

**Aula 10**

# **Óptica Física e Geométrica**

**Física Aplicada à Farmácia**

2º semestre 2019

**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**;

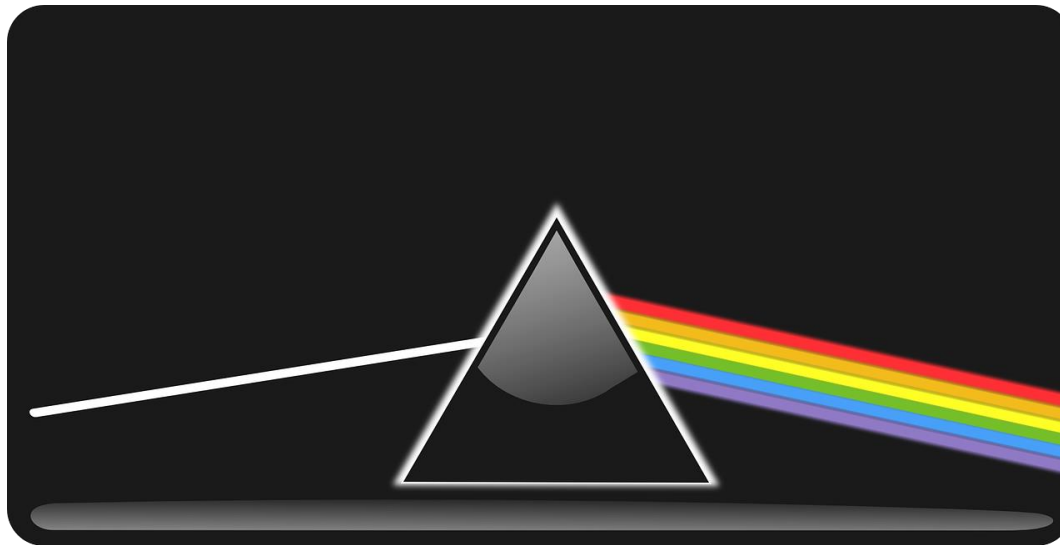
- Dentre esses fenômenos estão:
  - Interferência;
  - Difração;
  - Polarização.

# 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**;



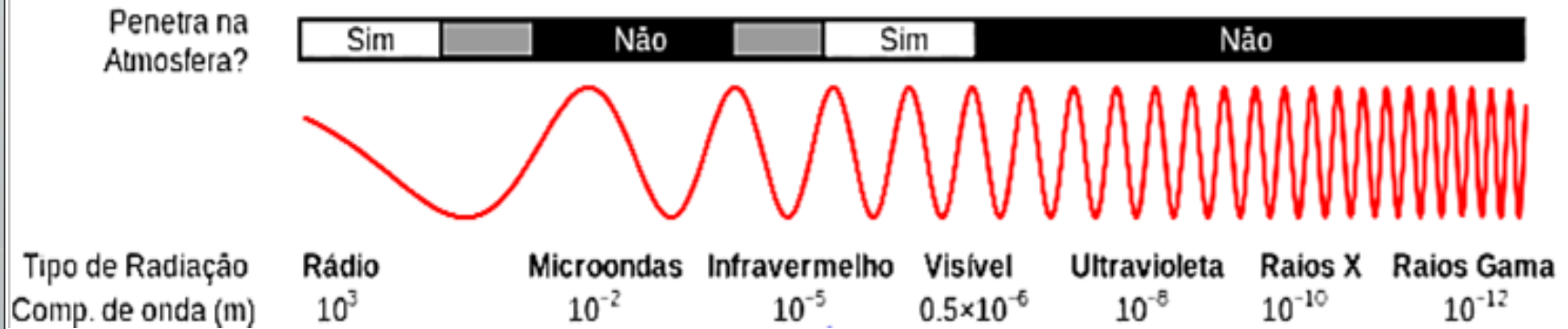
# Mas o que é a luz?

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

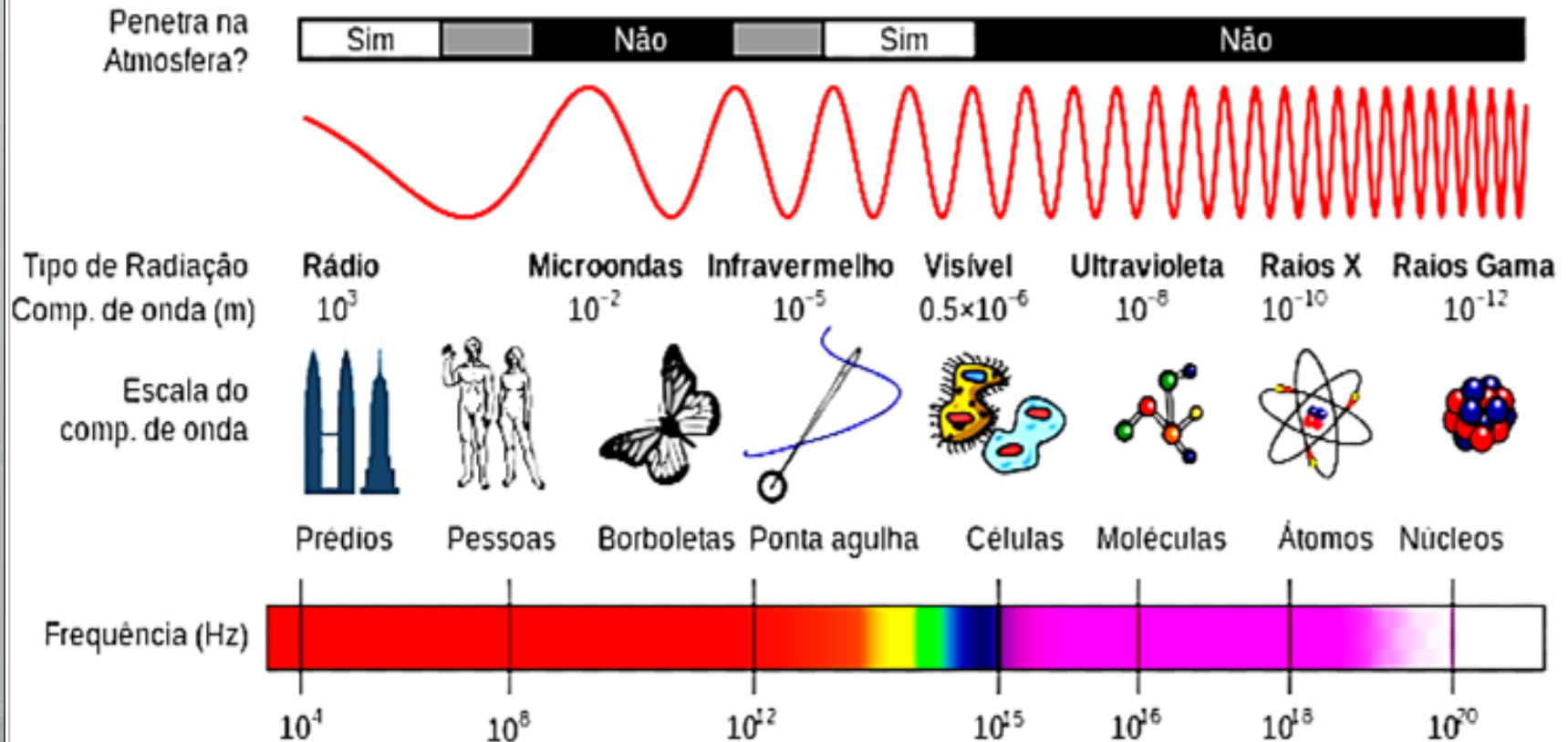
# Mas o que é a luz?

