



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
FÍSICA EXPERIMENTAL II**

**TÍTULO:
Subtítulo**

Nome do Autor

**São Luís, MA
10 de julho de 2018**

Nome do Autor

TÍTULO:

Subtítulo

Relatório referente à terceira experiência de
óptica realizada no dia 21 de setembro de
2017, para obtenção parcial da segunda nota
da disciplina Física Experimental II.

Prof. Nome do Professor.

Local, AA - Brasil

10 de julho de 2018

Resumo

Este relatório é referente ao experimento de física II, a abordar os conceitos sobre desvio lateral da luz. Fenômeno que ocorre em uma lâmina de faces paralelas, sistema constituído de três meios homogêneos e transparentes separados dois a dois através de superfícies planas e paralelas, o que permite fazer com que um raio monocromático de luz seja desviado sem alterar sua direção de propagação, ocorrendo apenas um desvio lateral. Neste experimento, observou-se os raios refratados a fim de obter experimentalmente o índice de refração absoluto da lâmina e o valor do desvio lateral da luz sofrido, fundamentado na Lei de Snell Descartes.

Palavras chave: desvio lateral da luz; lâmina de faces paralelas; Lei de Snell-Descartes.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	5
2	ABORDAGEM TEÓRICA	6
3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	8
3.1	Materiais	8
3.2	Métodos	8
4	RESULTADOS	9
5	CONCLUSÃO	13
	REFERÊNCIAS	14

1 Introdução

Há inúmeros dispositivos ópticos constituídos de corpos transparentes limitados por duas superfícies, planas ou curvas. Essas superfícies são dioptros, pois separam esses corpos dos meios que estão imersos (quase sempre o ar) e modificam a trajetória dos raios de luz que os atravessam, alterando a posição ou modificando as dimensões das coisas que vemos através deles. Se essas superfícies forem planas, a forma do objeto observado não se altera, sofrendo apenas uma mudança de posição. É o caso das lâminas de faces paralelas ([GASPAR, 2013](#)).

O desvio lateral da luz é um fenômeno físico que ocorre quando um feixe de luz, ao passar para um meio com índice de refração diferente, sofre um desvio angular com relação a normal causado pelo fenômeno da refração no qual devido à mudança da velocidade do feixe de luz ao viajar entre meios ópticos diferentes muda a angulação de sua trajetória ([EDUCAÇÃO, 2016](#)).

No século XVII, o matemático e astrônomo holandês Willebrord Snellius ([WIKIPÉDIA, 2016b](#)), ficou conhecido por elaborar uma expressão que era possível prever o desvio angular sofrido pela luz ao passar de um meio para outro com índices de refração diferentes. Essa expressão ficou conhecida como lei de Snell (ou Lei de Snell-Descartes), que consiste na igualdade do produto do índice de refração pelo seno do ângulo de incidência do meio um, pelo produto do índice de refração pelo seno do ângulo de refração do meio dois ([WIKIPÉDIA, 2016a](#)).

O fenômeno é estudado observando um feixe de luz passando por laminas de faces paralelas, no qual, ao passar do ar (meio um) para o vidro (meio dois) sofre um desvio lateral que posteriormente é corrigido ao passar pela outra lâmina de vidro para o ar.

2 Abordagem Teórica

Desvio Lateral da Luz

Seja L uma lâmina transparente de faces paralelas e planas, constituindo um conjunto de três meios homogêneos e transparentes. Pode-se considerar este modelo como um sistema resultante da associação de dioptros planos. Dioptro é definido por um sistema constituído por meios homogêneos e transparentes. Para configuração da lâmina de faces paralelas, pode-se observar o aparecimento de duas refrações, visto que uma ocorre quando a luz incide sobre a primeira face plana adentrando o material e a outra, quando a luz incide sobre a segunda face, saindo. Portanto, a lâmina de faces paralelas e planas é um dispositivo que propicia um desvio na direção de propagação da luz em um determinado meio ([HALLIDAY RESNICK, 2009](#)).

