



Apontamentos aula nº1

Elementos de Física II



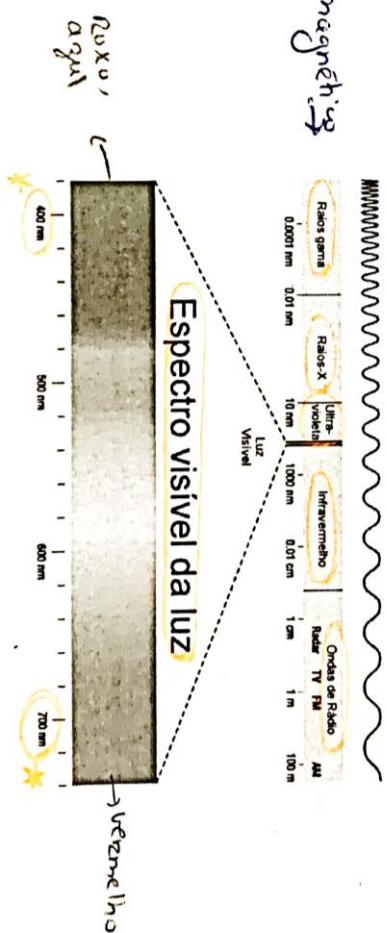
BETTER MINDS
De estudantes para estudantes

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Espectro visível da luz

Espectro eletromagnético

$$\lambda \cdot 4nm = 40^{-3}m$$



Santiago Reyes Cortes 2022-2023

A natureza da luz

- Partícula (Teoria Corpuscular), Isaac Newton (1642 – 1727), *Óptica*
Na atualidade aceita-se que a luz é constituída por partículas denominadas fótons
- Eletroeletrônico, Albert Einstein
- Onda (Teoria Ondulatória), Christian Huygens (1629 – 1695), *Traité de la Lumière*
Modelo mais utilizado para explicar as propriedades da luz
- Características ondulatória de luz ficou demonstrada com a observação dos fenômenos de interferência (Young) e difração (Fraunhofer e Fresnel)

ETC → mio piuttosto ombra ad indicare la posizione
propria { ortografia considerata

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

Propagação da luz II

O Principio de Huygens

"Traite de la Lumiere", 1870 por Christian Huygens (físico holandés)

TRAITE
DE LA LVMIERE

12 rue de Valenciennes
 Les bureaux de la revue
 D'ÉLÉMENTS D'ANALYSE
 KINETIQUE
 P. J. J. J. J.
 D'ÉLÉMENTS D'ANALYSE
 KINETIQUE
 P. J. J. J. J.
 D'ÉLÉMENTS D'ANALYSE
 KINETIQUE
 P. J. J. J. J.



One FILM - 1999 A. Michael Brown
WORE

Padrões de interferência



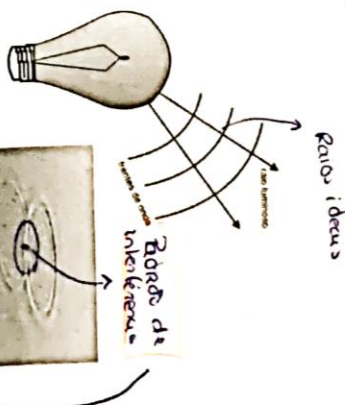
perim: his prauva qda
a bag are una unda

Propagação da luz I

- frentes de onda curvilíneas (óptica ondulatória)
- raios luminosos retilíneos (óptica geométrica)

Note que a **ótica geométrica** é um caso limite da ótica ondulatória, quando o comprimento de onda não pode ser desprezado,

Durante este curso vamos estudar as propriedades da luz em meios ópticos, usando os conceitos da óptica geométrica.



Conclusions
on order

Resposta do corpo tende a
fazer máximas e mínimos
devido a interferência dos 2
ondas

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIORE
ELEMENTOS DE FÍSICA III

Propagação da Luz III

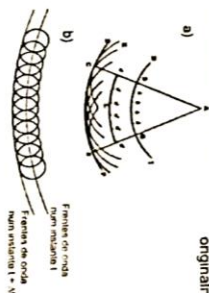
O Princípio de Huygens

Descrição do carácter ondulatório da luz tal como foi originalmente proposto por Huygens

As frentes de onda formam envelopes esféricos de pequenas perturbações esféricas originadas por uma frente de onda anterior

As frentes de onda propagam-se num certo meio com

velocidade de propagação v



Luz → raio luminoso → óptica geométrica

Luz → frente de onda que se propaga → **óptica ondulatoria**

$$v = \frac{\text{space}}{\Delta t}$$

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Velocidade de propagação da luz

Sendo a luz um fenómeno ondulatório, tem uma determinada velocidade de propagação (ref. slide 8).

