

# Medidas de Intensidade Luminosa. Polarização

Measurement of Luminosity intensity. Polarization

Eden V. Costa

*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense*

*Boa Viagem, 24210-340, Niterói, RJ, Brasil*

*eden@if.uff.br*

Recebido em 17 de maio, 2001. Manuscrito revisado em 18 de janeiro de 2002.

Aceito em 22 de janeiro de 2002.

Neste artigo vamos determinar os estados de polarização da luz por meio de medidas da intensidade luminosa. O aparato experimental utilizado é simples, possível de ser realizado em laboratório didático. Os resultados mostram ser viável a utilização deste experimento nos cursos de óptica básica, na demonstração experimental de alguns tópicos vistos teoricamente em classe e no aprofundamento dos conceitos de polarização.

In this paper we determine the states of polarization of light through the measurement of luminosity intensity. The experimental apparatus is simple, feasible to be realized in didactic laboratories. The results show to be practicable the utilization of this experiment in the studies of basic optics, in the experimental demonstration of some topics theoretically seen in class and in the understanding of the light polarization.

## I Introdução

O valor instantâneo do campo elétrico de uma onda eletromagnética plana, com frequência angular  $\omega$ , vetor de onda  $\mathbf{k}$  e ângulo de fase  $\varphi$ , na posição  $\mathbf{r}$  é:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 \exp[i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t) + \varphi]. \quad (1)$$

A onda será polarizada se,  $\varphi$  e  $E_{0i}/E_{0j}$  forem constantes.  $E_{0i}$  e  $E_{0j}$  são as componentes de  $E_0$  segundo os eixos cartesianos  $x$ ,  $y$  e  $z$  [1]. Vamos considerar uma onda polarizada. Por conveniência, vamos analisá-la na origem do sistema de eixos coordenados ( $\mathbf{r}=0$ ) e supor sua propagação na direção  $z$ . Assim, as componentes do campo elétrico são:

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_{0x} \exp(-i\omega t), \quad (2)$$

$$\mathbf{E}_y = \mathbf{E}_{0y} \exp(-i\omega t + \delta). \delta = \varphi_x - \varphi_y \quad (3)$$

A parte real das componentes são:

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_{0x} \cos(\omega t), \quad (4)$$

$$\mathbf{E}_y = \mathbf{E}_{0y} \cos(\omega t + \delta). \quad (5)$$

Podemos escrever:

$$(E_y/E_{0y}) = \cos(\omega t) \cos \delta - \sin(\omega t) \sin \delta, \quad (6)$$

$$(E_y/E_{0y}) = (E_x/E_{0x}) \cos \delta - \sin(\omega t) \sin \delta. \quad (7)$$

Escrevendo:  $\sin(\omega t) = [1 - (E_x/E_{0x})^2]^{1/2}$ , temos:

$$(E_y/E_{0y})^2 + (E_x/E_{0x})^2 - 2(E_y/E_{0y})(E_x/E_{0x}) \cos \delta - (\sin \delta)^2 = 0 \quad (8)$$

Esta é a equação de uma elipse inclinada em relação aos eixos coordenados  $x$  e  $y$ . Se o ângulo de inclinação em relação ao eixo  $x$  for igual a  $\alpha$ ,

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2E_{0x}E_{0y}(\cos \delta)}{(E_{0x})^2 - (E_{0y})^2}. \quad (9)$$

Se  $\delta=90^\circ$ , então  $\operatorname{tg}(2\alpha)=0$ . A equação (8) toma a forma familiar:

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = 1. \quad (10)$$

Caso  $E_{0x} = E_{0y} = E_0$ , a equação (10) fica:  $(E_x)^2 + (E_y)^2 = (E_0)^2$ . Equação de uma circunferência. Neste caso, a polarização é circular. Para  $\delta=0$ , a equação (8) torna-se:

$$E_y = (E_{0y}/E_{0x})E_x, \quad (11)$$

equação de uma reta. A polarização é linear. Veja a Fig. 1.

