

Refração da luz

Fibra óptica:
Formação de Imagem em
lente plano-convexa

unidade 1

Material de apoio didático ao experimento Óptica: Experimentação Remota Móvel para Educação Básica: Formação de Imagem em Lente Plano-Convexa de Heck, Carine; SILVA, Juarez B.; COELHO, Karine dos Santos; ALVES, João Bosco Mota; CRISTIANO, Marta Adriana da S.; BILESSIMO, Simone M. S.; NICOLETE, Priscila C. está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.



Este manual, cada capítulo e suas imagens estão licenciados sob a licença Creative Commons -Atribuição-NãoComercial-Sem Derivados 4.0 Internacional. Uma cópia desta licença pode ser visualizada em <http://creativecommons.org.nz/licences/licences-explained/>. Ela define que este manual é livre para reprodução e distribuição porém sempre deve ser citado o autor. Não deve ser usado para fins comerciais ou financeiro e não é permitido qualquer trabalho derivado. Se você quiser fazer algum dos itens citados como não permitidos, favor entrar em contato com os organizadores do manual.

O download em edição eletrônica desta obra pode ser encontrado em <http://www.rexlab.ufsc.br>.

Material de apoio didático ao experimento Óptica I: Formação de Imagem em Lente Plano-Convexa / obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida pelo Laboratório de Experimentação Remota (RExLab).

Araranguá – SC, Brasil, 2015

Elaboração de conteúdos

Carine Heck

Licenciada em física pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

João Bosco da Mota Alves

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Juarez Bento da Silva

Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Karine dos Santos Coelho

Mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Marta Adriana da Silva Cristiano

Mestre em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Priscila Cadorin Nicolete

Bacharela em Tecnologias da Informação e da Comunicação pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Simone Meister Sommer Bilessimo

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Edição

Carine Heck e Karine dos Santos Coelho

Design Gráfico

Isabela Nardi da Silva

Sumário Geral

Refração da Luz.....	4
Fontes de Luz.....	4
Velocidade da Luz.....	5
Ano-luz.....	6
Princípios da Óptica Geométrica.....	7
Câmara escura de orifício.....	8
O que é a refração?.....	10
Índice de refração absoluto.....	11
Índice de refração relativo.....	12
Leis da Refração.....	14
Ângulo limite.....	16
Dioptro plano.....	19
Lâmina de faces paralelas.....	20

Refração da Luz

A luz é o agente físico responsável pelas sensações visuais. A Óptica estuda a luz, os fenômenos luminosos e suas propriedades. Divide-se em:

- Geométrica, responsável pelo estudo dos fenômenos luminosos sem ter a necessidade de conhecer a natureza da luz
- Física, que estuda a natureza física da luz, cuja explicação depende das teorias relativas à sua natureza

Fontes de Luz

- a) Fonte de luz primária, própria ou corpo luminoso: emitem luz própria.
Exemplo: as estrelas, as lâmpadas, a vela, a chama de uma fogueira etc.

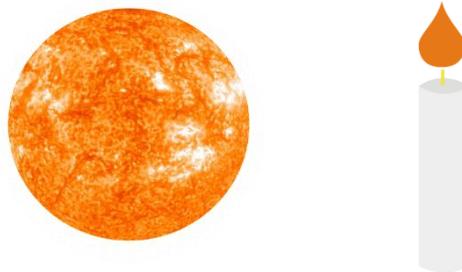


Figura 1

- b) Fonte de luz secundária ou corpo iluminado: refletem luz recebida.
Exemplo: a Lua, os planetas, todos os objetos visíveis que não emitem luz própria, as pessoas etc.



Figura 2

Classificação dos corpos de acordo com o comportamento da luz:

- a) Corpos opacos: não permitem a passagem da luz. Exemplo: madeira, metal, papelão, borracha etc.
- b) Corpos transparentes: permitem totalmente a passagem da luz. Exemplo: ar puro, vidro transparente, liso e polido, água pura etc.
- c) Corpos translúcidos: permitem parcialmente a passagem da luz. Exemplo: papel manteiga, nuvens, ar poluído etc.

Velocidade da luz

A velocidade da luz no vácuo é de 300000 km/s ($3,0 \cdot 10^5$ km/s = $3,0 \cdot 10^8$ m/s). No vácuo existe a velocidade máxima de propagação da luz, que, segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, não pode ser ultrapassada por nenhum outro movimento existente. Em meio material, a velocidade da luz diminui e depende do tipo de luz que se propaga.



