

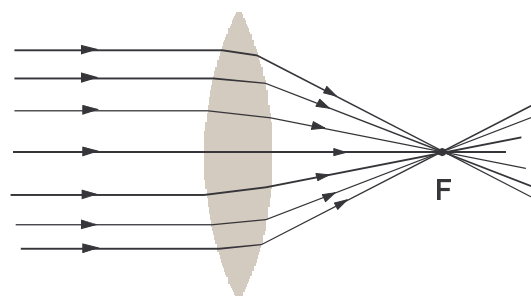
Notas de aula e 3ª Série de Exercícios

ÓPTICA GEOMÉTRICA

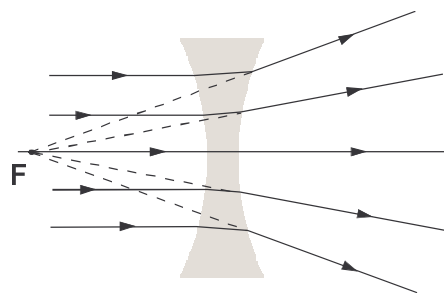
1. LENTES

(I) Uma lente usa a refração da luz para criar imagens de objetos com aumento ou diminuição, ou colimação de feixes luminosos.

Observe como a lente *convergente* ao lado concentra os raios luminosos que chegam da esquerda, paralelos ao eixo, em um único ponto F (foco) à direita:



O efeito de uma *divergente* está ilustrado ao lado. Os raios que chegam da esquerda, paralelos ao eixo, parecem emanar de um único ponto F (foco) que está também à esquerda da lente.

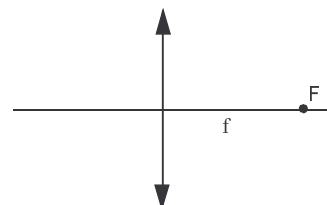


O foco de uma lente convergente é *real* (pode ser projetado em uma tela), ao passo que o foco de uma lente divergente é *virtual* (não pode ser projetado sobre uma tela).

Uma lente é *delgada* quando sua espessura é pequena comparada com os raios de curvatura das faces.

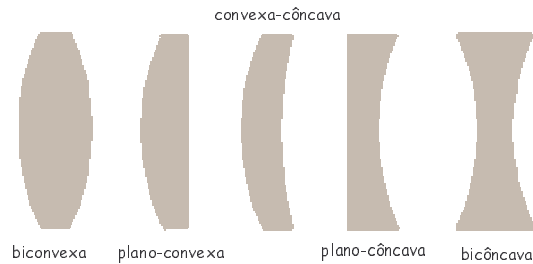
Lentes delgadas convergentes são desenhadas pelo símbolo  , e as divergentes 

(II) A distância focal f é definida como a distância do foco F ao eixo vertical da lente. Por convenção, $f > 0$ para lentes convergentes e $f < 0$ para lentes divergentes.



O inverso da distância focal é chamado de *vergência* ou *convergência* da lente. Se f é medido em metros, então a unidade de vergência é o m^{-1} , chamada de *dioptria* (di). Por exemplo, uma lente convergente com $f = 50\text{cm}$ tem 2di , e uma lente divergente com $f = -80\text{cm}$ tem $-1,25\text{di}$.

(III) As lentes são classificadas também pelo tipo de curvatura das faces. Uma face é convexa quando, aumentando sua curvatura (diminuindo o raio dessa face), a lente fica mais espessa. Note que uma face plana tem raio de curvatura “infinito”.



(IV) A distância focal de uma lente depende dos raios de curvatura de suas faces e do material de que é feita. O astrônomo inglês Halley (1656-1742) propôs um fórmula que hoje é conhecida como a “fórmula dos fabricantes de lentes” :

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

, onde f é a distância focal (positiva para lentes convergentes, negativa para divergentes)

n_2 é o índice de refração do material da lente

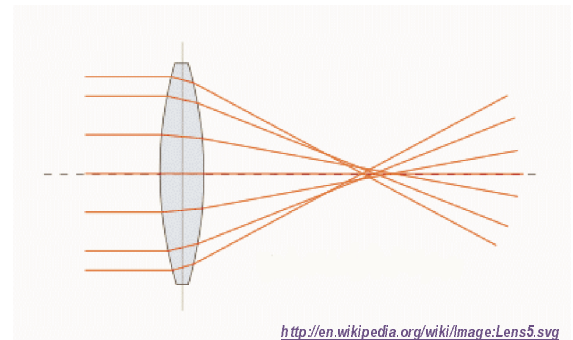
n_1 é o índice de refração do meio que envolve a lente