- 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**

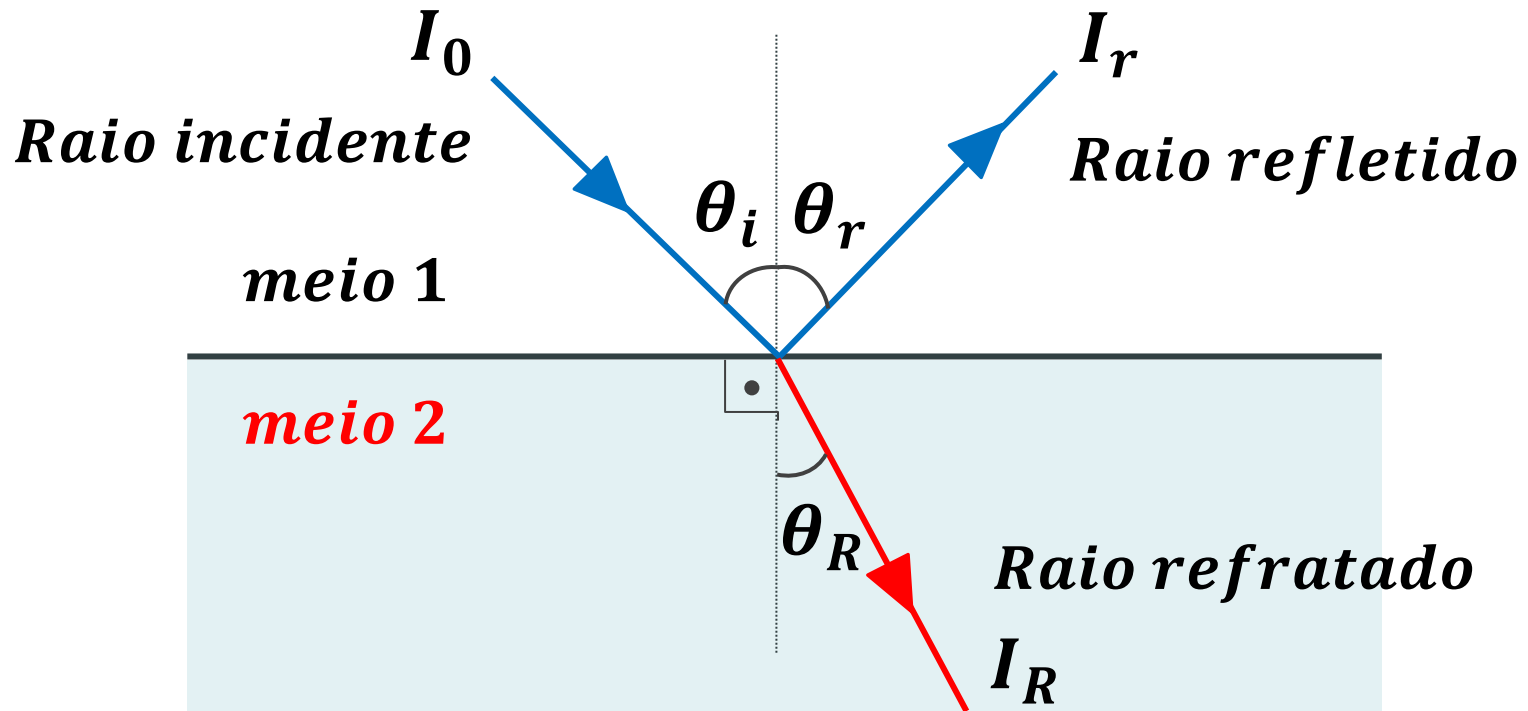


# Reflexão e refração da luz

- 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  $\theta$**  entre a **direção do raio e a normal à superfície**;



# Reflexão e refração da luz

- As direções dos raios são especificadas pelo **ângulo  $\theta$**  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  $\theta$**  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;

$c = 2,99.10^8 \text{ m/s}$ : velocidade da luz no vácuo;

$v$ : velocidade da luz no meio.

Valores do índice de refração de alguns meios.

<b>Meio</b>	<b><i>n</i></b>
Ar (CNTP)	1,000
<b>Água (a 20°C)</b>	<b>1,333</b>
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:

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

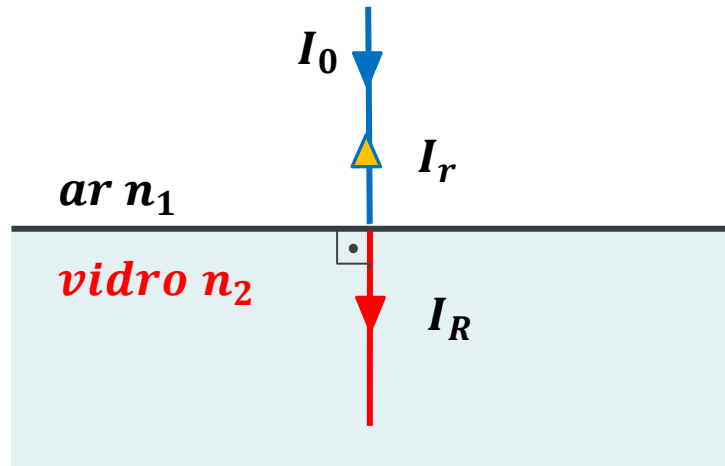
Portanto, os **valores absolutos de R e T são menores do que a unidade;**

