

Determinação do índice de refração de uma placa de acrílico. Uma proposta para o ensino médio

.....
Bruno Areal de Santana e Frederico Alan de Oliveira Cruz

Departamento de Física, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil
E-mail: fao_cruz@yahoo.com
.....

Dentro dos temas abordados na óptica geométrica em turmas de ensino médio, a incidência de um raio de luz sobre uma superfície de faces paralelas é, na maioria das vezes, abordada teoricamente e muito poucas vezes experimentalmente. Esse fato faz com que os alunos não percebam o fenômeno físico em si, mas apenas um conjunto de equações como forma de resolução de um problema em função dos dados que lhes são apresentados. Dessa forma, o raio de luz e o fenômeno em si passam quase ou totalmente despercebidos, no que diz respeito às suas características e propriedades intrínsecas [1], ou seja, ocorre uma mecanização do conteúdo apresentado ao aluno.

Essa mecanização que o ensino de física vem sofrendo, de uma maneira geral, tem mostrado poucos resultados práticos, conforme observado no baixo desempenho dos alunos do ensino médio na maioria dos vestibulares pelo país [2]. Sendo assim, é fundamental que o ensino de física passe a enfatizar a compreensão de conceitos e sua aplicação destes em situações concretas, e a desestimular práticas como a memorização de fórmulas e sua aplicação repetitiva em exercícios numéricos artificiais, como dito por Aguiar [3], fazendo com que a aprendizagem possa ser efetivamente verdadeira. No objetivo de evitar essa mecanização, o professor deve então desenvolver práticas alternativas na apresentação dos conteúdos, seja ela no ensino médio ou universitário, buscando capacitar o aluno sobre a temática em questão, enriquecendo sua aprendizagem. Uma maneira de propiciar esse enriquecimento é conectar a visualização do fenômeno e sua expressão matemática [4], evitando assim o pouco interesse dos

alunos com a disciplina de física, que em parte é devido à dificuldade no aprendizado da disciplina, na opinião dos alunos, visto que muitos deles consideram o conteúdo difícil de ser assimilado [5].

Neste trabalho, tendo em vista toda discussão anterior, propomos a montagem de um experimento que permita a visualização do desvio sofrido pela luz ao passar por uma placa de faces paralelas como um instrumento motivador no ensino de óptica em turmas de ensino médio, despertando o interesse e facilitando a aprendizagem do tema.

É fundamental que o ensino de física passe a enfatizar a compreensão de conceitos e a aplicação destes em situações concretas, e a desestimular práticas como a memorização de fórmulas e sua utilização repetitiva

Fundamentos teóricos

Uma placa de faces paralelas pode ser entendida como um conjunto de três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies planas e paralelas [6]. Quando um raio de luz monocromática, propagando-se inicialmente em um meio com índice de refração n_1 incide sobre uma das faces da placa, com índice de refração n_2 , imersa nesse meio, uma parte do raio (ou a totalidade dele) sofrerá refração. O raio refratado passará a se propagar dentro da placa até chegar a outra face. No caso de $n_1 < n_2$, ao incidir sobre a segunda face, sob um ângulo maior que o arco seno da razão entre o índice de refração do meio e o índice de refração da placa (Eq. (1)), este raio sofrerá reflexão total e não haverá refração. Esse ângulo é chamado de ângulo limite ou crítico e para ângulos maiores que ele não haverá refração, apenas reflexão.

$$\theta_L = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

No caso do raio incidir em um ângulo

Neste trabalho propomos um método para determinar o índice de refração de uma placa de acrílico, mais conhecida no ensino médio como lâmina de faces paralelas, com a utilização de métodos de baixo custo, sendo uma proposta viável para o ensino de óptica geométrica em turmas de ensino médio. O experimento trata da visualização e determinação do desvio sofrido por um raio de luz incidente sobre uma placa de faces paralelas.

menor que esse ângulo limite, então ele sofrerá nova refração e se propagará no meio onde a placa se encontra imersa. Como em ambos os lados da placa o meio é o mesmo, ao atravessá-la o raio de luz não sofrerá desvio angular, mas apenas um desvio lateral (d) em relação ao raio inicial que incidiu sobre a placa (Fig. 1). A determinação desse desvio pode ser feita através de conceitos básicos de geometria.

