



# Apontamentos aula nº3

Elementos de Física II



**BETTER MINDS**  
De estudantes para estudantes

## Lentes delgadas

Por definição, uma lente é um meio ótico transparente, limitado por duas superfícies refratoras que possuem um eixo ótico comum.

Vamos estudar apenas o caso especial das denominadas lentes delgadas ou finas.

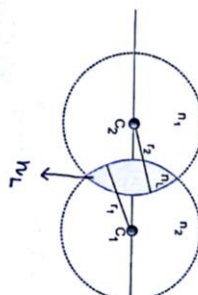
Este tipo de lentes é caracterizado por a distância objeto  $s$ , a distância imagem  $s'$ , e os raios de curvatura  $r_1$  e  $r_2$  são muito maiores que a espessura da lente.

A lente tem um índice de refração  $n_L$  característico do vidro de que é fabricada. Caso a lente esteja no ar  $n_1 = n_2 = 1$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{n_L - n_1}{r_1} + \frac{n_2 - n_L}{r_2}$$



Santiago Reyes Cortes 2022-2023



500 g lentes imaginárias

$$P = \frac{1}{f} \text{ (D)}$$

dioptria

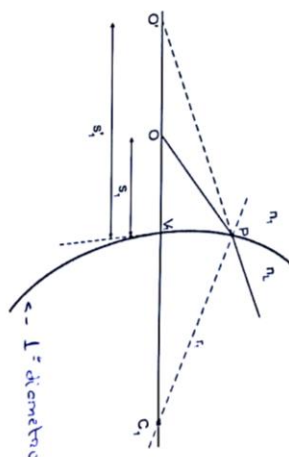
## Lente delgada

É tratada como dois dióptros esféricos

Primeira superfície

$$\frac{n_1}{s_1} + \frac{n_L}{s'_1} = \frac{n_L - n_1}{r_1} \quad (\text{eq. 34})$$

O' é a imagem de O dada pelo primeiro dióptro



Santiago Reyes Cortes 2022-2023

## UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

### Primeira superfície

$$\frac{n_1}{s_1} + \frac{n_L}{s'_1} = \frac{n_L - n_1}{r_1}$$

Usando as condições

$t \approx 0 \rightarrow$  Aproximação das lentes delgadas

$$s'_1 = -s_2$$

$$n_1 = n_2 = n$$

### Segunda superfície

$$\frac{n_L}{s_2} + \frac{n_2}{s'_2} = \frac{n_2 - n_L}{r_2}$$

$$\frac{n}{s_1} + \frac{n}{s_2} = \frac{n_L - n_1}{r_1} + \frac{n_2 - n_L}{r_2}$$

$$\frac{n_L}{s_2} + \frac{n_2}{s_2} = \frac{n_2 - n_L}{r_2}$$

$$s_2 = s'_1 + t$$

$$\frac{n_L}{s_1 + t} + \frac{n_2}{s_2} = \frac{n_2 - n_L}{r_2} \quad (\text{eq. 35})$$

Santiago Reyes Cortes 2022-2023



BETTER MINDS

Be a better mind for evolution

Equação do fabricante de lentes

No ar  $\rightarrow n = 1$

$$\frac{1}{f} = (n_L - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{eq. 36})$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

(eq. 37)

Santiago Reyes Cortes 2022-2023

Equação do fabricante de lentes

# UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Dependendo do sentido da curvatura das superfícies refrativas podemos ter diferentes tipos de lentes  
Uma lente é um corpo transparente, limitado por duas superfícies refrativas com um eixo central comum

**Lentes convergentes →**  
*foco real*



bicôncava

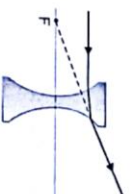


plano-côncava

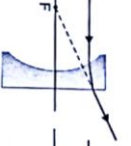


menisco positivo

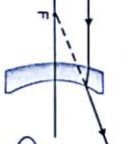
**Lentes divergentes →**  
*foco virtual*



bicôncava



plano-côncava



menisco negativo



BETTER MINDS

De estudantes para estudantes

## UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

dos sinais de uma lente convergente

focal da lente é real, logo  $f > 0$  e o lado  
da eq. 38 é positivo

que se passa do lado direito da eq. 38

a refração de um vidro ou de qualquer  
sempre maior que 1, logo esta quantidade  
positiva

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

(eq. 38)

lentes convergentes  
tem distância focal  
positiva

$$(n-1)$$

índice de refração  
é negativo

lente colocada a frente da lente (muito distante), →  
primeira superfície de raio de curvatura  $r_1$  que  
é acordo com a convenção do slide 51,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}$$

o raio da 1ª superfície  
é sempre positivo

encontramos a superfície côncava de raio  
que de acordo com a convenção do slide 51,  
relativo que o termo do lado direito da eq. 38 é  
positivo. Quer dizer que os sinais estão corretos.

positiva

Santiago Reyes Cortes 2022-2023

# UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Ponto focal de uma lente bicôncava

A figura mostra uma lente bicôncava.