R_1 e R_2 são os raios de curvatura das faces (positivo se a face é convexa, negativo se é côncava)

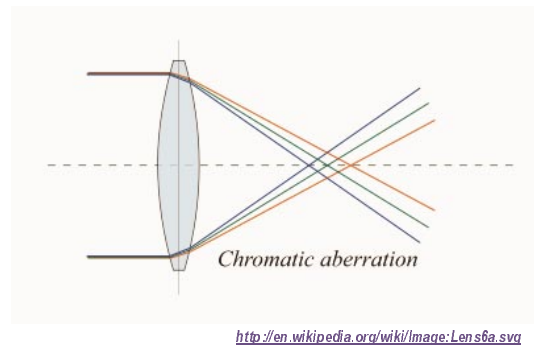
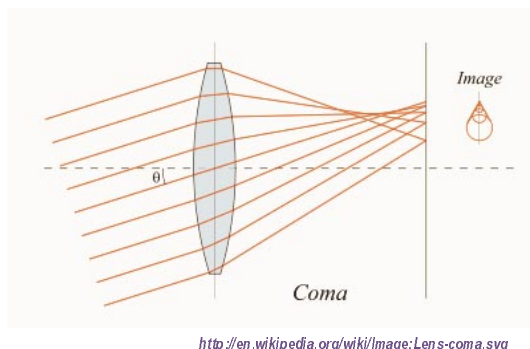
Exercício 1: Encontre a distância focal e a vergência de cada uma das cinco lentes ilustradas no item (III) acima, supondo que o raio de curvatura das superfícies convexas é 50cm, o das superfícies côncavas é 40cm, e as lentes são feitas de vidro com índice de refração 1,5. As lentes são usadas no ar ($n \approx 1$).

Resp: 50cm, 2di ; 1m, 1di ; -4m, -0,25di ; -80cm, -1,25di ; -40cm, -2,5di

(V) As lentes esféricas apresentam distorções (aberrações) ao formar as imagens. Os efeitos de aberração são pequenos para raios de luz que incidem paralelos e próximos ao eixo principal da lente. Note, na figura ao lado, que os raios de luz paralelos que incidem da esquerda não definem exatamente um único ponto (foco) à direita.

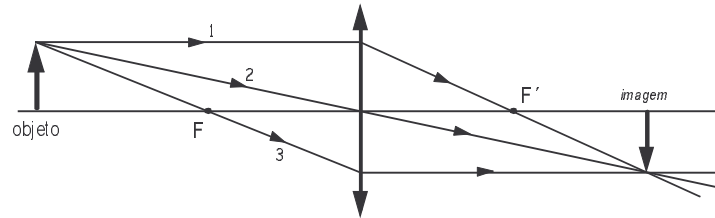


Outros tipos de distorções são o coma e a aberração cromática, como ilustrado abaixo.

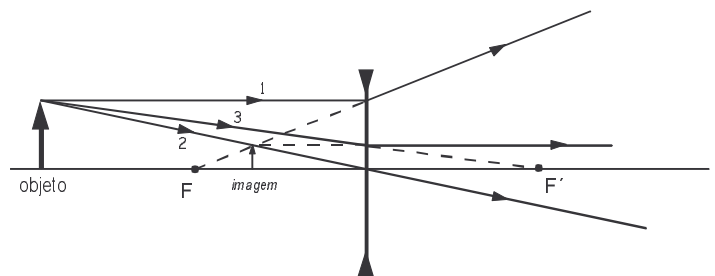


(VI) O efeito de uma lente pode ser aproximadamente previsto se desprezarmos as aberrações. As lentes delgadas possuem um par de focos conjugados (F e F'), equidistantes da mesma.

Para se encontrar a posição da imagem de um objeto simples, desenhemos raios de luz considerando que (1) raios que incidem paralelos ao eixo da lente saem dela numa direção que passa por um dos focos; (2) raios de luz que incidem numa direção que passa pelo ponto central, ou centro óptico, da lente, não sofrem desvio, e (3) raios que incidem numa direção que passa por um dos focos da lente emergem paralelos ao eixo principal.