Como podemos observar no triângulo ABC , temos que a reta que liga os pontos A e B é justamente a espessura e da placa, e r é o ângulo de refração. Sendo assim

$$\cos(r) = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{e}{\overline{AC}} \quad \therefore \overline{AC} = \frac{e}{\cos(r)} \quad (2)$$

No caso do triângulo ACD , a reta que liga os pontos C e D é o desvio lateral, d , sofrido pelo raio incidente ao atravessar a placa, e i é o ângulo de incidência do raio sobre a placa. Dessa maneira obtemos

$$\sin(i-r) = \frac{\overline{CD}}{\overline{AC}} = \frac{d}{\overline{AC}} \quad \therefore d = \overline{AC} \sin(i-r) \quad (3)$$

Substituindo a Eq. (2) na Eq. (3) obtemos

$$d = e \frac{\sin(i-r)}{\cos(r)} \quad (4)$$

Usando a relação trigonométrica

$$\sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b) \quad (5)$$

na Eq. (4) com o objetivo de simplificá-la, ficamos com

$$d = e \left[\sin(i) - \frac{\cos(i)\sin(r)}{\cos(r)} \right] \quad (6)$$

A expressão acima não é de grande

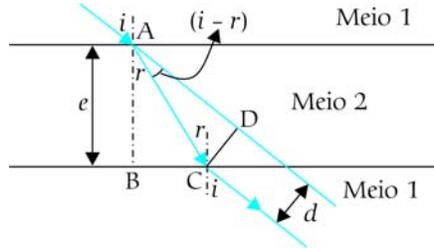


Figura 1. Representação esquemática do desvio sofrido por um raio de luz ao atravessar uma placa de faces paralelas.

utilidade se considerarmos que na maioria das vezes é extremamente difícil determinar o ângulo de refração r ; sendo assim, é conveniente eliminá-lo utilizando a Lei de Snell

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \quad (7)$$

e a relação trigonométrica $\cos(a) = \sqrt{1 - \sin^2(a)}$. Então a Eq. (6) é reescrita da forma

$$d = e \sin(i) \left[1 - \frac{\cos(i)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2(i)}} \right] \quad (8)$$

Considerando que o meio onde a placa está imersa, neste experimento, é o ar ($n_1 = 1$), podemos reescrever a Eq. (8) de forma que seja possível determinar o índice de refração da placa (n_2)

$$n_2 = \sqrt{\frac{\cos^2(i)}{\left[\frac{d}{e \sin(i)} - 1\right]^2} + \sin^2(i)} \quad (9)$$

Como podemos observar pela Eq. (9),

se conhecemos o ângulo de incidência (i) do raio luminoso sobre a placa, a espessura (e) da placa e o desvio lateral (d) sofrido pelo raio, é possível determinarmos o índice de refração (n_2) da placa.

É fácil perceber que no limite de $d \rightarrow 0$, na Eq. (9), o índice de refração $n_2 \rightarrow n_1 = 1$, ou seja, na ausência da placa de acrílico o raio incidente não sofreria nenhum desvio lateral, pois estaria atravessando um meio de mesmo índice de refração (no caso, o ar).

Metodologia

Para determinarmos o índice de refração da placa de acrílico em função do desvio sofrido por um raio de luz ao passar por ela, foi necessário a construção de um trilho óptico para a colocação da placa de acrílico e da fonte que iria produzir o raio luminoso, com o objetivo de dar sustentação ao conjunto.

Na construção do trilho óptico nos baseamos na proposta apresentada na Ref. [7], na qual é utilizada uma canaleta retangular de PVC de dimensões $50 \times 20 \times 1000$ mm que pode ser obtida em qualquer loja de material de construção ou de materiais elétricos. Essa canaleta é formada por duas partes que se encaixam (Fig. 2); uma delas é totalmente lisa e a outra possui divisões internas para a separação de fios e cabos. A parte lisa foi utilizada como um trilho, sendo fixada em uma placa de MDF, facilmente encontrada em serralherias. A fixação dessa canaleta no MDF foi necessária porque a canaleta é muito frágil e poderia sofrer algum tipo de deformação. A parte que possui as separações internas foi cortada em pedaços de 5 cm e 10 cm, os quais foram utilizados como suporte para a placa de acrílico, para a fonte laser e para o anteparo.

