



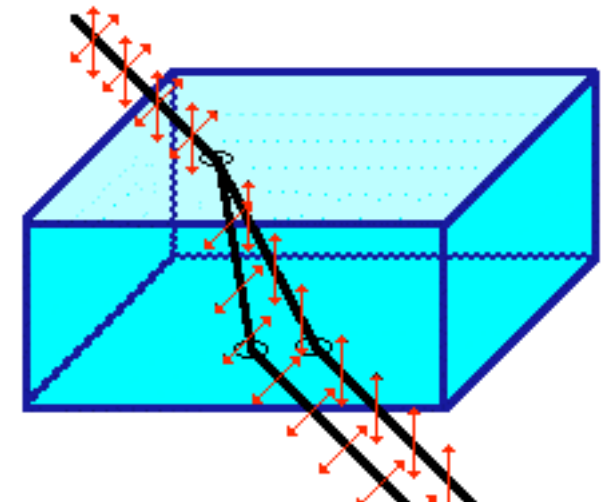
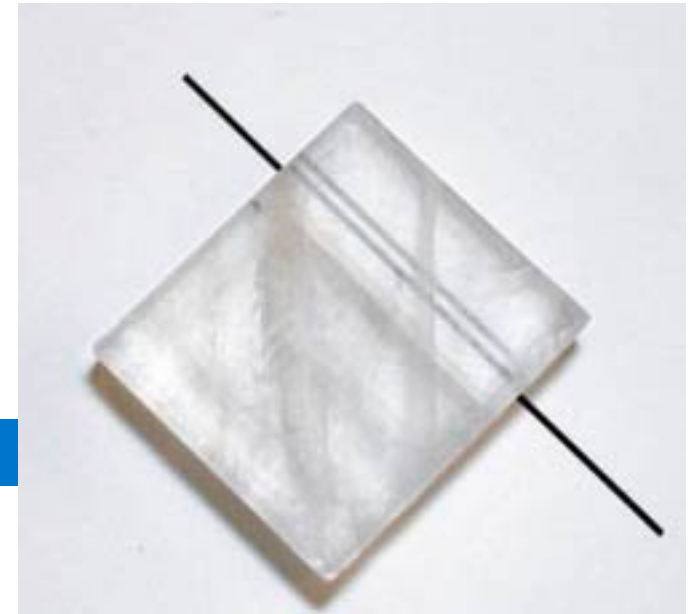
# Experimento III Polarização da luz

# Experiência III - Polarização da luz

- Objetivos – Estudar o fenômeno de polarização da luz
  - Semana 1 – Lei de Malus
  - Semana 2 – Atividade óptica de elementos
    - Estudo da birrefringência em soluções de açucares
  - Semana 3 – Polarização por reflexão