Um feixe de raios paralelos sofre duas refrações, a primeira refração  
na superfície frontal e a segunda refração na superfície posterior.

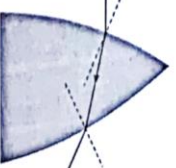
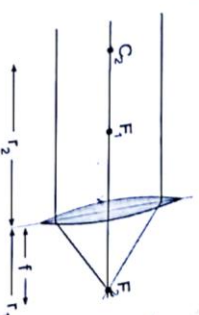
A dupla refração, faz os raios convergirem para um ponto comum  $F_2$ ,  
denominado ponto focal. A distância do vértice ao ponto focal é  
denominada distância focal  $f$ .

Trata-se de uma lente convergente

Os raios ao formar imagem, intersectam o eixo óptico → foco real

Quando os raios paralelos incidem do lado oposto, convergem no ponto  $F_1$ ,  
à mesma distância do vértice  $V$ .

Tal como no dióptro esférico imagens reais são positivas  
→ distância focal positiva em lentes convergentes



Raios → foco negativo  
converge → foco positivo

## UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Ponto focal de uma lente bicôncava

A figura mostra uma lente bicôncava.

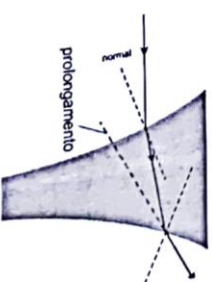
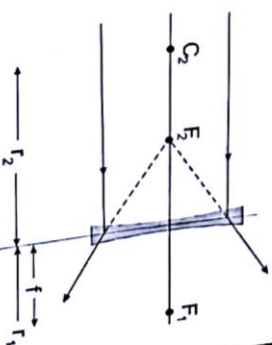
Um feixe de raios paralelos sofre duas refrações, a primeira refração  
na superfície frontal e a segunda refração na superfície posterior.

A dupla refração, faz os raios divergiem, trata-se assim de uma  
lente divergente. O prolongamento dos raios refratados intersectam  
um ponto comum, denominado ponto focal.

A distância do vértice ao ponto focal é denominada distância focal  $f$ .

São os prolongamentos que intersectam o eixo óptico, logo é um  
ponto focal virtual

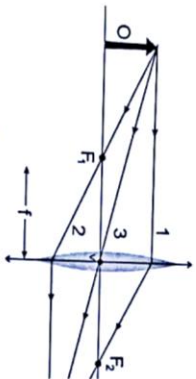
Tal como no dióptro esférico imagens virtuais são negativas  
→ distância focal negativa em lentes divergentes



Santiago Reyes Cortes 2022-2023

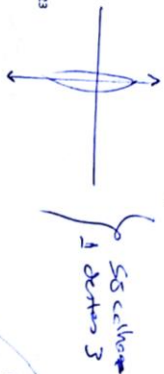
# Construção da imagem em lentes convergentes I

1. Raios que incidem na lente paralelos ao eixo convergem para o segundo ponto focal ( $F_2$ ).
2. Raios que incidem na lente passando pelo primeiro ponto focal ( $F_1$ ) emergem da lente paralelos ao eixo ótico.
3. Raios que incidem na lente passando pelo vértice emergem da lente sem sofrer desvio.



lente convergente  
 $f > 0$

lente divergente  
 $f < 0$



Santiago Reyes Cortes 2022-2023

## Construção da imagem em lentes divergentes

1. Raios que incidem na lente paralelos ao eixo divergem, de tal maneira que o seu prolongamento passa pelo segundo ponto focal ( $F_2$ ).
2. Raios que incidem na lente, de maneira que o seu prolongamento passa pelo primeiro ponto focal ( $F_1$ ) emergem da lente paralelos ao eixo ótico.
3. Raios que incidem na lente passando pelo vértice, emergem da lente sem sofrer desvio.

