



Experimento 2: Óptica Geométrica em meios homogêneos e isotrópicos

2.2.1 Objetivos

- ✓ Conceituar raios de luz;
- ✓ Verificar os princípios da óptica geométrica para meios homogêneos e isotrópicos;
- ✓ Verificar as leis da reflexão;
- ✓ Verificar a lei de Snell e obter o índice de refração de um vidro;
- ✓ Determinar o ângulo limite de um vidro;
- ✓ Determinar o foco e identificar os raios principais de uma lente convergente e divergente;
- ✓ Obter imagens formadas por uma lente convergente, medindo suas distâncias e seus aumentos.

2.2.2 Materiais Necessários

- ✓ Uma fonte de luz branca com lente acoplada;
- ✓ Um barramento com escala milimetrada;
- ✓ Um disco de Hartl;
- ✓ Uma lente plano convexa de 8 dioptrias (distância focal de 125 mm);
- ✓ Uma lente plano convexa de 4 dioptrias (distância focal de 250 mm);
- ✓ Um conjunto de lentes convergentes e divergentes;
- ✓ Um espelho plano;
- ✓ Letra vazada (coberta por um retângulo difusor de poliéster ou papel vegetal).

2.2.3 Fundamentação Teórica

A óptica geométrica

O domínio da óptica geométrica inclui o estudo das propriedades dos espelhos e das lentes, a formação de sombras, penumbras, miragem etc... Nestes estudos consideram-se os casos em que a luz se propaga em feixes de raios e encontram objetos cujas dimensões são muito maiores do que o seu comprimento de onda.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Um raio luminoso é uma representação da propagação de uma frente de ondas eletromagnéticas, em uma determinada direção. Por definição, uma frente de ondas é o lugar geométrico de todos os pontos adjacentes que possuem a mesma fase da vibração da onda eletromagnética. Para uma fonte pontual, estas frentes de onda são representadas por círculos concêntricos com os raios luminosos perpendiculares a estas frentes [Figura 1 (a)]. Se a frente de ondas está muito distante da fonte, estas podem ser consideradas como frentes de ondas planas e neste caso os raios são representados por feixes aproximadamente paralelos [Figura 1 (b)].

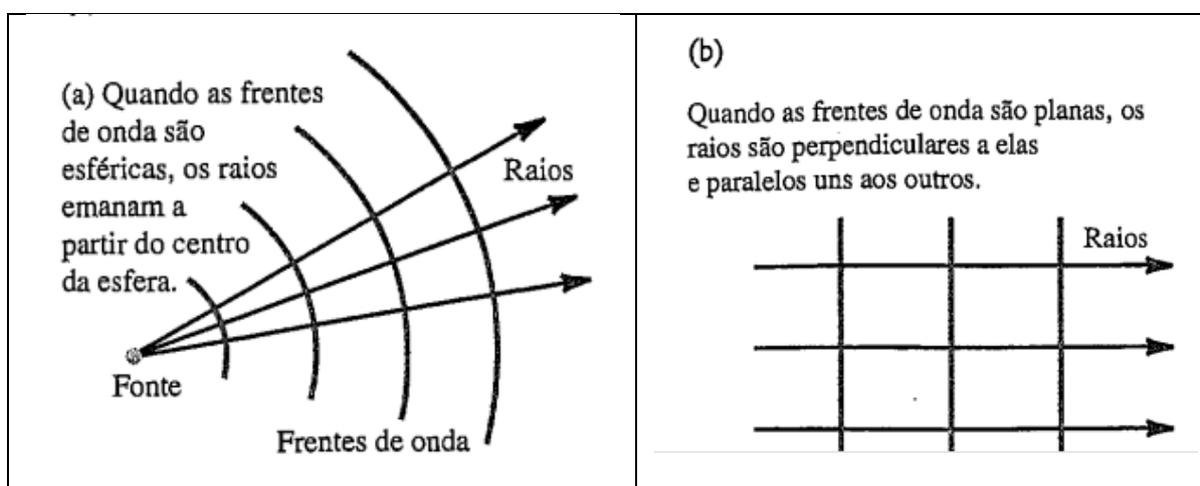


Figura 1- Representação de raios luminosos para (a) uma frente de ondas esféricas e (b) uma frente de ondas planas.