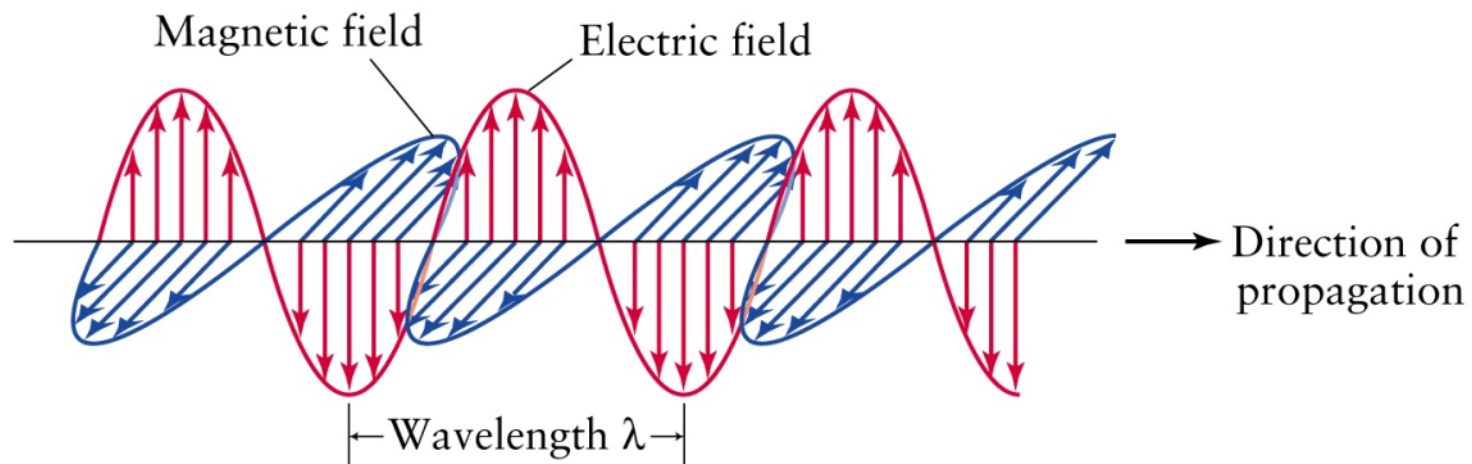
# A natureza da Luz

- Interferência e difração
  - A luz se comporta como uma onda
- Que tipo de onda?
  - A observação de fenômenos de polarização indicam que a luz é uma onda transversal
    - Erasmus Bartholin, 1669 – Calcita
    - Thomas Young & Augustin-Jean Fresnel – duas componentes com diferentes velocidades
  - Os estudos de Maxwell (1864)
    - A luz é uma onda eletromagnética



# Ondas transversais

- São aquelas nas quais as suas vibrações são perpendiculares à direção de propagação
- A luz é formada por um campo elétrico e magnético transversais e variantes no tempo

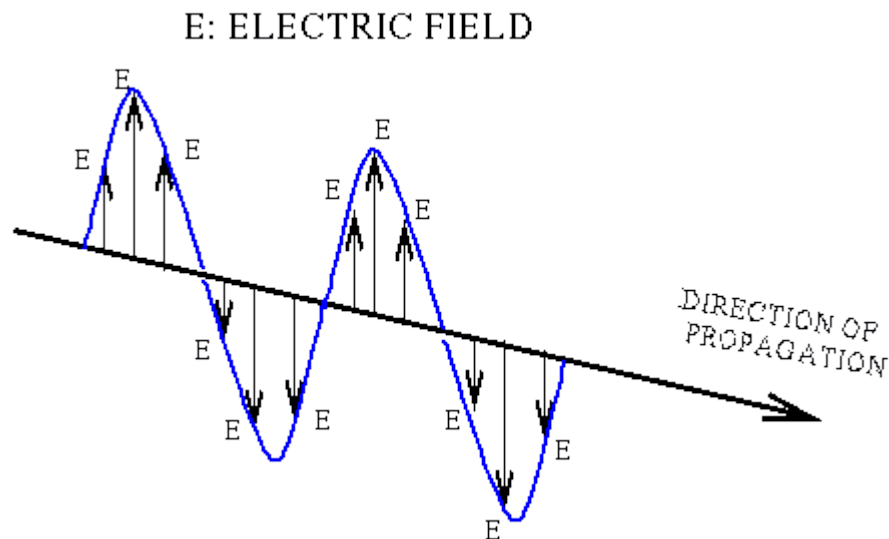


# Polarização da luz

- Efeito característico de ondas transversais
- No caso da luz, a direção de polarização é aquela do campo elétrico
- Tipos de polarização:
  - Linear
  - Circular ou elíptica
  - Não polarizada

# Polarização linear

- É aquela na qual a direção do campo elétrico não se altera com o tempo, somente a sua intensidade



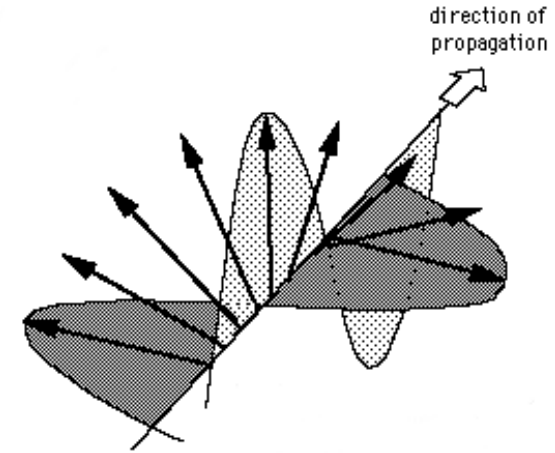
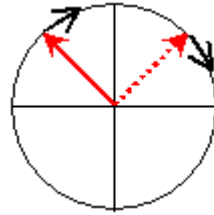
- No caso de uma onda de frequência bem definida, podemos escrever o campo elétrico como:

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t) \hat{j}$$

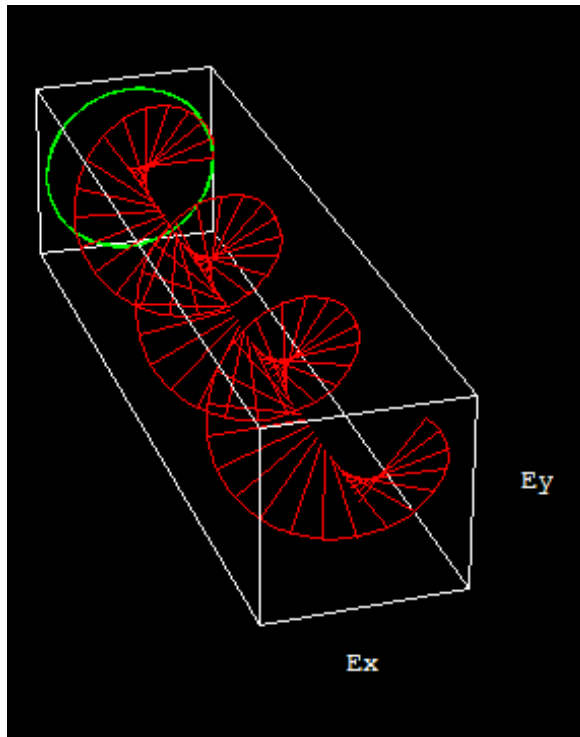
$$k = 2\pi / \lambda$$

$$\omega = 2\pi f$$

# Polarização circular



- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo mas a intensidade é constante



- No caso da polarização circular, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de  $90^\circ$ , ou seja:

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{bmatrix} \cos(kz - \omega t) \hat{j} \\ + \\ \text{sen}(kz - \omega t) \hat{i} \end{bmatrix}$$

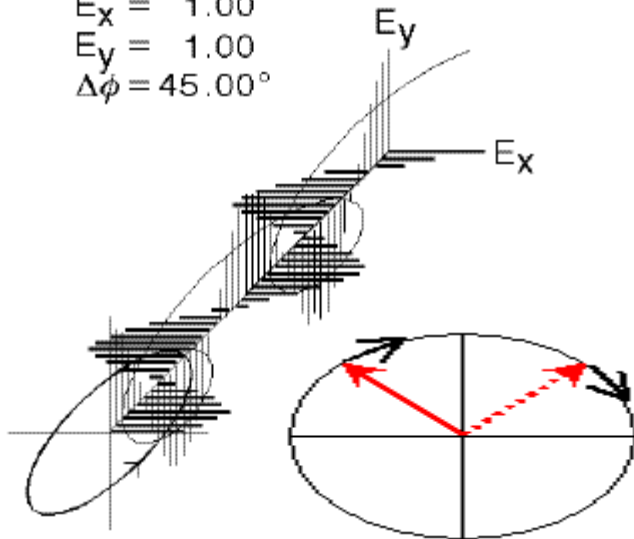


# Polarização elíptica

- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo, bem como a sua intensidade

## Right-hand Elliptical Polarization

$$\begin{aligned}E_x &= 1.00 \\E_y &= 1.00 \\ \Delta\phi &= 45.00^\circ\end{aligned}$$



- No caso da polarização elíptica, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de  $90^\circ$ , ou seja:

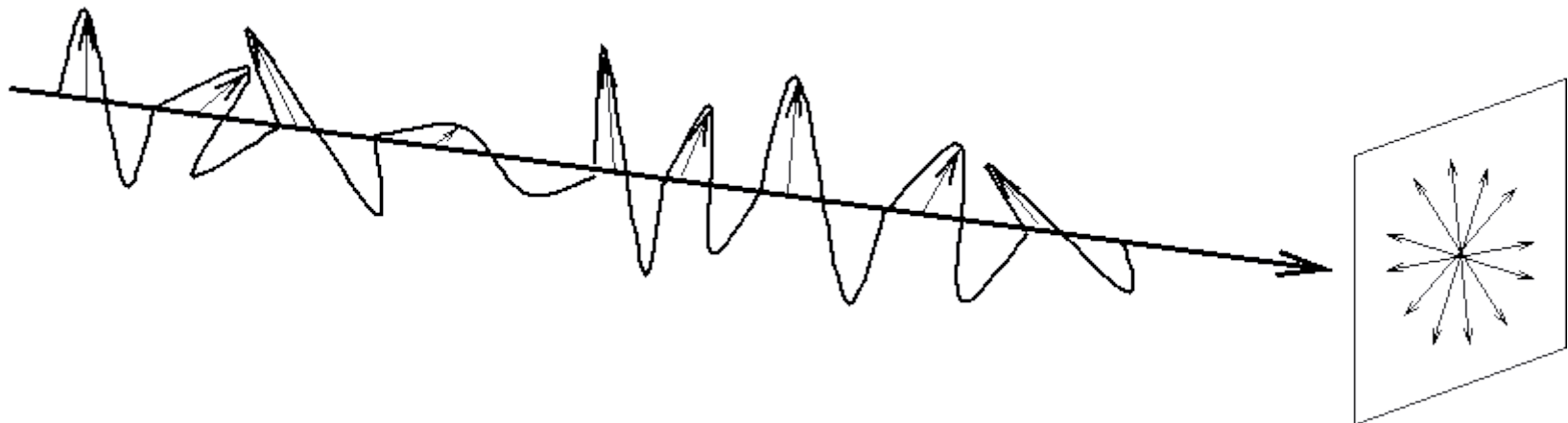
$$\begin{aligned}\vec{E}(z,t) &= E_0^j \cos(kz - \omega t) \hat{j} \\ &+ E_0^i \sin(kz - \omega t) \hat{i}\end{aligned}$$



# Luz não polarizada

- Tanto a intensidade como a direção do campo elétrico variam de forma incoerente no tempo
- Contudo, podemos sempre escrever que o campo elétrico possui uma componente  $j$  e  $i$

$$\vec{E}(z,t) = E(z,t) \left( \cos(\theta_{\text{aleatório}}(z,t)) \hat{j} + \sin(\theta_{\text{aleatório}}(z,t)) \hat{i} \right)$$



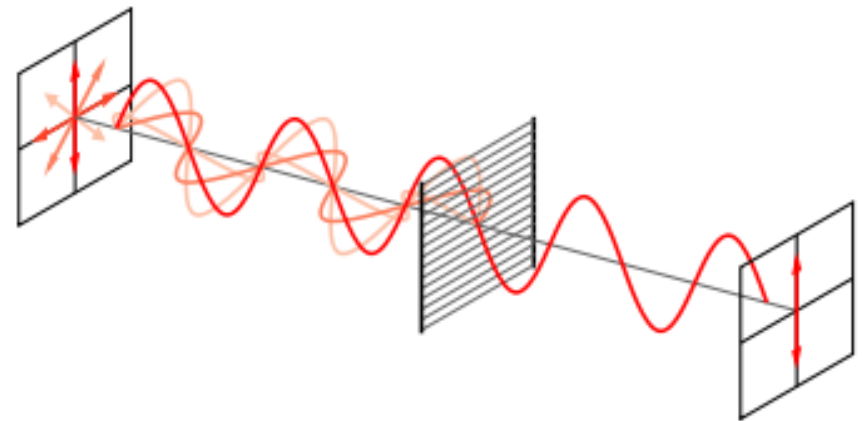
# O Polarizador



- Instrumento óptico capaz de polarizar a luz em uma dada direção pré-definida.
- Todo polarizador é caracterizado por um eixo de polarização
  - Este eixo representa a direção da componente do campo elétrico que será transmitida
- Vários tipos de polarizador
  - Absorção
    - Absorve a componente dos campos EM em uma dada direção
  - Birrefringentes
    - O índice de refração pode depender da polarização da luz
  - Reflexão
    - A luz refletida, dependente do ângulo, favorece a polarização em uma direção

