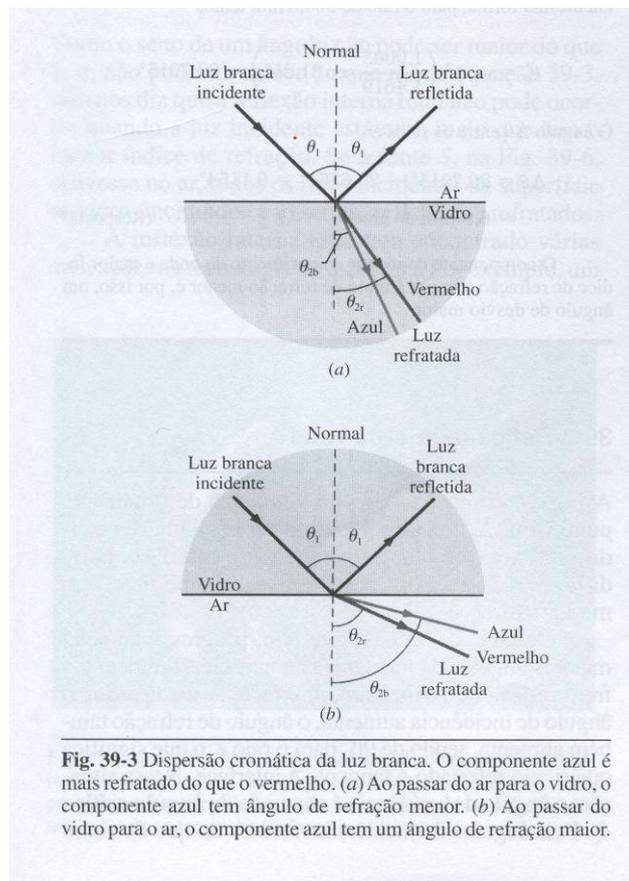
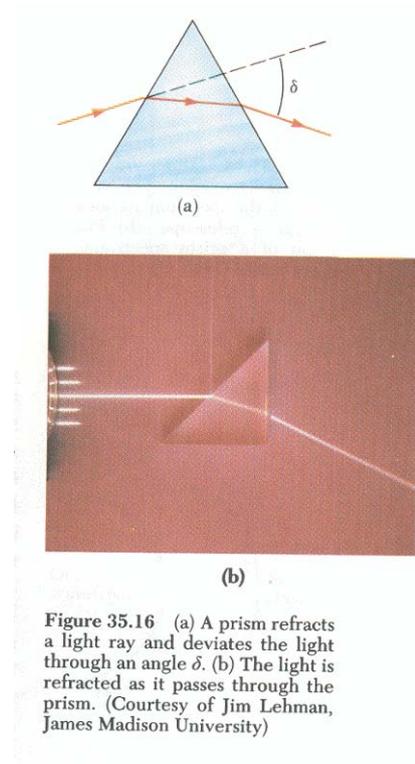
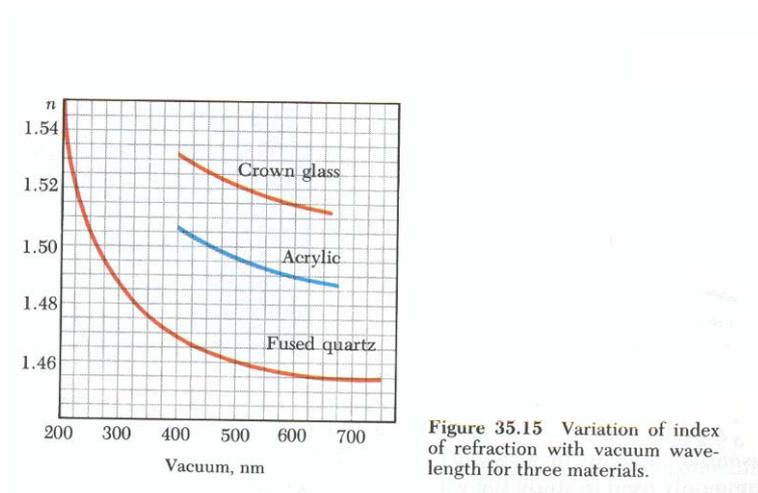


# I. ÓTICA

## I.2.5. DISPERSÃO CROMÁTICA



## Exemplo: Prisma

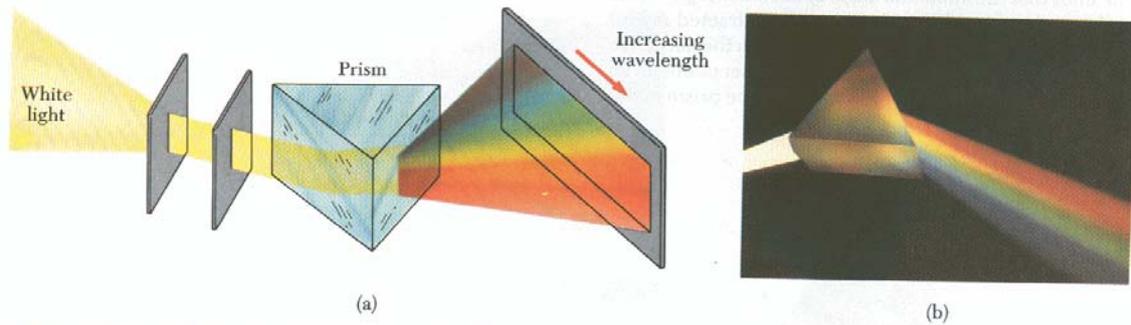
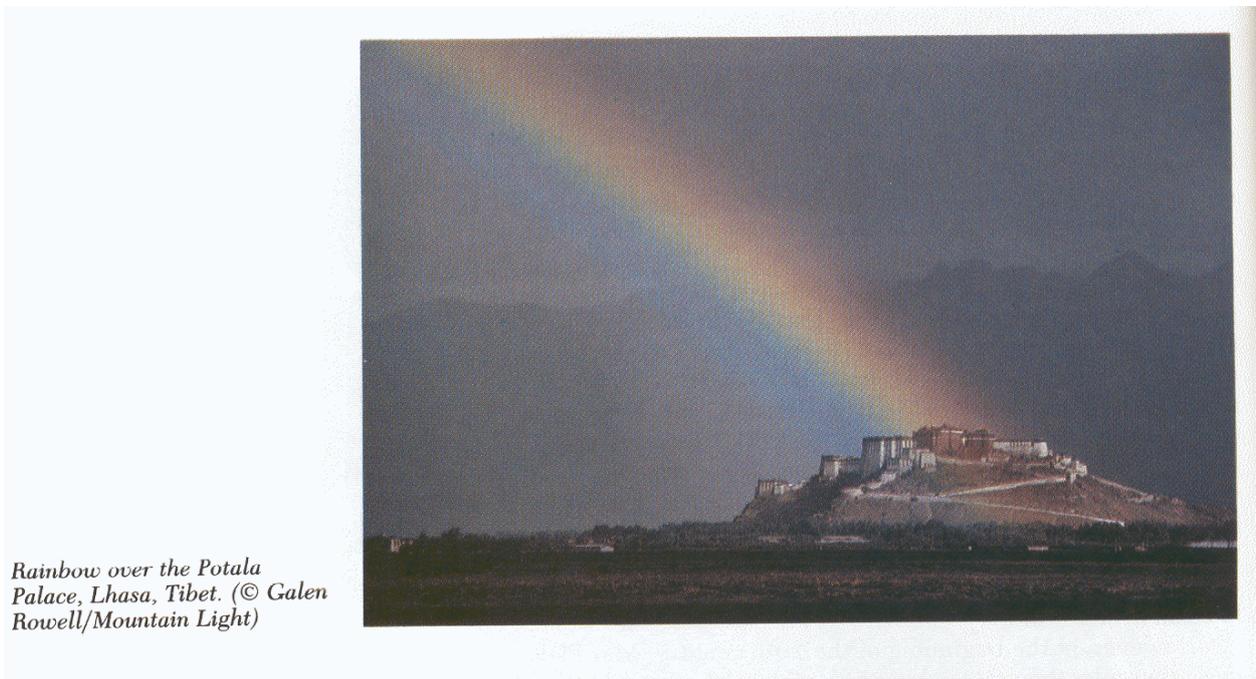


Figure 35.17 (a) Dispersion of white light by a prism. Since  $n$  varies with wavelength, the prism disperses the white light into its various spectral components. (b) The various colors are refracted at different angles because the index of refraction of the glass depends on wavelength. The blue light deviates the most, while red light deviates the least. (Photograph courtesy of Bausch and Lomb)

## Exemplo: Arco-íris



## I.2.6. REFLEXÃO INTERNA TOTAL

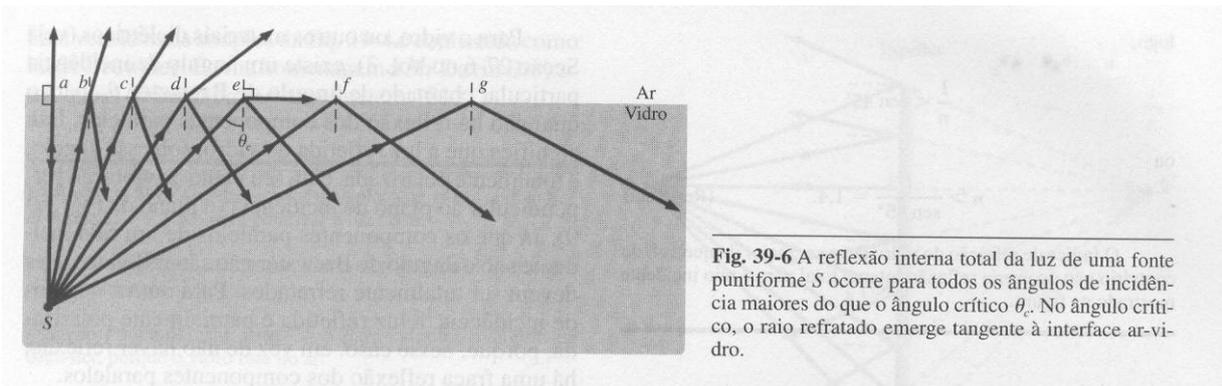


Fig. 39-6 A reflexão interna total da luz de uma fonte puntiforme  $S$  ocorre para todos os ângulos de incidência maiores do que o ângulo crítico  $\theta_c$ . No ângulo crítico, o raio refratado emerge tangente à interface ar-vidro.