Figura 3 - Velocidade em ordem decrescente

Há pouco tempo a velocidade da luz teve sua concepção como a coisa mais rápida que se ouviu falar abalada. Pesquisadores no CERN- Organização Europeia para Pesquisa Nuclear - afirmaram que neutrinos disparados nos laboratórios da organização, em Genebra- Suíça registraram 300006 km/s. Esse valor é sutilmente mais rápido do que a velocidade da luz, de 300000 km/s. Além dos laboratórios do CERN, outras equipes de pesquisa estão investigando as informações registradas. *Então, se for comprovado que partículas atingem velocidade superior a velocidade da luz do vácuo, como fica a Teoria da Relatividade de Einstein?*



Experimento Opera, responsável pela descoberta da velocidade superior a da luz. Disponível em: <https://www-opera.desy.de/>

Ano-luz

Um ano- luz é a distância que a luz percorre no vácuo em um ano. Desse modo, a distância em quilômetros de um ano-luz pode ser calculada da seguinte forma:

1ano= 365 dias= 8760 horas= 525600 minutos= 31536000 segundos

$$300000 \text{ km/s} = \text{distância}$$

$$31536000 \text{ s}$$

$$\text{distância} = 9460800000000 \text{ km}$$

Princípios da Óptica Geométrica

- a) Princípio da propagação retilínea da luz: nos meios transparentes, homogêneos e isotrópicos a luz se propaga em linha reta.

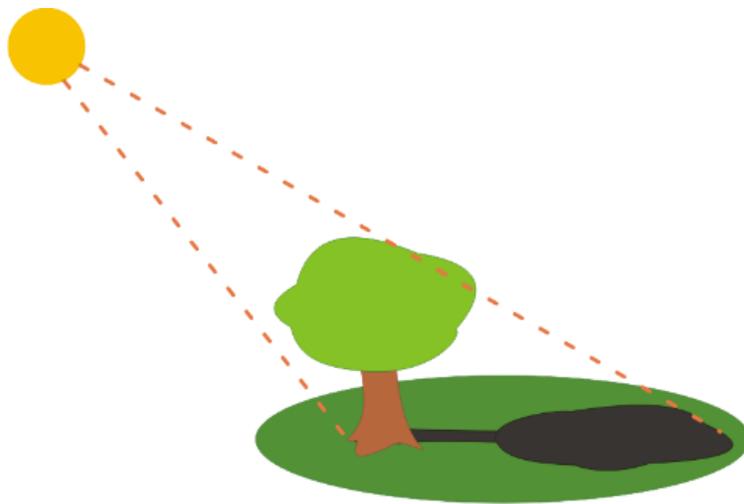


Figura 4

- b) Princípio da reversibilidade dos raios de luz: o caminho seguido pela luz não se altera quando o sentido é invertido.

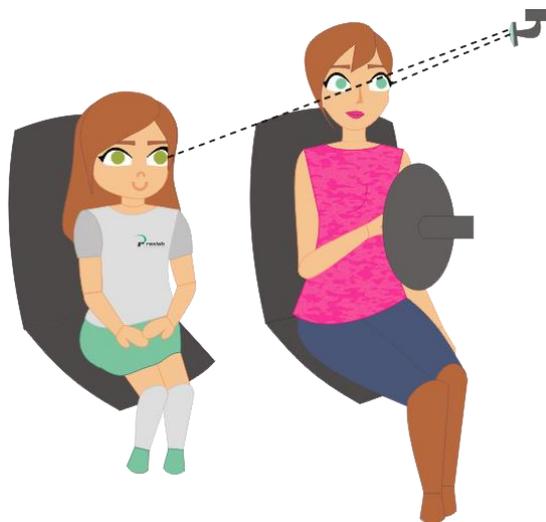


Figura 5

- c) Princípio da independência dos raios de luz: raios de luz, ao se cruzarem, não interferem a propagação, direção e sentido.

