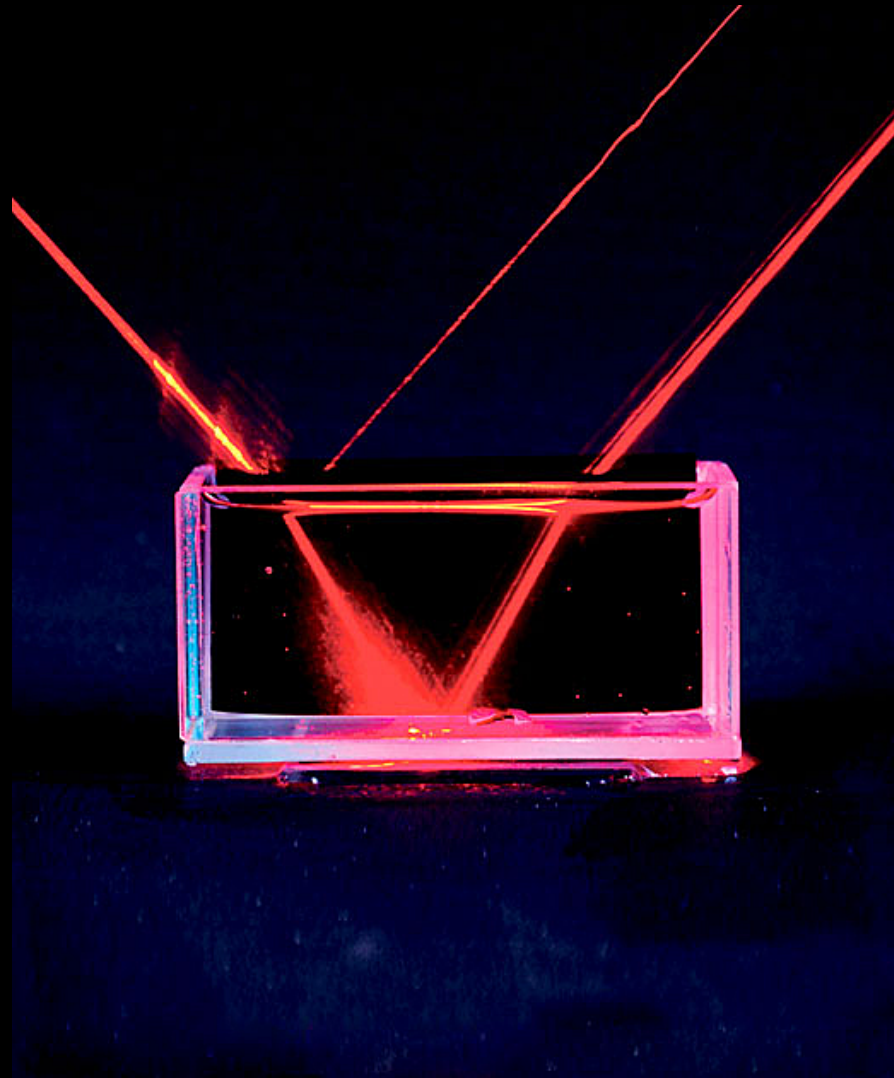


# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS



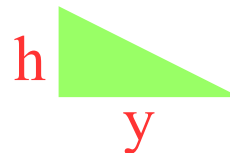
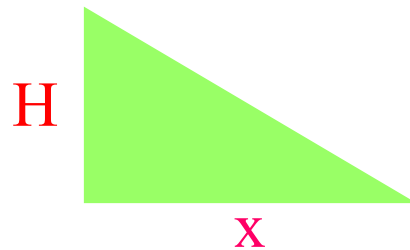
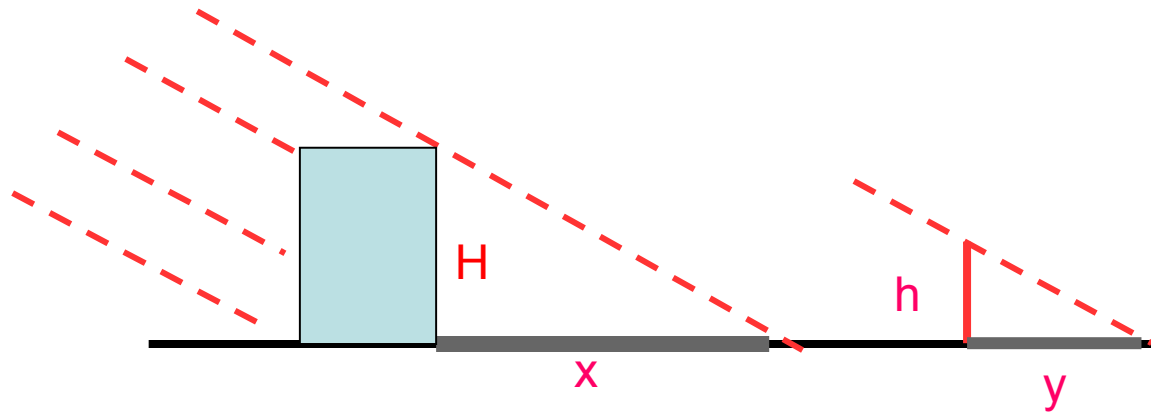
...



