

Medindo o índice de refração de líquidos usando o conceito de difração da luz

A facilidade de encontrar materiais de baixo custo (como ponteira laser, CD, etc) permite a realização de experimentos simples e com isto introduzir conceitos da óptica física como difração e interferência da luz.

Esta experiência tem como objetivo calcular o índice de refração da água com uma boa precisão e mostrar a variação do comprimento de onda da luz quando a mesma propaga em meios diferentes como ar e água.

O CD é constituído por trilhas com espaçamentos da ordem de $1,6\ \mu\text{m}$ onde são armazenados os dados, e esse dispositivo funciona como uma rede de difração por reflexão ou transmissão da luz, que é usada neste experimento retirando a película protetora.

Conceitos de óptica, como difração e interferência, podem ser apresentados utilizando-se materiais de baixo custo e com erro de apenas 2%

Materiais

- Ponteira laser
- Um pedaço de CD sem a película
- Recipiente de plástico como pote de maionese ou caixa retangular transparente
- Água
- Pedaço de papel
- Fita adesiva
- Régua

Advertência: não incida a ponteira laser nos olhos, pois trata-se de uma luz muito intensa e pode causar danos irreversíveis à retina.

Procedimento experimental

Com uma tesoura ou estilete cortar uma secção do CD, como mostra a Fig. 1. É retirada a proteção metálica, utilizando um jato de ar comprimido ou fita adesiva, de modo a obter uma rede de difração por transmissão.

Prenda com fita adesiva o pedaço



Figura 1. Pedaço de CD cortado sem a proteção metálica.

de papel, que servirá de anteparo, com uma risca no centro e na posição vertical. Posicione o pedaço de CD, que servirá como rede de difração, de modo que quando incidir a luz laser a difração de ordem zero irá coincidir com a risca do papel e as demais ordens fiquem na posição horizontal. Ambos, o papel e o CD, têm que ser posicionados na parte externa do frasco e em extremidades opostas. Coloque

água no frasco de modo que a luz difratada pelo CD se propague alternativamente no ar e na água, dependendo do ponto de incidência da ponteira. O experimento está montado como mostra a Fig. 2.

Antes de iniciar o experimento faça o ensaio incidindo luz laser perpendicularmente a superfície do CD nas duas regiões, no ar e na água, e veja se os padrões difratados no anteparo estão na horizontal e simétricos em relação a difração de ordem zero. Isto é um fator importante para a obtenção de boa precisão nas medidas.

Procure utilizar água limpa e se

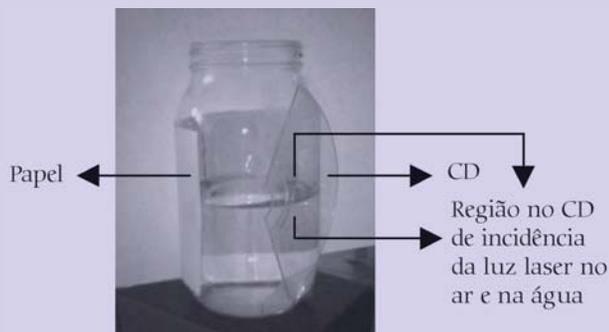


Figura 2. Montagem experimental.

possível realize o experimento em ambiente parcialmente escurecido para facilitar a leitura.

Com a ponteira laser, faça incidir um feixe perpendicularmente sobre a rede de difração (CD), fazendo coincidir o máximo central com o risco contido no anteparo, como mostram as fotos das Figs. 3.1 e 3.2.

Meça com uma régua a distância entre o máximo central e a primeira ordem de difração. Observe que se posicionar a ponteira perpendicularmente ao CD, os pontos brilhantes correspondentes à 1ª ordem de difração devem estar simétricos em relação ao máximo central.

Na Fig. 4 está representada esquematicamente a difração com a luz se propagando no ar (assumindo $n_{\text{ar}} \approx 1$).

De modo similar obtemos a mesma representação esquemática da difração na água, havendo uma diminuição da distância entre a difração de ordem zero e a difração de 1ª ordem, indicando uma dimi-



Figura 3.1. Foto da difração da luz no ar.



Figura 3.2. Foto da difração da luz na água.