Consideremos, em resumo, alguns dos princípios e leis para a óptica geométrica:

✓ Três são os princípios da óptica geométrica:

(I) Nos meios homogêneos e isotrópicos (um material que possui as mesmas propriedades em todas as regiões e em todas as direções) a luz se propaga em linha reta em todas as direções e sentidos.

(II) Um raio de luz não interfere na trajetória de outro raio de luz, cada um se comportando como se o outro não existisse.

(III) A trajetória percorrida por um raio de luz é a mesma que ele percorreria caso seu sentido de propagação fosse invertido.

✓ Duas são as leis da reflexão em uma superfície plana e polida (reflexão especular):

(I') O raio refletido está contido no mesmo plano formado pelo raio incidente e pela reta normal à superfície polida do espelho, no ponto de incidência.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

(II') O ângulo incidente na superfície (θ_i), é igual ao ângulo refletido (θ_r), para todos os comprimentos de onda e, para qualquer par de materiais.

- ✓ Define-se o índice de refração, n , como a razão entre a velocidade da luz no vácuo ($c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s) e a velocidade da luz em um determinado meio (v). Assim, $n = c/v$.

A direção de propagação da luz em um determinado meio depende da velocidade da luz neste meio, pois o comprimento de onda da luz se modifica, em diferentes meios. Este fenômeno é conhecido como refração. As leis da refração são:

(I'') O raio incidente, a reta normal e o raio refratado, se encontram sobre o mesmo plano.

(II'') O produto do índice de refração de um meio [(1) onde se propaga o raio incidente] pelo seno do ângulo de incidência, é igual ao produto do índice de refração de um outro meio [(2) onde se propaga o raio refratado] pelo seno do ângulo de refração. Assim:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

Quando a luz, que propaga em um meio 1, incide em um determinado meio 2, de índice de refração inferior, observa-se que esta tem sua direção de propagação desviada para um ângulo maior, em relação à normal, no ponto de incidência. O ângulo de incidência, para o qual, o raio refratado é de 90° , denomina-se *ângulo limite*. Para um ângulo, maior que o ângulo limite, observa-se somente uma reflexão interna. Esta é chamada de *reflexão interna total*.

Lentes esféricas: características e formação de imagens

As lentes esféricas

Uma lente é definida como toda substância transparente, limitada por dois dióptros, dos quais pelo menos um é curvo. Um dióptro é o conjunto de pontos que determinam a superfície de separação entre dois meios transparentes. As lentes esféricas podem ser de dois tipos:

- ✓ Lentes convergentes: Os raios que nelas incidem tendem a se aproximar, convergindo em determinados pontos.
- ✓ Lentes divergentes: Os raios que nelas incidem tendem a divergir, afastando-se relativamente um ao outro.

As lentes são classificadas de acordo com suas curvaturas. A Figura 2 representa alguns exemplos usuais de lentes:

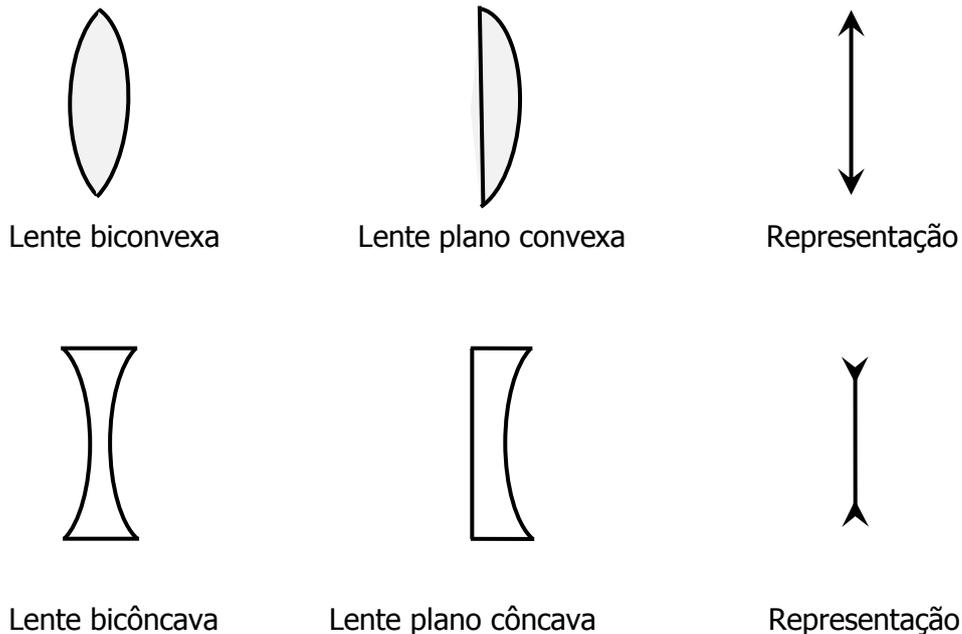


Figura 2 - Exemplos usuais de lentes convergentes e divergentes e suas representações

Os focos de uma lente

- ✓ Foco objeto: É o ponto (F) localizado sobre o eixo principal, em que todo raio (1) de luz que por ele passa e incide sobre a lente, emerge paralelamente ao eixo principal da lente [Figura 3]
- ✓ Foco imagem: É o ponto (F') localizado sobre o eixo principal, em que todo raio de luz (2) que incide paralelamente ao eixo principal da lente, emerge passando por este foco [Figura 3].

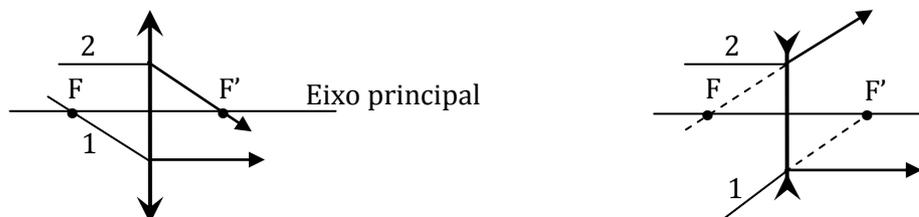


Figura 3 – Focos objeto (F) e imagem (F') que constituem uma lente convergente e divergente.

A relação entre o foco (F) de uma lente e o centro de curvatura (C) é: $C = 2F$.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Como informação adicional, se um raio (3) de luz passar sobre o eixo da lente, esta emerge sem "sofrer" nenhum desvio. Os raios (1), (2) e (3) constituem os *raios principais* de uma lente esférica e são primordiais no estudo da formação de suas imagens.

O referencial Gaussiano

O referencial Gaussiano tem por função dar estrutura ao estudo analítico das imagens, atribuindo, às abscissas e ordenadas dos objetos e imagens, sinais algébricos adequados.

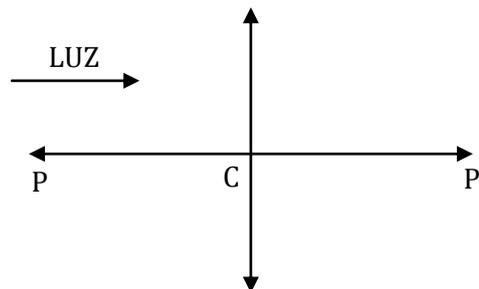


Figura 4 - Referencial gaussiano

No referencial Gaussiano, define-se para as lentes esféricas:

- ❖ Objetos (P) e imagens (P') *reais*: *Abscissa positiva*;
- ❖ Objetos e imagens *virtuais*: *Abscissa negativa*;
- ❖ Imagem *direita*: Objeto e imagem com ordenadas de *mesmo sinal*;
- ❖ Imagem *invertida*: Objeto e imagem com ordenadas de *sinais contrários*;
- ❖ Lente convergente: distância focal *positiva*;
- ❖ Lente divergente: distância focal *negativa*.

