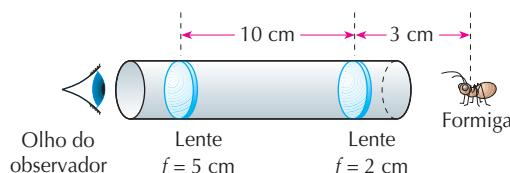
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 375 A objetiva de um microscópio composto tem distância focal de 6 mm, e a ocular, uma distância focal de 24 mm. Um objeto está a 6,1 mm do centro óptico da objetiva e a imagem final se forma a 250 mm da ocular. Determine:

- a) os aumentos lineares transversais para a objetiva, para a ocular e para o microscópio;
b) a distância entre a objetiva e a ocular.

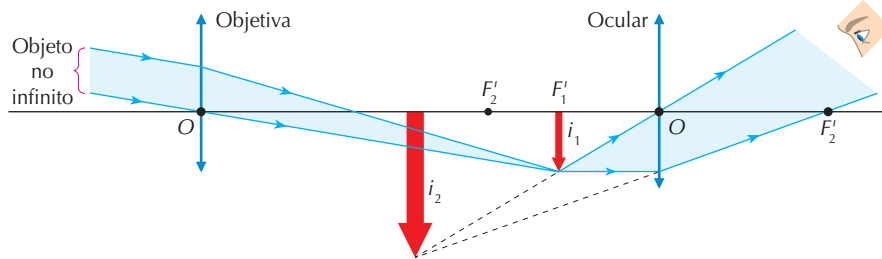
P. 376 Um microscópio consiste em duas lentes biconvexas dentro de um tubo metálico, conforme indica a

figura. Com esse aparelho se está observando uma formiga colocada à distância de 3 cm da lente de menor distância focal. Qual será o aumento observado no tamanho da formiga por meio do microscópio?



Luneta astronômica

As **lunetas** são instrumentos destinados à observação de objetos distantes. A **luneta astronômica** (fig. 9), utilizada para observar os astros, consta essencialmente de duas lentes convergentes, simples ou compostas – a **objetiva** e a **ocular**. A objetiva apresenta grande distância focal, às vezes da ordem de alguns metros. A imagem (i_1) real e invertida fornecida pela objetiva está no seu plano focal imagem, pois o objeto está muito afastado. A imagem i_1 é objeto para a ocular, que forma a imagem final (i_2) do sistema, virtual e invertida.



◀ **Figura 9.**
Formação da imagem na luneta astronômica.

Para as lunetas não se define o aumento linear transversal, mas sim um **aumento visual** (ou **aumento angular**) G , dado pela relação entre o ângulo visual sob o qual é vista a imagem final fornecida pelo instrumento (θ') e o ângulo visual segundo o qual o astro é visto a olho nu (θ):

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Frequentemente, para efeito de cálculo, o aumento visual é expresso pela relação entre as tangentes desses mesmos ângulos:

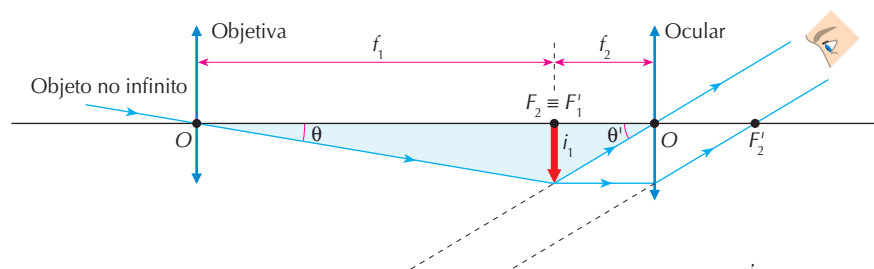
$$G = \frac{\text{tg } \theta'}{\text{tg } \theta}$$

O valor do aumento visual de uma luneta depende das condições de observação da imagem. Para as condições usuais, o aumento visual é expresso pela relação entre as distâncias focais da objetiva (f_1) e da ocular (f_2):

$$G = \frac{f_1}{f_2}$$

Demonstração do aumento visual em condições usuais

Nas condições usuais de observação, a ocular é deslocada até que seu foco principal objeto F_2 coincida com o foco principal imagem da objetiva F'_1 . Assim, a imagem final é focalizada no infinito. A luneta é chamada **afocal**.



Nessas condições, temos para o aumento angular G : $G = \frac{\text{tg } \theta'}{\text{tg } \theta} \Rightarrow G = \frac{\frac{i_2}{f_2}}{\frac{i_1}{f_1}} \Rightarrow G = \frac{f_1}{f_2}$

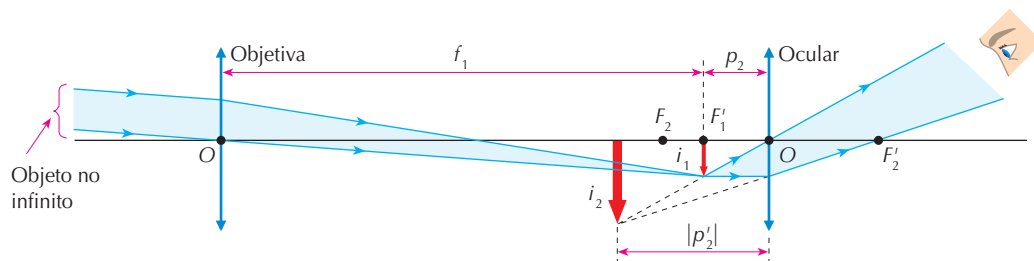
EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 108 A objetiva de uma luneta astronômica simples tem 60 cm de distância focal e a ocular tem distância focal igual a 1,5 cm. A imagem de um astro observado vai se formar a 43,5 cm da ocular. Determine:

- o comprimento do tubo que constitui a luneta;
- o aumento visual da luneta, em condições usuais de observação.

Solução:

- Esquematicamente, a formação de imagem é:



A imagem i_1 forma-se no plano focal da objetiva e é objeto para a ocular. Calculando a abscissa p_2 de i_1 , em relação à ocular, temos: $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p_2'}$, sendo $f_2 = 1,5$ cm e $p_2' = -43,5$ cm; assim, obtemos:

$$\begin{aligned} \frac{1}{p_2} &= \frac{1}{f_2} - \frac{1}{p_2'} \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{1}{1,5} - \left(\frac{1}{-43,5} \right) \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{29 + 1}{43,5} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{30}{43,5} \Rightarrow p_2 = 1,45 \text{ cm} \end{aligned}$$

A distância entre as lentes (comprimento do tubo), sendo $f_1 = 60$ cm, vale:

$$d = f_1 + p_2 \Rightarrow d = 60 + 1,45 \Rightarrow \boxed{d = 61,45 \text{ cm}}$$

- O aumento visual, em condições usuais de observação (luneta afocal), é dado pela relação entre as distâncias focais das lentes:

$$G = \frac{f_1}{f_2} \Rightarrow G = \frac{60}{1,5} \Rightarrow \boxed{G = 40}$$

Respostas: a) 61,45 cm; b) 40

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 377 Uma luneta astronômica é constituída por duas lentes delgadas de distâncias focais 2 m e 5 cm. Sendo 2,04 m a distância entre as lentes, determine:

- a posição da imagem final que o instrumento fornece de um astro observado;
- o aumento visual da luneta em condições usuais de observação.

P. 378 A distância entre a objetiva e a ocular de uma luneta astronômica simples é de 100 cm. A imagem de um astro observado se forma a 15 cm da ocular. Sendo de 95 cm a distância focal da objetiva, determine a distância focal da ocular.

Entre na rede No endereço eletrônico http://www.walter-fendt.de/ph11br/refractor_br.htm (acesso em agosto/2009) você pode simular a trajetória dos raios de luz atravessando a objetiva e a ocular de uma luneta astronômica (telescópio astronômico refrator).

Luneta terrestre

O inconveniente da utilização da luneta astronômica para observar objetos na Terra é que a imagem final é invertida. A **luneta terrestre** é adaptada para tornar direita a imagem final. O modo de proceder à inversão da imagem é variável, havendo então diversos tipos de lunetas terrestres.

A **luneta de Galileu** é uma luneta terrestre que utiliza uma lente divergente, de pequena distância focal, como ocular. A imagem i_1 fornecida pela objetiva está em seu plano focal imagem, pois o objeto está muito afastado. A lente divergente é disposta entre a objetiva e a imagem i_1 . Essa imagem é um objeto virtual para a lente divergente, situando-se entre seu foco principal objeto F_2 e seu ponto antiprincipal objeto C_2 . A imagem final i_2 é direita em relação ao objeto visado (fig. 10).

O **binóculo** é constituído por duas lunetas terrestres. Cada uma delas possui lentes objetiva e ocular e um conjunto de dois prismas de Porro, que promovem a inversão da imagem final. As arestas desses prismas são dispostas ortogonalmente e com as faces-hipotenusa paralelas (fig. 11).

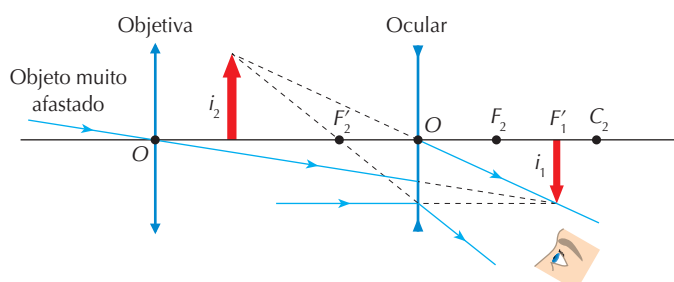


Figura 10. Formação da imagem na luneta de Galileu.

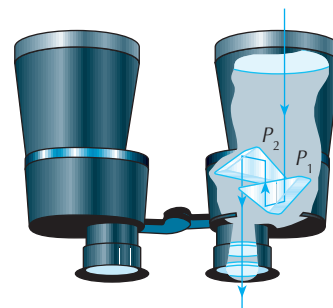


Figura 11.

Sabemos que no prisma de Porro os raios emergem em ordem contrária à dos raios incidentes (fig. 12). A imagem de um objeto fornecida pela objetiva é invertida e, além disso, a direita e a esquerda aparecem trocadas. O prisma P_1 endireita a imagem, mas não troca a direita pela esquerda e vice-versa. Essa troca é efetuada pelo prisma P_2 . A ocular funciona como lupa, fornecendo uma imagem final exatamente igual ao objeto, e ampliada.

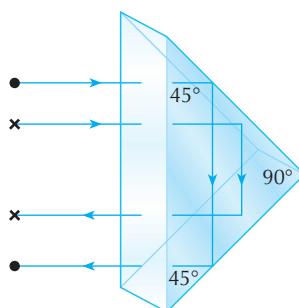


Figura 12.



Luneta terrestre.



Binóculo.

5 Telescópio

O **telescópio** difere das lunetas pela substituição da lente objetiva por um espelho côncavo – esférico ou parabólico. A vantagem desse aparelho é que o espelho apresenta menos defeitos (aberrações) que as lentes. Por isso os grandes observatórios preferem, na atualidade, utilizar telescópios em vez de lunetas. Esses telescópios são equipados com espelhos parabólicos. Os telescópios mais simples, destinados a amadores, normalmente são construídos com espelhos esféricos.

Por vezes, a luneta é denominada telescópio de refração, reservando-se o termo telescópio de reflexão para o telescópio propriamente dito.

No telescópio de reflexão (ou telescópio refletor) a imagem (i_1) real e invertida fornecida pelo espelho E está no seu plano focal. A imagem i_1 é um objeto virtual para um pequeno espelho plano E' , o qual conjuga uma imagem real i_2 . Essa imagem funciona como objeto para a ocular L , que forma a imagem final i_3 (fig. 13).