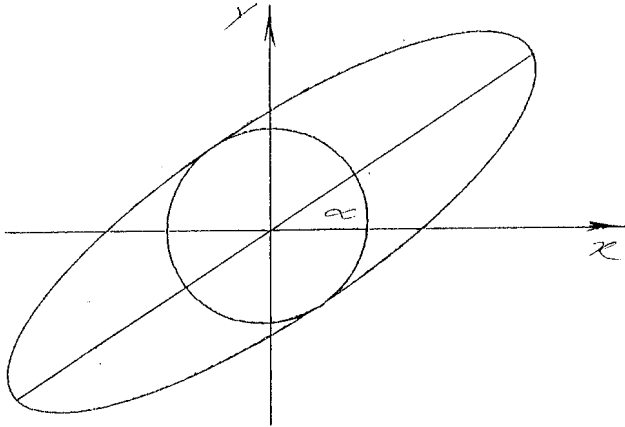


Figura 1. Polarização elíptica, circular e linear.

## II Polarizador

Qualquer dispositivo óptico capaz de transformar luz natural em polarizada chama-se polarizador. Um polarizador amplamente utilizado é o plástico polaróide. A Fig. 2 mostra um feixe de luz não polarizada incidindo sobre uma lâmina polarizadora. A lâmina possui uma direção característica de polarização. O feixe luminoso emergente têm o campo elétrico oscilando apenas paralelamente à direção característica. Assim sendo, a luz transmitida é linearmente polarizada.

Vamos colocar no trajeto do feixe uma segunda lâmina polarizadora, a qual chamaremos de analisador (Fig. 3). Girando-a em torno da direção de propagação, a intensidade  $I$  da luz transmitida varia segundo a equação:

$$I = I_m(\cos \alpha)^2. \quad (12)$$

$I_m$  é a intensidade máxima e  $\alpha$  é o ângulo entre as direções características, do polarizador e do analisador. A equação (12) é conhecida como Lei de Malus [2].

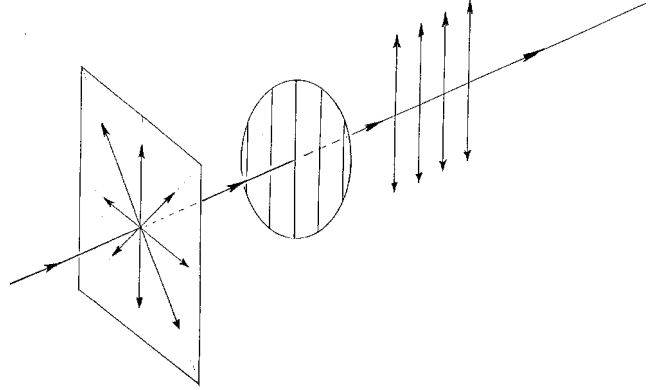


Figura 2. Luz não polarizada incidindo sobre uma lâmina polarizadora. A luz transmitida é linearmente polarizada.

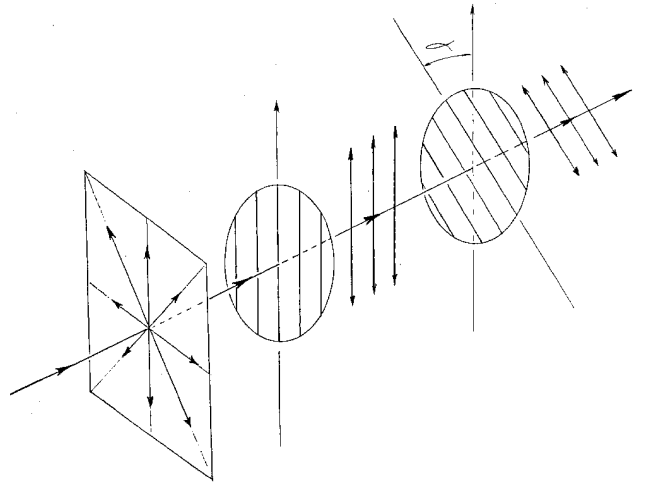


Figura 3. Luz não polarizada incidindo sobre uma lâmina polarizadora. Luz linearmente polarizada incidindo sobre uma lâmina analisadora. A intensidade da luz que emerge da lâmina analisadora obedece a Lei de Malus.  $I = I_m(\cos \alpha)^2$ .

