

T3 - Refração da luz, lentes e princípio de funcionamento de um microscópio.

1. Objetivo

Pretende-se com este trabalho verificar quantitativamente a lei da refração da luz e perceber a sua aplicação na construção de lentes. Procurar-se-á também compreender qualitativamente o conceito de aberração esférica. O trabalho prático comporta ainda a construção de um sistema ótico simples com apenas duas lentes na configuração mais elementar de microscópio.

2. Preparação do trabalho prático

Antes de realizar o trabalho prático deve ter compreendido alguns conceitos e leis da ótica geométrica a seguir indicados. Para isso recomenda-se a leitura de alguns capítulos ou secções do livro "Óptica" de Eugene HECHT (os números dos capítulos referem-se à tradução portuguesa, Edição Fundação Calouste Gulbenkian, 1991):

Cap 4 - A propagação da luz (pág. 86 e seg. - Lei de Snell e Reflexão Interna Total)

Cap 5 - Ótica Geométrica - Teoria Paraxial (pág. 138 e seguintes - Limite paraxial e lentes).

Cap 5 - Ótica Geométrica - Teoria Paraxial - secção 5.7.5 (pág. 202 a 205)

3. Leis de refração e reflexão da luz

A direção de propagação da luz muda abruptamente quando esta atravessa a fronteira que divide dois meios onde a sua velocidade de propagação é distinta, como por exemplo o ar/acrílico ou vidro/água. A este fenómeno dá-se o nome de **refração da luz**.

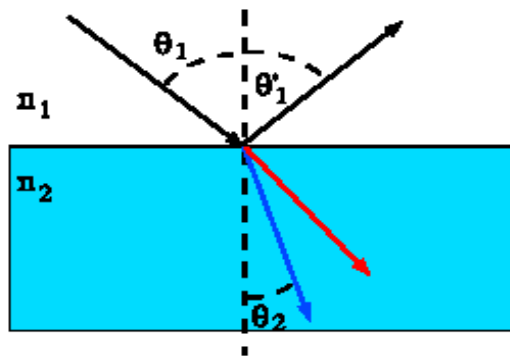


Figura 1- Os feixes incidente, refletido e refratado propagam-se todos no mesmo plano. Na reflexão, o ângulo de incidência é igual ao de reflexão, $\theta_i = \theta'_i$, enquanto que para a refração se verifica a lei de Snell (Eq. 1). Assim, se $n_1 < n_2$, $\theta_1 > \theta_2$ e vice-versa.

Nesta situação, parte da luz é também refletida tal como mostra a Figura 1 (existe, no entanto, uma exceção a esta regra para um determinado estado de polarização da luz e ângulo de incidência). Na reflexão da luz, os ângulos de incidência θ_1 e de reflexão θ_1' (medidos em relação à direção normal à fronteira entre os dois meios) são iguais.

Uma lei bastante simples caracteriza a direção da luz do raio refratado. Esta lei é conhecida por lei de Snell:

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

As quantidades n_1 e n_2 são "constantes" que se designam por índice de refração e que caracterizam a velocidade de propagação da luz em cada um dos meios. Em concreto, esta quantidade é igual ao quociente entre c , a velocidade de propagação da luz no vácuo e v , essa mesma velocidade num determinado meio. Na expressão anterior, θ_2 é o ângulo de refração (ver Figura 1).

As leis da reflexão e refração da luz são a base de toda a ótica geométrica. Em particular, são estas leis que permitem compreender os fenómenos óticos que ocorrem nas lentes e construir instrumentos óticos a partir delas. Este trabalho experimental começa com experiências simples em que se pretende verificar a lei da refração e medir o índice de

refração n do acrílico, material de que é feita a lente cilíndrica a utilizar. Depois estuda-se o efeito que uma lente tem sobre feixes de luz nela incidentes. Finalmente constrói-se um sistema ótico com duas lentes para ilustrar o princípio de funcionamento do microscópio.

4. Dispositivo experimental

Neste trabalho será utilizado um dispositivo experimental constituído por uma calha ótica, uma fonte de luz baseada numa lâmpada incandescente e diversos elementos óticos.

