

# Determinação dos Ângulos de Brewster para a Calcita em Três Direções

(Determination of the Brewster's Angle in Three Direction for the Calcite)

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, 2000. Aceito em 28 de Setembro, 2000

Nos meios transparentes, homogêneos e anisotrópicos uniaxiais, a polarização por reflexão é função do ângulo entre o eixo óptico do material e o plano de incidência. Neste artigo, vamos determinar os ângulos de polarização por reflexão nas superfícies: paralela e perpendicular ao eixo óptico da calcita.

In uniaxial, anisotropic, homogeneous and transparent media, the polarization by reflection is function of the angle between the optic axis of the material and plane of incidence. In this paper, we determine the polarization angles by reflection at the surface: parallel and perpendicular to the optics axis of the calcite.

## I Introdução

Um feixe luminoso não-polarizado pode ser decomposto em dois plano-polarizados: um perpendicular ( $\sigma$ ) e outro paralelo ( $\pi$ ) ao plano de incidência.

Para dielétricos homogêneos e opticamente isotrópicos, existe apenas um ângulo de incidência, ângulo de Brewster ( $\theta_B$ ), no qual, na reflexão, a componente  $\pi$  se anula [1]. Sob esta condição, o feixe refletido torna-se plano-polarizado  $\sigma$  (fig. 1).

$$\operatorname{tg}\theta_B = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração do meio 1 e do meio 2, respectivamente. A equação (1) é conhecida como Lei de Brewster. Para dielétricos homogêneos e opticamente anisotrópicos, o ângulo de Brewster é função da posição do eixo óptico do material em relação ao plano de incidência [2]. Os livros de física básica não apresentam a Lei de Brewster para meios opticamente anisotrópicos. Isto, nos motivou determinar os ângulos de Brewster da calcita, um cristal opticamente anisotrópico uniaxial.

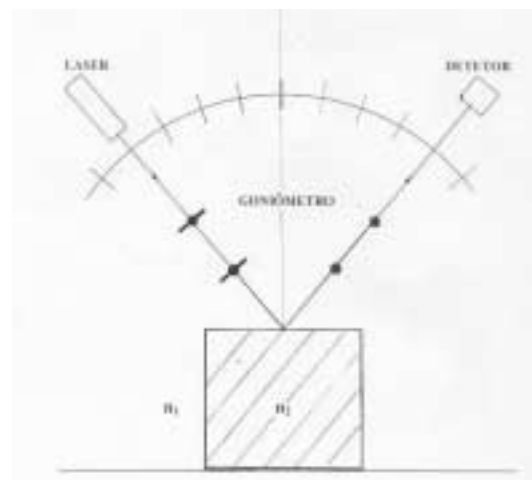


Figura 1. Polarização por reflexão. Incidência de um feixe não polarizado segundo o ângulo de Brewster. O feixe refletido é plano-polarizado  $\sigma$ , sua componente  $\pi$  é nula. Os índices de refração dos meios são:  $n_1$  e  $n_2$ .

Vamos considerar um meio anisotrópico com índices de refração ordinário ( $n_{2o}$ ) e extraordinário ( $n_{2e}$ ), tal que, suas superfícies sejam paralelas ou perpendiculares ao eixo óptico. Na superfície paralela ao eixo óptico, tomaremos duas orientações: uma, onde ele é paralelo ao plano de incidência e uma outra, em que ele lhe é perpendicular. Na superfície perpendicular ao eixo óptico, apenas a orientação paralela ao plano de incidência é possível. Sendo assim, estamos estabelecendo para o

eixo óptico, três direções perpendiculares entre si. Sob esta condição, os ângulos de Brewster são dados por [2]:

1) Para a superfície paralela ao eixo óptico, com ele paralelo ao plano de incidência,

$$\operatorname{tg}\theta_B = \frac{n_{2o}}{n_1} \quad (2)$$

semelhante ao que ocorre no meio isotrópico (eq. 1).

2) Para a superfície paralela ao eixo óptico, com ele perpendicular ao plano de incidência,

$$\operatorname{sen}^2\theta_B = \frac{n_1^2 n_{2o}^2 - n_{2o}^2 n_{2e}^2}{n_1^4 - n_{2o}^2 n_{2e}^2} \quad (3)$$

3) Para a superfície perpendicular ao eixo óptico,

$$\operatorname{sen}^2\theta_B = \frac{n_1^2 n_{2e}^2 - n_{2o}^2 n_{2e}^2}{n_1^4 - n_{2o}^2 n_{2e}^2} \quad (4)$$