## III Retardador

Um feixe luminoso refratado por um cristal birrefringente divide-se em dois, linearmente polarizados em direções perpendiculares. Como a velocidade da luz é função do índice de refração, a birrefringência introduz uma defasagem entre os feixes. Esta propriedade faz com que uma lâmina de cristal birrefringente convenientemente cortada receba o nome de retardador. Os retardadores são de meia onda ou de um quarto de

onda. Um retardador de meia onda introduz uma defasagem de  $180^\circ$ . Assim, uma lâmina retardadora de meia onda gira o plano de polarização (Fig. 4). Uma lâmina retardadora de um quarto de onda introduz uma defasagem de  $90^\circ$ , podendo transformar um feixe luminoso linearmente polarizado em um circularmente polarizado (Fig. 5). Se colocarmos, no trajeto do feixe, uma lâmina analisadora, a intensidade da luz transmitida será constante e igual a  $I_m/2$ , pois luz circularmente polarizada não apresenta direção característica.

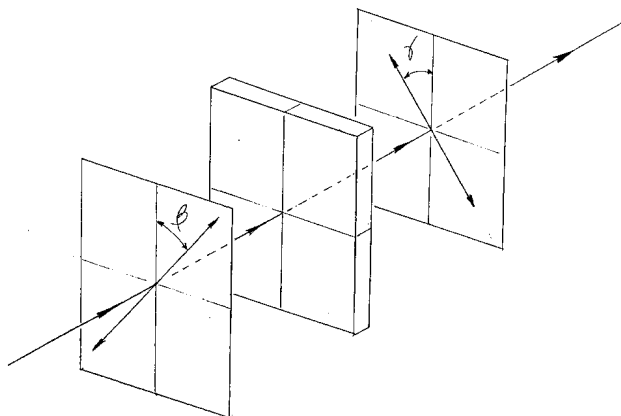


Figura 4. Um feixe luminoso linearmente polarizado ( $\beta = 45^\circ$ ), incidindo sobre uma lâmina retardadora de meia onda, produz um giro de  $90^\circ$  na direção de polarização ( $\gamma = 45^\circ$ ).

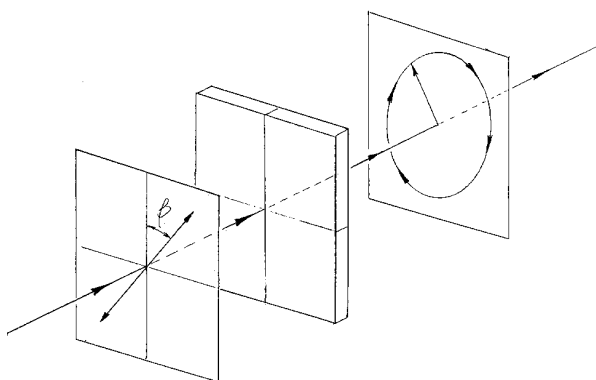


Figura 5. Um feixe luminoso linearmente polarizado ( $\beta = 45^\circ$ ), incidindo sobre uma lâmina retardadora de um quarto de onda, torna-se circularmente polarizado.

