

Refração da luz

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná
Campus Irati

8 de Fevereiro de 2021

Sumário

- 1 A lei de Snell
- 2 Dispersão da luz
- 3 Lentes esféricas (em construção)
- 4 Aplicações
- 5 Apêndice

O que é refração

O fenômeno de refração consiste na mudança da direção do feixe de luz em virtude da mudança da sua velocidade de propagação ao passar de um meio para outro.

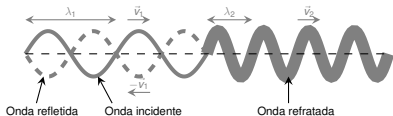
Corollary

O fato da luz se refletir e se refratar, obedecendo às mesmas leis observada nas reflexão e refração de uma onda, são evidências de que a luz é uma onda e possui comportamento ondulatório.

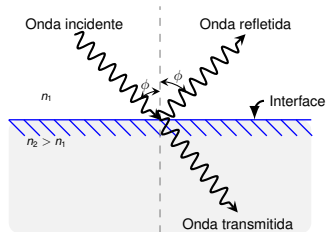


Refração da luz na água.

Analogia com ondas na corda



Reflexão e refração da onda numa corda.



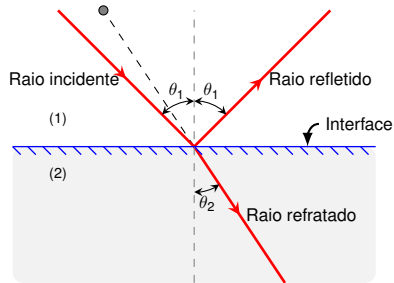
Reflexão e refração dos raios de luz.

Corollary

A luz como qualquer onda apresenta certos fenômenos ondulatórios, como reflexão, refração, difração e interferência.

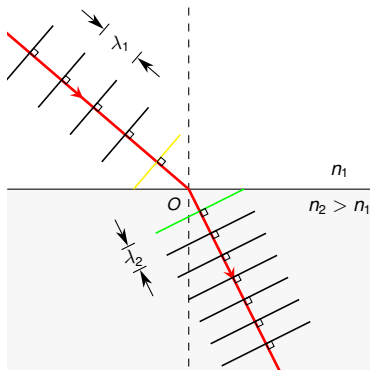
As leis da refração

- ✓ Os ângulos de incidência θ_i e refração θ_r encontram-se no mesmo plano, chamado plano de incidência;
- ✓ Os ângulos de incidência e refração não são iguais entre si;
- ✓ O ângulo de refração será menor que o ângulo de incidência se a velocidade da luz no meio 2 for menor do que no meio 1.

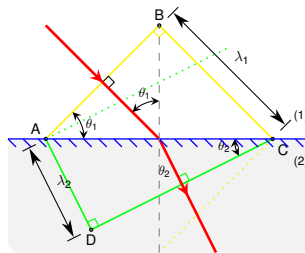


Reflexão e refração dos raios de luz.

Variação do comprimento de onda com a refração



λ diminui quando a luz é refratada.



Frentes de onda na interface.

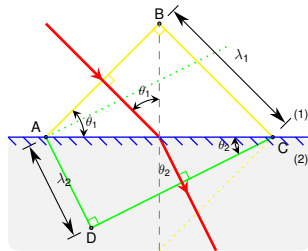
Aplicando a trigonometria para definir a relação entre θ e λ

Na figura ao lado vemos que o triângulo ABC é retângulo, onde o ângulo do vértice BÂC é igual ao ângulo de incidência. Usando a lei dos senos encontramos

$$\overline{BC} = \lambda_1 = \overline{AC} \text{sen}(\theta_1).$$

Da mesma maneira, o triângulo ADC também é retângulo, onde

$$\overline{AD} = \lambda_2 = \overline{AC} \text{sen}(\theta_2).$$



Frentes de onda na interface.

Lei de Snell

Temos assim

$$\lambda_1 = \text{sen}(\theta_1),$$

$$\lambda_2 = \text{sen}(\theta_2).$$

Dividindo os dois lados da equação temos

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)}.$$

Sabemos que na onda a relação entre comprimento de onda e velocidade é dado por $v = \lambda f$, onde f é a frequência

que não se altera quando a onda atravessa de um meio ao outro, portanto

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)}.$$

Se o meio 1 for o vácuo ou ar temos $v_1 = c$, ou seja,

$$\boxed{\frac{c}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\text{sen}(\theta_{ar})}{\text{sen}(\theta_2)}}.$$

