

Laboratório de Física IV

Aula 4

Helena

Reflexão e Refração

Segundo a óptica geométrica, sempre que um feixe de luz incide em uma superfície de separação entre dois meios com propriedades ópticas diferentes, podemos observar dois fenômenos concorrentes: a reflexão e a refração¹.

Consideremos uma onda plana propagando-se no meio 1, conforme mostra a Fig. 4.1. A experiência mostra que quando uma onda incide sobre uma superfície plana AB que separa o meio 1 do meio 2, uma parte da onda é transmitida ao segundo meio e outra parte é refletida de volta ao meio 1. Essas ondas são chamadas de *onda refratada* e *onda refletida*, respectivamente. A onda incidente propaga-se na direção do vetor unitário \hat{k}_i e as ondas refratada e refletida propagam-se nas direções dos vetores unitários \hat{k}_r e \hat{k}' respectivamente (ver Fig. 4.1). Os ângulos θ_i , θ_r e θ' definem as direções dos vetores unitários \hat{k}_i , \hat{k}_r e \hat{k}' com relação à direção da reta N normal à superfície AB . As direções destes três vetores são relacionadas pelas seguintes leis (verificadas experimentalmente):

i) *As direções de incidência, refração e reflexão estão todas em um mesmo plano, o qual é normal à superfície que separa os dois meios e, portanto, contém a normal N à superfície.*

ii) *O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, isto é:*

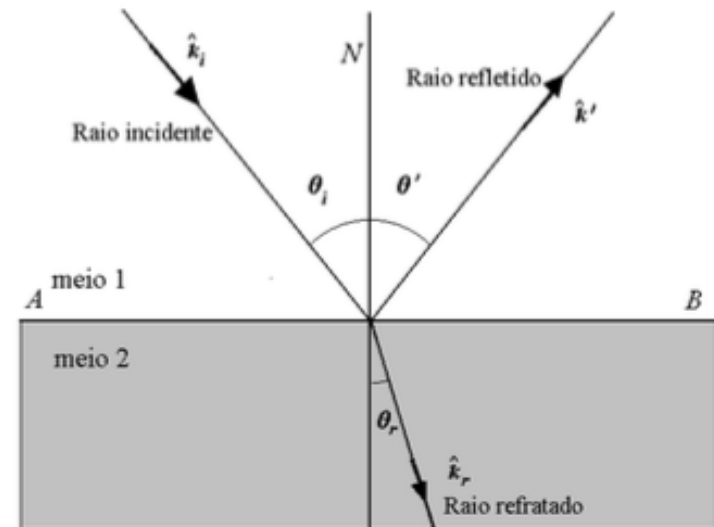
$$\theta_i = \theta'. \quad (4.1)$$

iii) *A razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante.* Esta é a chamada Lei de Snell, e é expressa por:

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = n_{21}. \quad (4.2)$$

A constante n_{21} é chamada de índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1. Seu valor numérico depende da natureza da onda e das propriedades dos dois meios. **Fica como exercício mostrar que $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$** , onde n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios 1 e 2 respectivamente.

Lei de Snell:
 $n_1 \text{sen}\theta_i = n_2 \text{sen}\theta_r$



Polarização por Reflexão

Polarização por Reflexão

Ao ser refletida, a luz pode emergir da superfície refletora parcial ou totalmente polarizada. Podemos constatar este fato com o uso de um *polarizador*. Existe um ângulo de incidência, chamado *ângulo de Brewster* (veja Fig. 4.2), para o qual o raio luminoso refletido é totalmente polarizado.

Pode-se mostrar que no *ângulo de Brewster* existe uma relação entre a direção do raio refletido e a do refratado, dada por:

$$\theta'_r + \theta_r = \frac{\pi}{2},$$

onde θ'_r é o ângulo de reflexão e θ_r o de refração (Fig. 4.2). Por outro lado, temos