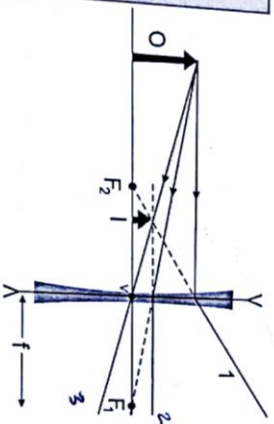


imagem virtual, direita e reduzida

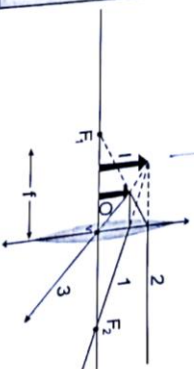


BETTER MINDS

Santiago Reyes Cortes 2022-2023

# Construção da imagem em lentes convergentes II

1. Raios que incidem na lente paralelos ao eixo convergem para o segundo ponto focal ( $F_2$ ).
2. Raios que incidem na lente, de maneira que o seu prolongamento passa pelo primeiro ponto focal ( $F_1$ ) emergem da lente paralelos ao eixo ótico.
3. Raios que incidem na lente passando pelo vértice, emergem da lente sem sofrer desvio.



$$m = -\frac{s'}{s}$$

$$m = -\frac{m_1}{m_2} = \frac{s'}{s}$$

Santiago Reyes Cortes 2022-2023

## Construção da imagem num sistema de duas lentes convergentes

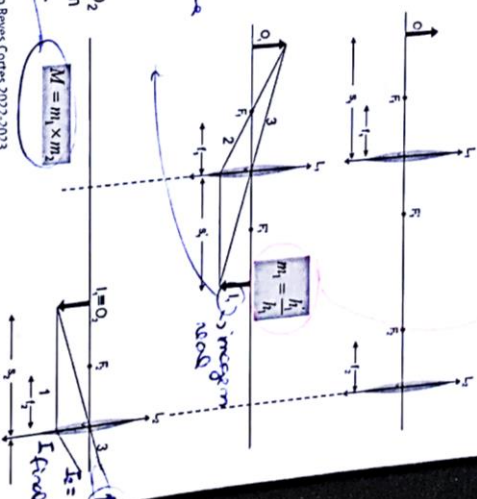
A figura mostra um sistema de duas lentes convergentes e um objeto O

Selecione apenas a primeira lente e construamos a respetiva imagem

Seja o objeto para a 1ª lente

A imagem  $I_1$  dada pela primeira lente serve de objeto  $O_2$  para a segunda lente. Construamos a respetiva imagem que vai ser a imagem final do sistema das duas lentes.

Santiago Reyes Cortes 2022-2023



ampliação total

## O microscópio composto

O instrumento é constituído por uma **objetiva** a lente mais próxima do objeto de distância focal  $f_{ob}$  e uma ocular a lente mais próxima do olho de distância focal  $f_{oc}$ .

O microscópio serve para observar objetos pequenos junto da objetiva

O objeto O é colocado ligeiramente mais distante que  $F_1$ , mas que verifique  $s_o \approx f_{ob}$

A imagem dada pela objetiva é ampliada e invertida, situada muito próxima de  $F'_1$ , por forma a servir de objeto para a ocular e formar imagem no infinito (como uma lupa). Assim o observador vê uma imagem ampliada, virtual e afastada,

O comprimento do tubo  $g$  é tal que  $g \gg f_{ob}$  logo  $s_1 \approx g$

A ampliação lateral da objetiva é:

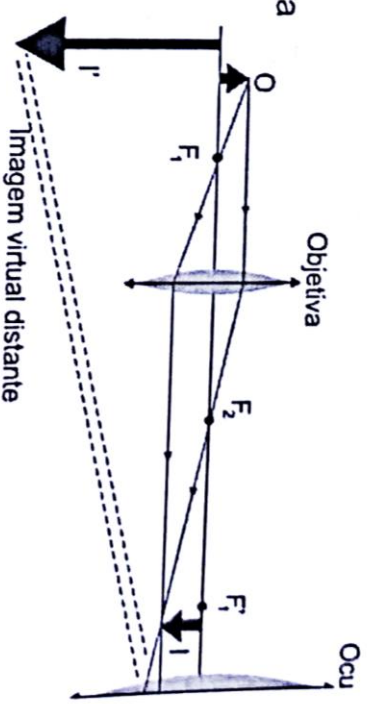
$$m = -\frac{s'_1}{s} = -\frac{g}{f_{ob}} \quad (\text{eq. 41})$$

A ampliação angular da ocular é:  
(cf. Slide 69)

$$m_\theta = \frac{25}{f_o}$$

A ampliação total do microscópio:

$$M = m \times m_\theta = -\frac{g}{f_{ob}} \frac{25 \text{ cm}}{f_{oc}} \quad (\text{eq. 43})$$



$$m = -\frac{s'_1}{s}$$

$$m = -\frac{m_1}{m_2} = \frac{s'_1}{s}$$

Santiago Reyes Cortes 2022-2023