



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de Lorena – EEL

“PPE6408 – Tópicos Especiais de Física”

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)

Escola de Engenharia de Lorena (EEL)

Universidade de São Paulo (USP)

Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970

durval@demar.eel.usp.br

www.eel.usp.br – Comunidade – Alunos (Página dos professores)

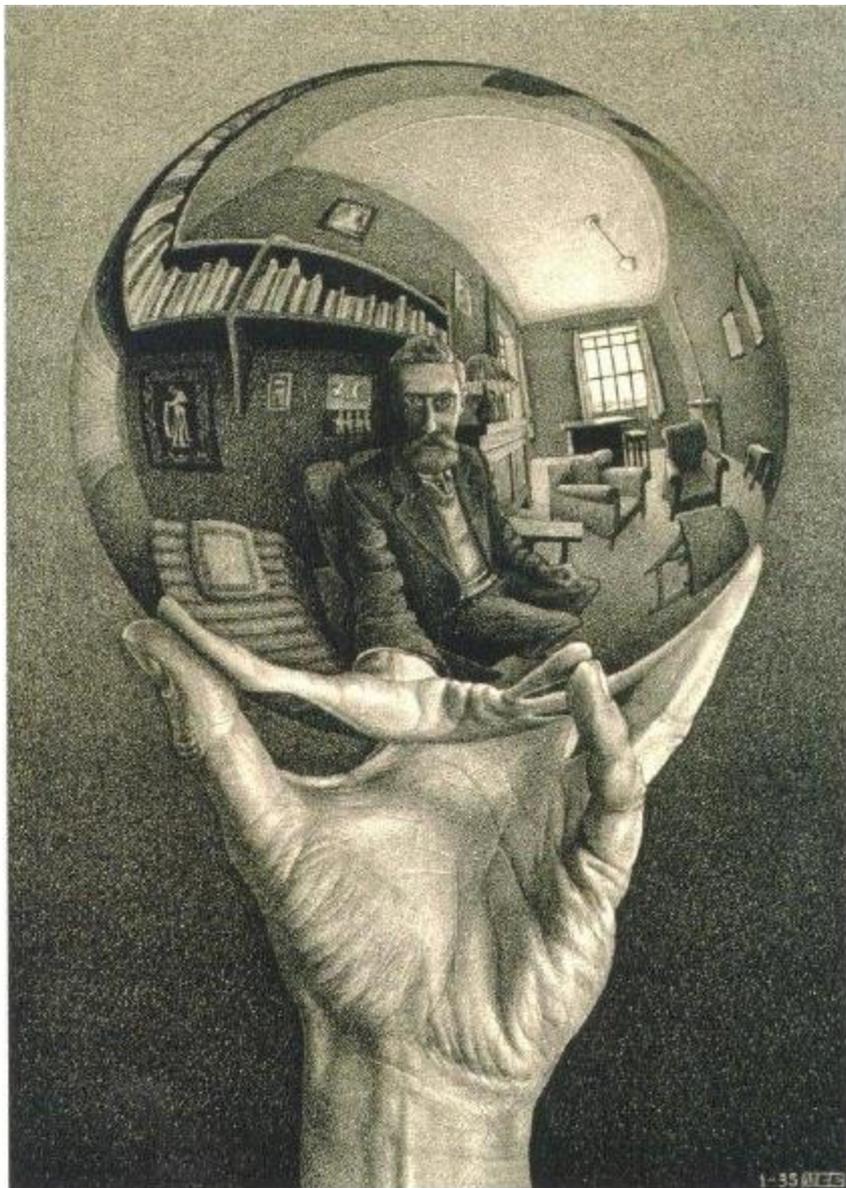
Área I
Rodovia Itajubá-Lorena, Km 74,5
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-5007/3153-3209

USP Lorena
www.eel.usp.br

Área II
Polo Urbo-Industrial Gleba AI-6
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-9900

UNIDADE 4 -

Imagens e Lentes Refratoras



Imagens

Revisão e novos tópicos por animações:



<http://micro.magnet.fsu.edu/optics/lightandcolor/java.html>

Bons materiais na rede:

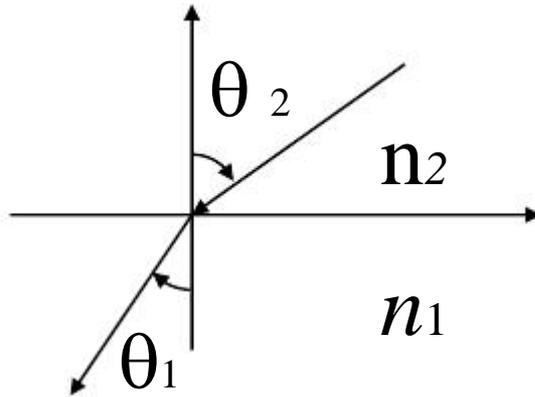


<http://www.lightandmatter.com/area1book5.html>

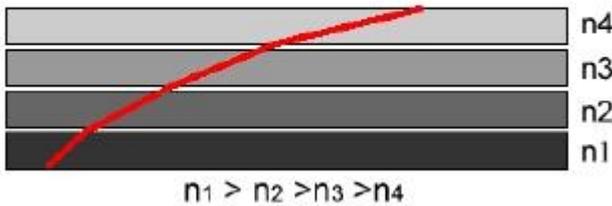
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

<http://courses.umass.edu/plecprep/optics/6a2035.html>

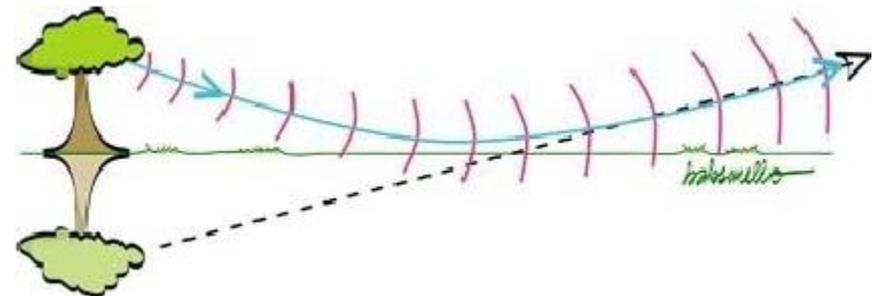
Imagens, um exemplo: miragens



TEMPERATURA	ÍNDICE de REFRAÇÃO
47,50	1,00050
47,75	1,00040
48,00	1,00035
48,25	1,00027
48,50	1,00025



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

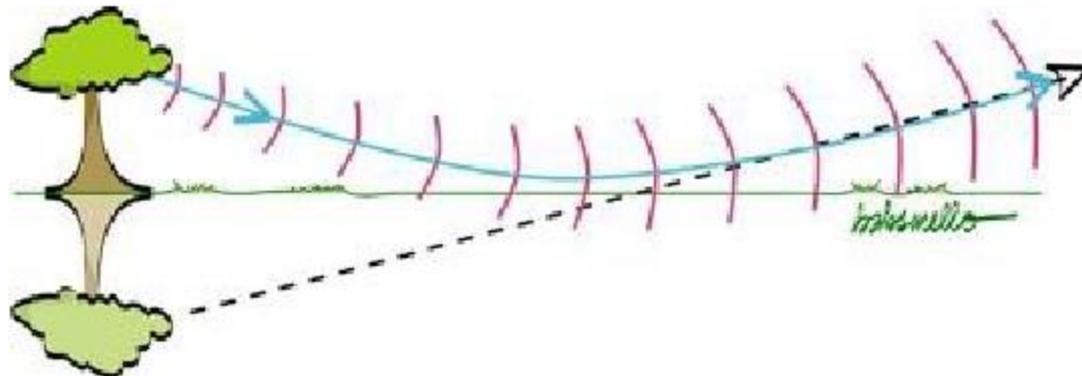


Miragem: imagem virtual

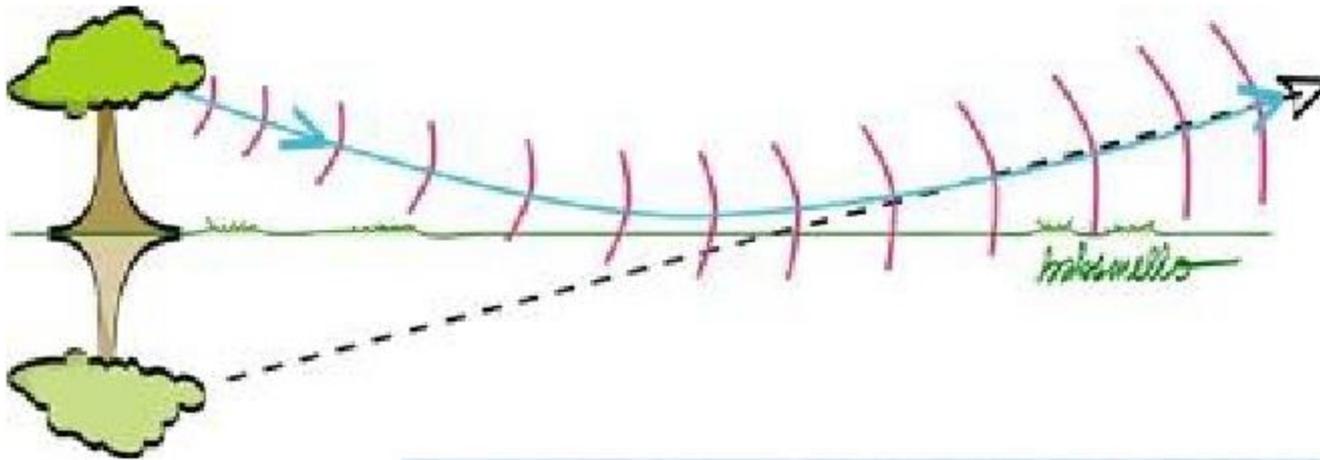
Quando se forma uma imagem no processo de reflexão, ela pode ser **real ou virtual**.

Denominamos a imagem obtida no processo de reflexão de **real** quando esta imagem é obtida mediante o encontro dos **próprios raios luminosos refletidos**.