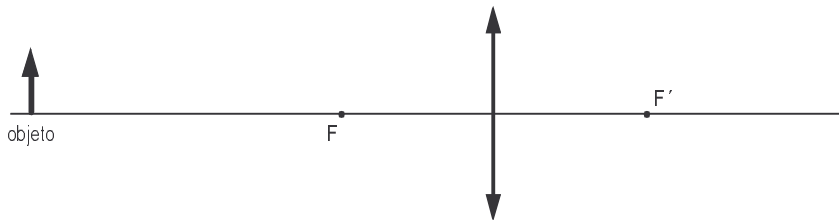


uma lente convergente formando uma imagem real de um objeto

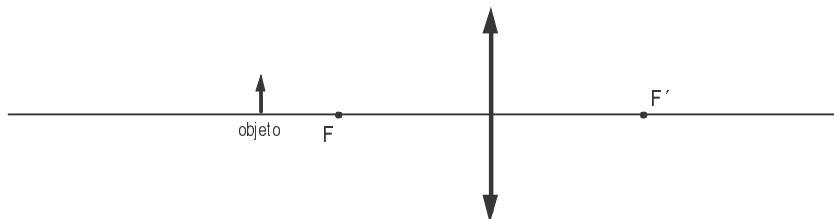


uma lente divergente formando uma imagem virtual de um objeto

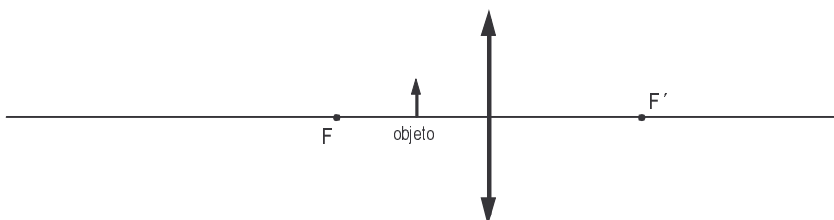
Exercício 2: Em cada um dos casos, esboce a imagem do objeto criada pela lente. Verifique se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida, maior ou menor que o objeto.



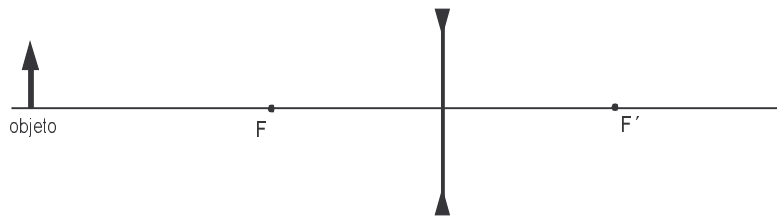
Resp: real, invertida e menor



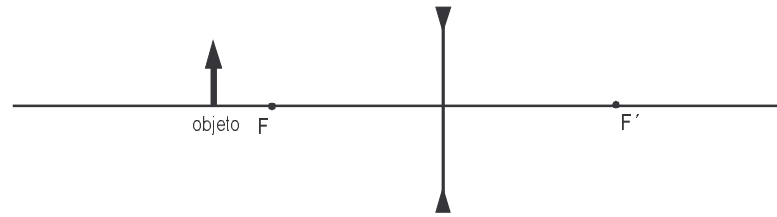
Resp: real, invertida e maior



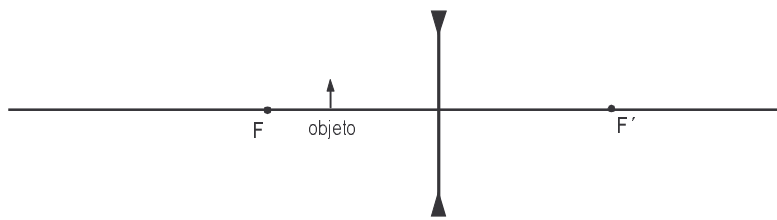
Resp: virtual, direita e maior



Resp: virtual, direita e maior



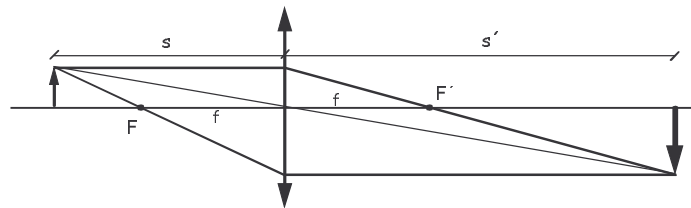
Resp: virtual, direita e maior



Resp: virtual, direita e menor

(VII) As posições do objeto e da imagem, quando ambos estão próximos do eixo principal da lente, estão relacionadas com a distância focal pela equação da lente:

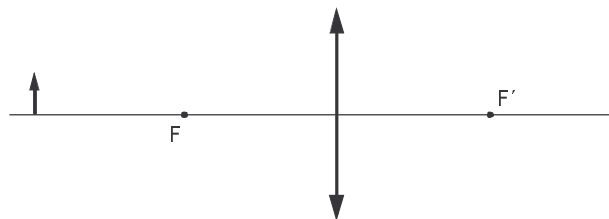
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$



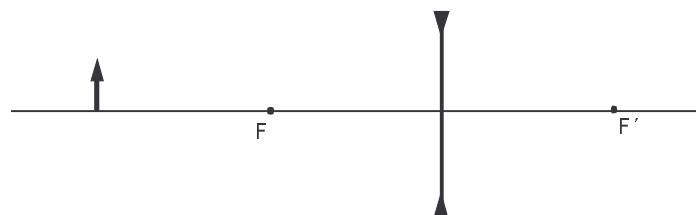
Note também que os tamanhos do objeto e da imagem estão na razão $\frac{s}{s'}$

Essas relações são válidas para lentes convergentes e divergentes, e também para imagens virtuais, contanto que se observem certas convenções de sinal.

Exercício 3: (a) Verifique, tanto graficamente quanto pela equação da lente, que se um objeto é colocado a uma distância $2f$ de uma lente convergente, sua imagem tem o mesmo tamanho.

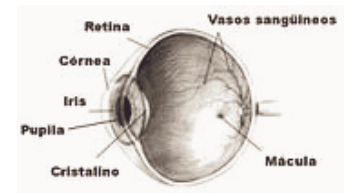


(b) Verifique, tanto graficamente quanto pela equação da lente, que se um objeto é colocado a uma distância $2f$ de uma lente divergente, sua imagem tem um terço de seu tamanho. Para se utilizar a equação corretamente, a distância focal de uma lente divergente é considerada como negativa, e a posição de uma imagem virtual é também um número negativo.



2. O OLHO HUMANO

fontes: <http://pt.wikipedia.org>
<http://educar.sc.usp.br/optica>



http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Human_eye.jpg

(VII) O *crystalino* é uma lente natural, que focaliza a imagem na *retina*, onde se encontram células sensíveis à luz: os *cones* e os *bastonetes*.

O número de cones em cada olho varia de 6 a 7 milhões. Eles são altamente sensíveis a cores. Os seres humanos podem discernir pequenos detalhes com esses cones porque cada um deles é conectado à sua própria fibra nervosa. O número de bastonetes é cerca de 75 a 150 milhões, distribuídos sobre a superfície da retina. Os bastonetes servem para dar uma visão geral de campo. Eles não estão envolvidos em visão colorida e são sensíveis a baixos níveis de iluminação.

A *fóvea* é a região da retina onde se encontram a maioria dos cones. Os músculos que controlam o olho posicionam o mesmo de modo que a imagem do objeto desejado incida sobre a fóvea. A intensidade de luz que entra no olho é regulada pela *íris* (que dá a “cor do olho”), cuja abertura central, a *pupila*, é ajustável.

O cristalino funciona como uma lente convergente, governada por um conjunto de músculos que provocam variações nas curvaturas de suas faces, e conseqüentemente na distância focal. Para uma determinada posição do objeto, os músculos ajustam a distância focal do cristalino para que a imagem seja formada sobre a retina. Essa propriedade do olho é denominada *acomodação visual*.



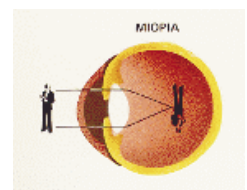
http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Focus_in_an_eye.svg

Uma pessoa de visão normal pode focalizar objetos situados desde uma distância média convencional de 25 cm (posição conhecida como *ponto próximo*) até o infinito.

