

Física Experimental IV

Segundo semestre de 2020

Experimento III - Atividade 1

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=82701>

2020

Experimento III - Estudos de polarização



- 1 Experimento
 - Experimento III
 - Polarização
 - Atividade 1

- 1 Experimento
 - Experimento III
 - Polarização
 - Atividade 1

- 1 Experimento
 - Experimento III
 - Polarização
 - Atividade 1

Objetivos do experimento

- Polarização linear, circular, elíptica
- A reflexão e a polarização: reflexão na interface com dielétricos e com superfícies metálicas
- Dielétricos que mudam o estado de polarização: as placas $\frac{1}{2}$ onda e $\frac{1}{4}$ de onda

- 4 atividades

- ▶ **Atividade 1**

- ★ Fenômenos de polarização da luz - Lei de Malus

- ▶ **Atividade 2**

- ★ Determinação de estados de polarização após reflexão por um dielétrico em diferentes ângulos

- ▶ **Atividade 3**

- ★ Determinação de estados de polarização após reflexão pelo espelho em diferentes ângulos

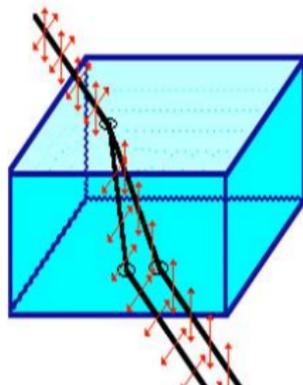
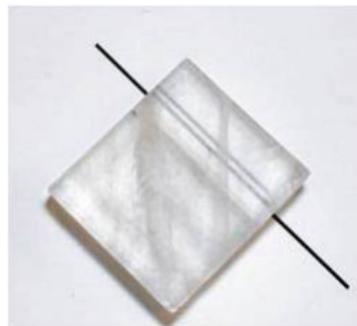
- ▶ **Atividade 4**

- ★ Alteração da polarização da luz utilizando uma placa de onda

- 1 Experimento
 - Experimento III
 - Polarização
 - Atividade 1

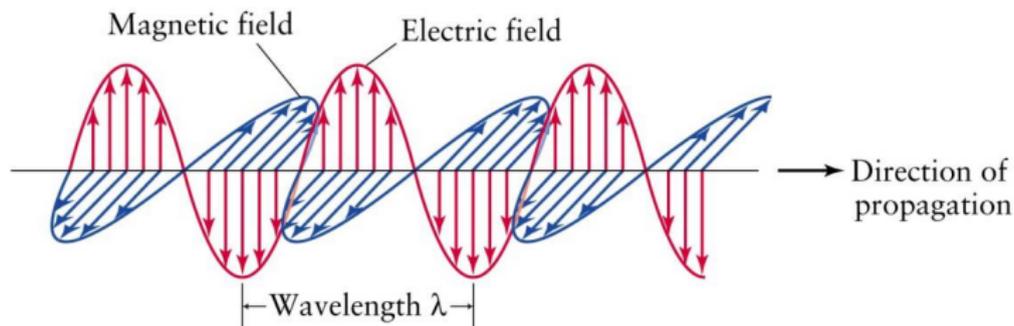
A natureza da luz

- 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 e Augustin-Jean Fresnel - duas componentes com diferentes velocidades
 - ▶ Os estudos de Maxwell (1864)
 - ★ A luz é uma onda eletromagnética



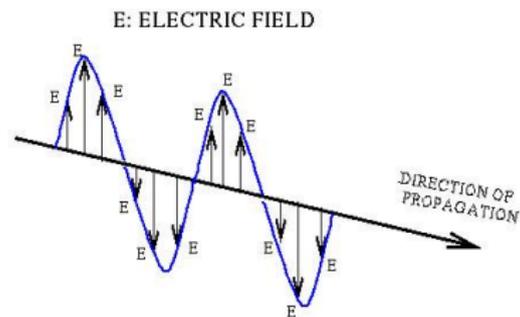
Ondas transversais

- 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



- 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

- 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:

