

# FÍSICA IV

**Priscila Alves da Silva**  
**[priscila@demar.eel.usp.br](mailto:priscila@demar.eel.usp.br)**

# APRESENTAÇÃO DA EMENTA DO CURSO

**USP** Júpiter - Sistema de Graduação

**Escola de Engenharia de Lorena**

**Ciências Básicas e Ambientais**

**Disciplina: LOB1021 - Física IV**  
Physics IV

**Créditos Aula:** 4  
**Créditos Trabalho:** 0  
**Carga Horária Total:** 60 h  
**Tipo:** Semestral  
**Ativação:** 01/01/2018 **Desativação:**

## **Objetivos**

Discutir as consequências da natureza ondulatória da luz do ponto de vista das equações de Maxwell, familiarizando o estudante com os conceitos de interferência, difração e polarização. Apresentar os conceitos centrais da física moderna como a relatividade restrita e os fundamentos da mecânica quântica

*To discuss the consequences of Maxwell's equations in the description of light propagation such as wave interference, diffraction and polarisation. To introduce the fundamental concepts of modern physics including Einstein's special theory of relativity and the principles of quantum mechanics.*

## **Docente(s) Responsável(eis)**

230696 - Carlos José Todero Peixoto

## **Programa Resumido**

Óptica Geométrica. Introdução a Física Moderna: natureza ondulatória da matéria, relatividade e introdução a mecânica quântica.

*Geometrical Optics. Introduction to Modern Physics: wave nature of matter, relativity and introduction to quantum mechanics.*

## **Programa**

1) Óptica Geométrica: conceitos básicos. 2) Interferência: a experiência de Young; coerência; figuras de interferência; o interferômetro de Michelson. 3) Difração. 4) Polarização. 5) Relatividade: os postulados da relatividade, as transformações de Lorentz, simultaneidade, tempo e comprimento; momento linear, trabalho e energia; 6) Primórdios da teoria quântica: a hipótese de Planck; o efeito fotoelétrico, quantização do fóton; ondas de De Broglie, o efeito Compton, a difração de elétrons, interferência; 7) Princípios básicos da mecânica quântica: o princípio de incerteza; a equação de Schrödinger.

*\*1) Geometrical Optics: basic concepts. 2) Interference: Young's experience; coherence; interference figures; the Michelson interferometer. 3) Diffraction. 4) Polarization. 5) Relativity: the postulates of relativity, Lorentz transformations, simultaneity, time and length; linear momentum, work and energy; 6) Early days of quantum theory: the hypothesis of Planck; the photoelectric effect, quantization of the photon; De Broglie waves, the Compton effect, the electron diffraction, interference; 7) Basic principles of quantum mechanics: the uncertainty principle; the Schrödinger equation.*

## **Avaliação**

### **Método**

NF=A avaliação será composta por provas, listas, projetos, seminários e outras formas que farão a composição das notas, sendo estipulada a média final a somatória destas notas (N), com no mínimo duas avaliações, sendo:  $(N1+...+Nn)/n$ .

### **Critério**

NF  $\geq$  5,0.

### **Norma de Recuperação**

$(NF+RC)/2 \geq 5,0$ , onde RC é uma prova de recuperação a ser aplicada.

## **Bibliografia**

NUSSENZVEIG, H.M. Curso de Física Básica. Vol. 4, Edgard Blucher (2008). RESNICK, R.; HALLIDAY, D. Fundamentos de Física. Vol. 4, LTC (2008). TIPLER, P.; MOSCA, G. Física para Cientistas e Engenheiros. Vol. 4, LTC (2008). SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física IV, Vol. 4, Pearson Addison Wesley (2009). JEWETT Jr, John W.; SERWAY, Raymond A. Princípios de Física. Vol. 4, Thomson Pioneira (2008).

# CALENDÁRIO DE AULA

Aula 01: 18/02

Aula 02: 25/02

Aula 03: 11/03

Aula 04: 18/03

Aula 05: 25/03

Aula 06: 01/04

Aula 07: 08/04

**Aula 08: 22/04 (P1)**

Aula 09: 29/04

Aula 10: 06/05

Aula 11: 13/05

Aula 12: 20/05

Aula 13: 27/05

Aula 14: 03/06

Aula 15: 10/06

**Aula 16: 17/06 (P2)**

Aula 17: 24/06 **(Vista da P2)**

# CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

40 % da nota final será constituída pela P1.

40 % da nota final será constituída pela P2.

20 % da nota final será constituída pela soma de exercícios em sala e apresentação de trabalho.

# APRESENTAÇÃO GERAL DO CURSO

## 1. Propriedade geral da Luz

- O que é a luz?
- Comportamento dual da luz
- Espectro da luz
- Os principais fenômenos relacionados à luz
- Interferência
- Polarização
- Difração
- Refração
- Reflexão

## 2. Princípio da óptica geométrica

- Fonte pontual e extensa.
- Eclipses, fases da lua.
- Espelhos planos e esféricos.
- Lentes.
- Instrumentos ópticos.

### **3. Interferência**

- Interferência.
- A luz como uma onda.
- Difração.
- O experimento de Young.
- Intensidade das franjas de interferências.

### **4. Difração**

- Difração e a teoria ondulatória da luz.
- Difração por uma fenda.
- determinação da intensidade de luz difratada.
- Redes de difração.
- Difração de raio X.



## **5. Relatividade**

- Os postulados da relatividade.
- Registro de eventos.
- Relatividade do tempo.
- Relatividade das distâncias.
- Transformações de Lorentz

## **6. Fótons e ondas de matéria 1**

- O fóton
- O efeito fotoelétrico
- A luz como onda de probabilidade
- A equação de Schrodinger.
- Princípio de indeterminação de Heisenberg

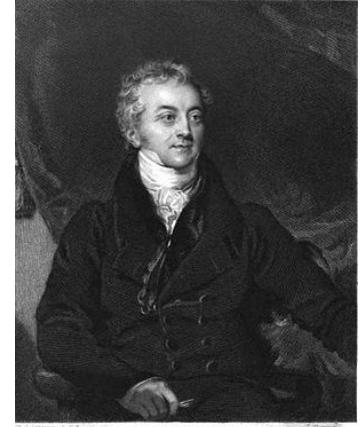
## 7. Ondas de matéria 2

- A estrutura dos átomos.
- Ondas em cordas e ondas de matéria.
- Energia de um elétron confinado.
- Funções de onda de um elétron aprisionado.
- Os átomos e o universo.
- Algumas propriedades dos átomos.
- Momento angular e momento magnético
- O princípio de exclusão de Pauli.
- Construção da tabela periódica.
- Espectro de raios x dos elementos.
- O laser.

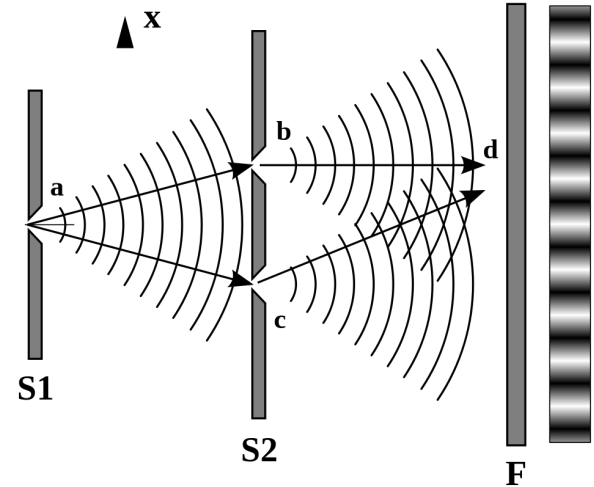
# PROPRIEDADES DA LUZ

## 1. Dualidade Partícula-Onda

- a. **Thomas Young (1773 - 1828):**  
Primeiro a observar a natureza ondulatória da luz (experimento de fenda dupla).



