

EXPERIMENTO A2 - ÓTICA GEOMÉTRICA: REFLEXÃO TOTAL – DISTÂNCIA APARENTE

A2.1 EQUIPAMENTO

Fonte de luz branca; elemento refrativo rômbo (prisma) de acrílico; papel branco com linhas-guia; lentes côncava e convexa; espelho (anteparo).

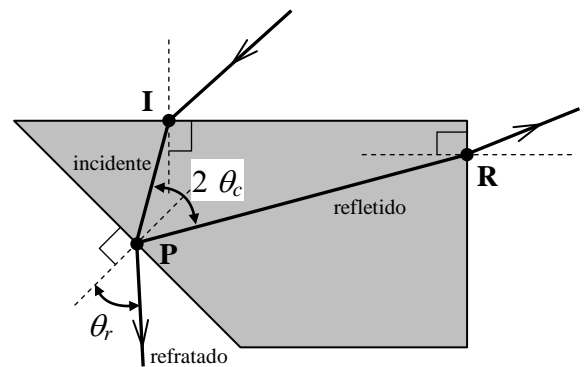
A2.2 OBJETIVOS

- Verificar a ocorrência de reflexão total em interface entre dois meios;
- Estudar o conceito de profundidade aparente;
- Determinar a distância focal de lentes e estudar a equação do fabricante de lentes.

A2.3 TEORIA

2.3.1 REFLEXÃO TOTAL

Da lei de Snell, $n_r \text{sen} \theta_r = n_i \text{sen} \theta_i$, com $n_i = n$ e $n_r = 1$, considerando o raio de luz se propagando do meio mais denso para o menos denso ($n > 1$) existirá um ângulo crítico $\theta_i = \theta_c$ acima do qual não haverá mais raio refratado (no limite, tem-se $\theta_r = 90^\circ$, o raio refratado tangencia a interface).



Nesse caso, obtém-se o índice de refração do meio acrílico do elemento rômbo (de valor esperado $n_{\text{acril}} \cong 1,50$) através da expressão

$$n = (\text{sen} \theta_c)^{-1}.$$

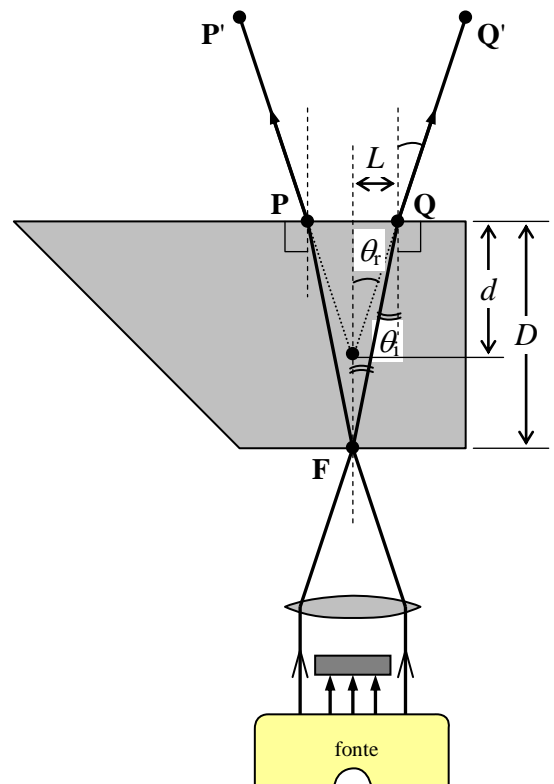
2.3.2 PROFUNDIDADE APARENTE

Raios de luz que se originam exatamente na interface de um bloco de vidro de faces paralelas com o ar, sofrerão refração na outra interface. Quando visto deste lado, o observador tem uma noção da profundidade alterada pelo índice de refração do material. A medida dessa profundidade é chamada de “aparente”.