Nas lentes esféricas, as abscissas F, P e P' se relacionam matematicamente segundo a equação dos pontos conjugados (equação de Gauss):

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{P} + \frac{1}{P'} \quad (2)$$

Define-se o aumento linear transversal (A) como a grandeza adimensional dada pela relação entre a ordenada da imagem (i) e a ordenada do objeto (o) na forma:

$$A = \frac{i}{o} \quad (3)$$

Outra forma de expressar o aumento linear transversal é através da relação:

$$A = -\frac{P'}{P} \quad (4)$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Para o aumento linear transversal, observa-se que quando $A > 0$, a imagem é virtual e direita e, se $A < 0$, a imagem é real e invertida.

2.2.4 Procedimentos experimentais

Montagem dos experimentos

- ✓ Posicione a lanterna de luz policromática na pare frontal do barramento (Figura 5).
- ✓ Posicione o diafragma (de 1 ou 3 ranhuras, dependendo da experiência) o mais próximo da lanterna. Este deve ficar na posição horizontal.
- ✓ Posicione lente de 8 dioptrias a **aproximadamente** 15 cm do diafragma. A lente de 4 dioptrias deve ficar a aproximadamente 26 cm da lente com 8 dioptrias.
- ✓ O disco de Hartl deve estar levemente inclinado.

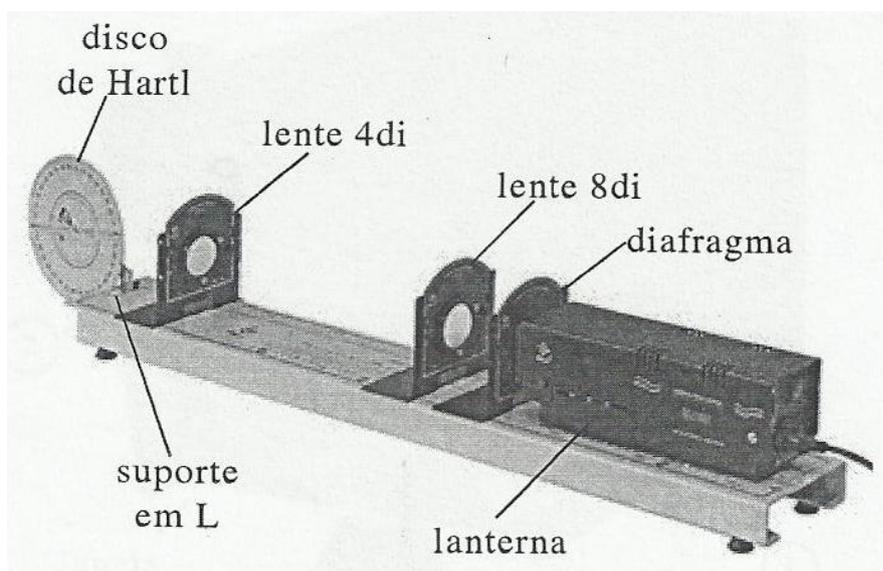


Figura 5 - Procedimento de montagem para realização dos experimentos

Parte 1: Princípio da óptica geométrica

- 1 - Posicione o diafragma de 3 ranhuras, com suporte magnético e, observe sobre o disco, a formação de três raios de luz (Figura 6).
- 2 - Com base nesta informação, enuncie o primeiro princípio da óptica geométrica.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
 Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

3 - Coloque o espelho com suporte magnético sobre o disco, fazendo com que o raio 1 incida sobre ele. Incline o espelho, de tal forma que este cruze os raios 2 e 3. Observe o ocorrido. Enuncie o segundo princípio da óptica geométrica.

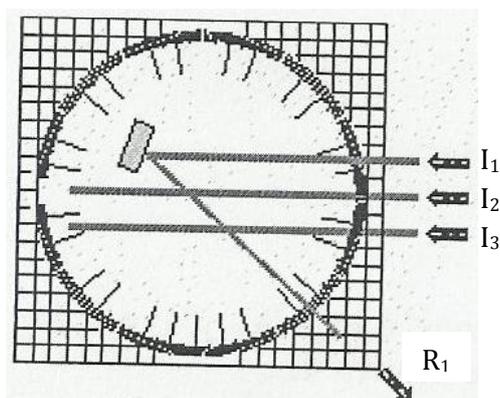


Figura 6 - Procedimento de montagem para realização dos experimentos

Parte 2: Reflexão no espelho plano

1 - Mantenha o espelho com suporte magnético, sobre o disco. Substitua o suporte magnético de três ranhuras por um de somente uma ranhura. Projete um raio de luz, de modo que este incida sobre o centro do disco e no espelho (Figura 7).