**Herculano Martinho (1.2018)**

## 1. Propagação retilínea da luz

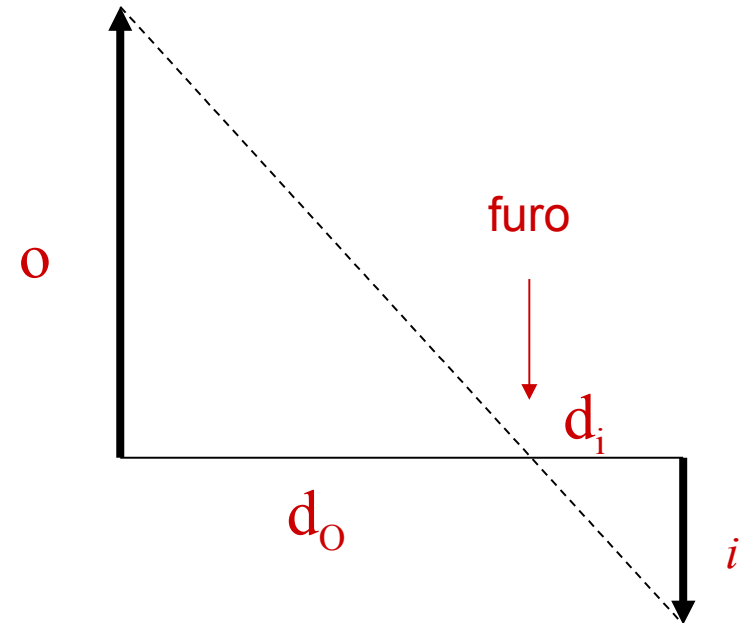
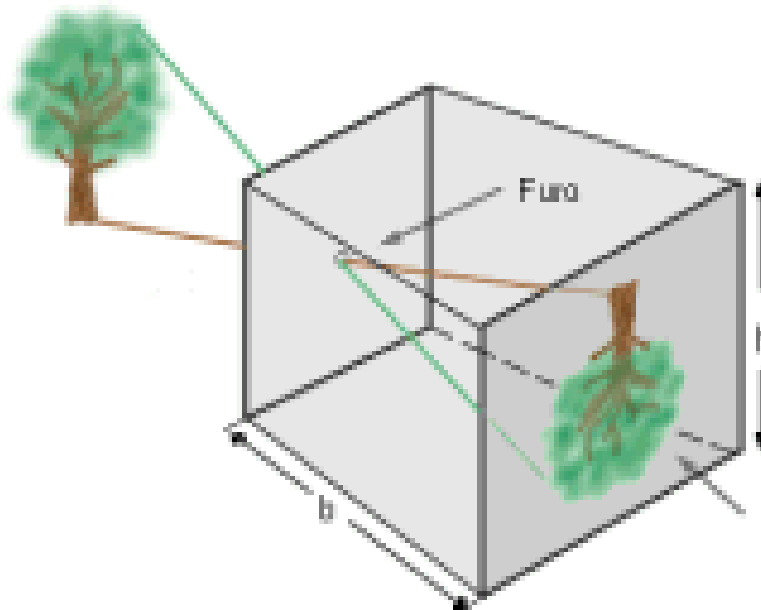
Altura de um prédio pela sua sombra



$$\frac{H}{h} = \frac{x}{y}$$

## 1. Propagação retilínea da luz

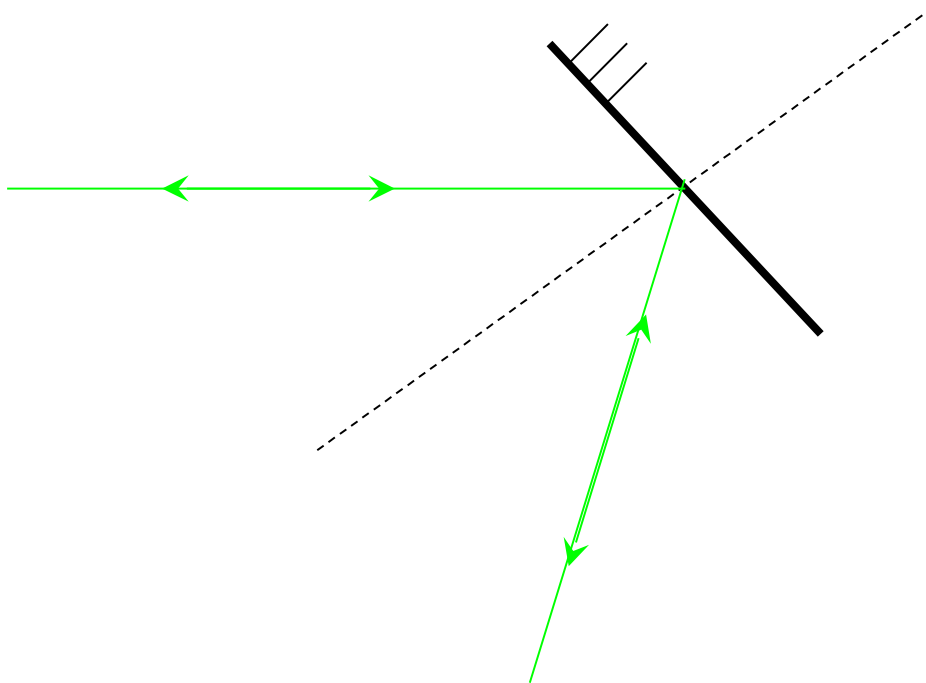
### Câmara escura



$$\frac{o}{i} = \frac{d_o}{d_i}$$

## 2. Reversibilidade

*“Quando a luz se desloca entre dois pontos, o caminho percorrido é o mesmo, independente do sentido”*