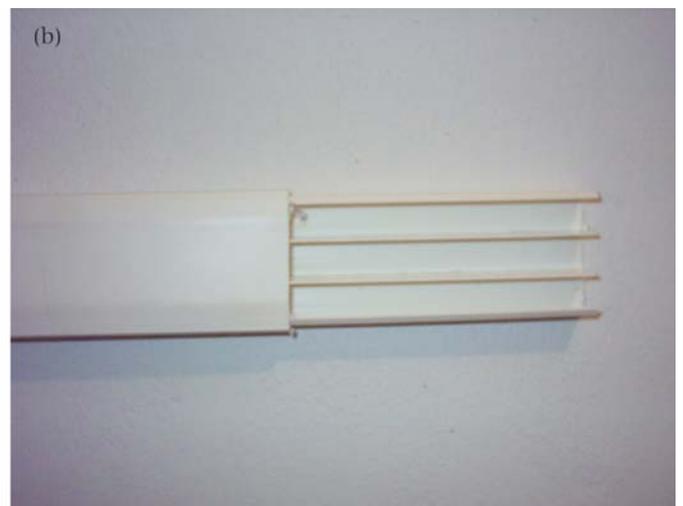


Figura 2. (a) Parte interna da canaleta, uma das partes é lisa e a outra possui espaço para a passagem dos fios. (b) Imagem das duas partes encaixadas.



Figura 3. Placa de acrílico utilizada no experimento com dimensões $200 \times 200 \times 15$ mm.

A placa de acrílico utilizada no experimento foi obtida em uma loja especializada em materiais de acrílico, e possui dimensões de $200 \times 200 \times 15$ mm (Fig. 3). É importante que a placa não possua espessura inferior a 15 mm, pois para esses valores não ocorre uma medição precisa do desvio sofrido pelo raio de luz. Essa placa foi colocada em um suporte de alumínio para dar sustentação, e este foi fixado no pedaço menor cortado da canaleta (Fig. 4).

A fonte laser utilizada foi um chaveiro apontador encontrado em qualquer loja de importados ou comércio de rua. O chaveiro foi centralizado em um tubo de PVC de 40 mm como proposto na Ref. [8], utilizando um conjunto de seis parafusos separados dois a dois em ângulos iguais (Fig. 5). Um sétimo parafuso foi colocado sobre o interruptor do chaveiro de forma a funcionar como botão de liga-desliga. Finalmente, esse conjunto foi fixado sobre

o pedaço maior cortado da canaleta e colocado sobre o trilho óptico.

Entre os suportes de alumínio que foram usados na sustentação da placa, foi colocado um transferidor para que fosse possível a medição do ângulo de inclinação da placa.

O transferidor aqui utilizado é facilmente obtido em papelarias, mas é fundamental que o mesmo seja de meia circunferência, isto é, seja graduado entre 0° e 180° , para que ele possa ser colocado entre os suportes de alumínio que sustentam a placa.

Com todo o conjunto colocado sobre o trilho óptico, o laser foi colocado a uma distância de aproximadamente 50 cm da placa, e esta colocada a uma distância de 30 cm de um anteparo, que foi utilizado para marcar as posições de incidência do raio depois dele atravessar a placa (Fig. 6).

Com a placa colocada na posição 0° , o chaveiro apontador laser foi ligado de forma que o raio proveniente do mesmo não sofresse qualquer desvio lateral ao passar pela placa; dessa maneira foi possível garantir que o ângulo entre a placa e o raio incidente era inicialmente de 90° . Após essa etapa de calibração, colocamos a placa sob os ângulos de 30° , 35° , 45° , 55° e 60° de inclinação em relação ao raio incidente, fazendo o mesmo incidir em 40 pontos distintos da placa. Para cada uma dessas incidências, foram marcadas no ante-



Figura 5. Chaveiro apontador laser centralizado em um tubo de PVC de 40 mm.

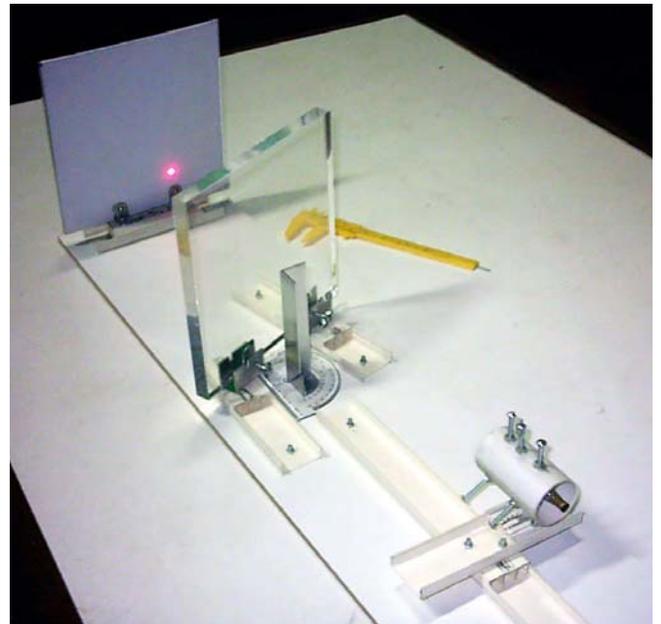


Figura 6. Esquema experimental geral.