Uma imagem é **virtual** quando ela é formada pelo processo de **prolongamento dos raios luminosos refletidos** (e não dos próprios raios)



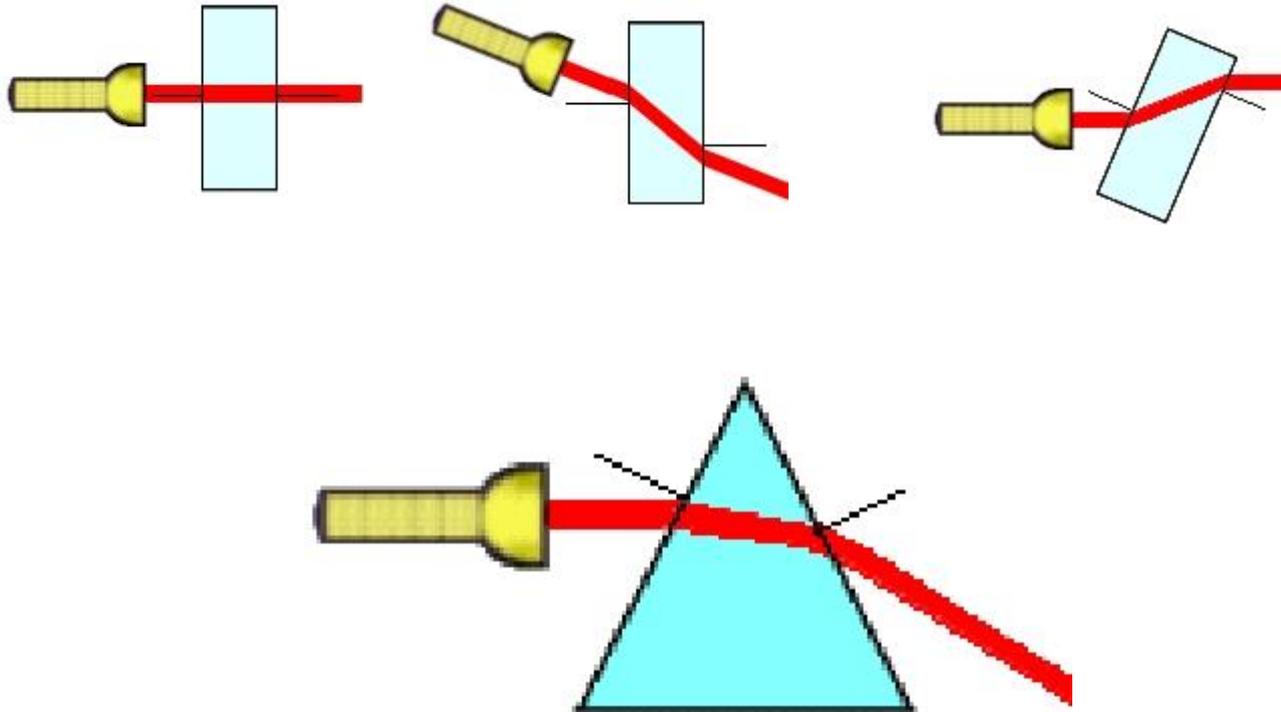
Como fica essa miragem:



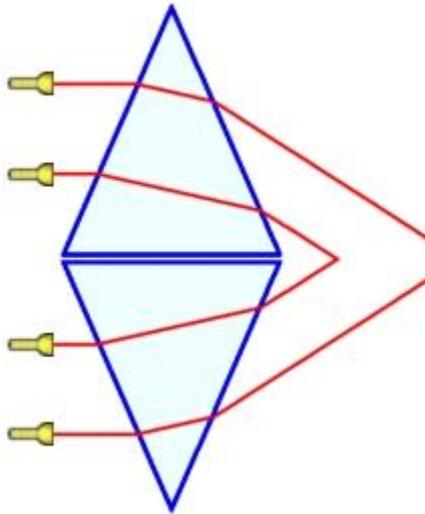
Imagens por refração



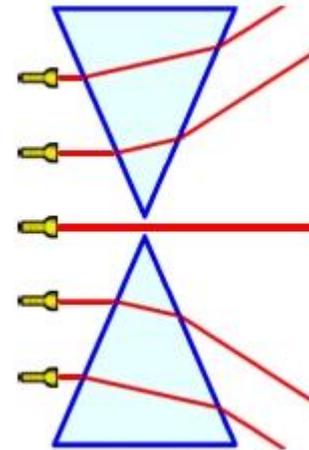
Recapitulando refração:



Prismas como lentes

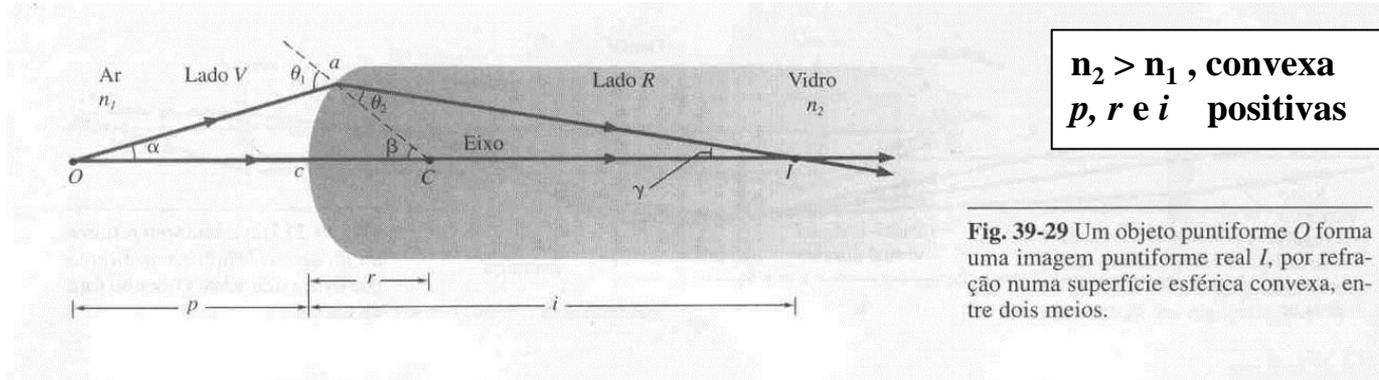


convergentes



divergentes

A Fórmula para a Superfície Refratora Esférica



Sabemos que $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ (8)

Se α é pequeno, θ_1 e θ_2 também serão pequenos e temos: $n_1 \theta_1 \approx n_2 \theta_2$ (9)

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

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

Usando as equações (10) para eliminar θ_1 e θ_2 na equação (9) temos:

$$\begin{aligned}
 n_1 (\alpha + \beta) &= n_2 (\beta - \gamma) \\
 n_1 \alpha + n_1 \beta &= n_2 \beta - n_2 \gamma \\
 n_1 \alpha + n_2 \gamma &= (n_2 - n_1) \beta
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

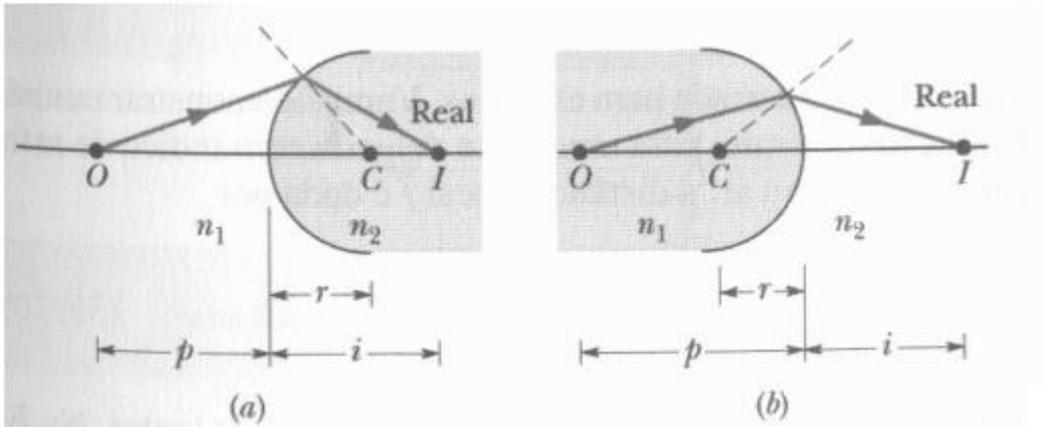
Da figura, em radianos temos: $\alpha \approx \frac{ac}{p}$; $\beta = \frac{ac}{r}$; $\gamma \approx \frac{ac}{i}$

Substituindo na Equação (11) temos:

$$\boxed{\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{r}}
 \tag{12}$$

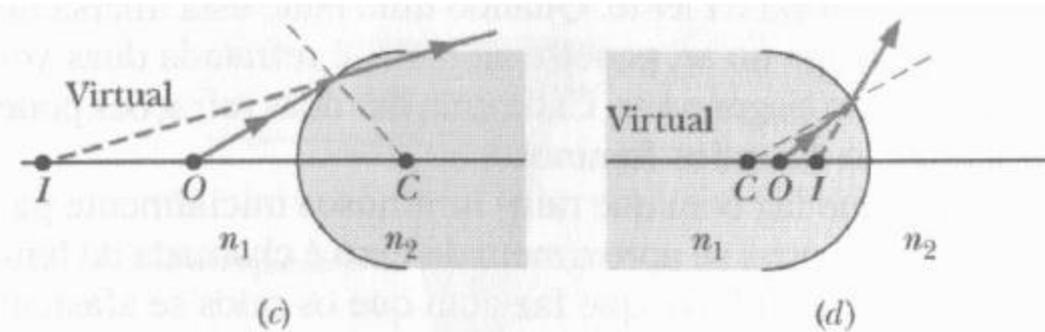
para superfície única. Válida para quaisquer n_1 e n_2 e para superfícies côncavas ou convexas.

Refração em interfaces esféricas



Se os raios luminosos fizerem *pequenos ângulos* com o eixo central, temos:

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

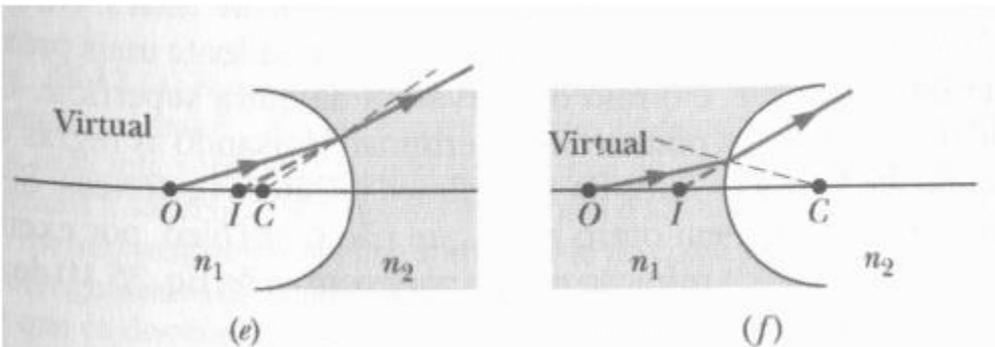


Convexa

Côncava

Superfície côncava: $r < 0$

Superfície convexa: $r > 0$



Imagens são *virtuais* quando se encontram do *mesmo lado* do objeto e *reais* quando se encontram em *lados opostos*.