Quando o ângulo de incidência é aumentado progressivamente, existe um **ângulo crítico**  $\theta_c$  a partir do qual não existe refração e toda a luz é refletida de volta para o meio.

Este efeito é chamado de Reflexão Interna Total.

Em  $\theta_c$  existe refração paralela à superfície de incidência.

Matematicamente,

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

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\theta_c = \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

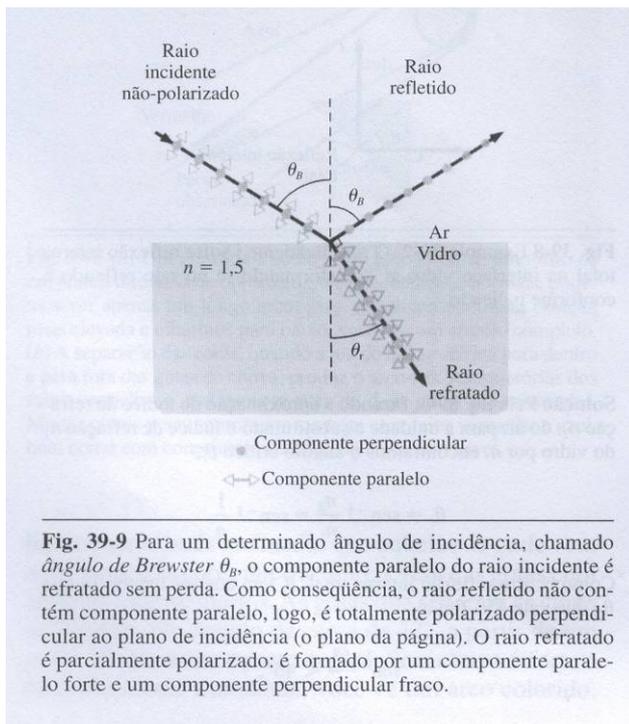
Definição do ângulo crítico  $\theta_c$  com  $n_1 > n_2$  sempre.

### Exemplo: Fibra ótica



Fig. 39-7 Uma fibra ótica transmite a luz introduzida numa extremidade para a oposta, com pequena perda pelas laterais da fibra, porque a maior parte da luz sofre uma seqüência de reflexões internas totais ao longo dessas laterais.

## I.2.6a. POLARIZAÇÃO PELA REFLEXÃO



**Fig. 39-9** Para um determinado ângulo de incidência, chamado *ângulo de Brewster*  $\theta_B$ , o componente paralelo do raio incidente é refratado sem perda. Como consequência, o raio refletido não contém componente paralelo, logo, é totalmente polarizado perpendicular ao plano de incidência (o plano da página). O raio refratado é parcialmente polarizado: é formado por um componente paralelo forte e um componente perpendicular fraco.

### Lei de Brewster

Para a luz incidente sob o ângulo de Brewster  $\theta_B$ , determinamos experimentalmente que os raios refletido e refratado são perpendiculares entre si. Como o raio refletido, na Fig. 39-9, se reflete com o ângulo  $\theta_B$  e o raio refratado, com o ângulo  $\theta_r$ , temos

$$\theta_B + \theta_r = 90^\circ.$$

Esses dois ângulos também podem ser relacionados com a Eq. 39-2. Atribuindo arbitrariamente o subscrito 1 na Eq. 39-2 ao material através do qual os raios incidente e refletido se propagam, obtemos

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \theta_r.$$

Combinando essas equações, temos

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) = n_2 \cos \theta_B,$$

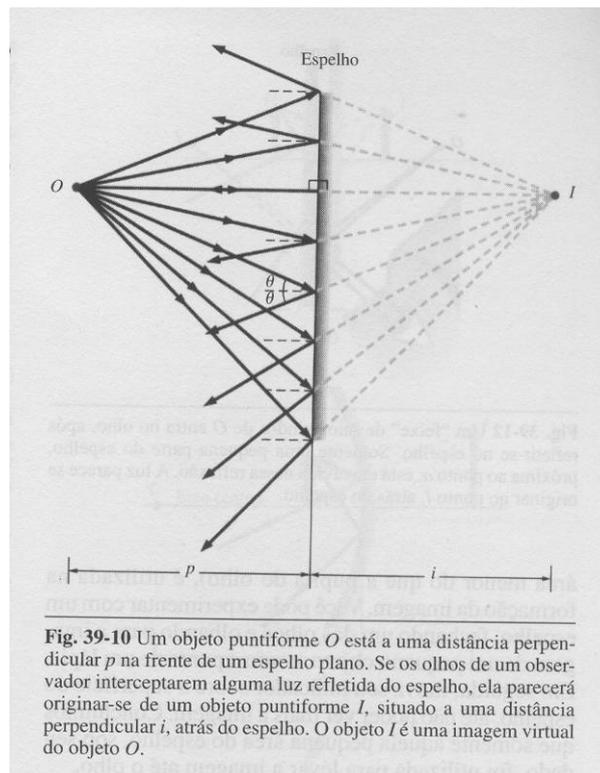
que resulta em

$$\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{ângulo de Brewster}). \quad (39-4)$$

(Observe, com atenção, que os subscritos na Eq. 39-4 *não* são arbitrários, devido à nossa decisão quanto aos seus significados.) Se os raios incidente e refletido se propagam *no ar*, podemos, por aproximação, fazer  $n_1 = 1$  e representar  $n_2$  por  $n$ , de maneira que a Eq. 39-4 pode ser reescrita como

$$\theta_B = \tan^{-1} n \quad (\text{lei de Brewster}). \quad (39-5)$$

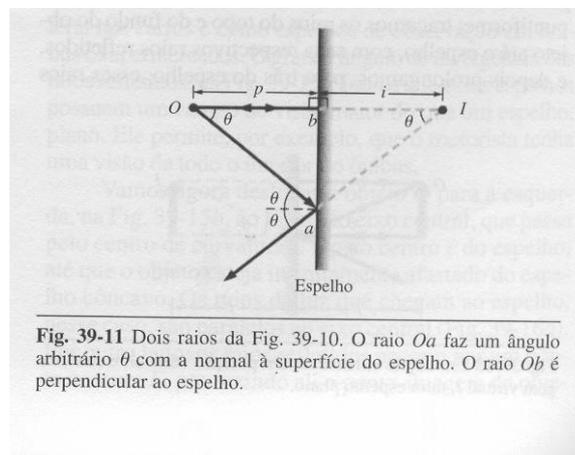
## I.2.7. ESPELHOS PLANOS



Na figura abaixo, os triângulos retângulos  $\Delta aOba$  e  $\Delta aIba$  têm um lado comum e 3 ângulos iguais, logo são congruentes. Isto é,

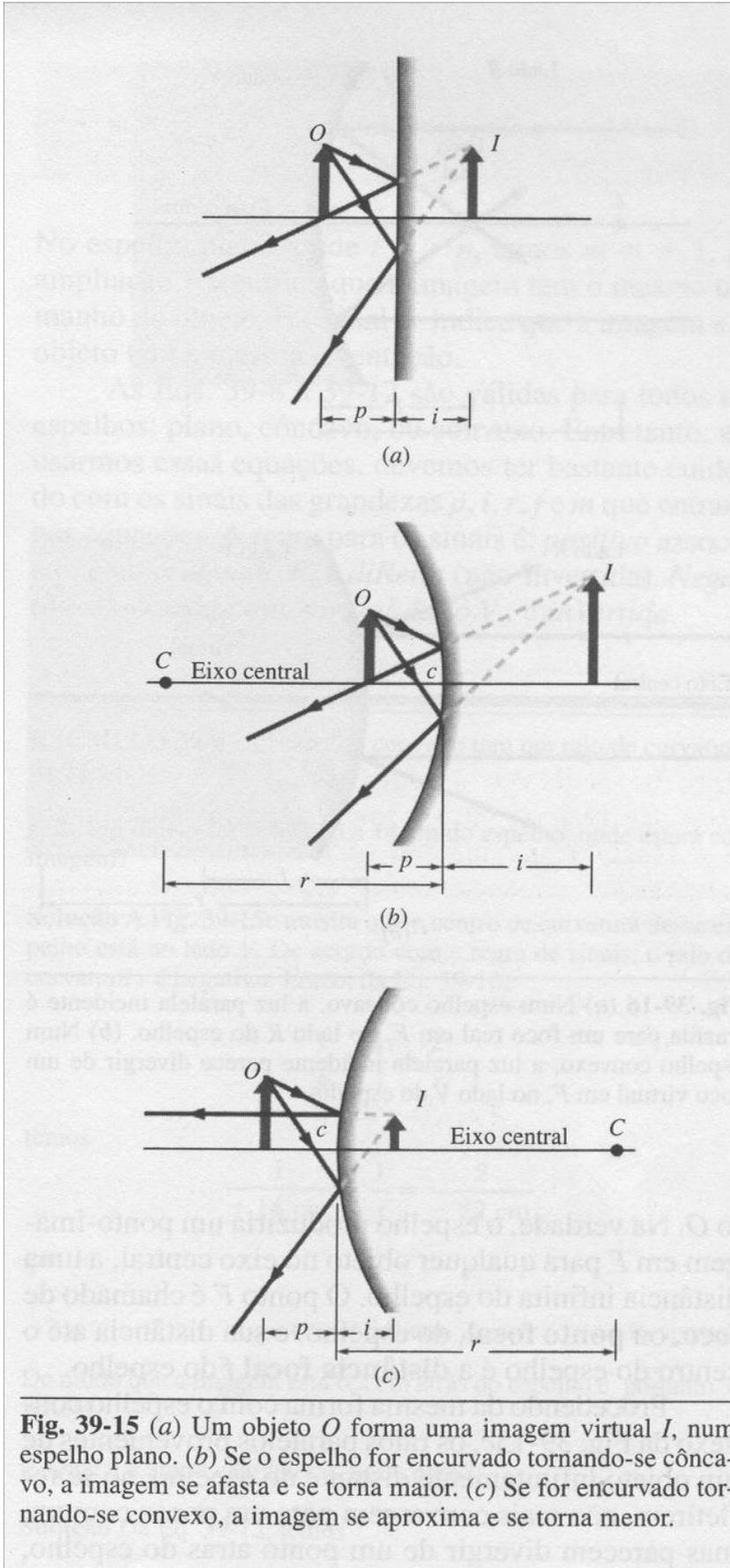
$$|i| = p$$

Como a imagem está atrás do espelho, a imagem é virtual e o objeto é real. Por convenção, dizemos que a distância  $i$  da imagem é negativa.