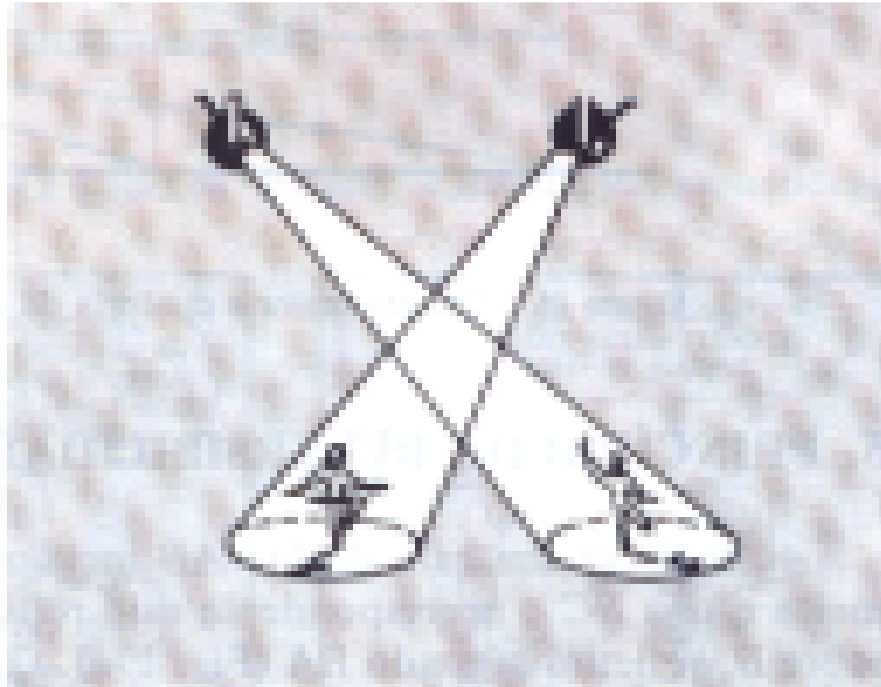


# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS



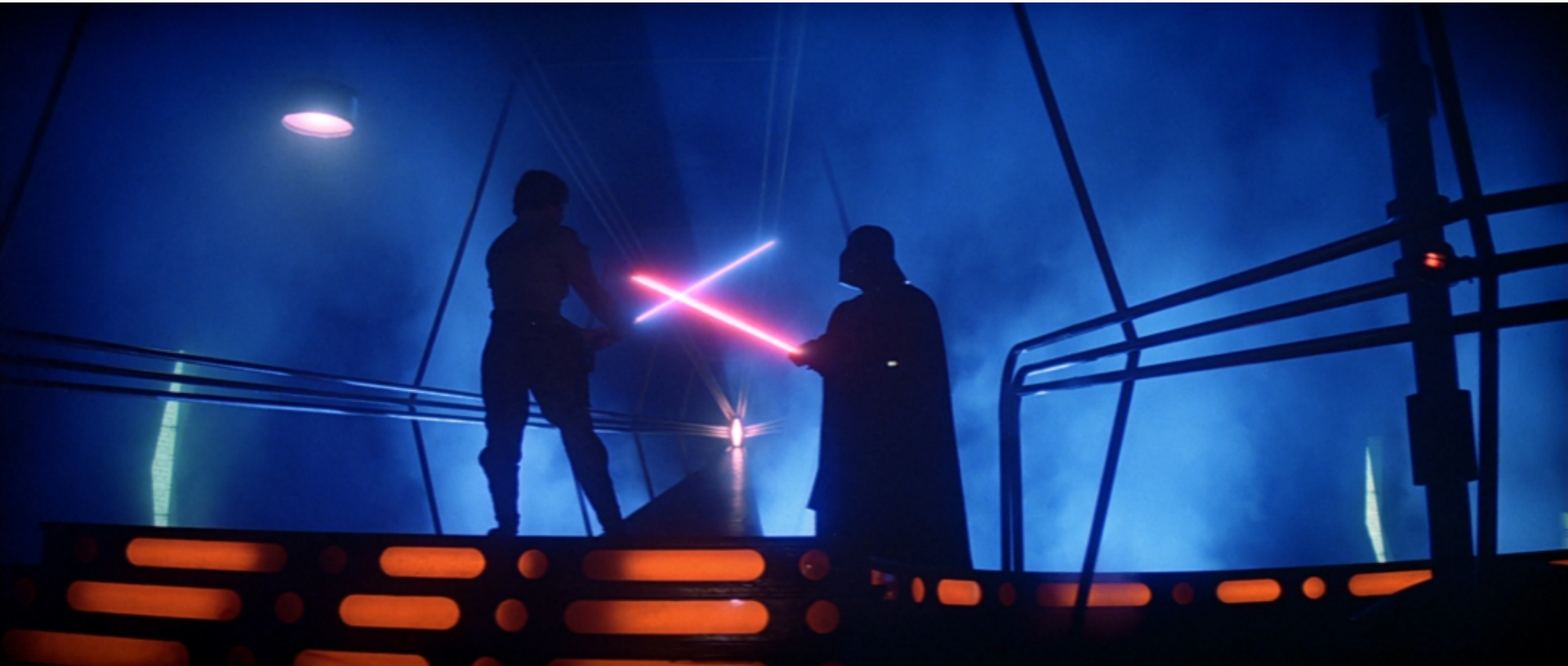
## 3. Independência da Luz

*“Quando dois (ou mais) raios luminosos se cruzam, cada um se movimenta independente do outro.”*



## 3. Independência da Luz

*“Quando dois (ou mais) raios luminosos se cruzam, cada um se movimenta independente do outro.”*



# Observation of three-photon bound states in a quantum nonlinear medium

*by Qi-Yu Liang, Aditya V. Venkatramani, Sergio H. Cantu, Travis L. Nicholson, Michael J. Gullans, Alexey V. Gorshkov, Jeff D. Thompson, Cheng Chin, Mikhail D. Lukin, and Vladan Vuletić*

“In controlled experiments, the researchers found that when they shone a very weak laser beam through a dense cloud of ultracold rubidium atoms, rather than exiting the cloud as single, randomly spaced photons, the photons bound together in pairs or triplets, suggesting some kind of interaction — in this case, attraction — taking place among them.