Para pequenos ângulos de observação, quase na direção normal às faces paralelas do bloco (para $\theta_r \leq 10^\circ$) é válida a aproximação $\text{sen} \theta \cong \text{tg} \theta$ (pois $\text{cos} \theta \cong 1$ para ângulos pequenos; por exemplo, $\text{cos}(10^\circ) \cong 0,985$).

Com base na geometria dos raios incidente e refratado (do interior do bloco para fora), obtém-se a profundidade aparente

$$\text{tg} \theta_r \cong n \text{tg} \theta_i \Rightarrow \frac{L}{d} \cong n \frac{L}{D} \Rightarrow d = \frac{D}{n}.$$



Uma outra alternativa para medir “distâncias aparentes” é a seguinte:

Raios paralelos passando por uma lente convexa convergem para o ponto focal F da lente. Se um bloco é posto entre a lente e a distância focal, os raios convergirão em um ponto F' , um pouco mais distante da lente que F . É uma espécie de foco aparente. Devido ao fato que a espessura D do bloco tem uma profundidade aparente d , que é menor que D , o foco aparente estará deslocado do foco normal da diferença entre a espessura real e a aparente do bloco, ou seja,

$$\Delta x = f' - f = D - d = D - \frac{D}{n},$$

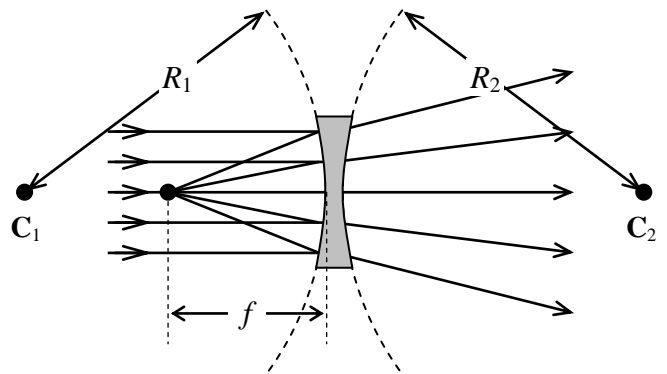
donde se obtém $n = D/(D - \Delta x)$, ou seja,

$$D = \frac{n}{n-1} \Delta x .$$

2.3.3 LENTES – EQUAÇÃO DO FABRICANTE DE LENTES

A “equação do fabricante de lentes”, como o próprio nome já indica, é uma ferramenta utilizada pelos fabricantes nos projetos de lentes. Basicamente, a equação relaciona os raios de curvatura das faces de uma lente R_1 e R_2 com a distância focal f e com o índice de refração n do material da lente em relação ao ar ($n_{ar} \cong 1$):

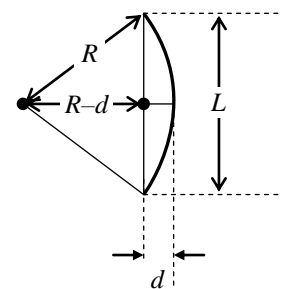
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$



Nesta expressão, para atender aos vários casos de lentes possíveis (duplo-côncava, duplo-convexa, côncavo-convexa), existe uma convenção de sinais: o raio de curvatura R é positivo para superfície convexa e é negativo para côncava (de acordo com o visto por um observador de fora da lente).

Para medir o raio de curvatura R , utilize a relação entre ele e o comprimento L da corda e o comprimento d da flecha em qualquer arco circular sobre uma superfície esférica (conforme figura ao lado):

$$R = \frac{d}{2} + \frac{L^2}{8d} .$$



A2.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

I. REFLEXÃO TOTAL INTERNA

Usando apenas um raio de luz da fonte de luz branca, posicione a ponta (prisma) do elemento rôm-bico, conforme indicado na figura mostrada na teoria. Gire o prisma até que o raio emergente (refra-tado na superfície interna) comece a desaparecer. No limite de desaparecer, as cores presentes no raio se separam. O posicionamento correto do prisma ocorre quando o vermelho desaparece. Mar-que os pontos de entrada (**I**) e de saída (**R**), e onde exatamente o raio é internamente refletido (**P**). Trace os raios e determine o dobro do ângulo crítico. Repita o procedimento para mais duas posi-ções diferentes de entrada do raio **I** na superfície do prisma.