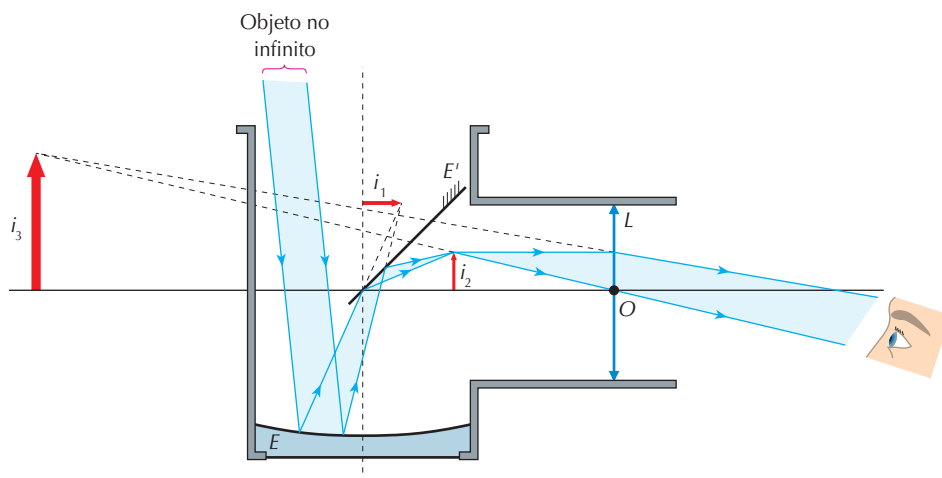
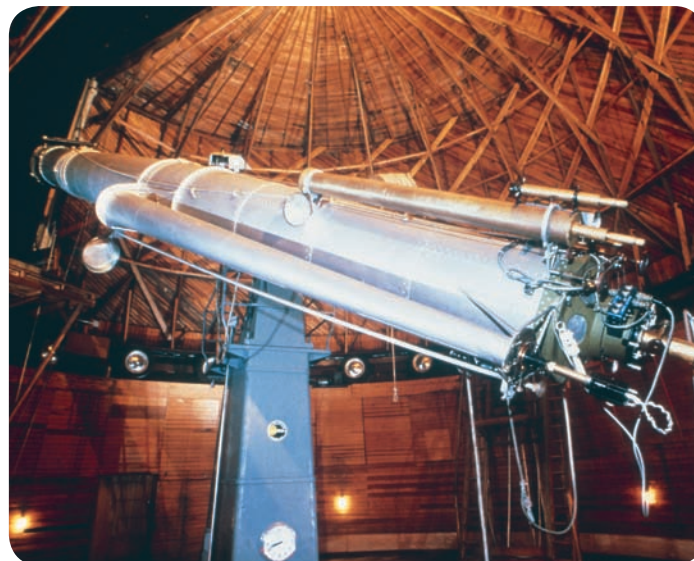


Figura 13.



Réplica do segundo telescópio de reflexão projetado e construído por Isaac Newton, em 1671.



Telescópio de refração do Observatório Lowell, localizado em Flagstaff, Arizona, EUA.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.observatorio.ufmg.br/pas10.htm> (acesso em agosto/2009) você pode ler um texto sobre a evolução dos telescópios ao longo da história e sobre a construção de um telescópio simples com materiais de baixo custo.

O olho humano

Objetivos

► Conhecer as diferentes estruturas que compõem o olho humano e o seu funcionamento.

► Compreender como acontece a formação da imagem no olho humano.

► Comparar o funcionamento do olho humano ao funcionamento de uma máquina fotográfica.

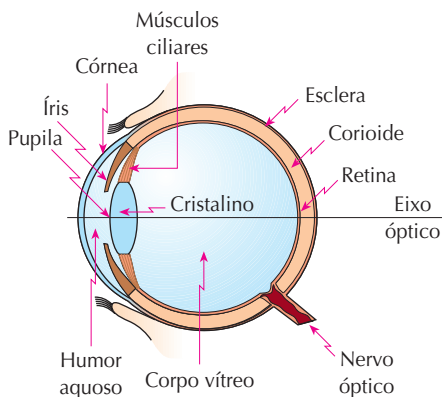
► Compreender as causas básicas das principais anomalias da visão e as características das lentes utilizadas em sua correção.

► Analisar uma receita para a confecção de óculos.

Termos e conceitos

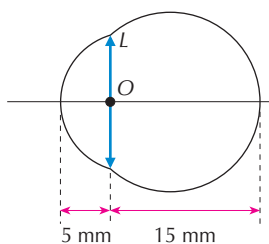
- acomodação visual
- ponto remoto
- ponto próximo

O olho humano é um sistema óptico complexo, constituído por vários meios transparentes que são atravessados pela luz: a **córnea** (calota esférica frontal), o **humor aquoso**, o **cristalino*** (que funciona como uma lente biconvexa) e o **corpo vítreo**. A calota esférica posterior é opaca, sendo constituída de três camadas: a **esclera**, que dá sustentação mecânica e proteção ao olho, a **corioide**, camada irrigada por vasos sanguíneos, e a **retina**, camada interna que se estende sobre a corioide (fig. 14).



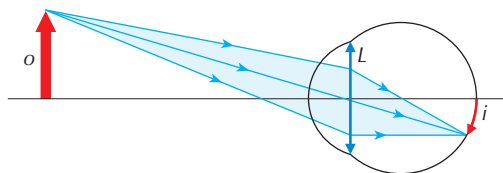
◀ Figura 14. Corte esquemático do olho humano.

Para facilitar o estudo, representamos o olho humano por meio de um esquema simplificado, o **olho reduzido** (fig. 15), no qual os meios transparentes (córnea, humor aquoso, cristalino e corpo vítreo) são representados por uma única lente delgada convergente L , situada a 5 mm da córnea e a 15 mm da retina (fundo do olho).



◀ Figura 15. Olho reduzido.

O funcionamento do olho humano assemelha-se ao de uma câmera fotográfica (fig. 16). A objetiva L conjuga, de um objeto real, uma imagem real e invertida no fundo do olho, sobre a **retina**. A entrada de luz no olho é controlada pela **íris**, cujo orifício central, a **pupila**, tem diâmetro variável, funcionando como o obturador da câmera fotográfica.



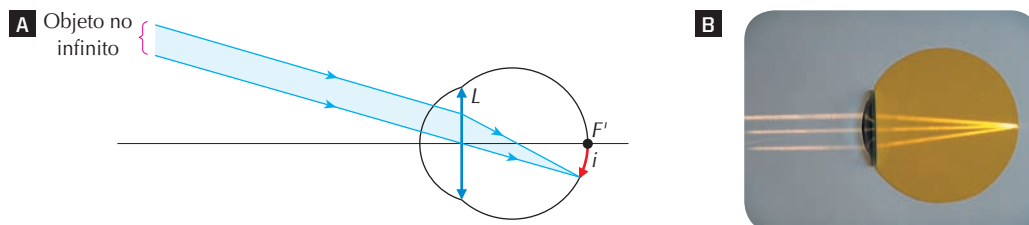
◀ Figura 16. Formação da imagem no olho humano.

* Na nomenclatura atual, o cristalino é chamado simplesmente de **lente**. Neste capítulo, porém, mantivemos a denominação antiga, visando evitar a confusão.

A retina é constituída de células nervosas (cones e bastonetes) sensíveis à luz e que transmitem ao cérebro as sensações visuais, por meio do **nervo óptico**.

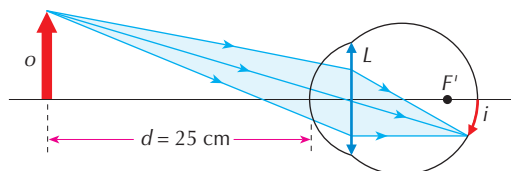
Uma pessoa de visão normal pode enxergar objetos situados desde uma distância média convencional de 25 cm – **distância mínima convencional de visão distinta** – até o infinito. Para que a imagem se forme sempre sobre a retina, a distância focal da lente L deve ser variável. Essa variação é possível pelo fato de o cristalino ser constituído de material flexível, variando a curvatura de suas faces pela contração dos músculos ciliares. A esse mecanismo de focalização dá-se o nome de **acomodação visual**.

Quando o objeto está infinitamente afastado – situado no **ponto remoto** –, os músculos ciliares estão relaxados e o foco imagem de L está exatamente na retina (**fig. 17**). O olho não está realizando esforço de acomodação.



▶ **Figura 17.** (A) **Objeto no infinito:** o olho não realiza esforço de acomodação visual. (B) Montagem simulando o olho humano, com o objeto no infinito.

À medida que o objeto se aproxima, os músculos ciliares vão se contraindo, diminuindo a distância focal da lente L . De fato, na fórmula $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$, com p' constante, diminuindo-se p [objeto se aproximando do olho], f também diminui. Quando o objeto estiver a 25 cm do olho – na posição conhecida como **ponto próximo** –, os músculos estarão em sua máxima contração, realizando esforço máximo de acomodação visual (**fig. 18**). A lente L apresenta distância focal mínima.



▶ **Figura 18.** **Objeto no ponto próximo:** o olho realiza esforço máximo de acomodação.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R.109 Um olho normal (emetrope) pode ver nitidamente objetos situados desde o infinito, que é o ponto remoto, até 25 cm, que é o ponto próximo. De quanto varia a vergência do cristalino, quando o objeto se movimenta de uma posição para outra?

Solução:

A posição da imagem formada pelo olho é invariável, pois está sempre na retina. A vergência do cristalino pode ser calculada, para as duas situações extremas, pela equação de Gauss.

$$\text{Para } p_1 \rightarrow \infty \text{ (objeto no infinito): } D_1 = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'}$$

$$\text{Para } p_2 = d = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m (objeto no ponto próximo): } D_2 = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'}$$

A variação da vergência vale:

$$\Delta D = D_2 - D_1 \Rightarrow \Delta D = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'} - \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p'} \Rightarrow \Delta D = \frac{1}{p_2} - \frac{1}{p_1}$$

Substituindo os valores numéricos, temos:

$$\Delta D = \frac{1}{0,25} - 0 \Rightarrow \Delta D = 4 \text{ di}$$

Resposta: 4 di

Observação:

A variação da vergência do cristalino entre as duas posições extremas do objeto é denominada **amplitude de acomodação** a do olho humano. Assim, para o olho normal, a amplitude de acomodação vale:

$$a = \Delta D = 4 \text{ di}$$

Genericamente, portanto, a amplitude de acomodação a pode ser expressa por:

$$a = \frac{1}{p_P} - \frac{1}{p_R}$$

em que p_P é a abscissa do ponto próximo e p_R , a abscissa do ponto remoto.

À medida que a pessoa envelhece, o cristalino perde sua capacidade de variar a vergência. É o defeito da **presbiopia** ou **vista cansada**, no qual diminui a amplitude de acomodação. Outros defeitos, como a **miopia** e a **hipermetropia**, não alteram a amplitude de acomodação.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 379 Uma pessoa idosa tem o seu ponto próximo situado a 50 cm de seu olho, conservando-se sua vista normal para a visão a distância. Determine a amplitude de acomodação visual de sua vista, isto é, a variação da vergência de seu cristalino quando o objeto se movimenta entre o ponto próximo e o ponto remoto.

P. 380 No defeito da miopia, a amplitude de acomodação é normal (4 di), mas o ponto remoto está a uma distância finita. Estando, para certo míope, o ponto remoto a 2 m do olho, determine a posição do ponto próximo.

1 Anomalias da visão

Miopia

Quando um olho míope não realiza esforço de acomodação, o foco da lente L não está na retina, mas sim antes dela (fig. 19). Essa anomalia ocorre em virtude de um alongamento do olho humano na direção do eixo óptico ou de uma curvatura excessiva na córnea e/ou no cristalino. A posição mais afastada em que uma pessoa míope pode ver nitidamente sem esforço de acomodação (ponto remoto) está, conseqüentemente, a uma distância finita – e não infinita, como no olho normal (fig. 20). Sendo assim, o míope não enxerga bem de longe.