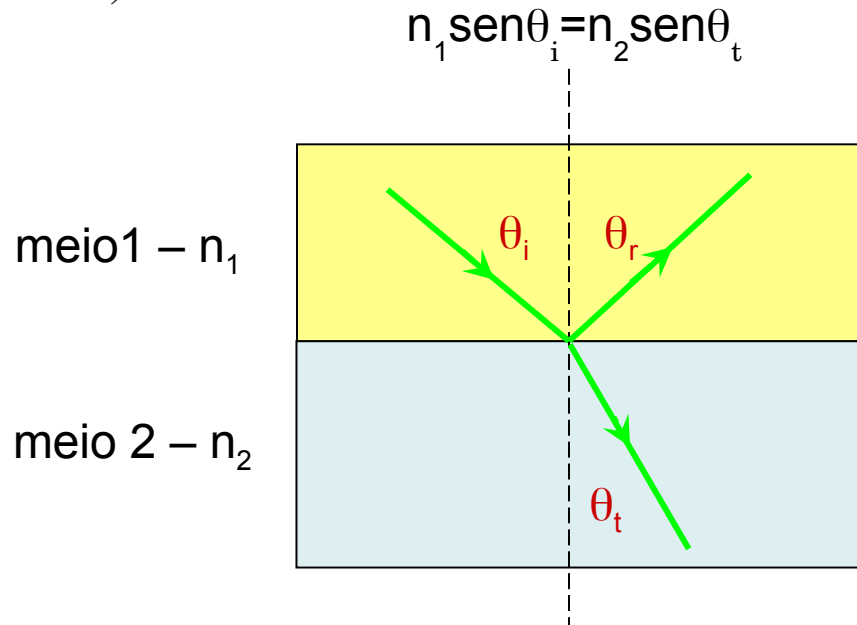
While photons normally have no mass and travel at 300,000 kilometers per second (the speed of light), the researchers found that the bound photons actually acquired a fraction of an electron’s mass. These newly weighed-down light particles were also relatively sluggish, traveling about 100,000 times slower than normal noninteracting photons.”

*Science*  
*Volume 359(6377):783-786*  
*February 16, 2018*



## Leis Reflexão e Refração

1. *Direções de incidência, refração e reflexão encontram-se no mesmo plano, normal à superfície de separação*
2. *Os ângulos de incidência são iguais aos de reflexão*
3. *A razão entre os senos dos ângulos de incidência e refração é constante (Lei de Snell)*

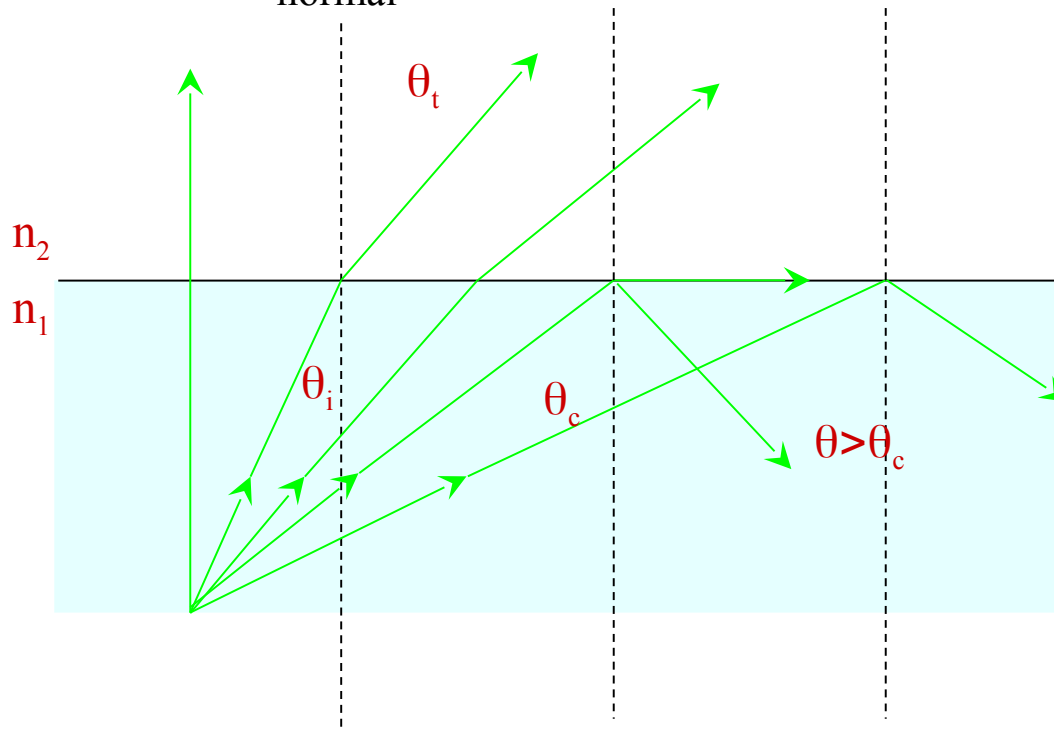




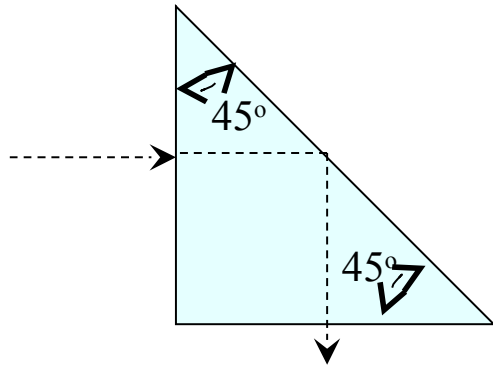
## Reflexão Total Interna

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \left( \frac{\pi}{2} \right) = n_2$$