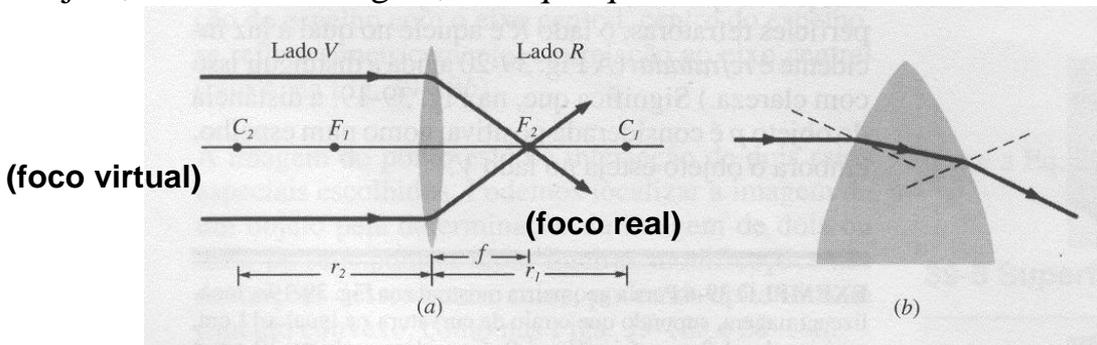
Lentes delgadas

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.

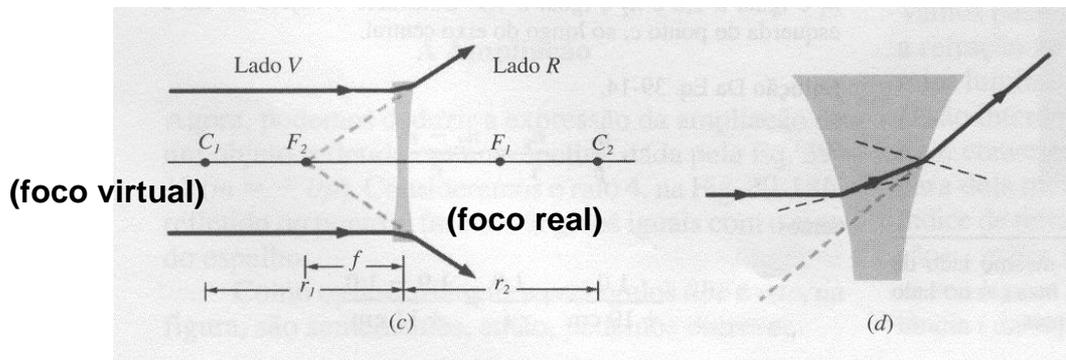
Analisaremos o caso de uma Lente Delgada, isto é, de uma lente cuja espessura é pequena, comparada à distância objeto, à distância imagem, ou a qualquer um dos raios de curvatura da lente. Existirá sempre uma dupla refração.



Lente convergente
r_1 e f positivos
r_2 negativo

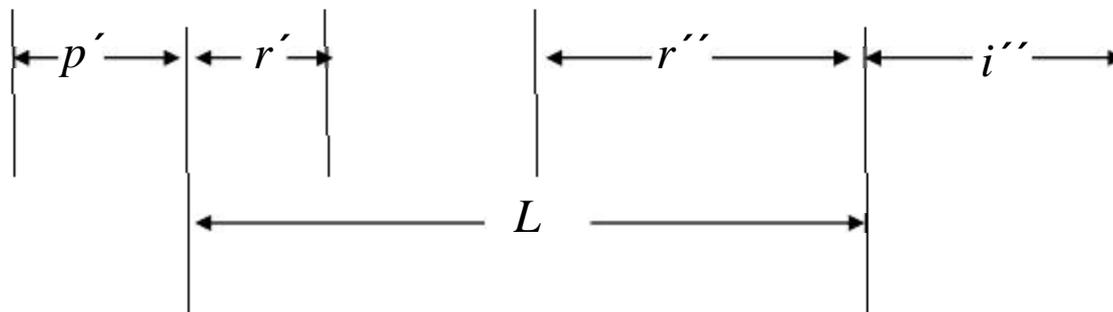
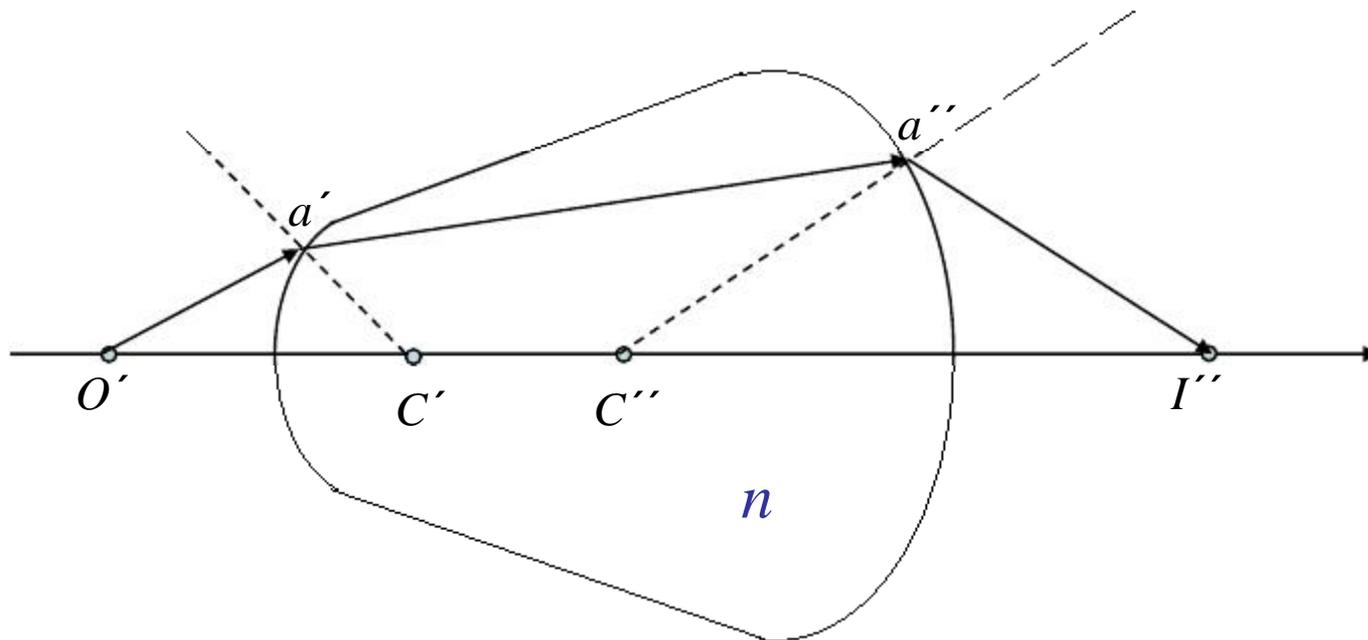
O foco formado pelos raios refratados é chamado F₂. A primeira superfície em que os raios refratam é chamada Superfície 1, com raio de curvatura C₁. O lado direito (saída do raio) da lente é o Lado Real (Lado R) e o lado esquerdo (incidência do raio) é o Lado Virtual (Lado V).

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



Lente divergente
r_1 e f negativos
r_2 positivo

Equação das lentes delgadas



Equação das lentes delgadas (cont.)

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:

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

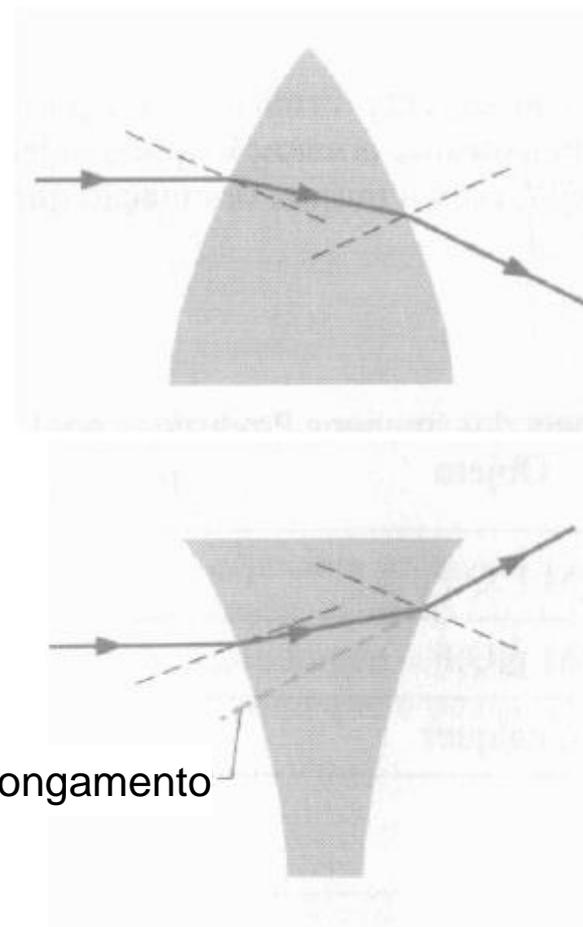
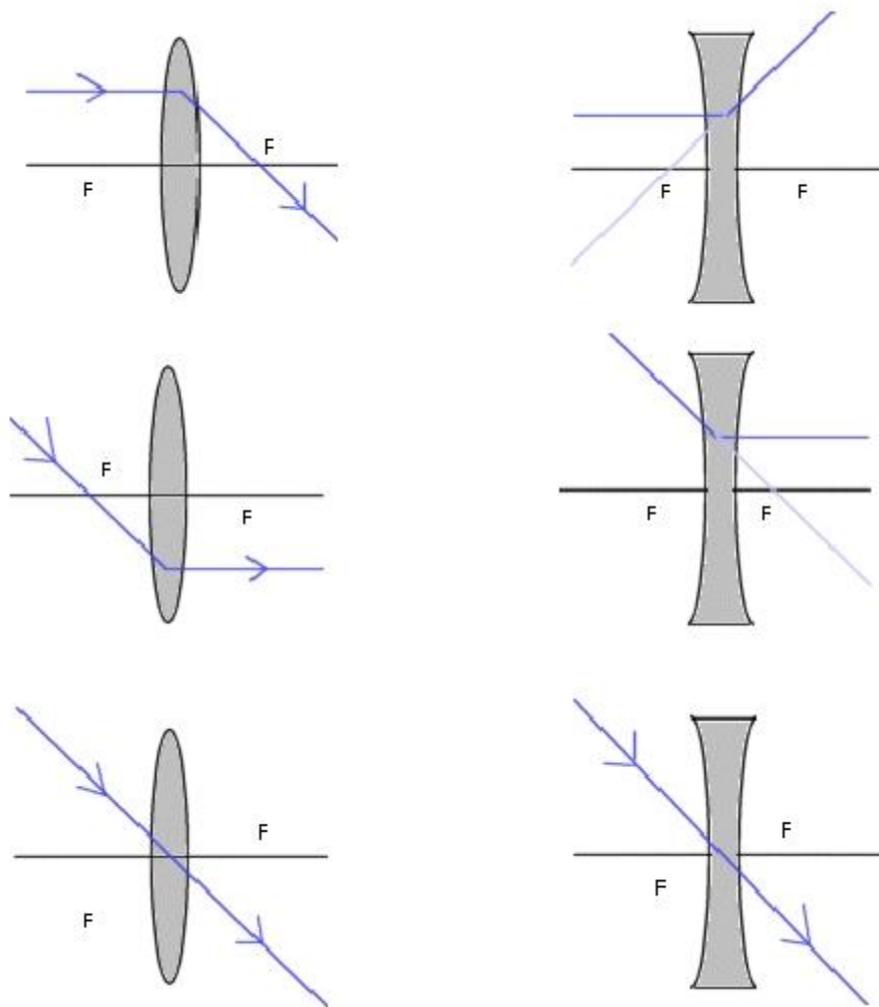
Onde n é o índice de refração do material da lente e o índice de refração do ar foi aproximado para a unidade.