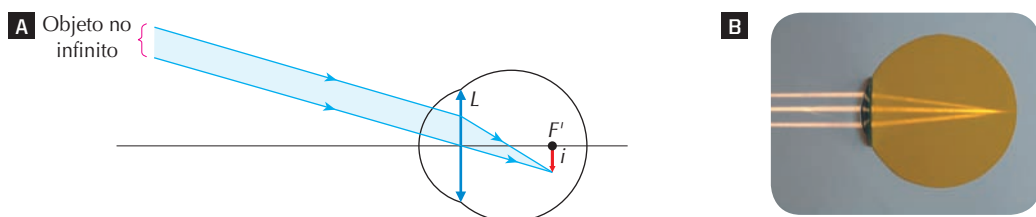
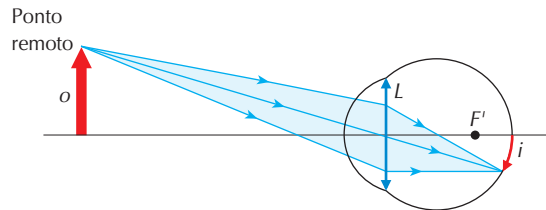


Figura 19. (A) Objeto no infinito: olho míope sem esforço de acomodação; o foco F' está antes da retina; a imagem não é nítida. (B) Montagem simulando o olho míope, com o objeto no infinito.



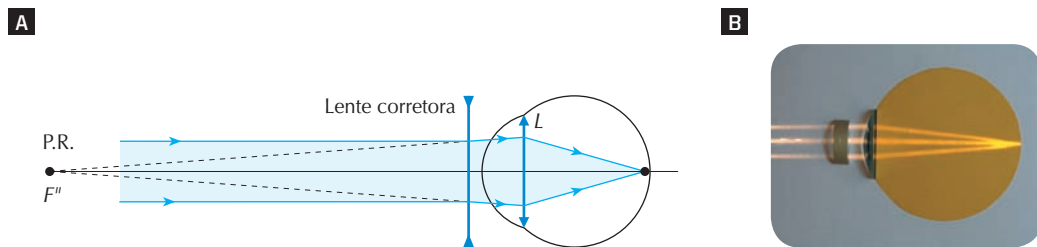


▲ **Figura 20.** Objeto no ponto remoto: olho míope sem esforço de acomodação; o foco F' está antes da retina; a imagem é nítida.

Como o mecanismo de acomodação visual não é afetado, o olho míope acomoda normalmente. Com isso, há uma aproximação do ponto próximo, que passa a situar-se a uma distância inferior a 25 cm.

A **correção da miopia** é realizada com **lentes divergentes**. A lente deve fazer os raios provenientes do infinito (paralelos) emergirem como se estivessem vindo do ponto remoto (fig. 21). Desse modo, a imagem que a lente fornece de um objeto no infinito forma-se no ponto remoto do olho humano, podendo então ser vista nitidamente, sem esforço. Assim, o foco imagem F'' da lente deve coincidir com o ponto remoto do olho. Desprezando-se a distância entre a lente e os olhos, a distância focal f da lente que corrige a miopia deve ser igual, em módulo, à abscissa p_R do ponto remoto do olho:

$$f = -p_R$$



▲ **Figura 21.** (A) A lente corretora forma do objeto no infinito uma imagem no ponto remoto (P.R.) do olho míope. (B) Montagem simulando a influência da lente corretora sobre o olho míope.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

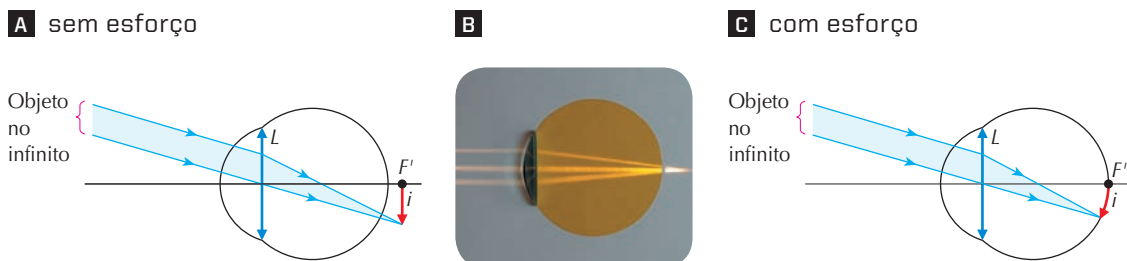
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 381** O ponto remoto de um míope situa-se a 2 m de seu olho. Determine a distância focal e a vergência da lente que corrige o defeito.
- P. 382** Uma pessoa míope usa óculos cujas lentes têm -2 di. Determine a posição do ponto remoto do olho dessa pessoa.
- P. 383** (Fuvest-SP) O ponto remoto corresponde à maior distância que pode ser focalizada na retina. Para um olho míope, o ponto remoto, que normalmente está no infinito, fica bem próximo dos olhos.
- Que tipo de lente o míope deve usar para corrigir o defeito?
 - Qual é a distância focal de uma lente para corrigir a miopia de uma pessoa cujo ponto remoto se encontra a 20 cm do olho?



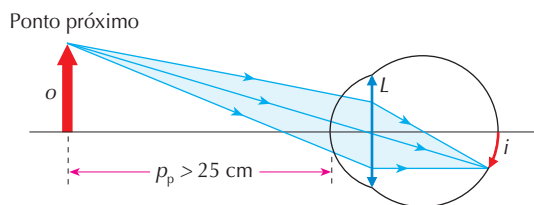
Hipermetropia

Quando um olho hipermetrope não realiza esforço de acomodação, o foco F' da lente L está situado além da retina (figs. 22A e 22B). Essa anomalia ocorre em virtude do encurtamento do olho humano na direção do eixo óptico ou de uma curvatura insuficiente na córnea e/ou no cristalino. Todavia, realizando esforço de acomodação, a pessoa hipermetrope pode diminuir a distância focal e trazer o foco F' para a retina (fig. 22C). Assim, para ver nitidamente um objeto no infinito, o hipermetrope tem de realizar esforço de acomodação.



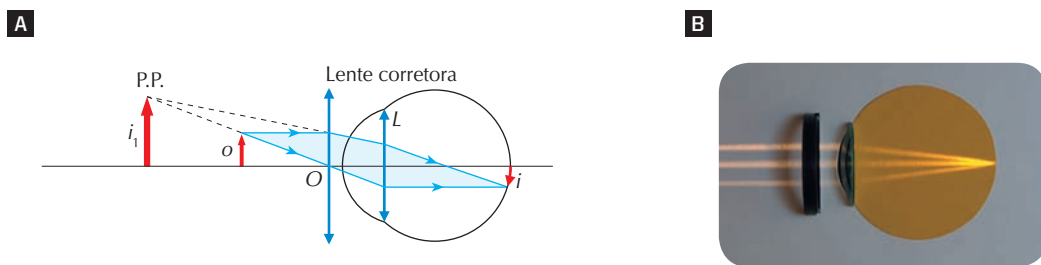
▲ Figura 22. O hipermetrope deve realizar esforço de acomodação para ver nitidamente objetos no infinito.

O hipermetrope já realiza esforço para ver no infinito. Por isso, comparado com uma pessoa de visão normal, ele esgota antes sua capacidade de acomodação. Assim, ocorre um afastamento do ponto próximo, que passa a situar-se a uma distância superior a 25 cm (fig. 23). Sendo assim, o hipermetrope não enxerga bem de perto.



▲ Figura 23. Olho hipermetrope em máximo esforço de acomodação: o ponto próximo está além de 25 cm do olho.

A **correção da hipermetropia** é realizada com **lentes convergentes**. A lente deve ser tal que, de um objeto situado a 25 cm, forneça uma imagem situada no ponto próximo do olho (fig. 24).



▲ Figura 24. (A) A lente corretora forma do objeto a 25 cm uma imagem i_1 no ponto próximo (P.P.) do olho hipermetrope. (B) Simulação da influência da lente corretora sobre o olho hipermetrope.

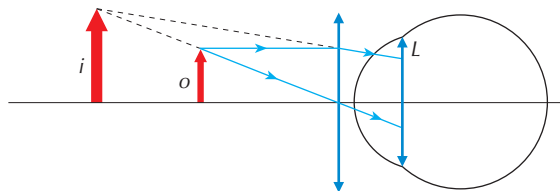
Desprezando a distância entre a lente e os olhos, podemos calcular a distância focal f da lente que corrige a hipermetropia aplicando a equação dos pontos conjugados $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$. Sendo $p = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ e $p' = -p_p$ (imagem virtual), em que p_p é a distância do ponto próximo do hipermetrope, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p}$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 110 Uma pessoa hipermetrope tem seu ponto próximo situado a 50 cm da vista. Para que possa enxergar nitidamente objetos situados a 25 cm de distância, determine a vergência da lente que deve usar.

Solução:



Vamos admitir desprezível a distância que separa a lente do olho. A lente deve fornecer do objeto a 25 cm uma imagem no ponto próximo, isto é, a 50 cm do olho.

Abcissa do objeto:

$$p = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

Abcissa da imagem (virtual):

$$p' = -p_p = -50 \text{ cm} = -0,5 \text{ m}$$

Aplicando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = D = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{0,5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D = 4 - 2 \Rightarrow \boxed{D = 2 \text{ di}}$$

Resposta: Lente convergente de vergência 2 di.

Observação: É comum, no dia a dia, o uso do termo “grau” significando “dioptria”. Assim, em vez de dizer “óculos de duas dioptrias”, normalmente dizemos “óculos de dois graus”.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
Animação: *Instrumentos ópticos*

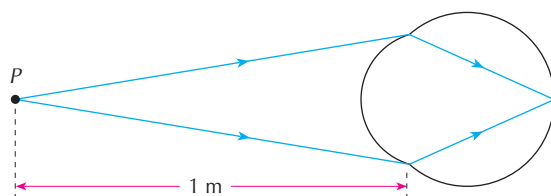
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 384 O ponto próximo de um hipermetrope está a 75 cm de seu olho. Para que ele enxergue nitidamente objetos situados a 25 cm de distância, determine:

- o tipo de lente que deve usar;
- a vergência dessa lente.

P. 385 (Vunesp) Uma pessoa normal deve ser capaz de perceber um objeto em foco a uma distância de 25 cm. Que tipo de lente deve ser usado e qual seria a distância focal dessa lente, para tornar normal a visão de uma pessoa hipermetrope que consegue ver, em foco, apenas objetos situados a mais de 125 cm?

P. 386 (Unitau-SP) A figura mostra a formação de imagem, num olho, de um ponto P distante dele 1 m. (A figura não está em escala.) O cristalino, nessa situação, está comprimido ao máximo. Considerando que, na visão normal, enxerga-se com nitidez desde 25 cm de distância até o infinito, que lente deve ser usada para corrigir a visão desse olho e qual seria a sua vergência?

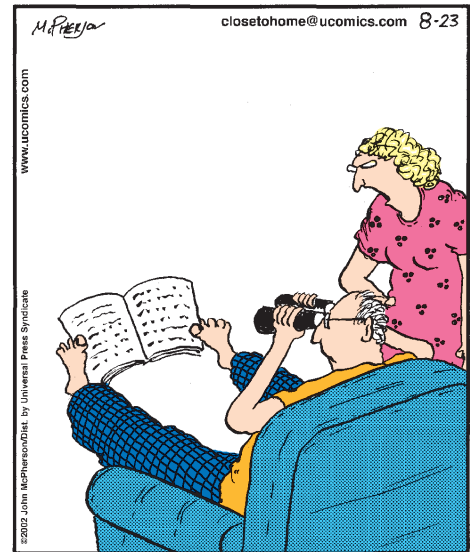


Presbiopia

Quando uma pessoa envelhece, seu cristalino vai perdendo a capacidade de acomodação. Em consequência, há um afastamento do ponto próximo, embora a visão a distância se conserve normal.

Tem-se explicado essa anomalia pela perda de flexibilidade do cristalino com a idade. Ao tornar-se mais rígido, o cristalino deixa de responder plenamente às contrações dos músculos ciliares que modificam sua forma. Entretanto, pesquisas recentes mostraram que o cristalino cresce durante a vida, aumentando cerca de 0,02 mm seu diâmetro por ano. Assim, ao ocupar mais espaço dentro do olho, ele pressiona os músculos ciliares e impede-os de cumprir satisfatoriamente suas funções, causando a anomalia.

A **correção da presbiopia** para a visão próxima é realizada com **lentes convergentes**, de modo semelhante ao que foi visto na correção da hipermetropia.



Céus! Você tem que admitir que precisa trocar seus óculos de leitura!