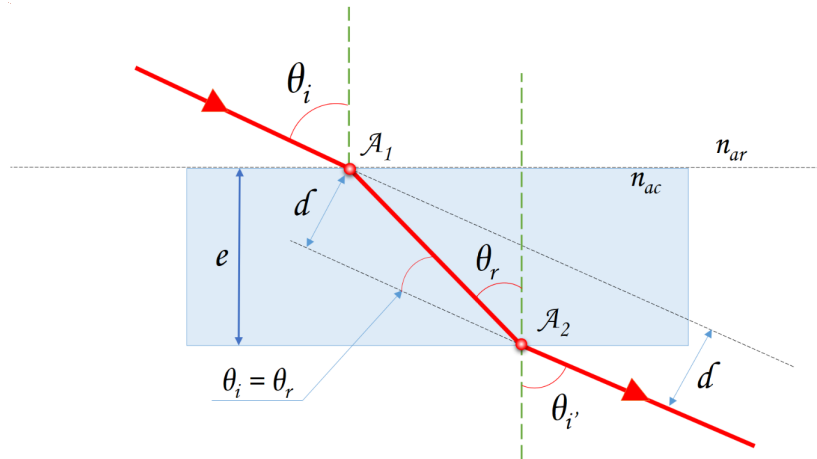


Figura 1 – Representação do Desvio Lateral da Luz.

Sendo o ângulo de incidência θ_i , então a relação entre os ângulos de incidência e refração, θ_r , é regida pela Lei de Snell-Descartes, logo, tem-se como resultado para a primeira refração:

$$n_{ar} \cdot \text{sen}(\theta_i) = n_{ac} \cdot \text{sen}(\theta_r)$$

Muitos materiais possuem seu índice de refração conhecido, a tabela seguinte mostra alguns deles:

Meio Material	Índice de Refração(n)
Ar	1,00
Água	1,33
Vidro	1,50
Acrílico	1,49
Diamante	2,42

Tabela 1 – Índice de Refração(n) de alguns meios materiais - (USP, 2016)

Na segunda refração, o ângulo de incidência é θ_r , que incide sobre a face interna da lente e refrata para fora do material, $\theta_{i'}$. Utilizando-se, novamente, da Lei de Snell-Descartes, obtém-se:

$$n_{ac} \cdot \text{sen}(\theta_r) = n_{ar} \cdot \text{sen}(\theta_{i'})$$

Assim, pode-se descrever $\theta_i = \theta_{i'}$.

Portanto, é recorrente a verificação que em tal configuração de lâmina não há variação angular. Todavia, a ocorrência do deslocamento linear é eminente, logo, existe um notável desvio lateral da luz.

$$\text{sen}(\theta_i - \theta_r) = \frac{d}{A_1 A_2}$$

$$\cos(\theta_r) = \frac{A_1 B}{A_1 A_2}$$

Onde $A_1 B$ equivale a espessura da lâmina, denominada por e . Utilizando-se das equações do seno e cosseno acima, tem-se:

$$\frac{A_1}{\cos(\theta_r)} = \frac{d}{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}$$

$$d = \frac{A_1 B \cdot \text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)}$$

Substituindo $A_1 B$ por e , fica-se com:

$$d = e \cdot \frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)}$$

3 Procedimentos Experimentais

3.1 Materiais

Para montagem do referido experimento, utilizou-se os seguintes materiais:

- 1 - Lâmina de Acrílico;
- 2 - Fonte de luz;
- 3 - Paquímetro;
- 4 - Banco Óptico;
- 5 - Régua;



Figura 2 – Materiais Utilizados

3.2 Métodos

Inicialmente montou-se o equipamento, mediu-se a espessura da lâmina de faces paralelas através do paquímetro e posicionou-se a fonte de luz e a lâmina sobre disco graduado. Em seguida, ligou-se a fonte para emitir o feixe de luz incidente sobre a lâmina, ajustou-se o disco para o ângulo de 10° e verificou-se que a luz sofreu um desvio lateral no segundo meio do corpo. Então, utilizou-se a régua para estender esse feixe de luz desviado no disco e conhecer o ângulo correspondente. Após isso, utilizou-se o paquímetro para medir a distância entre o ângulo da luz desviada e o ângulo de refração. O mesmo procedimento foi realizado para os ângulos de 20° , 30° , 40° , 50° , 60° e 70° .