### I.3. REFLEXÃO E REFRAÇÃO - ONDAS E SUPERFÍCIES ESFÉRICAS

#### I.3.1. ESPELHOS ESFÉRICOS



**Fig. 39-15** (a) Um objeto  $O$  forma uma imagem virtual  $I$ , num espelho plano. (b) Se o espelho for encurvado tornando-se côncavo, a imagem se afasta e se torna maior. (c) Se for encurvado tornando-se convexo, a imagem se aproxima e se torna menor.

Espelho Plano: É um espelho esférico com raio de curvatura infinitamente grande ( $r \rightarrow \infty$ ).

Espelho Côncavo com raio de curvatura  $r$  e centro de curvatura  $C$ . Observa-se que:

- 1) Imagem se afasta atrás do espelho e  $i$  assume um valor negativo maior;
- 2) Tamanho da imagem aumenta (imagem é maior que o objeto).

Campo de visão mais estreito que o de um espelho plano (ângulo de divergência pequeno). Ex. Espelhos de maquiagem e de barbear.

Espelho Convexo com raio de curvatura  $r$  e centro de curvatura  $C$ . Observa-se que:

- 1) Imagem se aproxima do espelho;
- 2) Imagem diminui (imagem é menor que o objeto).

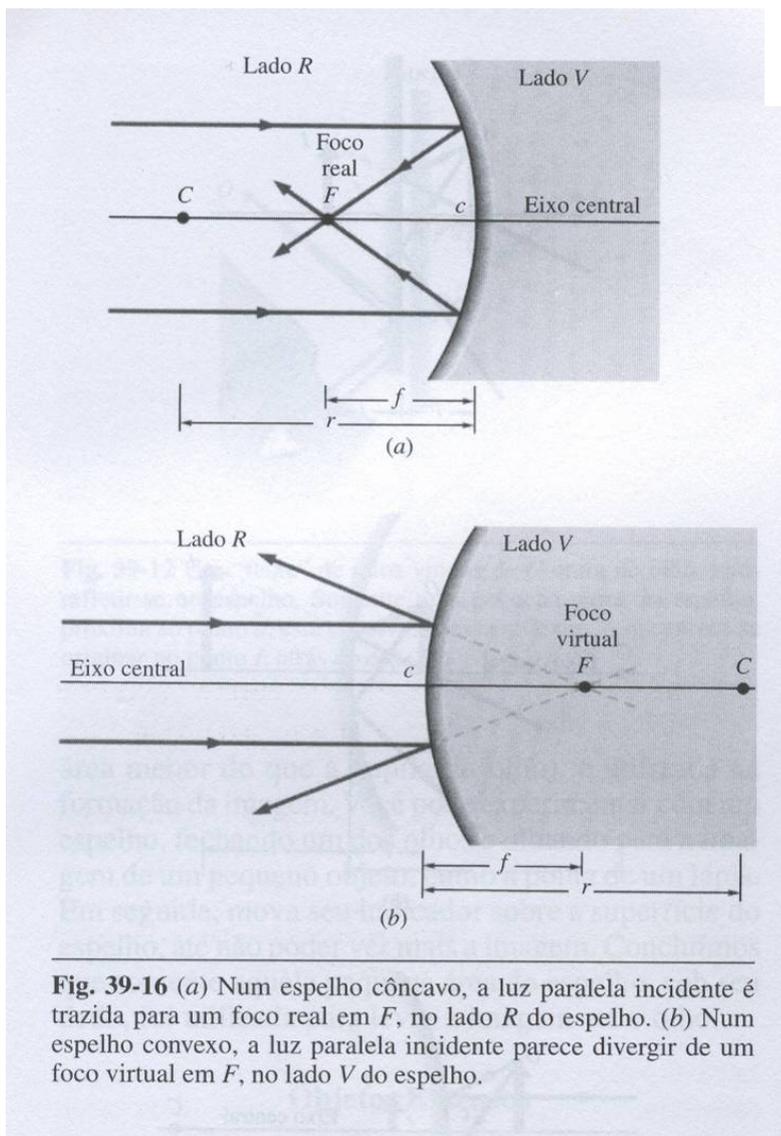
Campo de visão maior do que o de um espelho plano (ângulo de divergência grande). Ex. Retrovisores laterais de veículos, espelhos de observação em garagens, lojas e ônibus.

### I.3.2. DEFINIÇÃO DO FOCO OU PONTO FOCAL DE ESPELHOS ESFÉRICOS

Afastando-se o objeto O do espelho ao longo do eixo central, até que o objeto esteja infinitamente afastado do espelho.

F = Foco ou Ponto Focal do espelho

f = Distância focal do espelho



#### Espelho Côncavo:

- Foco real ou efetivo
- Distância focal f positiva

#### Espelho Convexo:

- Foco virtual ou aparente
- Distância focal f negativa

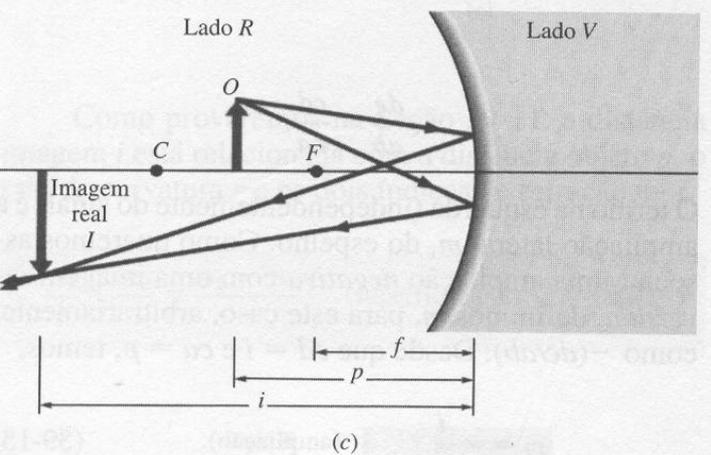
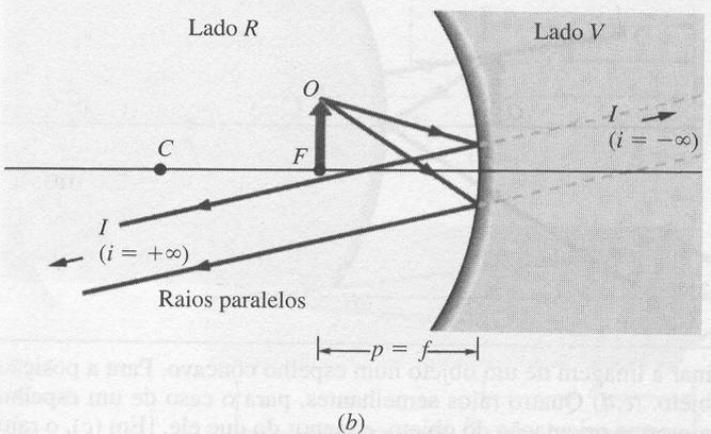
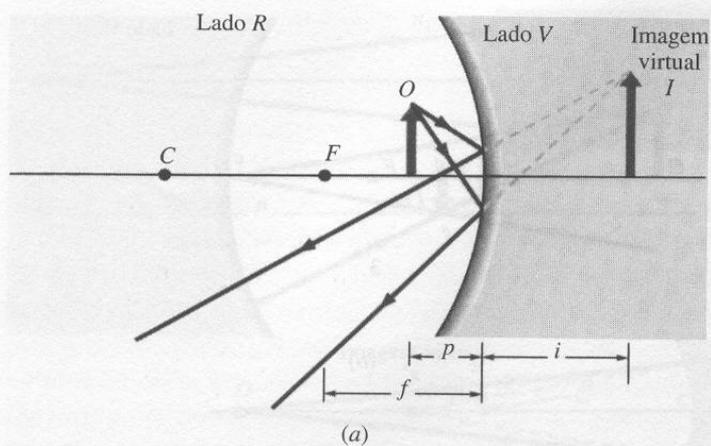
Para espelhos esféricos:  $f = \frac{r}{2}$

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}}$$

ou

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{2}{r}}$$

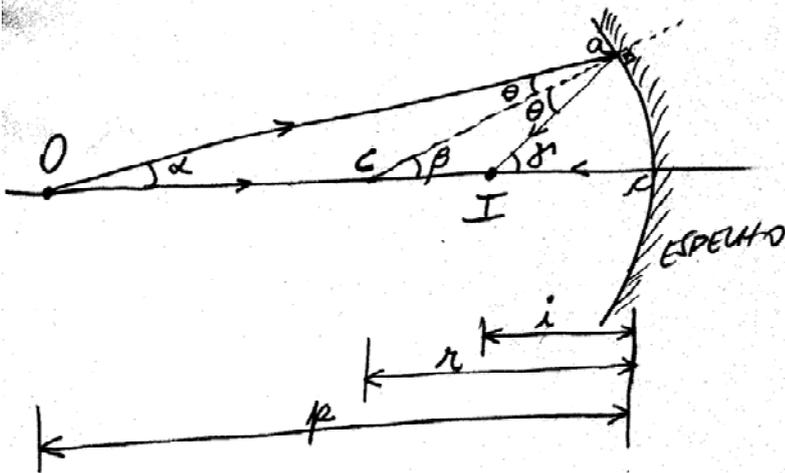
Movimentando-se o Objeto  $O$  ao longo do eixo central tem-se:



**Fig. 39-17** (a) Um objeto  $O$ , na margem interna ao ponto focal de um espelho côncavo, e sua imagem virtual  $I$ . (b) O objeto no ponto focal  $F$ . (c) O objeto além do ponto focal, e sua imagem real  $I$ .

