Experimento III - Estudos de polarização

Sumário

Sumário

Sumário

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

Cronograma

- 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

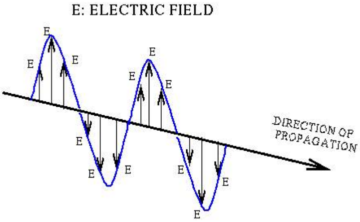
Sumário

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

- 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:

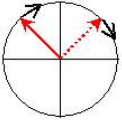
$$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t)\hat{\jmath}$$

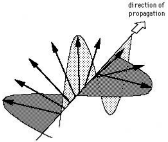
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

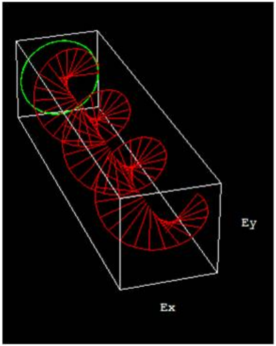
$$\omega = 2\pi f$$

Polarização circular

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





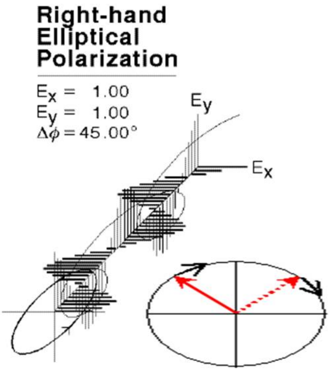


- No caso da polarização circular, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de 90°, ou seja:

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{bmatrix} \operatorname{sen}(kz - \omega t)\hat{\imath} \\ + \\ \cos(kz - \omega t)\hat{\jmath} \end{bmatrix}$$

Polarização elíptica

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



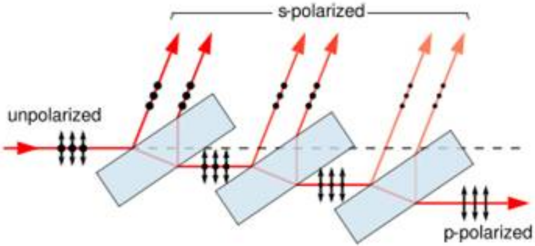
- No caso da polarização elíptica, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de 90°, ou seja:

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

Sumário

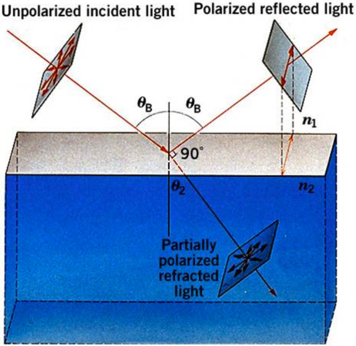
Polarizador por reflexão

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



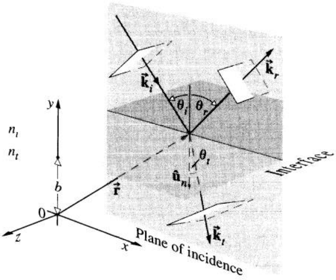
Polarização por reflexão

- Onda não polarizada incidente em uma superfície
- As ondas refletida e refratada possuem diferentes graus de polarização, dependendo das condições de contorno
  - Ângulo de incidência
  - Índices de refração

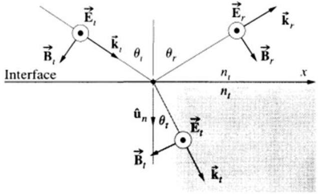


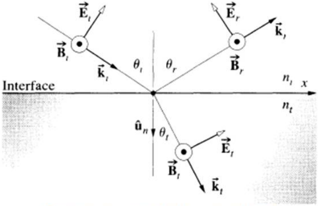
Motivação teórica: ver Hecht - seção 4.6

- Uma onda não polarizada pode ser decomposta em duas componentes:



Campo transversal ao plano

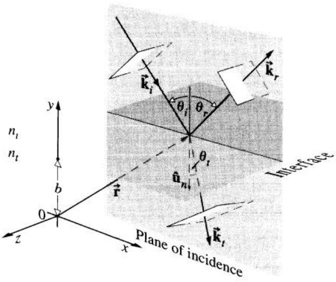




Campo paralelo ao plano

Motivação teórica: ver Hecht - seção 4.6

- Mostramos que para uma luz incidente com polarização genérica, temos:



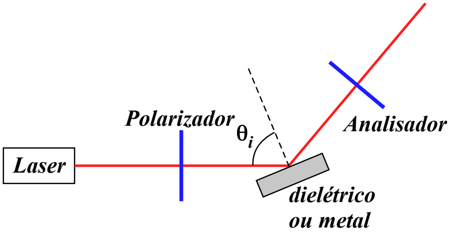
$$r_s = -\frac{\operatorname{sen}(\theta_i - \theta_t)}{\operatorname{sen}(\theta_i + \theta_t)}$$

$$r_p = \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)}$$

Sumário

Montagem

- Podemos analisar a polarização da luz refletida por um material para estudar as suas propriedades ópticas



- Vetor de Jones para a luz que chega no detector

$$\begin{pmatrix} \cos^2\theta & \operatorname{sen}\theta\cos\theta \\ \operatorname{sen}\theta\cos\theta & \operatorname{sen}^2\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \operatorname{sen}\alpha \end{pmatrix}$$