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

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

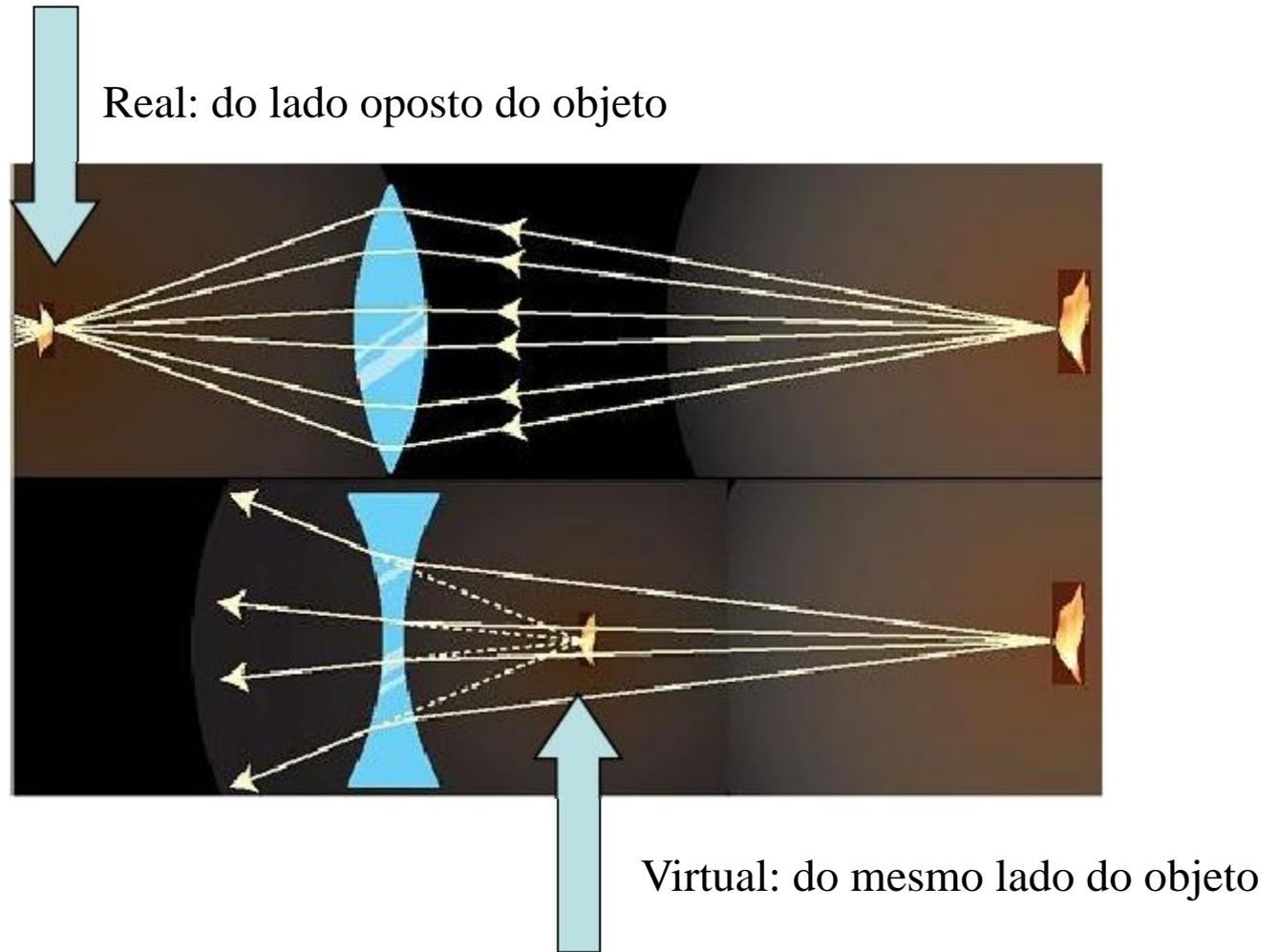
Se a Lente está imersa em um meio com índice de refração diferente da unidade, deve-se substituir n por $\left(\frac{n_{Lente}}{n_{Meio}} \right)$.

Dois tipos de lentes



Atenção: temos dois pontos focais, dois raios de curvatura:
lentes biconvexas e bicôncavas

Imagens de lentes



Geração de imagens por lentes delgadas

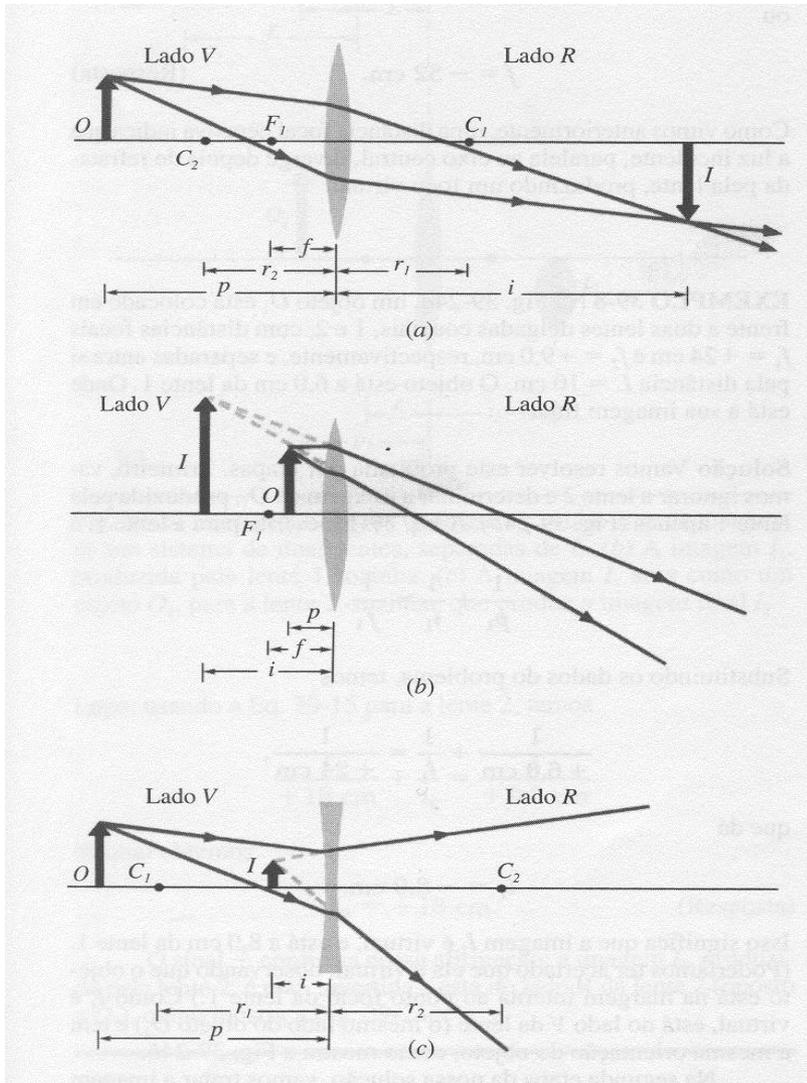


Fig. 39-22 (a) Uma lente convergente forma uma imagem real, invertida, I , quando o objeto O está além do ponto focal F_1 . (b) Quando O está entre o ponto focal e a lente, a imagem I é virtual e tem a mesma orientação de O . (c) Uma lente divergente forma uma imagem virtual I , do objeto O , com a mesma orientação de O , se este está além do ponto focal da lente ou entre esse ponto e a lente.

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

“Sites” interessantes

<http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/lenseshome.html>

http://ephysics.physics.ucla.edu/physlets/1.1/elenses_and_mirrors.htm

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/>

Sistema de lentes

Podemos combinar duas ou mais lentes:

- A imagem da primeira é tratada como o objeto da segunda.
- Se esta imagem encontra-se atrás da segunda lente então temos um objeto virtual, ou seja, $p < 0$ para a segunda lente.
- A ampliação total é o produto das ampliações individuais:

$$M = m_1 m_2 \dots m_n$$

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.

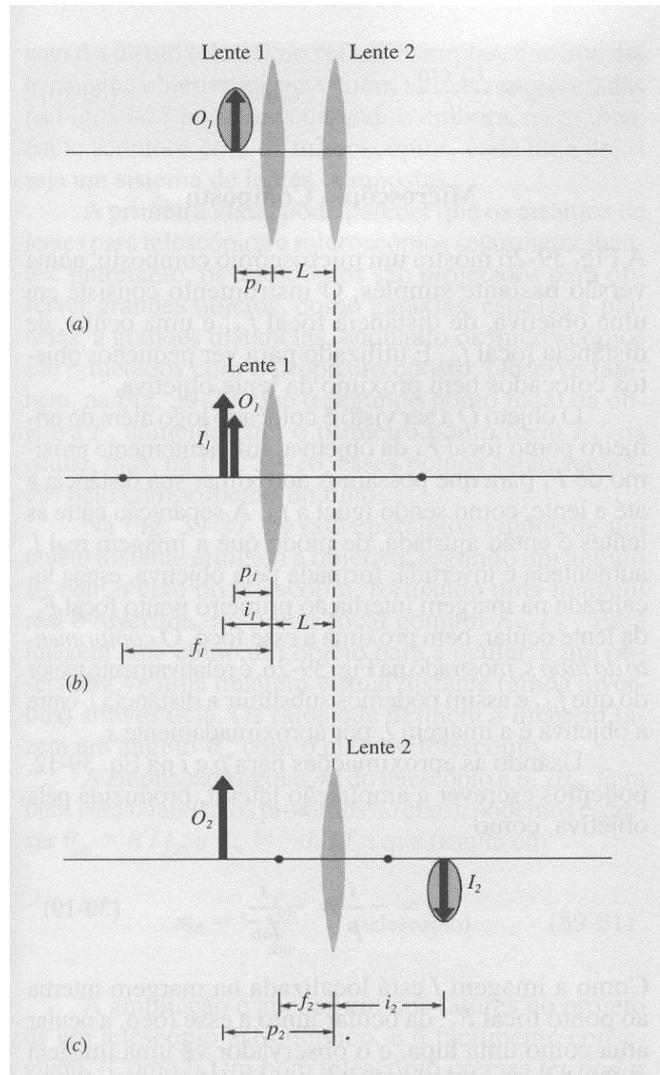
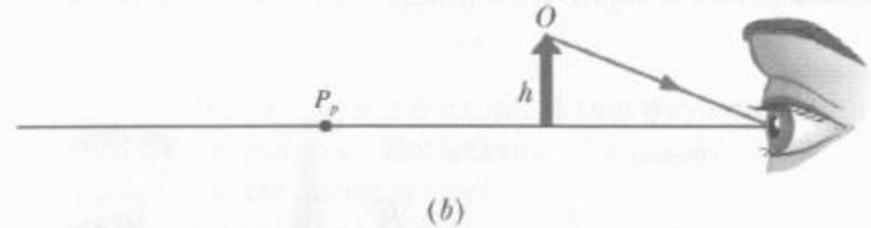
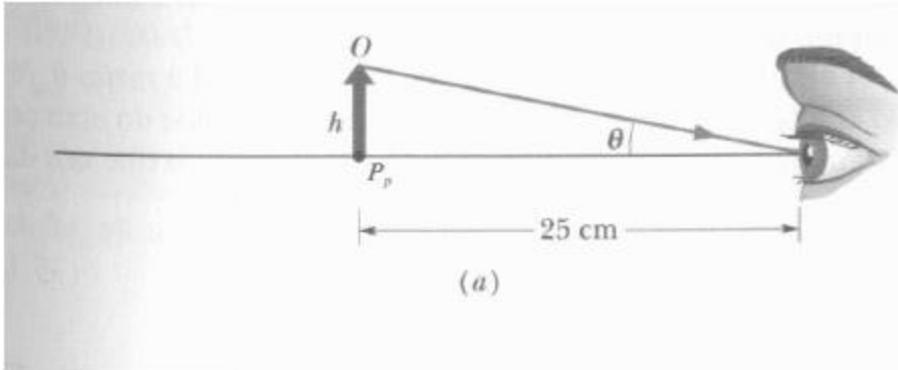