Índice de refração

No caso da luz atravessando do ar para um meio mais refrigente temos a relação

$$\frac{c}{v} = \frac{\text{sen}(\theta_{ar})}{\text{sen}(\theta)}.$$

Se definirmos $n = c/v$ como a fração da velocidade da luz que diminui ao atravessar o meio temos

$$n = \frac{\text{sen}(\theta_{ar})}{\text{sen}(\theta)}.$$

Para uma onda que atravessa dois meios

com índices de refração diferentes temos

$$\begin{aligned} \frac{v_1}{v_2} &= \frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)}, \\ \left(\frac{c}{v_2}\right) &= \frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)}, \end{aligned} \quad \begin{array}{c} \boxed{} \\ \times \frac{c}{c} \\ \left(\frac{c}{v_1}\right) \end{array}$$

Lei de Snell

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)}, \quad (n > 1).$$

Reflexão total

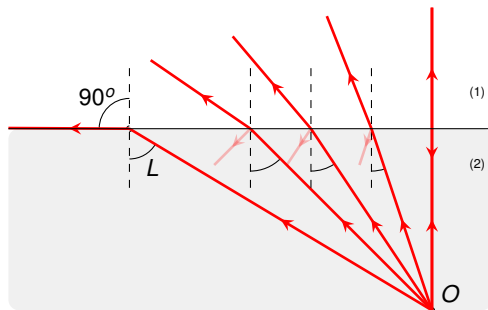
Aplicando a Lei de Snell temos

$$n_2 \operatorname{sen}(L) = n_1 \overbrace{\operatorname{sen}(90^\circ)}^1,$$

$$\operatorname{sen}(L) = \frac{n_1}{n_2}.$$

Ângulo de reflexão total da luz

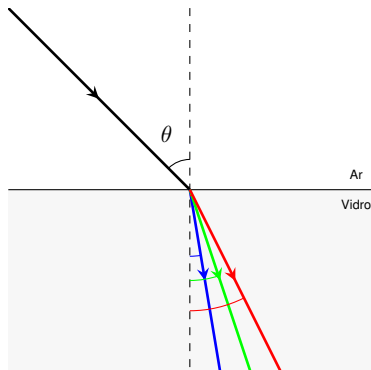
$$L = \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \right), \quad (n_2 > n_1).$$



Reflexão total da luz.

Relação entre o índice de refração e a cor da luz

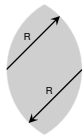
- ✓ Cada cor no espectro de luz visível é caracterizada por uma frequência em um comprimento de onda específico;
- ✓ A luz branca é a combinação de várias cores com comprimentos de onda diferentes;
- ✓ Cada cor terá velocidades diferentes após a refração, o que faz com que elas também tenham ângulos de refração diferentes.



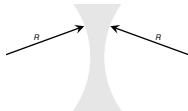
Dispersão dos raios de luz.

Tipos de lentes esféricas

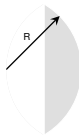
Uma lente é constituída por duas faces curvas, geralmente esféricas.



Biconvexa.



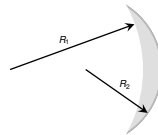
Bicôncava.



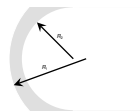
Plano-convexa.



Plano-côncava.



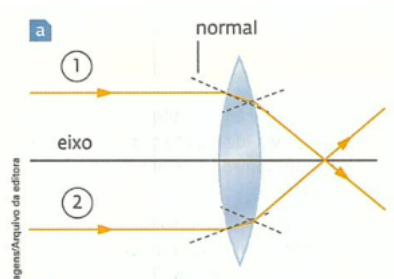
Côncavo-convexa.



Convexo-côncava.

Lentes convergentes

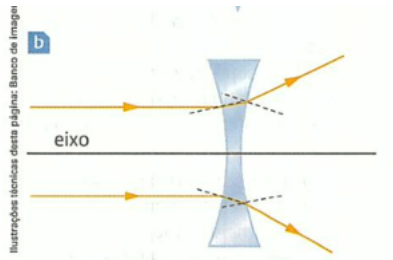
Um raio paralelo ao incidir em uma lente biconvexa, se refrata aproximando o feixe da normal. Ao emergir torna-se a se refratar, afastando-se da normal. Como resultado temos um feixe convergindo para o foco da lente.



Lente convergente.

Lentes divergentes

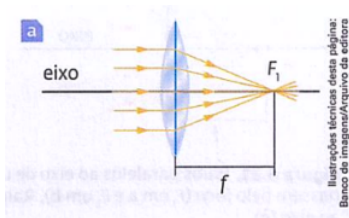
No caso de uma lente bicôncava, se os raios paralelos incidir na lente, ela irá refratar e, assim como na lente biconvexa, se aproximar da normal. Refratando novamente de volta para o meio, os raios de luz irão se afastar da normal, e o resultado será um feixe de luz divergindo de um foco.