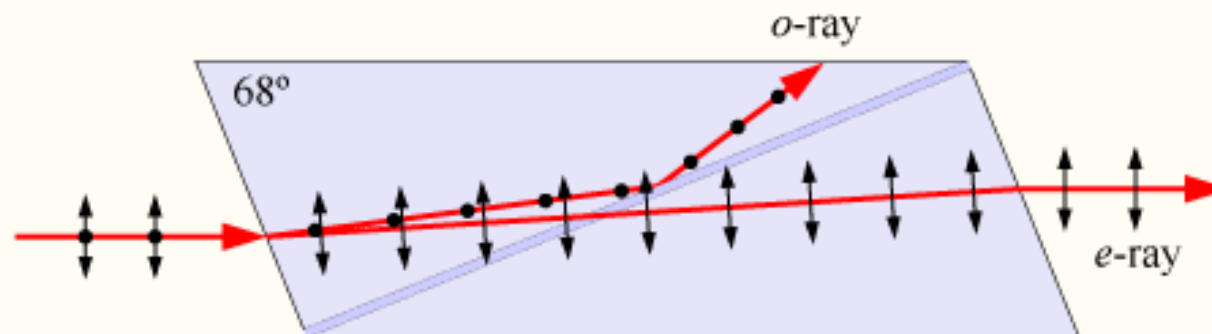
# Polarizador por absorção

- O mais simples é o de grade de fios
  - O campo elétrico na direção dos fios faz com que os elétrons livres se movam. O movimento desses elétrons faz com que essa componente seja absorvida
- Dicroísmo
  - Alguns cristais possuem absorção diferente para cada componente da luz incidente, dependendo da estrutura da rede cristalina



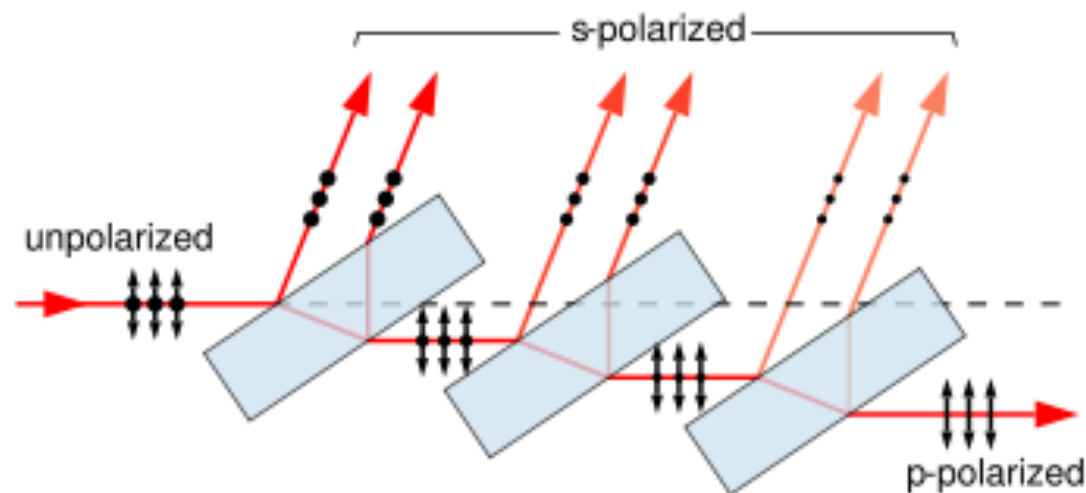
# Polarizador birrefringente

- Alguns materiais, principalmente cristais, possuem índices de refração que dependem da polarização da luz.
- Assim, uma luz não-polarizada tem o seu feixe dividido em dois, um para cada componente de polarização
- Uma segunda superfície reflete um dos feixes