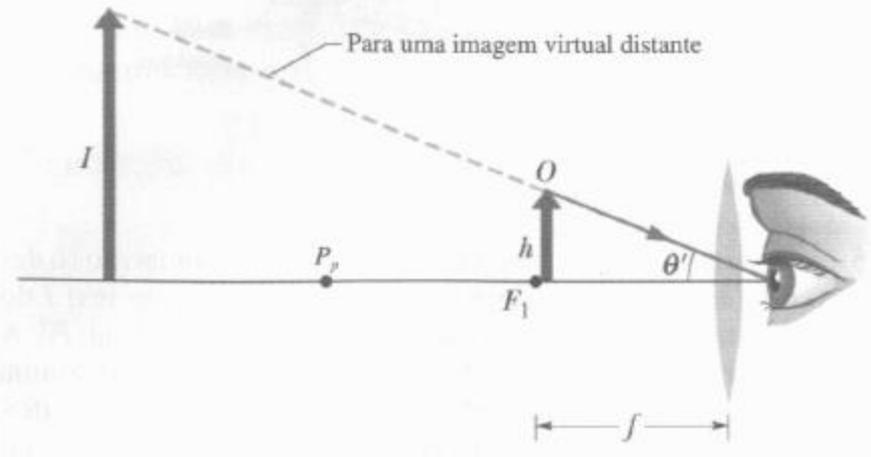
Fig. 39-24 Exemplo 39-8. (a) O objeto O_1 está a uma distância p_1 de um sistema de duas lentes, separadas de L . (b) A imagem I_1 , produzida pela lente 1 sozinha. (c) A imagem I_1 atua como um objeto O_2 , para a lente 2, sozinha, que produz a imagem final I_2 .

Instrumentos Ópticos

Lente de aumento simples (Lupa):



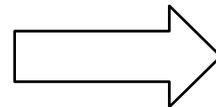
Definindo a ampliação angular:
 $m_\theta = \theta' / \theta$



Para pequenos ângulos temos:

$$\theta \simeq \text{tg}\theta = h/25\text{cm}$$

$$\theta' \simeq \text{tg}\theta' = h/f$$



$$m_\theta \simeq \frac{25\text{cm}}{f}$$

Instrumentos Ópticos

Câmeras fotográficas:

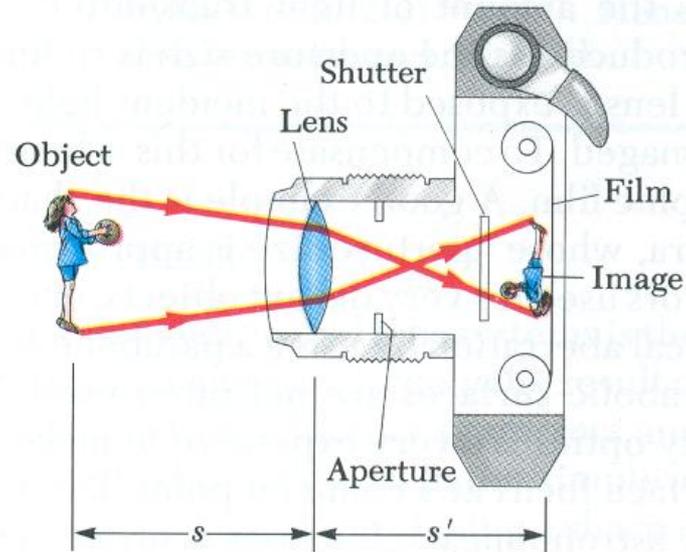
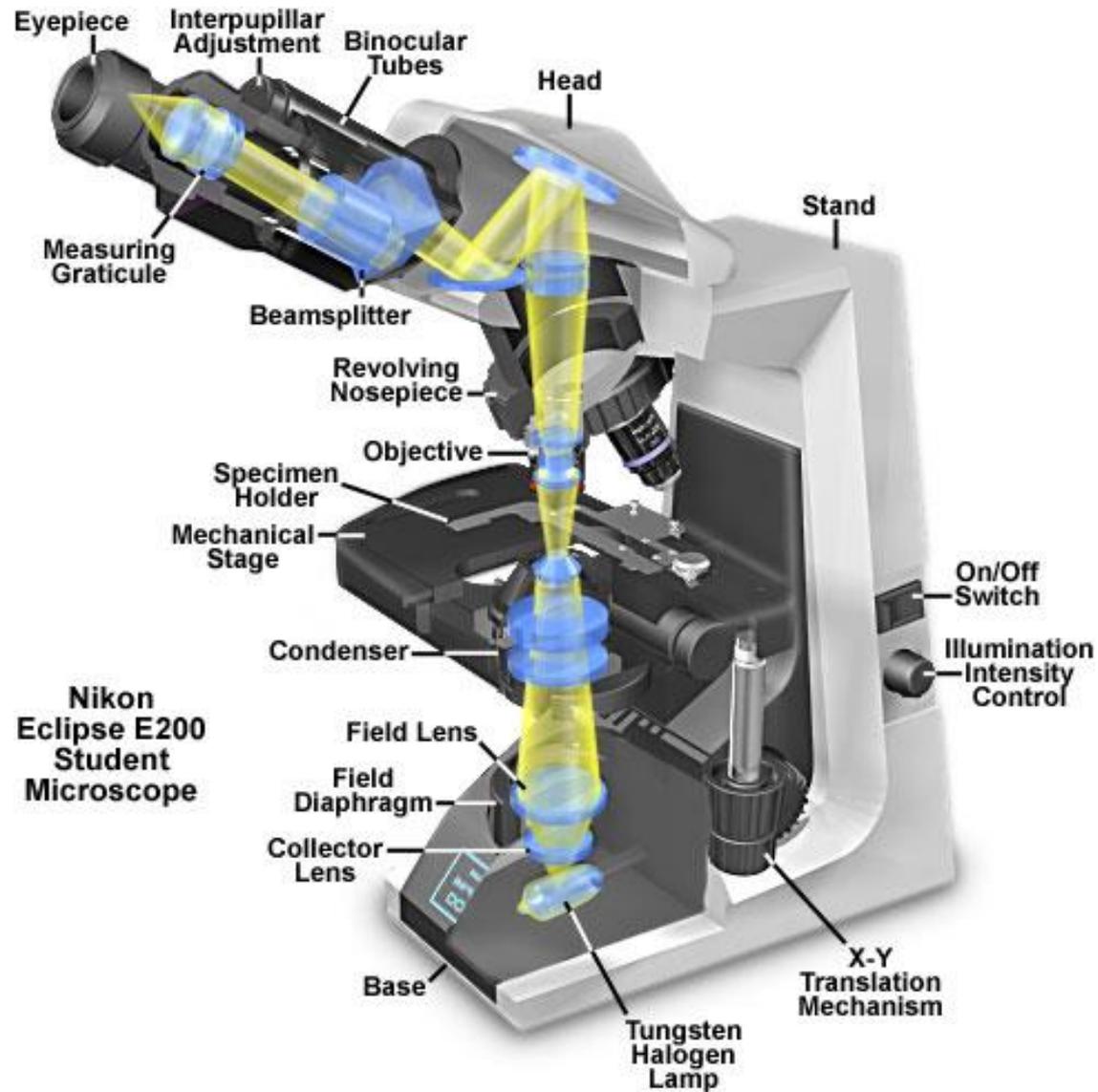