Esta velocidade depende do meio material onde a luz se propaga, por exemplo água, vidro, gelo, etc.

Existe um limite superior para o valor da velocidade propagação da luz, que é quando a luz se propaga no vácuo.

Este valor constante da velocidade de propagação da luz no vácuo designa-se por c e tem um valor aproximado de:

$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

O valor exato da velocidade de propagação da luz determinado com medições laser é de $c = 2.997924574 \times 10^8 \text{ m/s}$ (Evanson et al. 1973).

O valor da velocidade de propagação da luz no vácuo, foi medido pela primeira vez pelo astrónomo dinamarquês Ole Rømer em 1676, tendo estimado um valor de $c = 2.284 \times 10^8 \text{ m/s}$. Eclipses de lua em Júpiter observados na Terra.

Para distinguir os valores da velocidade em outros meios, que não sejam o vácuo usamos a designação habitual pela letra v . Assim por exemplo designamos a velocidade da luz na água, vidro etc.

$$v_{\text{água}}, v_{\text{vidro}} \dots$$

Santiago Benito Cortés 2022-2023

Eclipse anelar observado na 9
superfície de Júpiter



io → Júpiter
Eclipse anelar em Júpiter
At = 22 min
Eclipse anelar em Júpiter

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Índice de refração da luz → **propriedade da velocidade de propagação da luz num meio** com a velocidade de luz no vácuo

Sabendo que existe um valor máximo e constante para a velocidade de propagação da luz no vácuo, podemos comparar este valor com a velocidade de propagação da luz em outros meios materiais onde a luz se possa propagar.

Definimos assim o **índice de refração da luz n**

$$n = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo } c}{\text{velocidade da luz no meio } v}$$

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{eq. 1})$$

$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ → velocidade de propagação da luz no vácuo é constante

Santiago Benito Cortés 2022-2023

Material	Índice de Refração
Vácuo	1,0000
Air	1,0003
Céu	1,3100
Água	1,3330
Alcool Etílico	1,3600
Vidro Crown	1,5200
Vidro Flint Lúcido	1,5600
Vidro Flint Branco	1,5600
Zircónio	1,9230
Diamante	2,4170
Rutilo	2,9070
Fotoforo de Cálio	3,5000

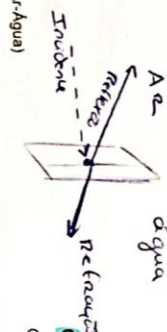
10

- a luz propaga-se mais rápido no vácuo
- vácuo - ausência de ar
- Na ausência de ar, a luz (luz) encontra-se mais rápida, ou seja, a luz vai-se acelerar.

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

A reflexão e refração da luz

- Um feixe de luz incide numa superfície plana (interface ótica), que separa dois meios (Ar-Água)
- Uma parte do feixe "ricocheteia" na superfície (interface) e continua a propagar-se no ar, mas com outra direção → **Reflexão**
- Outra parte do feixe atravessa a superfície (interface) e propaga-se na água mas com mudança de direção → **Refração**

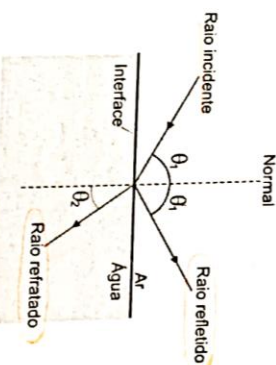


Geometria para reflexão e refração da luz

Quando um raio de luz incide desde um certo meio ótico para outro meio ótico diferente dois fenómenos podem acontecer:

- O raio luminoso incide na superfície de separação e reflete permanecendo mesmo meio → **reflexão da luz**
- O raio luminoso passa de um meio para o outro → **refração da luz**

interface ótica e normal
mudança de direção dos raios refletido e refratado quando a luz passa de um meio para outro



Santiago Benito Cortés 2022-2023

12

A Lei da Reflexão

O Princípio de Fermat ou Princípio do Tempo mínimo (aplicado a um espelho)