EXERCÍCIO PROPOSTO

- P. 387** (UFPR) Se o ponto próximo de uma pessoa idosa está a 1,0 m de seus olhos, qual é a convergência, em dioptrias, da lente de correção que essa pessoa deve usar a fim de que possa ler um livro a 0,25 m de distância?

Astigmatismo

O astigmatismo ocorre em virtude de uma imperfeição do olho, particularmente da córnea: considerando os diversos planos que contêm o eixo do olho e interceptam a córnea, os arcos obtidos não apresentam a mesma curvatura, isto é, não possuem mesmo raio de curvatura, como acontece para o olho normal, cuja córnea é perfeitamente esférica. O astigmata possui córnea mais ovalada do que esférica.

Sejam, por exemplo, dois planos α e β perpendiculares entre si e que contêm o eixo do olho (fig. 25A). A intersecção do plano α com a córnea define o arco de raio R_1 . Seja P_1 a imagem de um ponto P (fig. 25B). Por outro lado, a intersecção do plano β com a córnea define outro arco, de raio R_2 . Seja P_2 a imagem do mesmo ponto P (fig. 25C).

Sendo R_1 diferente de R_2 , resulta que P_1 e P_2 não coincidem e, portanto, o olho do astigmata não recebe na retina uma imagem nítida.

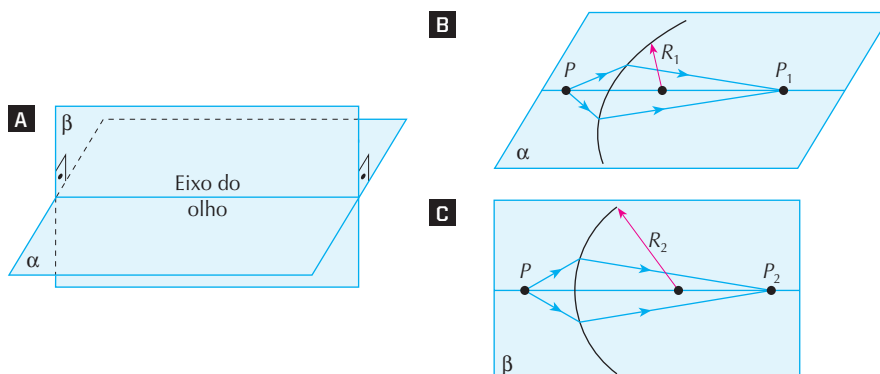


Figura 25. Para o astigmata, a um ponto objeto o olho não conjuga um único ponto imagem.

A **correção do astigmatismo** é feita com o uso de lentes cilíndricas, que podem ser convergentes ou divergentes. A espessura da lente não é a mesma em toda a superfície. Ela é confeccionada de tal modo a apresentar efeito oposto ao da córnea, compensando assim a imperfeição.

➤ Análise de uma receita de óculos

Abaixo temos a receita prescrita por um oftalmologista a um de seus pacientes.

		Esférica	Cilíndrica	Eixo	DP
Para longe	OD	-3,00 di	-1,25 di	90°	64 mm
	OE	-2,50 di	-1,25 di	120°	
Para perto	OD				
	OE				

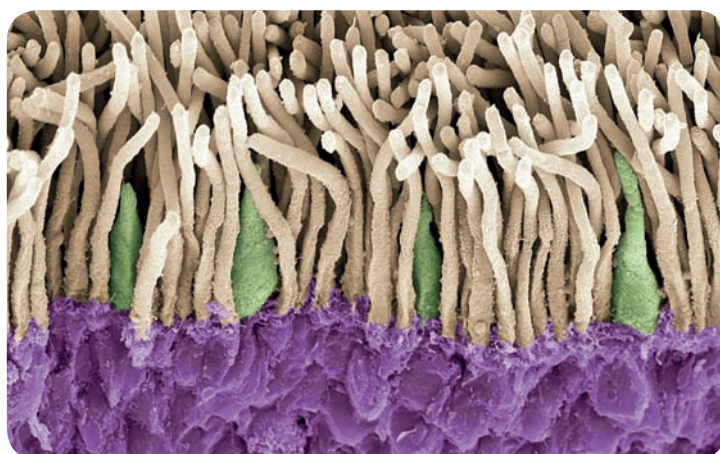
Observando que a vergência das lentes esféricas é negativa, concluímos que o paciente é míope, devendo usar, para o olho direito (OD), uma lente divergente de vergência $-3,00$ di e, para o olho esquerdo (OE), outra lente divergente de $-2,50$ di. Além disso, o paciente possui também astigmatismo e, para a correção, deve usar lentes cilíndricas divergentes com vergência de $-1,25$ di para cada olho. Outra informação que consta da receita é a distância interpupilar (DP), isto é, a distância entre os eixos dos olhos: 64 mm. Os ângulos fornecidos (90° e 120°) definem as posições em que devem ser montadas as lentes cilíndricas. O paciente, que possui miopia e astigmatismo, não deverá usar dois óculos: as duas anomalias visuais serão corrigidas com uma única lente.

2 Outras anomalias visuais

A retina é uma película sensível à luz, localizada no fundo do olho. Suas células, chamadas **cones** e **bastonetes**, transformam a luz em estímulos nervosos e os enviam ao cérebro por meio do nervo óptico. Em cada retina existem aproximadamente 7 milhões de cones e 125 milhões de bastonetes. A visão à luz do dia é oferecida pelos cones, que são, também, responsáveis pela percepção das cores.

Existem três tipos de cones, cada um contendo seu respectivo pigmento visual, sensível a uma das três cores primárias. Quando a luz vermelha incide no olho humano, os cones sensíveis à luz vermelha é que enviam sinais ao cérebro. A cor que vemos de um determinado objeto é o resultado de como cada tipo de cone é estimulado.

A visão sob luz fraca é feita pelos bastonetes. Eles possuem um pigmento sensível à luz, chamado rodopsina, que é consumido sob ação de luz intensa e se regenera sob a ação de luz fraca. São os bastonetes que possibilitam distinguir os diversos tons de cinza.

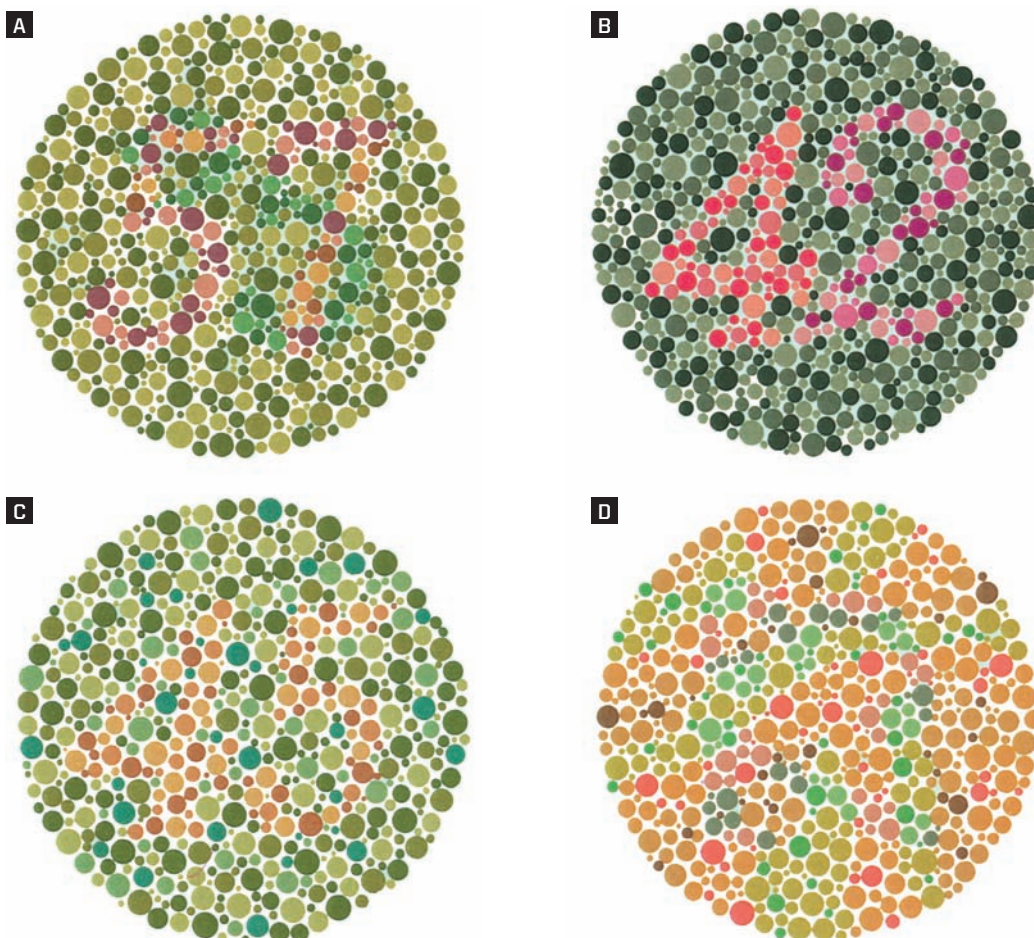


◀ Fotomicrografia da retina humana. As cores não correspondem às cores reais. As células alongadas (em branco) são os bastonetes e as células mais largas e menores (em verde) são os cones, responsáveis pela percepção das cores.



Daltonismo

O **daltonismo** é uma anomalia que impede a percepção das cores. Existem portadores sensíveis somente a duas cores primárias, sendo cegos relativamente à terceira. Outros são insensíveis às três cores primárias, enxergando tudo em branco e preto ou em tons de cinza. O físico e químico inglês John Dalton (1766-1844) era portador dessa anomalia e realizou estudos sobre ela, o que deu origem ao nome daltonismo.



▶ O teste de Ishihara permite detectar eventuais incapacidades de diferenciar as cores. Uma pessoa com visão normal enxerga, nas figuras acima os números: (A) 57, (B) 42, (C) 45 e (D) nenhum. Um daltônico enxerga os números: (A) 35, (B) 2 ou 4, (C) nenhum, (D) 73.

Estrabismo

O estrabismo consiste num desalinhamento dos eixos ópticos, causado por defeitos nos músculos que movimentam os olhos. O estrábico tem dificuldade de direcionar, simultaneamente, seus dois eixos ópticos para o ponto que deseja focalizar. Nessas condições, cada olho conjuga na retina uma imagem diferente.

Catarata

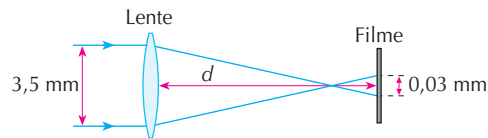
Vimos que o cristalino é um corpo transparente e que funciona como uma lente biconvexa. A catarata consiste na perda da transparência do cristalino. Instala-se por um processo lento e progressivo, que tem como consequência a diminuição da entrada de luz no interior do olho. É curada mediante uma cirurgia que consiste em retirar o cristalino e substituí-lo por uma lente intraocular.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.seara.ufc.br/tintim/fisica/visao/tintim4.htm> (acesso em agosto/2009), você encontra textos e ilustrações interessantes sobre a visão humana.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 388 (Olimpíada Brasileira de Física) Um sistema é formado por duas lentes finas coladas, sendo uma biconcava, de índice de refração 1,5 e raios de curvatura 20 cm e 1 m, e a outra plano-convexa, de índice de refração igual a 1,7 e raio de curvatura 20 cm. Calcule a altura da imagem de um objeto de 10 cm de altura situado a 40 cm do conjunto de lentes.

P. 389 (Unicamp-SP) Em uma máquina fotográfica de foco fixo, a imagem de um ponto no infinito é formada antes do filme, conforme ilustra o esquema. No filme, esse ponto está ligeiramente desfofocado e sua imagem tem 0,03 mm de diâmetro. Mesmo assim, as cópias ampliadas ainda são nítidas para o olho humano. A abertura para a entrada de luz é de 3,5 mm de diâmetro e a distância focal da lente é de 35 mm.