*Thomas Young*



b. James Clerk Maxwell (1831 - 1879): descobriu que a luz é uma onda eletromagnética.



c. Einstein propôs a natureza corpuscular para a explicação do efeito fotoelétrico.

- A propagação da luz é governada por suas propriedades ondulatórias, mas a troca de energia por suas propriedades corpusculares.
- A dualidade onda - partícula é uma propriedade da natureza em geral.

# ESPECTROS LUMINOSOS

- Isaac Newton (1643 - 1727).



# ESPECTROSCÓPIO

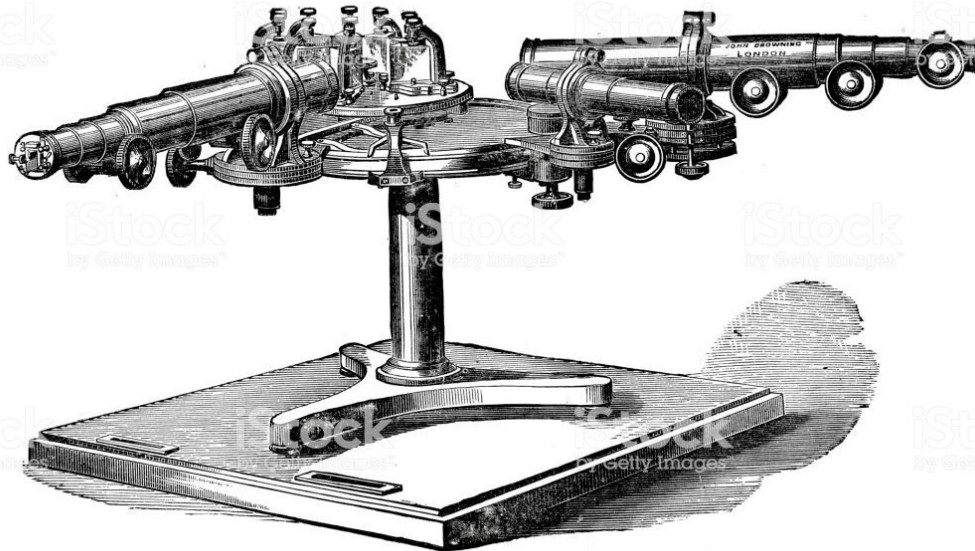
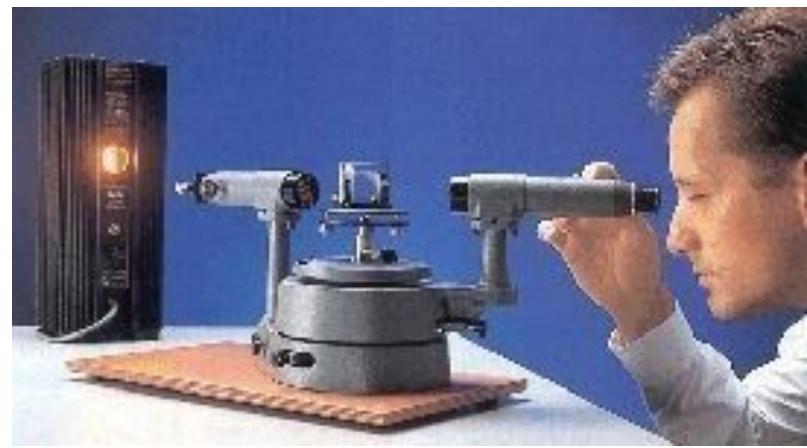


FIG. 221.—*The Gassiot Spectroscope.*

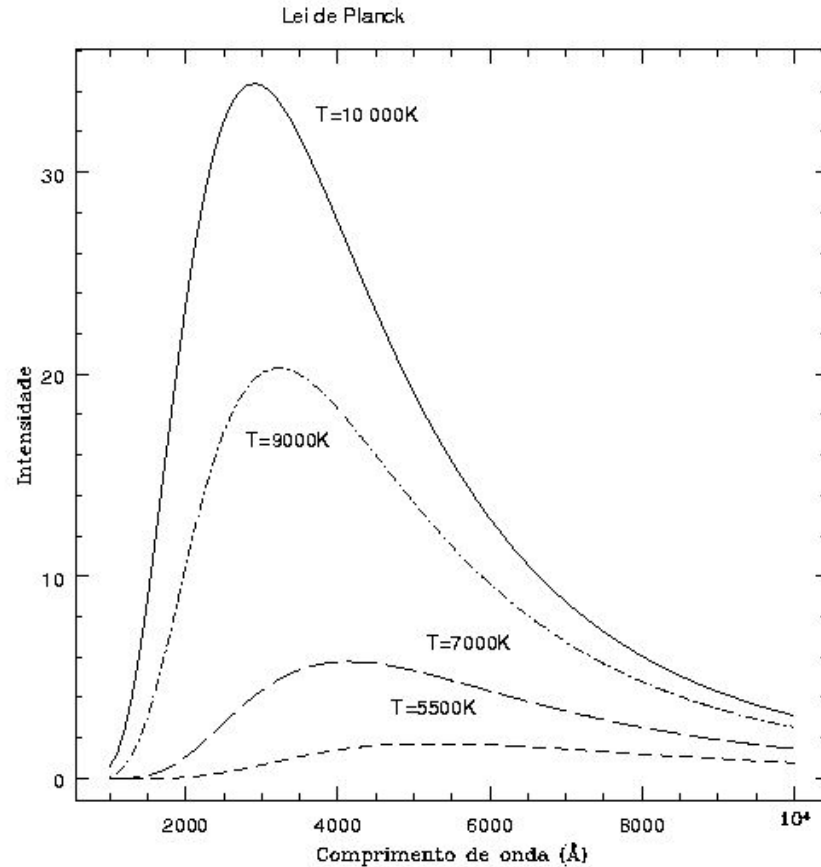
# ESPECTRO CONTÍNUO (ESPECTRO DA LUZ SOLAR)

- É obtido a partir da superposição dos níveis de energia, pois eles encontram-se próximos e fortemente ligados.
  - Exemplo: Sol, lâmpada incandescente, etc.



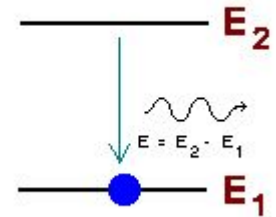
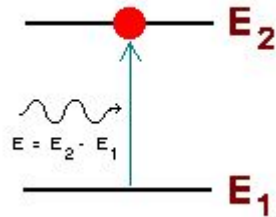
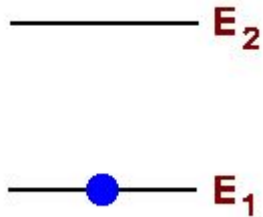


- É o espectro do corpo negro e depende da temperatura da fonte.