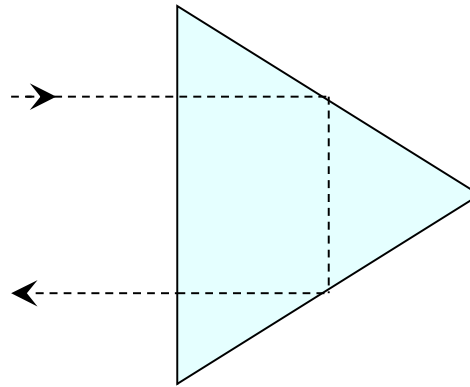
normal



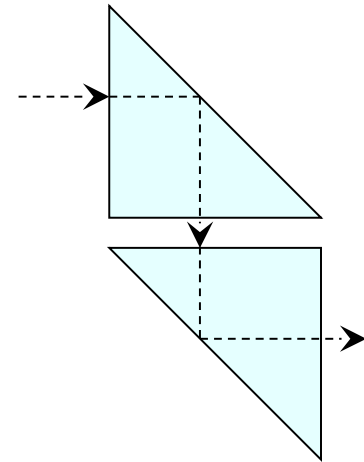
## Reflexão Total Interna: Aplicações



raio desviado de 90 graus

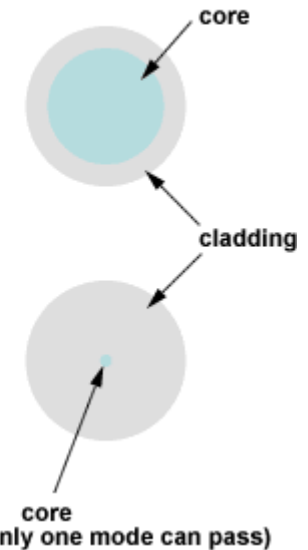
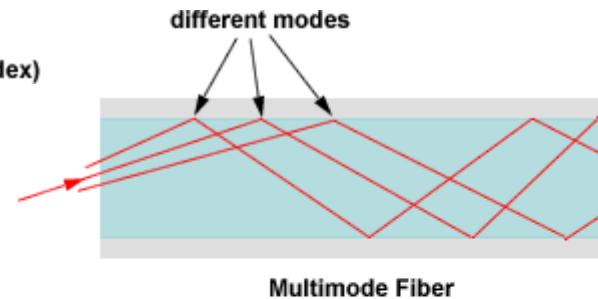
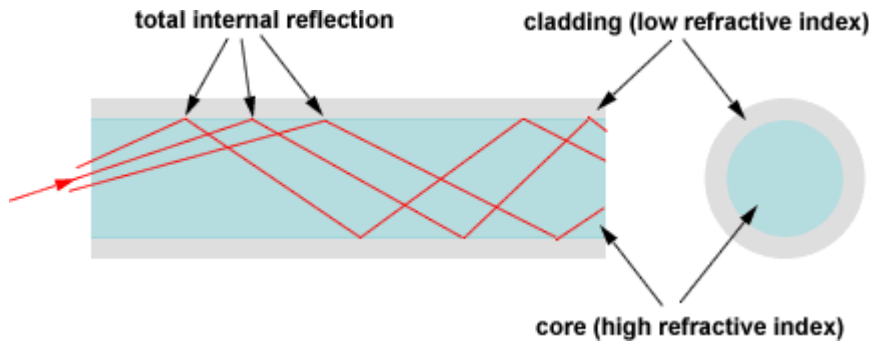


inversão de direção



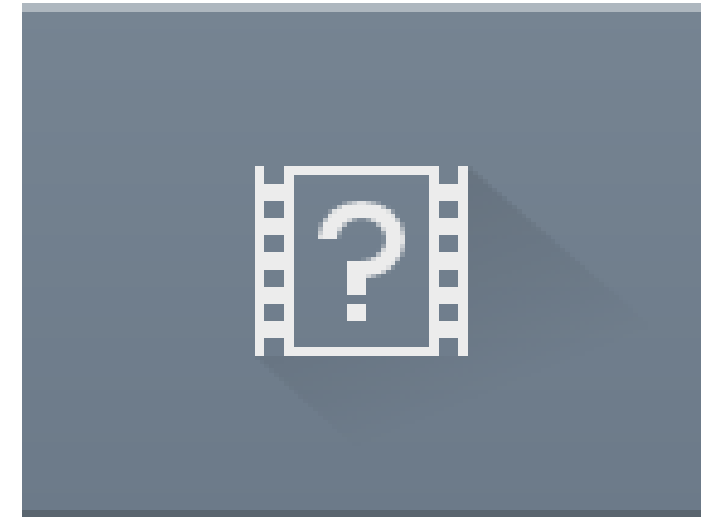
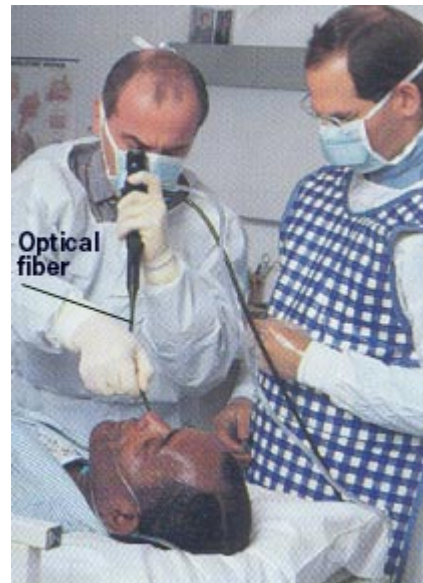
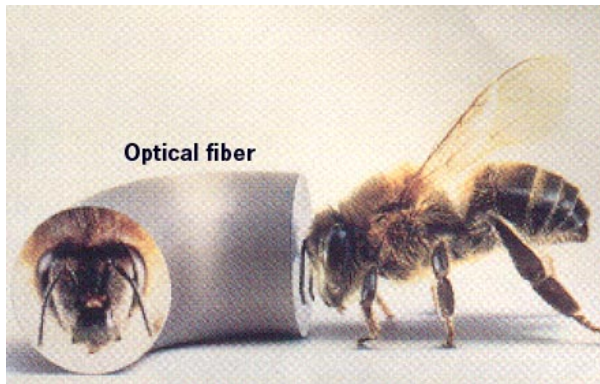
periscópio