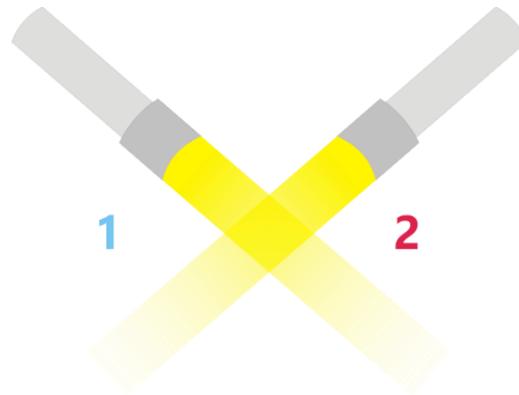


Figura 6

Câmara escura de orifício

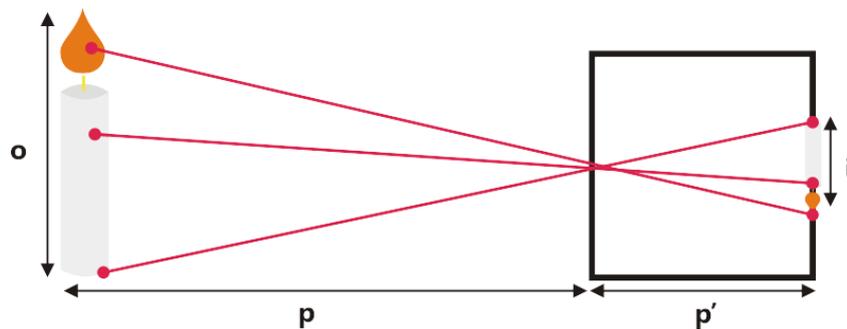


Figura 7

A câmara escura de orifício é constituída por uma caixa de paredes totalmente opacas, fechadas, mas com um pequeno orifício que permite a passagem da luz. Ao posicionar um corpo luminoso em frente ao orifício, uma imagem refletida aparece na face oposta de forma invertida. Abaixo temos a equação para cálculo da câmara escura:

$$o / i = p / p'$$

Equação 1

o = tamanho do objeto em frente ao orifício

p = distância do objeto até a câmara escura

i = tamanho da imagem refletida

p' = distância do orifício até a imagem invertida

Exemplo:

1) Um objeto luminoso de 10 cm de altura está a 40 cm de uma câmara escura de orifício de profundidade 20 cm.

a) Qual a altura da imagem formada?

$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'}$$

$$i = \frac{o \cdot p'}{p}$$

$$\frac{10}{i} = \frac{40}{20}$$

$$i = 5$$

$$40 \cdot i = 200$$

$$i = 5 \text{ cm}$$

b) Quando o objeto se aproximar 8 cm da câmara, quanto aumentará a imagem?

$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'}$$

$$i = \frac{o \cdot p'}{p}$$

$$\frac{10}{i} = \frac{32}{20}$$

$$i = 6,25$$

$$32 \cdot i = 200$$

$$i = 6,25 \text{ cm}$$

Aumentará 1,25 cm.

O que é a refração?

Refração é a passagem da luz de um meio homogêneo e transparente para outro meio também homogêneo e transparente.

Por causa da refração, um lápis em um copo com água parece estar torto ou quebrado na superfície da água.



Figura 8

Também por causa da refração um peixe visto de um barco parece estar a uma profundidade menor do que realmente está, pois a onda altera sua velocidade de propagação e comprimento provocando distorções ópticas.

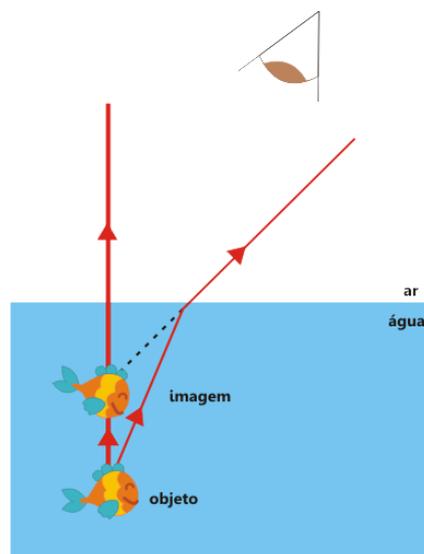


Figura 9

Índice de refração absoluto

O índice de refração absoluto (n) é a grandeza que caracteriza um meio material para determinada luz monocromática. É a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio considerado (v). Por isso, o índice de refração absoluto dos materiais é sempre maior do que o índice de refração no vácuo, 1,0.

$$n = c / v$$

Equação 2

A tabela abaixo apresenta o índice de refração das substâncias para a luz monocromática amarela.