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

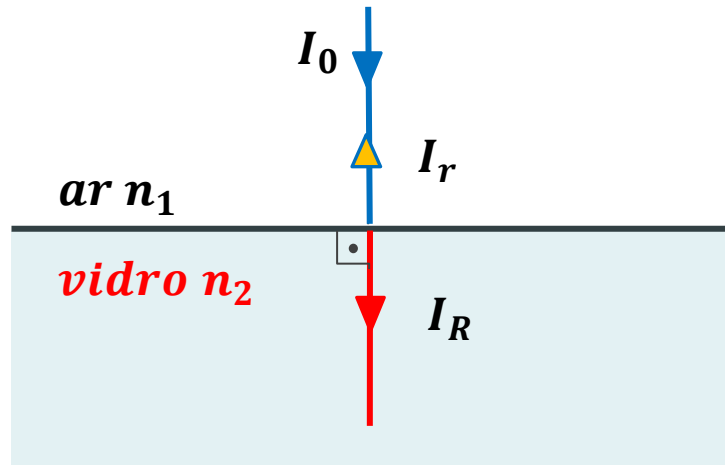


$$n_1 = 1,00 \quad n_2 = 1,52$$

$$R = ?$$

$$T = ?$$

# Exemplo - solução



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

$$R = ?$$

$$T = ?$$

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

$$T = 95,7 \%$$

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

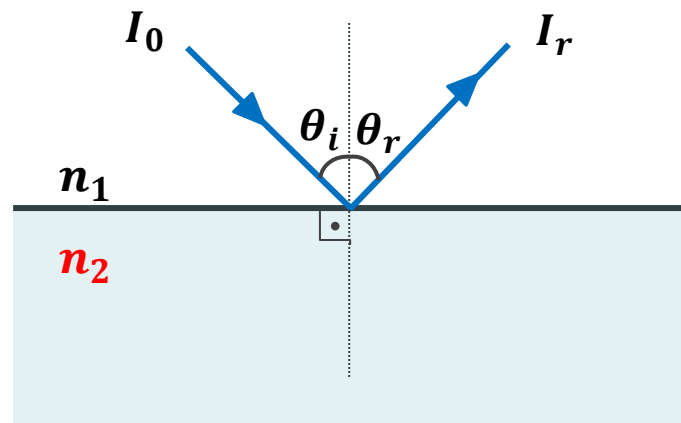
$$R = 4,3 \%$$

# Lei da Reflexão

- Verifica-se experimentalmente que o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) é igual ao ângulo de reflexão ( $\theta_r$ ).

# Lei da Reflexão

- Verifica-se experimentalmente que o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) é igual ao ângulo de reflexão ( $\theta_r$ ).



$$\theta_i = \theta_r$$

(lei da reflexão)

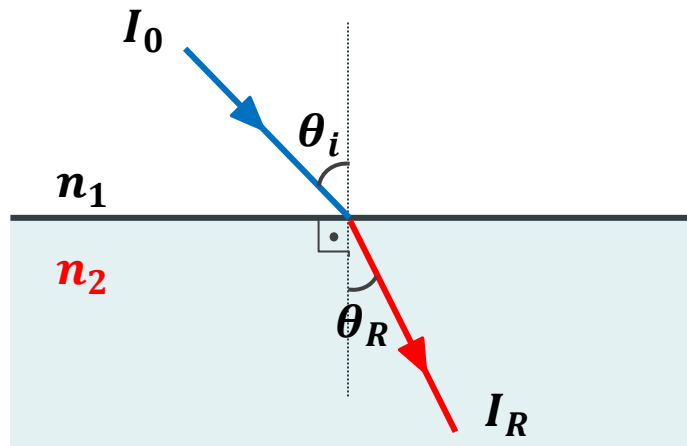
# Lei de Snell

- O seno do ângulos de incidência ( $\theta_i$ ) e do ângulo de refração ( $\theta_R$ ) estão relacionados com os índices de refração dos meios.



# Lei de Snell

- O seno do ângulos de incidência ( $\theta_i$ ) e do ângulo de refração ( $\theta_R$ ) estão relacionados com os índices de refração dos meios.



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

(*lei de Snell*)

# Exemplo

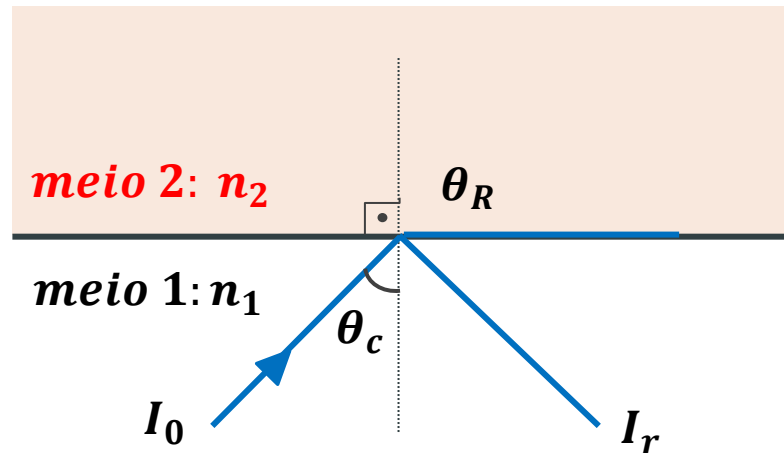
Um tanque retangular de **2,0 m de altura** está cheio de água ( $n=1,33$ ). Um raio luminoso incide na água num dos lados do tanque com um ângulo de **incidência de  $60^\circ$** . Determine a distância do raio, a partir do lado, ao atingir o fundo. *Resp = 1,7 m*

# 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 ( $n_2 < n_1$ )

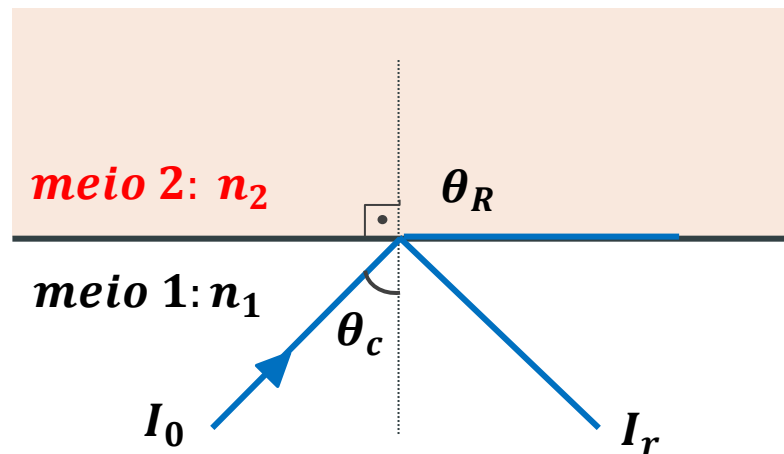
# Reflexão interna total da luz

- 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*

**$\theta_c$ : 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  $n_2 < n_1$ ;

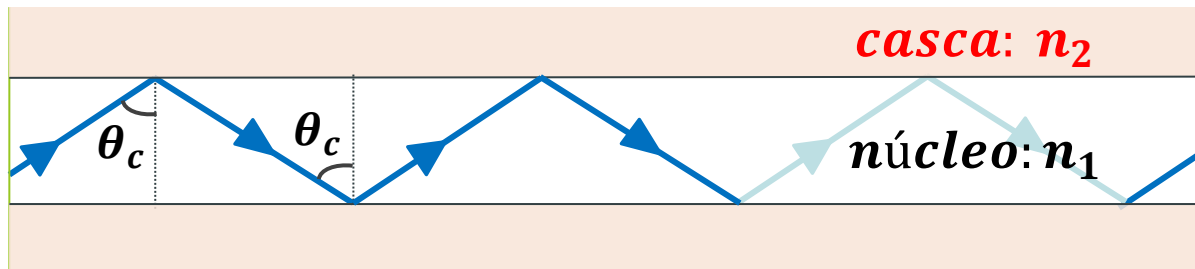
# Fibras ópticas

- **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  $20\ \mu\text{m}$ .