Exercício 4: O diâmetro do olho humano é de aproximadamente 20mm. Utilize as equações que discutimos para as lentes e verifique se a figura que ilustra a acomodação visual, logo acima, está correta. O cristalino fica mesmo mais abaulado (arredondado) quando focalizamos objetos que estão próximos, e mais alongado quando focalizamos objetos que estão distantes?

(VIII) Defeitos da visão

A pessoa que possui miopia tem o globo ocular um pouco mais alongado que o normal. Nesse caso a imagem se forma antes da retina e a pessoa não enxerga o objeto com nitidez. Para corrigir a miopia usa-se lente divergente para diminuir a convergência dos raios luminosos, fazendo com que a imagem se forme sobre a retina.



As pessoas que apresentam hipermetropia, ao contrário da miopia, apresentam o globo ocular mais curto que o normal, fazendo com que a imagem se forme atrás da retina. Para corrigir a hipermetropia usa-se uma lente convergente para aumentar a convergência dos raios fazendo com que imagem se forme exatamente sobre a retina.



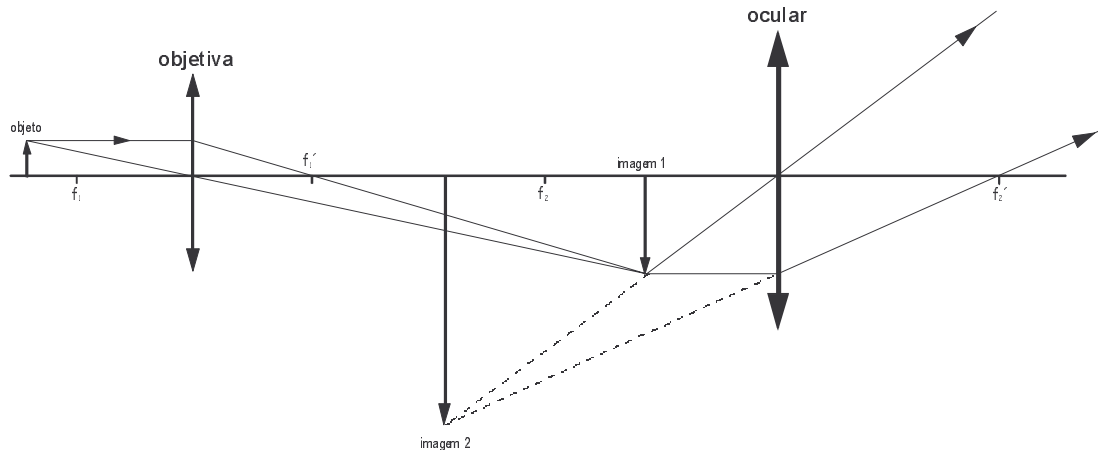
A presbiopia, ou "vista cansada", ocorre quando a pessoa vai envelhecendo. O cristalino vai perdendo a elasticidade e a pessoa fica com dificuldade para enxergar de perto. A imagem do objeto se forma depois da retina como na hipermetropia. Para corrigir, é utilizada uma lente convergente.

3. ALGUNS INSTRUMENTOS ÓPTICOS

fonte: <http://educar.sc.usp.br/optica>

(IX) O microscópio

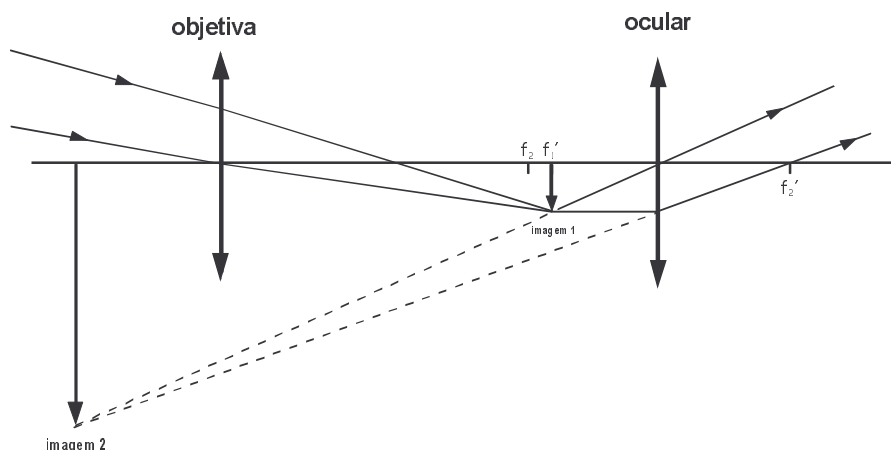
A objetiva, próxima ao objeto, tem uma distância focal pequena, da ordem de milímetros, e fornece do objeto uma primeira imagem real e invertida. Esta imagem serve como objeto para a ocular, que fornece uma imagem final virtual, maior e invertida com relação ao objeto.