Princípio de Fermat → A luz escolhe-se de um ponto para outro seguindo uma trajetória que minimiza o tempo do percurso, mesmo que para isso tenha que desviar-se da reta que une estes dois pontos. Determinamos L aplicando o T. de Pitágoras aos segmentos AP e PB.

$$L = \sqrt{d^2 + x^2} + \sqrt{d^2 + (l-x)^2} \quad (\text{eq. 2})$$

A distância mínima é obtida derivando L em ordem a x tal que

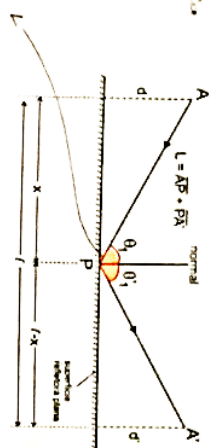
$$\frac{dL}{dx} = \frac{x}{\sqrt{d^2 + x^2}} - \frac{l-x}{\sqrt{d^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad (\text{eq. 3})$$

Considerando os ângulos θ_i e θ_r , vem

$$\sin \theta_i = \sin \theta_r \quad (\text{eq. 4})$$

$$\text{ou } \theta_i = \theta_r \quad (\text{eq. 5})$$

Lei da Reflexão



Lei da Reflexão: Os ângulos de incidência e reflexão, medidos relativamente à normal, são iguais. O raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano.

$$-y'(x) = f'(x) = \frac{dy}{dx} \rightarrow \text{derivada de y em ordem a x}$$

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Espelho plano I - Formação da imagem por um objeto pontual

Espelho → superfície que reflete um raio luminoso em uma dada direção.

Designa-se por verdadeiro ponto definido pela interseção da normal com a superfície refletora.

O → fonte luminosa pontual objeto

I → fonte luminosa pontual imagem

OI' → Distância objeto → s = OI' Objeto Real

I'I' → Distância imagem → s' = I'I' Imagem Virtual

Convenção:

As distâncias dos objetos são sempre positivas

As distâncias das imagens são:

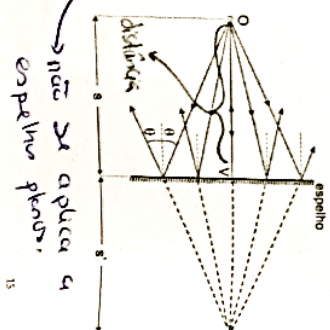
Positivas se a imagem for real → s' > 0

Negativas se a imagem for virtual → s' < 0

No caso representado na figura (espelho plano), é correto escrever:

$$s = |s'| \quad \text{ou} \quad s = -s'$$

Santiago Reyes Cortes 2012-2013



Formação da imagem numa superfície refletora plana

Para um observador os pontos objeto A e B, refletidos no espelho, parecem provir dos pontos imagem A' e B'.

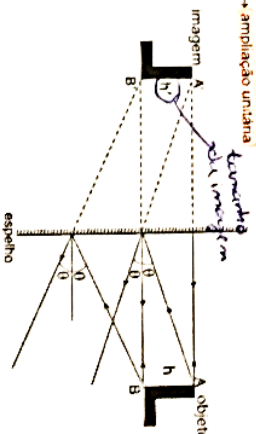
Os pontos objeto e pontos imagem estão à mesma distância do espelho.

O tamanho da imagem e igual ao tamanho do objeto → **ampliação unitária**

$$h = \sqrt{A'B'} \rightarrow \text{tamanho objeto}$$

Definimos ampliação m, a razão entre o tamanho do objeto e o tamanho da imagem

$$|m| = \frac{h'}{h} \quad (\text{eq. 6})$$



Note que a imagem é formada a partir do prolongamento dos raios refletidos, na parte de trás do espelho → Dizemos que esta imagem é virtual

→ sempre que há prolongamentos

Santiago Reyes Cortes 2012-2013

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR ELEMENTOS DE FÍSICA II

Espelho plano II - Formação da imagem por um objeto extenso

Construção da imagem

Trazemos raios a partir do objeto real.

Cada um destes raios, ao incidir e refletir no espelho, deve verificar a lei da reflexão.