### I.3.3. A FÓRMULA DO ESPELHO ESFÉRICO

NA FIGURA ABaixo O OBJETO PUNTIFORME O É COLOCADO NO EIXO DE UM ESPELHO ESFÉRICO CÔNCAVO, ALÉM DO SEU CENTRO DE CURVATURA C. UM RAI0 VINDO DE O E QUE FAZ UM ÂNGULO  $\alpha$  COM O EIXO, APÓS REFLETIR-SE NO PONTO a DO ESPELHO, INTERCEPTA O EIXO EM I. UM RAI0 QUE SAI DE O AO LONGO DO EIXO REFLETE-SE NO PONTO b, AO LONGO DESSE EIXO, PASSANDO TAMBÉM PELO PONTO I. LOGO, I É A IMAGEM DE O, SENDO UMA IMAGEM REAL, PORQUE A LUZ PASSA POR ELE.



NO  $\triangle OaC$

$$\beta = \alpha + \theta$$

NO  $\triangle OaI$

$$\gamma = \alpha + 2\theta$$

DESTAS DUAS EQUAÇÕES:

$$\boxed{\alpha + \gamma = 2\beta} \quad (2)$$

PARA OBJETOS DISTANTES:  
(ÂNGULOS PEQUENOS)

$$\alpha \approx \frac{\widehat{aC}}{rO} = \frac{\widehat{aC}}{R}$$

$$\beta = \frac{\widehat{aC}}{rC} = \frac{\widehat{aC}}{r} \quad (3)$$

$$\gamma \approx \frac{\widehat{aC}}{rI} = \frac{\widehat{aC}}{i}$$

SOMENTE A EQUAÇÃO  $\beta / \gamma =$  É EXATA PORQUE C É O CENTRO DE CURVATURA DO ARCO  $\widehat{aC}$

SUBSTITUINDO AS EQUAÇÕES (3) NA EQUAÇÃO (2):

$$\frac{\widehat{ac}}{R} + \frac{\widehat{ac}}{i} = 2 \frac{\widehat{ac}}{R}$$

$$\boxed{\frac{1}{R} + \frac{1}{i} = \frac{2}{R}}$$

(4)  
FÓRMULA DO  
ESPELHO ESFÉRICO

USANDO-SE A EQ. (1) TEM-SE:

$$\boxed{\frac{1}{R} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}}$$

(5)  
FÓRMULA DO  
ESPELHO ESFÉRICO

ESPELHO PLANO:  $R \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{1}{R} + \frac{1}{i} = 0$

$$\boxed{i = -R} \quad \underline{OK}$$

OBJETO NO INFINITO:  $R \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

$$\boxed{i = f} \quad \underline{OK}$$

### I.3.4. AMPLIAÇÃO LATERAL DE UM ESPELHO

O tamanho do objeto  $h$ , ou de uma imagem  $h'$ , medido perpendicularmente ao eixo central do espelho, é chamado de altura.

A razão  $h'/h$  é a ampliação lateral  $m$  produzida pelo espelho dada por:

$$\boxed{|m| = \frac{h'}{h}} \quad (6)$$

Sinal positivo: Imagem tem a mesma orientação do objeto

Sinal negativo: Orientação é contrária

Na próxima seção será provado que:

$$\boxed{|m| = \frac{-i}{p}} \quad (7)$$

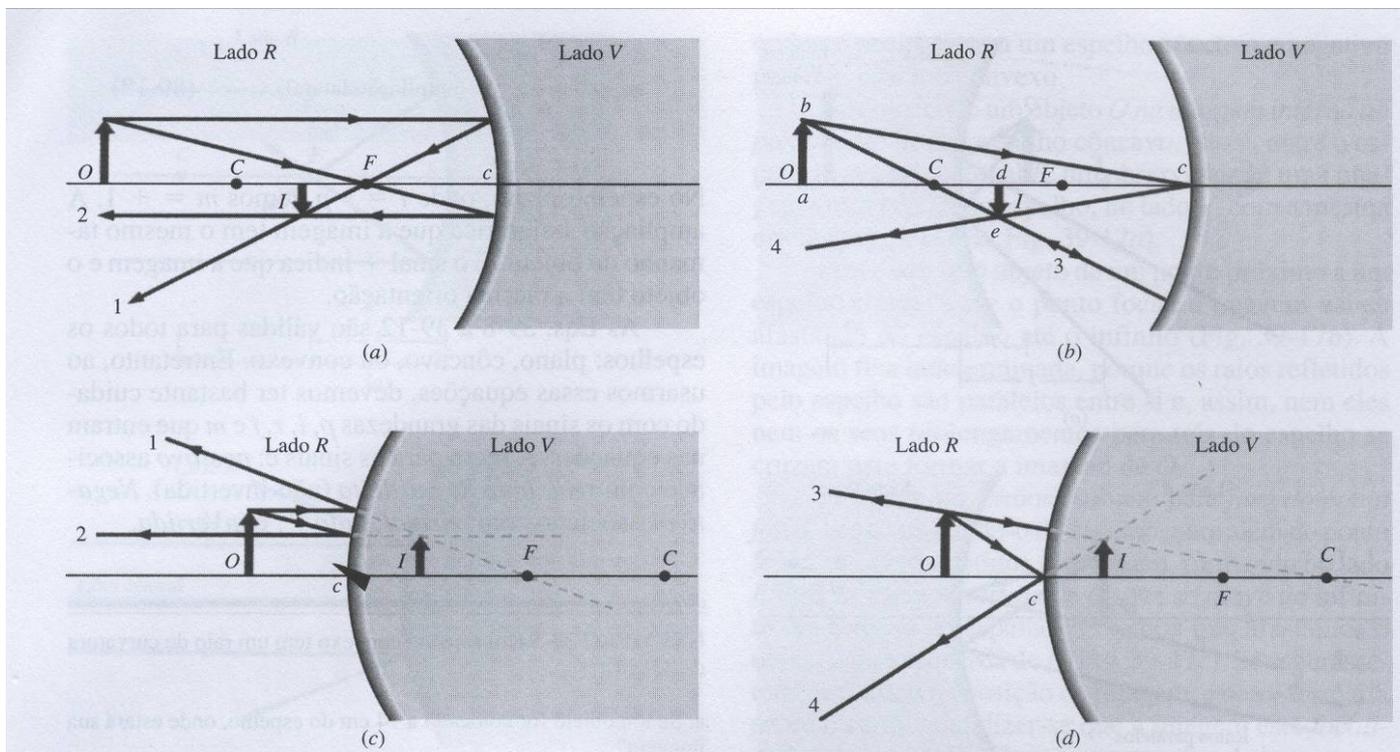
Espelho plano:  $i = -p$        $m = +1$       (Imagem com mesmo tamanho e orientação do objeto)

**Os sinais devem ser usados nas equações (4), (5), (6) e (7).**

### I.3.5. DETERMINAÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS. COMO TRAÇAR OS RAIOS DE LUZ.

Pode-se localizar graficamente a imagem de qualquer ponto fora do eixo, traçando-se quaisquer dois dos 4 (quatro) raios especiais:

- 1) Um raio paralelo ao eixo central se reflete passando pelo ponto focal ( Raio 1).
- 2) Um raio que passa pelo ponto focal se reflete paralelo ao eixo central (Raio 2).
- 3) Um raio que passa pelo centro de curvatura  $C$  se reflete retornando pelo mesmo caminho (Raio 3).
- 4) Um raio que tem seu ponto de reflexão na intersecção do espelho com o eixo central, centro  $c$  do espelho, se reflete simetricamente, em relação ao eixo central (Raio 4).



**Fig. 39-18** (a,b) Quatro raios que podem ser desenhados para determinar a imagem de um objeto num espelho côncavo. Para a posição mostrada do objeto, a imagem é real, invertida, e menor do que o objeto. (c,d) Quatro raios semelhantes, para o caso de um espelho convexo. A imagem é sempre virtual, para um espelho convexo, com a mesma orientação do objeto, e menor do que ele. [Em (c), o raio 2 está inicialmente direcionado para o ponto focal  $F$ .]

A prova da equação da Ampliação lateral  $m$  de um objeto pode ser feita com base na Figura (b) da página anterior.

Considerando-se o Raio 4 tem-se:

$$\Delta abc \equiv \Delta edc$$

$$\frac{de}{ab} = \frac{cd}{ac}$$

↓

$$m = -\frac{cd}{ac} \quad (\text{negativo porque a imagem é invertida})$$

Mas  $cd = i$  e  $ac = p$ , então:

$$\boxed{m = -\frac{i}{p}} \quad (7)$$

### I.3.6. SUPERFÍCIES REFRACTORAS ESFÉRICAS

No caso da refração tem-se:

O objeto colocado no **Lado Virtual** tem **distância  $p$  positiva**, pois a luz sempre sairá do objeto.

