

Aula 10

Óptica Física e Geométrica

Física Aplicada à Farmácia

Prof. Henrique A. M. Faria

Introdução

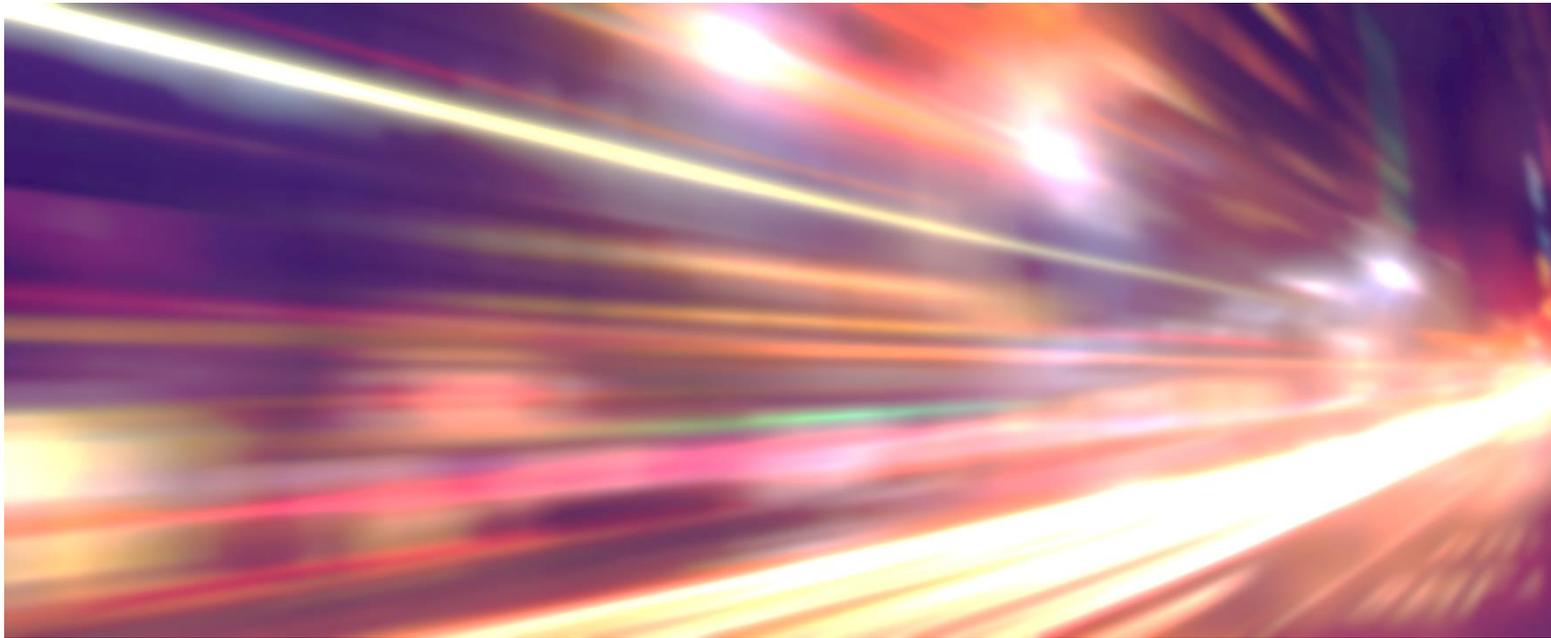
- A óptica é uma área da física que estuda as **leis da radiação eletromagnética**, em particular as relativas à **radiação luminosa**;

Introdução

- A óptica é uma área da física que estuda as **leis da radiação eletromagnética**, em particular as relativas à **radiação luminosa**;
- Distinguem-se dois ramos de investigação:
 - **Óptica Física**
 - **Óptica geométrica**;

Óptica Física

- Considera-se fenômenos nos quais a **natureza ondulatória** da radiação eletromagnética é **relevante**;



Óptica Física

- Considera-se fenômenos nos quais a **natureza ondulatória** da radiação eletromagnética é **relevante**;

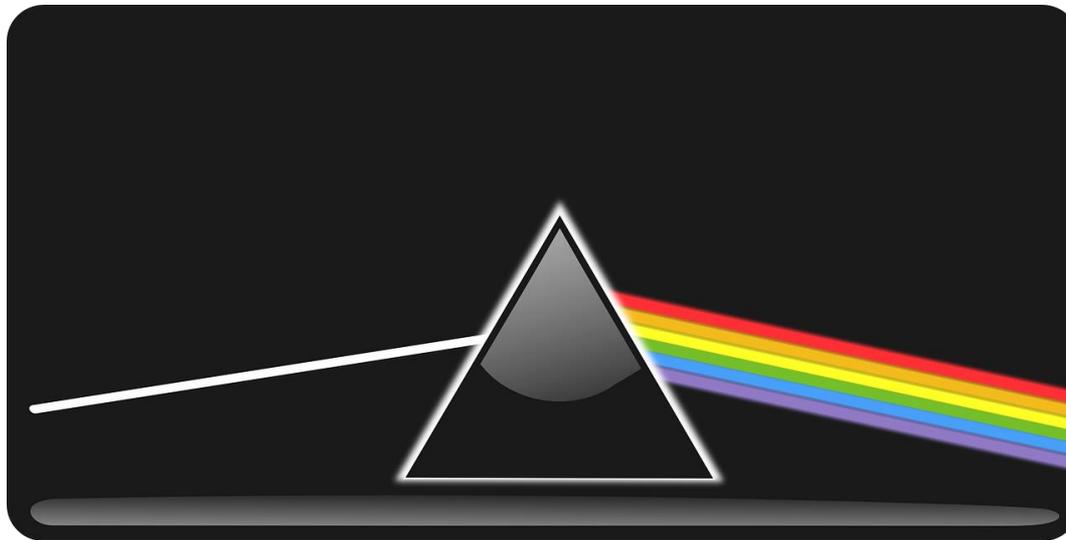
- Dentre esses fenômenos estão:
 - Interferência;
 - Difração;
 - Polarização.

Óptica Geométrica

- Estudam-se as leis da **reflexão** e da **refração**, supondo que a **radiação** luminosa se propaga seguindo **trajetórias retilíneas** chamadas de **raios luminosos**.

Óptica Geométrica

- Estudam-se as leis da **reflexão** e da **refração**, supondo que a **radiação** luminosa se propaga seguindo **trajetórias retilíneas** chamadas de **raios luminosos**.



Mas o que é a luz?

- Luz é toda radiação eletromagnética perceptível à **visão humana**;

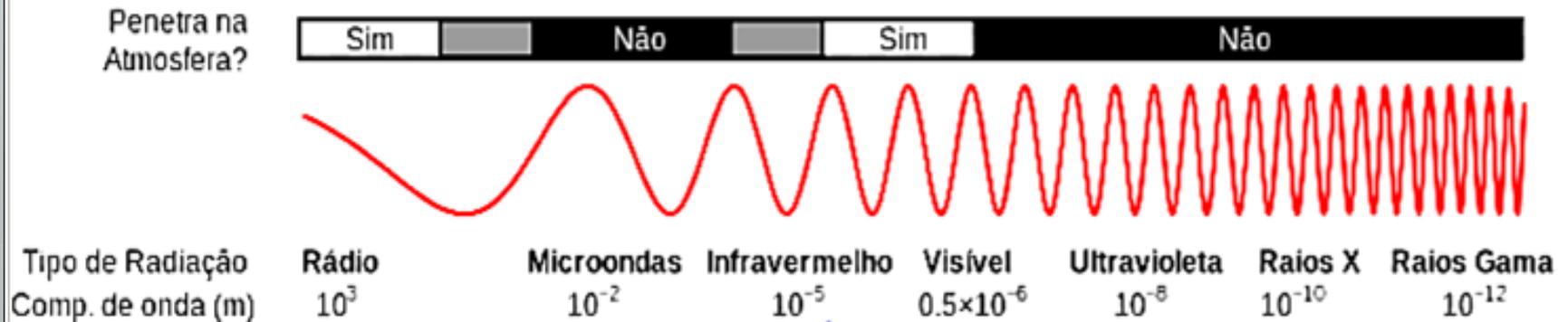
Mas o que é a luz?