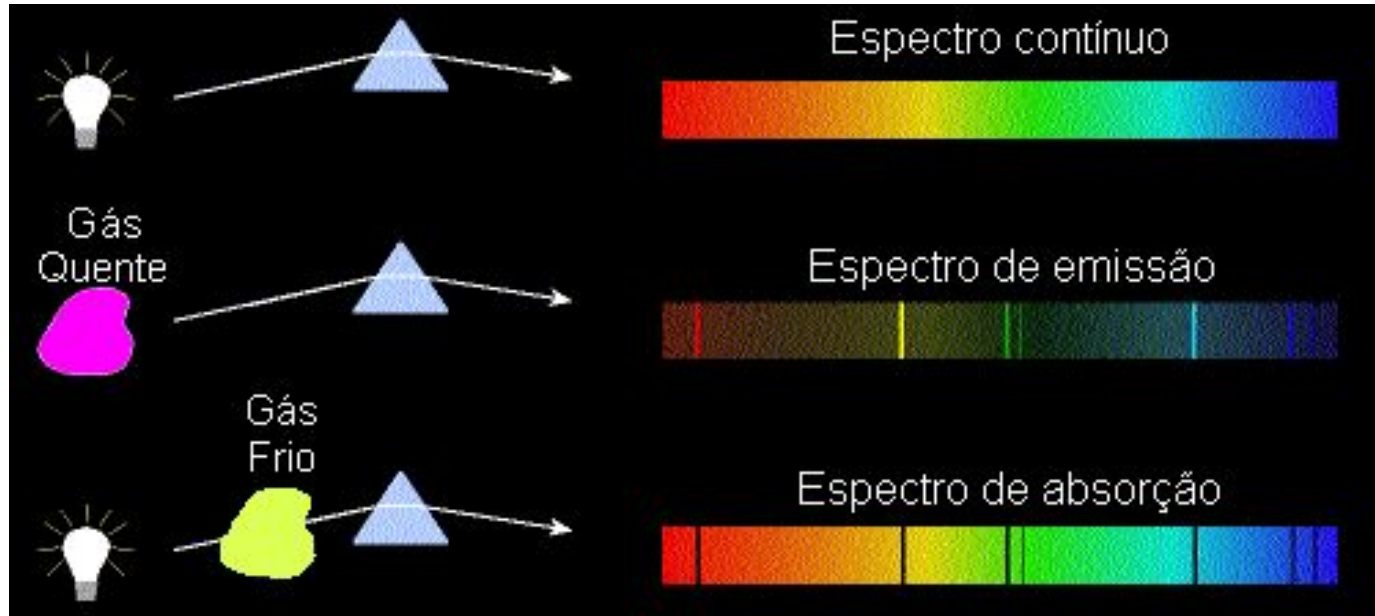
# ESPECTRO DE LINHA

- São as fontes mais comuns de luz e acontece devido a transição dos elétrons situados nas órbitas mais externas (elétrons com maior energia).

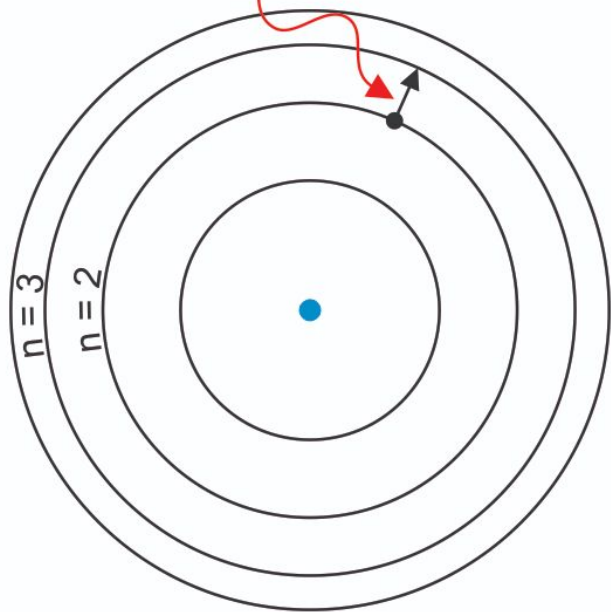


O elétron encontra-se em um estado inicial (1) recebe energia, vai para o estado de maior energia (2) e retorna emitindo um fóton de luz (linhas e emissão).

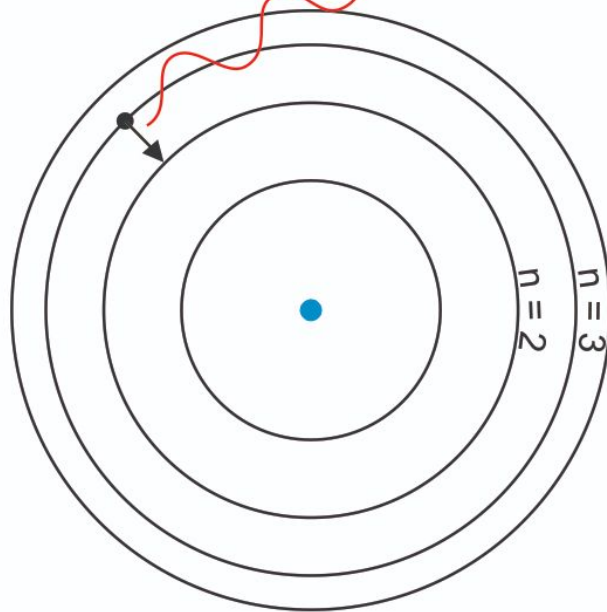
Linhas de absorção ocorre quando quando o elétron absorve luz (saltando para um nível de maior energia). Por exemplo, um gás irradiado por um espectro contínuo de radiação, o espectro transmitido apresenta linhas escuras que correspondem a absorção de um certo comprimento de onda.