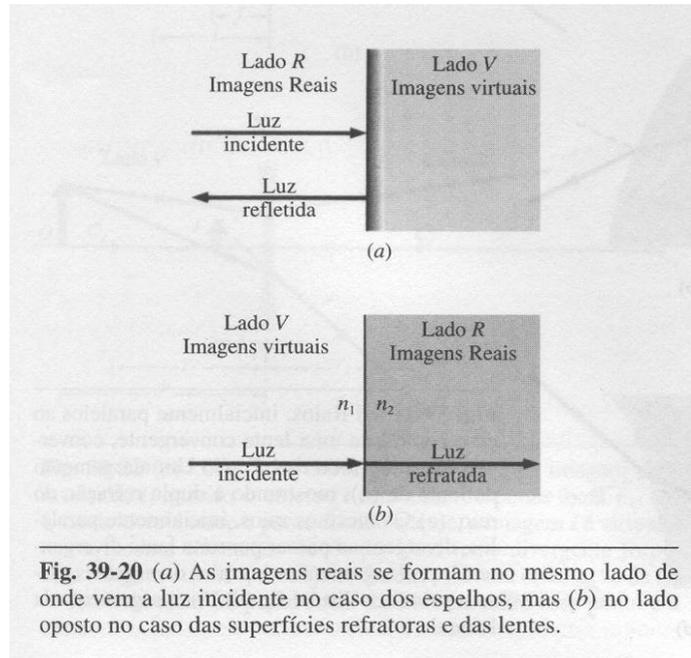
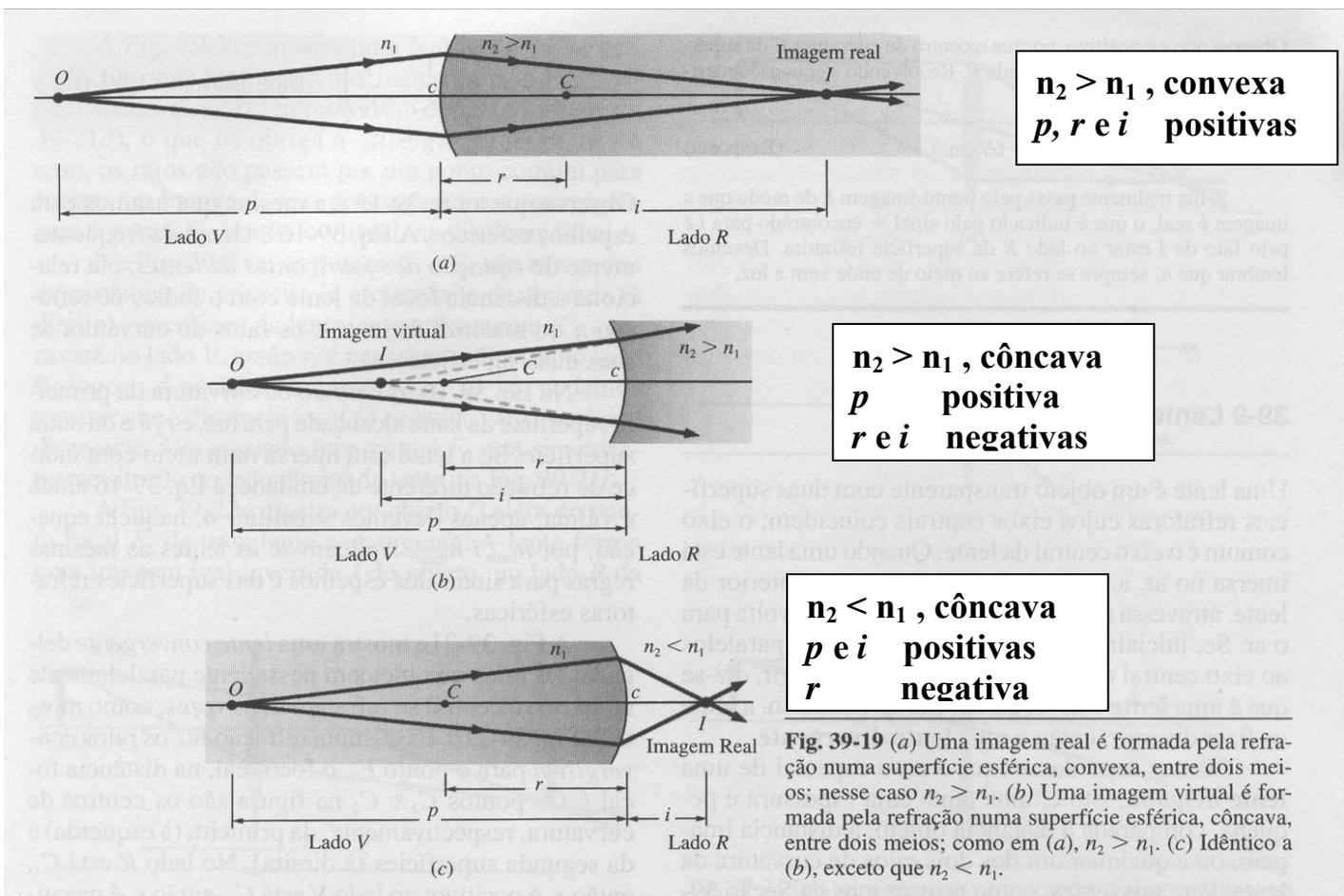


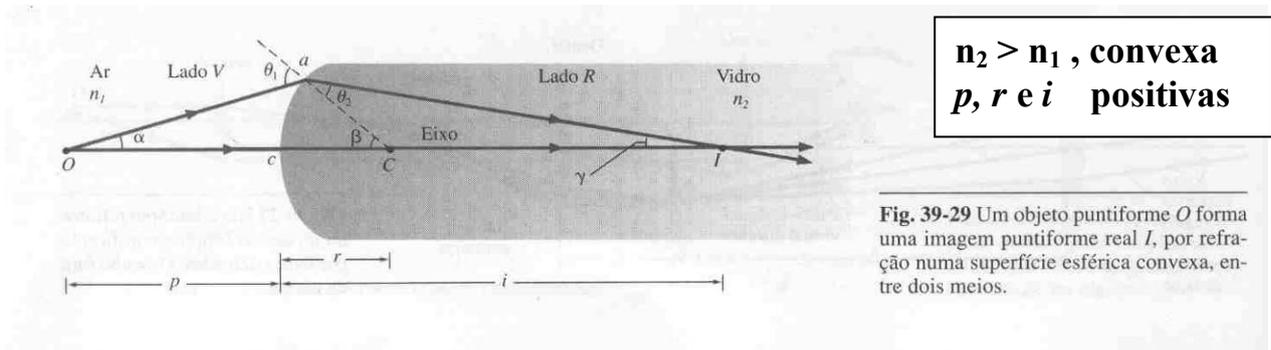
Fig. 39-20 (a) As imagens reais se formam no mesmo lado de onde vem a luz incidente no caso dos espelhos, mas (b) no lado oposto no caso das superfícies refratoras e das lentes.

A formação de imagens por superfícies refratoras tem seguintes características:



## A FÓRMULA DA SUPERFÍCIE REFRACTORA ESFÉRICA

Na Figura abaixo os raios luminosos provenientes de um objeto puntiforme  $O$  são interceptados por uma superfície refratora esférica, convexa, de raio de curvatura  $r$ , que separa os meios com índices de refração  $n_1$  e  $n_2$ , sendo  $n_2 > n_1$ . Depois de refratados os raios se combinam e formam uma Imagem Real  $I$ , a uma distância  $i$  da superfície ao longo do eixo central.



Sabemos que  $n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$  (8)

Se  $\alpha$  é pequeno,  $\theta_1$  e  $\theta_2$  também serão pequenos e temos:  $n_1 \theta_1 \approx n_2 \theta_2$  (9)

No  $\Delta COA$  temos:  $\theta_1 = \alpha + \beta$  (10a)

No  $\Delta ICA$  temos:  $\beta = \theta_2 + \gamma$  (10b)

Usando as equações (10) para eliminar  $\theta_1$  e  $\theta_2$  na equação (9) temos:

$$n_1 (\alpha + \beta) = n_2 (\beta - \gamma)$$

$$n_1 \alpha + n_1 \beta = n_2 \beta - n_2 \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = (n_2 - n_1) \beta$$
 (11)

Da figura, em radianos temos:  $\alpha \approx \frac{\widehat{ac}}{p}$  ;  $\beta = \frac{\widehat{ac}}{r}$  ;  $\gamma \approx \frac{\widehat{ac}}{i}$

Substituindo na Equação (11) temos:

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

(12) para superfície única.

Válida para quaisquer  $n_1$  e  $n_2$  e para superfícies côncavas ou convexas.

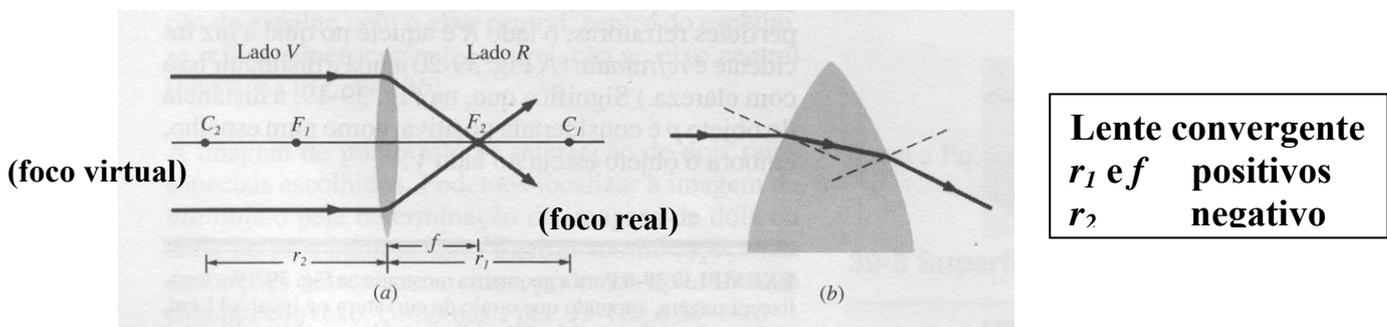
### I.3.7. LENTES DELGADAS

Uma lente é um objeto transparente com duas superfícies refratoras cujos eixos centrais coincidem. O eixo comum é o eixo central da lente.

Se, inicialmente, os raios de luz forem paralelos ao eixo central da lente e ela os fizer convergir, diz-se que é uma Lente Convergente.