II. DISTÂNCIAS APARENTES

Coloque a fonte de luz conforme figura, usando o espelho apoiado sobre seu lado para bloquear os três raios centrais da fonte, deixando passar apenas os dois raios mais externos, indo atingir a lente convexa. Posicione o elemento rôm-bico para atuar como bloco de faces paralelas, de modo que a face inferior fique exatamente no ponto onde os dois raios se cruzam (foco). Trace as superfícies paralelas do bloco na folha de papel e os raios emergentes dela (**PP'** e **QQ'**). Depois de retirar o blo-co, trace os raios virtuais correspondentes em direção a seu interior e determine d e D . Repita o pro-cedimento mais duas vezes.

Explore agora a segunda alternativa de medida aparente. Usando os dois raios mais externos, mar-que o ponto focal **F** da lente. Ponha as faces paralelas do bloco interceptando os raios convergentes, entre o foco e a lente; marque o novo ponto focal **F'**; não esqueça de marcar as faces paralelas para possibilitar a medida de D . Verifique se mudando a posição do bloco o novo ponto focal muda ou não. Use um total de cinco espessuras D diferentes, superpondo os blocos. Para cada medida, trace o foco original **F**, o foco modificado **F'** e as faces paralelas dos blocos. Desloque o papel de marca-ção ou a fonte de luz, o que for mais conveniente.

III. EQUAÇÃO DO FABRICANTE

Coloque a fonte de luz com todos os cinco raios iluminando a lente côncava. Trace cuidadosamente os contornos da lente. Trace os raios incidentes e os transmitidos pela lente. Remova a lente e es-tenda os raios reais transmitidos como raios virtuais atrás da lente e determine a distância focal da lente (medida do centro da lente ao ponto focal). Meça os parâmetros d e L de cada lado da lente, para obter os raios de curvatura da lente. Faça uma medida alternativa do raio da superfície da lente, pondo-a de volta com a luz incidindo sobre ela e notando que a superfície iluminada atua como es-pelho côncavo e dá para ver a fraca reflexão vinda dela. Trace essa superfície da lente e os raios re-fletidos, medindo a distância do centro dessa superfície ao ponto de cruzamento dos raios refletidos. Essa distância é metade do raio de curvatura. Mude para a outra superfície da lente e repita as me-didas.

A2.5 ANÁLISES E CONCLUSÕES

- A. Determine o índice de refração $n = \bar{n} \pm \Delta n$ na reflexão total. Compare com o valor esperado para o acrílico ($n_{\text{acril}} \cong 1,50$). Dê uma explicação para o fato da luz se decompor quando próximo da situação de reflexão total. Como o brilho do raio refletido internamente muda quando se passa de ângulo θ_i menor para maior que θ_c ?
- B. Calcule o índice de refração do bloco, no experimento de profundidade aparente, e compare percentualmente com o valor esperado. Deduza a expressão que relaciona a alteração do foco pela presença do bloco com o índice de refração.
- C. Faça um gráfico de D versus Δx , obtendo da declividade m o índice de refração n dos blocos.
- D. Use a equação do fabricante e $n = 1,50$ para estimar a distância focal da lente com os raios medidos. Compare com o resultado experimental para f e com o valor nominal do fabricante. A distância focal de uma lente côncava é positiva ou negativa? Como a espessura finita da lente afeta o resultado do experimento.
- E. Discuta o efeito óptico conhecido como “aberração esférica” e se nos experimentos dessa prática de laboratório houve alguma interferência causada pelo efeito.
- F. Discuta o efeito óptico conhecido como “aberração cromática”.

Redação: Prof. Rogério N. Suave.