#### IV Procedimento experimental

Em nosso trabalho, utilizamos uma fonte luminosa (um laser He-Ne, de potência igual a 2mW e comprimento de onda igual a 6238 Å), duas lâminas polaróides (o polarizador e o analisador), dois retardadores (um de meia onda e um outro de um quarto de onda) e um detetor fotovoltaico (Fig. 6). Os valores da intensidade luminosa em função da orientação do analisador podem ser vistos nas Figs 7 e 8. Quando utilizamos o retardador de meia onda em um esquema semelhante ao da

figura 4, a intensidade é máxima para  $\alpha = 45^\circ$  e nula para  $\alpha = 135^\circ$ . Isso mostra que a polarização é linear (Fig. 7). Quando utilizamos o retardador de um quarto de onda em um esquema semelhante ao apresentado na Fig. 5, a intensidade é aproximadamente constante. Isto é, independe de  $\alpha$ . Neste caso, a polarização é circular (Fig. 8). A pequena dependência da intensidade em relação ao ângulo de giro do analisador deve-se ao fato do retardador disponível ter sido fabricado para o comprimento de onda 5600 Å.



fonte luminosa polarizador lâmina retardadora analisador detetor

Figura 6. Diagrama esquemático do aparato experimental.

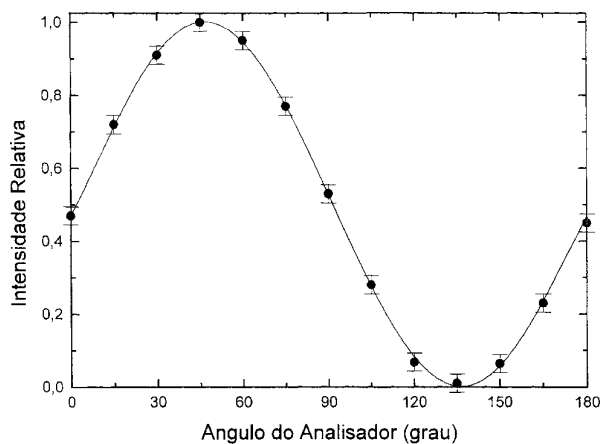


Figura 7. Variação da intensidade luminosa em função do ângulo de giro do analisador, para um retardador de meia onda.

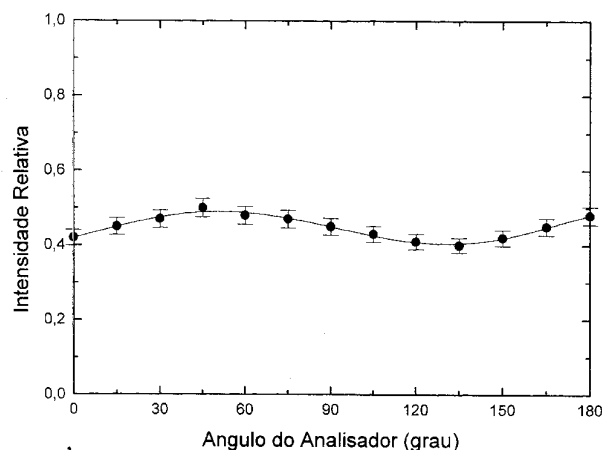


Figura 8. Variação da intensidade luminosa em função do ângulo de giro do analisador, para um retardador de um quarto de onda.

## V Conclusões

Os primeiros estudos sobre polarização visavam investigar a natureza da luz. Atualmente, consegue-se informações sobre a estrutura de um corpo, a partir do estado de polarização da luz por ele emitida ou refletida. Isso torna a polarização uma técnica de pesquisa útil ao estudo dos mais variados tipos de estruturas, cujas dimensões podem variar desde as dimensões do núcleo atômico até à de uma galáxia. Este experimento possibilita o estudante realizar medidas de intensidade lu-

minosa e utilizá-las no aprofundamento do conceito de polarização. Trata-se, portanto, de um experimento fácil de ser realizado em um laboratório de ensino e útil no aprendizado deste importante tópico da física.

## Referências

1. M. Born and E. Wolf, *Principle of Optics*. Pergamon Press, New York, 1975, Cap.I.
2. D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane, *Física 4*, 4ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, R. J. 1996.