Lista do equipamento a utilizar:

- Calha ótica
- Fonte de luz
- Base rotativa
- Suporte universal de componentes
- Máscara com "fenda simples"
- Máscara tipo "pente"
- Lente de colimação
- Lente cilíndrica
- Lentes esféricas de 75mm e 150mm de distância focal
- ecrã

5. Procedimento experimental

5.1. Medida do ângulo de refração ar/acrílico

Na calha ótica monte a fonte de luz, plataforma rotativa e máscaras como se mostra na Figura 2. Depois de ligar a fonte de luz, ajuste a posição relativa das duas máscaras de forma a se obter apenas um único raio de luz a passar pelo centro da plataforma rotativa.

De seguida coloque a lente cilíndrica em cima da plataforma rotativa, centrada com esta e com a superfície plana alinhada pela linha radial que indica 90° (ver Figura 2).

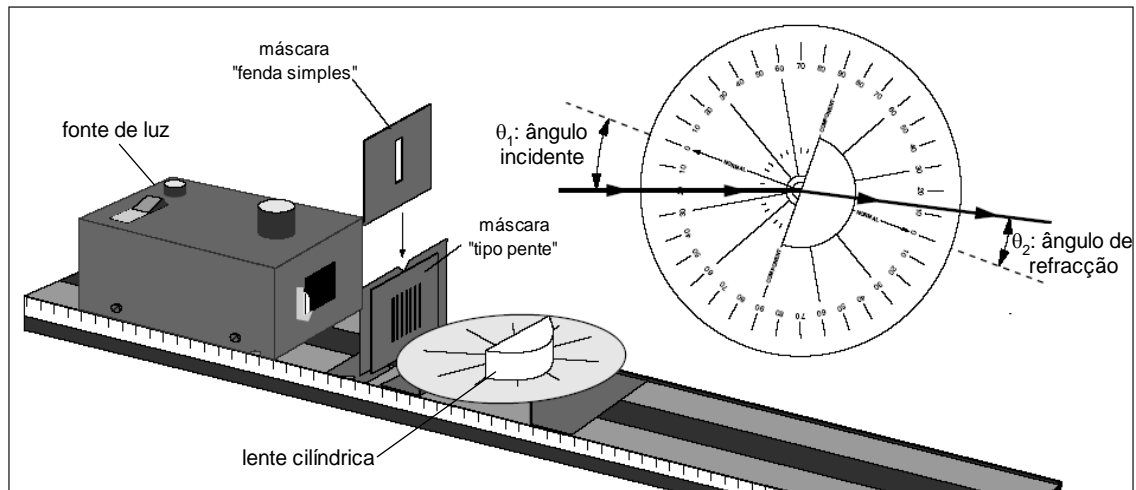


Figura 2 - Dispositivo experimental usado para medir os ângulos de refração de um feixe de luz que se propaga no ar e é incidente com um determinado ângulo numa superfície plana de uma lente cilíndrica de acrílico. Repare que, se o raio de luz incidente for bem alinhado com o centro da lente, a luz que emerge desta não sofre qualquer refração já que o seu ângulo de incidência na interface lente/ar é zero.

Sem perturbar o alinhamento da lente, gire a plataforma rotativa e registe o ângulo de desvio do raio refratado para vários ângulos de incidência (no mínimo 6).

5.2. Medida do ângulo de refração acrílico/ar

Na experiência anterior estudou-se a relação que existe entre o ângulo de incidência e ângulo de refração para luz que passa do ar para um meio ótico mais denso (a lente cilíndrica de acrílico), isto é, com $n_2 > n_1$.

