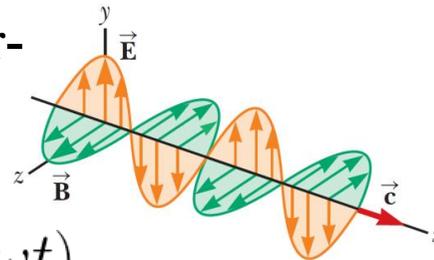

Experiência 7

REFLEXÃO E REFRAÇÃO DA LUZ

- A luz tem uma natureza ondulatória, i.e., ondas eletromagnéticas com uma gama de c.d.o. entre os 400 nm (vermelho) e os 700 nm (violeta) [gama do visível].
- Ondas eletromagnéticas são ondas transversais onde os campos elétricos e magnéticos oscilam perpendicularmente à direção de propagação:



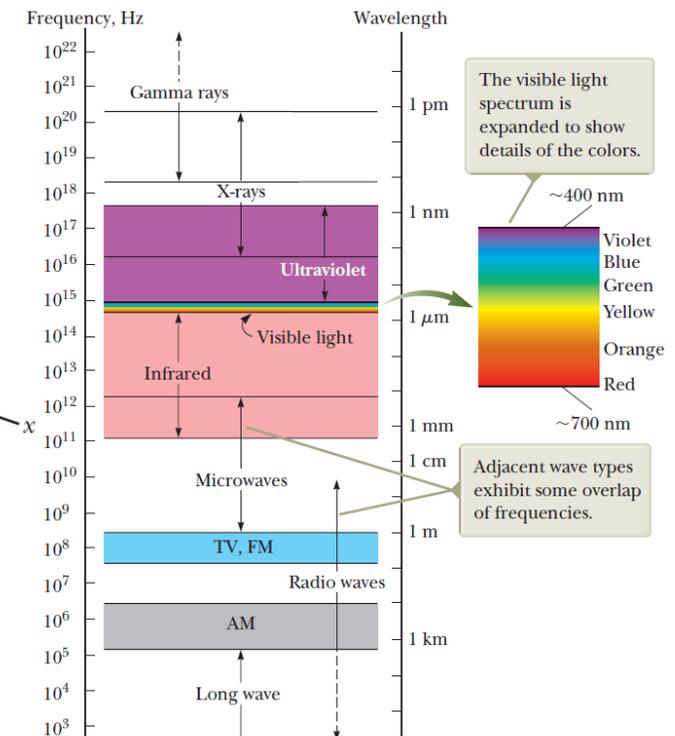
$$E(x, t) = E_{Max} \sin(kx - \omega t)$$

$$B(x, t) = B_{Max} \sin(kx - \omega t)$$

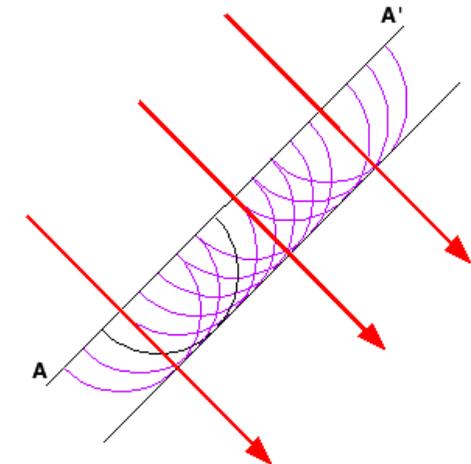
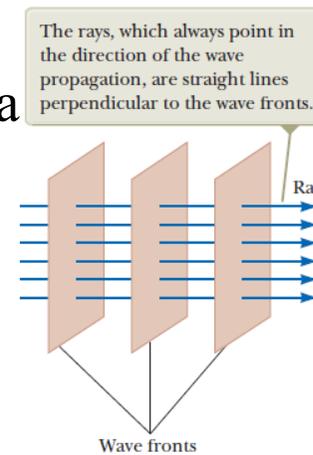
- Como vimos anteriormente para as ondas sonoras:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad c = \frac{\omega}{k}$$

- Onde c é a velocidade de propagação da onda.
- No vácuo: $c = 2.99792458 \times 10^8\text{ m/s}$.