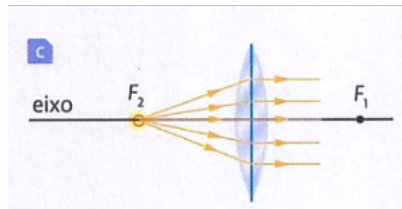
Lente divergente.

Focos de uma lente convergente

Um feixe de luz incidente paralelo ao eixo, irá atravessar a lente convergindo em um ponto chamado foco, e a distância entre o foco e a lente é chamado de distância focal. De maneira semelhante teremos se um feixe de luz sair de um foco da lente, ele irá atravessá-la emergindo paralelamente ao eixo.



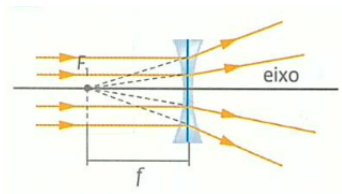
Feixe de luz emergindo no foco F_1 .



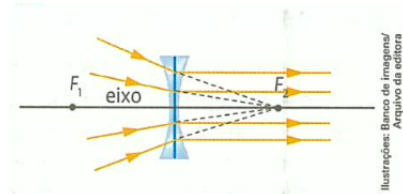
Feixe de luz emergindo paralelamente ao eixo.

Focos de uma lente divergente

Um feixe de luz incidente paralelo ao eixo, irá atravessar a lente divergindo da lente, e seus prolongamentos se encontram no foco da lente. De maneira semelhante teremos se um feixe de luz incidir na lente, de modo que os seus prolongamentos se encontram no foco, os raios de luz irão emergir paralelamente ao eixo.

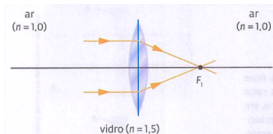


Feixe paralelo com os seus prolongamentos convergindo no foco F_1 da lente.

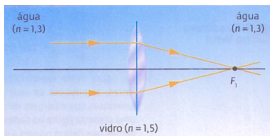


Feixe com os prolongamento convergindo no foco da lente.

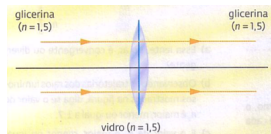
A relação entre a distância focal e o meio que envolve a lente



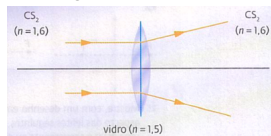
Índice de refração do meio menor que o vidro.



Índice de refração do meio maior que o ar.

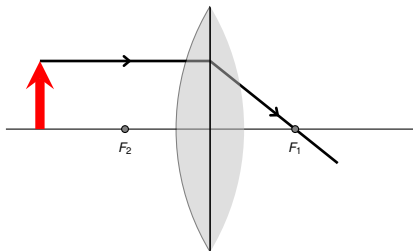


Índice de refração do meio igual ao do vidro.

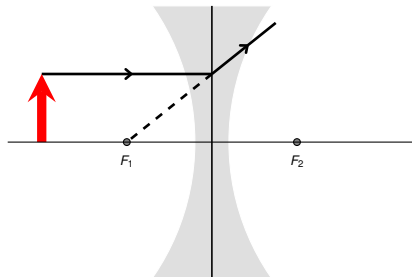


Índice de refração do meio maior que do vidro.

Raios principais e formação da imagem em um lente

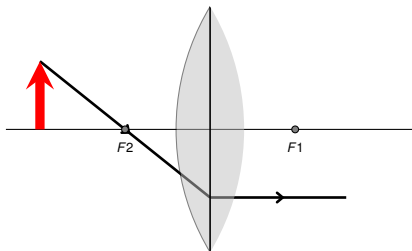


Raio paralelo incidindo em uma lente convergente.

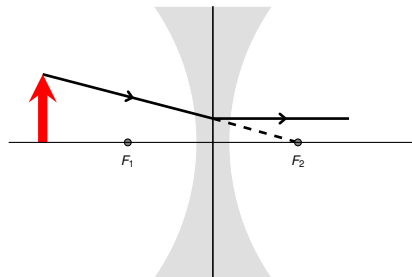


Raio paralelo incidindo em uma lente divergente.

Raios principais e formação da imagem em um lente



Raio emergindo paralelamente ao eixo após atravessar uma lente convergente.



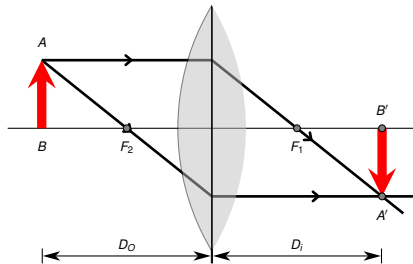
Raio emergindo paralelamente ao eixo após atravessar uma lente divergente.