$$n_1 \sin \theta'_r = n_2 \sin \theta_r,$$

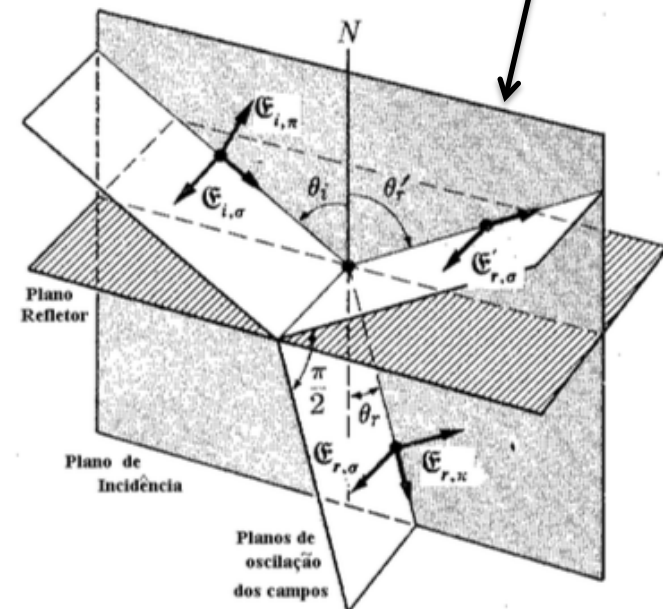
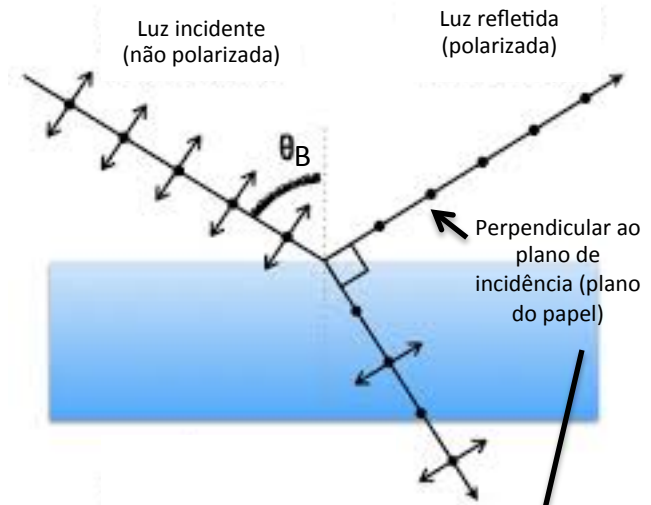
onde n_1 é o índice de refração do meio 1, de onde parte o raio luminoso, e n_2 é o do meio 2. Então temos

$$n_1 \sin \theta'_r = n_2 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_r \right) = n_2 \cos \theta'_r,$$

o que leva a

$$\tan \theta'_r = \frac{n_2}{n_1},$$

que é a *lei de Brewster*. Esta lei permite então determinar experimentalmente o índice de refração do material.



Objetivos

- Verificar a lei de reflexão;
- Verificar o fenômeno da polarização por reflexão;
- Medir o índice de refração de alguns materiais, usando a Lei de Brewster;

4.4.1 Lei da Reflexão

1. Monte o material de acordo com o esquema experimental apresentado na Fig. 4.3;

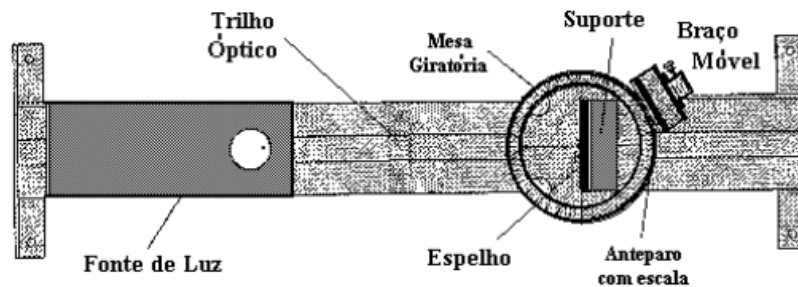


Figura 4.3: Banco óptico

2. Ligue a fonte laser, e certifique-se de que o banco óptico esteja paralelo ao feixe LASER (alinhamento do banco óptico);
3. Coloque a mesa giratória sobre o banco óptico, e certifique-se que o zero da mesa esteja alinhado com a direção do feixe LASER incidente. Além disso, o feixe LASER deve passar sobre o **centro** da mesa giratória (alinhamento da mesa giratória);
4. Coloque o anteparo no braço da mesa giratória, e posicione-o em 180° , de modo a usar o 2 da escala do anteparo como referência para medidas de ângulo;
5. Fixe o espelho plano no suporte e alinhe o conjunto sobre a mesa giratória;
6. Ajuste o espelho de forma que para $\theta_i = 0^\circ$, a luz refletida pelo espelho coincida com a direção do feixe emitido pelo laser;
7. Gire o espelho de um ângulo $\theta_i = 20^\circ$ (ângulo de incidência) e meça o ângulo de reflexão. Para isso, gire o braço da mesa giratória até que o feixe refletido coincida com o valor 2 da escala. Meça o ângulo θ' (ângulo de reflexão) que o braço faz **com a normal** e compare-o com o ângulo de incidência θ_i ;
8. Meça os ângulos de reflexão correspondentes a vários valores de θ_i , entre 20° e 80° . Monte uma tabela $\theta_i \times \theta'$;
9. Repita o procedimento anterior, substituindo o espelho plano pelo espelho côncavo, e depois pela placa de acrílico;