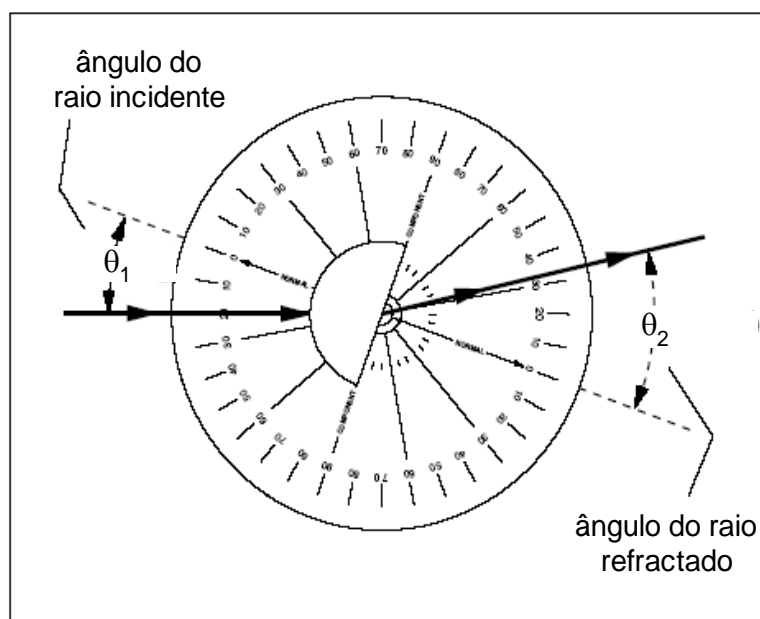


Figura 3 - Configuração experimental para se medir o ângulo de refração para um feixe de luz que se propaga do acrílico para o ar. Como no caso anterior, se se alinhar convenientemente a lente com o eixo de rotação da plataforma rotativa, o feixe não sofre qualquer refração na superfície esférica da lente. Diversamente da situação anterior e porque $\theta_1 < \theta_2$, a refração só é possível até se atingir um valor máximo para o ângulo de incidência θ_1 ao qual corresponde $\theta_2 = 90^\circ$. Assim, para ângulos superiores a este valor, toda a luz é refletida, um fenómeno que se designa por reflexão interna total.

Agora pretende-se estudar o caso oposto onde a luz é refratada quando se propaga da lente para o ar, sendo então neste caso $n_2 < n_1$. Para isso, coloque agora a lente cilíndrica como se mostra na Figura 3: centrada na plataforma mas com a parte esférica virada para o raio de luz incidente. Sem perturbar o alinhamento da lente, gire a plataforma e ajuste o ângulo de incidência para vários valores entre 0° e o ângulo limite para a reflexão interna total (ver legenda da Figura 3). Registe o valor dos correspondentes ângulos de refração. □

5.3. Luz refratada por uma lente: distância focal e aberração esférica.

Após ter compreendido a lei da refração, é agora mais simples perceber como funciona uma lente. Nesta experiência pretende-se estudar a formação de uma imagem usando uma lente cilíndrica. Usar-se-á uma lente cilíndrica (a mesma usada anteriormente) para simplificar o procedimento experimental (resume-se a uma direção espacial). Os resultados obtidos são, no entanto, semelhantes aos que se obteriam se se usasse uma lente esférica, mais comum em instrumentos óticos de formação de imagem (telescópios, microscópios, etc) e usada na parte final deste trabalho.

Monte o equipamento como se mostra na Figura 4. A plataforma rotativa deverá ser montada com o reticulado voltado para cima. Coloque a lente de colimação centrada com a fonte de luz, distanciada desta de forma a se obter um feixe de luz colimado. Após a máscara tipo “pente”, dever-se-á observar uma série de raios de luz colimados (colineares com o reticulado da plataforma).

Ajuste a posição da lente de colimação para que se forme um pente com sete raios luminosos paralelos, com o feixe central alinhado com a linha central do reticulado da plataforma. Coloque depois a lente cilíndrica em cima da plataforma com a sua superfície plana perpendicular aos raios incidentes. Observe o comportamento dos raios de luz refratados, que deverá ser semelhante ao esquematizado na Figura 5 (imagem superior): raios incidentes mais longe do eixo sofrem maior desvio e correspondem assim a menores distâncias focais. Devido a esta variação da distância focal, o uso de lentes esféricas em sistemas óticos de formação de imagem, conduzem ao aparecimento de distorções na imagem (normalmente designado por aberração esférica).

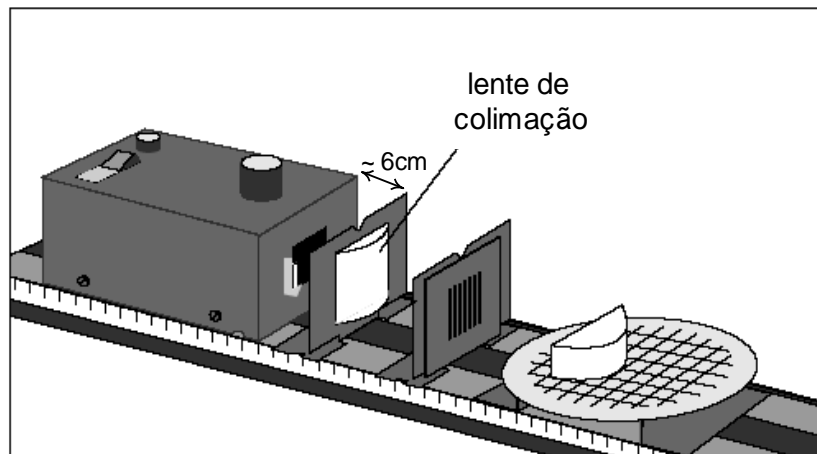


Figura 4 -Esquema da montagem usada para o estudo do comportamento da luz refratada por uma lente cilíndrica.