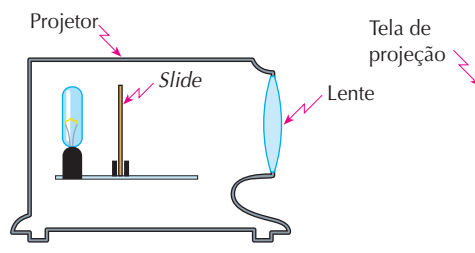


- Calcule a distância d do filme à lente.
- A que distância da lente um objeto precisa estar para que sua imagem fique exatamente focalizada no filme?

P. 390 (FEI-SP) Um projetor de slides encontra-se a 4,1 m da tela de projeção. Um slide de 35 mm de altura tem sua imagem projetada na tela com 1,4 m de altura.

- Qual é a distância focal do instrumento?
- Faça um esquema que represente o objeto, a lente e a imagem formada.

P. 391 (UFV-MG) A figura representa um projetor de slides contendo um slide (objeto) fortemente iluminado pela lâmpada, uma lente de 100 mm de distância focal, a 102 mm do objeto, e uma tela de projeção (local de formação da imagem). Nessas condições, calcule:



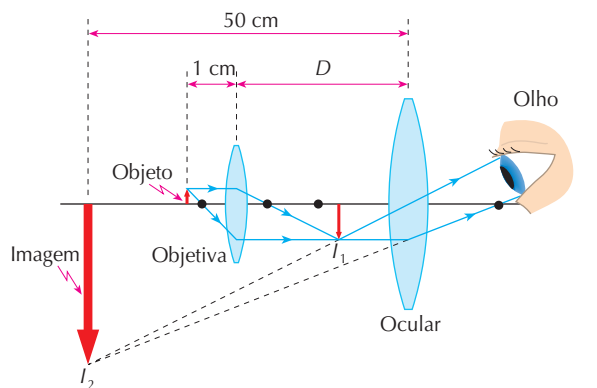
- a distância ideal entre a tela e a lente;
- a razão entre o tamanho da imagem e do objeto.

P. 392 (Olimpíada Brasileira de Física) Uma lupa é uma lente convergente usada (normalmente) para formar, por exemplo, imagens ampliadas de palavras com letras pequenas, para que possam ser mais bem percebidas.

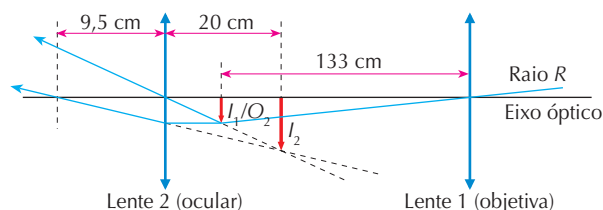
- Explique qual deve ser a posição das palavras, em relação a uma lente convergente, para que ela funcione como lupa. Justifique.
- Se a lupa for colocada dentro da água, ela aumentará ou diminuirá seu poder de ampliação, comparada a quando ela está no ar? Justifique.

P. 393 (UFPE) Um microscópio é composto de duas lentes convergentes. A lente que fica mais próxima do objeto é chamada objetiva e aquela através da qual se observa a imagem é a ocular. A imagem I_1 , formada pela objetiva, funciona como um objeto para a ocular (veja a figura). Quando o objeto é colocado a 1,0 cm da objetiva, a imagem final que se observa é 100 vezes maior do que o objeto e se encontra a 50 cm da lente ocular.

Se a ampliação devida à lente objetiva é 20 vezes, determine a distância D entre as lentes, em cm.



P. 394 (Unicamp-SP) Um dos telescópios usados por Galileu por volta do ano de 1610 era composto de duas lentes convergentes, uma objetiva (lente 1) e uma ocular (lente 2), de distâncias focais iguais a 133 cm e 9,5 cm, respectivamente. Na observação de objetos celestes, a imagem I_1 formada pela objetiva situa-se praticamente no seu plano focal. Na figura (fora de escala), o raio R é proveniente da borda do disco lunar e o eixo óptico passa pelo centro da Lua.



- a) A Lua tem 1.750 km de raio e fica a aproximadamente 384.000 km da Terra. Qual é o raio da imagem da Lua (I_1) formada pela objetiva do telescópio de Galileu?
- b) Uma segunda imagem (I_2) é formada pela ocular a partir daquela formada pela objetiva – a imagem da objetiva (I_1) torna-se objeto (O_2) para a ocular. Essa segunda imagem é virtual e situa-se a 20 cm da lente ocular. A que distância a ocular deve ficar da objetiva do telescópio para que isso ocorra?

P. 395 (Unicamp-SP) Nos olhos das pessoas míopes, um objeto localizado muito longe, isto é, no infinito, é focalizado antes da retina. À medida que o objeto se aproxima, o ponto de focalização se afasta até cair sobre a retina. A partir desse ponto, o míope enxerga bem. A dioptria D , ou “grau”, de uma lente é definida como $D = \frac{1}{f}$ (sendo f a distância focal) e 1 grau = 1 m^{-1} . Considere uma pessoa míope que só enxerga bem objetos mais próximos do que 0,40 m de seus olhos.

- a) Faça um esquema mostrando como uma lente bem próxima dos olhos pode fazer com que um objeto no infinito pareça estar a 40 cm do olho.
- b) Qual é a dioptria (em graus) dessa lente?
- c) A partir de que distância uma pessoa míope, que usa óculos de “4 graus”, pode enxergar bem sem os óculos?

P. 396 (Unifesp) As figuras mostram o Nicodemus, símbolo da Associação Atlética dos estudantes da Unifesp, ligeiramente modificado: foram acrescentados olhos, na 1ª figura, e óculos transparentes na 2ª.

- a) Supondo que ele esteja usando os óculos devido a um defeito de visão, compare as duas figuras e responda: qual pode ser esse provável defeito? As lentes dos óculos são convergentes ou divergentes?
- b) Considerando que a imagem do olho de Nicodemus com os óculos seja 25% maior que o tamanho real do olho e que a distância do olho à lente dos óculos seja de 2 cm, determine a vergência das lentes usadas pelo Nicodemus, em dioptrias.



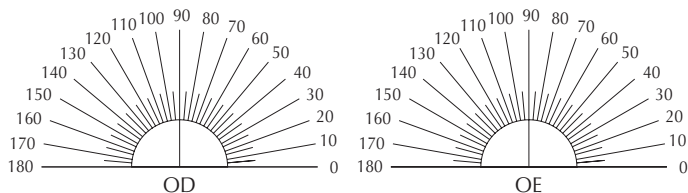
▲ Figura I.



▲ Figura II.

P. 397 (UFPel-RS) Observe as duas receitas de lentes mostradas abaixo, as quais foram prescritas por um oftalmologista de nossa cidade, destinadas a dois de seus pacientes, Andréa e Rafael, que apresentam dois dos defeitos mais comuns de visão:

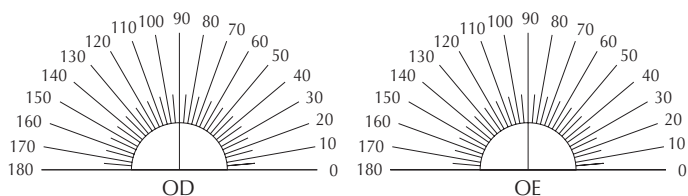
Prescrição de lentes



Andréa

		Esférica	Cilíndrica	Eixo
Para longe	OD	-4,00 di	-1,25 di	90°
	OE	-2,50 di	-1,75 di	100°
Para perto	OD			
	OE			

Prescrição de lentes

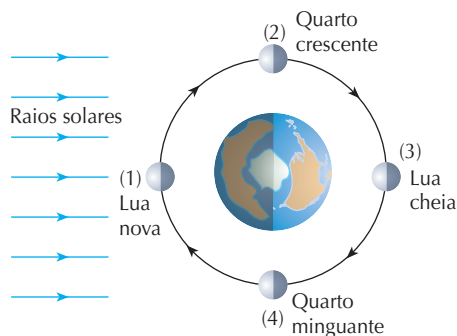


Rafael

		Esférica	Cilíndrica	Eixo
Para longe	OD			
	OE			
Para perto	OD	+5,50 di	-3,75 di	0°
	OE	+5,00 di	-2,75 di	0°

- a) Considerando que nenhum dos pacientes apresenta presbiopia, com base nas receitas, qual(is) o(s) defeito(s) de visão que cada paciente apresenta? Justifique.
- b) Calcule a distância focal das lentes esféricas do paciente com hipermetropia.

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO



As fases da Lua

A Lua é uma fonte de luz secundária. Ela é vista porque reflete a luz que recebe do Sol.

O hemisfério da Lua voltado para a Terra não é necessariamente o mesmo que é iluminado pelo Sol. Por isso existem as diversas **fases da Lua**. Há quatro fases principais que se alternam em um intervalo de tempo de aproximadamente sete dias.

Na posição 1 de sua órbita, a Lua fica com seu hemisfério não iluminado voltado para a Terra; essa fase é chamada de **lua nova**. Já na posição 2, metade do hemisfério iluminado da Lua fica voltado para a Terra, e vemos a Lua como um semidisco; é o **quarto crescente**. Quando a Lua alcança a posição 3, é o hemisfério totalmente iluminado que fica voltado para a Terra, caracterizando a fase da **lua cheia**. Na posição 4, novamente vemos metade do hemisfério iluminado da Lua, mas nesse caso a fase é o **quarto minguante**.

- (A) Lua prestes a se tornar nova.
- (B) Lua crescente.
- (C) Lua cheia.
- (D) Lua minguante.



O intervalo de tempo entre duas luas novas consecutivas é denominado **período de luação**, que é de 29 dias, 12 horas e 44 minutos.

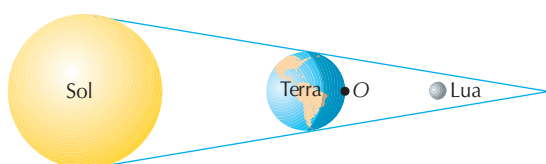
Os eclipses da Lua ocorrem na fase de lua cheia e os eclipses do Sol, na fase de lua nova. Entretanto essas ocorrências não são mensais, pois as órbitas da Lua em torno da Terra e da Terra em torno do Sol não estão contidas no mesmo plano. Nas épocas em que os três astros se alinham é que ocorrem os eclipses.

Teste sua leitura

L.30 (Mackenzie-SP) Um eclipse solar só pode ocorrer quando:

- a) é fase de lua nova.
- b) é fase de lua cheia.
- c) é fase de lua em quarto crescente.
- d) é fase de lua em quarto minguante.
- e) Nenhuma das respostas é correta.

L.31 (Unip-SP) No esquema da figura representamos o Sol, a Terra e a Lua. Para um observador na superfície da Terra voltada para a Lua (ponto O):



- a) é noite, fase de lua nova e ocorre eclipse da Lua.
- b) é dia, fase de lua cheia e ocorre eclipse do Sol.
- c) é noite, fase de lua cheia e a Lua está visível.
- d) é dia, fase de lua nova e ocorre eclipse da Lua.
- e) é noite, fase de lua cheia e ocorre eclipse da Lua.

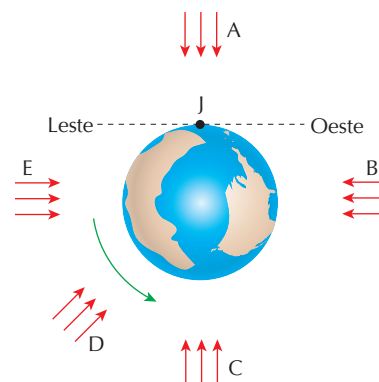
L.32 (Enem-MEC) No Brasil, verifica-se que a Lua, quando está na fase cheia, nasce por volta das 18 horas e se põe por volta das 6 horas. Na fase nova, ocorre o inverso: a Lua nasce às 6 horas e se põe às 18 horas, aproximadamente. Nas fases crescente e minguante, ela nasce e se põe em horários intermediários. Sendo assim, a Lua na fase ilustrada na figura abaixo poderá ser observada no ponto mais alto de sua trajetória no céu por volta de:

- a) meia-noite.
- b) três horas da madrugada.
- c) nove horas da manhã.
- d) meio-dia.
- e) seis horas da tarde.