Substância	Índice de refração
Vácuo	1,0
Ar Seco (0°C, 760 mmHg)	1,000292
Gás Carbônico (0°C, 760 mmHg)	1,00045
Gelo (0°C)	1,310
Água (20°C)	1,333
Álcool etílico (20°C)	1,362

Tetracloroeto de Carbono	1,466
Glicerina	1,470
Vidro Crown	1,520
Monoclorobenzeno	1,527
Vidro Flint	1,660
Diamante	2,417
Sulfeto de antimônio	2,700
Germânio	5,000

Tabela 1

Quanto maior for o índice de refração de um meio, maior será a refração, e vice-versa.

Índice de refração relativo

Ocorre a situação, em que um raio de luz vem do ar (meio A) para a água (meio B):

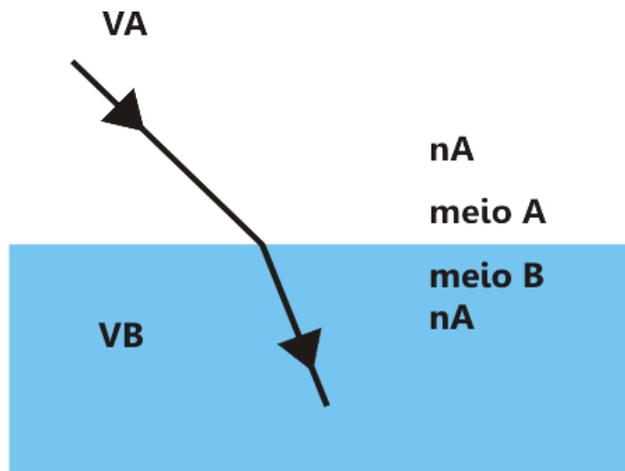


Figura 10

A expressão abaixo permite relacionar o índice de refração de cada meio de propagação da luz e suas respectivas velocidades.

$$n_A / n_B = v_B / v_A$$

Equação 3

n_A = índice de refração do meio A

n_B = índice de refração do meio B

v_A = velocidade da luz no meio A

v_B = velocidade da luz no meio B

Exemplos:

1)(Faap- SP) Calcule a velocidade da luz no vidro, sabendo que a sua velocidade na água é de $2,2 \cdot 10^8$ m/s e que o índice de refração da água em relação ao vidro é 0,90.

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A}$$

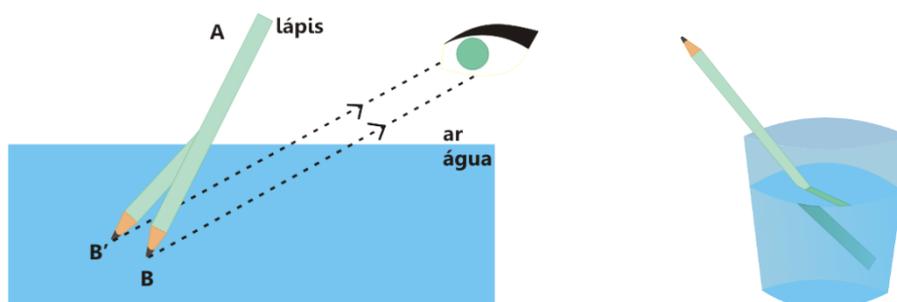
$$0,90 = \frac{v_B}{2,2 \cdot 10^8}$$

$$v_B = 0,90 \cdot 2,2 \cdot 10^8$$

$$v_B = 1,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v_B = 1,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2)(UFSC) A figura a seguir mostra um lápis de comprimento AB, parcialmente imerso na água e sendo observado por um estudante.



Assinale a(s) proposição (ões) CORRETA(S) e indique sua soma:

(01) O estudante vê o lápis "quebrado" na interface ar-água, porque o índice de refração da água é maior do que o do ar.

(02) O feixe luminoso proveniente do ponto B, ao passar da água para o ar se afasta da normal, sofrendo desvio.

(04) O estudante vê o lápis "quebrado" na interface ar-água, sendo o fenômeno explicado pelas leis da reflexão.

(08) O observador vê o lápis "quebrado" na interface ar-água porque a luz sofre dispersão ao passar do ar para a água.

(16) O ponto B', visto pelo observador, é uma imagem virtual.

Leis da Refração

1ª Lei: O raio incidente, a normal e o raio refratado pertencem ao mesmo plano.