4.4.2 Lei de Brewster

1. Para a verificação da lei de Brewster, monte a fonte LASER e a mesa giratória sobre o banco óptico;
2. Coloque o bloco de vidro sobre a mesa giratória, numa posição de referência (0°), e o anteparo no braço da mesa giratória;
3. Faça o feixe de luz incidir no bloco de vidro e ajuste o sistema de forma que seja possível observar os feixes refletidos no anteparo. Deve ser possível observar dois pontos (por quê?);
4. Coloque um polarizador entre o anteparo e o bloco de vidro, com seu eixo de polarização paralelo ao plano de incidência da Fig. 4.2;
5. Agora, varie o ângulo de incidência, acompanhando no anteparo, a imagem do feixe refletido. Quando a imagem desaparecer, o ângulo de incidência é o ângulo de Brewster. Meça este ângulo e determine o índice de refração do vidro;
6. Repita o procedimento usando um bloco de acrílico.

Refração

Refração

5.2 Objetivos

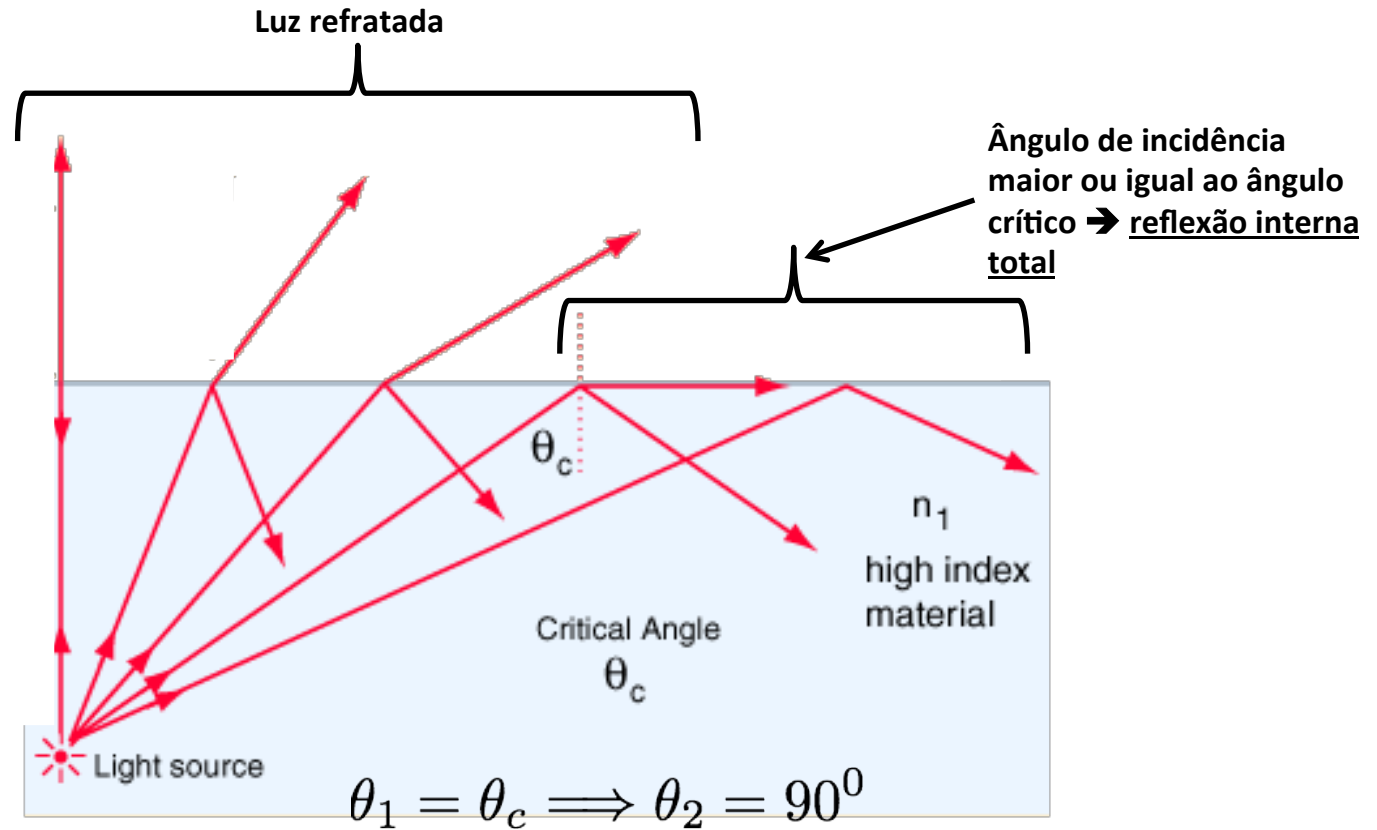
Verificar a lei de Snell, ou lei da refração. Medir o índice de refração de alguns materiais, usando vários métodos diferentes.