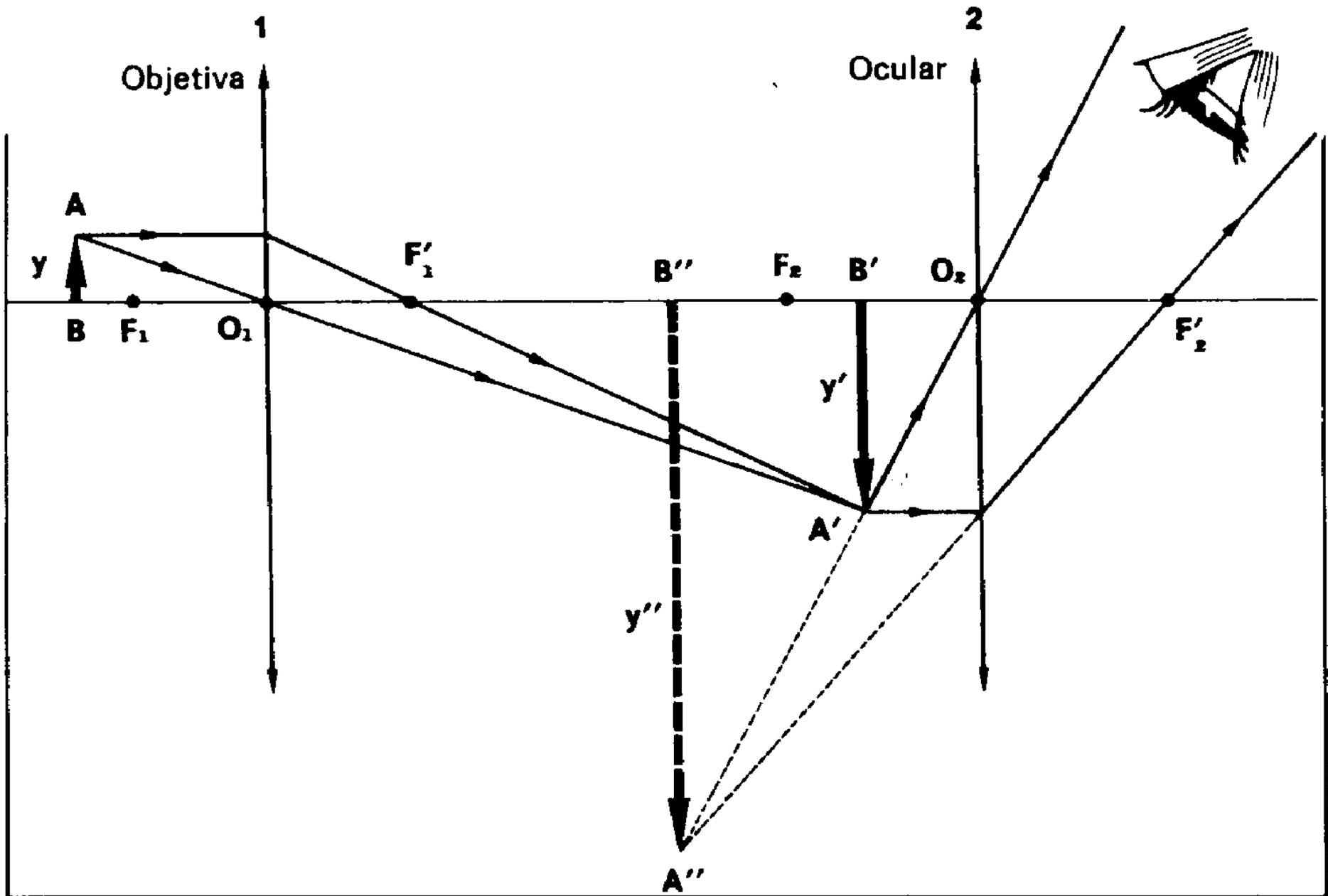
Figure 36.23 Cross-sectional view of a simple camera. Note that in reality, $s \gg s'$.

Microscópio composto



Pra que serve?

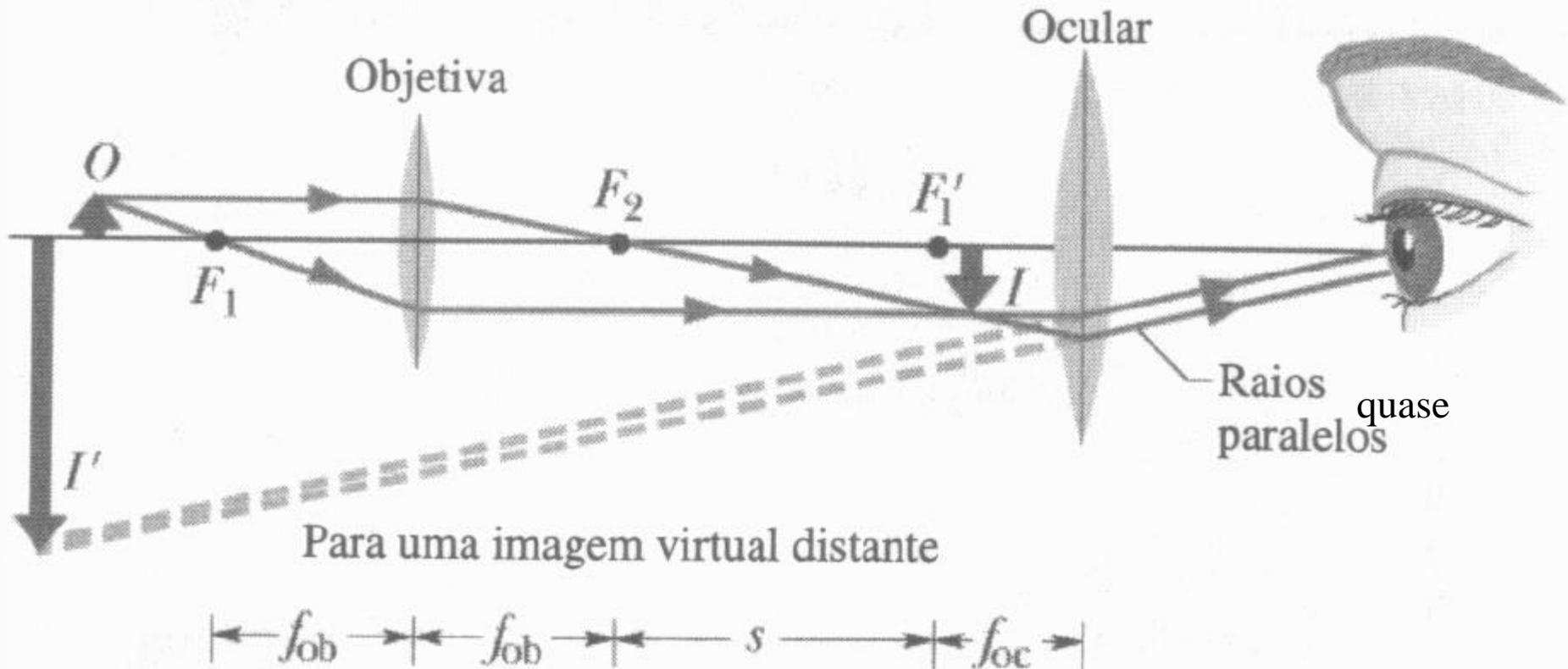
- ❖ Serve para ampliar um objecto.
- ❖ Funciona com um conjunto de lentes (ocular e objectiva) que ampliam a imagem.
- ❖ A Iluminação é natural ou artificial.
- ❖ É constituído por uma parte mecânica que suporta e permite controlar uma parte óptica que amplia as imagens.



Microscópio composto:

$$m^{ob} = -\frac{i}{p} \approx -\frac{s}{f_{ob}}$$

$$M_{\theta} = m^{ob} m_{\theta}^{oc} = -\frac{s}{f_{ob}} \frac{25cm}{f_{oc}}$$



Telescópio

Dispositivo capaz de captar e focar radiação eletromagnética proveniente de objetos distantes para formação de imagens e estudo desses objetos.



Breve História do Telescópio

Hans Lippershey (1570-1619): introdução do telescópio



Hans Lippershey
(1570-1619)



Galileu Galilei (1609): telescópio como instrumento astronômico.

Isaac Newton (1704): telescópios refletores.



O primeiro telescópio



6. Luneta astronómica de Galileu.

Com esta luneta (o primeiro telescópio), Galileu observou a superfície rugosa da Lua e descobriu quatro satélites de Júpiter.

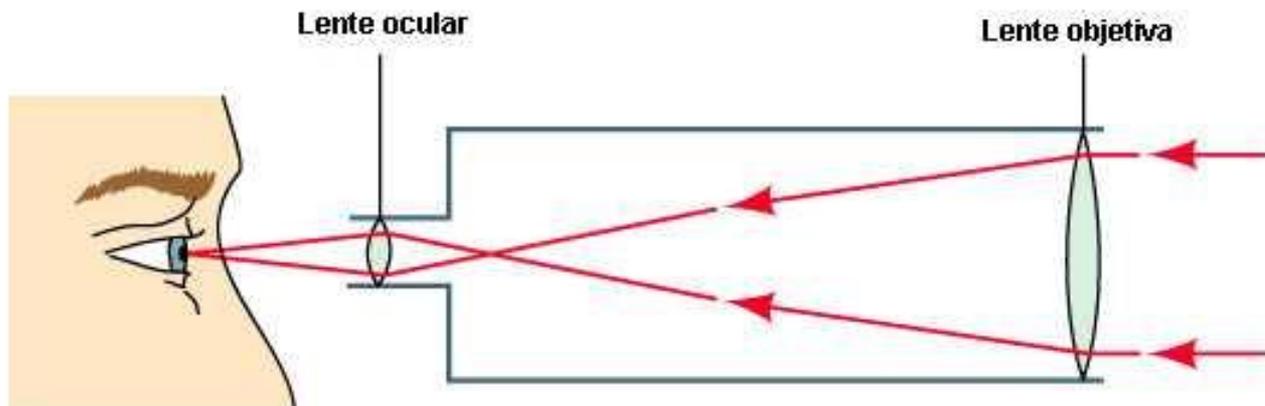
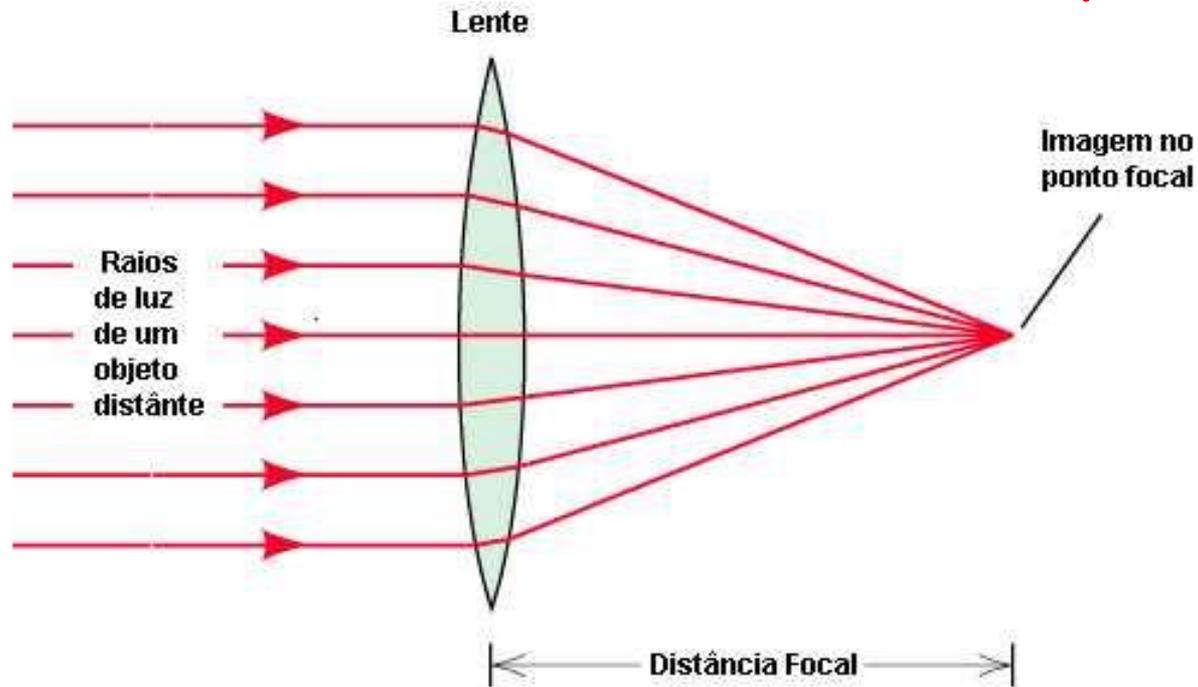