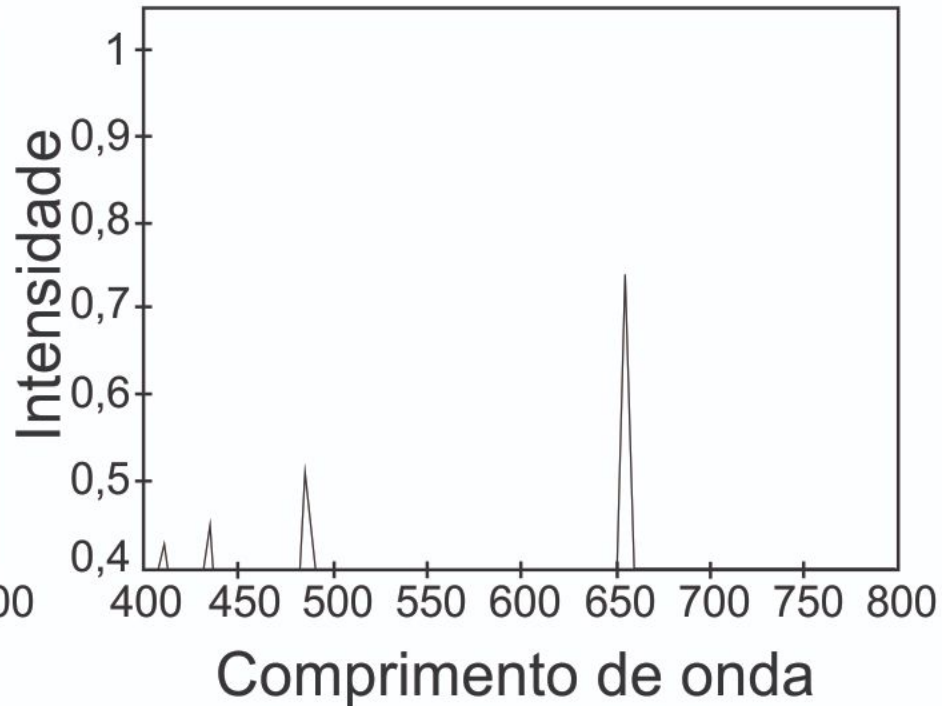
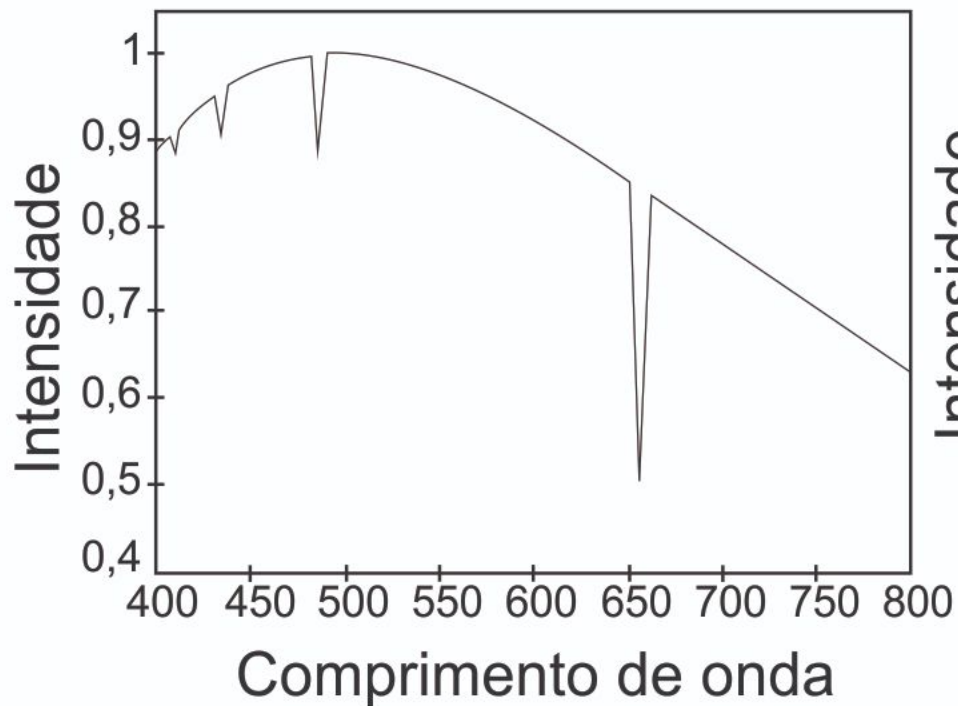


$\lambda = 6563 \text{ \AA}$

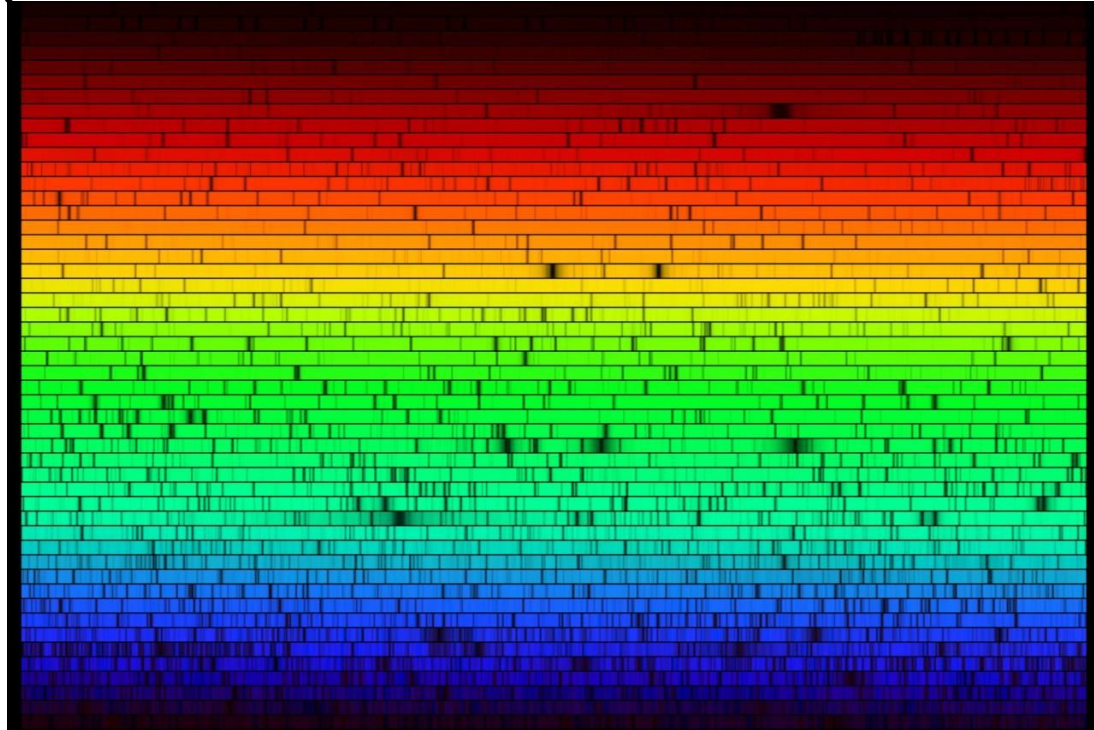


$\lambda = 6563 \text{ \AA}$

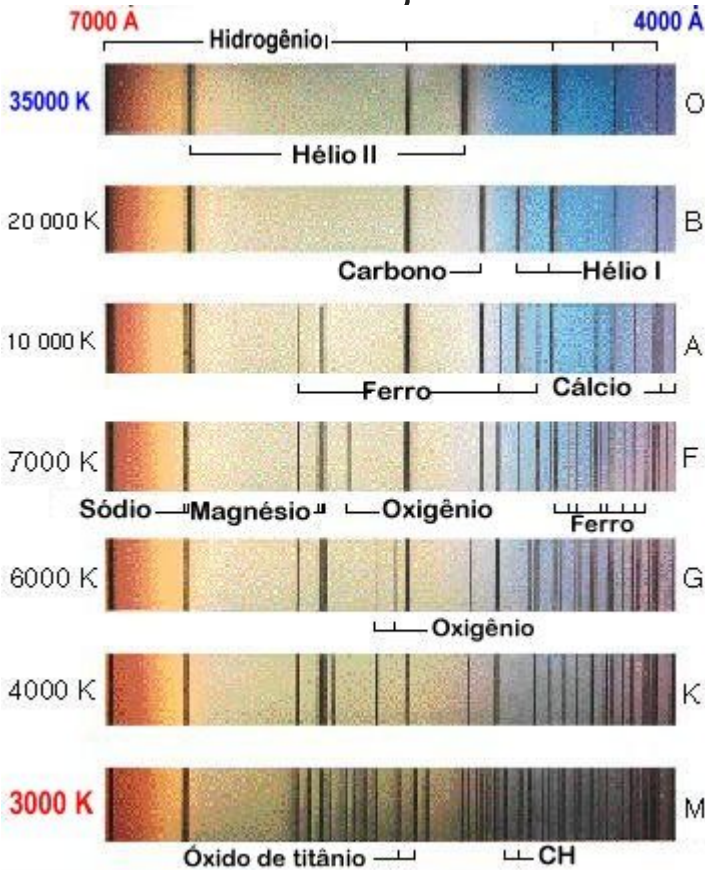




Cada elemento químico tem uma série de linha no espectro eletromagnético que corresponde a sua “impressão digital”. O sol, embora apresente um espectro contínuo, apresenta linhas de absorção.



# CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DAS ESTRELAS



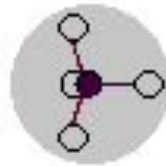
Atualmente as estrelas são classificadas **em função decrescente da temperatura**, como **O B A F G K M**:

<b>O</b>	estrelas <b>azuis</b> , com $T_{ef}=20\ 000$ a $35\ 000$ K, apresentam <b>linhas de HeII</b> (hélio uma vez ionizado) e <b>ultravioleta forte</b> . Exemplo: 10 Lac ( $V=4,88$ , O9) e <a href="#">Mintaka</a> ( $\delta$ Ori, uma das Três Marias, $V=2,10$ , O9).
<b>B</b>	estrelas branco-azuladas, com $T_{ef}=15\ 000$ K, com <b>linhas de HeI</b> . Exemplos: Rigel ( $\beta$ Ori, $V=0,12$ , B8Ia) e Spica ( $\alpha$ Vir, $V=0,90$ , B1V).
<b>A</b>	estrelas brancas, com $T_{ef}=9000$ K, com <b>linhas de HI forte</b> . Exemplos: Sírius ( $\alpha$ Can Maj, $V=-1,46$ , A1V) e Vega ( $\alpha$ Lyr, $V=0$ , A0V).
<b>F</b>	estrelas branco-amareladas, com $T_{ef}=7000$ K, com <b>linhas de metais</b> observadas. Exemplos: Canopus ( $\alpha$ Car, $V=-0,72$ , F0Ib) e Procyon ( $\alpha$ Can Min, $V=0,38$ , F5IV).
<b>G</b>	estrelas <b>amarelas</b> , com $T_{ef}=5500$ K, como o Sol, com <b>fortes linhas de metais e HI fraco</b> . <b>CaI (H e K) fortes</b> . Exemplos: Sol (G2V) e Capela ( $\alpha$ Aur, $V=0,08$ , G1III).
<b>K</b>	estrelas <b>alaranjadas</b> , com $T_{ef}=4000$ K, com <b>linhas metálicas dominantes</b> . Contínuo azul fraco. Exemplos: Aldebarã ( $\alpha$ Tau, $V=0,80$ , K5III) e Arcturus ( $\alpha$ Boo, $V=-0,04$ , K2III).
<b>M</b>	estrelas <b>vermelhas</b> , com $T_{ef}=3000$ K, com <b>bandas moleculares (TiO) muito fortes</b> . Exemplos: Betelgeuse ( $\alpha$ Ori, $V=0,50$ , M2Ib) e Antares ( $\alpha$ Sco, $V=0,88$ , M1Ib).

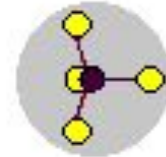
# ESPALHAMENTO DA LUZ

- Espalhamento: fenômeno associado à interação da fóton com o átomo ou molécula.
  - **Espalhamento elástico:** A energia do fóton é insuficiente para promover uma alteração no átomo.
  - **Espalhamento inelástico:** quando a energia do fóton consegue induzir uma transição do átomo para um estado de maior energia.

ELÁSTICO

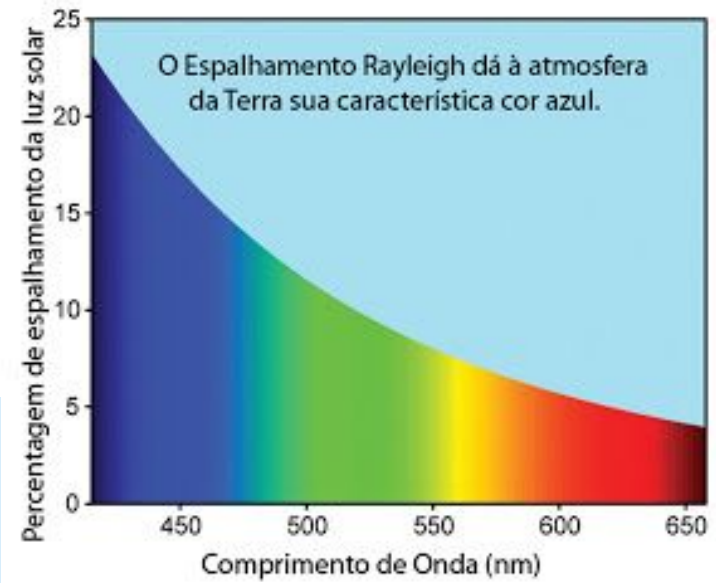
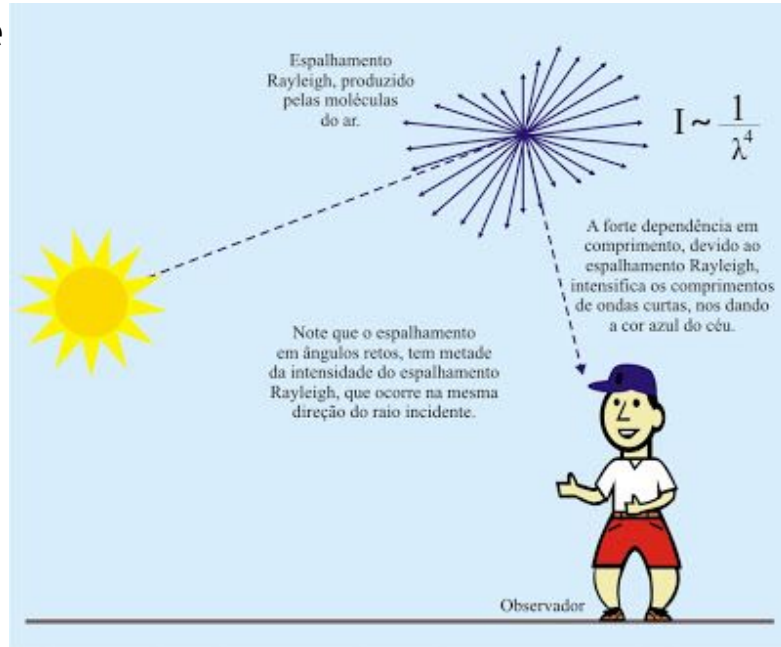


INELÁSTICO





- **Espalhamento de Rayleigh** ou dispersão de Rayleigh: Ocorre quando o diâmetro efetivo da matéria é muitas vezes menor que o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente