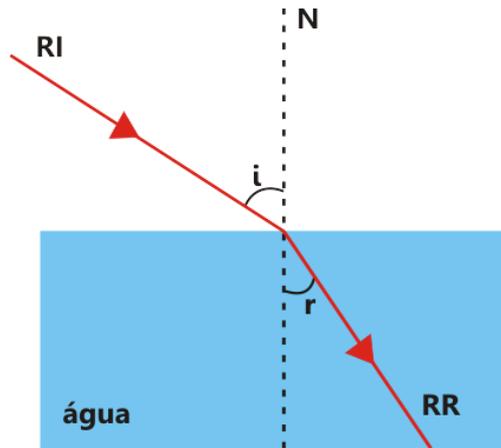


Figura 11

2ª Lei ou Lei de Snell- Descartes: O produto do seno do ângulo formado com a normal pelo índice de refração desse meio é igual a uma constante. A segunda lei é representada matematicamente pela equação:

$$n_A \cdot \text{sen } i = n_B \cdot \text{sen } r$$

Equação 4

A luz se aproxima da normal e diminui a velocidade ao passar de um meio menos refringente (ar) para outro mais refringente (água) (figura 1). O raio de luz refrata-se e se afasta da normal (figura 2) ao passar de um meio mais refringente (água) para outro menos refringente (ar).

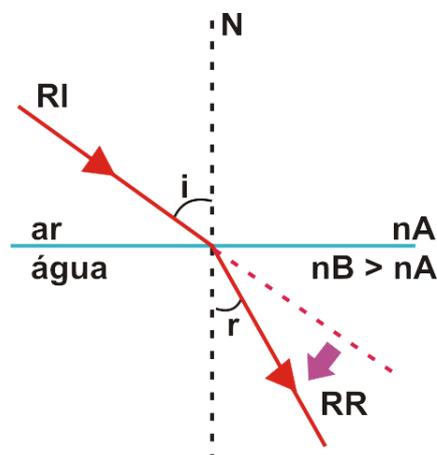


Figura 12

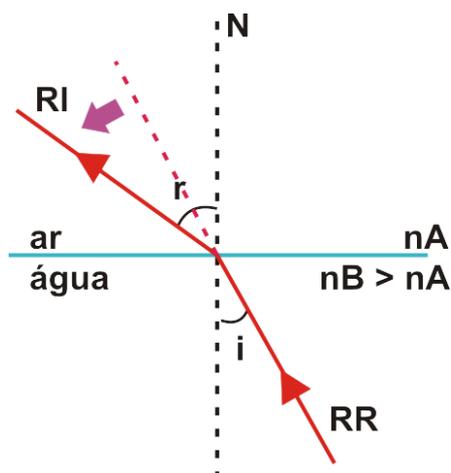
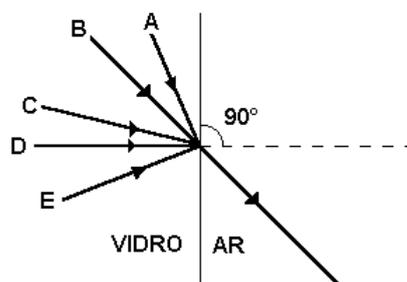


Figura 13

Exemplo:

1) (UNESP) Um pincel de luz emerge de um bloco de vidro comum para o ar na direção e sentido indicados na figura a seguir. Assinale a alternativa que melhor representa o percurso da luz no interior do vidro.



- a) A b) B c) C d) D e) E

Ângulo limite

Para dois meios com índices de refração diferentes e transparentes, um raio de luz que incide do meio menos refringente para o mais refringente sofrerá uma aproximação da normal (N).

Conforme se aproxima o raio incidente da superfície entre um meio A (ar) e um meio B (água), ou seja, atinge ângulo de incidência $i = 90^\circ$, o raio refratado atinge o **ângulo limite de refração (L)** que será inferior a 90° .

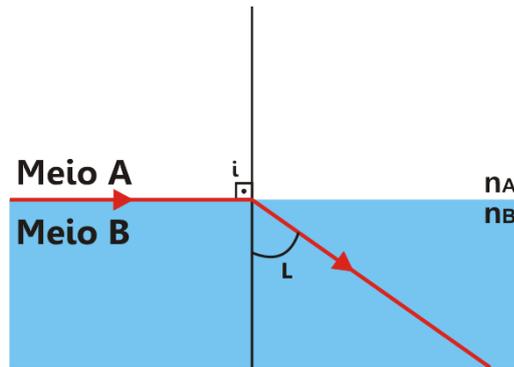


Figura 14

Para os dois meios ar e água, o fenômeno será diferente se o raio incidente partir do meio mais refringente, no caso da água, para o menos refringente, o ar.