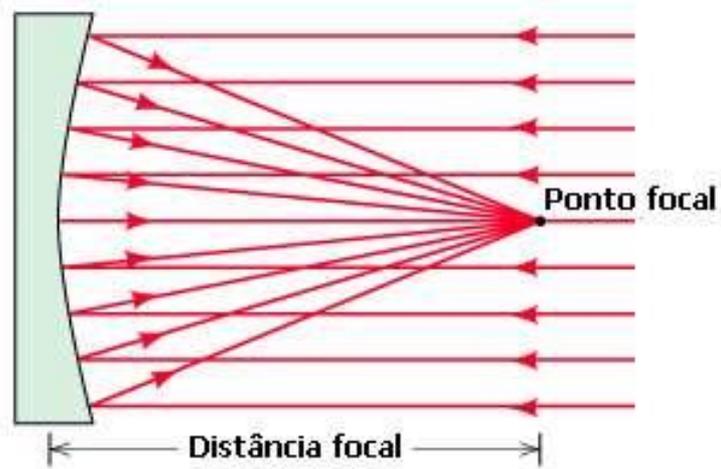
Telescópio Refletor



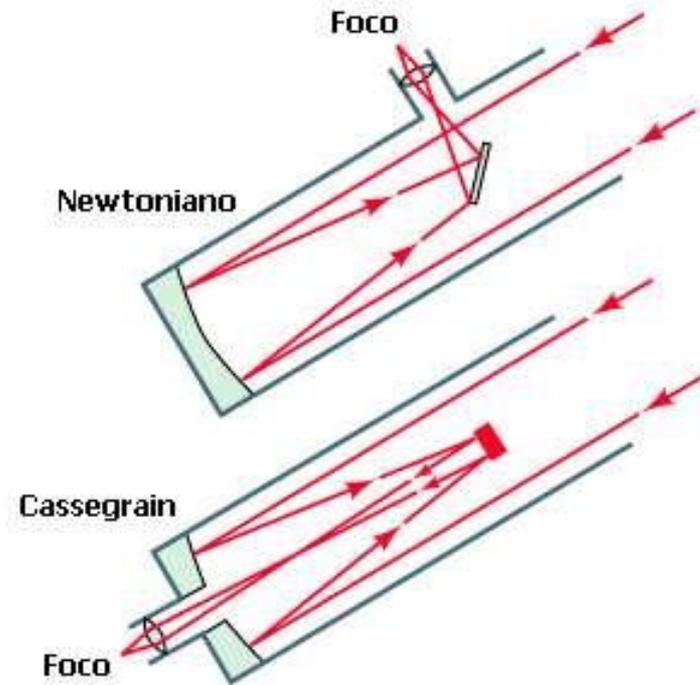
Telescópio Refrator

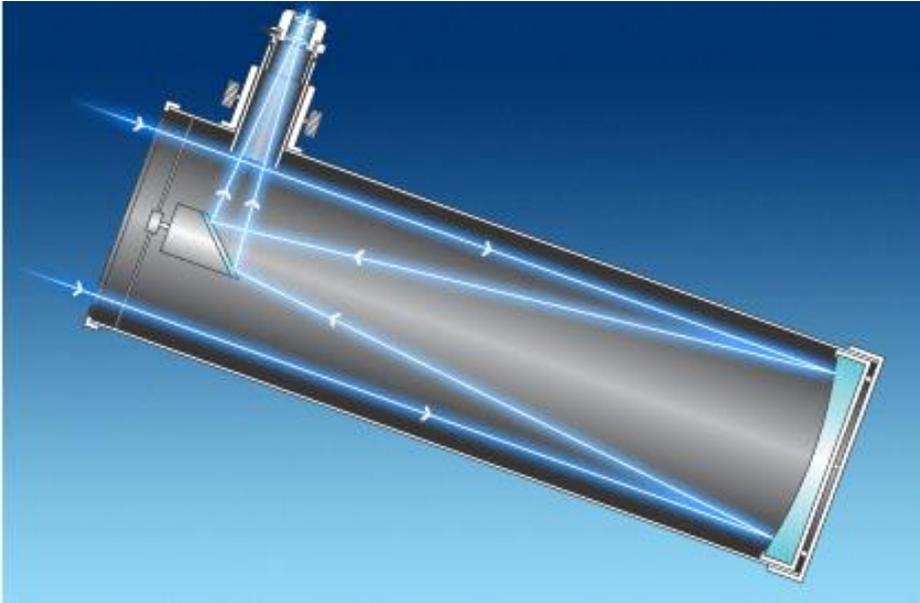
Como funcionam os telescópio?





Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.



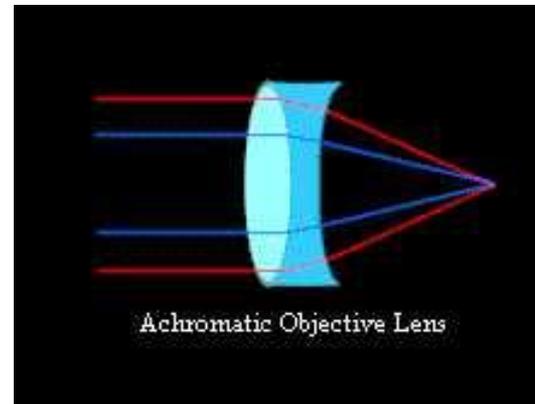
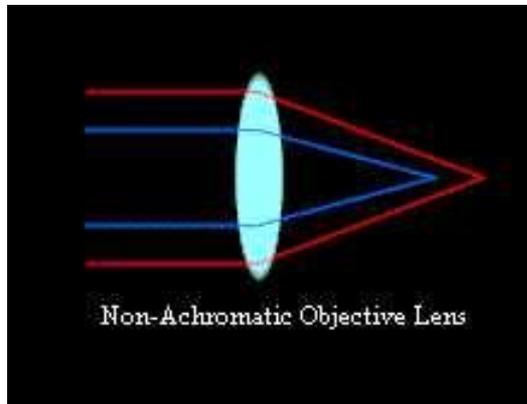


Telescópio Refletor

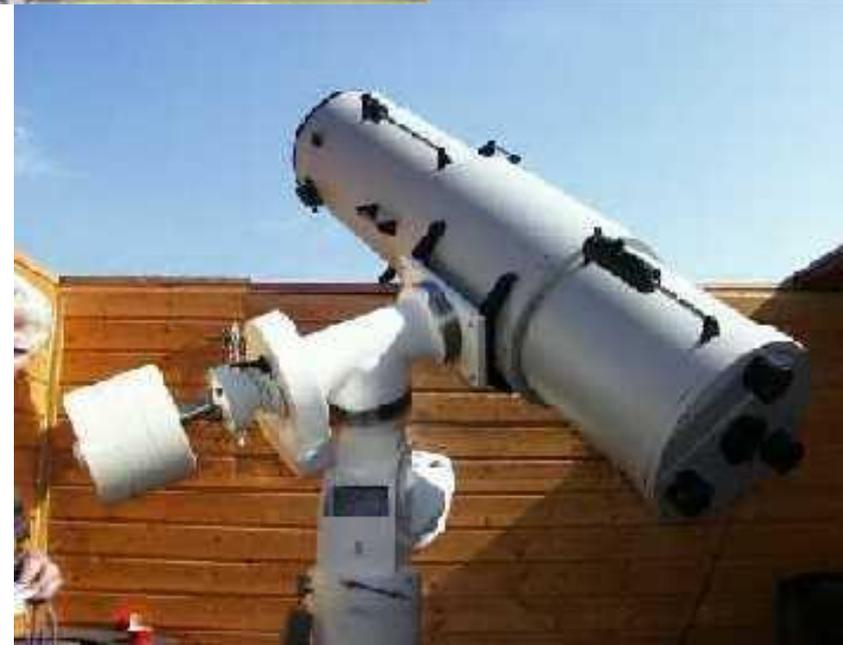
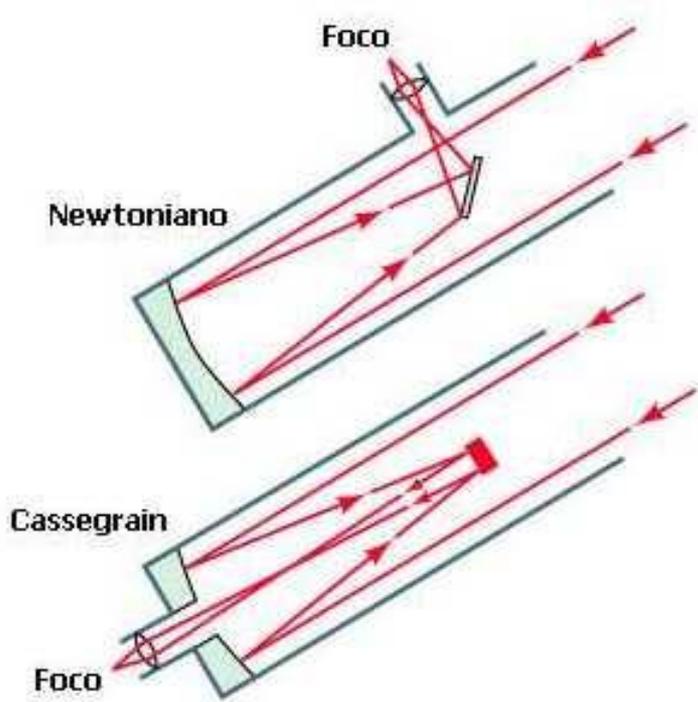