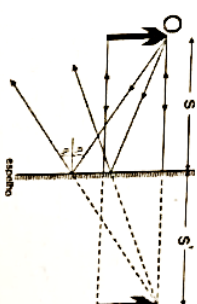
$$\rightarrow \theta_i = \theta_r \quad \text{O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão}$$

A imagem é constituída a partir do prolongamento dos raios refletidos

→ Imagem virtual

$$s = |s'| \quad \text{ou} \quad s = -s'$$

Continua a verificar-se:



Santiago Reyes Cortes 2012-2013

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

Espelhos esféricos III

Formação da imagem por um **espelho esférico côncavo**

Mais uma vez traçamos raios incidente, no espelho côncavo, a partir do objeto. O respetivo raio refletido junto com o raio incidente devem verificar a lei da reflexão.

$\rightarrow \theta_i = \theta_r$ O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão

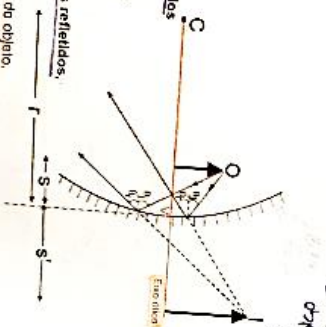
Mais uma vez a intersecção do prolongamento dos raios refletidos formam a respetiva imagem

Chamamos eixo ótico à linha central que passa pelos pontos C e V

As distâncias r , s e s' são medidas a partir do vértice V

Pelo fato de a imagem ser formada, pelo prolongamento dos raios refletidos, a imagem resultante é virtual

Nota que o tamanho da imagem aumenta relativamente ao tamanho do objeto.



Samuel Mendes Gomes 2022/2023

19

a imagem aumenta
em relação ao
objeto

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

Espelhos esféricos IV

Formação da imagem por um **espelho esférico convexo**

Mais uma vez traçamos raios incidente, no espelho convexo, a partir do objeto. O respetivo raio refletido junto com o raio incidente devem verificar a lei da reflexão.

$\rightarrow \theta_i = \theta_r$ O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão

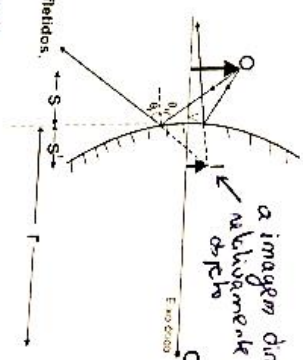
Mais uma vez a intersecção do prolongamento dos raios refletidos formam a respetiva imagem

Chamamos eixo ótico à linha central que passa pelos pontos C e V

As distâncias r , s e s' são medidas a partir do vértice V

Pelo fato de a imagem ser formada, pelo prolongamento dos raios refletidos, a imagem resultante é virtual

Nota que o tamanho da imagem diminui relativamente ao tamanho do objeto.



Samuel Mendes Gomes 2022/2023

a imagem diminui
relativamente ao
objeto

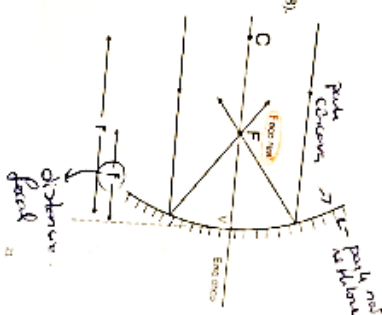
Espeelhos esféricos IV

Ponto focal de um espelho côncavo

Vamos considerar um objeto muito afastado do vértice do espelho. Ao estar muito afastado, as ondas esféricas provenientes do objeto ao chegar ao espelho comportam-se como ondas planas (cf. slide 8). Ao termos frentes de ondas planas, os raios luminosos, que lhe estão associados, comportam-se como um feixe de raios paralelos ao eixo ótico. Todos os raios paralelos ao eixo ótico, ao refletir em no espelho côncavo (segundo a lei da reflexão), vão convergir de maneira a encontrar um ponto comum no eixo ótico.

Este ponto comum sobre o eixo ótico denomina-se **ponto focal** ou **foco** do espelho F .

O **ponto focal** é a imagem dada pelo espelho de um objeto distante. Notar que neste caso, a imagem não se forma a partir do **encontro** dos raios $\rightarrow$ Foco real.



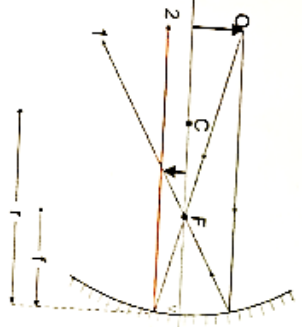
Raios paralelos ao eixo ótico em objetos muito distantes geram esta imagem, distorsionalmente todos os raios se focalizam no mesmo ponto $\rightarrow$ **ponto focal**.
UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

Construção da imagem em espelhos

Raios principais em espelhos côncavos

- O raio 1 paralelo ao eixo ótico é refletido de maneira a passar pelo foco $F \rightarrow$ **convergente**.
- O raio 2 parte do objeto e incide no espelho de maneira a passar pelo foco F . O raio refletido é paralelo ao eixo ótico.
- A imagem é formada pela interseção dos raios refletidos.
- Imagem real (invertida e reduzida).