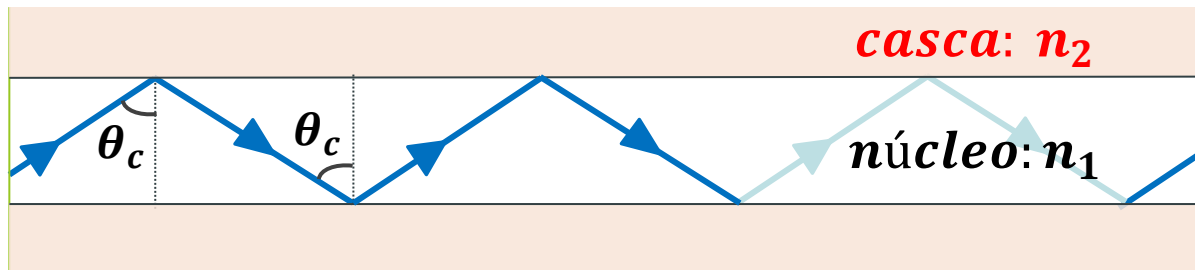
$$n_2 < n_1$$



# 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**;

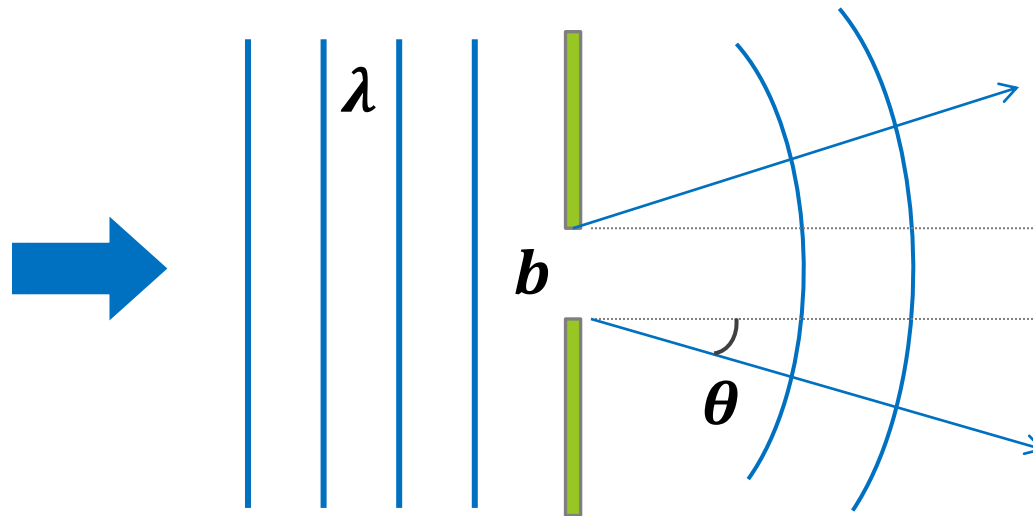
# Difração e interferência

- 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

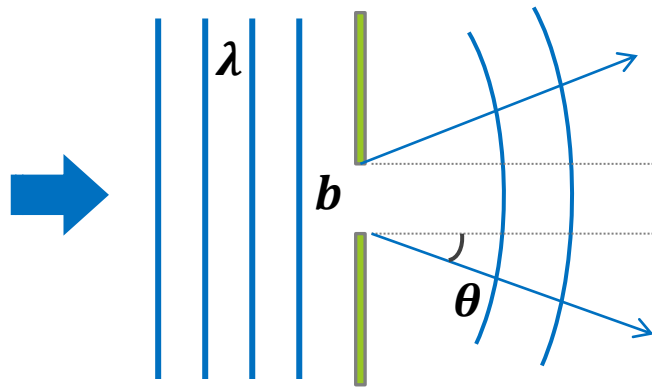


$\lambda$ : comprimento da onda incidente;

$b$ : largura da fenda;

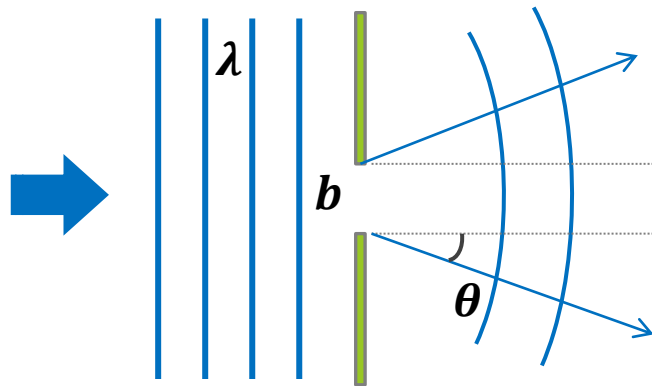
$\theta$ : ângulo de um raio difratado.

# Difração e interferência



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

# Difração e interferência

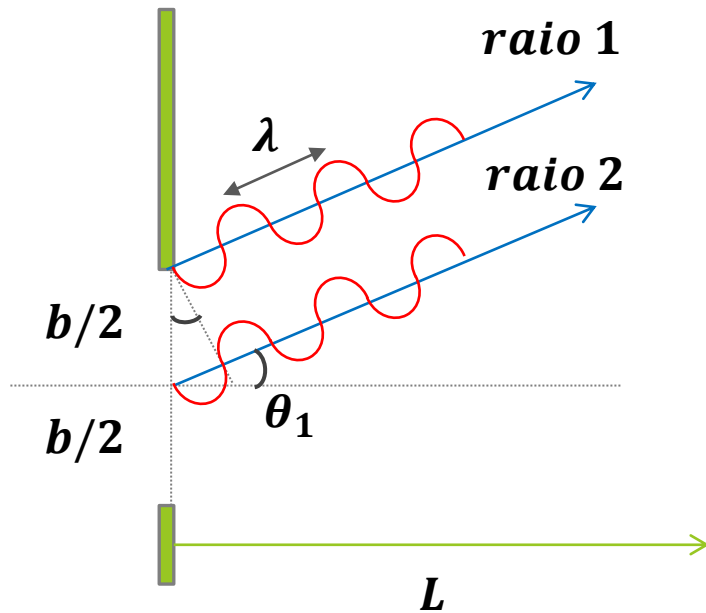


**Se  $b \gg \lambda$ :** não ocorre difração ou é muito pequena;

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

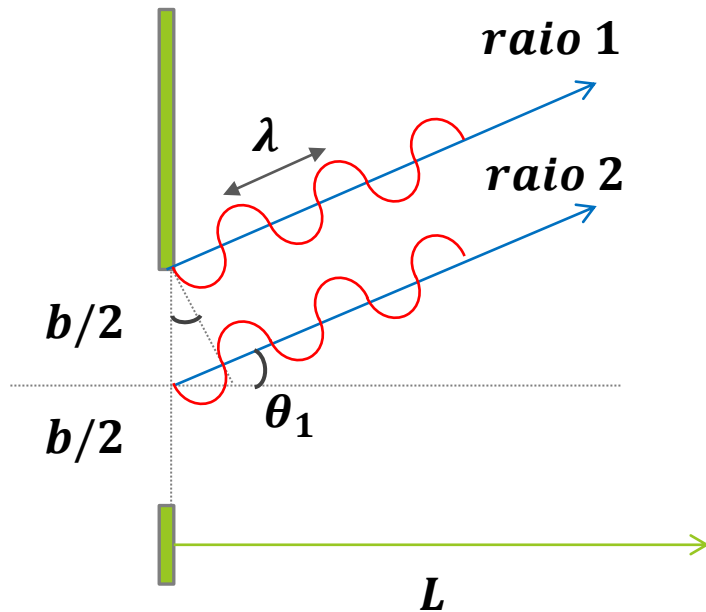
$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{b}$$