# A PROPAGAÇÃO DA LUZ

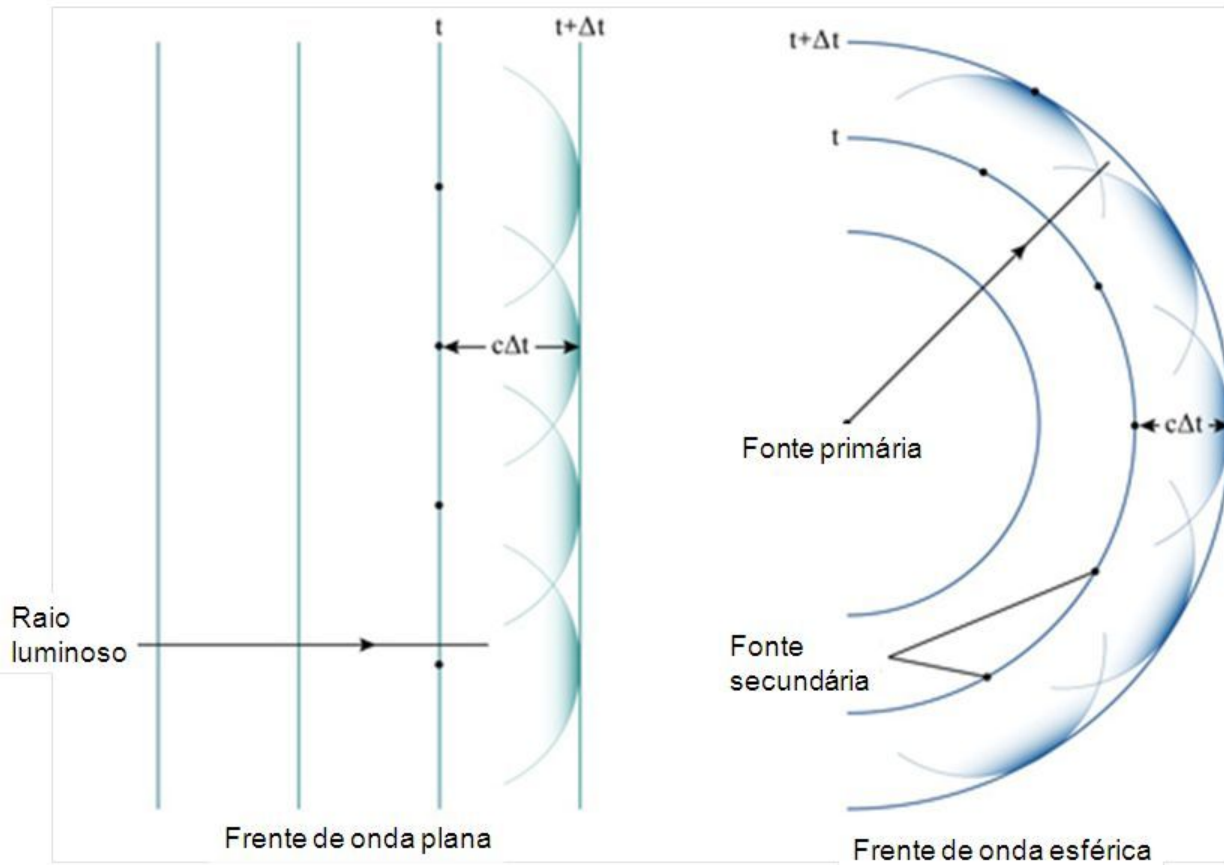
- A propagação da luz é regida pelas equações de Maxwell, no entanto ela já era descrita empiricamente por dois princípios diferentes, um descrito por Christian Huygens (1629 - 1695) e outro por Pierre de Fermat (1601 - 1665) .

# O PRINCÍPIO DE HUYGENS

É um método geométrico para descrever o deslocamento da frente de uma onda.

**“todos os pontos de uma frente de onda podem ser considerados fontes de ondas secundárias que se espalham em todas as direções com uma velocidade igual à de propagação da onda.”**

# Princípio de Huygens

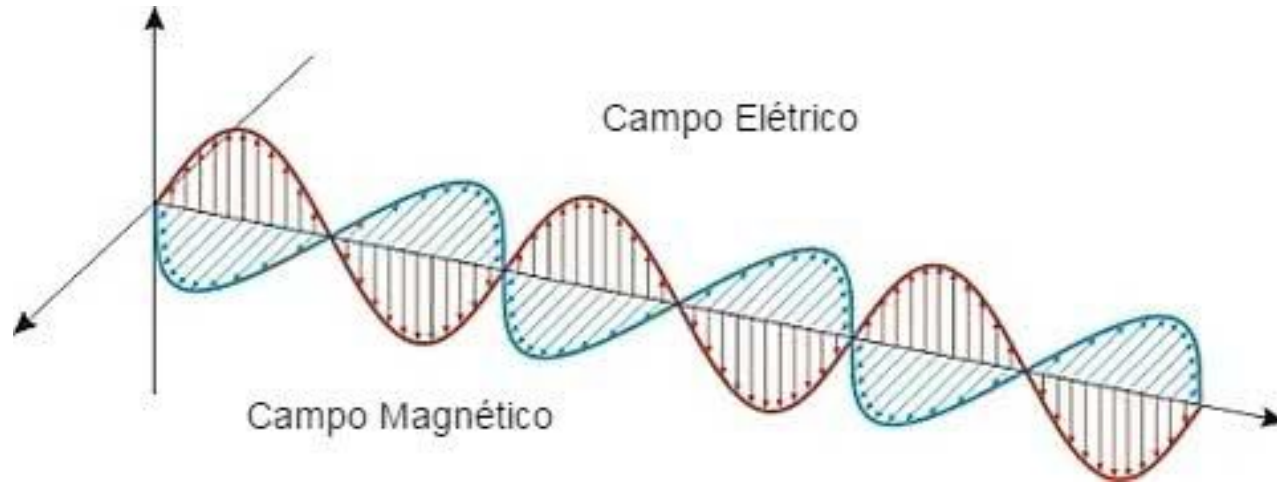


# PRINCÍPIO DE FERMAT

“A propagação da luz ao viajar de um ponto para outro é tal que o tempo de percurso é mínimo”

# POLARIZAÇÃO

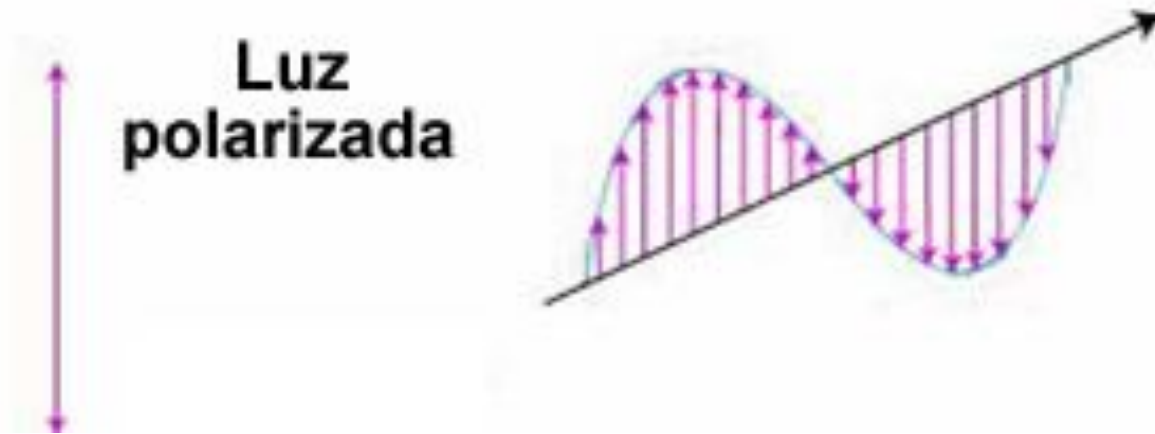
- A direção de polarização de uma onda eletromagnética é definida como a direção do campo elétrico dessa mesma onda.



- Nas ondas não polarizadas a direção campo elétrico muda aleatoriamente com o tempo.