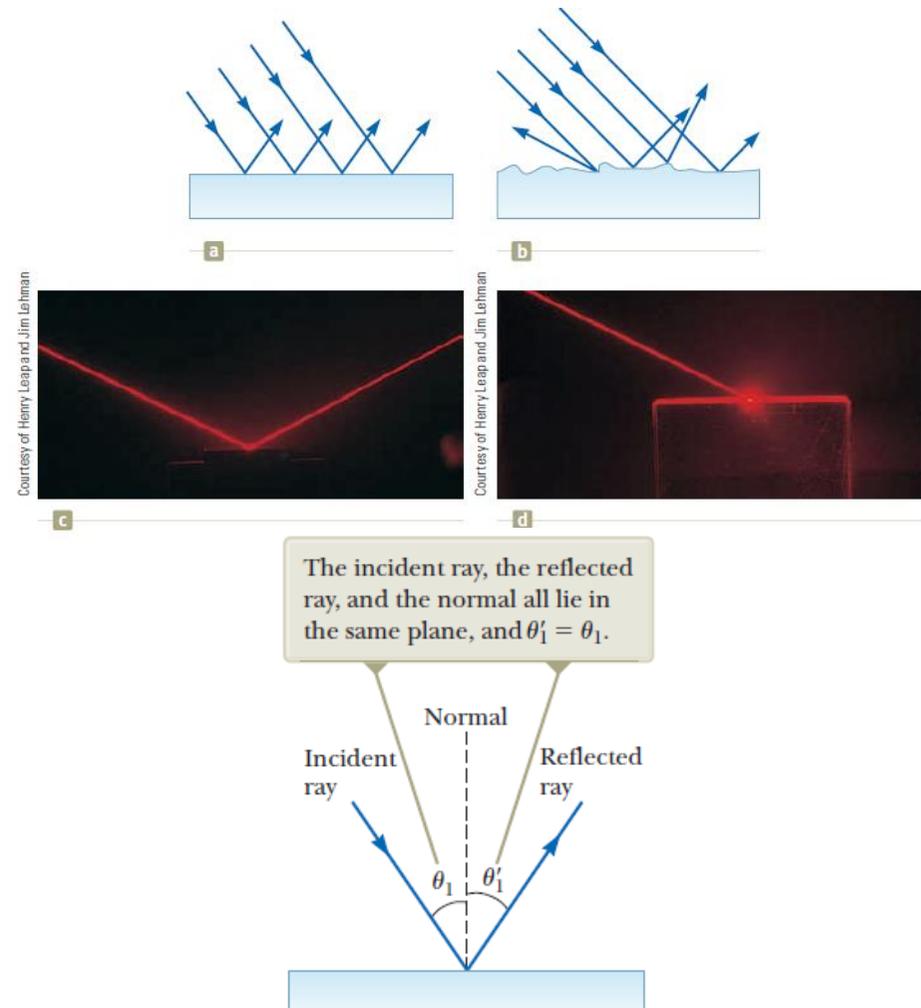
- Representa-se a propagação das ondas eletromagnéticas por raios que são perpendiculares às frentes de onda.
- Estes raios viajam numa direção constante a não ser que a onda atinja um meio com propriedades óticas diferentes ou que as propriedades óticas do meio não sejam uniformes.
- Esta aproximação é válida sempre que $\lambda \ll d$, onde d é a dimensão de um objeto ou fenda que a luz encontre.
- Esta aproximação é boa para estudar espelhos, lentes, prismas e instrumentos ópticos como telescópios ou máquinas fotográficas.



- **Propagação retilínea da luz:** Num meio homogéneo e transparente a luz propaga-se em linha reta. A direção de propagação designa-se raio luminoso.
- **Independência dos raios luminosos:** Quando dois raios luminosos se cruzam não interferem na trajetória um do outro.
- **Reversibilidade:** Se invertermos o sentido de propagação de um raio de luz ele percorre a mesma trajetória, em sentido contrário.