## II Determinação dos Ângulos de Brewster

Os índices de refração ordinário e extraordinário da calcita, para o comprimento de onda 6.328Å, do laser de HeNe são:  $n_{2o}=1,6557$  e  $n_{2e}=1,4852$  [3]. Com esses valores e as equações, (2), (3) e (4), temos:  $\theta_B=58,868$ ,  $\theta_B=54,027$  e  $\theta_B=60,738$ , respectivamente. Na determinação experimental, utilizamos um cubo de calcita, com o eixo óptico paralelo e perpendicular às superfícies. O arranjo experimental utilizado é semelhante ao representado na Fig. 1. Medimos a intensidade da componente  $\pi$  do feixe refletido em função do ângulo de incidência (Figs. 2, 3 e 4). O mínimo da curva, ocorre quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo de Brewster, condição que torna o feixe refletido linearmente polarizado  $\sigma$ . Quando o feixe incide sobre a superfície paralela ao eixo óptico: (1)  $\theta_B = 59^\circ \pm 0,3^\circ$ , se o eixo óptico for perpendicular ao plano de incidência (Fig.2). (2)  $\theta_B = 54^\circ \pm 0,3^\circ$ , se o eixo óptico for paralelo ao plano de incidência (Fig.3). Quando o feixe incide sobre a superfície perpendicular ao eixo óptico,  $\theta_B = 61^\circ \pm 0,3^\circ$  (Fig.4). O erro percentual,

$$\operatorname{erro}(\%) = \frac{\theta_B(E) - \theta_B(T)}{\theta_B(T)} \times 100\%, \quad (5)$$

onde,  $\theta_B(E)$  e  $\theta_B(T)$  são os resultados, experimental e teórico, é menor do que 1% em todas configurações.

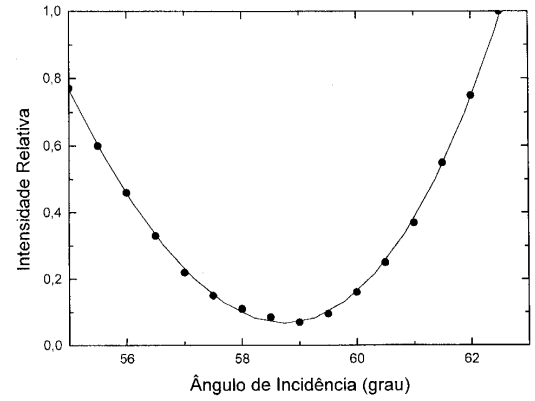


Figura 2. Intensidade relativa da componente  $\pi$  do feixe refletido versus ângulo de incidência. O eixo óptico é paralelo à superfície de reflexão e perpendicular ao plano de incidência.  $\theta_B = 59^\circ \pm 0,3^\circ$ .

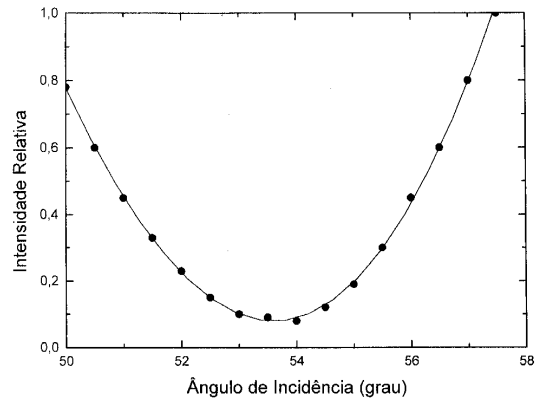


Figura 3. Intensidade relativa da componente  $\pi$  do feixe refletido versus ângulo de incidência. O eixo óptico é paralelo à superfície de reflexão e ao plano de incidência.  $\theta_B = 54^\circ \pm 0,3^\circ$ .

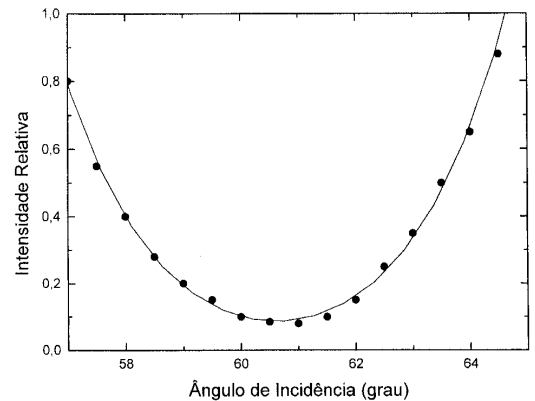


Figura 4. Intensidade relativa da componente  $\pi$  do feixe refletido versus ângulo de incidência. O eixo óptico é perpendicular à superfície de reflexão.  $\theta_B = 61^\circ \pm 0,3^\circ$ .

## III Conclusões

Este experimento possibilita o estudante realizar medidas de intensidade luminosa e utilizar conceitos de polarização e propagação de ondas eletromagnéticas em

meios anisotrópicos. A determinação dos ângulos de Brewster, para a calcita em três direções perpendiculares, é um experimento fácil de ser realizado em um laboratório de ensino. Os três diferentes valores medidos para  $\theta_B$ , prova, experimentalmente, a anisotropia. O resultado é excelente. O erro percentual é menor do que 1%. Este experimento preenche uma lacuna existente nos livros texto de física básica, pois, eles não apresentam polarização por reflexão em meios anisotrópicos.

## References

- [1] D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane, *Física 4*, 4a Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. Rio de Janeiro, R. J. 1996.
- [2] R. M. Azzam e N.M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*, North-Holland, Amsterdam, 1987.
- [3] E. D. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids*, Academic Press, Vol. 1, 1985.