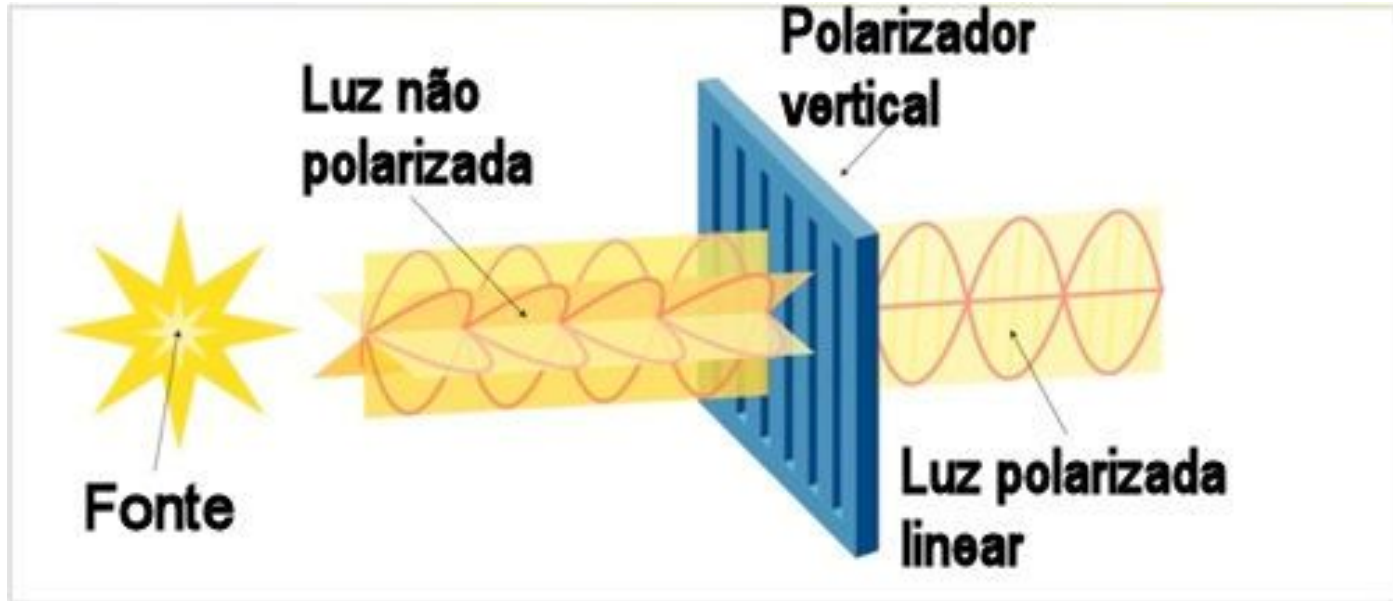


- Nas ondas parcialmente polarizadas o campo elétrico para mais tempo paralelo a certas direções do que outras.





- Filtro polarizador: dispositivo que transforma uma luz não polarizada em uma luz polarizada. As componentes do campo elétrico paralelas a direção do filtro são transmitidas e as perpendiculares são absorvidas.



# ÍNTENSIDADE DA LUZ POLARIZADA TRANSMITIDA

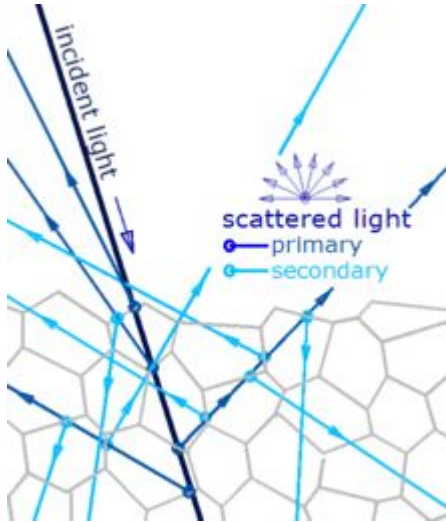
- Considerando uma luz não polarizada de intensidade  $I_0$  e passando por um filtro de polarização. A intensidade de luz que será transmitida cairá pela metade.