- Quando uma onda atinge um meio com propriedades óticas diferentes, parte da onda é refletida.
- A reflexão pode ser difusa ou **especular**, dependendo das propriedades da superfície que separa os meios.
- O raio incidente, o refletido e a normal ao meio estão todos no mesmo plano.
- Além disso o ângulo do raio incidente (em relação à normal à superfície) é igual ao do raio refletido:

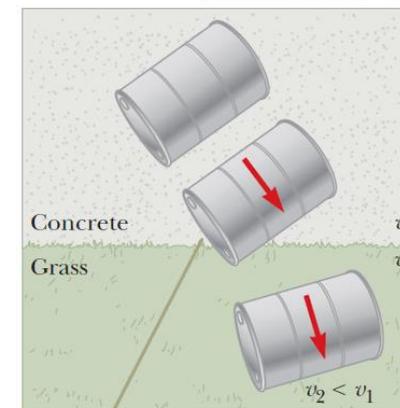
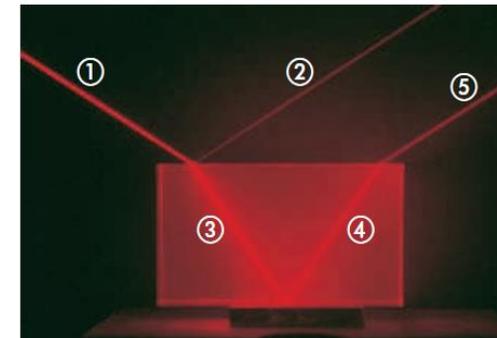
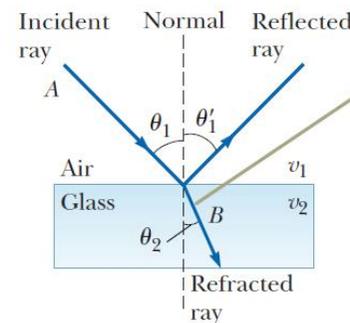
$$\theta'_1 = \theta_1$$



- Quando um onda atinge um meio com propriedades óticas diferentes, parte da onda é refratada.
- O raio incidente, o refratado e a normal ao meio estão todos no mesmo plano.
- Lei de Snell-Descartes:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

All rays and the normal lie in the same plane, and the refracted ray is bent toward the normal because $v_2 < v_1$.



This end slows first; as a result, the barrel turns.

- O índice de refração, n , é o quociente:

$$n = \frac{v}{c}$$

- Onde c é a velocidade da luz no vácuo e v a velocidade da luz no meio em questão.

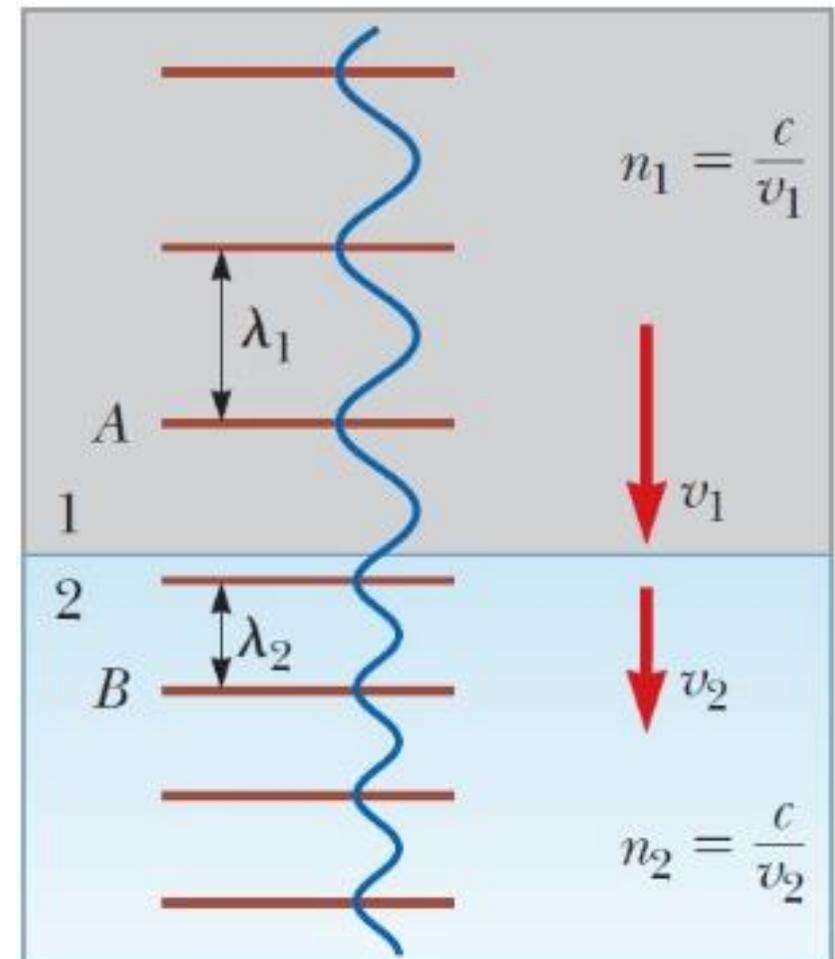
Portanto $n \geq 1$.