# Difração e interferência



- A Figura mostra a região ampliada da fenda;

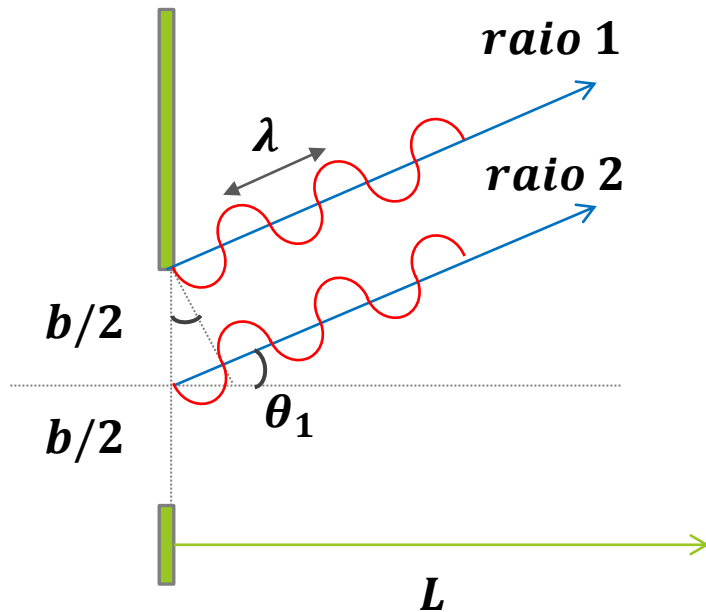
# Difração e interferência



- 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;

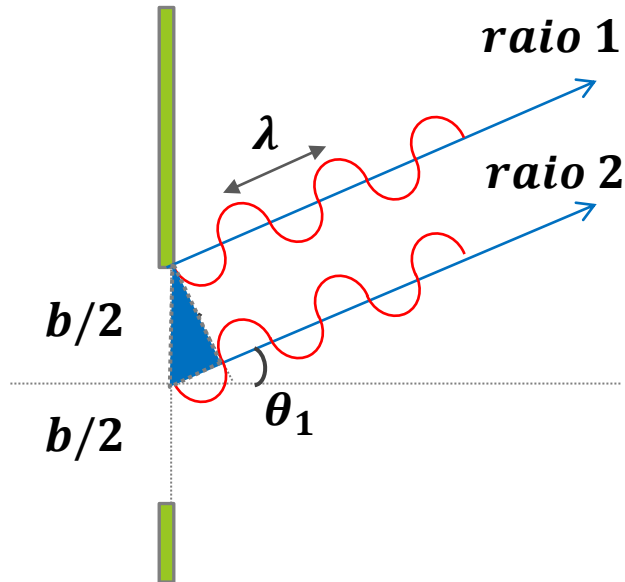


# Difração e interferência



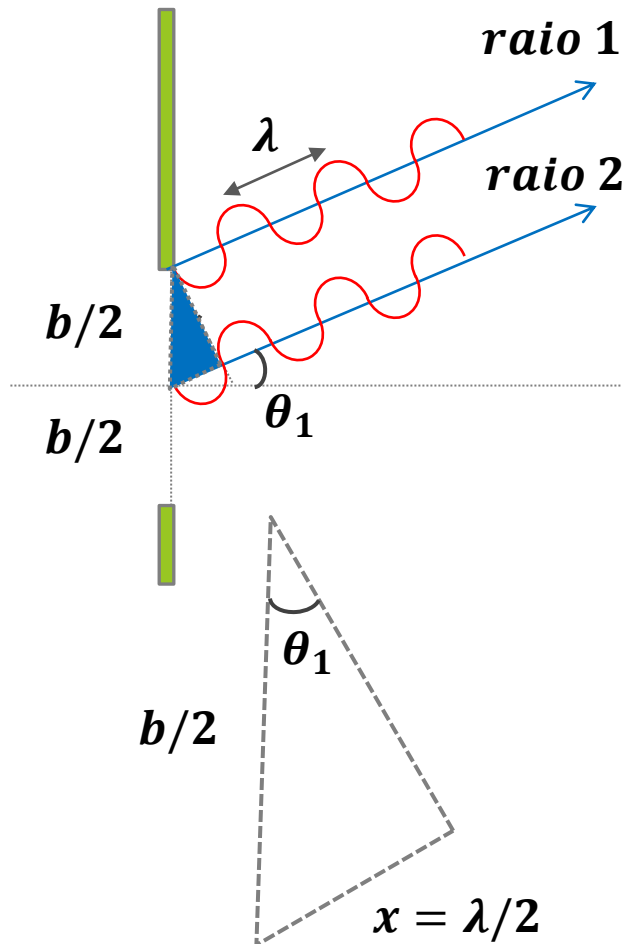
- A Figura mostra a região ampliada da fenda;
- Se um anteparo é colocado a grande distância ( $L$ ), os raios que partem da fenda podem ser considerados paralelos;
- A defasagem entre o raio 1 e o raio 2 é  $x = \lambda/2$ ;

# 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

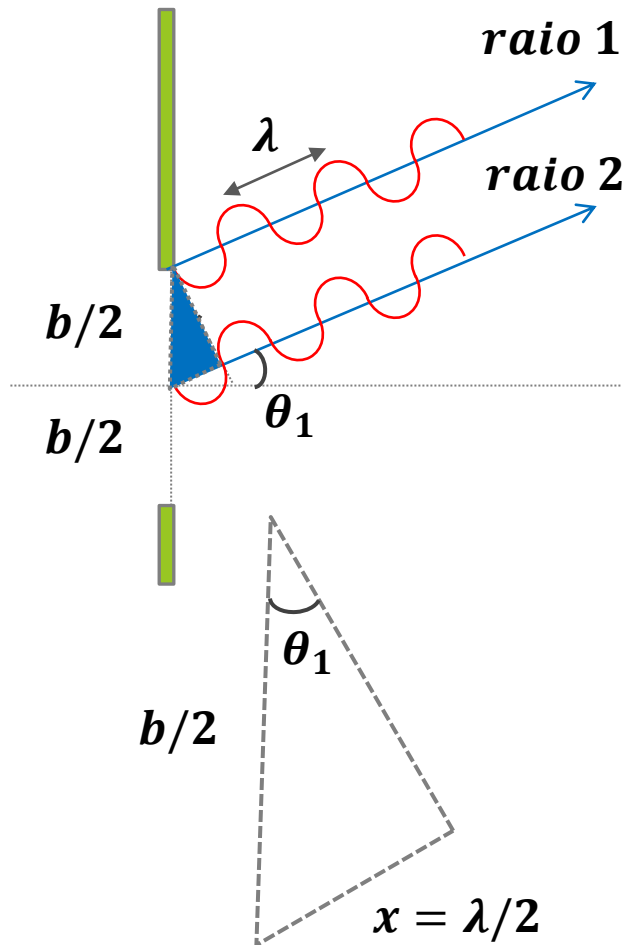


- Os dois raios adjacentes, defasados de  $\lambda/2$  ao atingirem um ponto comum do anteparo irão se anular (interferência destrutiva);
- Do triângulo temos:

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

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

# Difração e interferência



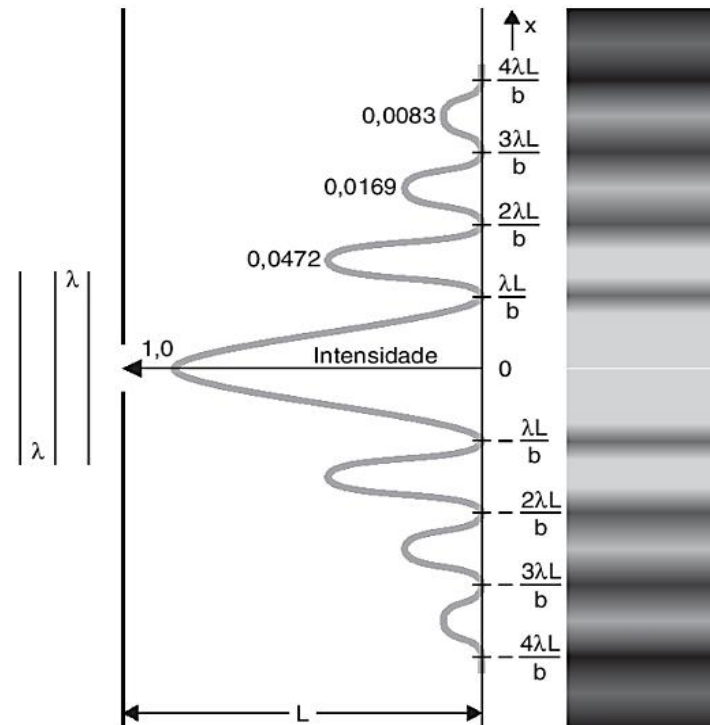
- Um novo ponto de interferência destrutiva irá se formar para múltiplos inteiros da relação para  $\theta$ :

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

*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:**

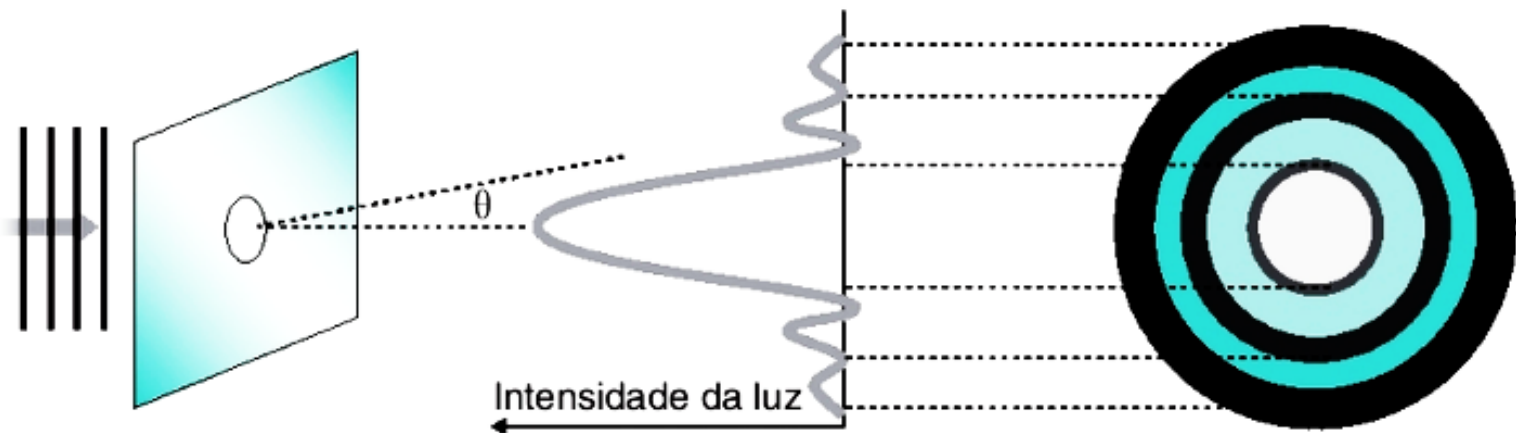
$$\text{sen}\theta = 1,22 \frac{\lambda}{b}$$

***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;

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

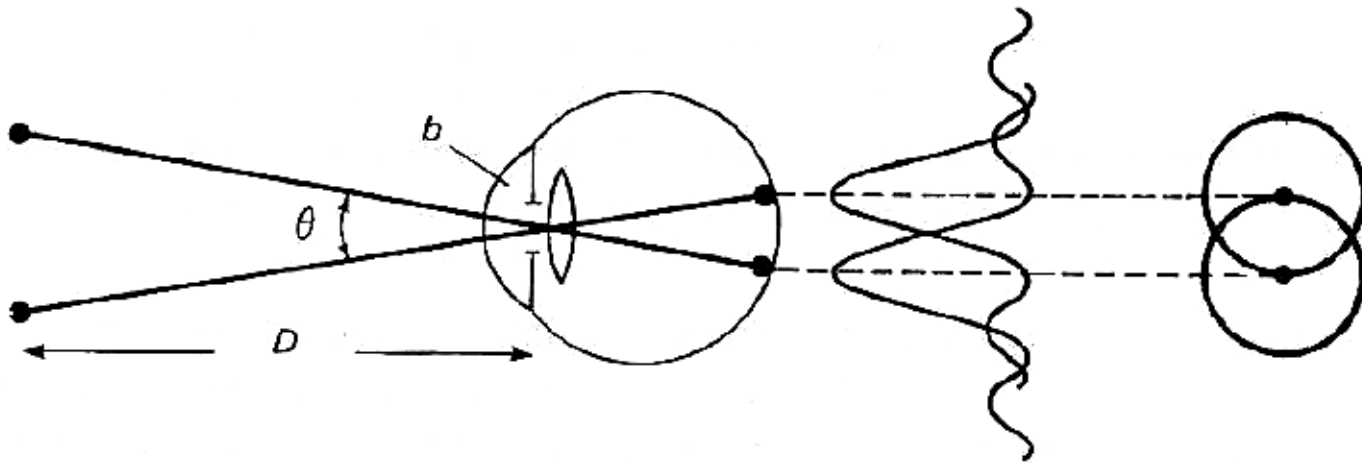
$\theta$ : poder de resolução, quanto menor maior a resolução;