## Reflexão Total Interna: Aplicações Fibras ópticas



- Telecomunicações
- Imageamento médico
- Sensores
- Lasers
- Monitoramento remoto

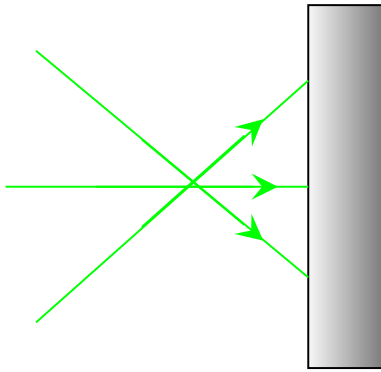
## Reflexão Total Interna: Aplicações Fibras ópticas



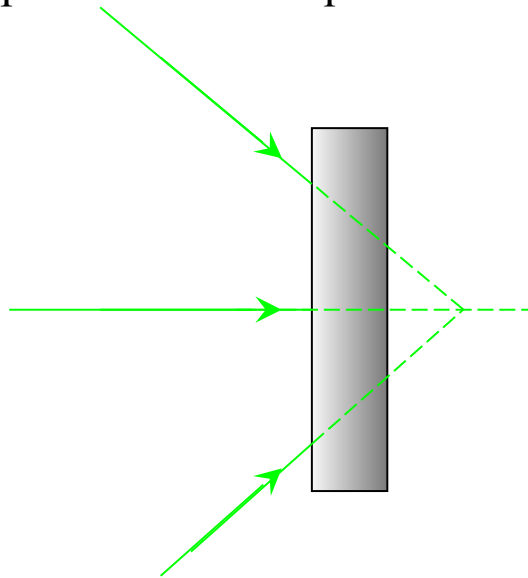
artroscopia

## Formação de imagens: cruzar dois ou mais raios oriundos do objeto

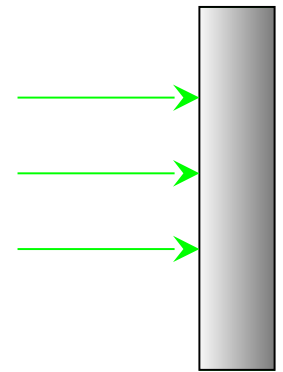
Ponto Objeto: é um ponto formado por raios de luz que incidem no sistema óptico.



PONTO OBJETO REAL



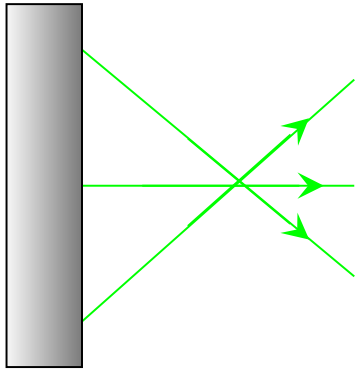
PONTO OBJETO VIRTUAL



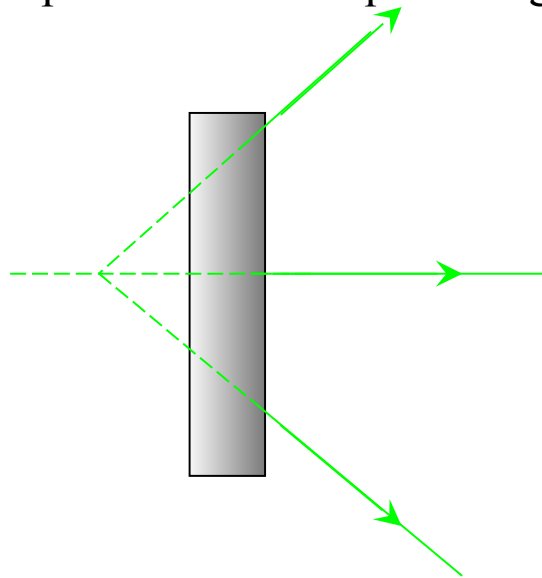
PONTO OBJETO IMPROPRIO

## Formação de imagens

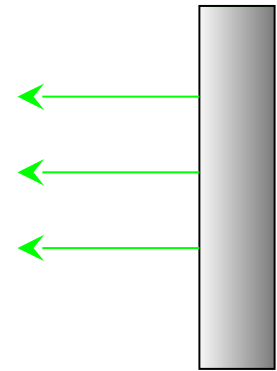
Ponto Imagem: é um ponto formado por raios de luz que emergem do sistema óptico.