- Quando a onda passa de um meio para o outro, a frequência não muda, apenas λ :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- Portanto podemos também escrever:

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

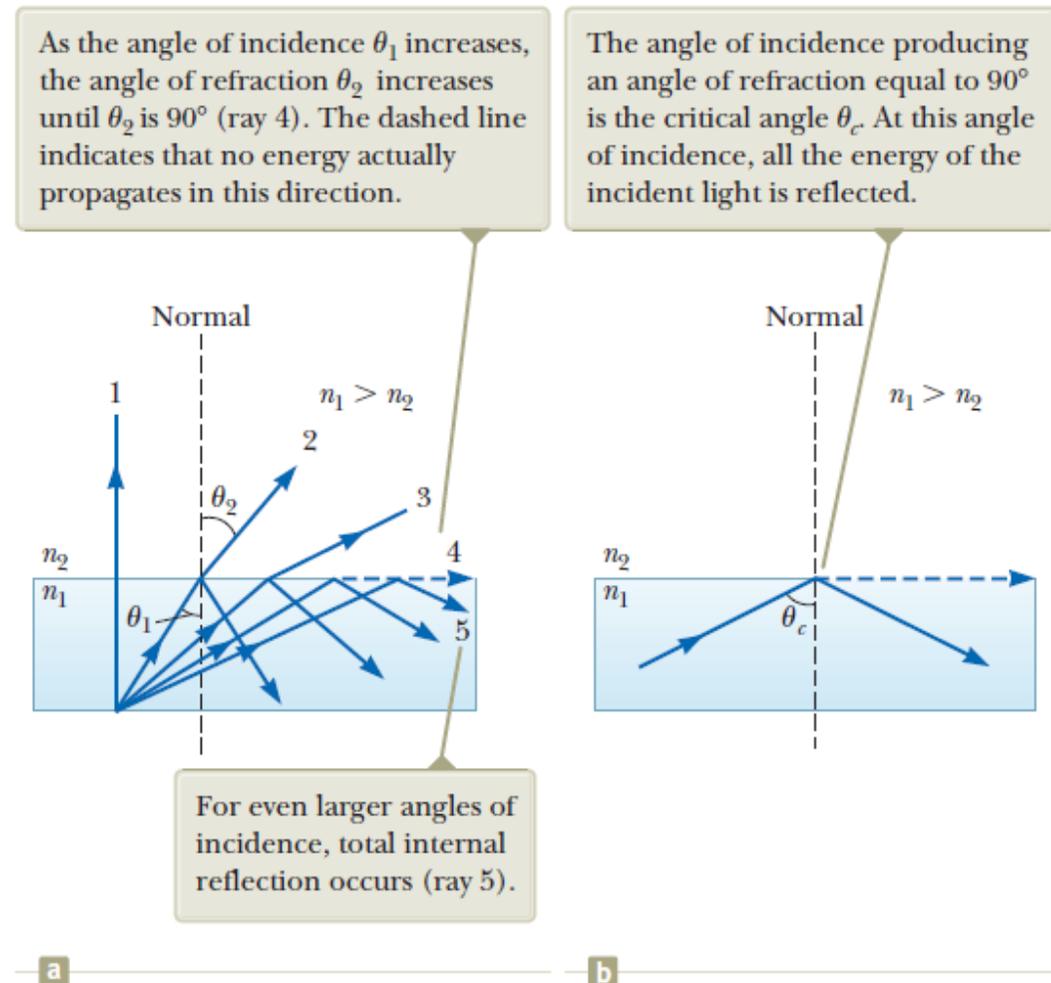


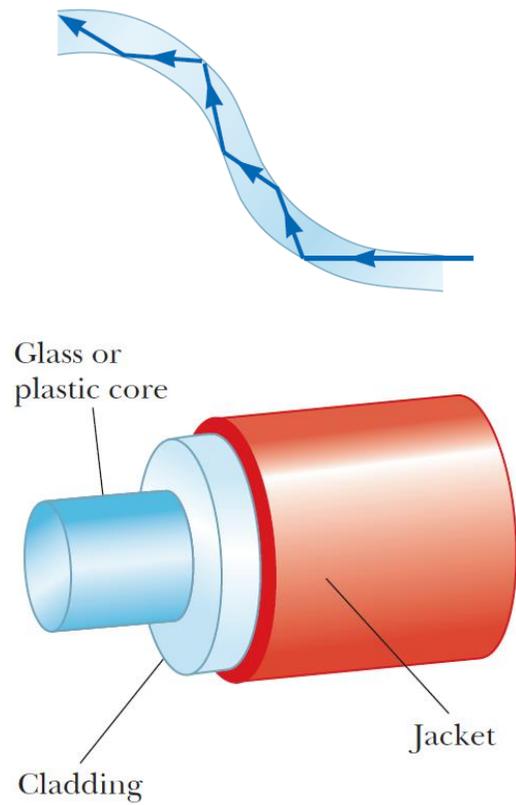
- Quando a luz se propaga de um meio para outro com um índice de refração maior, a partir de um certo ângulo de incidência só ocorre reflexão:

$$n_1 \sin \theta_C = n_2 \sin \frac{\pi}{2}$$

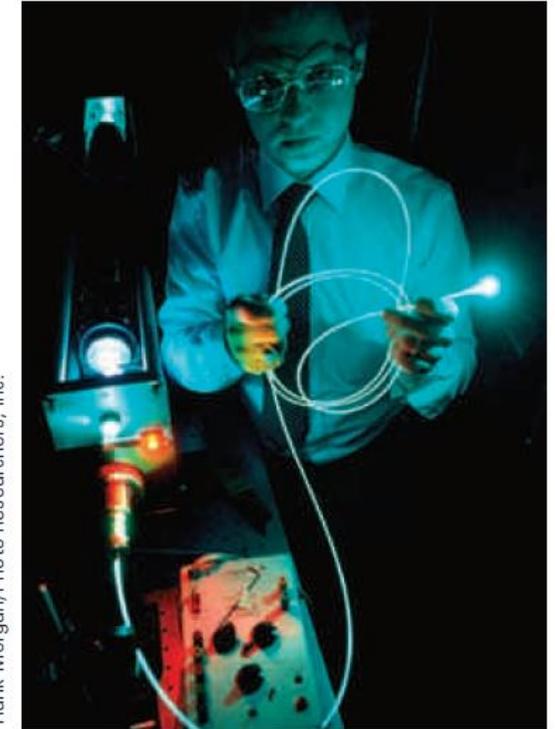
$$\Rightarrow \theta_C = \sin^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \right)$$

- A fibra ótica, é baseada neste mecanismo físico.