O aumento linear do microscópio é igual ao produto do aumento linear transversal da objetiva pelo aumento linear transversal da ocular.

Os aumentos dos microscópios óticos variam entre 300 e 2000 vezes. Não pode ser maior do que estes valores porque, quando as dimensões a serem observadas forem da ordem do comprimento de onda da luz, a difração torna-se importante, fazendo com que se perca a nitidez da imagem.

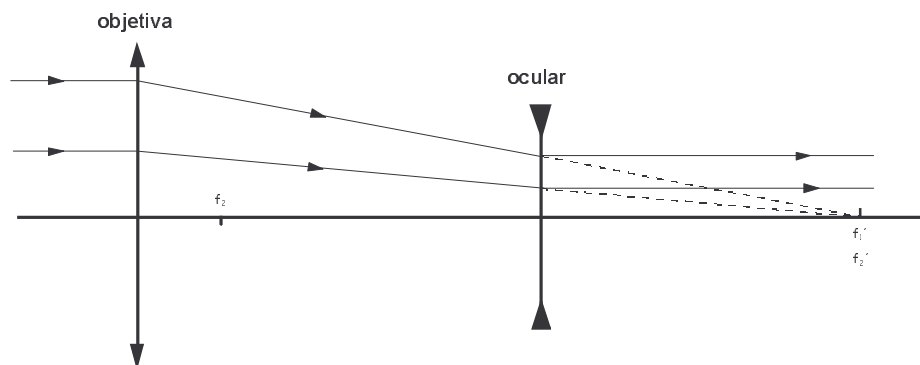
(X) A luneta astronômica



A luneta astronômica tem, como o microscópio, duas lentes convergentes. A objetiva, ao contrário do microscópio, apresenta grande distância focal. A objetiva forma a imagem de um objeto distante sobre seu foco e esta imagem vai servir como objeto para a ocular, que fornece a imagem final (virtual e invertida). Observe que os focos da ocular e da objetiva praticamente coincidem. A desvantagem da luneta astronômica para observar objetos terrestres é que ela fornece uma imagem invertida.

(XI) A luneta terrestre

Para se obter uma imagem direita, a luneta Galileiana utiliza uma lente divergente como ocular, posicionada aproximadamente a meio caminho do foco da objetiva.



Fazendo com que a posição de um dos focos da ocular coincida com a posição do foco da objetiva, obtém-se um feixe de raios paralelos na saída da luneta; relaxando a vista, o observador consegue focalizar uma imagem de tamanho maior que o tamanho aparente do objeto real.

(XII) Fibras ópticas

fonte: <http://pt.wikipedia.org>

Uma fibra óptica é um filamento, de vidro ou de materiais poliméricos, com capacidade de transmitir a luz. Estes filamentos têm diâmetros variáveis, dependendo da aplicação, indo desde diâmetros ínfimos, da ordem de micra (mais finos que um fio de cabelo) até vários milímetros. A transmissão da luz pela fibra segue um mesmo princípio, independentemente do material usado ou da aplicação: é lançado um feixe de luz em uma extremidade da fibra, que percorre a fibra através de consecutivas reflexões. A fibra possui no mínimo duas camadas: o núcleo e o revestimento. O núcleo possui sempre um índice de refração mais elevado que o revestimento, e então a luz pode ser propagada por reflexão total, minimizando as perdas. A fibra óptica foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kanpany.



REFERENCIAS

1. Jenkins, F.A. and White, H.E. *Fundamentals of Optics*, 4ª ed., McGraw-Hill, 1976
2. <http://pt.wikipedia.org>
3. <http://educar.sc.usp.br/optica>
4. Ramalho Jr., F.; Ferraro, N.G. e Soares, P.A.T. *Os Fundamentos da Física*, Vol.2 (6ª ed.). Editora Moderna, 1993.
5. Keller, F.J.; Gettys, W.E. e Skowe, M.J. *Física*, Vol.2, Makron, 1999