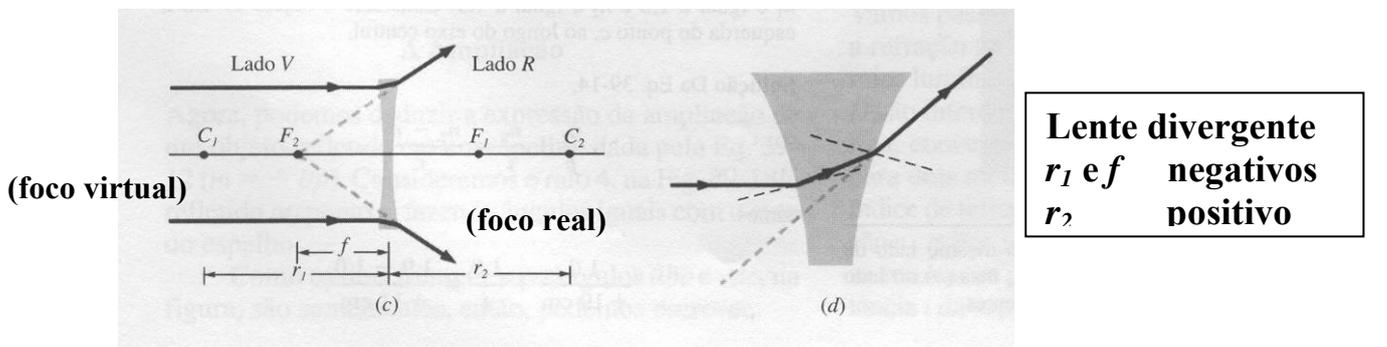
Se, ao contrário, a lente os fizer divergir, então é uma Lente Divergente.

Analisaremos o caso de uma Lente Delgada, isto é, de uma lente cuja espessura é pequena, comparada à distância objeto, à distância imagem, ou a qualquer um dos raios de curvatura da lente. Existirá sempre uma dupla refração.



O foco formado pelos raios refratados é chamado F2. A primeira superfície em que os raios refratam é chamada Superfície 1, com raio de curvatura C1. O lado direito (saída do raio) da lente é o Lado Real (Lado R) e o lado esquerdo (incidência do raio) é o Lado Virtual (Lado V).

A distância focal  $f$  é medida até o foco F2 formado pelos raios de luz refratados duas vezes, para qualquer lente.



Para Lentes Delgadas pode-se provar que

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}} \quad (13)$$

Onde a distância focal  $f$  é dada por:

$$\boxed{\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \quad (14) \quad \begin{array}{l} \text{Equação dos} \\ \text{Fabricantes de Lentes} \end{array}$$

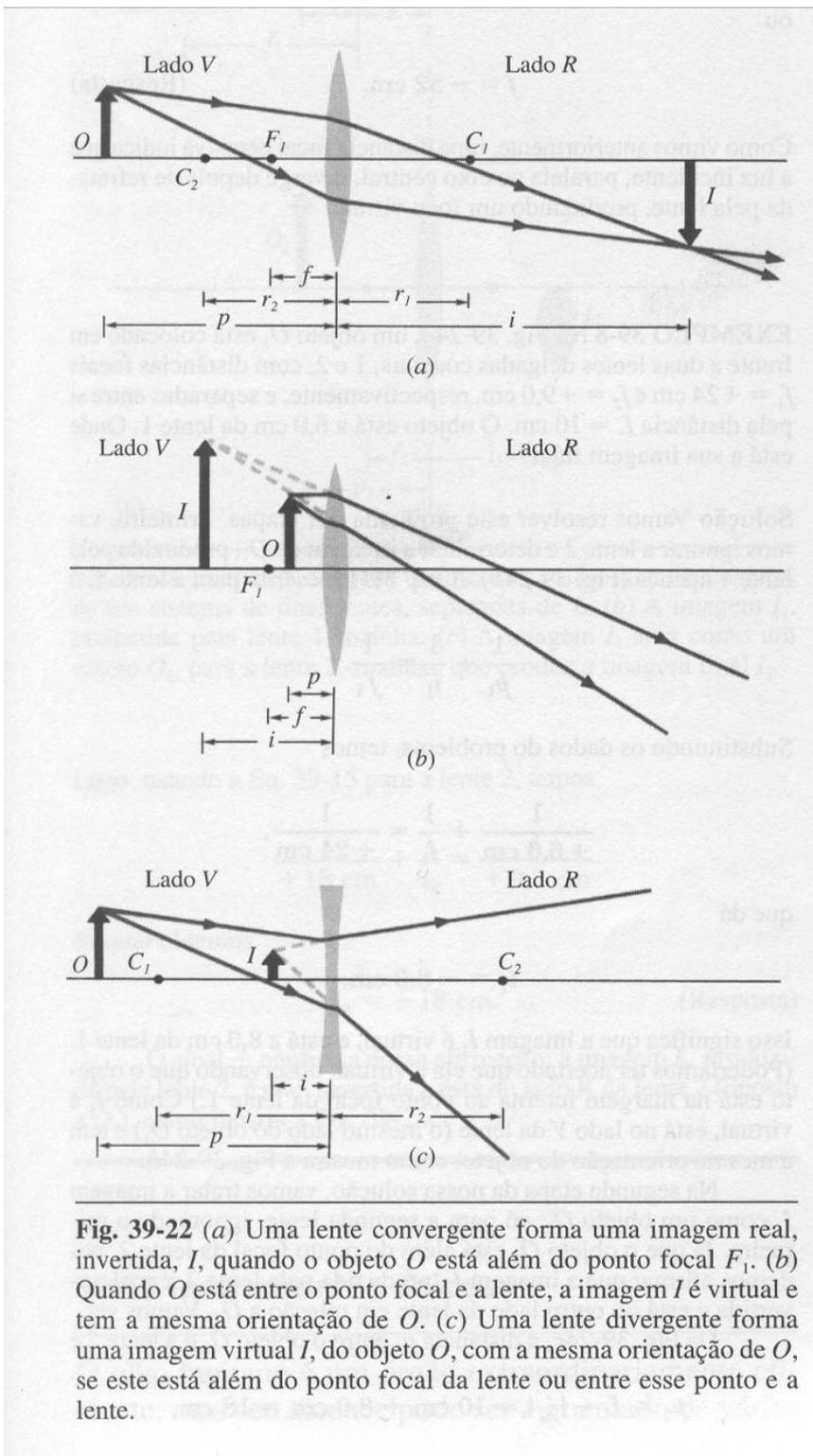
Onde  $n$  é o índice de refração do material da lente e o índice de refração do ar foi aproximado para a unidade.

Unindo-se as equações acima, pode-se escrever:

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \quad (15)$$

Se a Lente está imersa em um meio com índice de refração diferente da unidade, deve-se substituir  $n$  por  $\left( \frac{n_{Lente}}{n_{Meio}} \right)$ .

## GERAÇÃO DE IMAGENS POR LENTES DELGADAS



### Lente convergente

- Objeto  $O$  além do ponto focal  $F_1$

- Imagem  $I$  real e invertida, no Lado  $R$

### Lente convergente

- Objeto  $O$  colocado entre o ponto focal  $F_1$  e a lente

- Imagem  $I$  virtual e direita, no Lado  $V$

### Lente divergente

- Objeto  $O$  colocado em qualquer ponto na frente da lente

- Imagem  $I$  sempre será virtual e direita, no Lado  $V$

## DETERMINAÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS GERADAS POR LENTES. COMO TRAÇAR OS RAIOS DE LUZ.

A determinação da imagem de qualquer ponto de um objeto pode ser feita traçando-se quaisquer dois dos 3 raios especiais abaixo. A imagem do ponto estará na intersecção de dois raios especiais escolhidos. Em geral, dois pontos são suficientes para determinar a imagem de um objeto.

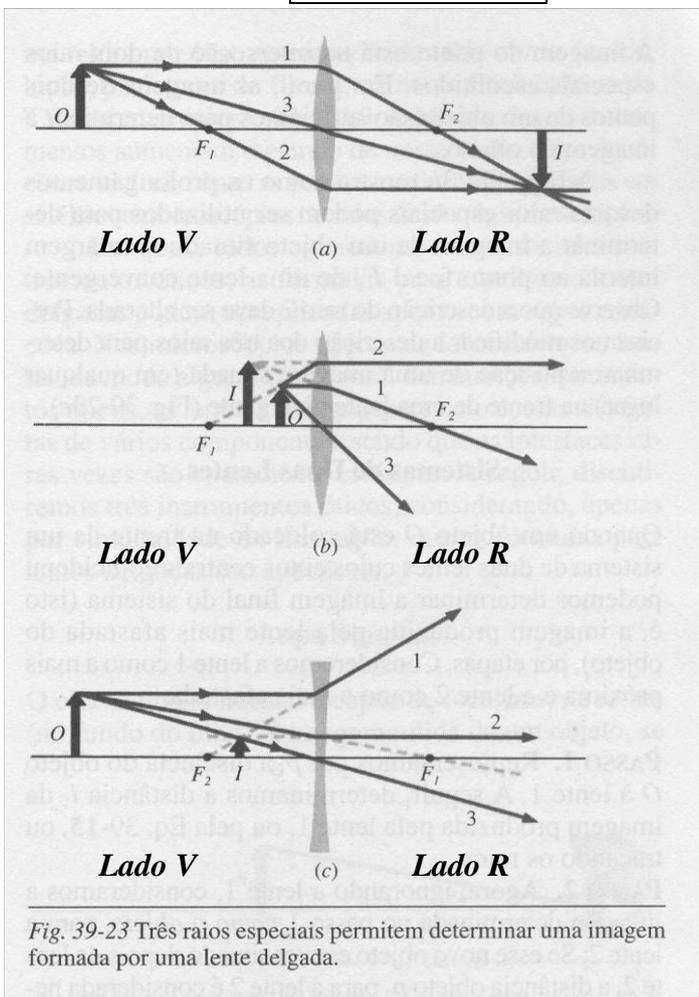
Os raios especiais são:

- 1) Um raio paralelo ao eixo central da lente passará pelo ponto focal  $F_2$  ( Raio 1).
- 2) Um raio que passa pelo ponto focal  $F_1$  sairá da lente paralelo ao eixo central (Raio 2).
- 3) Um raio que incide diretamente no centro da lente passa através dela sem ser desviado (Raio 3) porque nesse local os dois lados da lente são quase paralelos.