4 Resultados

Obtenção do índice de refração absoluto da lâmina e os erros

Sabendo que $n_{Ar} \sin(\theta_i) = n_{ac} \sin(\theta_r)$ e que $n_{ac}(\theta_i, \theta_r)$, temos:

$$n_{ac} = \frac{n_{Ar} \cdot \sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} \text{ onde } n_{Ar} = 1, \text{ logo:}$$

$$n_{ac} = \frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)}$$

$$n_{ac} = \bar{n}_{ac} \pm \Delta n_{ac}$$

$$\Delta n_{ac} = \left| \frac{\partial n_{ac}}{\partial \theta_i} \right| \cdot \Delta \theta_i + \left| \frac{\partial n_{ac}}{\partial \theta_r} \right| \cdot \Delta \theta_r$$

Derivando n_{ac} em função de θ_i e θ_r temos:

$$\left| \frac{\partial n_{ac}}{\partial \theta_i} \right| = \frac{\partial}{\partial \theta_i} \left(\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} \right) = \cos(\theta_i) \operatorname{cosec}(\theta_r)$$

$$\left| \frac{\partial n_{ac}}{\partial \theta_r} \right| = \frac{\partial}{\partial \theta_r} \left(\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} \right) = \sin(\theta_i) \cdot \cot(\theta_r) \cdot \operatorname{cosec}(\theta_r)$$

logo,

$$\Delta n_{ac} = \{\cos(\theta_i) \operatorname{cosec}(\theta_r)\} \cdot \Delta \theta_i + \{\sin(\theta_i) \cdot \cot(\theta_r) \cdot \operatorname{cosec}(\theta_r)\} \cdot \Delta \theta_r$$

Simplificando a equação encontrada, sabendo que $\Delta \theta_i = \Delta \theta_r$ temos que:

$$\Delta n_{ac} = \Delta \theta_i [\operatorname{cosec}^2(\theta_i) \cdot \sin(\theta_i + \theta_r)]$$

Obtivemos que a média dos ângulo de incidência $(\theta_i) = 40^\circ = 0,70 \text{ rad}$ e a média dos ângulos de refração $(\theta_r) = 24,3^\circ = 0,42 \text{ rad}$, onde $\Delta \theta_i = \Delta \theta_r = 0,5^\circ \text{ rad}$ e como n_{ac} deve ser adimensional então devemos transformar todos os ângulos em graus para radianos. Convertendo os ângulos para radianos e substituindo esses valores na equação obtida temos:

$$\Delta n_{ac} = 0,01 \cdot [(\operatorname{cosec}^2(0,7) \cdot \sin(0,7 + 0,42))]$$

$$\Delta n_{ac} = 0,05$$

Aplicamos este cálculo para todos os ângulos, obtendo assim uma média dos índices de refração e o desvio padrão que pode ser observado na tabela 2 na página 11. Então temos que o valor mais provável do índice de refração absoluto é:

$$\boxed{n_{ac} = (1,49 \pm 0,05)}$$

Obtenção do desvio lateral da luz e os erros

Obtivemos que a média dos ângulo de incidência $(\theta_i) = 40^\circ = 0,70 \text{ rad}$ e a média dos ângulos de refração $(\theta_r) = 24,3^\circ = 0,42 \text{ rad}$ e $e = 0,0501m$. Sabemos também que a equação do desvio lateral da luz é expressada por:

$$d = e \cdot \frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)}$$

Convertendo todos os ângulos para radianos e substituindo esses valores na equação do desvio lateral da luz, temos:

$$d = 0,0501 \cdot \frac{\text{sen}(0,70 - 0,42)}{\cos(0,42)} = 0,015 \text{ m}$$