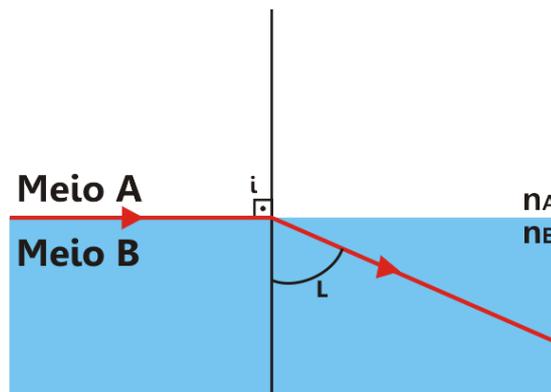


Figura 15

Nesse caso, o fenômeno da refração ocorrerá até atingir o ângulo limite de incidência. Ao aproximar o raio incidente da superfície, o raio refratado chegará primeiramente à superfície. Ou seja, o ângulo de incidência máximo atingido para que ocorra refração será inferior a 90° . Esse será o **ângulo limite de refração (L)**.

Para o caso de insistência na aproximação do raio incidente da superfície de separação, acontece o fenômeno de **reflexão total** da luz.

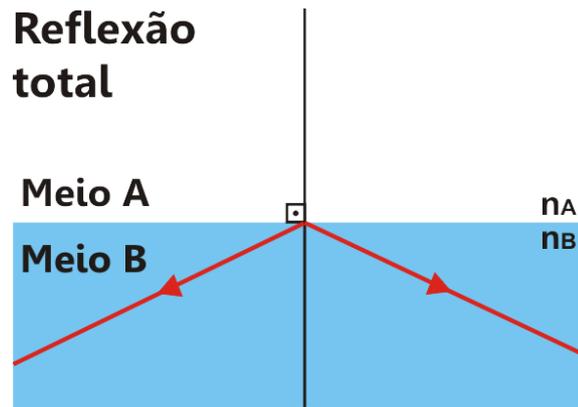
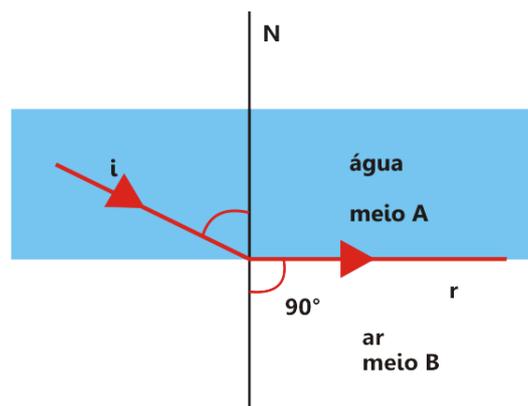


Figura 16

Exemplo:

- 1) Um raio de luz incide sobre uma superfície com água, conforme a figura abaixo:



Qual é o valor do ângulo limite? (índice de refração da água: 1,33; índice de refração do ar: 1)

$$n_A \cdot \sin i = n_B \sin r$$

$$1,33 \cdot \sin i = 1 \cdot \sin 90^\circ$$

$$1,33 \sin i = 1 \cdot 1$$

$$1,33 \sin i = 1$$

$$\sin i = \frac{1}{1,33}$$

$$1,33$$

$$\sin i = 0,75$$

$$\hat{\text{Ângulo limite}} = 49^\circ$$

Ou seja, até o ângulo de 49° teremos refração, se for incidido um raio de luz com ângulo de 50° ou superior, ocorrerá apenas reflexão.

Dióptro plano

Retornando ao exemplo do lápis em um copo com água, meio mais refringente do que o ar, o lápis parece estar quebrado. É um conjunto de dois meios homogêneos e transparentes, a água e o ar, com índices de refração diferentes. A interface entre esses meios o fenômeno recebe o nome de dióptro plano.

Fato semelhante acontece com o peixe em um lago. Do peixe submerso partem raios de luz, que sofrem refração na superfície da água quando em contato com outro meio menos refringente, o ar. Esses raios permitem que uma pessoa em um barquinho no lago observe o peixe. Os raios refratados definem uma imagem virtual do peixe que está no mesmo plano do objeto. Entretanto, a imagem se forma acima do objeto, pelo prolongamento dos raios refratados.