- Luz é toda radiação eletromagnética perceptível à **visão humana**;
- São **comprimentos de onda** situados na faixa do espectro eletromagnético entre **380 e 780 nanômetros**;

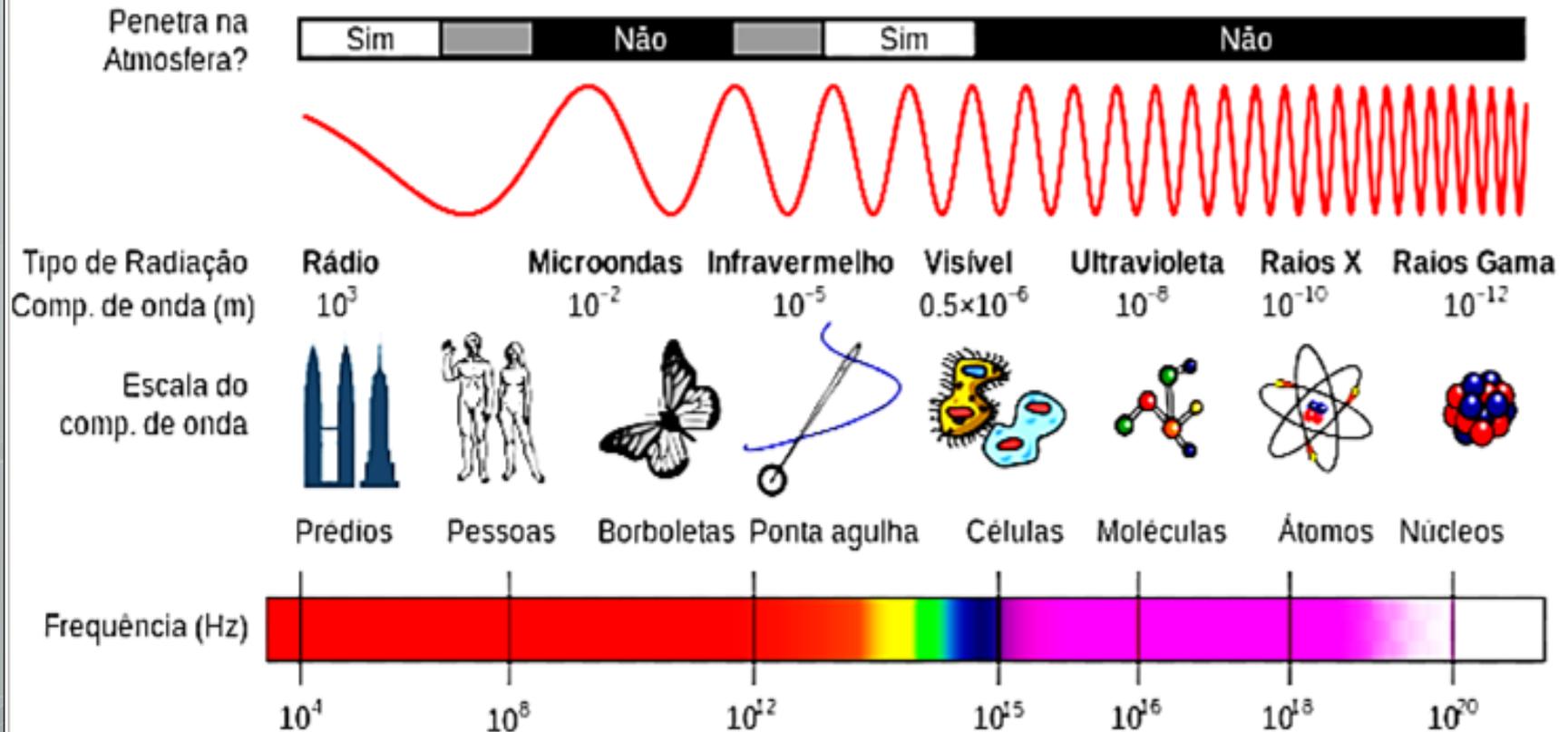
Mas o que é a luz?

- Luz é toda radiação eletromagnética perceptível à **visão humana**;
- São **comprimentos de onda** situados na faixa do espectro eletromagnético entre **380 e 780 nanômetros**;
- **Inclui-se** na definição de luz as regiões próximas a luz visível: **ultravioleta e infravermelho**;

Espectro eletromagnético



Espectro eletromagnético





Óptica geométrica

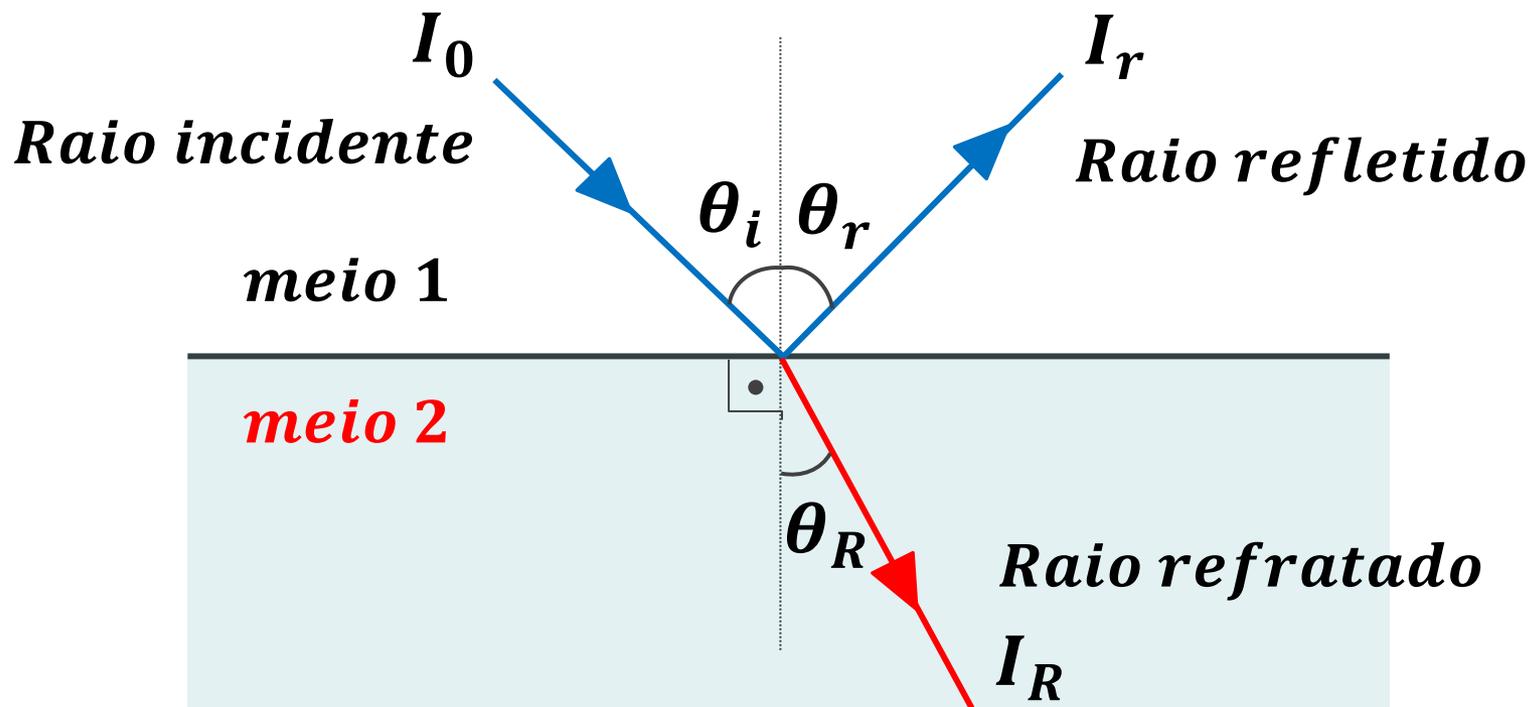


Reflexão e refração da luz

- Quando um raio de luz, que propaga em um meio, encontra a **superfície de uma outro** meio pode ocorrer: **reflexão ou refração**.

Reflexão e refração da luz

- Quando um raio de luz, que propaga em um meio, encontra a **superfície de um outro meio** pode ocorrer: **reflexão ou refração**.



Reflexão e refração da luz

- As direções dos raios são especificadas pelo **ângulo θ** entre a **direção do raio e a normal à superfície**;

Reflexão e refração da luz

- As direções dos raios são especificadas pelo **ângulo θ** entre a **direção do raio e a normal à superfície**;
- Os raios incidente, refletido, refratado e a normal estão todos em um mesmo plano;

Reflexão e refração da luz

- As direções dos raios são especificadas pelo **ângulo θ** entre a **direção do raio e a normal à superfície**;
- Os raios incidente, refletido, refratado e a normal estão todos em um mesmo plano;
- O raio transmitido muda de direção e por isso recebe o nome de raio refratado;

Reflexão e refração da luz

Índice de refração (n): utilizado para quantificar a mudança de direção do raio transmitido (refratado).

Reflexão e refração da luz

Índice de refração (n): utilizado para quantificar a mudança de direção do raio transmitido (refratado).

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

(*adimensional*)

n : índice de refração;

$c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$: velocidade da luz no vácuo;

v : velocidade da luz no meio.

Valores do índice de refração de alguns meios.

Meio	<i>n</i>
Ar (CNTP)	1,000
Água (a 20°C)	1,333
Cloreto de sódio	1,544
Córnea	1,340
Humor aquoso	1,330
Lente do olho humano	1,424
Humor vítreo	1,336

Coeficiente de Reflexão (R)

Razão entre as intensidades das ondas luminosas refletida (I_r) e incidente (I_o).

Coeficiente de Reflexão (R)

Razão entre as intensidades das ondas luminosas refletida (I_r) e incidente (I_o).

$$R = \frac{I_r}{I_o} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (\text{adimensional})$$

I_r : Intensidade do raio refletido;

I_o : Intensidade do raio incidente;

n_1 : índice de refração do meio um;

n_2 : índice de refração do meio dois.

Coeficiente de Transmissão (T)

Razão entre as intensidades das ondas luminosas transmitida (refratada) (I_R) e incidente (I_o).

Coeficiente de Transmissão (T)

Razão entre as intensidades das ondas luminosas transmitida (refratada) (I_R) e incidente (I_o).

$$T = \frac{I_R}{I_o} = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (\text{adimensional})$$

I_R : Intensidade do raio **transmitido (refratado)**;

I_o : Intensidade do raio incidente;

n_1 : índice de refração do meio um;

n_2 : índice de refração do meio dois.