Intensidade medida

$$\begin{pmatrix} \cos^2\theta & \operatorname{sen}\theta\cos\theta \\ \operatorname{sen}\theta\cos\theta & \operatorname{sen}^2\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \operatorname{sen}\alpha \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} -r_p \cos\alpha\cos^2\theta + r_s \operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}\theta\cos\theta \\ -r_p\cos\alpha\operatorname{sen}\theta\cos\theta + r_s\operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}^2\theta \end{pmatrix}$$

$$I \propto |-r_p\cos\alpha\cos^2\theta + r_s\operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}\theta\cos\theta|^2 + |-r_p\cos\alpha\operatorname{sen}\theta\cos\theta + r_s\operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}^2\theta|^2 =$$

$$= |r_p|^2\cos^2\alpha\cos^2\theta + |r_s|^2\operatorname{sen}^2\alpha\operatorname{sen}^2\theta - \frac{(r_p r_s^* + r_s r_p^*)}{4}\operatorname{sen}2\alpha\operatorname{sen}2\theta$$

Mudança de variável

$$I = |r_p|^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \theta + |r_s|^2 \operatorname{sen}^2 \alpha \operatorname{sen}^2 \theta - \frac{(r_p r_s^* + r_s r_p^*)}{4} \operatorname{sen} 2\alpha \operatorname{sen} 2\theta$$

$$\frac{r_p}{r_s} \equiv \tan \Psi e^{i\Delta}$$

- Fazendo essa substituição podemos escrever

$$I = I_0(1 - \eta \operatorname{sen} 2\theta + \xi \cos 2\theta)$$

- onde

$$\eta \equiv 2\frac{\tan \Psi \cos \Delta \tan \alpha}{\tan^2 \Psi + \tan^2 \alpha} \qquad e \qquad \xi = \frac{\tan^2 \Psi - \tan^2 \alpha}{\tan^2 \Psi + \tan^2 \alpha}$$

Ajuste da intensidade

- Os dados de intensidade podem ser ajustados através da expressão

$$I = I_0(1 - \eta \operatorname{sen} 2\theta + \xi \cos 2\theta)$$

- Determinando-se os valores de I_0, η e ξ podemos determinar

$$\tan \Psi = \sqrt{\frac{1+\xi}{1-\xi}} |\tan \alpha| \qquad e \qquad \cos \Delta = \frac{\eta}{\sqrt{1-\xi^2}} \mathrm{sinal}(\alpha)$$

- e com isso podemos obter

$$\frac{r_p}{r_s} \equiv \tan \Psi e^{i\Delta}$$

Propriedades ópticas

- Obtendo Ψ e Δ e usando

$$\frac{r_p}{r_s} \equiv \tan\Psi e^{i\Delta}$$

$$r_p = \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \qquad \text{e} \qquad r_s = -\frac{\operatorname{sen}(\theta_i - \theta_t)}{\operatorname{sen}(\theta_i + \theta_t)}$$

- e a Lei de Snell

$$n_i \operatorname{sen}\theta_i = n_t \operatorname{sen}\theta_t$$

- podemos obter o índice de refração do meio

$$n_t^2 = n_i^2 \operatorname{sen}^2\theta_i \left[1 + \tan^2\theta_i \frac{(\cos 2\Psi - i \operatorname{sen} 2\Psi \operatorname{sen}\Delta)^2}{(1 + \operatorname{sen} 2\Psi \cos\Delta)^2}\right]$$

Para um metal

$$n_t^2 = n_i^2 \operatorname{sen}^2 \theta_i \left[1 + \tan^2 \theta_i \frac{(\cos 2\Psi - i \operatorname{sen} 2\Psi \operatorname{sen} \Delta)^2}{(1 + \operatorname{sen} 2\Psi \cos \Delta)^2} \right]$$

- $n_t = n - ik$ onde n é o índice de refração e k o coeficiente de extinção
- assim $n_t^2 = n^2 - i2nk - k^2$ e

$$n^2 - k^2 = n_i^2 \operatorname{sen}^2 \theta_i \left[1 + \tan^2 \theta_i \frac{(\cos^2 2\Psi - \operatorname{sen}^2 2\Psi \operatorname{sen}^2 \Delta)}{(1 + \operatorname{sen} 2\Psi \cos \Delta)^2} \right]$$

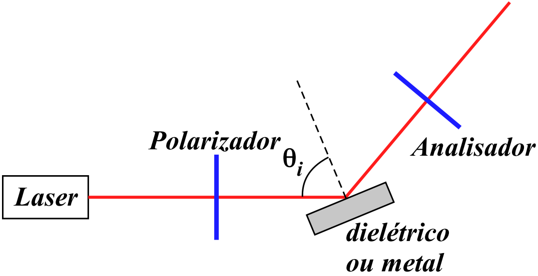
$$nk = \frac{n_i^2 \operatorname{sen}^2 \theta_i \tan^2 \theta_i \operatorname{sen} 2\Psi \cos 2\Psi \operatorname{sen} \Delta}{(1 + \operatorname{sen} 2\Psi \cos \Delta)^2}$$

Sumário

Objetivo da atividade

- Estudar como a luz pode ser polarizada por reflexão na superfície de um metal
- Determinar o índice de refração e o coeficiente de extinção do metal

Arranjo experimental



- O polarizador na frente do laser foi colocado em $\alpha = 45°$

Atividades para polarização por reflexão

- Foram medidas as intensidades de reflexão através do polarizador analisador para três ângulos de incidência
  - $\theta_i = \boxed{35, 50 \text{ e } 65}$ graus
- Ajuste as curvas medidas e determine os valores de η e ξ para cada ângulo de incidência
- Utilize esses valores na planilha "CÁLCULO DE n e k CONDUTOR EXP" e determine o índice de refração e o coeficiente de extinção do metal
- Qual o tipo de polarização da onda refletida? Qual a mudança na polarização com a variação do ângulo de incidência?
- Avalie a compatibilidade dos valores obtidos e determine esses valores