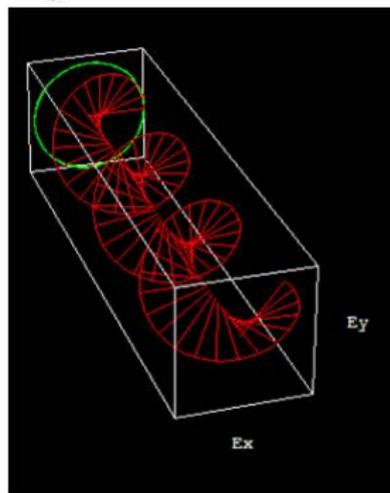
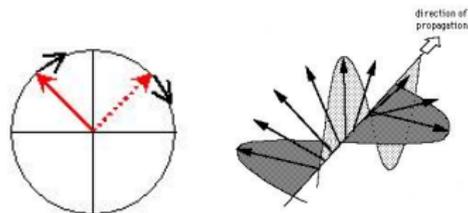
$$\vec{E}(z, t) = E_0 \cos(kz - \omega t) \hat{j}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = 2\pi f$$

Polarização circular

- A direção do campo elétrico depende do tempo mas sua intensidade é constante



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

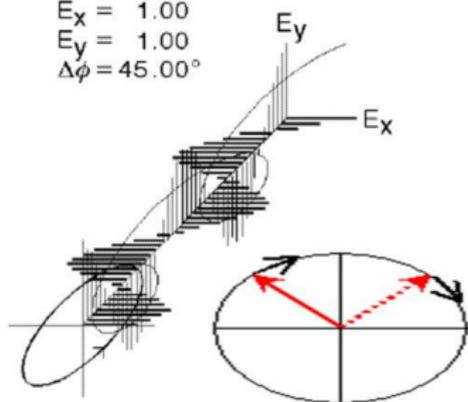
$$\vec{E}(z, t) = E_0 \begin{bmatrix} \text{sen}(kz - \omega t)\hat{i} \\ + \\ \text{cos}(kz - \omega t)\hat{j} \end{bmatrix}$$

Polarização elíptica

- A direção do campo elétrico depende do tempo, bem como a sua intensidade

Right-hand Elliptical Polarization

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



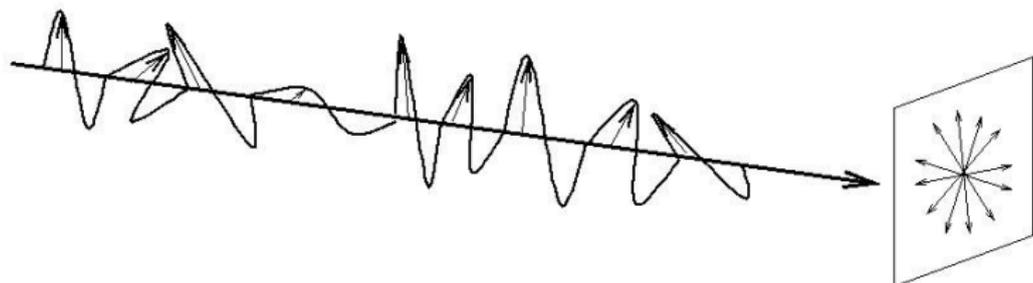
- No caso da polarização elíptica, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de 90° , ou seja:

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

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 componentes i e j

$$\vec{E}(z, t) = E(z, t) [\text{sen}(\theta_{\text{aleatório}}(z, t))\hat{i} + \text{cos}(\theta_{\text{aleatório}}(z, t))\hat{j}]$$