Coeficientes (R) e (T)

A soma dos coeficientes de reflexão (R) e de Transmissão (T) resulta na unidade:

$$T + R = 1 \quad (\text{adimensional})$$

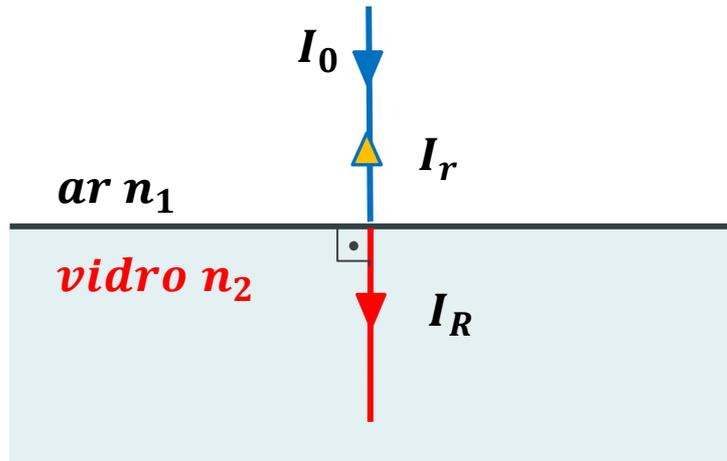
Portanto, os **valores absolutos de R e T são menores do que a unidade;**

Obtém-se o **valor percentual** dos coeficientes **multiplicando-se o resultado por 100.**

Exemplo 17.1

Calcule a porcentagem de intensidade da luz transmitida e refletida na passagem do **ar** ($n=1,00$) para o **vidro** ($n=1,52$). Considere a incidência da luz normal à interface ar-vidro.

Exemplo - solução

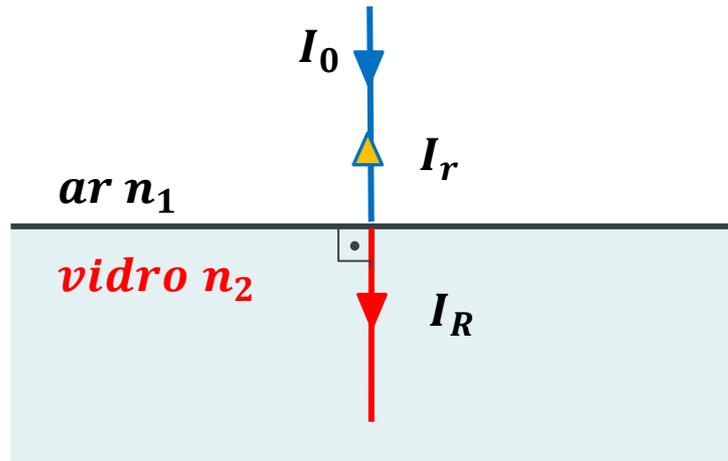


$$n_1 = 1,00 \quad n_2 = 1,52$$

$$R = ?$$

$$T = ?$$

Exemplo - solução



$$n_1 = 1,00 \quad n_2 = 1,52$$

$$R = ?$$

$$T = ?$$

$$T = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2} = \frac{4 \times (1,00) \times (1,52)}{(1,00 + 1,52)^2} = 0,957$$

$$T = 95,7 \%$$

$$\text{como: } T + R = 1 \rightarrow R = 1 - T = 1 - 0,957 = 0,0430$$

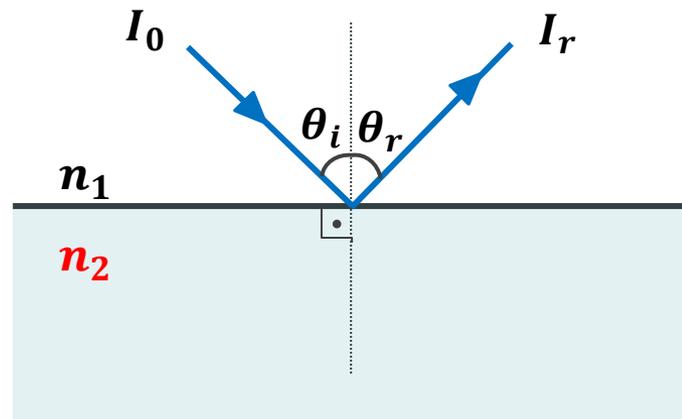
$$R = 4,3 \%$$

Lei da Reflexão

- Verifica-se experimentalmente que o ângulo de incidência (θ_i) é igual ao ângulo de reflexão (θ_r).

Lei da Reflexão

- Verifica-se experimentalmente que o ângulo de incidência (θ_i) é igual ao ângulo de reflexão (θ_r).



$$\theta_i = \theta_r$$

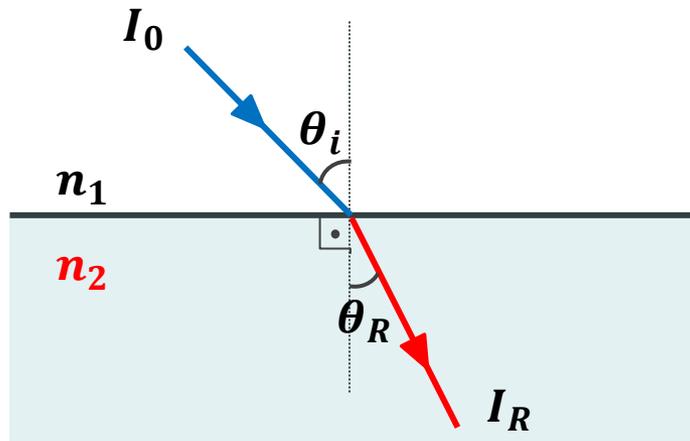
(lei da reflexão)

Lei de Snell

- O seno do ângulo de incidência (θ_i) e do ângulo de refração (θ_R) estão relacionados com os índices de refração dos meios.

Lei de Snell

- O seno do ângulo de incidência (θ_i) e do ângulo de refração (θ_R) estão relacionados com os índices de refração dos meios.



$$n_1 \operatorname{sen}\theta_i = n_2 \operatorname{sen}\theta_R$$

(lei de Snell)

Exemplo

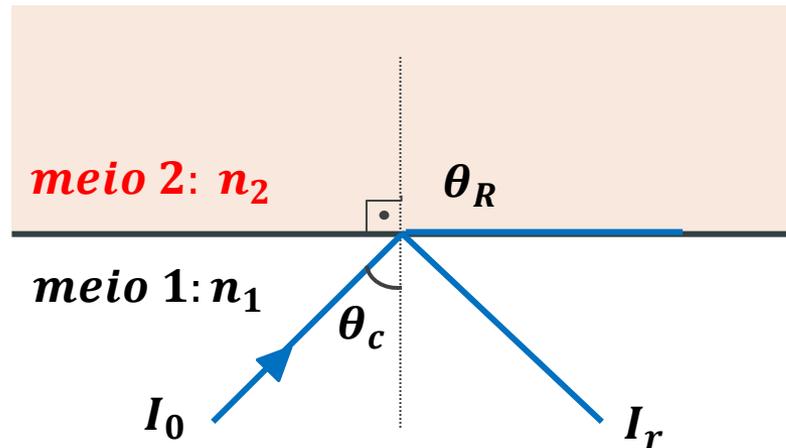
Um tanque retangular de **2,0 m de altura** está cheio de água (**$n=1,33$**). Um raio luminoso incide na água num dos lados do tanque com um ângulo de **incidência de 60°** . Determine a distância do raio, a partir do lado do tanque, ao atingir o fundo. *Resp = 1,7 m*

Reflexão interna total da luz

- Pode ocorrer quando um raio luminoso que se propaga de um meio com índice de refração(n_1) incide em um meio de refração ($n_2 < n_1$)

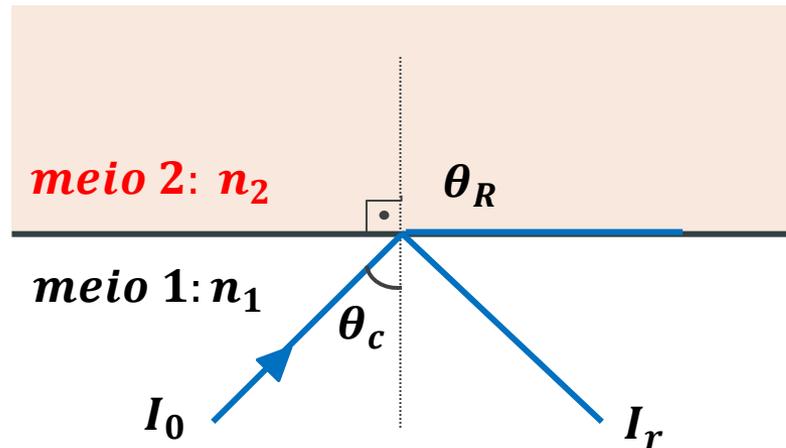
Reflexão interna total da luz

- Pode ocorrer quando um raio luminoso que se propaga de um meio com índice de refração (n_1) incide em um meio de refração ($n_2 < n_1$)



Reflexão interna total da luz

- Pode ocorrer quando um raio luminoso que se propaga de um meio com índice de refração (n_1) incide em um meio de refração ($n_2 < n_1$)