Porém sabemos que $d(e, \theta_i, \theta_r)$, então devemos calcular os erros:

$$d = \bar{d} \pm \Delta d$$

$$\Delta d = \left| \frac{\partial d}{\partial e} \right| \cdot \Delta e + \left| \frac{\partial d}{\partial \theta_i} \right| \cdot \Delta \theta_i + \left| \frac{\partial d}{\partial \theta_r} \right| \cdot \Delta \theta_r$$

Derivando d em função de e, θ_i e θ_r , temos:

$$\left| \frac{\partial d}{\partial e} \right| = \frac{\partial}{\partial e} \left(e \cdot \frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)} \right) = \sec(\theta_r) \text{sen}(\theta_i - \theta_r)$$

$$\left| \frac{\partial d}{\partial \theta_i} \right| = \frac{\partial}{\partial \theta_i} \left(e \cdot \frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)} \right) = e \sec(\theta_r) \cos(\theta_i - \theta_r)$$

$$\left| \frac{\partial d}{\partial \theta_r} \right| = \frac{\partial}{\partial \theta_r} \left(e \cdot \frac{\text{sen}(\theta_i - \theta_r)}{\cos(\theta_r)} \right) = e \cos(\theta_i) \sec^2(\theta_r) \quad \text{logo,}$$

$$\Delta d = [\sec(\theta_r) \text{sen}(\theta_i - \theta_r)] \cdot \Delta e + [e \sec(\theta_r) \cos(\theta_i - \theta_r)] \cdot \Delta \theta_i + [e \cos(\theta_i) \sec^2(\theta_r)] \cdot \Delta \theta_r$$

Obtivemos que a média dos ângulo de incidência $(\theta_i) = 40^\circ = 0,70 \text{ rad}$ e a média dos ângulos de refração $(\theta_r) = 24,3^\circ = 0,42 \text{ rad}$, onde $\Delta \theta_i = \Delta \theta_r = 0,5^\circ = 0,01 \text{ rad}$, $e = 0,0501m$ e $\Delta e = 5,00 \times 10^{-5}$. Convertendo todos os ângulos para radianos e substituindo esses valores na equação obtida temos:

$$\Delta d = [\sec(0,42) \text{sen}(0,70 - 0,42)] \cdot 5,00 \times 10^{-5} + [0,0501 \sec(0,42) \cos(0,70 - 0,42)] \cdot 0,01 + [0,0501 \cos(0,70) \sec^2(0,42)] \cdot 0,01$$

$$\Delta d = 0,009m$$

Aplicamos este cálculo para todos os ângulos, obtendo assim uma média dos índices de refração e o desvio padrão que pode ser observado na tabela 2 na página 11. Então temos que o valor mais provável do desvio lateral da luz é:

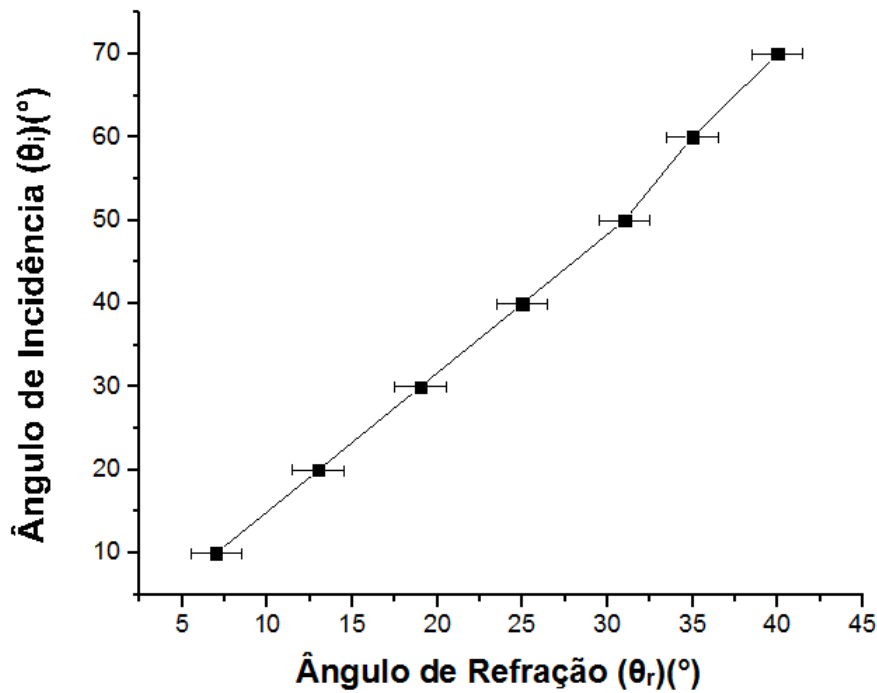
$$d = (0,015 \pm 0,009)m$$

A seguinte tabela mostra os ângulos de refração(θ_r), os índices de refração e os desvios laterais que foram obtidos a partir dos ângulos de incidência(θ_i), onde a luz atingiu o ar e depois o acrílico:

(θ_i)	(θ_r)	Índ. de Refração(n_{ac})	Desvio Lateral (d)
$(10 \pm 0,5)^\circ$	$(7 \pm 0,5)^\circ$	$(1,42 \pm 0,009)$	$(0,002 \pm 0,0013)m$
$(20 \pm 0,5)^\circ$	$(13 \pm 0,5)^\circ$	$(1,52 \pm 0,006)$	$(0,006 \pm 0,0009)m$
$(30 \pm 0,5)^\circ$	$(19 \pm 0,5)^\circ$	$(1,54 \pm 0,007)$	$(0,009 \pm 0,0007)m$
$(40 \pm 0,5)^\circ$	$(25 \pm 0,5)^\circ$	$(1,52 \pm 0,014)$	$(0,013 \pm 0,0006)m$
$(50 \pm 0,5)^\circ$	$(31 \pm 0,5)^\circ$	$(1,49 \pm 0,125)$	$(0,019 \pm 0,0005)m$
$(60 \pm 0,5)^\circ$	$(35 \pm 0,5)^\circ$	$(1,51 \pm 0,094)$	$(0,024 \pm 0,0004)m$
$(70 \pm 0,5)^\circ$	$(40 \pm 0,5)^\circ$	$(1,46 \pm 0,014)$	$(0,032 \pm 0,0006)m$
Média		1,49	0,015m
Desvio Padrão		0,05	0,009m
Valor mais Provável		$(1,49 \pm 0,05)$	$(0,015 \pm 0,009)m$

Tabela 2 – Tabela dos dados obtidos

O gráfico com barra de erros a seguir mostra o comportamento do ângulo de incidência(θ_i) em função do ângulo de refração(θ_r):

Figura 3 – Ângulo de incidência(θ_i) em função do ângulo de refração(θ_r)

A figura a seguir mostra que foi possível observar o fenômeno de desvio lateral da luz:

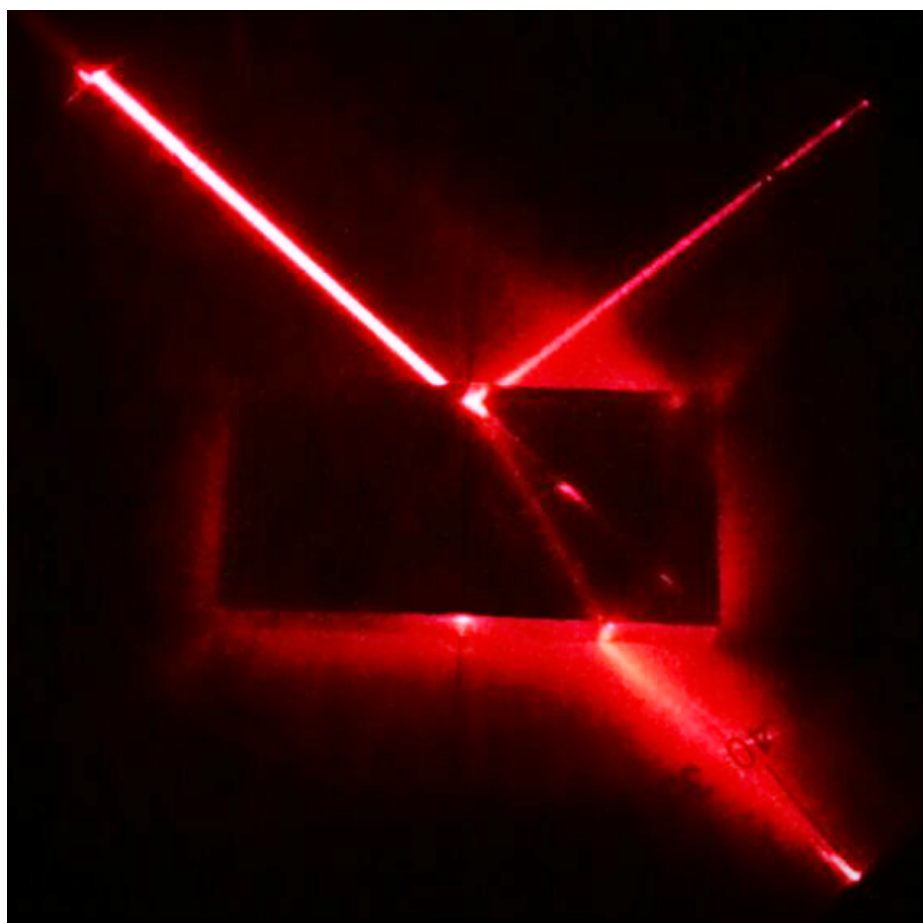


Figura 4 – Imagem obtida no momento do experimento

5 Conclusão

De acordo com as fórmulas e todo o material disponível sobre o assunto, foi possível realizar os devidos cálculos e comprovar matematicamente o desvio lateral da luz observado no laboratório. A distância($d = (0,015 \pm 0,009)m$) a qual mede o desvio lateral sofrido pelo raio de luz, foi encontrada por intermédio dos cálculos que se mostrou favorável, pois os resultados obtidos foram próximos e dentro da margem de erro ao que foi medido com o paquímetro($d = 0,020m$), assim como o índice de refração da lâmina ($n_{ac} = 1,49 \pm 0,05$) conforme o índice de refração do acrílico mostrado na tabela 1, na página 7. Assim pode-se afirmar que o experimento foi conduzido de forma eficaz. No experimento os raios de luz de incidência e o de emergência mostraram-se paralelos, de acordo com a literatura isso mostra que o primeiro meio e terceiro meio são iguais, logo puderam-se realizar as relações trigonométricas e a lei de Snell-Descartes, para se processar os dados e encontrar os devidos resultados.

Referências

EDUCAÇÃO, M. *Refração da Luz*. 2016. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/a-refracao-luz.htm>>. Acesso em: 10 jun 2016. Citado na página 5.

GASPAR, A. *Física(Ensino Médio)2. Compreendendo a Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013. Citado na página 5.

HALLIDAY RESNICK, J. W. *Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Citado na página 6.

USP. *Refração da Luz*. 2016. Disponível em: <<http://www.usp.br/massa/2013/qfl2453/pdf/coloquiorefratometria-2013.pdf>>. Acesso em: 12 jun 2016. Citado na página 7.

WIKIPÉDIA. *Lei de Snell*. 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Snell>. Acesso em: 10 jun 2016. Citado na página 5.

WIKIPÉDIA. *Snell Van Royen*. 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Willebrord_Snel_van_Royen>. Acesso em: 26 jun 2016. Citado na página 5.