PONTO IMAGEM REAL

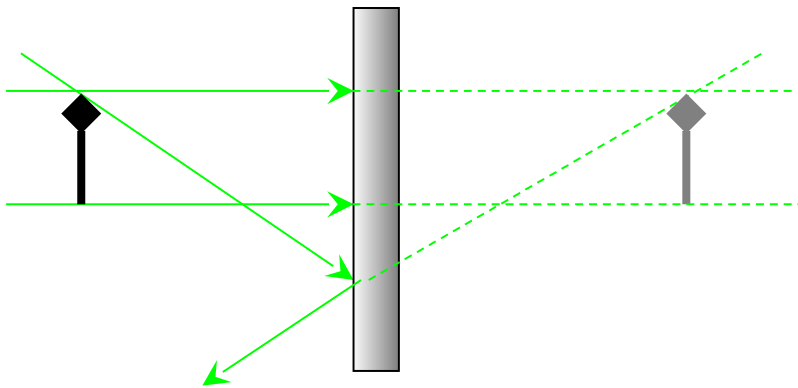


PONTO IMAGEM VIRTUAL



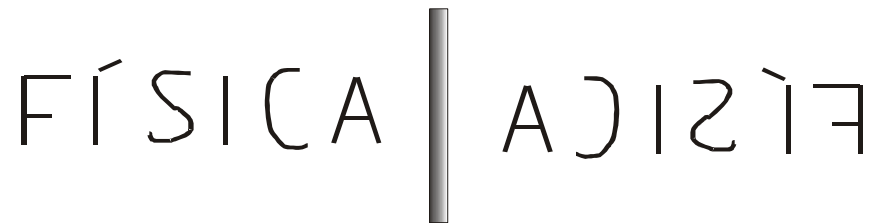
PONTO IMAGEM IMPROPRIO

Espelhos Planos Imagem: cruzamento de dois ou mais raios



Características da imagem:

- virtual
- direita
- $o=i$
- reversa (troca direita por esquerda)



$o$ : dimensão do objeto

$i$ : dimensão da imagem

# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS

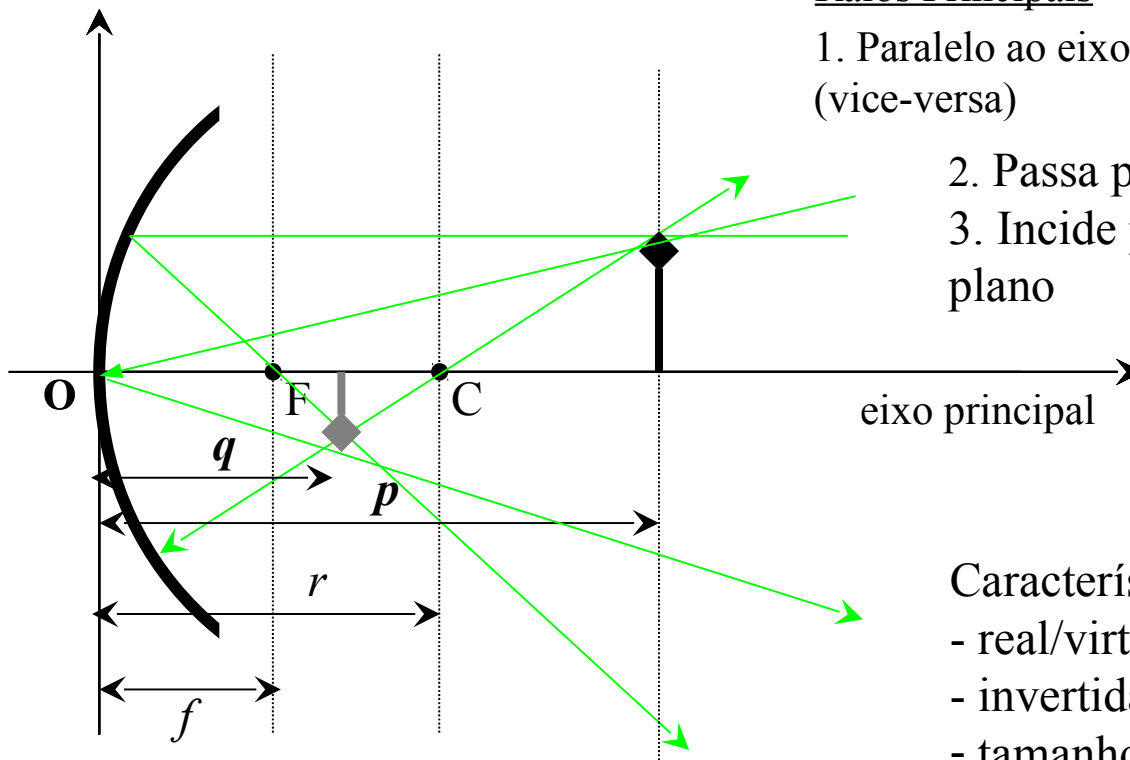
## Espelho Esférico Côncavo

Definições e convenções de sinais

C: centro de curvatura ( $r$ ) – centro superfície esférica  
 O: vértice da calota esférica – origem sistema eixos  
 F: foco ( $f=r/2$ )

### Raios Principais

1. Paralelo ao eixo principal – reflete passando pelo foco (vice-versa)
2. Passa por C – reflete por C
3. Incide passando por O: reflete como espelho plano



### Fórmula de Descartes

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}$$

Características da imagem:

- real/virtual
- invertida/direita
- tamanho depende posição





# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS

## Espelho Esférico Côncavo

<u>posição do objeto</u>	<u>posição da imagem</u>	<u>características</u>
$\infty$	F	<u>real</u> , pontual
$\infty < p < C$	$F < q < C$	<u>real</u> , invertida, diminuída
C	C	<u>real</u> , invertida, mesmo tamanho
$C < p < F$	$C < q < \infty$	<u>real</u> , invertida, aumentada
F	$\infty$	
$F < p < O$	$-\infty < p < O$	<u>virtual</u> , direita, aumentada
O	O	<u>virtual</u> , direita, mesmo tamanho

## Espelho Esférico Convexo

Definições e convenções de sinais

C: centro de curvatura ( $r < 0$ ) – centro superfície esférica

F: foco ( $f = r/2 < 0$ )