A Ampliação Lateral  $m$  de uma lente é calculada da mesma forma que para os

espelhos:

$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{i}{p} \quad (16)$$



### Lente convergente

- Objeto  $O$  após o ponto focal  $F_1$
- Imagem  $I$  real e invertida
- $p, f$  e  $i$  positivos
- $m$  negativo

### Lente convergente

- Objeto  $O$  antes do ponto focal  $F_1$
- Imagem  $I$  virtual, direita, e aumentada
- $p, f$  e  $m$  positivos
- $i$  negativo;  $m > 1$  pois  $|i| > p$

### Lente divergente

- Objeto  $O$  em qualquer lugar
- Imagem  $I$  virtual, direita, e diminuída
- $p, m$  positivos
- $f$  e  $i$  negativos;  $m < 1$  pois  $|i| < p$

Fig. 39-23 Três raios especiais permitem determinar uma imagem formada por uma lente delgada.

## SISTEMAS DE DUAS OU MAIS LENTES

Quando um objeto  $O$  é colocado na frente de um sistema de duas ou mais lentes cujos eixos centrais coincidem, pode-se determinar a imagem final do sistema por duas etapas:

Etapa 1) Representamos por  $p_1$  a distância do objeto  $O$  à lente 1. A seguir, determinamos a distância  $i_1$  da imagem produzida pela lente 1, ou pela Equação (13), ou traçando os raios.

Etapa 2) Agora, ignorando a lente 1, consideramos a imagem determinada na Etapa 1 como sendo o objeto, para a lente 2. Se esse novo objeto estiver situado depois da lente 2, a distância objeto  $p_2$  para a lente 2 é considerada negativa. Caso contrário,  $p_2$  é considerado positivo, como é normal. Então, pela equação (13) ou pelo traçado dos raios, determinamos a distância  $i_2$  da imagem (final) produzida pela lente 2.

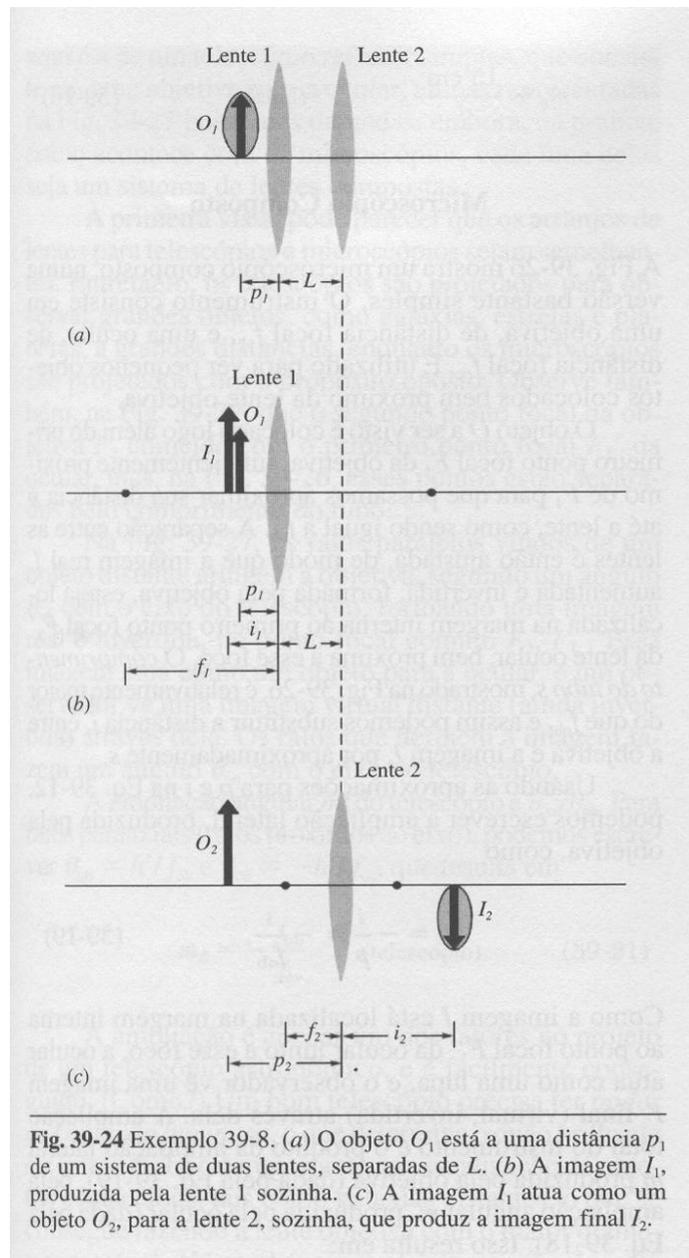


Fig. 39-24 Exemplo 39-8. (a) O objeto  $O_1$  está a uma distância  $p_1$  de um sistema de duas lentes, separadas de  $L$ . (b) A imagem  $I_1$ , produzida pela lente 1 sozinha. (c) A imagem  $I_1$  atua como um objeto  $O_2$ , para a lente 2, sozinha, que produz a imagem final  $I_2$ .

O mesmo procedimento pode ser utilizado para mais do que 2 lentes ou no caso de ter um espelho no lugar da lente 2.

A Ampliação Lateral total  $M$  de um sistema de lentes é:

$$\boxed{M = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n} \quad (17)$$

Onde  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  são as ampliações laterais produzidas por cada uma das lentes individualmente.

## I.3.8. INSTRUMENTOS ÓTICOS

### a) A Máquina Fotográfica

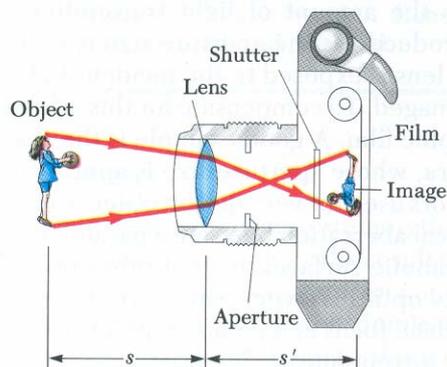
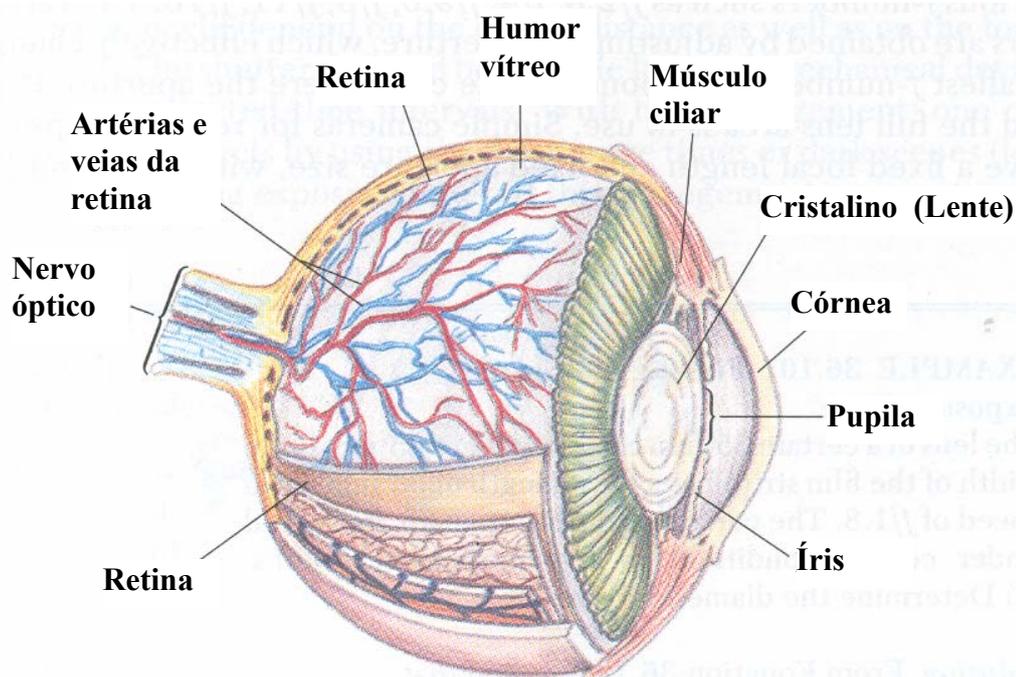


Figure 36.23 Cross-sectional view of a simple camera. Note that in reality,  $s \gg s'$ .

### b) O Olho

A imagem é formada na retina (fundo do olho) após os raios de luz passarem pela córnea, corpo vítreo, pupila e cristalino.

Distância focal máxima de 2,5 cm, que é a distância entre a córnea e a retina, pode ser alterada pela alteração da forma do cristalino através do músculo ciliar.



**Partes essenciais do olho. Pode ser observada a semelhança entre o olho e uma máquina fotográfica simples, correlacionando suas partes.**

## Problemas com as imagens geradas pelo olho:

### Hipermetropia

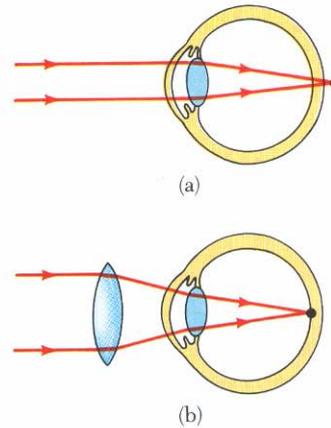


Figure 36.25 (a) A hyperopic eye (farsightedness) is slightly shorter than normal; hence the image of a distant object focuses behind the retina. (b) The condition can be corrected with a converging lens.