L.33 (Fuvest-SP) Um jovem, em uma praia do Nordeste, vê a Lua a Leste, próxima ao mar. Ele observa que a Lua apresenta sua metade superior iluminada, enquanto a metade inferior permanece escura. Essa mesma situação, vista do espaço a partir de um satélite artificial da Terra, que se encontra no prolongamento do eixo que passa pelos polos, está esquematizada (parcialmente) na figura, onde J é a posição do jovem. Pode-se concluir que, nesse momento, a direção dos raios solares que se dirigem para a Terra é melhor representada por:

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E



A seta curva indica o sentido de rotação da Terra.

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Construindo uma câmara escura de orifício

Com uma lata de conservas vazia e um pedaço de papel vegetal ou de seda, você pode construir uma câmara escura de orifício.

Na face aberta da lata prenda um pedaço de papel vegetal ou de seda. No centro da face oposta faça um pequeno furo.



GABOR NEMES / KINO

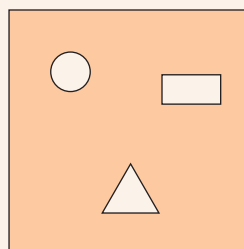


GABOR NEMES / KINO

Coloque uma vela acesa diante da face que possui o furo. No papel da face oposta forma-se a imagem invertida da vela.

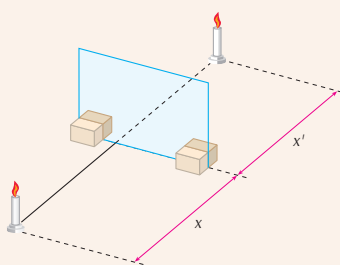
Aproxime a câmara da vela. O tamanho da imagem aumenta, diminui ou não se altera? Observe também a imagem que se forma quando a câmara é colocada na frente de uma lâmpada incandescente cujo bulbo de vidro é transparente.

Em seguida, faça três pequenos furos num pedaço de papelão: um circular, outro retangular e o terceiro triangular, como indicado na figura abaixo. Ilumine o retângulo por trás e posicione-o na frente da câmara. A imagem é invertida ou direita? Há troca da esquerda pela direita e vice-versa? Explique desenhando raios de luz.



Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor



Verificando as propriedades de um espelho plano

1) Coloque uma vela na frente de uma placa de vidro. Posicione outra vela atrás da placa, exatamente onde é formada a imagem. Meça as distâncias x e x' mostradas na figura.

- O que você conclui?

Em seguida, translate a placa, afastando-a da posição inicial, de uma distância $d = 3,0$ cm e coloque uma terceira vela na nova posição da imagem. Meça a distância D entre as posições das imagens.

- O que você conclui?

2) Escreva uma palavra qualquer em um pedaço de papel e coloque-o na frente de um espelho plano. Observe a imagem e note que ela não é invertida, mas que ocorre a troca da direita pela esquerda e vice-versa.

- Se cada letra do objeto tiver 0,50 cm de altura, qual será a altura de cada letra da imagem?
- Como você deveria escrever seu nome para que, ao lê-lo refletido no espelho, a leitura fique normal?

3) Com dois espelhos planos, forme um ângulo de 90° . Depois, escreva num retângulo de papelão a letra F . Coloque o retângulo na frente dos espelhos e observe as imagens que se formam.

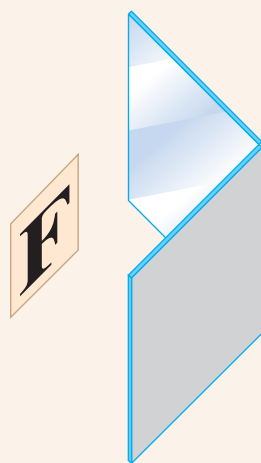
- Quantas são enantiomorfas do objeto F ?
- Quantas são idênticas a F ?

4) Em seguida, coloque o retângulo perpendicularmente aos espelhos.

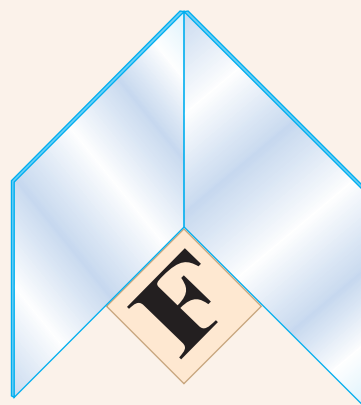
- Como aparecem as imagens?

5) Desenhe, em outro retângulo de papelão, um relógio e, no lugar dos números, coloque pontos. Imagine que o relógio indique 7 horas e 50 minutos. Coloque o desenho na frente dos espelhos.

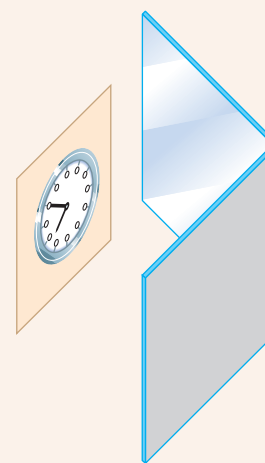
- Que hora você lê em cada imagem?



Situação 3



Situação 4



Situação 5

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Imagens em espelhos esféricos

Com um espelho convexo, que pode ser uma bolinha de uma árvore de Natal ou uma colher de aço inoxidável vista pela face convexa, observe as características da imagem de um objeto colocado diante do espelho e responda:

- A imagem é direita ou invertida?
- É maior, menor ou de mesmo tamanho que o objeto?
- É possível projetá-la em uma tela?
- É real ou virtual?
- Essas características mudam se o objeto é afastado ou aproximado do espelho?

Consiga um espelho côncavo e um anteparo translúcido para observar as características da imagem de um objeto (uma vela acesa, por exemplo).

Inicialmente localize o centro de curvatura C do espelho, colocando a vela ao lado do anteparo e movimentando convenientemente o espelho até que a imagem da vela apareça nítida no anteparo. Observe que a imagem é invertida e tem o mesmo tamanho do objeto. Nessas condições, a vela e o anteparo localizam-se numa linha paralela ao espelho e que passa pelo centro de curvatura C . Com uma régua determine o raio de curvatura do espelho e sua distância focal. Localize a linha que passa pelo foco F e é paralela ao espelho.

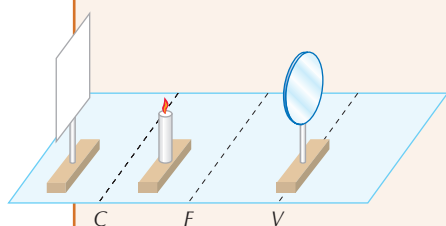
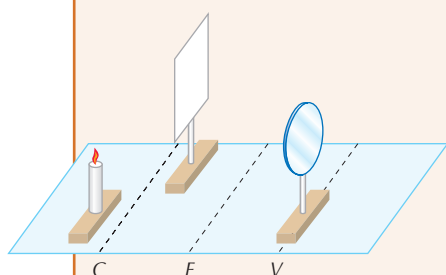
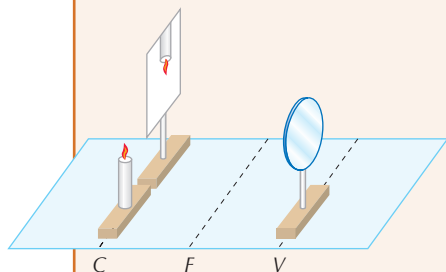
Em seguida, projete no anteparo as imagens da vela, colocando-a:

- 1º) antes de C
- 2º) entre C e F

Descreva, em cada caso, as características da imagem.

Depois, coloque a vela entre o foco principal F e o vértice V e responda:

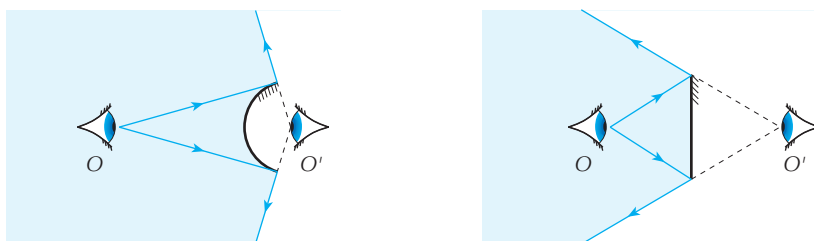
- É possível, nessa situação, projetar a imagem na tela?
- A imagem é real ou virtual?
- É maior, menor ou de mesmo tamanho que o objeto?
- É direita ou invertida?



A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

Aplicações dos espelhos esféricos

Os espelhos esféricos convexos apresentam um campo visual maior do que os espelhos planos, em idênticas condições.



Por essa característica, os espelhos esféricos convexos são utilizados como retrovisores em portas de elevadores, em entradas e saídas das garagens de prédios, no fundo de grandes lojas, em motocicletas e em automóveis.

O fato de as imagens nesses espelhos serem menores faz com que os objetos aparentem estar mais distantes do que estão na realidade. Esse detalhe exige um cuidado na utilização dos espelhos convexos como retrovisores de veículos. Por isso, em alguns automóveis, há gravado sobre o espelho o seguinte aviso: “objetos no espelho estão mais próximos do que aparentam”.



THEO ALLOFS-ZEFA/CORBIS-LATINSTOCK



CORDELLA MOLLOY/SL/LATINSTOCK

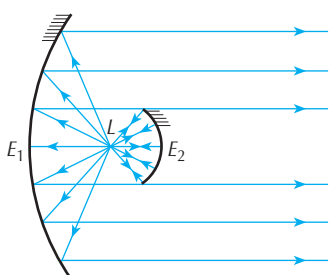
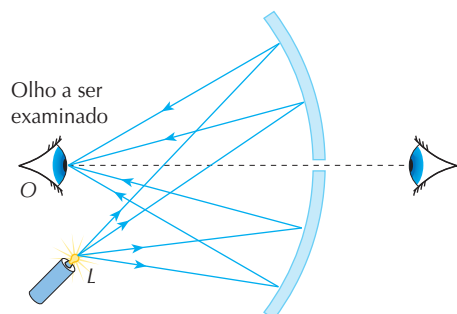
▶ Espelhos esféricos convexos utilizados como retrovisores.

Os espelhos côncavos são usados como espelhos de aumento, como os de maquiagem e os dos dentistas. Nesse caso, o objeto situa-se entre o foco e o espelho.



EDUARDO SANTALIASTRACID

▶ Espelho esférico côncavo utilizado como espelho de aumento.



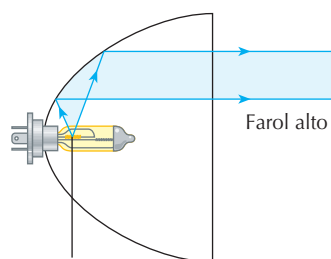
SUPERSTOCK/KEystone

Utilizando-se espelhos esféricos côncavos, pode-se concentrar a luz de uma fonte e iluminar um determinado local. É o que ocorre no **oftalmoscópio**, aparelho destinado ao exame do fundo do olho. A luz de uma pequena lâmpada L incide num pequeno espelho côncavo e reflete-se em direção ao olho O a ser examinado. Atravessando a pupila, a luz ilumina o fundo do olho. O espelho possui uma pequena abertura, através da qual o médico faz o exame.

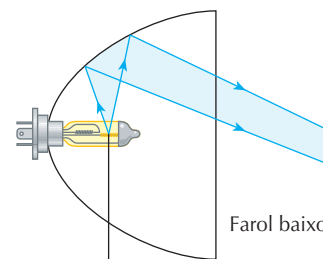
De modo análogo funcionam os aparelhos utilizados para o exame da laringe, do conduto auditivo e da cavidade nasal.

Os refletores de faróis, holofotes e lanternas podem ser espelhos esféricos côncavos (embora os refletores parabólicos sejam mais vantajosos). A fonte de luz L é colocada no foco principal do espelho côncavo (esférico ou parabólico) E_1 , como mostrado na figura ao lado. Para aumentar a eficiência luminosa, um pequeno espelho esférico côncavo E_2 é disposto na frente da fonte de luz. O centro de curvatura de E_2 coincide com o foco principal de E_1 .

▲ Espelhos côncavos são utilizados como refletores em lanternas e em faróis de motos e automóveis.