A equação das lentes

Usando o raciocínio semelhante àquele utilizado em espelhos esféricos, é possível demonstrar que a equação das lentes obedece a mesma relação utilizada na equação dos espelhos.

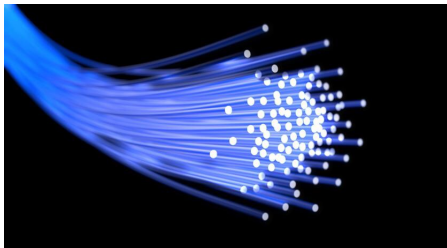
Obedecendo a convenção de sinais e considerando que f será positiva se for convergente e negativa se for divergente, teremos

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I},$$
$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{D_I}{D_O}.$$

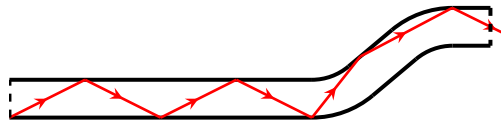


Objeto e imagem em uma lente convergente.

Fibra óptica



Fibra óptica.



Funcionamento de uma fibra óptica.

Corollary

Na fibra óptica os raios de luz permanecem no seu interior, não importando o quanto ela se dobre sobre si mesma.

Transformar um número em notação científica

Corollary

Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.

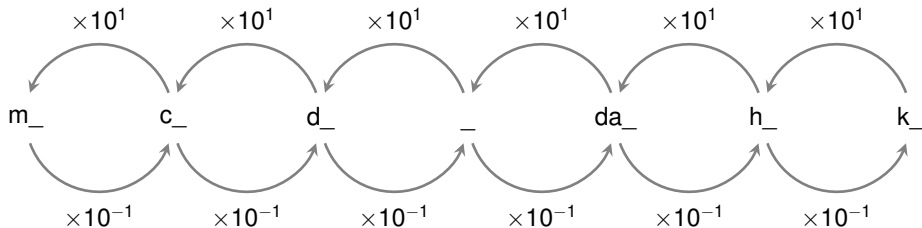
Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.

Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.

Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

Conversão de unidades em uma dimensão

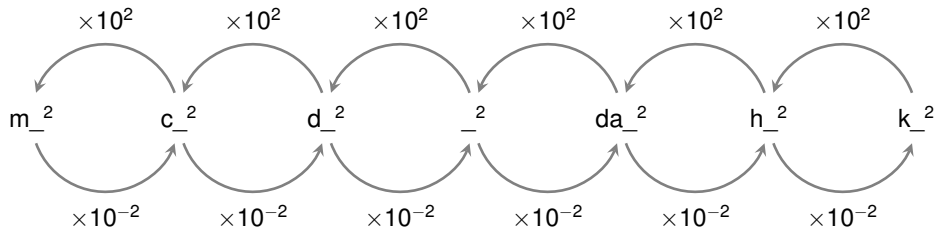


$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ kg} = 2,5 \times 10^{(1) \times 6} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mg}$$

$$10 \text{ ms} = 10 \times 10^{(-1) \times 3} \text{ s} \rightarrow 10 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Conversão de unidades em duas dimensões

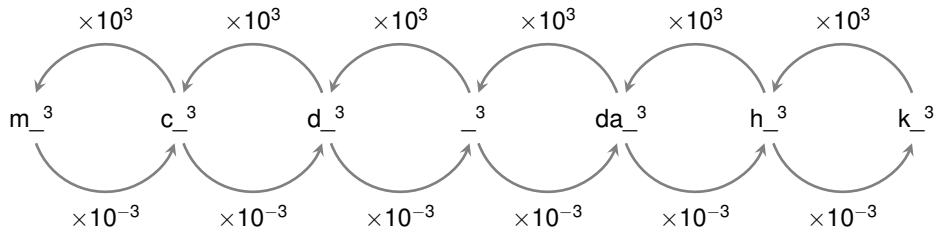


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \text{ ms}^2 = 10 \times 10^{(-2) \times 3} \text{ s}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ s}^2$$

Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$2,5 \text{ km}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 6} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^{18} \text{ mm}^3$$

Alfabeto grego

Alfa	A	α	Ni	N	ν
Beta	B	β	Csi	Ξ	ξ
Gama	Γ	γ	ômicon	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsílon	E	ϵ, ε	Rô	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Teta	Θ	θ	Ípsilon	Υ	v
Iota	I	ι	Fi	Φ	ϕ, φ
Capa	K	κ	Qui	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mi	M	μ	Ômega	Ω	ω

Referências e observações¹

 A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.2, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)

Esta apresentação está disponível para download no endereço
<https://flavianowilliams.github.io/education>

¹ Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.