Dennis O'Clair/Getty Images



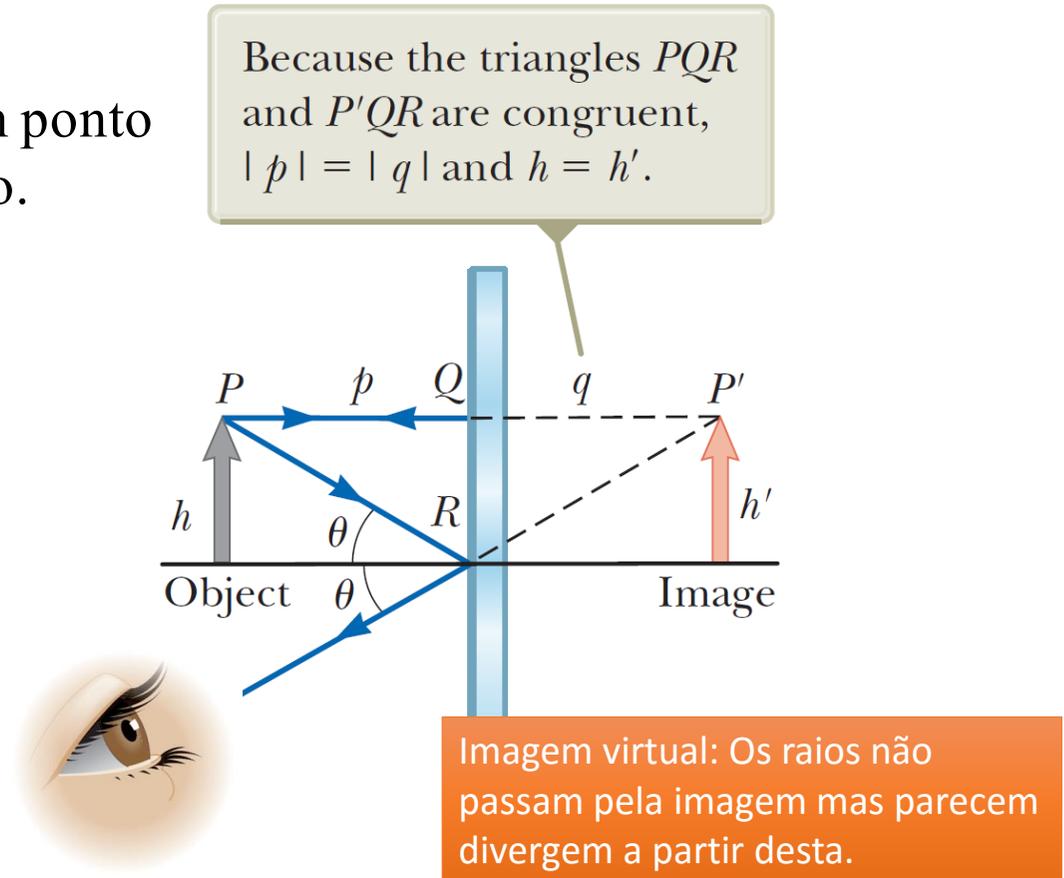
Hank Morgan/Photo Researchers, Inc.

Formação de imagens: espelho plano

- Representamos dois raios que partem de um ponto do objeto.
- Os dois raios parecem divergir de um ponto que está a uma distância q do espelho.
- A magnificação lateral da imagem é definida como:

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

- Para um espelho plano $M = +1$.



Espelhos esféricos côncavos

- A magnificação é:

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

- Além disso, como:

$$\tan \alpha = \frac{h'}{R - q} = \frac{h}{p - R}$$

- Podemos concluir que:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

- Se o objeto está muito longe do espelho, de forma a que os raios sejam paralelos ao eixo principal:

$$q = \frac{R}{2}$$

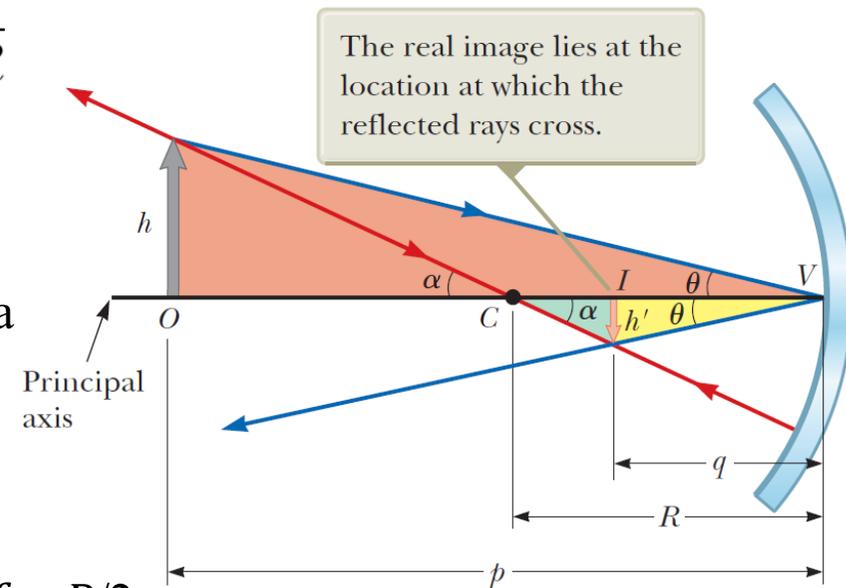
- Este ponto especial é o ponto focal e a distância $f = R/2$ é a distância focal.

- A equação anterior pode-se estar reescrever como:

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

- Que é a equação dos espelhos.

Imagem real: Os raios passam pela imagem e divergem a partir desta.