Para realizar uma experiência quantitativa, meça a "distância focal" para cada um dos raios de luz emergentes da máscara tipo "pente".

Rode depois a lente cilíndrica de 180° de modo a que os raios incidam na superfície curva. Observe o comportamento dos raios de luz refratados, que deverá ser semelhante ao esquematizado na Figura 5 (imagem inferior). Veja a legenda da figura 5 para compreender a diminuição da aberração quando se passa da primeira configuração para a segunda configuração.

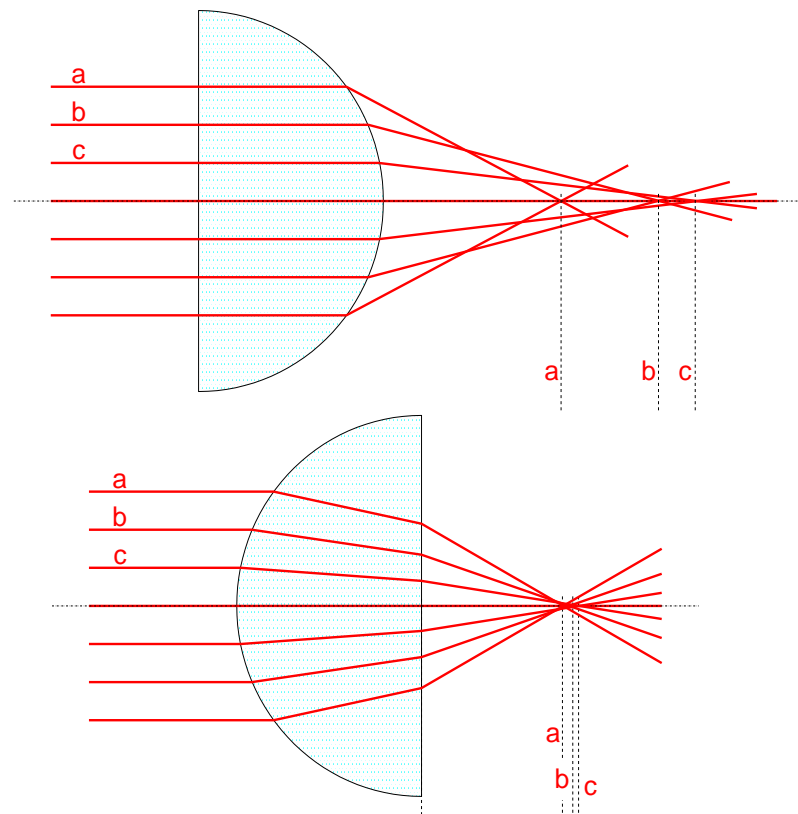


Figura 5 - Representação dos raios de luz refratados por uma lente cilíndrica quando incidentes na sua superfície plana (imagem superior) e quando incidente na superfície circular (imagem inferior). Note que a variação na distância focal no caso esquematizado em baixo, i.e., a aberração esférica, é muito menor. A explicação para este facto é simples: a aberração diminui quando o desvio dos raios de luz é conseguido através de duas refrações e, por isso, com menores ângulos, mais perto do regime paraxial.

5.4. Princípio de funcionamento do microscópio

Apesar de serem normalmente instrumentos bastante complexos quanto à ótica utilizada, um microscópio elementar pode ser construído com apenas duas lentes, tal como se mostra na montagem esquematizada na Figura 6.

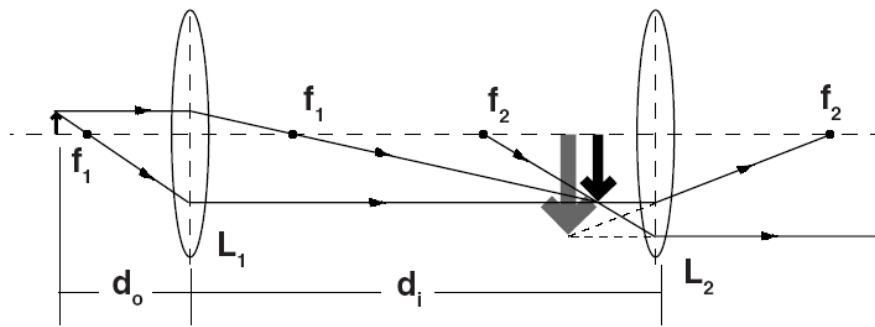


Figura 6 - Configuração do dispositivo experimental para estudar o princípio de funcionamento do microscópio.