*Reflexão total
condição:*

$$n_2 < n_1$$

ar < água

ar < vidro

Na lei de Snell ($\theta_R = 90^\circ$)

$$n_1 \operatorname{sen}\theta_c = n_2 \operatorname{sen}90 \quad \rightarrow \quad \operatorname{sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Na lei de Snell ($\theta_R = 90^\circ$)

$$n_1 \operatorname{sen}\theta_c = n_2 \operatorname{sen}90 \quad \rightarrow \quad \operatorname{sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_c = \operatorname{arcsen}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

reflexão total

θ_c : ângulo crítico para reflexão total;

n_1 : índice de refração do meio um;

n_2 : índice de refração do meio dois;

$n_2 < n_1$

Fibras ópticas

- **Utilizam o ângulo crítico de incidência** para transmitir a luz a grandes distâncias;

Fibras ópticas

- **Utilizam o ângulo crítico de incidência** para transmitir a luz a grandes distâncias;
- Pode ser construída em **vidro, quartzo ou polímero**;
- Composta de um **núcleo** com índice de refração (n_1) e de uma **casca** com índice de refração (n_2), sendo $n_2 < n_1$;

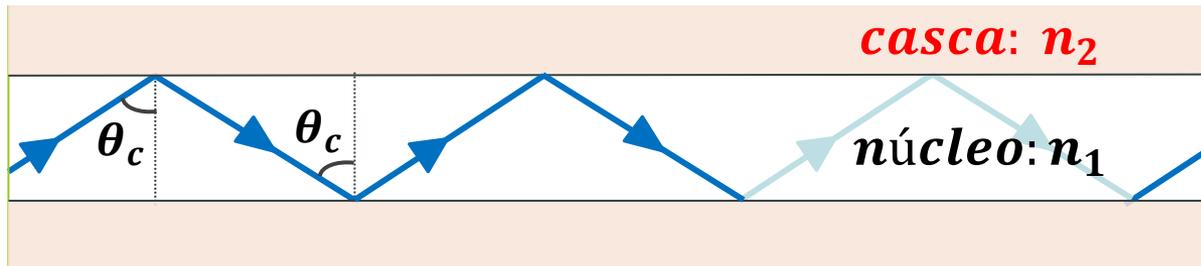
Fibras ópticas

- **Utilizam o ângulo crítico de incidência** para transmitir a luz a grandes distâncias;
- Pode ser construída em **vidro, quartzo ou polímero**;
- Composta de um **núcleo** com índice de refração (n_1) e de uma **casca** com índice de refração (n_2), sendo $n_2 < n_1$;
- Através de reflexões internas sucessivas um **feixe é transmitido de uma extremo a outro** levando luz ou trazendo imagem.

Fibras ópticas

- O diâmetro aproximado de fibras ópticas utilizadas na medicina e odontologia é da ordem de $20\ \mu\text{m}$.

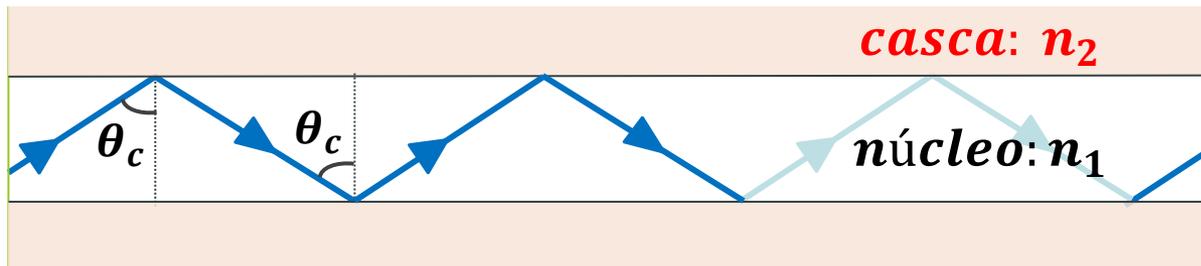
$$n_2 < n_1$$



Fibras ópticas

- O diâmetro aproximado de fibras ópticas utilizadas na medicina e odontologia é da ordem de $20\ \mu\text{m}$.

$$n_2 < n_1$$



- **Aplicações:** exames de endoscopia, cirurgias internas guiada por imagem.



Óptica Física



Difração e interferência

- A difração é a passagem de uma onda pela **borda** de uma barreira ou através de uma **fenda**;

Difração e interferência

- A difração é a passagem de uma onda pela **borda** de uma barreira ou através de uma **fenda**;
- A difração provoca um **alargamento do comprimento de onda e interferência das frentes de onda**;

Difração e interferência

- A difração é a passagem de uma onda pela **borda** de uma barreira ou através de uma **fenda**;
- A difração provoca um **alargamento do comprimento de onda e interferência das frentes de onda**;
- Na **região após a passagem** da onda são criadas regiões de **maior ou menor intensidade do que a intensidade incidente**.

Difração e interferência

- **As ondas difratadas podem ser mecânicas eletromagnéticas ou associadas à partículas;**

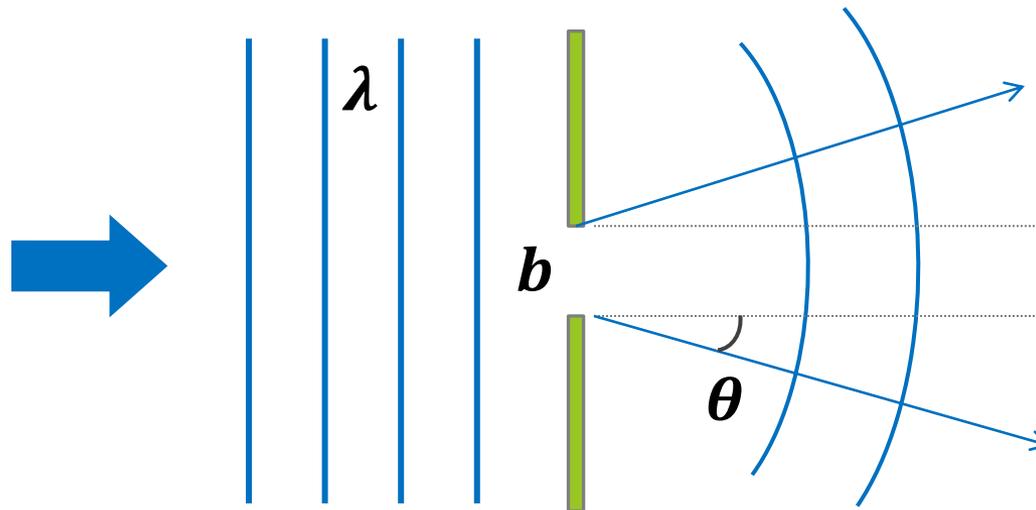
Difração e interferência

- As **ondas difratadas** podem ser **mecânicas eletromagnéticas** ou **associadas à partículas**;
- Uma **barreira** pode ser formada por **fendas ópticas** ou por um **rede cristalina de átomos**;

Difração e interferência

- As **ondas difratadas** podem ser **mecânicas eletromagnéticas** ou **associadas à partículas**;
- Uma **barreira** pode ser formada por **fendas ópticas** ou por um **rede cristalina de átomos**;
- Para **interpretação matemática** iremos considerar uma onda de luz que passa através de uma **fenda estreita**.

Difração e interferência

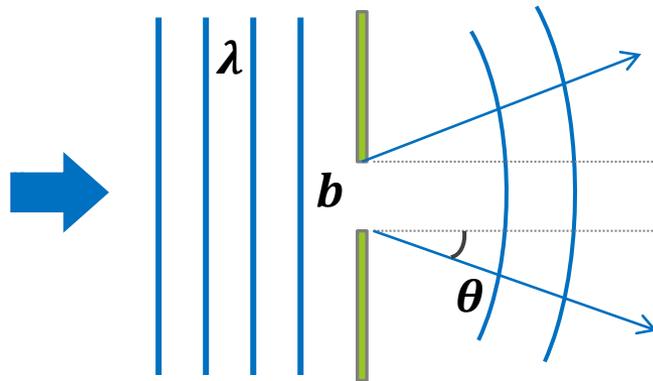


λ : comprimento da onda incidente;

b : largura da fenda;

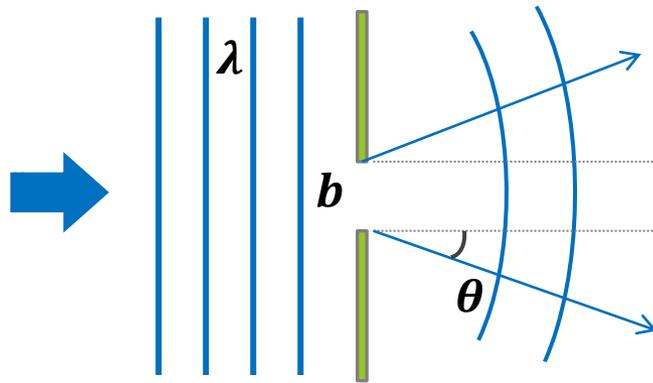
θ : ângulo de um raio difratado.