### Miopia

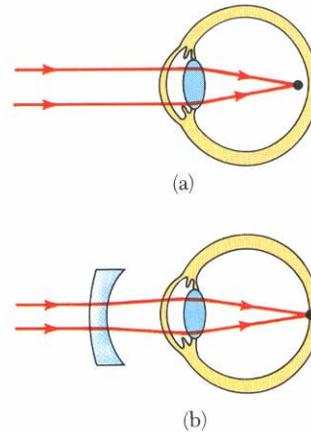
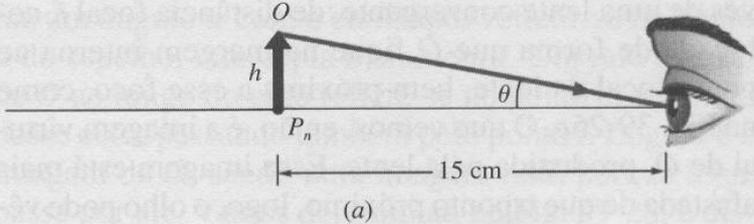
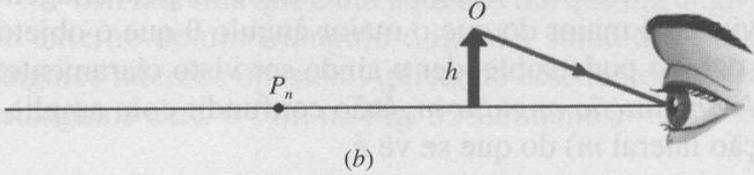
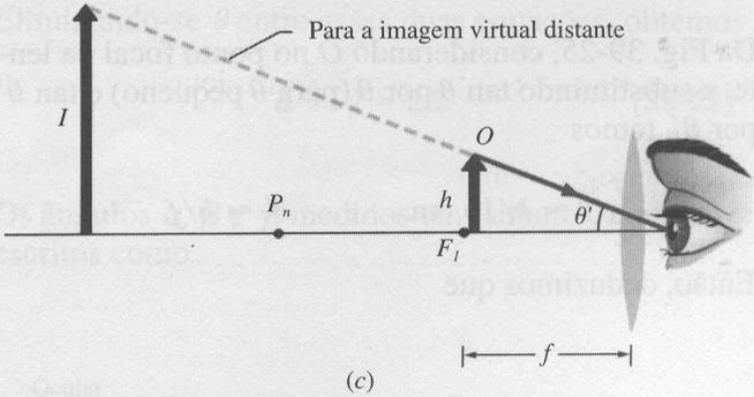


Figure 36.26 (a) A myopic eye (nearsightedness) is slightly longer than normal; hence the image of a distant object focuses in front of the retina. (b) The condition can be corrected with a diverging lens.

### Tamanho aparente

**c) A Lupa simples**

Objetos colocados até a distância  $P_n$ , chamado de ponto próximo do olho, podem ser vistos com foco. A distância  $P_n$  é da ordem de 15-20 cm.

Objeto visto até distância $P_n$	
Tentativa de aproximação para ver maiores detalhes, mas sem foco.	
Com a Lupa obtém-se foco novamente (lente convergente)	
Objeto próximo do foco $F_1$	<p><b>Fig. 39-25</b> (a) Um objeto <math>O</math>, de altura <math>h</math>, colocado no ponto próximo de um olho humano, subtende o ângulo <math>\theta</math> no campo de visão do olho. (b) O objeto se aproxima, aumentando o ângulo, mas agora o observador não consegue mais focalizá-lo. (c) Uma lente convergente é colocada entre o objeto e o olho, com o objeto na margem interna ao ponto focal <math>F_1</math> da lente, bem próximo a este foco. A imagem produzida pela lente é, então, afastada o suficiente para ser focalizada pelo olho, subtendendo um ângulo <math>\theta'</math> maior do que o ângulo <math>\theta</math> subtendido pelo objeto <math>O</math> em (a).</p>

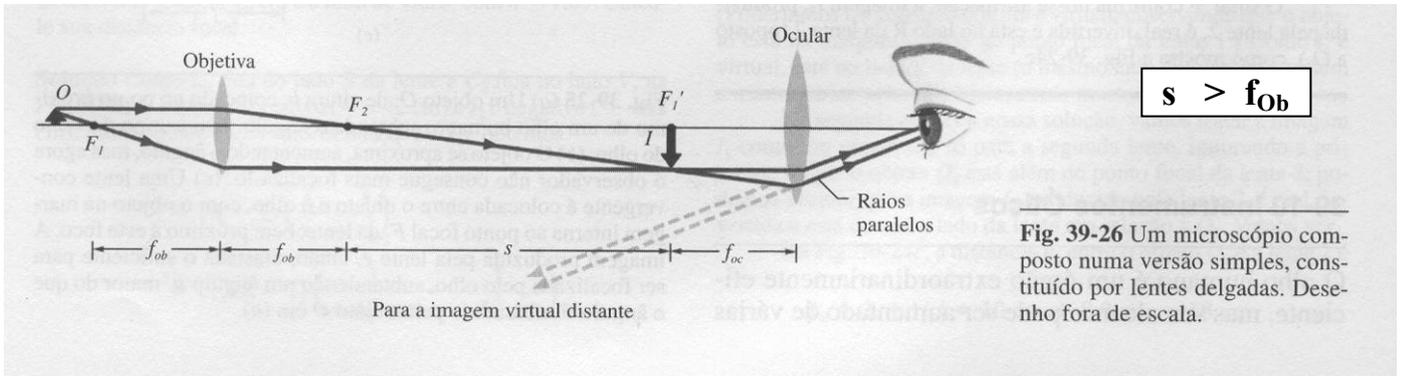
A Ampliação Angular da Lupa será:

$$m_\theta = \frac{\theta'}{\theta} \quad (18)$$

Onde  $tg \theta \approx \theta = \frac{h}{15 \text{ cm}}$  e  $tg \theta' \approx \theta' = \frac{h}{f}$ , e tem-se  $m_\theta \approx \frac{15 \text{ cm}}{f}$  (19)

### d) O Microscópio Composto

Para visualizar objetos pequenos colocados próximos ao foco  $F_1$  da objetiva.



A separação entre as lentes é ajustada com a distância  $s$ , de modo que a imagem real  $I$ , aumentada e invertida, formada pela Objetiva, esteja localizada na margem interna ao primeiro ponto focal  $F_1'$  da Lente Ocular, bem próximo a esse foco. O comprimento  $s$  do tubo é maior que  $f_{ob}$ .

Para a objetiva: 
$$m = -\frac{i}{p} \approx -\frac{s}{f_{ob}} \quad (20)$$

A lente Ocular funciona como uma lupa e temos:

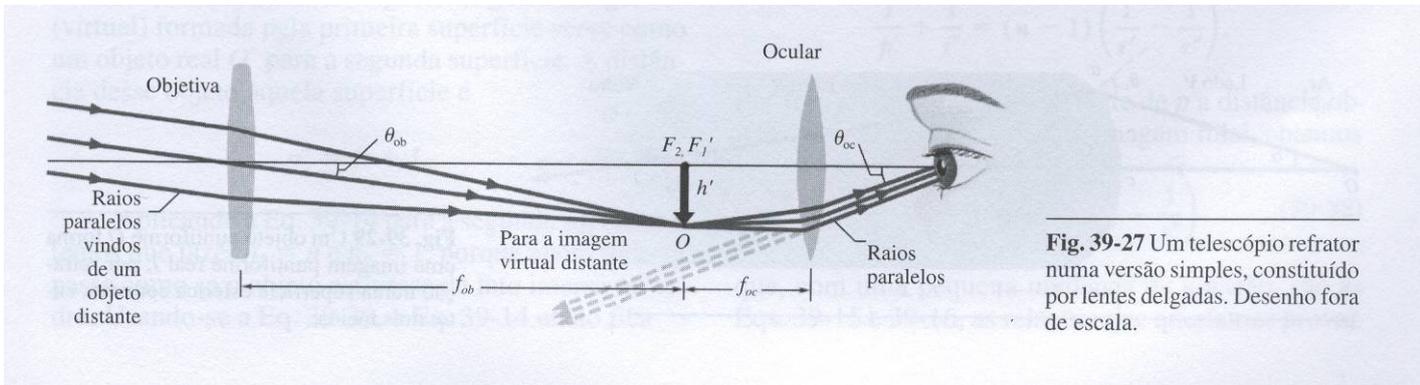
Para o sistema: 
$$M = m m_{\theta} = -\frac{s}{f_{ob}} \frac{15 \text{ cm}}{f} \quad (21)$$

para microcópico

### e) O Telescópio Refrator

Projetados para observar grandes objetos, como galáxias, estrelas e planetas, a grandes distâncias.

O segundo ponto focal da Objetiva  $F_2$  coincide com o primeiro ponto focal  $F_1'$  da Ocular.



**Fig. 39-27** Um telescópio refrator numa versão simples, constituído por lentes delgadas. Desenho fora de escala.

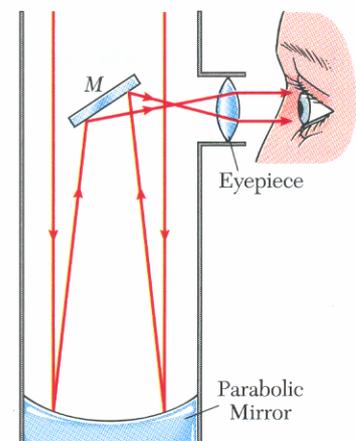
A Ampliação Angular será:

$$m_\theta = \frac{\theta_{oc}}{\theta_{ob}} \quad (22)$$

Sabemos que  $tg \theta_{ob} \approx \theta_{ob} = \frac{h'}{f_{ob}}$  e  $tg \theta_{oc} \approx \theta_{oc} = \frac{-h'}{f_{oc}}$  para raios próximos ao eixo,

E então  $m_\theta = - \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$  para Telescópios (23)

A•



**Figure 36.31** A reflecting telescope with a Newtonian focus.