Vamos lá que significam os raios que usamos. Depois esta imagem é real.



BETTER MINDS

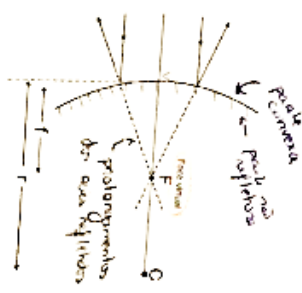
É uma imagem real $\rightarrow$ é a interseção dos raios refletidos e forma da imagem.

Espeelhos esféricos V

Ponto focal de um espelho convexo

Vamos assumir um objeto muito afastado do vértice do espelho. Ao estar muito afastado, as ondas esféricas provenientes do objeto ao chegar ao espelho comportam-se como ondas planas (cf. slide 7). Ao termos frentes de ondas planas, os raios luminosos, que lhe estão associados, comportam-se como um feixe de raios paralelos ao eixo ótico. Todos os raios paralelos ao eixo ótico, ao refletir em no espelho convexo (segundo a lei da reflexão), vão divergir de maneira a encontrar um ponto comum, **distância focal** ou **foco** do espelho F .

O **ponto focal** é a imagem dada pelo espelho de um objeto distante. Notar que neste caso, a imagem forma-se a partir do **prolongamento** dos raios $\rightarrow$ Foco virtual.



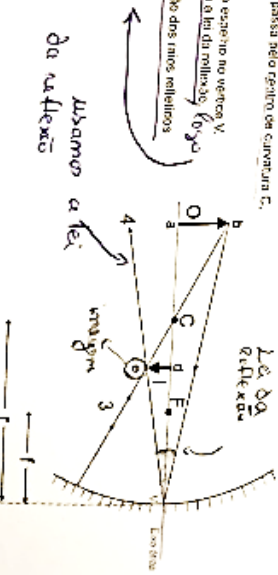
Vai caber um exercício para fazer a construção geométrica.

Construção da imagem em espelhos

Raios principais em espelhos côncavos

- O raio 1 paralelo ao eixo ótico é refletido de maneira a passar pelo foco F .
- O raio 2 parte do objeto e incide no espelho de maneira a passar pelo foco F . O raio refletido é paralelo ao eixo ótico.
- A imagem é formada pela interseção dos raios refletidos.
- Imagem real, invertida e reduzida.

Veremos esta pois é muito complicado, prova que um exemplo para mais exemplos.

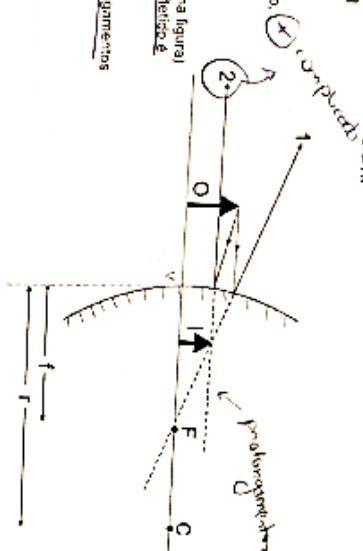


coloca-se sempre... Sempre...

SURVIVENCIAL DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

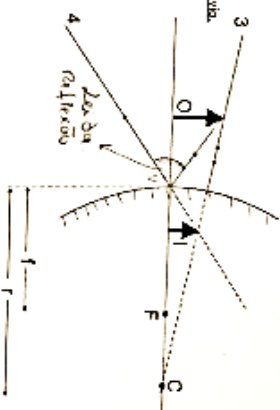
Raios principais em espelhos convexos

- O raios 1 incide no espelho paralelo ao eixo ótico e reflektu-se no espelho
- é refletido de volta ao seu ponto de origem
- passa pelo foco F
- O raios 2 parte do objeto e incide no espelho de maneira a sua projeção (ráio mostrado na figura) passar pelo foco F. O prolongamento do raio refletido é paralelo ao eixo ótico.
- A imagem é formada pela interseção dos prolongamentos dos raios refletidos.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
ELEMENTOS DE FÍSICA II

- O eixo 3 do ecrã, no espelho, é semi-provavelmente passivo pelo facto de não existir C. e reflectido sem ser visto.
- O eixo 4 parte do objecto e inclui no mesmo o vertice V. O eixo reflecte o incidente sempre a lei da reflexão.
- A distância é dada pela diferença dos dois primeiros pontos nos eixos reflectivos
- A imagem é formada pela intersecção dos raios reflectivos
- Imagem virtual, direita e reduzida



Umas das suas funções, assim como a uma das suas competências.