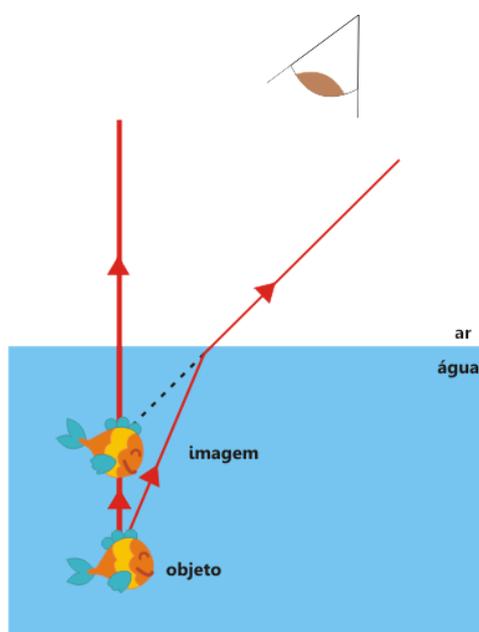


Figura 17

Equação de Gauss para os dioptros planos

$$\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = \frac{p'}{p}$$

Equação 5

p = distância do objeto a superfície

p' = distância da imagem a superfície

$n_{\text{OBSERVADOR}}$ = índice de refração do meio onde está o observador.

n_{OBJETO} = índice de refração do meio de incidência da luz.

Exemplo:

1) Um observador vê um peixe no lago. O peixe está a 2 m da superfície da água. Qual a profundidade aparente que o observador vê o peixe? (Dado: índice de refração absoluto do ar: 1; índice de refração absoluto da água 1,3).

$$\frac{n_{\text{OBSERVADOR}}}{n_{\text{OBJETO}}} = \frac{p'}{p}$$

$$1 = \frac{p'}{2}$$

$$1,3 \cdot 2 = p'$$

$$p' = 2,6$$

$$p' = 1,5 \text{ m}$$

$$1,3$$

$$p' = 1,5 \text{ m}$$

O observador vê o peixe na profundidade de 1,5m.

Lâmina de faces paralelas

Uma lâmina de faces paralelas feita de material transparente constituída por duas faces planas, relativamente pouco espessas, formam dois dioptros

planos. A lâmina abaixo de vidro imersa no ar permite observar o trajeto do raio de luz ao atravessá-la.

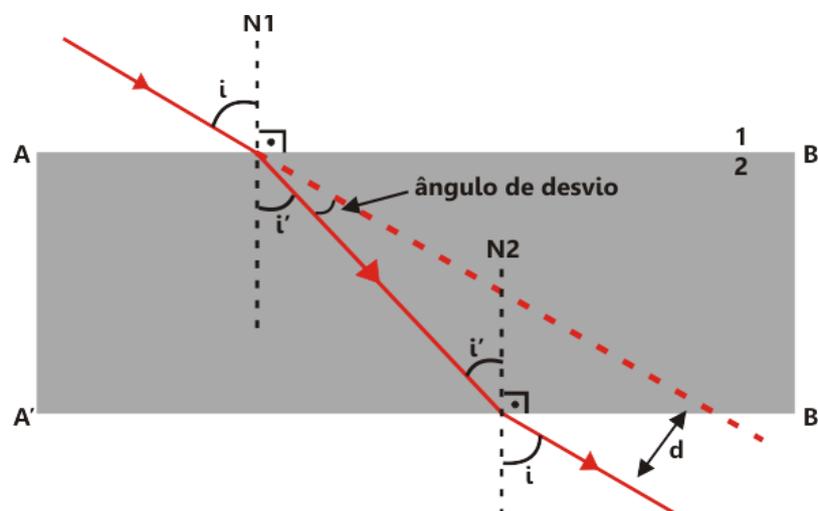


Figura 18

Ao atravessar a lâmina de faces paralelas o raio de luz sofre duas refrações, uma quando entra na lâmina (do meio ar/vidro) e outra quando sai da lâmina (do meio vidro/ar). O raio incidente sobre a primeira superfície sofre refração formando o ângulo de desvio. Após esse desvio, o raio incide sobre a segunda superfície sofrendo novamente refração. Nesse exemplo o ângulo de incidência é igual ao ângulo de emergência, pois os dois meios externos constituem-se de ar.