Difração e interferência



Se $b \gg \lambda$: não ocorre difração ou é muito pequena;

Difração e interferência

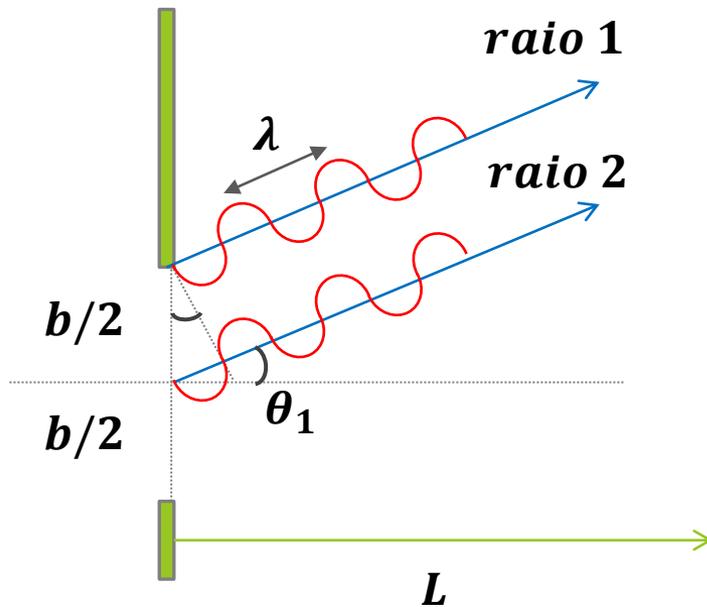


Se $b \gg \lambda$: não ocorre difração ou é muito pequena;

Se $b \cong \lambda$: a difração é acentuada e vale a relação:

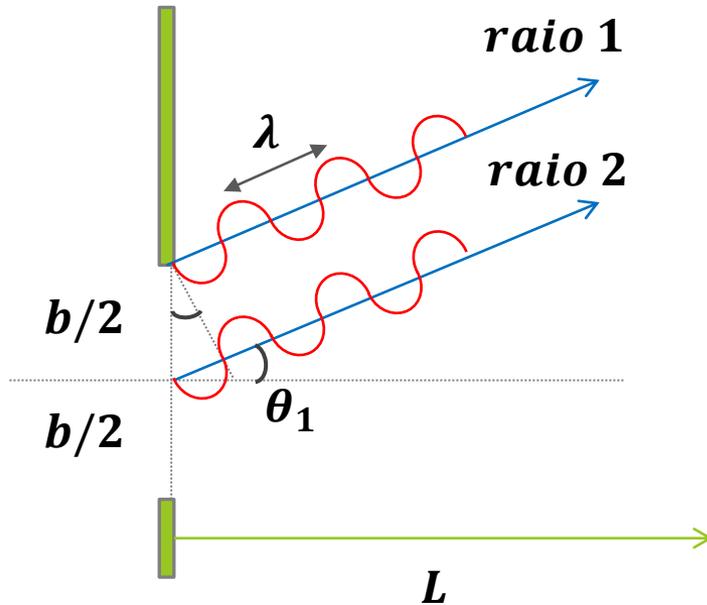
$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{b}$$

Difração e interferência



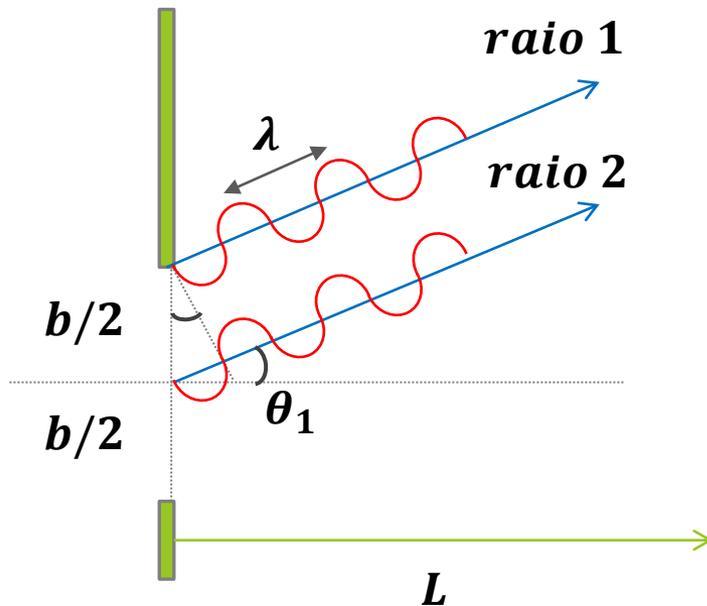
- A Figura mostra a região ampliada da fenda;

Difração e interferência



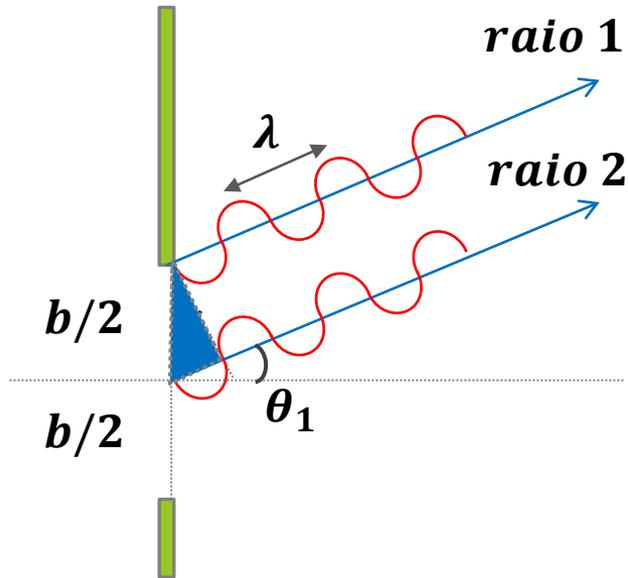
- A Figura mostra a região ampliada da fenda;
- Se um anteparo é colocado a grande distância (L), os raios que partem da fenda podem ser considerados paralelos;

Difração e interferência



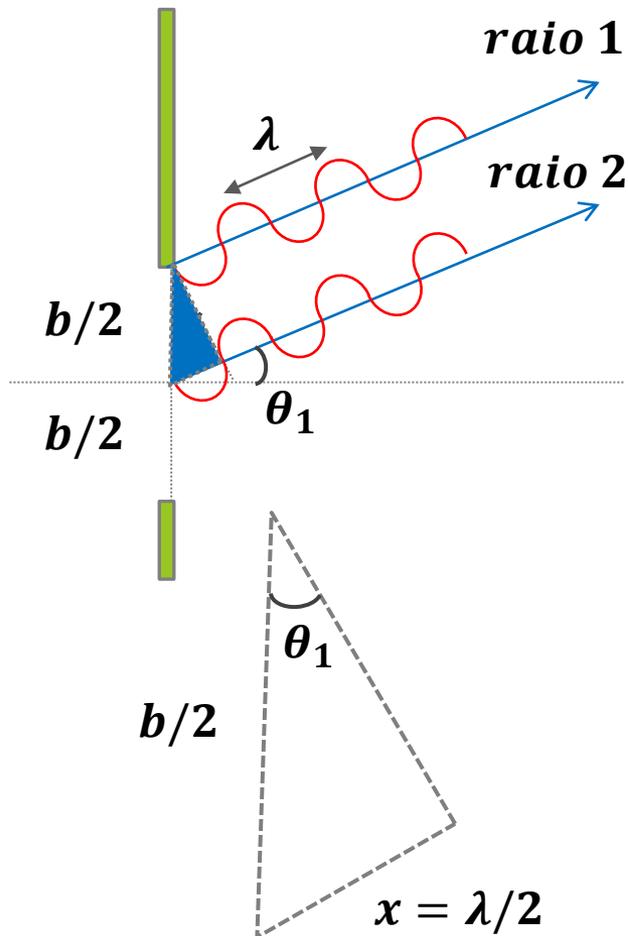
- A Figura mostra a região ampliada da fenda;
- Se um anteparo é colocado a grande distância (L), os raios que partem da fenda podem ser considerados paralelos;
- A defasagem entre o raio 1 e o raio 2 é $x = \lambda/2$;

Difração e interferência



- Os dois raios adjacentes, defasados de $\lambda/2$ ao atingirem um ponto comum do anteparo irão se anular (interferência destrutiva);

Difração e interferência

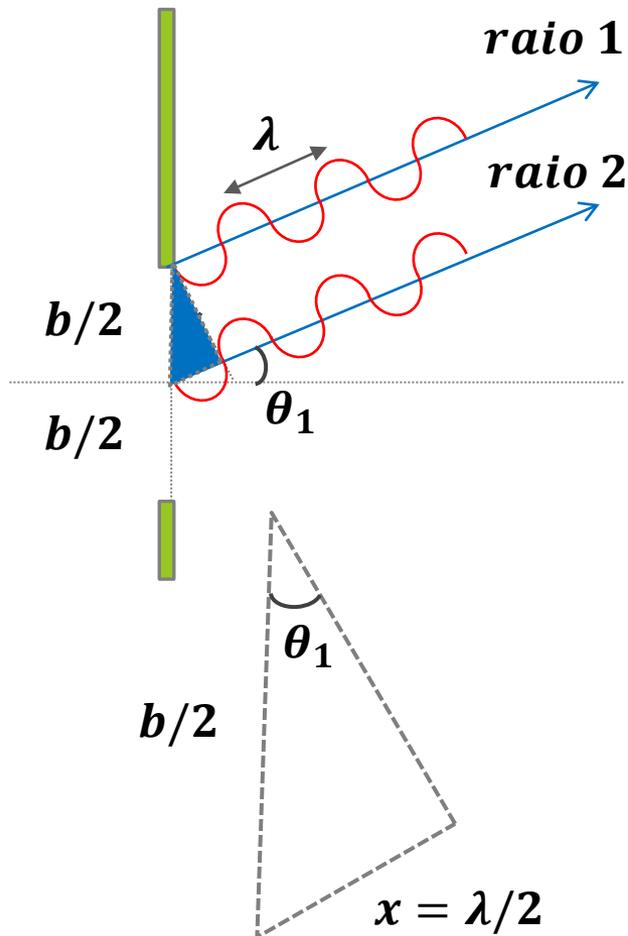


- Os dois raios adjacentes, defasados de $\lambda/2$ ao atingirem um ponto comum do anteparo irão se anular (interferência destrutiva);
- Do triângulo temos:

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{\lambda/2}{b/2}$$

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{\lambda}{b}$$

Difração e interferência



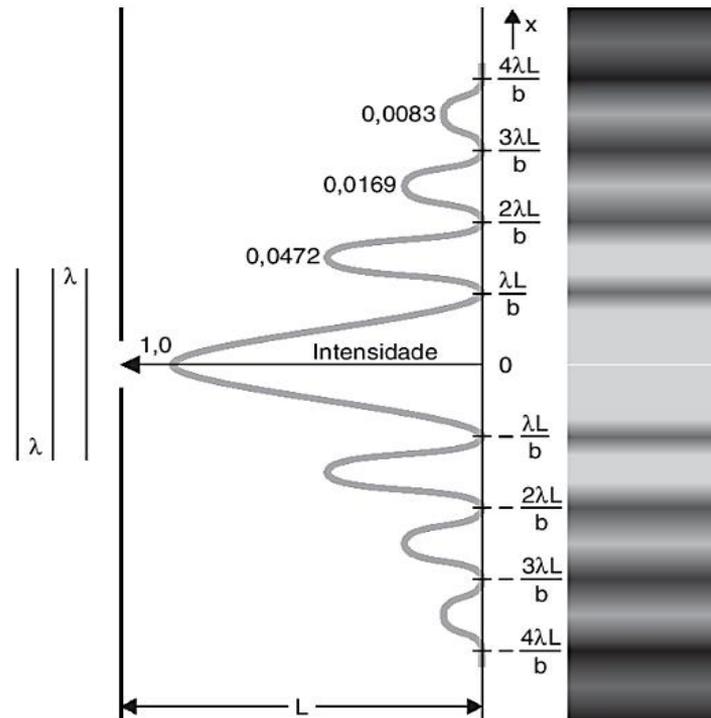
- Um novo ponto de interferência destrutiva irá se formar para múltiplos inteiros da relação para θ :

$$\text{sen}\theta_n = n \frac{\lambda}{b} \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

Interferência destrutiva

Difração e interferência

- A figura formada no anteparo é chamada *figura de difração* ou *difração de Fraunhofer*.



Difração por fenda circular

- Presente nos **olhos de muito animais** cujo diâmetro é regulado pela pupila;

Difração por fenda circular

- Presente nos **olhos de muito animais** cujo diâmetro é regulado pela pupila;
- As **lentes de instrumentos ópticos** como lupas e microscópio óptico funcionam como aberturas circulares;

Difração por fenda circular

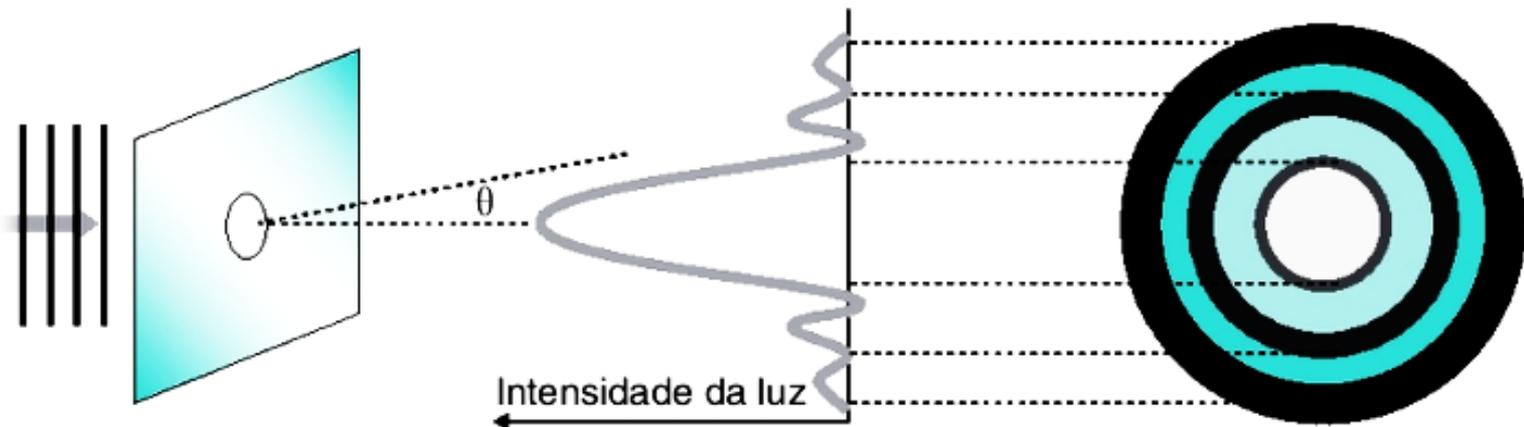
- Presente nos **olhos de muito animais** cujo diâmetro é regulado pela pupila;
- As **lentes de instrumentos ópticos** como lupas e microscópio óptico funcionam como aberturas circulares;
- No caso da fenda circular o **primeiro ponto de interferência destrutiva ocorre quando:**

$$\text{sen}\theta = 1,22 \frac{\lambda}{b}$$

b : diâmetro da fenda circular;

Difração por fenda circular

- O máximo central principal é chamado de **disco de Airy**, ilustrado na figura.



Poder de resolução

- Uma **lente se comporta como uma fenda circular**, assim, as **imagens de dois pontos objetos separados serão figuras de difração**.

Poder de resolução

- Uma **lente se comporta como uma fenda circular**, assim, as **imagens de dois pontos objetos separados serão figuras de difração**.
- **Se ocorrer superposição das figuras não será possível distinguir os dois pontos** na imagem;

Poder de resolução

- Uma **lente se comporta como uma fenda circular**, assim, as **imagens de dois pontos objetos separados serão figuras de difração**.
- **Se ocorrer superposição das figuras não será possível distinguir os dois pontos** na imagem;
- Então, o **poder de resolução é a capacidade de um sistema formar imagens bem definidas de dois objetos**.

Poder de resolução

- **Lord Rayleigh** propôs como critério para quantificar o poder de resolução a separação angular entre dois pontos objetos;

$$\theta = \arcsen\left(1,22 \frac{\lambda}{b}\right)$$

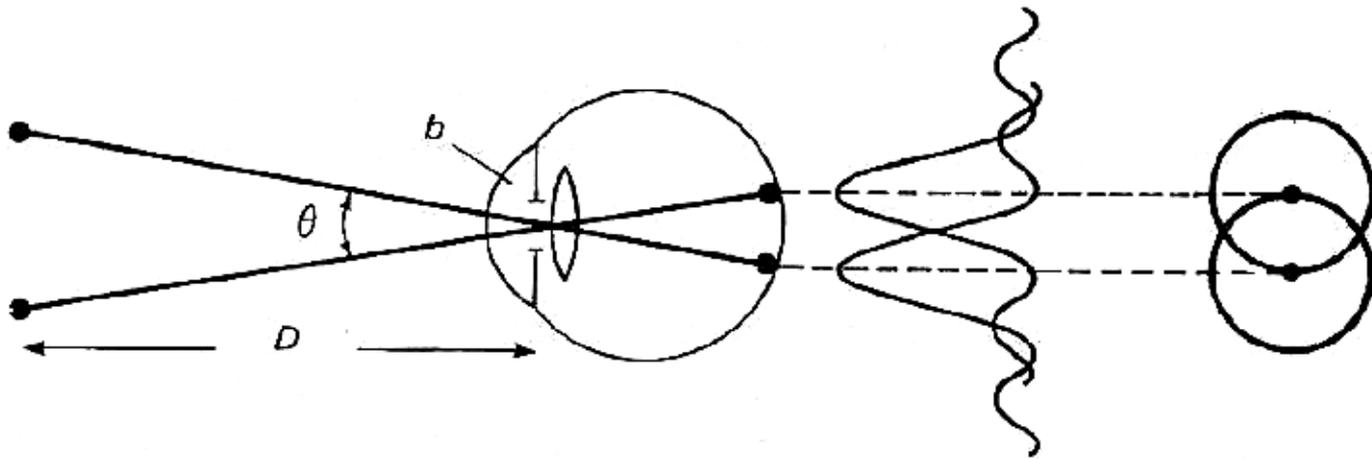
θ : poder de resolução, quanto menor maior a resolução;

λ : comprimento de onda da luz;

b : diâmetro da fenda circular;

Poder de resolução

- O critério de Rayleigh no olho humano é ilustrado na figura.