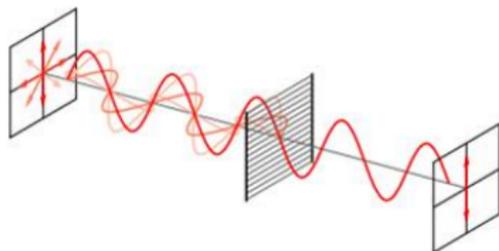


O polarizador

- 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

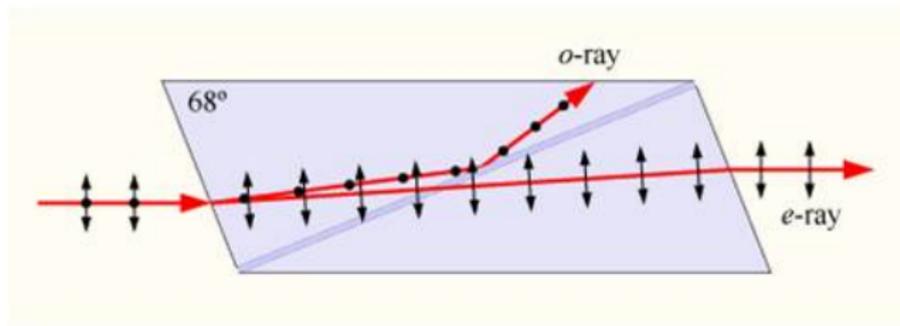


- O mais simples é o de grade de fios
 - ▶ O campo elétrico na direção dos fios faz com que os elétrons livres se movam. O movimento desses elétrons faz com que essa componente seja absorvida
- Dicroísmo
 - ▶ Alguns cristais possuem absorção diferente para cada componente da luz incidente, dependendo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