$\lambda$ : 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

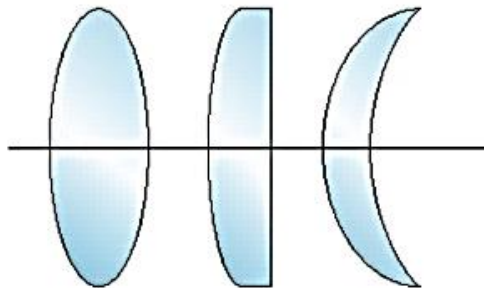
- As lentes estão presentes em diversos sistemas ópticos como:
  - **Olho humano e animal;**
  - **Câmera fotográfica;**
  - **Óculos;**
  - **Microscópio óptico.**
- **Nas lentes ocorre a refração** ou mudança de direção do raio transmitido;

# Lentes delgadas

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

# Lentes delgadas

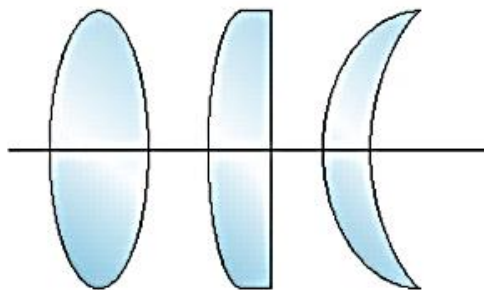
- Em um lente delgada a **espessura é pequena** quando comparada com as distâncias a ela associada;
- A lentes podem ser **convergentes (positivas)** ou **divergentes (negativas)**.