Exemplo

A **máxima sensibilidade** do olho humano normal ocorre no comprimento de onda $\lambda = 550 \text{ nm}$ para um diâmetro de abertura da pupila $b = 2,00 \text{ mm}$. Um objeto é colocado a **25,0 cm do olho**. Calcule:

- O poder de resolução do olho humano;
- O tamanho mínimo do objeto para ser visto com definição sendo a distância entre a lente e a retina $d = 2,50 \text{ cm}$

a) Resp $\theta = 0,019^\circ = 0,33 \cdot 10^{-3} [\text{rad}]$

b) Resp $x = 0,1 \text{ mm}$

Lentes delgadas

- As lentes estão presentes em diversos sistemas ópticos como:
 - **Olho humano e animal;**
 - **Câmera fotográfica;**
 - **Óculos;**
 - **Microscópio óptico.**

Lentes delgadas

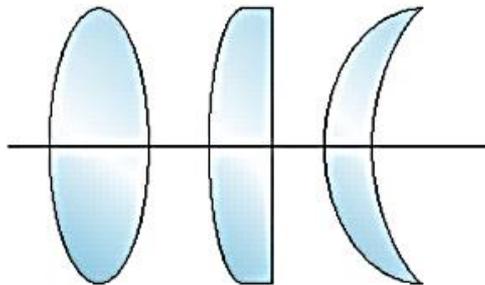
- As lentes estão presentes em diversos sistemas ópticos como:
 - **Olho humano e animal;**
 - **Câmera fotográfica;**
 - **Óculos;**
 - **Microscópio óptico.**
- **Nas lentes ocorre a refração** ou mudança de direção do raio transmitido;

Lentes delgadas

- Em um lente delgada a **espessura é pequena** quando comparada com as distâncias a ela associada;

Lentes delgadas

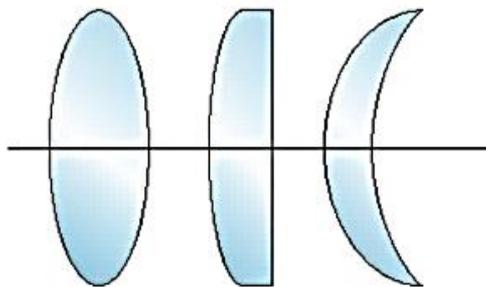
- Em um lente delgada a **espessura é pequena** quando comparada com as distâncias a ela associada;
- As lentes podem ser **convergentes (positivas)** ou **divergentes (negativas)**.



Lentes convergentes

Lentes delgadas

- Em um lente delgada a **espessura é pequena** quando comparada com as distâncias a ela associada;
- As lentes podem ser **convergentes (positivas)** ou **divergentes (negativas)**.

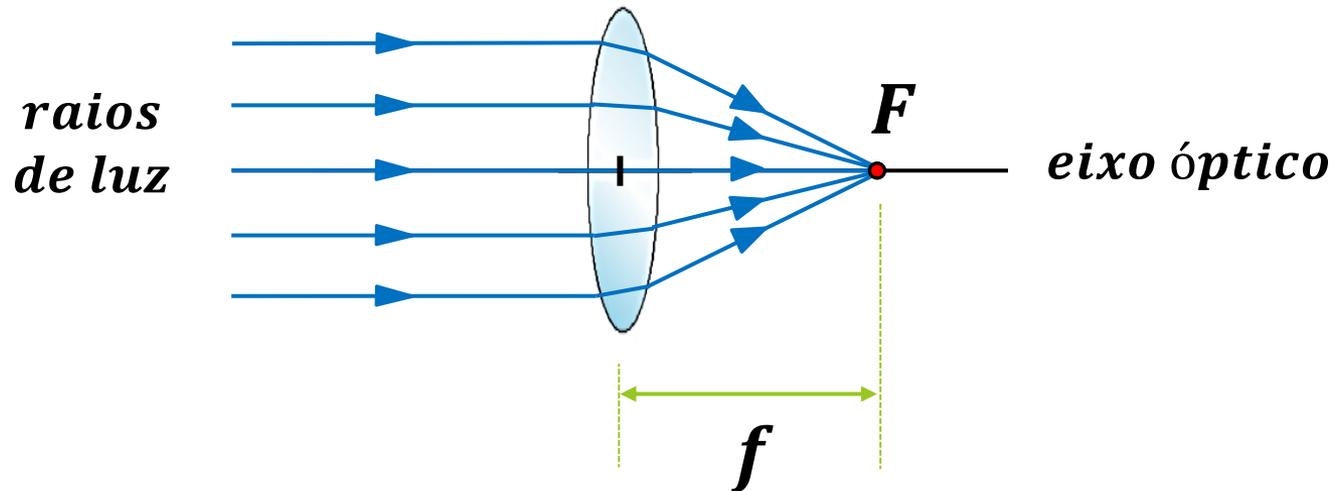


Lentes convergentes



Lentes divergentes

Lentes delgadas - Parâmetros

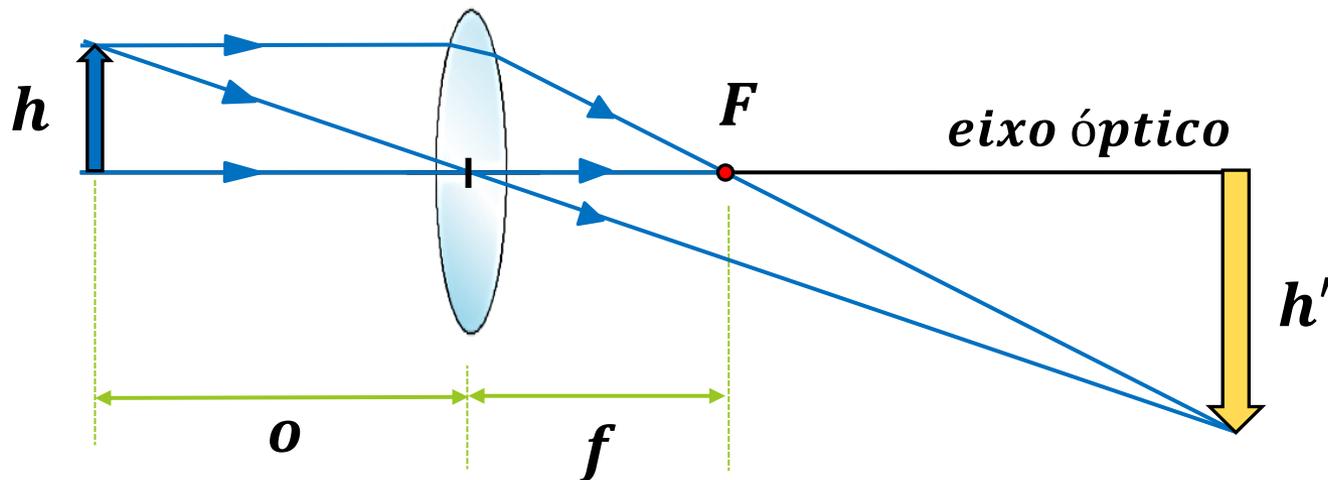


F – ***Ponto Focal***: ponto para onde convergem os raios luminosos que incidem paralelamente ao eixo óptico;

f – ***Distância focal***: distância do centro da lente ao ponto focal.

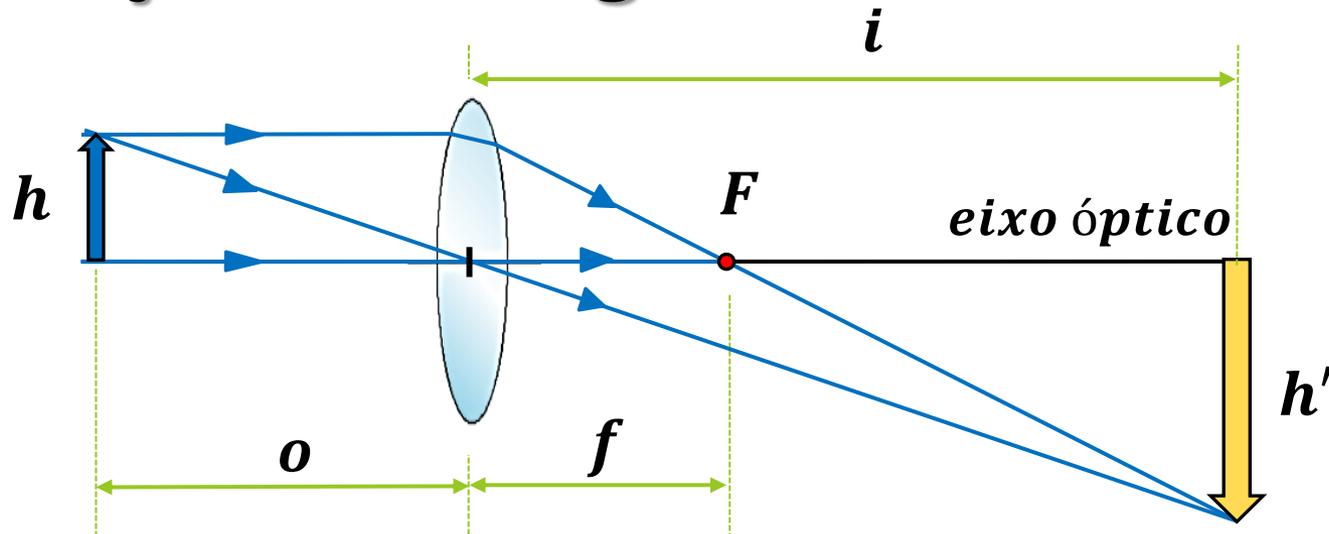
Formação de imagens

Um objeto de altura (h) é colocado a distância (o) de uma lente convergente. Uma imagem (h') será formada.



- O raio que passa pelo centro da lente não sofre desvio;
- O raio paralelo ao eixo passa pelo ponto focal.