Filamento luminoso no foco principal do espelho



Filamento luminoso próximo ao foco principal do espelho

▲ Nos faróis dos automóveis, as fontes de luz (filamentos luminosos) estão dispostas de modo a possibilitar a utilização de "luz alta" e "luz baixa", de acordo com a necessidade. No esquema acima, vemos uma disposição possível. Observe que o espelho utilizado é parabólico.

Teste sua leitura

L.34 (PUC-PR) Um espelho esférico, como o próprio nome já diz, tem a forma de um segmento de uma esfera. Um espelho esférico no qual a luz é refletida na superfície interna côncava é chamado espelho côncavo. Um espelho esférico é convexo quando a luz é refletida na superfície externa convexa. Sobre as aplicações dos espelhos esféricos, marque a alternativa incorreta.

- a) Os espelhos esféricos convexos apresentam campo visual maior que os espelhos planos e por isso o uso desses espelhos em entradas e saídas de garagens.
- b) Os espelhos côncavos podem ser usados como espelhos de aumento e nesse caso o objeto situa-se no centro da curvatura.
- c) Utilizando-se espelhos esféricos côncavos pode-se concentrar a luz de uma fonte e iluminar um determinado local.
- d) Um dentista observa a imagem direita de um dente usando um espelho côncavo com a distância do dente ao espelho sendo menor que a distância focal do espelho.
- e) Quando um espelho esférico convexo é utilizado dentro de um ônibus, a imagem será direita, virtual e menor que o objeto.

L.35 (UFF-RJ) Até fins do século XIII, poucas pessoas haviam observado com nitidez o seu rosto. Foi apenas nessa época que se desenvolveu a técnica de produzir vidro transparente, possibilitando a construção de espelhos. Atualmente, a aplicabilidade dos espelhos é variada. Dependendo da situação, utilizam-se diferentes tipos de espelho. A escolha ocorre, normalmente, pelas características do campo visual e da imagem fornecida pelo espelho.

Para cada situação a seguir, escolha dentre os tipos de espelho — plano, esférico côncavo, esférico convexo — o melhor a ser utilizado. Justifique sua resposta, caracterizando, para cada situação, a imagem obtida e informando, quando necessário, a vantagem de utilização do espelho escolhido no que se refere ao campo visual a ele associado.

Situação 1 — Espelho retrovisor de uma motocicleta para melhor observação do trânsito.

Situação 2 — Espelho para uma pessoa observar, detalhadamente, seu rosto.

Situação 3 — Espelho da cabine de uma loja para o cliente observar-se com a roupa que experimenta.

L.36 (PUC-RJ) Espelhos convexos são frequentemente utilizados como retrovisores em carros e motos.

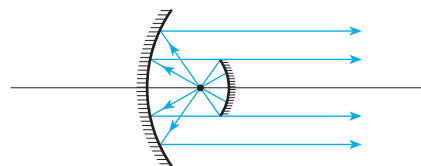
Quais das seguintes afirmações estão corretas?

- I. A área refletida para o olho por um espelho circular convexo é maior que a refletida por um espelho plano de igual diâmetro na mesma posição.
 - II. A imagem é formada atrás do espelho, sendo portanto real.
 - III. A imagem é menor que o objeto e não é invertida.
 - IV. A distância entre a imagem e o espelho é ilimitada, tornando-se cada vez maior, à medida que o objeto se afasta.
- a) Somente I e III.
 - b) Somente II e IV.
 - c) Somente I, III e IV.
 - d) Somente I, II e III.
 - e) Somente II, III e IV.

L.37 (Mackenzie-SP) Um espelho esférico côncavo, que obedece às condições de Gauss, fornece, de um objeto colocado a 2 cm de seu vértice, uma imagem virtual situada a 4 cm dele. Se utilizarmos esse espelho como refletor do farol de um carro, no qual os raios luminosos refletidos são paralelos, a distância entre o filamento da lâmpada e o vértice do espelho deve ser igual a:

- a) 2 cm
- b) 4 cm
- c) 6 cm
- d) 8 cm
- e) 10 cm

L.38 (UFV-MG) Um farol de automóvel consiste em um filamento luminoso colocado entre dois espelhos esféricos côncavos de mesmo eixo, voltados um para o outro e de tamanhos diferentes, de modo que todos os raios oriundos do filamento se refletem no espelho maior e se projetam paralelos, conforme a figura.



A posição correta do filamento é:

- a) no centro de curvatura do espelho menor e no foco do espelho maior.
- b) no vértice do espelho menor e no centro de curvatura do espelho maior.
- c) no foco de ambos os espelhos.
- d) no centro de curvatura de ambos os espelhos.
- e) no foco do espelho menor e no centro de curvatura do espelho maior.

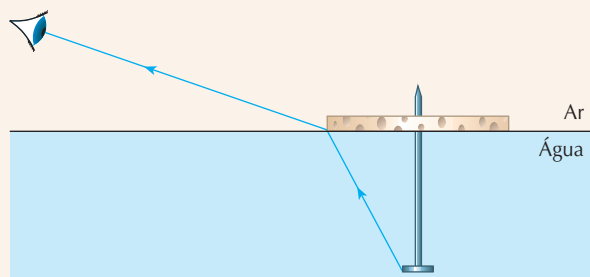
Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

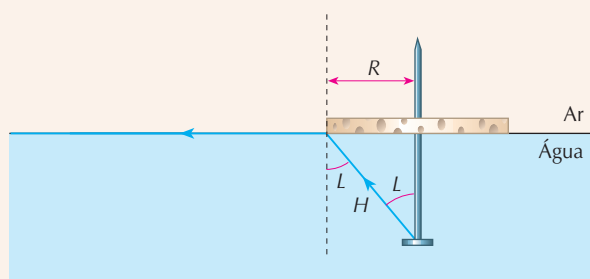
Determinação do ângulo limite

Com um disco de cortiça de 7 cm de diâmetro, aproximadamente, um prego de comprimento aproximado de 6 cm, uma régua e um recipiente com água, podemos determinar o ângulo limite L do dióptro ar-água.

Para isso, espete o prego exatamente no centro do disco e coloque o sistema flutuando na água, de modo que você consiga enxergar a cabeça do prego, olhando pela superfície livre.



Vá elevando a cabeça do prego, espetando-o no disco, até o instante em que você não a veja mais, por mais tangencialmente que olhe. Nesse instante, você pode afirmar que o ângulo de incidência dos raios de luz que saem da cabeça do prego e atingem a superfície da água junto à borda do disco é igual ao ângulo limite L .



Retire o sistema da água e meça o raio R do disco e a distância H da cabeça do prego à borda do disco.

Pela relação dos valores obtidos, determine o seno do ângulo limite L :

$$\text{sen } L = \frac{R}{H}$$

Consultando uma tabela trigonométrica, determine o ângulo L .

Repita a experiência usando outro líquido transparente (por exemplo, álcool) e, de modo análogo, determine o novo ângulo limite do par de meios líquido-ar.

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

As fibras ópticas

Para comunicações a grandes distâncias, a tecnologia moderna utiliza as denominadas **fibras ópticas** em lugar dos tradicionais cabos metálicos. As mensagens, hoje, são transmitidas por meio de impulsos luminosos, em vez de impulsos elétricos.

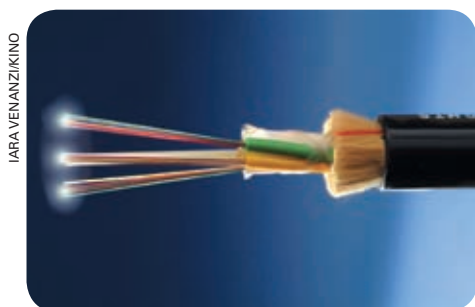
A transmissão da luz ao longo das fibras ópticas é baseada no fenômeno da reflexão total. Cada fibra é basicamente constituída de dois tipos de vidros de índices de refração diferentes. A parte central da fibra, o núcleo, é feita de um vidro com índice de refração maior que o vidro da camada envolvente, a casca (figura A).

A figura B mostra como a luz se reflete sucessivamente ao longo da fibra. Um estreito feixe luminoso, produzido por uma fonte *laser*, propaga-se no vidro do núcleo e atinge a superfície de separação com o vidro da casca segundo um ângulo maior que o ângulo limite, ocorrendo então a reflexão total. O feixe refletido atinge novamente a superfície de separação com ângulo maior que o limite, e o fenômeno vai se repetindo até a luz emergir pela outra extremidade da fibra, com uma perda de energia muito pequena.

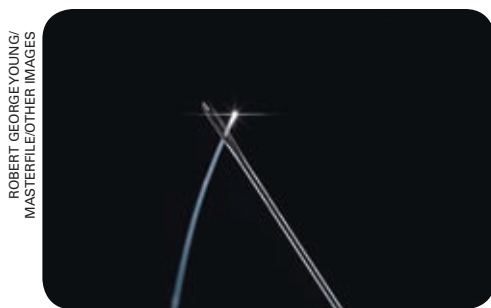
Dessa maneira, a luz pode percorrer grandes distâncias ao longo da fibra, atingindo pontos normalmente inacessíveis a uma iluminação direta. Por isso, antes da sua utilização em telecomunicações, as fibras ópticas já eram usadas em instrumentos médicos — os endoscópios, destinados à observação do interior de órgãos do corpo humano, como o esôfago, o estômago e os intestinos.

Há diversas vantagens no uso de fibras ópticas sobre os cabos metálicos nas telecomunicações. As fibras ópticas são capazes de transportar muito mais informações do que os cabos metálicos. Um cabo metálico pode ser substituído por outro de fibra óptica de peso muito menor. Além de apresentar peso e volume reduzidos, as fibras ópticas não sofrem as interferências magnéticas comuns aos fios metálicos, promovendo uma fidelidade muito maior na transmissão de informações. Outra vantagem é a abundância da matéria-prima, sobretudo a sílica, necessária à fabricação das fibras ópticas, o que torna sua utilização extremamente econômica em comparação aos fios de metal. Por fim, a interceptação das transmissões por fibras ópticas é muito mais difícil: os cabos ópticos são praticamente imunes ao “grampeamento”.

Embora cada fibra óptica seja extremamente delgada, o cabo óptico utilizado em telecomunicações tem um revestimento que lhe proporciona grande resistência mecânica.



Um feixe de fibras ópticas.



Cada fibra óptica é extremamente delgada, podendo passar pelo buraco de uma agulha.

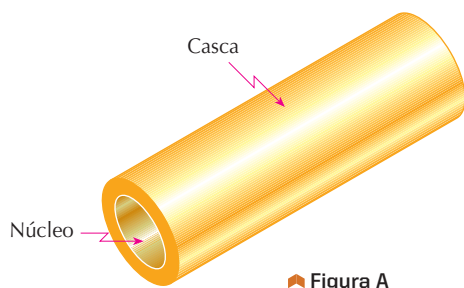


Figura A

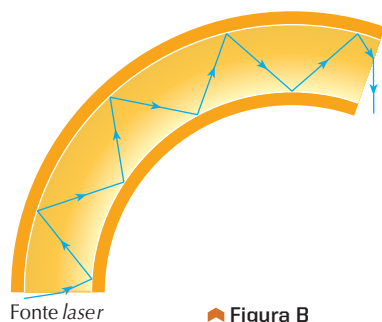


Figura B

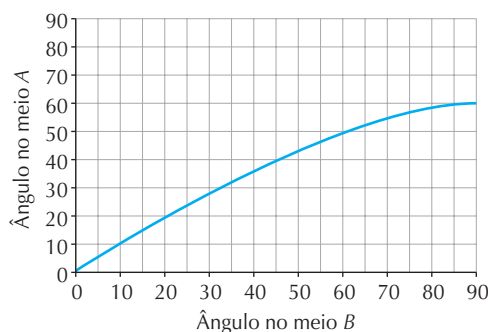
Teste sua leitura

L.39 (UEM-PR) A fibra óptica largamente utilizada em comunicações e na medicina é basicamente um tubo cilíndrico transparente que possui um núcleo com uma camada envolvente, com diferentes índices de refração e que permite a passagem da luz. A luz incidente em uma das extremidades da fibra se propaga pelo núcleo e emerge na outra extremidade.