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

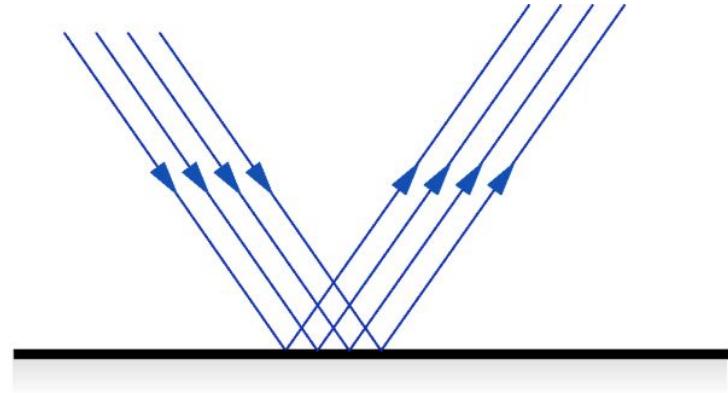
# INTRODUÇÃO A ÓPTICA GEOMÉTRICA

## 1. Reflexão da luz

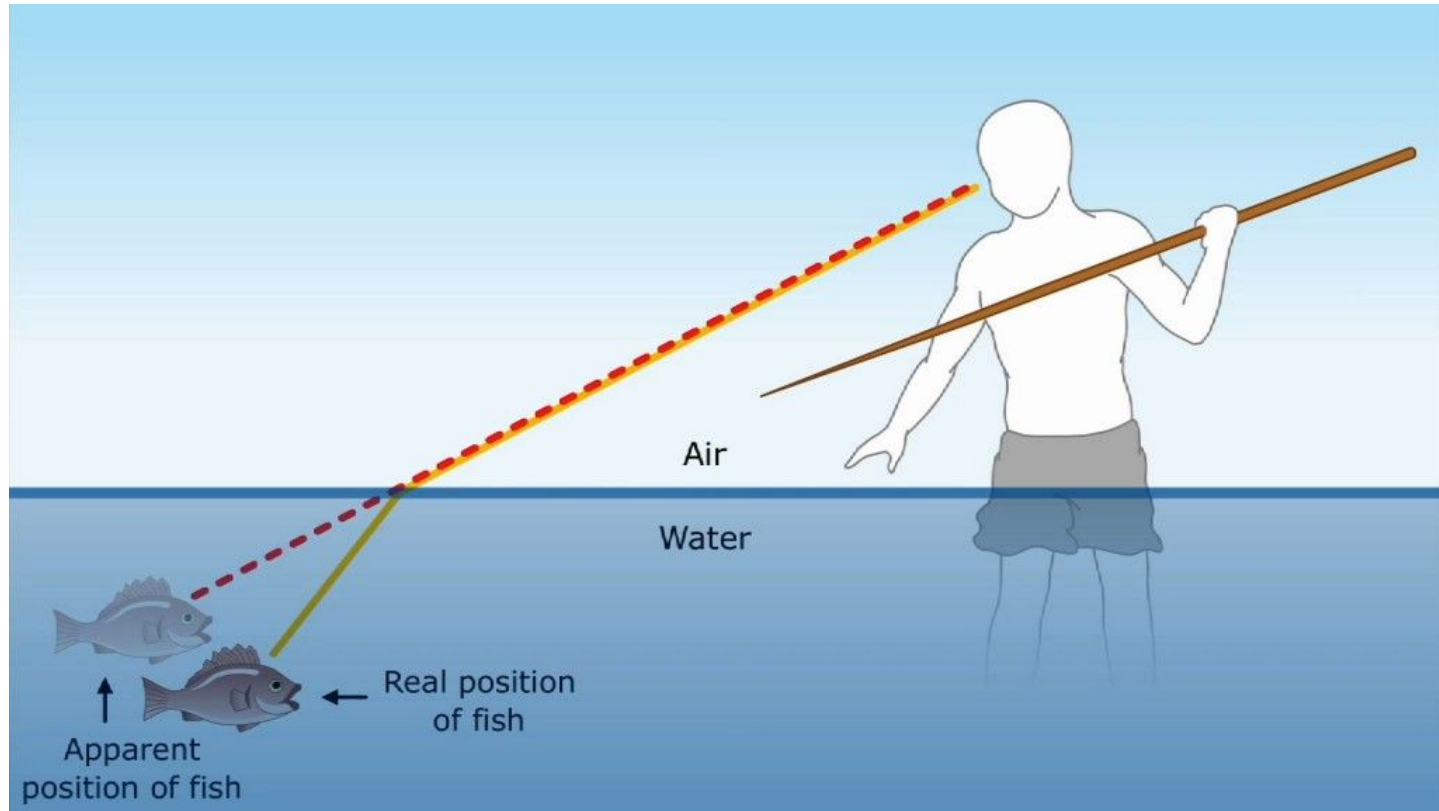
a. Difusa



b. Regular

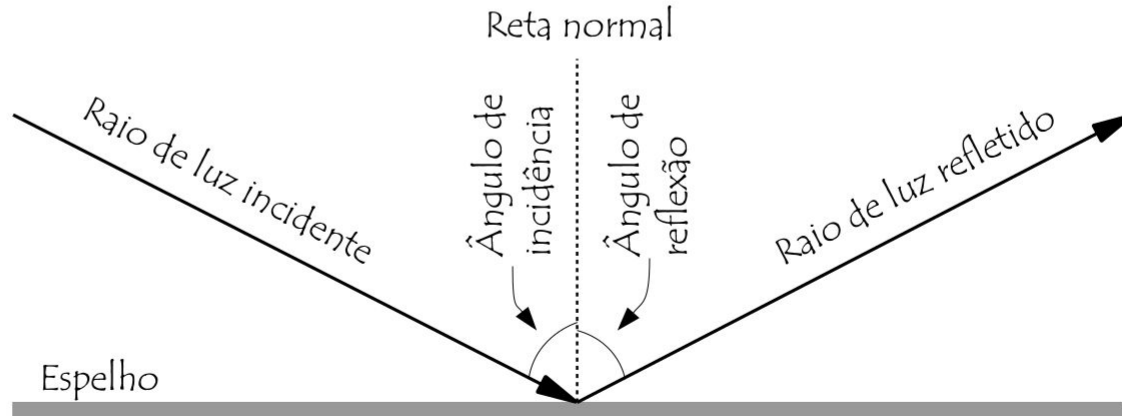


**2. Refração da luz:** Acontece quando a luz muda seu meio material.



# LEI DA REFLEXÃO

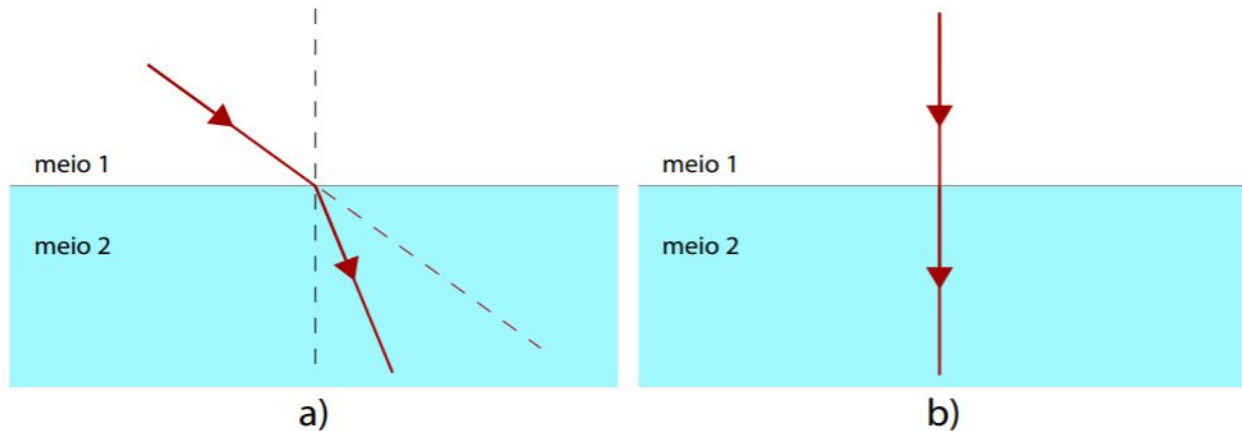
O raio refletido está no plano de incidência e tem um ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão.





# LEI DA REFRAÇÃO

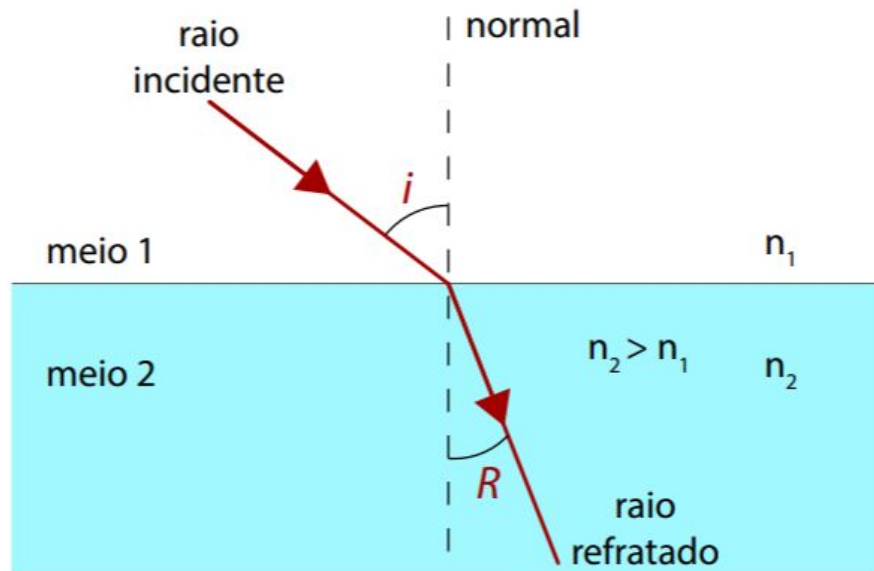
O raio refratado está no plano de incidência e tem um ângulo de refração que está relacionado com o ângulo de incidência e com o índice de refração do meio.



Índice de refração absoluto( $n$ ) para uma luz monocromática em um determinado meio é dado por:

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





- Se  $n_1 < n_2$ , o ângulo de incidência ( $i$ ) será maior que o ângulo de refração ( $R$ ).
- Se  $n_1 > n_2$ , o ângulo de incidência ( $i$ ) será menor que o ângulo de refração ( $R$ ).
- Se  $n_1 = n_2$ , o ângulo de incidência ( $i$ ) será igual ao ângulo de refração ( $R$ ).

A refração da luz é regida por duas leis:

**1.ª Lei:** O raio incidente, o raio refratado e a normal à superfície de separação dos dois meios pertencem ao mesmo plano.

**2.ª Lei ou Lei de Snell-Descartes:** Os ângulos de incidência e de refração satisfazem a condição:

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(R)$$

Assim, se  $n_2 > n_1$ , então  $\sin(R) < \sin(i)$ , resultando  $R < i$ . Portanto, para incidência oblíqua da luz, quando esta passa de um meio com menor índice de refração para outro com maior índice, o raio luminoso aproxima-se da normal.

Podemos, também, escrever a lei de Snell-Descartes na forma :

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin(i)}{\sin(R)}$$

Em que  $n_{21}$  é o índice de refração relativo do meio 2 em relação ao meio 1.

---