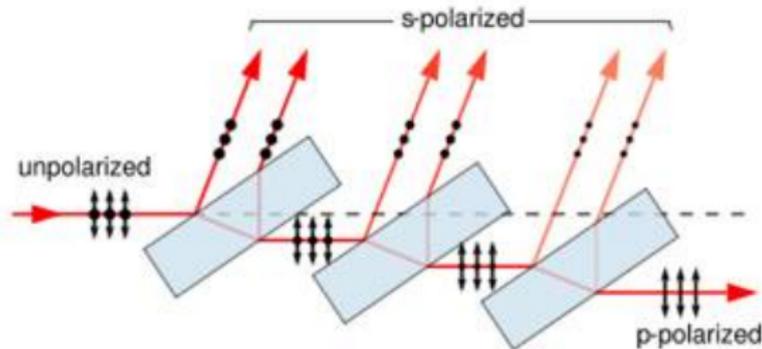
Polarizador birrefringente

- 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

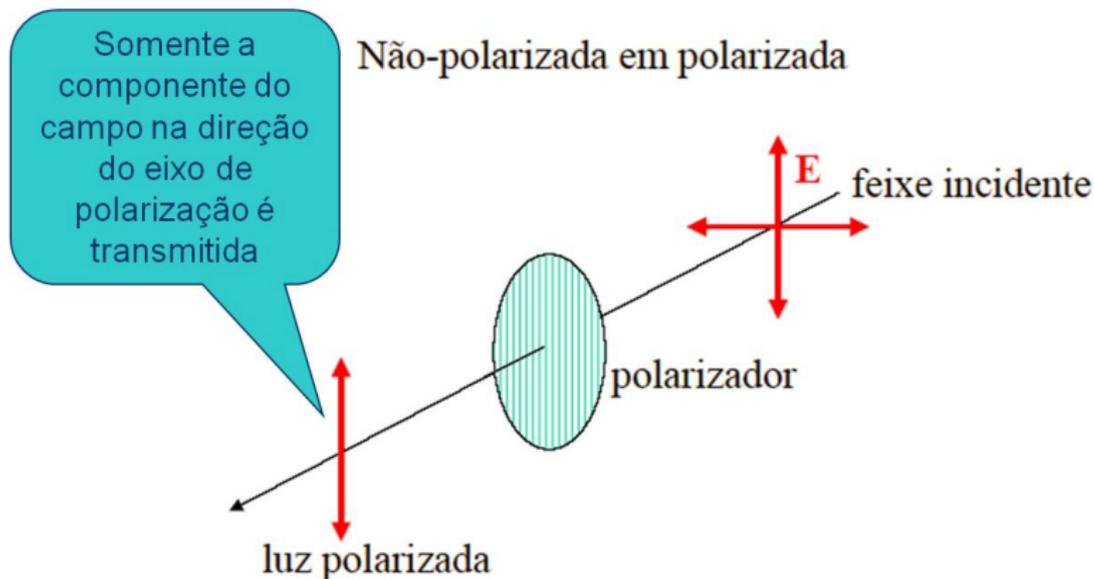


Polarizador por reflexão

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

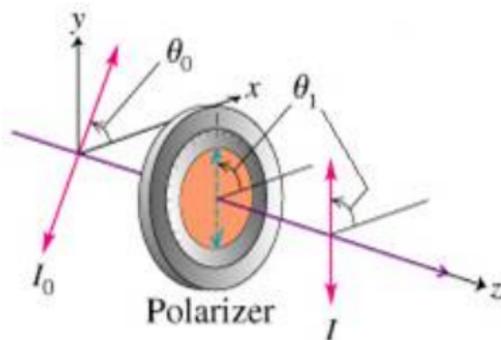


Efeito de um polarizador na luz



- Polarizador colocado na frente de uma luz, com seu eixo em um ângulo θ em relação ao campo elétrico incidente

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



Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

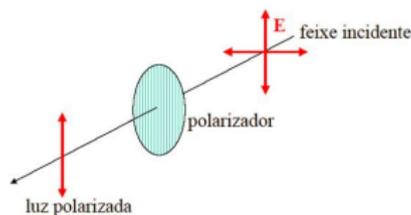
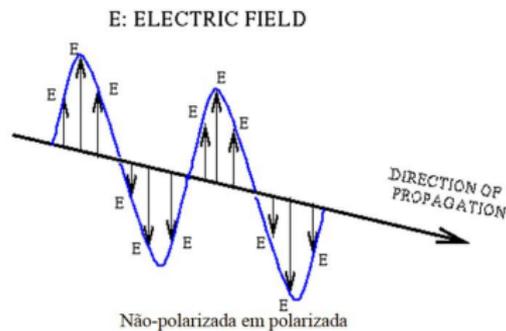
- Campo elétrico com direção fixa

$$\vec{E} = E(z, t) [\text{sen}(\theta)\hat{i} + \text{cos}(\theta)\hat{j}]$$

- Agora a direção θ é fixa porque a luz está polarizada.

Novamente, a intensidade luminosa é:

$$I_0 \propto E^2$$



Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

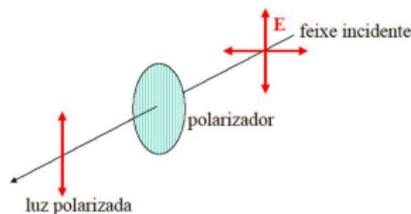
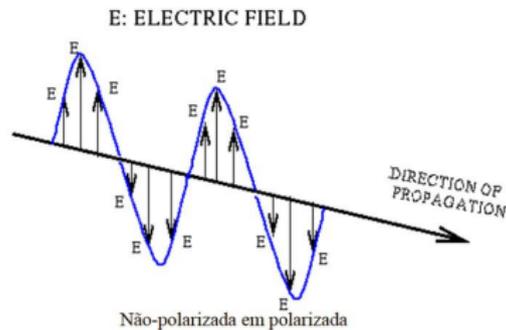
- Se o polarizador tiver direção j somente o campo E_j é transmitido (Lei de Malus)

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

- A intensidade transmitida é

$$I_0 \propto E_{\text{depois}}^2$$

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



- 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 θ não seja 0)

- 1 Experimento
 - Experimento III
 - Polarização
 - Atividade 1

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

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

- 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



Atividades para a Lei de Malus

- Foi medida a intensidade luminosa em função de θ para 3 orientações diferentes do polarizador inicial
- Fazer o gráfico de intensidade vs. θ para os 3 casos
- Ajustar os dados experimentais com a previsão teórica da Lei de Malus
 - ▶ Os dados se comportam como o esperado pela teoria?
 - ▶ 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.
 - ▶ Comparar os valores obtidos para o ângulo do polarizador com os valores nominais.
- Discutir os resultados