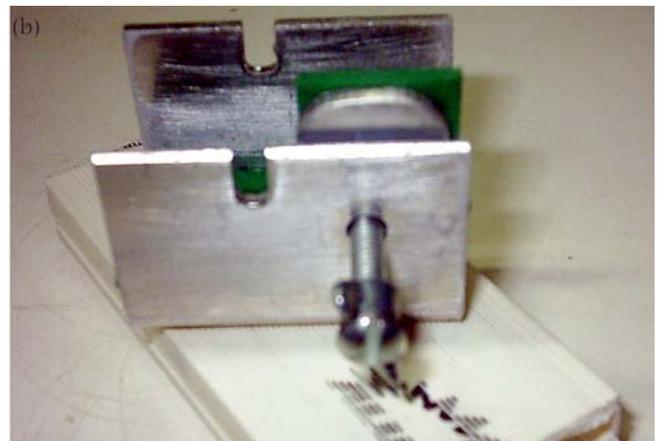


Figura 4. (a) Visão superior do suporte de alumínio onde foi fixada a placa e onde pode ser visto o transferidor utilizado para medir o ângulo de inclinação da placa. (b) Imagem detalhada do suporte de alumínio utilizado para dar sustentação à placa.

paro o ponto onde o raio chegava após atravessar a placa e, posteriormente, com a utilização de um paquímetro, foram medidos o desvio lateral sofrido pelo mesmo.

Com os desvios obtidos, em cada um dos pontos, para cada um dos ângulos de incidência, foi possível determinar o índice de refração da placa com o auxílio da Eq. (9).

Resultados e discussão

Para cada um dos ângulos considerados, foram encontrados os desvios médios. Esses valores foram comparados graficamente com os valores teóricos esperados (Fig. 7), com o objetivo de analisar se existia alguma variação entre os valores teórico e experimental, pois através deles poderíamos prever se o índice de refração da nossa placa estava de acordo ou não com os dados da literatura.

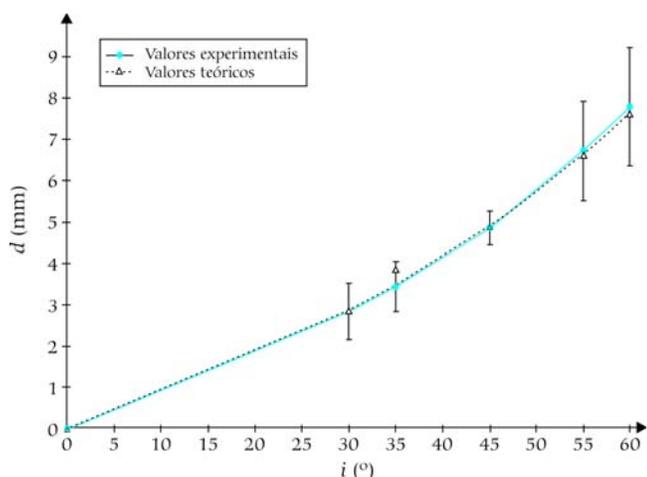


Figura 7. Desvio (d) sofrido pela luz em função do ângulo de incidência (i) sobre a placa.

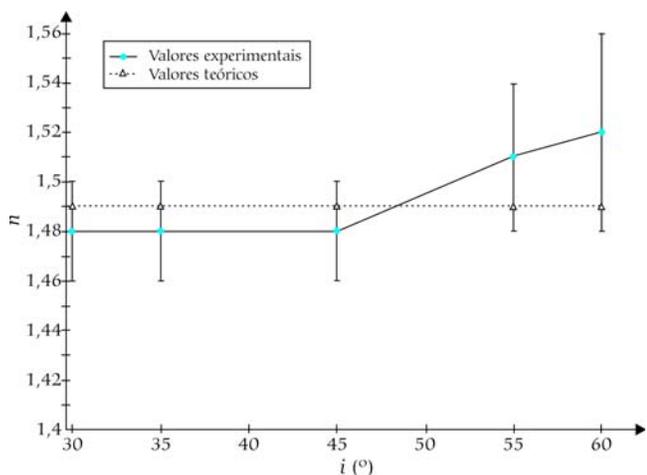


Figura 8. Índice de refração (n) da placa para os diferentes ângulos de incidência (i).