### Raios Principais

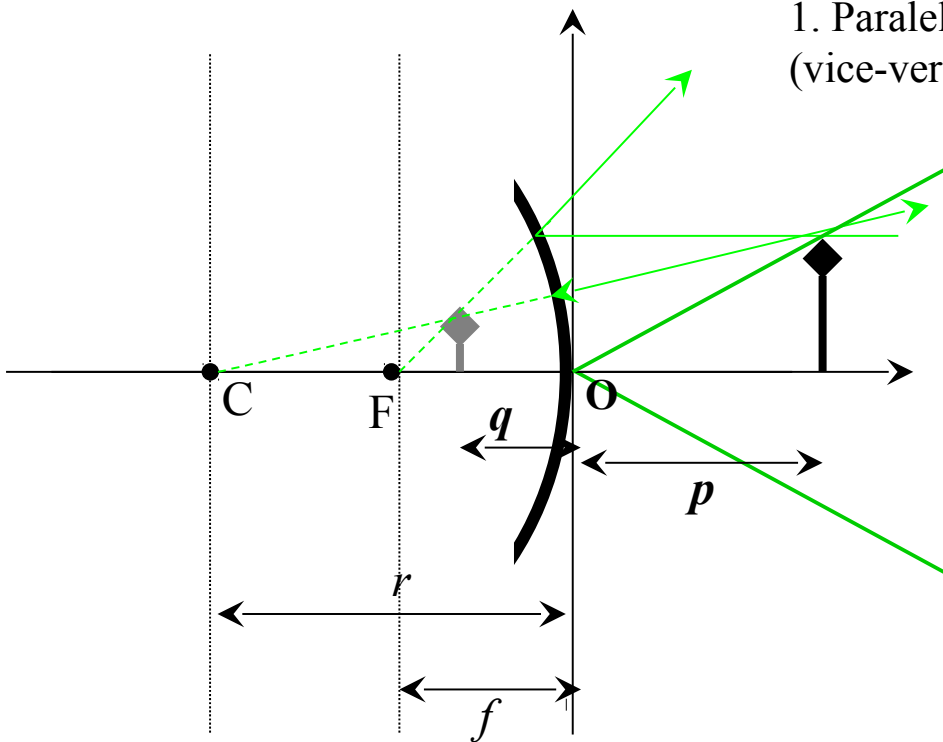
1. Paralelo ao eixo principal – reflete passando pelo foco (vice-versa)
2. Passa por C – reflete por C
3. Passa por O: reflete como espelho plano

### Fórmula de Descartes

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}$$

Características da imagem:

- virtual
- direita
- tamanho depende da posição
- reversa (troca direita por esquerda)





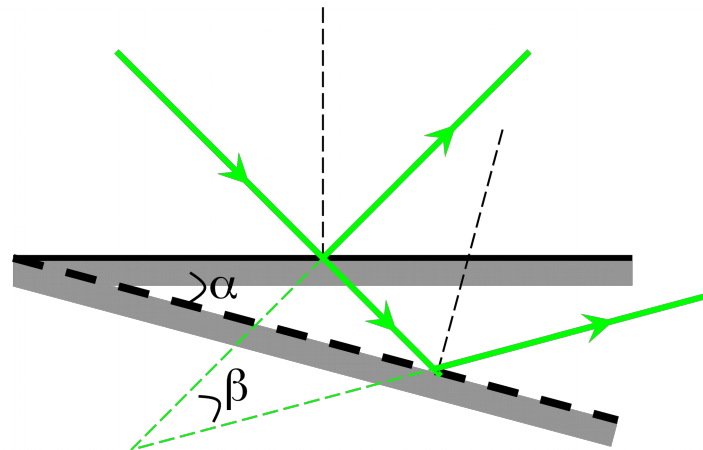
# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS

## Espelho Esférico Convexo

<u>posição do objeto</u>	<u>posição da imagem</u>	<u>características</u>
$\infty$	F	<u>virtual</u> , pontual
$\infty < p < V$	$F < q < O$	Virtual, direita, aumentada
$0$	O	<u>virtual</u> , direita, mesmo tamanho

## Exercícios

1. Considere um fóton monocromático de luz caracterizada por um único comprimento de onda  $\lambda$  incidindo sobre uma superfície. Obtenha a pressão exercida por este fóton (i) no caso de incidência normal e (ii) no caso de reflexão por ângulo  $\theta$ .
2. Demonstre que ao observar um objeto qualquer imerso num meio de índice de refração  $n$ , a sua profundidade aparente,  $d$ , é menor que a profundidade real,  $t$ , e é dada por:  $d = t/n$ .
3. Verifique que, quando um objeto plano roda um ângulo  $\alpha$ , os raios refletidos rodam um ângulo duplo de  $\alpha$ , isto é,  $\beta = 2\alpha$  na figura abaixo.





# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS

## Exercícios

4. Mostre que o aumento produzido por um espelho esférico vale  $M = -q/p$ .
5. Um espelho esférico tem um raio de 0,40 m. Um objeto está situado em frente ao espelho a uma distância de 0,30 m. Determine a posição da imagem e o aumento, se o espelho for (i) côncavo, (ii) convexo.
6. Mostre que o aumento produzido por uma lente é  $M = q/p$ .
7. As duas superfícies convexas de uma lente esférica tem raios de 0,80 m e 1,20 m. O índice de refração da lente é  $n = 1,50$ . Determine a distancia focal e a posição da imagem de um ponto situado a 2,00 m da lente.
8. Encontre a posição dos focos de um sistema de duas lentes delgadas separadas por uma distância  $t$ .
9. Mostre que o aumento produzido por um microscópio composto vale  $M = dL/ff'$ , onde  $d$  é a distância de mínima de visão distinta (25 cm),  $L$  é a distância entre a objetiva e a imagem formada por ela antes da ocular,  $f$  e  $f'$  são os focos da objetiva e ocular, respectivamente.

# ÓPTICA GEOMÉTRICA e FORMAÇÃO DE IMAGENS



Referencias:

1. Serway (8ª edição): 35.3-35.5; 36.1-36.10
2. Hecht 4.3; 4.4; 4.7; 5.1-5.8