Formação de imagens



Se h e h' são as alturas do objeto e da imagem, através da semelhança de triângulos se deduz a relação:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

equação das lentes delgadas

Formação de imagens

O **aumento linear transversal** do objeto (A) será a razão entre a altura da imagem (h') e a altura do objeto (h):

$$A = -\frac{h'}{h} = -\frac{i}{o} \quad \text{aumento linear}$$

Formação de imagens

O **aumento linear transversal** do objeto (A) será a razão entre a altura da imagem (h') e a altura do objeto (h):

$$A = -\frac{h'}{h} = -\frac{i}{o} \quad \text{aumento linear}$$

O **sinal negativo** no resultado final indicará que a **imagem é invertida** em relação ao objeto.

Exemplo

Um objeto é colocado a $4,0 \text{ cm}$ de uma lente convergente que possui **distância focal** $6,0 \text{ cm}$. Determine:

- a) A posição e a orientação da imagem;
- b) O aumento linear transversal da imagem

a) *Resp* $i = -12 \text{ cm}$

b) *Resp* $A = 3,0$

Microscópio óptico

- O arranjo mais simples consiste em duas **lentes convergentes** e iluminação dirigida para o objeto;

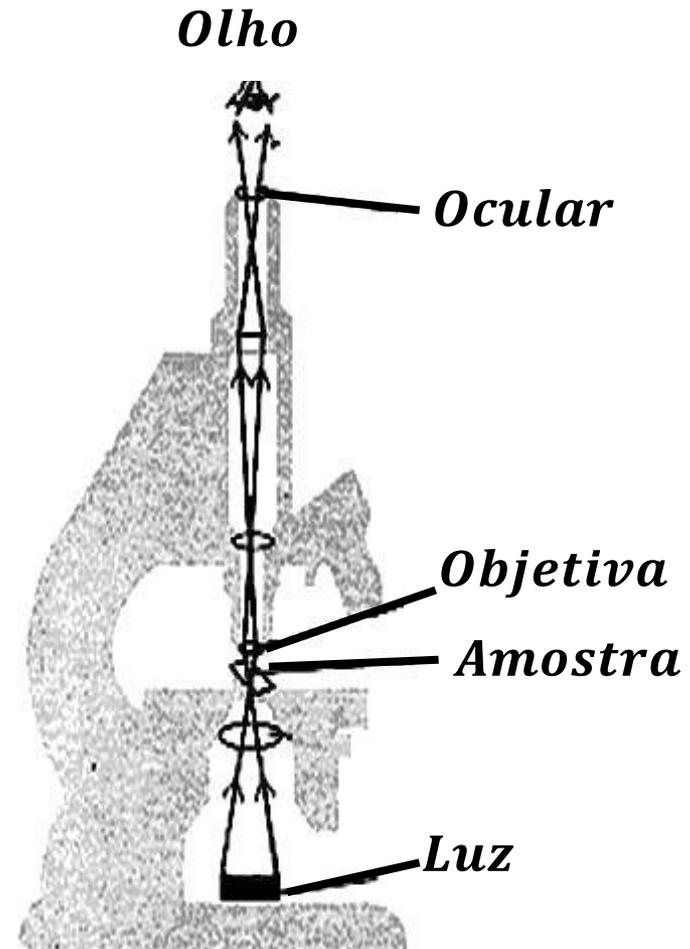
Microscópio óptico

- O arranjo mais simples consiste em duas **lentes convergentes** e iluminação dirigida para o objeto;
- A lente mais próxima do olho é chamada **ocular** e a mais próxima da imagem é a **objetiva**;

Microscópio óptico

- O arranjo mais simples consiste em duas **lentes convergentes** e iluminação dirigida para o objeto;
- A lente mais próxima do olho é chamada **ocular** e a mais próxima da imagem é a **objetiva**;
- A ocular funciona como lente de aumento para observar a imagem formada pela objetiva.

Microscópio óptico



Microscópio óptico

O aumento total (M) é o produto dos aumentos da objetiva (A) e da ocular (θ)

$$M = A \cdot \theta \quad \text{aumento}$$

Microscópio óptico

O aumento total (M) é o produto dos aumentos da objetiva (A) e da ocular (θ)

$$M = A \cdot \theta \quad \text{aumento}$$

Sendo: $\theta = \frac{25}{f_{oc}} + 1$ e $A = -\frac{i}{o} \cong \frac{16}{f_{ob}}$

f_{oc} : foco da ocular; f_{ob} : foco da objetiva.

Microscópio óptico

O aumento total (M) é o produto dos aumentos da objetiva (A) e da ocular (θ)

$$M = A \cdot \theta \quad \text{aumento}$$

Sendo: $\theta = \frac{25}{f_{oc}} + 1$ e $A = -\frac{i}{o} \cong \frac{16}{f_{ob}}$

$$M = \frac{16}{f_{ob}} \left(\frac{25}{f_{oc}} + 1 \right)$$

f_{oc} : foco da ocular; f_{ob} : foco da objetiva.

Microscópio óptico

O poder de resolução do microscópio óptico (LR) é definido em termos da abertura numérica (AN) da objetiva e do comprimento de onda (λ):

Microscópio óptico

O poder de resolução do microscópio óptico (LR) é definido em termos da abertura numérica (AN) da objetiva e do comprimento de onda (λ):

$$AN = n \operatorname{sen}\theta \quad \textit{abertura numérica}$$

$$LR = 0,612 \frac{\lambda}{AN} \quad \textit{equação de Abbe}$$

n : índice de refração

$$n_{ar} = 1,00 \quad | \quad n_{\acute{a}gua} = 1,33 \quad | \quad n_{Gril} = 1,45 \quad | \quad n_{\acute{o}leo} = 1,51$$

Microscópio óptico

O poder de resolução do microscópio óptico (LR) é definido em termos da abertura numérica (AN) da objetiva e do comprimento de onda (λ):

$$AN = 1,51 \operatorname{sen}90 = 1,51$$

$$LR = 0,612 \frac{380 \cdot 10^{-9}}{1,51} = \mathbf{0,15 \mu m}$$

- Menor diferença entre dois pontos observados no microscópio óptico;

n : índice de refração $n_{\text{óleo}} = 1,51$

Microscópio óptico

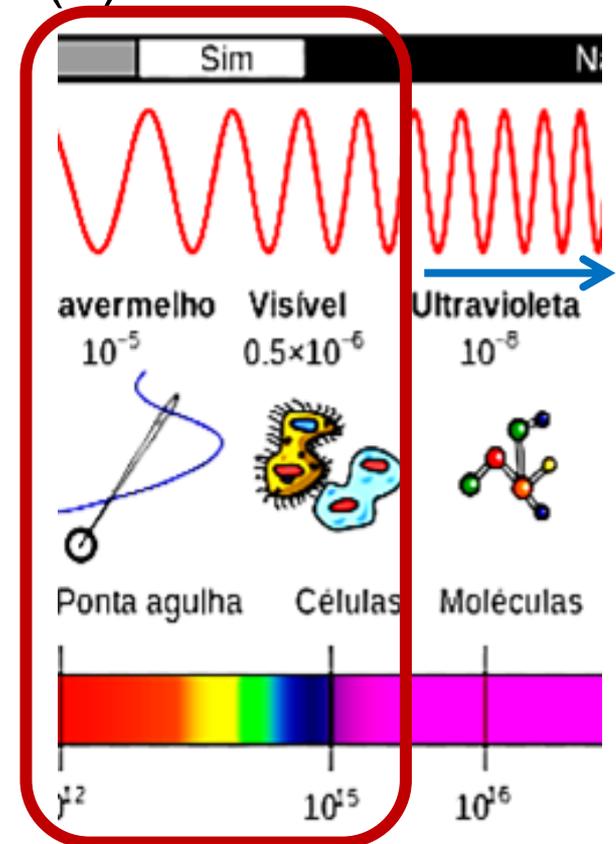
O poder de resolução do microscópio óptico (LR) é definido em termos da abertura numérica (AN) da objetiva e do comprimento de onda (λ):

$$AN = 1,51 \operatorname{sen}90 = 1,51$$

$$LR = 0,612 \frac{380 \cdot 10^{-9}}{1,51} = \mathbf{0,15 \mu m}$$

- Menor diferença entre dois pontos observados no microscópio óptico;
- Melhor resolução somente com menores comprimentos de onda (λ).

n : índice de refração $n_{\text{óleo}} = 1,51$





**Para depois
desta aula**



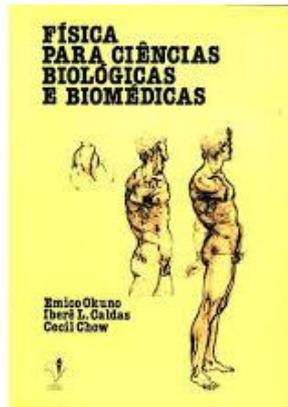
Para depois desta aula

- Completar estudo com a leitura do capítulo 17 e 18 do livro texto (Okuno);
- Acessar Lista 09 no site:

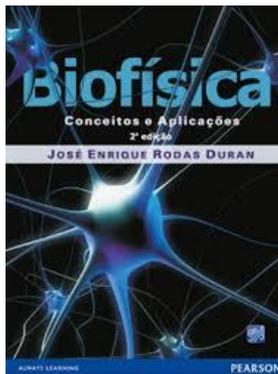
profhenriquefaria.com

Obrigado pela atenção!
E bons estudos.

Referências



Okuno, E. Caldas, I. L. Chow, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.** São Paulo: Harbra, 1986. (Capítulos 17 e 18)



DURAN, J.E.R. **Biofísica. Fundamentos e Aplicações, 2ª Ed.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. (Capítulo 5)