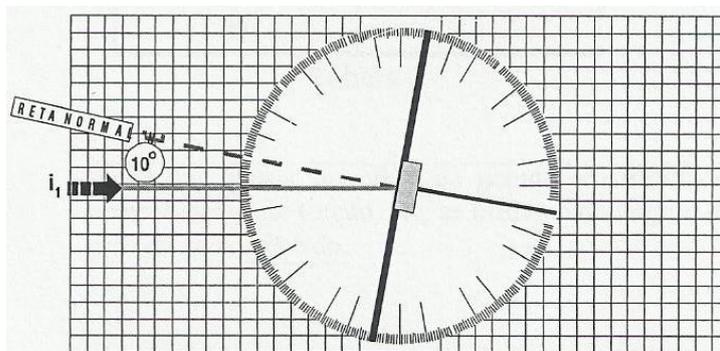


Figura 7 - Procedimento de montagem para o estudo das leis da reflexão

2 - Varie o ângulo de incidência (i) e anote o ângulo de reflexão (r), completando a Tabela 1.

Tabela 1 – Estudo da reflexão em espelhos planos

i	Δi	r	Δr
10°			
25°			
40°			
65°			



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
 Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

3 - Pode-se verificar que $i = r$? Os raios incidente e refletido estão contidos em um mesmo plano ? Suas observações verificam os princípios da reflexão especular em espelhos planos ?

Parte 3: Refração: Lei de Snell-Descarte e reflexão interna total

1 - Substitua o espelho por uma lente plano convexa de vidro. Faça o raio luminoso incidir no centro desta lente, conforme a Figura 8. Desta forma, todo raio emergente é perpendicular à superfície da lente. Preencha a Tabela 2, onde θ_i é o ângulo de incidência e, θ_R é o ângulo de refração.

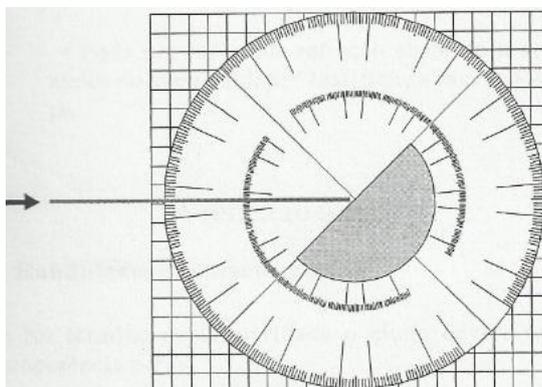


Figura 8 - Procedimento de montagem para o estudo da refração: lei de Snell-Descarte

Tabela 2 – Estudo da refração em uma lente plano convexa.

θ_i	$\Delta\theta_i$	$\text{Sen}(\theta_i \pm \Delta\theta_i)$	θ_R	$\Delta\theta_R$	$\text{Sen}(\theta_R \pm \Delta\theta_R)$	$\frac{\text{Sen}(\theta_i \pm \Delta\theta_i)}{\text{Sen}(\theta_R \pm \Delta\theta_R)}$
0						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

2 - Nesta parte do experimento, foi observada uma constância na razão entre $\text{sen}\theta_i/\text{sen}\theta_R$? Esta razão deve ser numericamente igual a razão entre o índice de refração do vidro (n_v) e o índice de refração do ar ($n_{ar} = 1.0$, neste experimento) [lei de Snell-Descarte].

3 - Obtenha uma média nos valores de $\text{sen}\theta_i/\text{sen}\theta_R$ e adote o desvio padrão como incerteza no valor médio calculado.

4 - Obtenha o índice de refração médio do vidro (n_v) [pois estamos usando luz branca] com incerteza.

5 - Inverta a posição da lente, de tal forma que o raio incida em sua superfície curva.