# Polarizador por reflexão

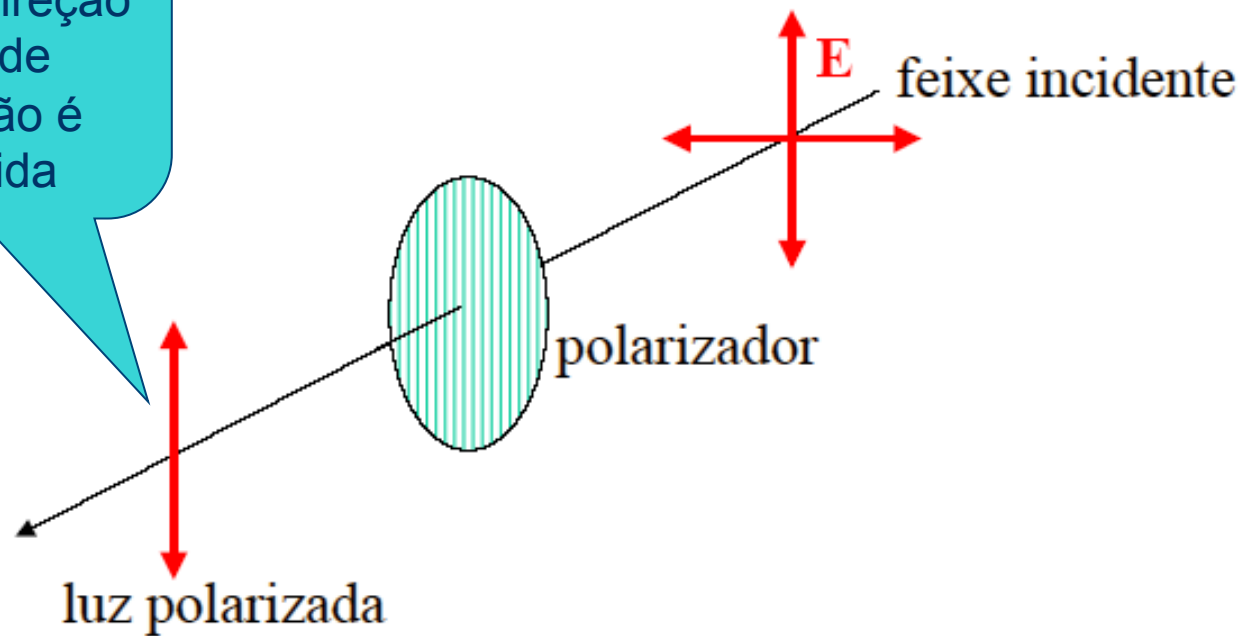
- Ao incidir sobre uma superfície refratora/refletora, dependendo do ângulo de incidência, a luz refletida e refratada são polarizadas



# Efeito de um polarizador na luz

Somente a componente do campo na direção do eixo de polarização é transmitida

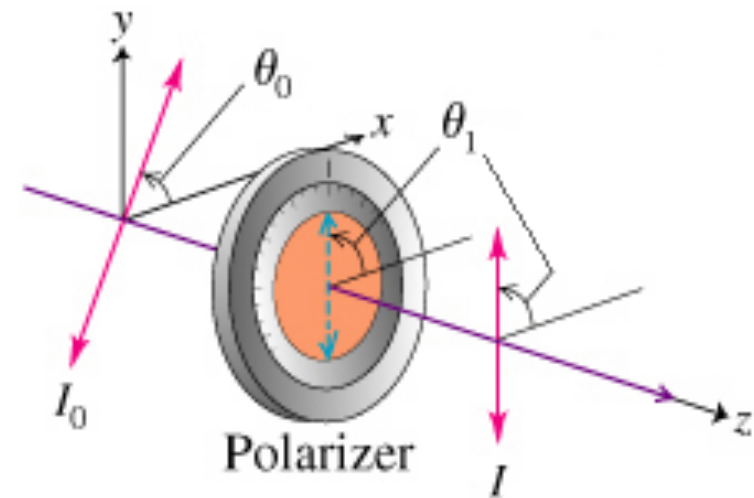
Não-polarizada em polarizada



# Lei de Malus

- Lei de Malus
  - Polarizador colocado na frente de uma luz, com seu eixo em um ângulo  $\theta$  em relação ao campo elétrico incidente