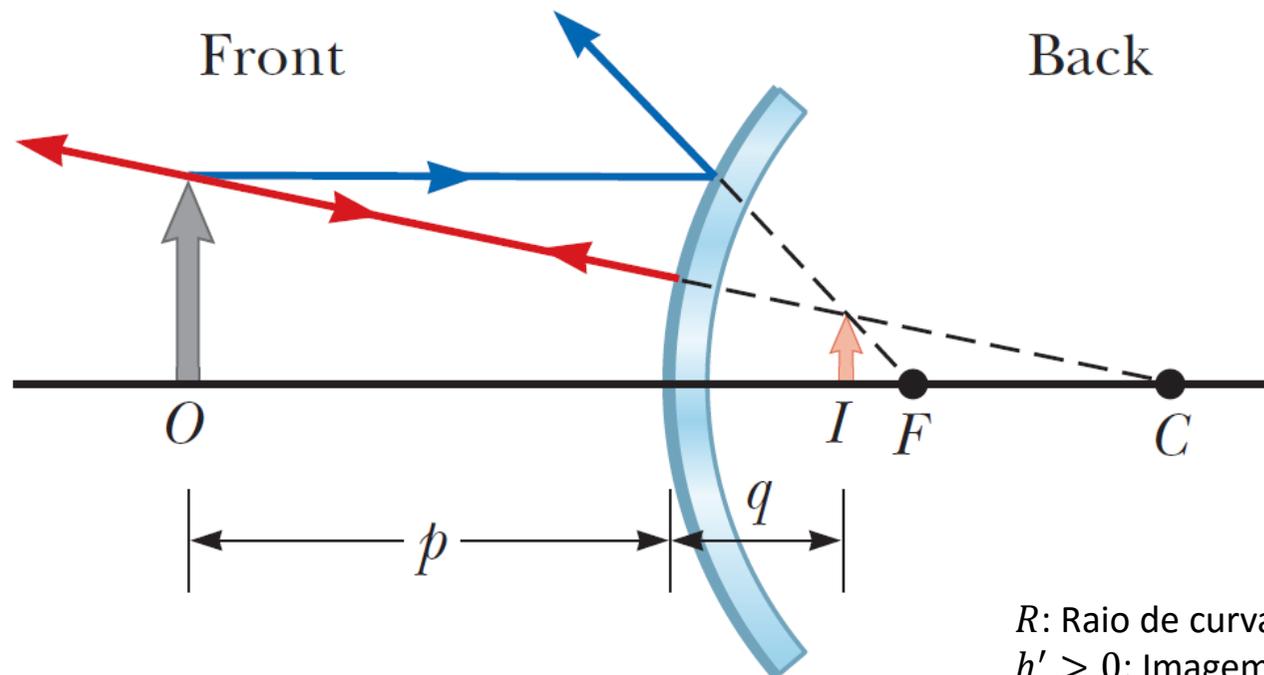
R : Raio de curvatura

$h' < 0$: Imagem está invertida

$p, q > 0$: Objeto e imagem reais

$R > 0$: Espelho côncavo

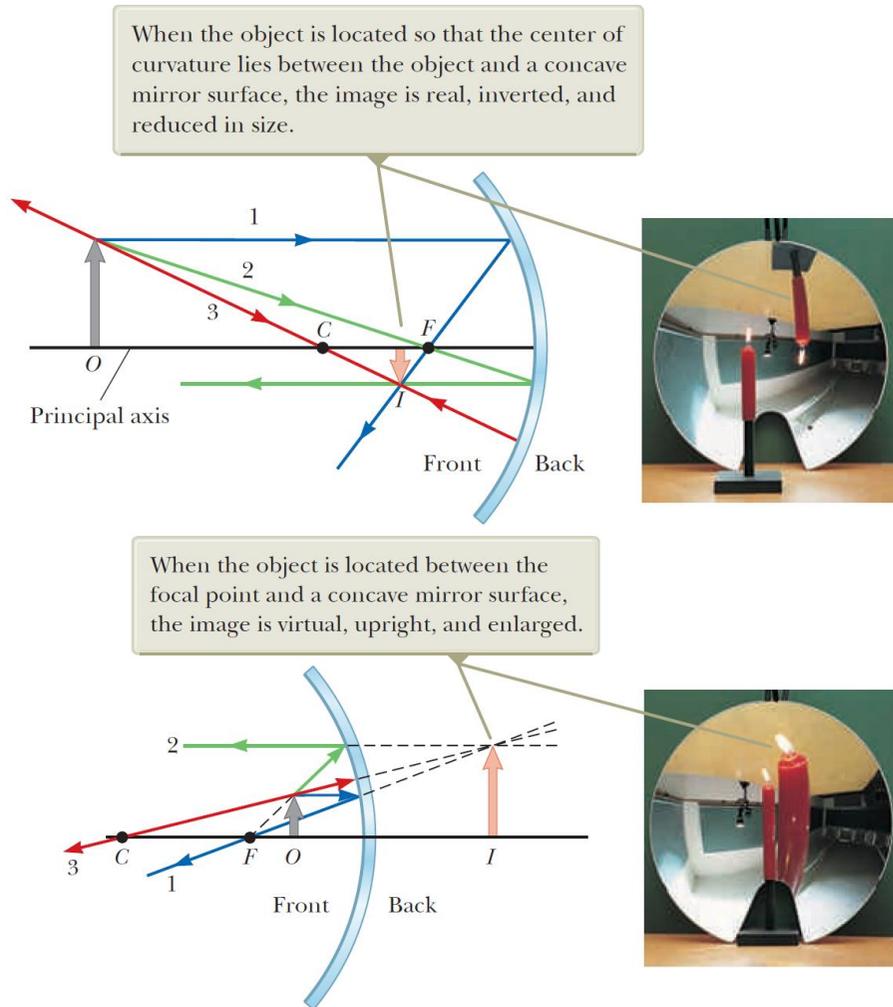
Espelhos esféricos convexos



R : Raio de curvatura
 $h' > 0$: Imagem não está invertida
 $p > 0$: Objeto real
 $q < 0$: Imagem virtual
 $R < 0$: Espelho convexo

Diagramas de raios para espelhos côncavos

- Raio 1: Desde o topo do objeto até ao espelho, paralelamente ao eixo principal. Depois o raio é refletido passando pelo ponto focal (F).
- Raio 2: Desde o topo do objeto passando pelo ponto focal (ou desde F , passando pelo topo do objeto se $p < f$). Depois é refletido paralelamente ao eixo principal.
- Raio 3: Desde o topo do objeto passando pelo centro de curvatura, C (ou desde C passando pelo topo do objeto se $p < f$). Depois é refletido na mesma direção.



Diagramas de raios para espelhos convexos

- Raio 1: Desde o topo do objeto até ao espelho, paralelamente ao eixo principal. Depois o raio é refletido como se viesse do ponto focal (F).
- Raio 2: Desde o topo do objeto em direção ao ponto focal. Depois é refletido paralelamente ao eixo principal.
- Raio 3: Desde o topo do objeto em direção ao centro de curvatura, C . Depois é refletido na mesma direção.