Telescópio Refrator

Refractores

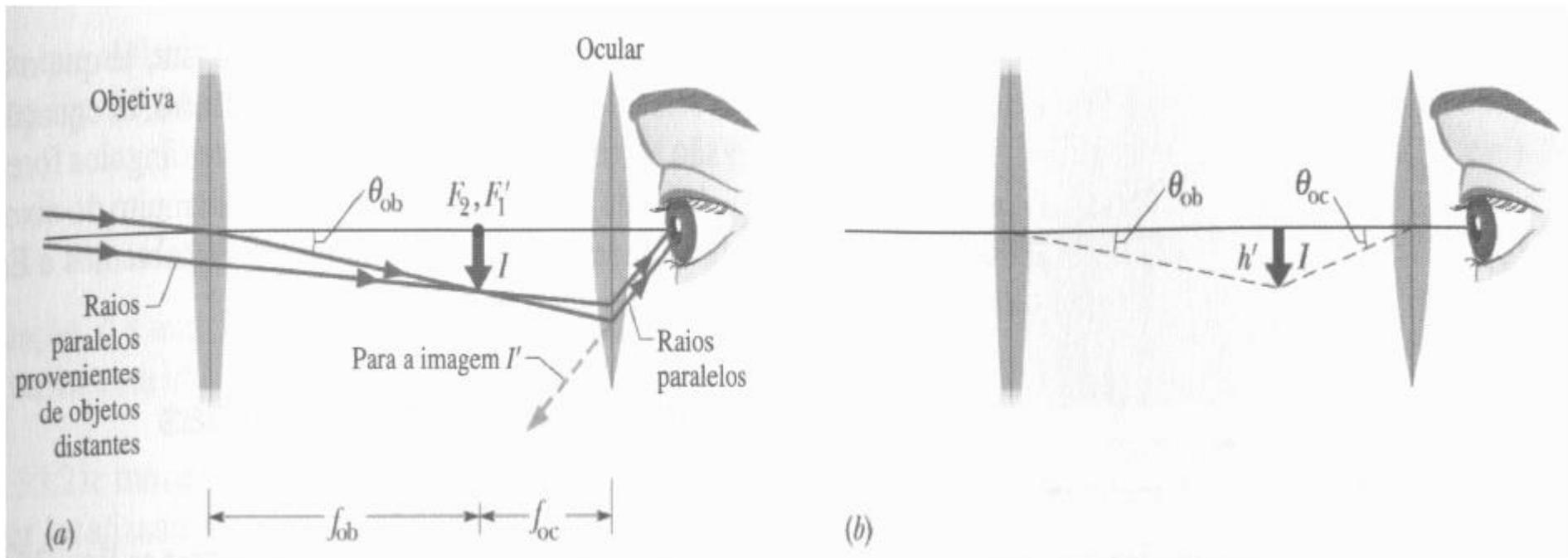


Refletores



Telescópio refrator:

$$m_{\theta} = -\frac{\theta_{oc}}{\theta_{ob}} \simeq -\frac{h'/f_{oc}}{h'/f_{ob}} = -\frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$



O aumento do telescópio



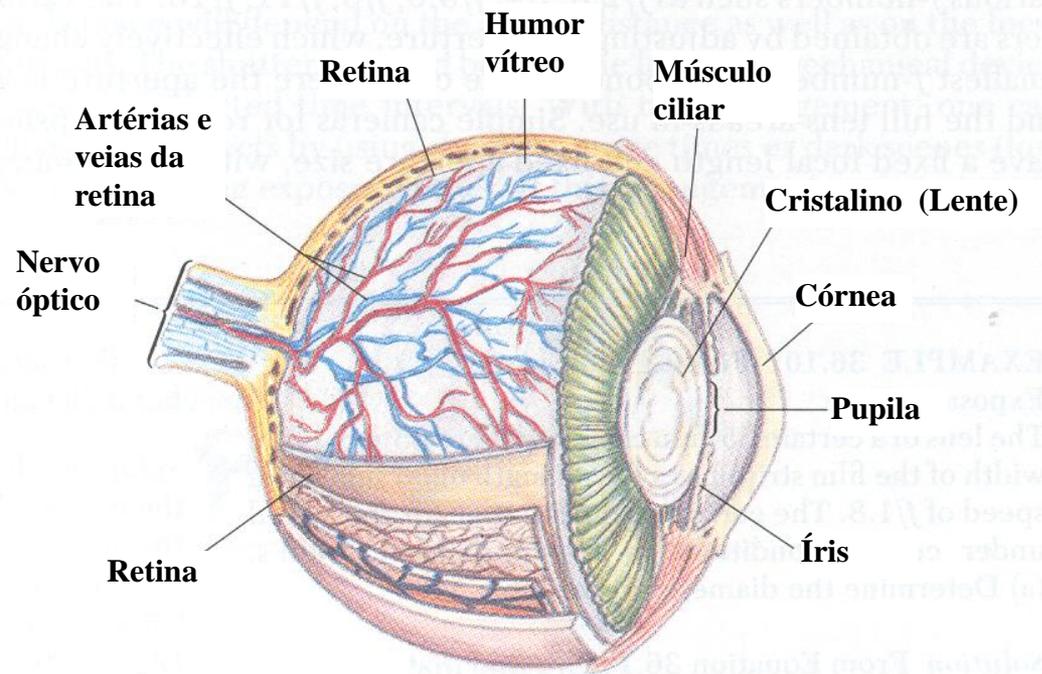
$$\text{Aumento} = \frac{\text{Distância focal da objetiva}}{\text{Distância focal da ocular}}$$

Exemplo: telescópio com distância focal da objetiva de 1 metro e ocular de distância focal de 10mm

$$\text{Aumento} = \frac{1000\text{mm}}{10\text{mm}} = 100 \text{ vezes}$$

Relação focal (F/d): distância focal da objetiva dividida pelo diâmetro

Instrumentos ópticos: o olho humano



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

Instrumentos ópticos: o olho humano

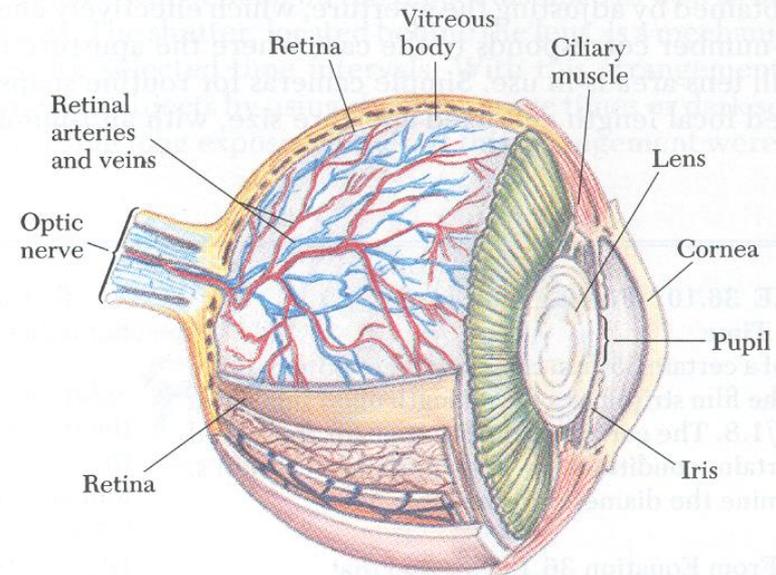
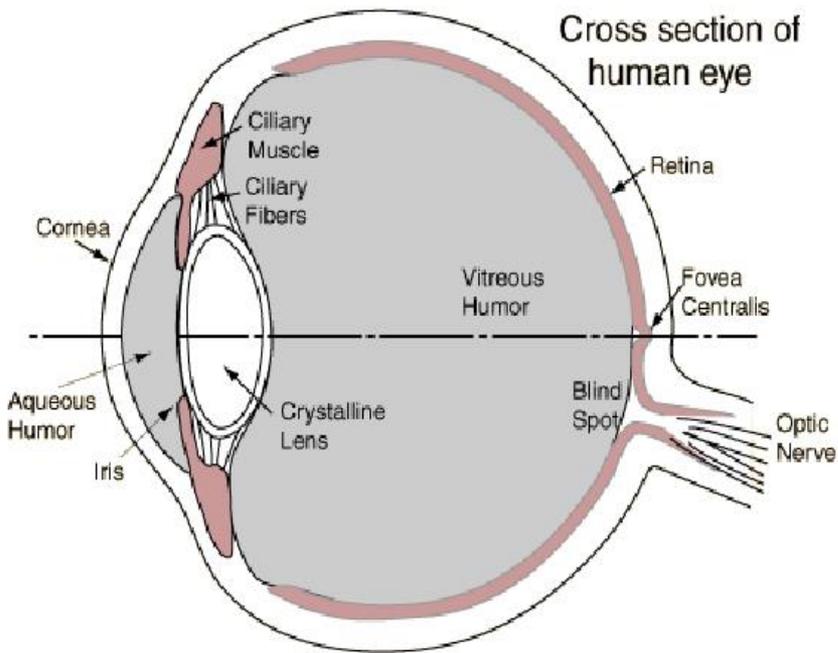
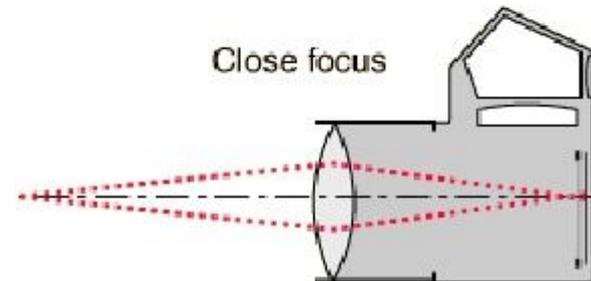
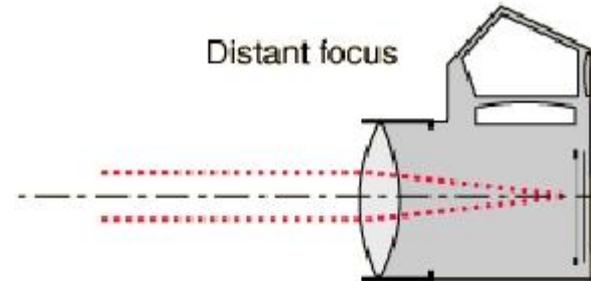
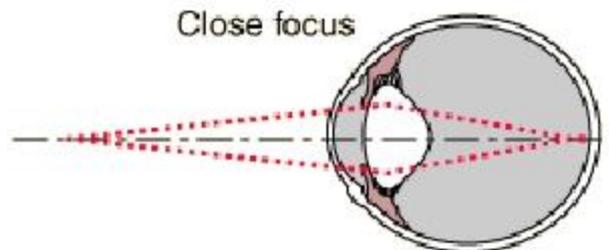
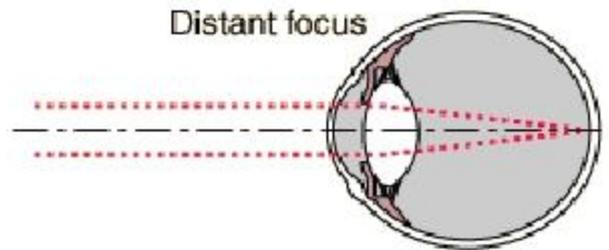
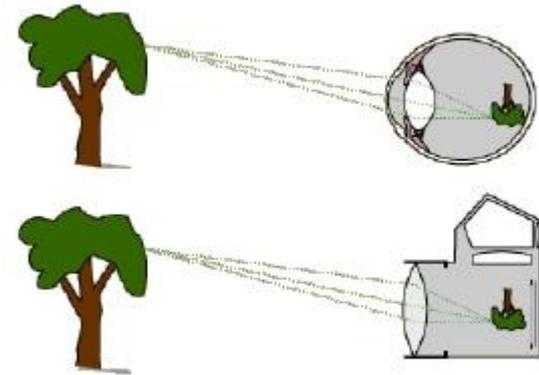


Figure 36.24 Essential parts of the eye. Note the similarity between the eye and the simple camera. Can you correlate the parts of the eye with those of the camera?

Comparação entre o olho e uma câmera



http://ephysics.physics.ucla.edu/physlets/1.1/elenses_and_mirrors.htm

Problemas de visão