Lentes convergentes

# Lentes delgadas

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

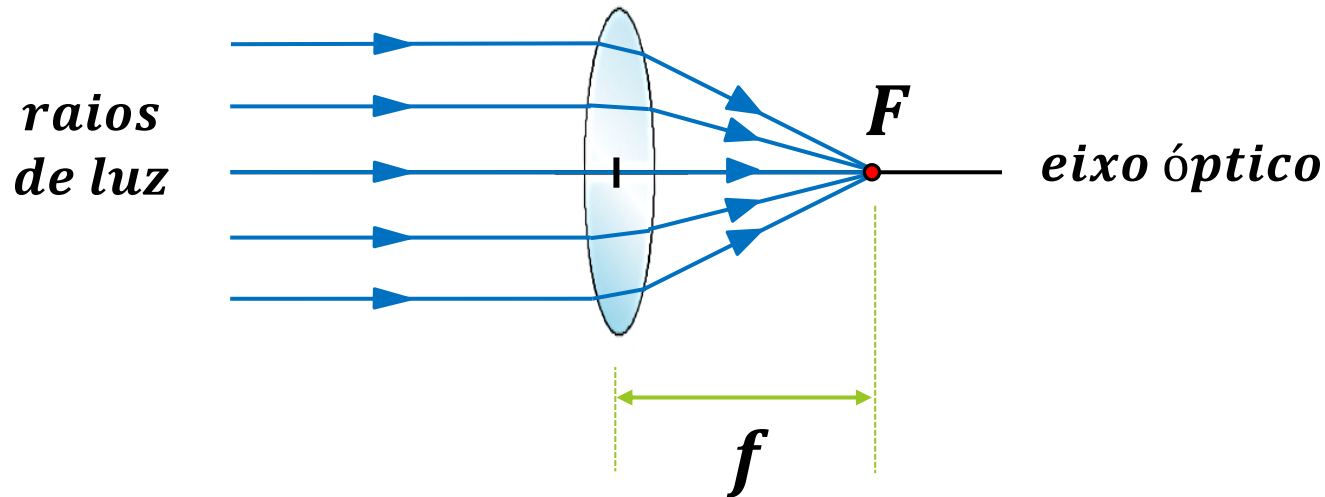


Lentes convergentes



Lentes divergentes

# Lentes delgadas - Parâmetros

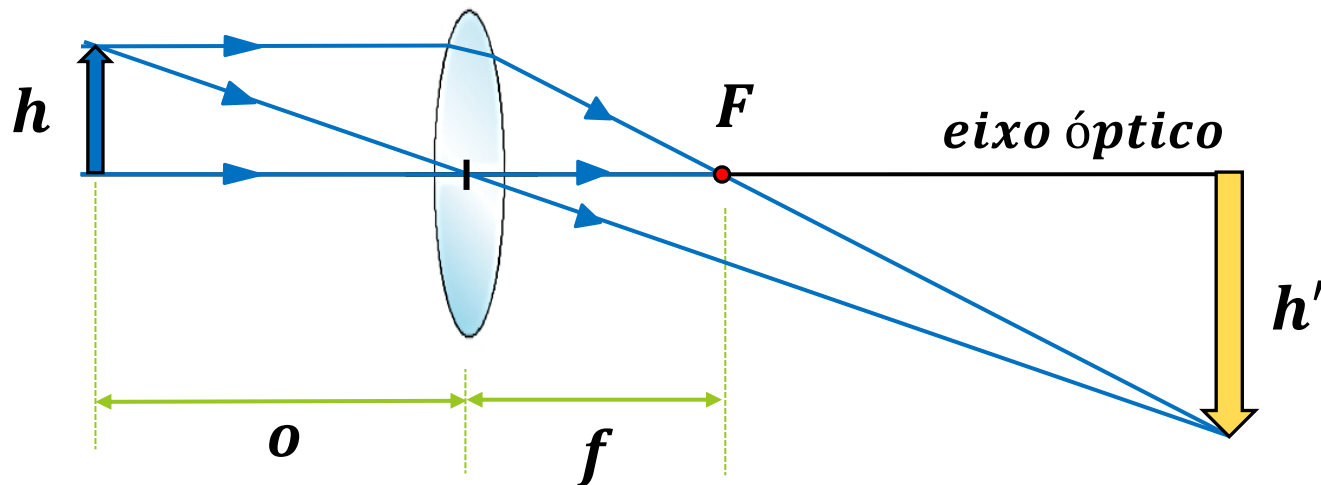


**$F$  – Ponto Focal:** ponto para onde convergem os raios luminosos que incidem paralelamente ao eixo óptico;

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

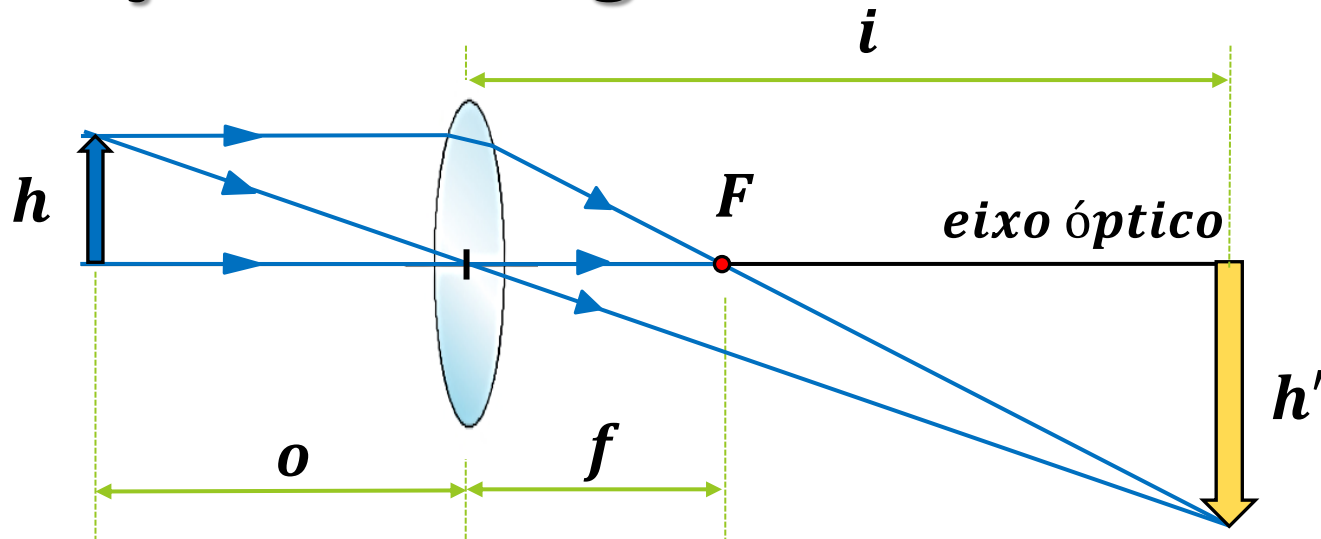
# Formação de imagens

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;

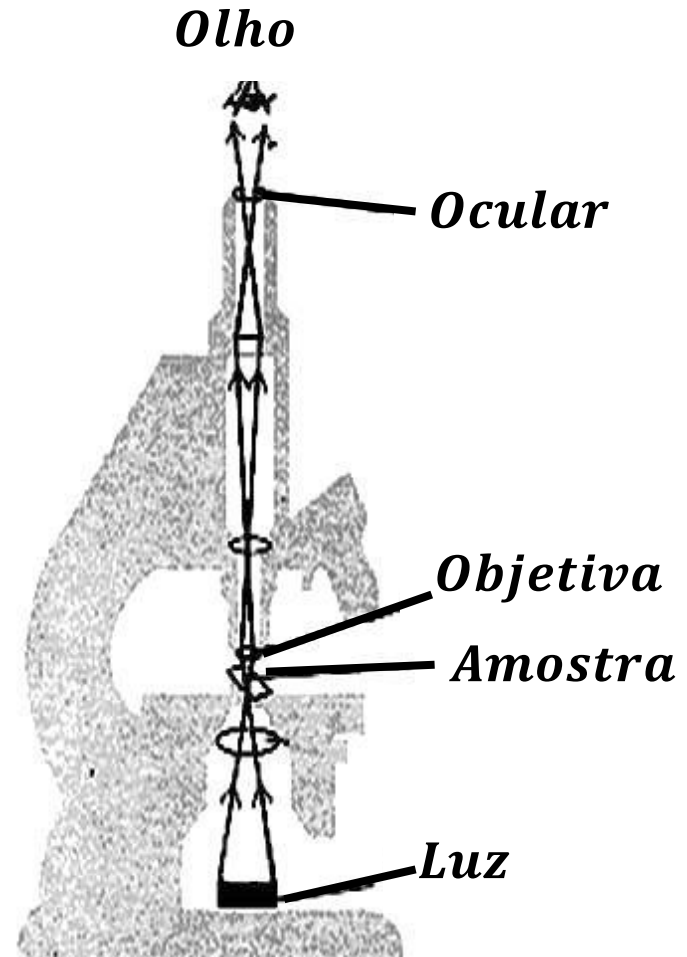
# Microscópio óptico

- 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 ( $\theta$ )

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

# Microscópio óptico

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

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

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

$f_{oc}$ : 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 ( $\theta$ )

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

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 ( $\lambda$ ):

# 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 ( $\lambda$ ):

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

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

$n$ : 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 ( $\lambda$ ):

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

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

- Menor diferença entre dois pontos observados no microscópio óptico;

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

# Microscópio óptico

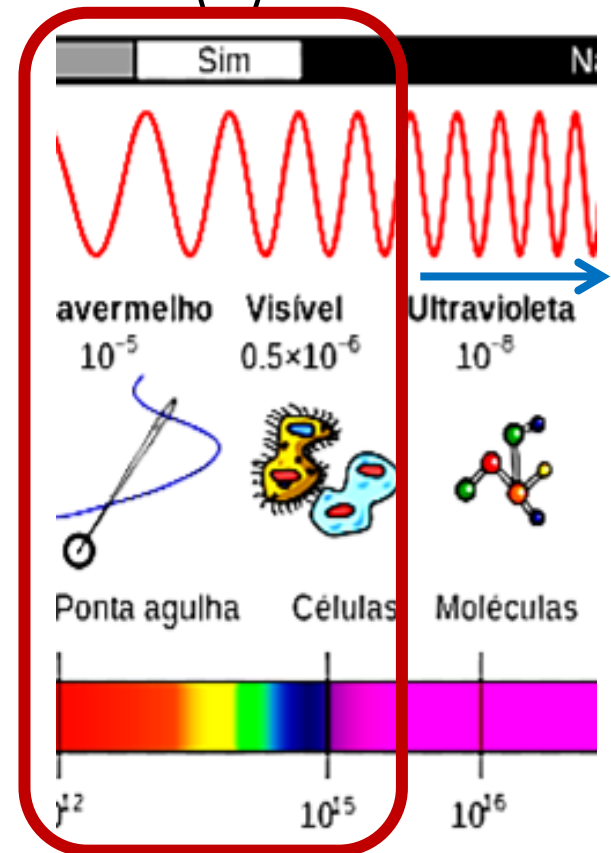
O poder de resolução do microscópio óptico ( $LR$ ) é definido em termos da abertura numérica ( $AN$ ) da objetiva e do comprimento de onda ( $\lambda$ ):

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

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

- Menor diferença entre dois pontos observados no microscópio óptico;
- Melhor resolução somente com menos comprimentos de onda ( $\lambda$ ).

$n$ : 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](http://profhenriquefaria.com)

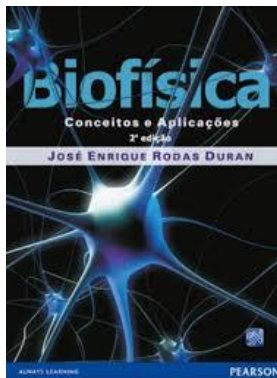
**Obrigado pela atenção!**  
**E bons estudos.**



# 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)