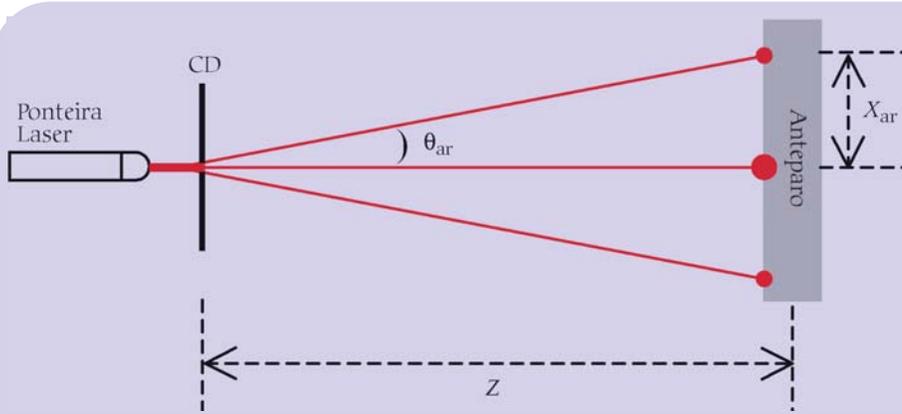


Figura 4. Representação esquemática da difração no ar.

nuição do comprimento de onda da luz, como será discutido a seguir.

Pode-se mostrar que a equação de uma rede de difração pode ser dada por

$$d \sin \theta = m \lambda,$$

onde d é a constante da rede de difração (e nesse caso $d = 1,6$ mm), λ é o comprimento de onda da ponteira laser e o ângulo θ localiza as ordens de difração, e nesse caso vamos considerar apenas a 1ª ordem de difração que corresponde a $m = 1$, então a equação fica

$$d \sin \theta = \lambda. \quad (1)$$

Relacionando as equações nos respectivos meios, teremos a relação

$$\frac{\sin \theta_{ar}}{\sin \theta_{\acute{a}gua}} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}}. \quad (2)$$

Através da Fig. 4 podemos escrever

$$\sin \theta_{ar} = \frac{X_{ar}}{\sqrt{X_{ar}^2 + Z^2}}. \quad (3)$$

De forma análoga teremos

$$\sin \theta_{\acute{a}gua} = \frac{X_{\acute{a}gua}}{\sqrt{X_{\acute{a}gua}^2 + Z^2}}, \quad (4)$$

e a razão entre as Eqs. (3) e (4) fica

$$\frac{\sin \theta_{ar}}{\sin \theta_{\acute{a}gua}} = \frac{X_{ar} \sqrt{X_{\acute{a}gua}^2 + Z^2}}{X_{\acute{a}gua} \sqrt{X_{ar}^2 + Z^2}}. \quad (5)$$

Igualando as Eqs. (2) e (5), fica

$$\frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}} = \frac{X_{ar} \sqrt{X_{\acute{a}gua}^2 + Z^2}}{X_{\acute{a}gua} \sqrt{X_{ar}^2 + Z^2}}. \quad (6)$$

Como a fonte é a mesma (ponteira laser) a frequência f não se altera ao propagar na água ou no ar. Sendo

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

podemos escrever para os dois meios

$$\frac{v}{\lambda} = \frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_{\acute{a}gua}}{\lambda_{\acute{a}gua}},$$

e usando $n = c/v$, teremos:

$$\frac{\lambda_{\acute{a}gua}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_{\acute{a}gua}}{c} = \frac{1}{n_{\acute{a}gua}} = \frac{n_{ar}}{n_{\acute{a}gua}}.$$

Considerando $n_{ar} \cong 1$ e considerando a Eq. (6), teremos

$$n_{\acute{a}gua} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}} = \frac{X_{ar} \sqrt{X_{\acute{a}gua}^2 + Z^2}}{X_{\acute{a}gua} \sqrt{X_{ar}^2 + Z^2}}. \quad (7)$$

Portanto para obter o índice de refração da água, basta medir X_{ar} , $X_{\acute{a}gua}$ e Z .

Resultados e discussão

Utilizando a Eq. (7) e tomando os devidos cuidados com o experimento, obtivemos os valores do índice de refração da água entre 1,31 a 1,33, e isto representa um erro (da ordem de 2%) em relação ao valor correto, 1,33.

Para uma medida mais direta, podemos fazer a aproximação $\sin \theta \cong \tan \theta \cong \theta$ e com isto a Eq. (7) pode ser simplificada:

$$n_{\acute{a}gua} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}} \cong \frac{X_{ar}}{X_{\acute{a}gua}}. \quad (8)$$

Utilizando esta equação obtém-se o índice de refração da água ou de outro líquido qualquer com uma precisão menor, todavia ainda de forma bastante simples e direta.

Conclusão

Utilizando materiais de baixo custo, mostramos como calcular o índice de refração da água com boa precisão. Esse experimento também é uma boa oportunidade para introduzir conceitos de difração e interferência da luz e mostrar a dependência do comprimento de onda da luz com o meio em que ela se propaga.

Flávia Matioli da Silva
Mikiya Muramatsu
E-mail: mmuramat@if.usp.br
Instituto de Física
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, Brasil