A lente mais próxima do objeto, L_1 , designa-se por objetiva enquanto que L_2 , a lente por onde observamos a imagem ampliada, toma o nome de ocular. O objeto a observar deverá ser colocado a uma distância maior ou igual a f_1 , a distância focal de L_1 . A ampliação combinada das duas lentes é dada por:

$$M = (d_i/d_0) (25 \text{ cm}/f) \quad (2)$$

onde d_i e d_0 são as distâncias indicadas na Figura 7, f é a distância focal da objetiva e 25 cm corresponde à distância do ponto próximo do olho humano.

Disponha as lentes como indicado na Figura 7. Use as lentes com comprimentos focais de 75 e 150 milímetros como objetiva e ocular, respetivamente. Comece por colocar a lente objetiva à distância de aproximadamente 150 milímetros do objeto (o ecrã de observação). Olhando através da ocular, ajuste a sua posição até observar uma imagem claramente focada da escala do ecrã de observação. Meça as distâncias relativas entre o objeto e a objetiva e entre a objetiva e a ocular.

Sempre a olhar através da ocular, mova lentamente a lente objetiva para mais perto do ecrã de observação. Ajuste novamente a posição da ocular para focar a imagem e repita a medida das distâncias.

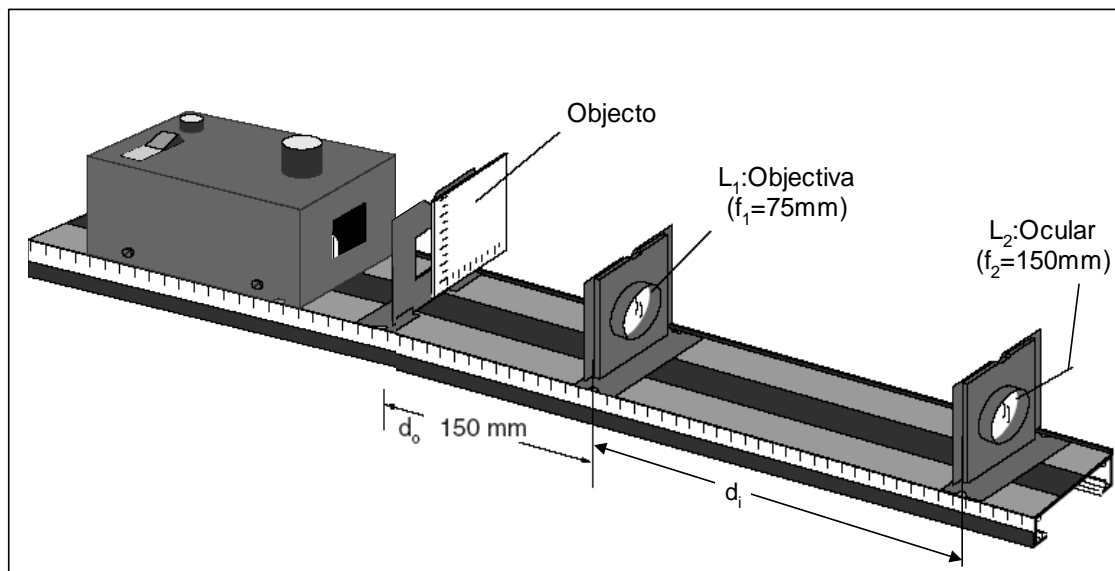


Figura 7 - Configuração do dispositivo experimental para estudar o princípio de funcionamento do microscópio.

6. Resultados

Efetue o tratamento dos dados recolhidos durante as experiências bem como os cálculos necessários para comprovar os fenómenos que estudou neste trabalho.

Analise criticamente todos os resultados obtidos.

Bibliografia

- Hecht E. (tradução Portuguesa da 3ª edição), Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, (1991).

Existem também, entre outras, as seguintes versões:

- Hecht E., Zajac A., *Optics*, Addison-Wesley, 4ª Ed, 2003.
- Hecht E. (tradução Portuguesa da 3ª edição), 2ª ed, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, (2002).