BETTER MINDS
Don't let a hard-to-use calculator

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

ELEMENTOS DE FÍSICA II

Determinação da distância focal f

Na ótica geométrica assume-se a aproximação paraxial, o ângulo θ entre o eixo luminoso e o eixo óptico é muito pequeno

Pola geometria $\eta_1 = u \Rightarrow \alpha = 0$

$$\rightarrow \cos \alpha \approx 1 \quad ; \quad \tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$$

Atendendo à definição de $\sin$ e que $CP = CY = 1$

$$\tan \alpha = \tan \theta_i = \theta_i = \frac{h}{r}; r = CP \text{ (eq. 7)}$$

$$\tan \beta = \tan 2\theta = \frac{b}{f}; f = FV$$

0 - short run
 1 - ultra long
 2 - intermediate
 3 - long run
 (eq. 8)



expansion
do five

Convenção
 $r > 0$ se C está do lado esquerdo (espelho côncavo)
 $r < 0$ se C está do lado direito (espelho convexo)

Santiago Bergin, Editor, *JGIM*

For

$S > 0 \rightarrow$ sempre positiva pois Δ sempre é
 distância ao objeto sempre real
 $S > 0 \rightarrow$ distância da imagem (a imagem é real)
 $S < 0 \rightarrow$ " " (a imagem é virtual)

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

ELEMENTOS DE FÍSICA I

Determinação da distância focal

Teorema: o ângulo externo de um triângulo é igual à soma dos ângulos internos opostos

2 $\beta = \alpha + \theta$

$$\rightarrow \alpha + \gamma = 2\beta \quad \text{eq. 9}$$

Sabemos também que qualquer arco é igual ao ângulo vezes o raio

$$AO = \frac{AV}{AV} = v \leftarrow p \times a = \rho v$$

10

$$dV = CV \times \beta \rightarrow \beta = \frac{dV}{CV}$$

IV [cf. 10]

Substituímos as três ângulos na equação 11 e notando que $OV = s$; $CV = r$ e $W = s$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r} \quad \text{[eq. 1]}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = -\frac{1}{f} \quad \text{(eq. 12)}$$

As equações 11 e 12 são geralmente designadas por **Lei dos espelhos esféricos**:

A convenção de sinais discutida nos alíneas 15 e 23 é válida para usar as equações 11 e 12

[illegible]

Ampliação lateral do espelho esférico

A altura do objeto ou imagem é o tamanho medido relativamente ao eixo ótico (cf. slide 18).
Pelo que definimos a **ampliação lateral** como (eq. 8):

$$m_l = \frac{h'}{h}$$

Na fig. Ao lado o raio 4 segue a lei da reflexão. Logo os triângulos abV e deV são semelhantes

$$\frac{de}{ab} = \frac{dI'}{aV'} \quad -m = \frac{de}{ab} = \frac{h'}{h} \quad (\text{eq. 13})$$

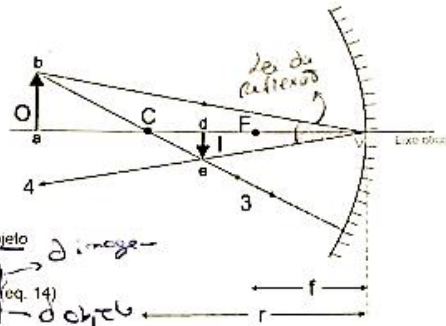
O sinal menos indica que a imagem é invertida relativamente ao objeto

$$\frac{aV'}{dV'} = s'$$

Logo a eq. 15 pode ser escrita como

$$m = \frac{s'}{s} \quad (\text{eq. 14})$$

Santiago Reyes Cortes 22/22 2017



dig-nos se a imagem é invertida ou direita

vai por no formulário

→ só importa isto

Refração