Primeiro método: Estudo da refração em uma interface

1. Coloque a mesa giratória sobre o banco óptico, e ajuste a meia-lua de acrílico sobre a mesa. A face plana da meia-lua deve coincidir com a linha transversal no centro da mesa giratória, de modo a que a seta indique a normal à face;
2. Faça o alinhamento do sistema;
3. Coloque o anteparo com escala sobre o braço giratório da mesa, e ajuste-o de modo a usar o 2 da escala como referência para medidas de ângulo de refração, usando a incidência normal;
4. Variando o ângulo de incidência de 10° em 10° , meça os ângulos de refração, e construa uma tabela;
5. Faça um gráfico de $\sin \theta_i \times \sin \theta_r$ em papel milimetrado. A partir da lei de Snell, o que podemos esperar deste gráfico?
6. Use o gráfico do item anterior para extrair o índice de refração do material.

Reflexão Interna Total

Quando não existe o raio refratado, ocorre o fenômeno de reflexão interna total.



$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_c = n_2 \cdot \text{sen}(90^\circ)$$

ângulo crítico → $\theta_c = \text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1}$

$$\begin{aligned} \text{sen} \theta_c &= n_2/n_1 \\ \text{sen} \theta_c &\leq 1 \\ \rightarrow n_2/n_1 &\leq 1 \\ \rightarrow n_2 &\leq n_1 \end{aligned}$$

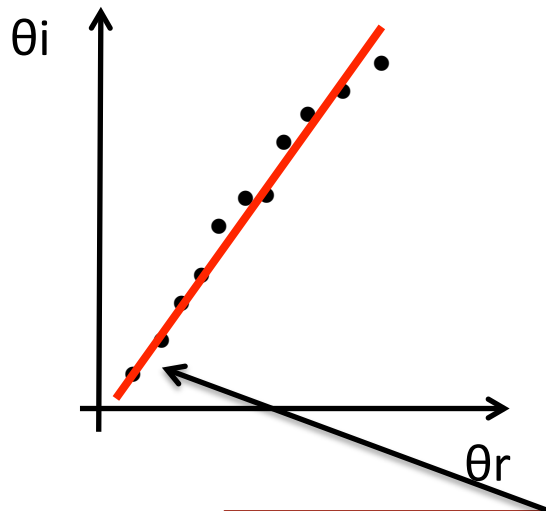
Segundo método: Reflexão total e ângulo crítico

1. Utilize o mesmo arranjo do primeiro método, fazendo o feixe incidir na face curva da meia-lua, de modo a permitir o estudo do comportamento do feixe refratado do acrílico para o ar;
2. Consulte a tabela construída no primeiro método, e verifique o princípio da reversibilidade dos raios luminosos;
3. Verifique que para ângulos de incidência acima de um determinado valor θ_c , chamado de *ângulo crítico*, não existe feixe transmitido, e o feixe incidente sofre o fenômeno da reflexão total (**Sugestão**: observe este fenômeno com as luzes da sala apagadas);
4. Meça o ângulo crítico θ_c , e use esta medida para determinar o índice de refração do acrílico que compõe a meia-lua utilizada, através da expressão $n_{acr} = 1/\text{sen } \theta_c$, onde assumimos que $n_{ar} = 1$.

Gráficos e resultados

1. Lei da Reflexão: $\theta_i = \theta_r$

- Gráfico θ_i X θ_r
 - O que esperar da teoria?
 - Observou a teoria? Por que?
- Determinar o índice de refração do acrílico a partir do ângulo de Brewster, θ_B .



Reta estabelecida pelo método dos mínimos quadrados (MMQ)

2. Lei de Snell: $n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$

- Gráfico $\text{sen}\theta_1$ X $\text{sen}\theta_2$
 - O que esperar da teoria?
 - Observou a teoria? Por que?
- Determinar o índice de refração do acrílico a partir do gráfico acima;
- Determinar o índice de refração do acrílico a partir do ângulo crítico θ_c .