A expressão abaixo é usada para cálculo do desvio lateral:

$$d = \frac{e \cdot \text{sen}(i - r)}{\text{cos } r}$$

Equação 6

Exemplo:

1)(UFB) A espessura de uma lâmina de vidro de faces paralelas é de 2,0cm. Um raio monocromático de luz incide numa de suas faces com ângulo de 60° e se

refrata com ângulo de 45° . Considerando $\cos 75^\circ = \sin 15^\circ = 0,25$, $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2 = 0,8$, $n_{ar} = 1,0$ e $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2 = 0,7$, pede-se:

- Esboçar o trajeto do raio de luz ao atravessar a lâmina
- Determinar o índice de refração do vidro
- Determinar o desvio lateral (d) e o desvio angular (β)
- Determinar o valor do ângulo de emergência

Resolução:

a)

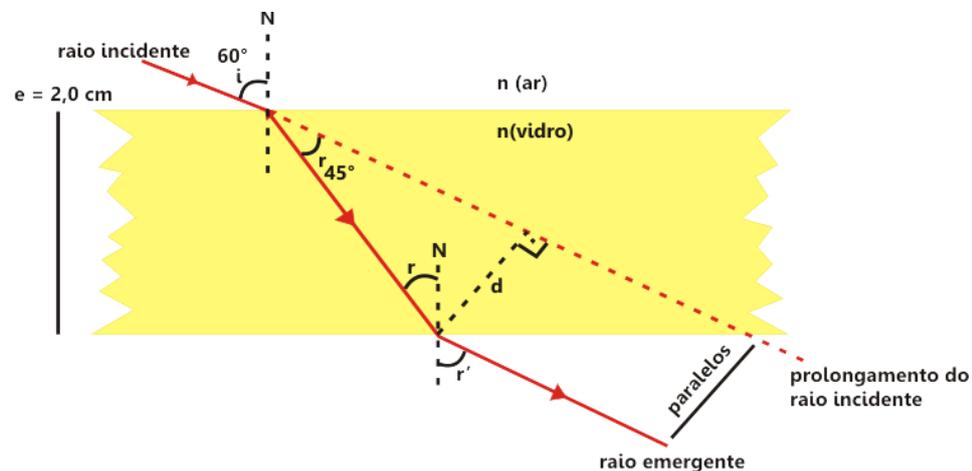


Figura 19

b) $n_A \cdot \sin i = n_B \cdot \sin r$

1. $\sin 60 = n_B \cdot \sin 45$

1. $\sqrt{3}/2 = n_B \cdot \sqrt{2}/2$

$n_B = \sqrt{6}/2$

n do vidro = 1,2

c) $d = \frac{e \cdot \sin(i - r)}{\cos r}$

$\cos r$

$d = \frac{2 \cdot \sin(15)}{\cos 45}$

$\cos 45$

$$d = \frac{2 \cdot 0,25}{7}$$

7

$$d = \frac{0,5}{7}$$

7

$$d = 0,71 \text{ cm}$$

O desvio lateral (d) é 0,71cm.

O desvio angular (β) é nulo.

d) O ângulo de emergência e de incidência são iguais= 60°.

Referências

ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física**. Curitiba: Editora Positivo, 2013. 2 v.

BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Física 2: Termologia, Ondulatória e Óptica**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 464 p.

BONJORNO, José Roberto et al. **Física: Termologia - Óptica - Ondulatória**. 2. ed. São Paulo: Ftd, 2013. 2 v.

GUIMARÃES, Osvaldo; PIQUEIRA, José Roberto; CARRON, Wilson. **Física: Ensino Médio**. São Paulo: ática, 2014. 424 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 296 p. Flávio Menezes de Aguiar e José Wellington Rocha Tabosa.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÀLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física Contexto & Aplicações: Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2014. 400 p.

KANTOR, Carlos A. et al. **Coleção Quanta Física: Ensino Médio**. São Paulo: Editora Pd, 2010. 3 v.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Ángel Gómez. **A aprendizagem e o Ensino de Ciências- Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antonio de Toledo. **Os Fundamentos da física 2: Termologia, Óptica e Ondas**. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007. 532 p.

TORRES, Carlos Magno A. et al. **Física Ciência e Tecnologia: Termologia. Óptica, Ondas**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013. 2 v.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKE, Luiz Felipe. **Física para o Ensino Médio**: Termologia - Óptica - Ondulatória. 3. ed. 2013: Editora Saraiva, 2013. 432 p.