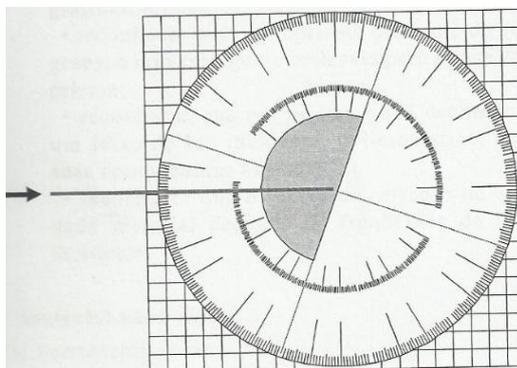


Figura 9 - Procedimento de montagem para o estudo da refração: lei de Snell-Descarte

6 - Observe o fenômeno da reflexão interna total. Meça o valor do ângulo de incidência limite (θ_L) e calcule novamente n_v . Compare o valor obtido e sua incerteza, com o valor obtido no item 3. Qual procedimento é melhor para obter o índice de refração do vidro ?

Parte 4: Identificação das lentes segundo suas bordas

1 - Coloque o diafragma de três ranhuras. No disco de Hartl, coloque as 4 lentes disponíveis, uma de cada vez. Em cada caso, identifique as lentes e obtenha:

(i) Um desenho, mostrando os desvios dos raios incidente e emergente;

(ii) O tipo de lente: Convergente ou divergente, observando os raios emergentes;

2 - Coloque a lente biconvexa sobre o disco de Hartl. Gire a mesma, fazendo com que um raio de luz incida sobre seu foco. Descreva o que ocorreu com a direção de propagação do raio refratado. Este raio constitui um daqueles raios principais que passa pela lente ?



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Parte 5: A formação de imagens em uma lente convergente

- 1 - Posicione a lente de distância focal 125 mm, com suporte fixo, sobre o barramento com escala milimetrada.
- 2 - Com uma régua milimetrada, meça a o tamanho (o) do objeto.
- 3 - A imagem formada pela lente deverá se encontrar no anteparo, fixo num suporte. Projete uma imagem para a observação.
- 4 - Para cada caso, você deverá completar a Tabela 3, medindo a distância entre o objeto e a lente (P), a distância entre a imagem e a lente (P'), o tamanho da imagem (i) e o aumento linear transversal (A).

Tabela 3 - Formação de imagem em uma lente biconvexa de distância focal de 125 mm.

Caso	P (mm)	P' (mm)	I (mm)	$A = i/o$	$A = P'/P$
(a)	175				
(b)	150				
(c)	125				
(d)	100				

5 - Responda:

- (i) Em todos os casos foi possível obter a formação da imagem ?
- (ii) Em todos os casos foi possível realizar a medição direta de P' ?
- (iii) Em quais dos casos, têm-se imagem real ? E imagem virtual ?

➤ Justifique sua resposta, traçando os raios principais que partem do objeto, incidem sobre a lente e formam a imagem no anteparo.

6 - Use a equação (2) e obtenha os valores de P' e A . Compare, se possível, com os valores obtidos da Tabela (3). Os valores encontrados se igualam ? Justifique.

2.2.5 O que incluir no relatório do Experimento

- Os enunciados da óptica geométrica.
- Deduza a equação (2).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

- Resultados e discussão dos dados da Tabela 1 (reflexão).
- Resultados e discussão dos dados da Tabela 2 (Lei de Snell).
- Cálculo do índice de refração médio do vidro com incerteza, utilizando dados da Tabela 2 e, o ângulo limite.
- Discussão dos dados da Tabela 3 incluindo os itens 5 e 6 da parte 5 dos procedimentos experimentais.
- Pesquise como se dá a formação de imagens nos microscópios e lunetas terrestres simples.

2.2.6 Bibliografia

Caderno de experimentos da Empresa CIDEPE (site: cidepe.com.br).

Física 4. Halliday, Resnick e Krane. 4ª edição. Editora LTC, Rio de Janeiro RJ (1996).

Ótica, Relatividade, Física Quântica. H. Moysés Nussenzveig. 4ª edição. Editora Blucher, São Paulo SP (2011).