Tabela 1. Índice de refração em função do ângulo de incidência e do desvio sofrido pelo raio.

| i ($^{\circ}$) (ângulo de incidência) | d (mm) (desvio médio) | n_2 (índice de refração) |
|---|-------------------------|----------------------------|
| 30 ± 1 | $2,84 \pm 0,68$ | $1,48 \pm 0,02$ |
| 35 ± 1 | $3,44 \pm 0,62$ | $1,48 \pm 0,02$ |
| 45 ± 1 | $4,86 \pm 0,41$ | $1,48 \pm 0,02$ |
| 55 ± 1 | $6,73 \pm 1,20$ | $1,51 \pm 0,03$ |
| 60 ± 1 | $7,78 \pm 1,43$ | $1,52 \pm 0,04$ |

Observando a Fig. 7 vemos que as curvas são quase coincidentes, e comparando ponto a ponto os valores do gráfico encontramos baixo desvio relativo entre eles, sendo o valor máximo encontrado de 1,03% no ângulo 60° , em relação ao valor teórico. Esse resultado nos sugeriu que se não existia uma grande diferença entre o valor experimental e o teórico para o desvio sofrido pelo raio de luz, nosso experimento deveria, dentro de certos limites, ser capaz de determinar ou comprovar o índice de refração médio da placa de acrílico, caso contrário mostraria que nosso método não era o mais apropriado para determinar o índice de refração ou então o índice de refração da placa utilizada não possuía o valor esperado.

Com os resultados do desvio tabelados, foi possível determinar o índice de refração para cada um dos ângulos, excluindo o ângulo de incidência normal (i), visto que esse não nos daria qualquer informação, pois para uma incidência normal o raio de luz, independente do meio, não sofrerá mudança na direção de propagação segundo a Lei de Snell (Eq. (7)). Utilizando então os outros dados obtidos para d e i e aplicando esses valores na Eq. (9), encontramos os resultados para n_2 na Tabela 1.

Através dos valores obtidos também foi possível determinar o índice de refração médio da placa, onde o valor

obtido foi $1,494 \pm 0,026$, valor muito próximo ao apresentado na literatura [9] de 1,49 para o acrílico.

Conclusão

Com os resultados obtidos, mostramos neste trabalho que com materiais de baixo custo e de fácil montagem, pode-se medir, com certa precisão, o índice de refração de placas relativamente espessas de qualquer tipo de material transparente. A visualização gráfica dos resultados também pode ser realizada com programas de livre licença, como o *Graph 4.3* utilizado nesse trabalho, que pode ser obtido em muitas páginas especializadas em programas gratuitos, permitindo assim que sejam feitos os gráficos com os resultados obtidos e sua comparação com os resultados teóricos.

Referências

- [1] J.P. Gircoreano e J.L.A. Pacca, Caderno Catarinense de Ensino de Física **18**, 26 (2001).
- [2] Clipping, Assessoria de Imprensa, Belém, Seção Clipping, disponível em <http://www.ufpa.br/imprensa/clipping/clipping/clipping%2003%2002%202004.htm>. Acesso em 15/10/2007.
- [3] C.E. Aguiar, E. Gama e S. Costa, *Currículo de Física da Rede Pública do Estado do Rio de Janeiro* (Secretaria Estadual de Educação, Rio de Janeiro, 2004).
- [4] M. Gleiser, Física na Escola **1**:1, 4 (2000).
- [5] A.D.O. Santana, A. Cavalheiro, D.C. Cardoso, E.B. Mendes e F.G. da Silva, in *Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 1, Rio de Janeiro, 2005.
- [6] F. Ramalho, G.F. Nicolau e P.A. Toledo, *Os Fundamentos da Física: Termologia, Óptica e Ondas* (Editora Moderna, São Paulo, 1999), v. 2, 7ª ed.
- [7] T.R. da Silva, Física na Escola **5**:1, 15 (2004).
- [8] J.S. Agustoni, *Colimador Laser*, disponível em http://paginas.terra.com.br/lazer/zeca/pratica/colimador_laser.htm. Acesso em 6/9/2007.
- [9] D. Halliday, R. Resnick, e J. Walker, *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (LTC Editora, Rio de Janeiro, 1996), v. 2, 4ª ed.