Isso acontece por quê?

- a) O núcleo da fibra tem um índice de refração menor que o da camada envolvente.
- b) O feixe luminoso que se propaga no núcleo atinge a superfície de separação com a camada mais externa com um ângulo menor que o ângulo limite para reflexão interna total, permitindo que a luz se propague até a outra extremidade.
- c) A luz emerge do outro lado porque a fibra óptica é transparente.
- d) A velocidade da luz no núcleo é maior que na casca envolvente.
- e) Devido à diferença dos índices de refração do núcleo e da camada envolvente, a luz sofre reflexão interna total dentro do núcleo, permitindo que a luz se propague até a outra extremidade.

L.40 (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.

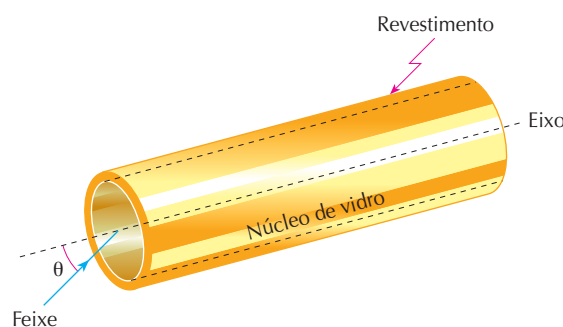


Se esses materiais fossem utilizados para produzir a casca e o núcleo de fibras ópticas, deveria compor o núcleo da fibra o meio:

- 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.

L.41 (UFF-RJ) Em meados do século XX, pesquisadores começaram a sugerir a utilização de guias para conduzir a luz. Em 1970, isso foi conseguido com um fio muito fino de fibra de vidro (núcleo) revestido por outro material, escolhido de modo a permitir que a luz fosse totalmente refletida ao longo do fio. Dessa forma, obteve-se o que atualmente é conhecido como fibra óptica.

Suponha que um feixe *laser* penetre no núcleo de uma fibra óptica a partir do ar, fazendo um ângulo θ com seu eixo, como indicado na figura.



Dados:

Índice de refração do revestimento = 1,52

Índice de refração do vidro = 1,60

Índice de refração do ar = 1,00

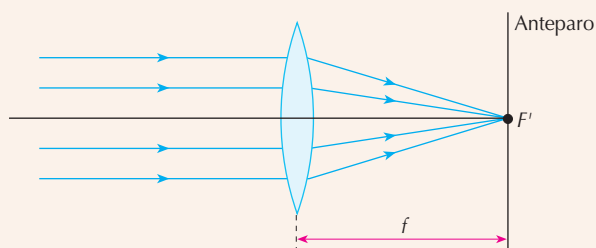
Calcule o maior valor de θ que possibilita a propagação do feixe ao longo da fibra.

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Determinação da distância focal de uma lente delgada convergente

Faça incidir um feixe de raios paralelos, que pode ser constituído de raios solares, sobre uma lente convergente (por exemplo, uma lupa). Ajuste a lente de modo a obter num anteparo a imagem nítida do foco principal F' (um pequeno ponto). A distância de F' até a lente é a distância focal f .



Atividade
experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Imagens em uma lente delgada divergente

Observe a imagem de uma vela acesa através de uma lente divergente (como a lente dos óculos de uma pessoa míope, por exemplo) e responda:

- A imagem é direita ou invertida?
- É maior, menor ou de mesmo tamanho que o objeto?
- É possível projetá-la em uma tela?
- É real ou virtual?
- Essas características mudam se o objeto é afastado ou aproximado da lente?



SÉRGIO DOTTA JR/CID

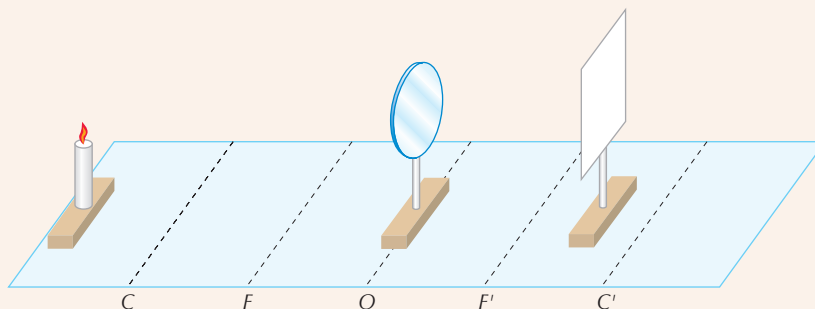
Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

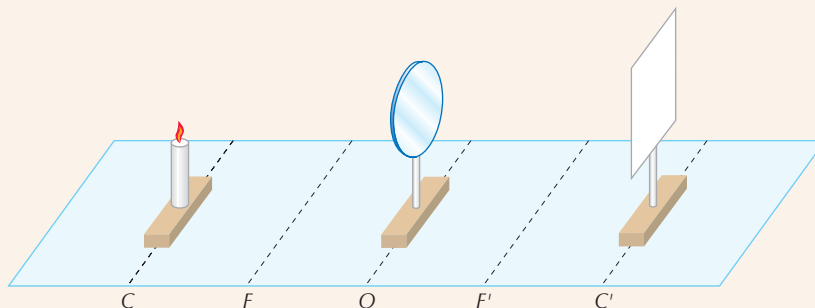
Imagens em uma lente delgada convergente

Usando a lente delgada convergente, cuja distância focal você já determinou na atividade Determinação da distância focal de uma lente, neste portal, e um anteparo translúcido, observe as características da imagem de um objeto, como uma vela acesa, por exemplo. Projete no anteparo as imagens da vela, colocando-a:

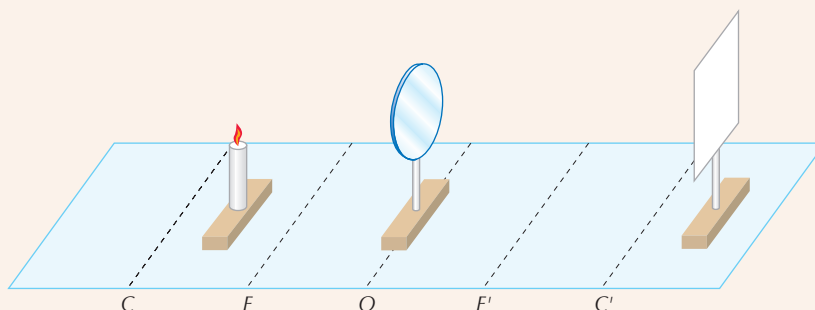
a) antes de C



b) em C



c) entre C e F



Dê, em cada caso, as características da imagem.

Em seguida, observe a imagem da vela colocada entre F e O e responda:

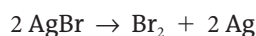
- É possível, nessa situação, projetar a imagem na tela?
- A imagem é real ou virtual?
- É maior, menor ou de mesmo tamanho que o objeto?
- É direita ou invertida?

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

Fotografia em preto e branco

Ao fotografarmos um objeto, a imagem fornecida pela objetiva é real, invertida e reduzida. O objeto situa-se além do ponto antiprincipal objeto, e a imagem, entre o foco principal imagem e o ponto antiprincipal imagem. A imagem é real para que possa ser projetada sobre o filme. Este é constituído de uma fina película transparente, revestida de uma gelatina que contém sais de halogênios de prata — ou **haletos de prata**, como AgCl , AgBr e AgI .

Vamos supor que os cristais sejam de AgBr , que é o mais utilizado. As partes claras do objeto fotografado correspondem às regiões do filme que receberam luz. Os haletos de prata são sensíveis à luz. Forma-se, assim, uma “imagem latente” do objeto fotografado. Para tornar-se visível, essa imagem deve ser revelada. Mergulhando o filme numa solução apropriada, chamada de “revelador”, os cristais do haleto de prata, sensibilizados, pela luz, se transformam em prata metálica, que é escura:



Depois dessa reação, restam ainda no filme cristais do haleto de prata não sensibilizados, isto é, que não foram expostos à luz e podem vir a ser impressionados. É preciso eliminá-los. Para isso, usa-se um “fixador”, que é uma solução adequada para tornar solúveis em água os haletos de prata. Sua eliminação é feita por meio de uma lavagem.

Com isso, o que estava claro no objeto aparecerá escuro no filme e vice-versa. É o **negativo** fotográfico.

O negativo é colocado no escuro sobre um papel fotográfico também recoberto de haleto de prata. Por um breve intervalo de tempo aciona-se uma fonte de luz que vai sensibilizar as regiões do papel sob as partes claras do filme. A seguir, o papel é submetido a um novo processo de revelação e fixação, dando origem à fotografia em preto e branco do objeto.



SOCIEDADE HISTÓRICA DE MINNESOTA/
CORBIS/LATINSTOCK

🏠 Laboratório para revelação e ampliação de fotografias em preto e branco.

Teste sua leitura

I.42 (UnB-DF) No último dia da excursão de Ciências, os estudantes resolveram tirar fotos utilizando uma máquina fotográfica com uma objetiva constituída de uma única lente convergente. Procuraram um local que parecia mais adequado, e cada um tomou o seu lugar. Depois da sessão de fotos, retiraram o filme, que contém um haleto de prata, e o guardaram envolvido em um papel preto para evitar a exposição indevida à luz antes de ser revelado.

Considerando as informações apresentadas, julgue os itens abaixo.

1. No processo fotográfico, a luz promove uma reação química do haleto de prata.
2. O haleto de prata pode ser o Ag_2S .
3. A distância entre a lente e o filme na máquina fotográfica utilizada é maior que a distância focal da lente.
4. É possível sensibilizar um filme fotográfico com uma imagem virtual conjugada por uma única lente.

I.43 (UEL-PR) A fotografia é um processo óptico de registro de imagens geradas em uma câmara escura. Uma maneira de registrar as imagens geradas dessa forma está baseada no fato de que a presença de luz pode induzir algumas reações químicas. Por exemplo, usando o fato de que sais de prata decompõem-se na presença de luz, são introduzidas películas desse material numa câmara escura. As regiões mais claras da imagem na câmara escura induzem uma maior decomposição dos sais de prata, gerando maiores depósitos localizados desses sais, que se tornam visíveis após um ulterior tratamento químico, chamado de revelação. Sobre esse processo, é correto afirmar:

- a) As regiões mais claras da película correspondem às regiões mais claras do objeto fotografado.
- b) As regiões da película onde não houve decomposição de sais de prata correspondem às regiões mais claras do objeto fotografado.
- c) As regiões mais escuras da película correspondem às regiões do objeto fotografado que mais absorvem luz.
- d) As regiões mais escuras da película correspondem às regiões mais claras do objeto fotografado.
- e) As regiões mais claras da película correspondem às regiões do objeto fotografado que mais refletem luz.

CONTEÚDO DIGITAL - UNIDADE E

Animações



Máquina fotográfica

Física 2 > Parte 2 > Unidade E > Cap. 15

A animação apresenta o funcionamento de uma câmera convencional e de uma digital, mostrando que o sistema óptico é igual nas duas, embora haja variação na forma de captação das imagens.



Microscópio óptico composto

Física 2 > Parte 2 > Unidade E > Cap. 15

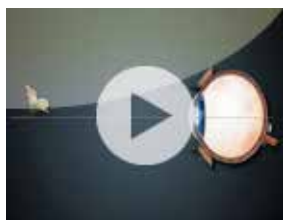
A animação apresenta o funcionamento de um microscópio óptico composto e explica como ele amplia as imagens a partir do princípio da refração por meio de lentes.



Telescópio

Física 2 > Parte 2 > Unidade E > Cap. 15

A animação apresenta o funcionamento de um telescópio óptico, ou luneta astronômica, além de mostrar as diferenças entre a estrutura do telescópio e a luneta terrestre desenvolvida por Galileu.



Olho humano

Física 2 > Parte 2 > Unidade E > Cap. 15

A partir de uma representação simplificada, a animação explica o funcionamento do olho humano, mostrando como ocorre a formação de imagem em um olho míope e em um olho hipermetrope, além de apresentar as características da presbiopia e do astigmatismo.