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$





# Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

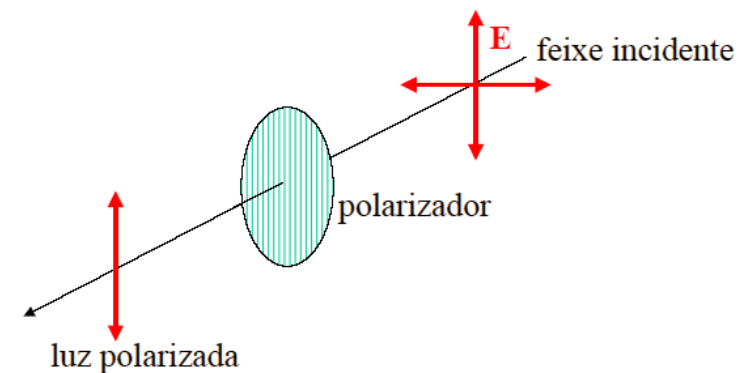
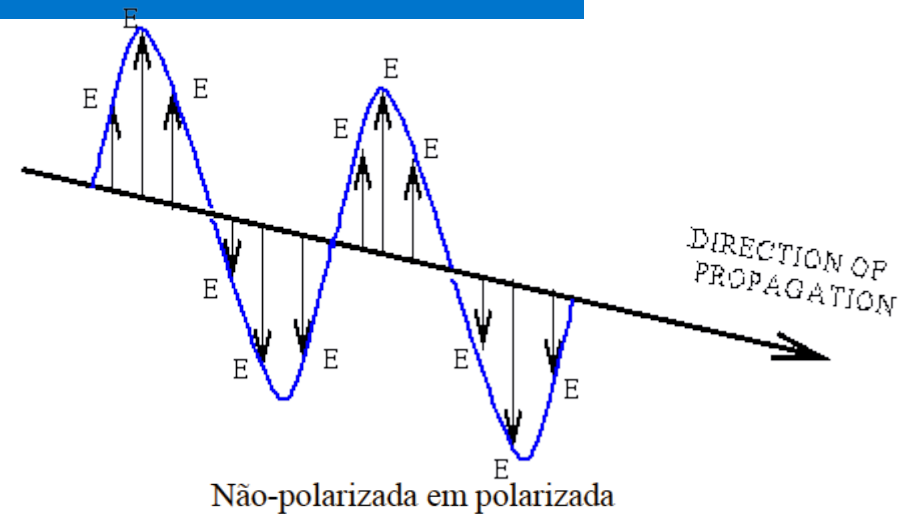
- Campo elétrico com direção fixa

$$\vec{E} = E(z,t) \begin{pmatrix} \cos(\theta) \hat{j} \\ + \sin(\theta) \hat{i} \end{pmatrix}$$

- Agora a direção  $\theta$  é fixa porque a luz está polarizada. Novamente, a intensidade luminosa é:

$$I_0 \propto E^2$$

E: ELECTRIC FIELD



# Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

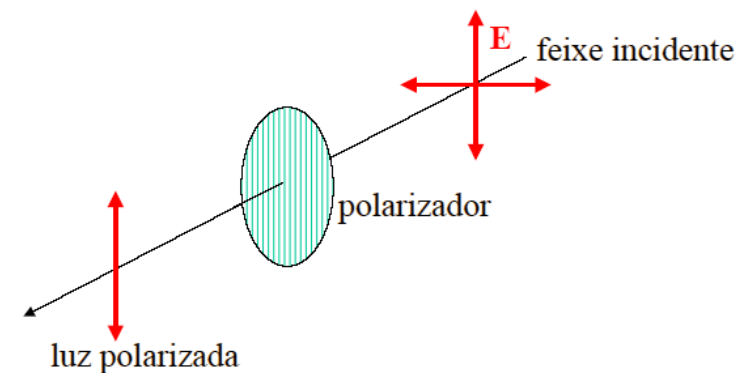
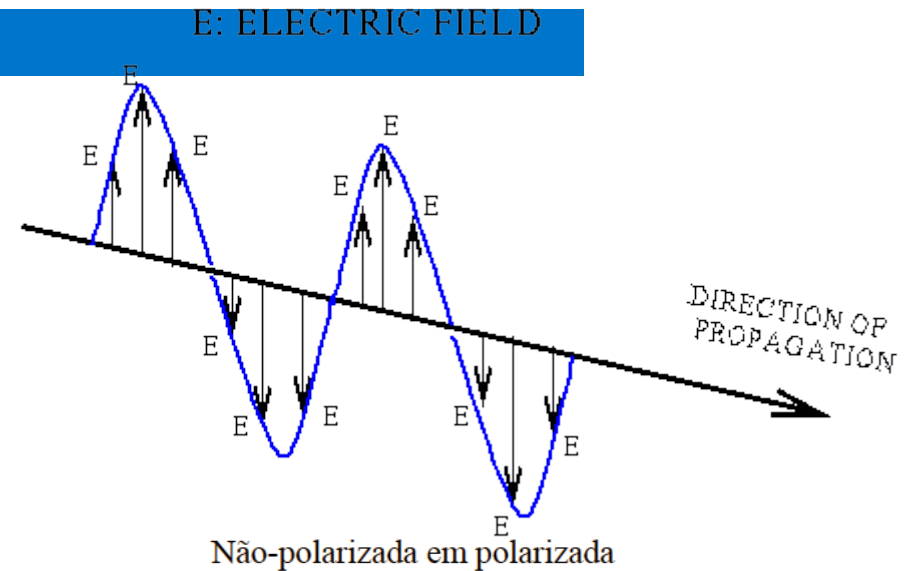
- Se o polarizador tiver direção  $j$  somente o campo  $E_j$  é transmitido (Lei de Malus)

$$\vec{E}_{depois} = E(z,t) \cos(\theta) \hat{j}$$

- A intensidade transmitida é

$$I \propto E_{depois}^2$$

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$



# Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

- Conclusão:
  - A intensidade luminosa transmitida por um polarizador, caso a luz incidente seja polarizada depende do ângulo do polarizador em relação ao campo elétrico incidente, ou seja:

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

- A luz emergente do polarizador também é polarizada, porém com direção de polarização diferente da inicial (caso  $\theta$  não seja 0)

# Objetivos da semana

- Verificar experimentalmente a lei de Malus para uma luz previamente polarizada

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

- Atividade pré-lab
  - Qual a intensidade transmitida por um polarizador se a luz incidente não for polarizada?
    - Dica: considere a luz incidente em todas as direções possíveis de polarização e faça uma média.

# Algumas considerações na análise Lei de Malus

- Verificar experimentalmente a lei de Malus para uma luz previamente polarizada

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

- Há desvios em relação à expressão acima que podem ser medidos experimentalmente?
  - Quais as fontes destes desvios?
  - Como poderíamos modificar a Lei de Malus acima para levar em consideração possíveis desvios?

# Arranjo experimental: Lei de Malus



Laser de diodo com regulagem de intensidade

Polarizador 1 – Define a direção inicial do campo elétrico

Polarizador 2 – o ângulo deste em relação ao primeiro é a medida  $\theta$ .

Fotosensor

# Cuidados experimentais

- Fiquem atentos se o fotosensor não está saturado.
  - Regule a intensidade do Laser
- Alinhamento do sistema óptico
- Tente focalizar a luz no fotosensor de forma apropriada
- Cuidado ao medir os ângulos entre os polarizadores
  - Qual a incerteza na medida do ângulo?
- Qual a incerteza na medida de intensidade luminosa?
- Ver detalhes no site da disciplina



# Atividades para Lei de Malus

- Medir a intensidade luminosa em função de  $\theta$ . Cuidado para que a luz não seja intensa para saturar o fotosensor.
- Gráfico de Intensidade vs.  $\theta$ .
- Ajustar por mínimos quadrados a previsão teórica da Lei de Malus.
  - Os dados se comportam como o esperado pela teoria (ver resíduos)?
  - Caso não seja validada, como podemos modificar a Lei de Malus para levar em conta outros efeitos? Quais são estes efeitos?
  - Reajuste, se necessário, os dados levando em conta as modificações efetuadas na Lei de Malus.