

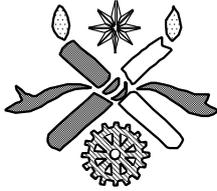
Óptica Geométrica Ocular
Guia dos trabalhos práticos
2009/2010

Sandra Mogo

12 de Maio de 2010

Conteúdo

0	Introdução	5
1	Reflexão, refração e dispersão	7
2	Índice de refração, prismas e reflexão interna total	11
3	Superfícies reflectoras e refractoras	15
4	Telescópio com lentes	19
5	Modelo do olho	23
6	Combinação de lentes e espelhos	25



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR Departamento de Física

Percepção Visual

0 Introdução

Nos laboratórios de Óptica Geométrica Ocular deve realizar um mínimo de 6 trabalhos experimentais com elaboração de um relatório referente a cada trabalho.

Deve possuir um caderno de folhas numeradas e não destacáveis onde anotar todos os dados referentes ao trabalho realizado nessa aula. Em caso de engano, não utilize corrector, risque e anote em frente. De preferência e, sempre que aplicável apresente os valores sob a forma de tabela para facilitar a sua interpretação.

Sugestões:

Antes do laboratório:

- Leia atentamente o manual de laboratório;
- consulte as referências bibliográficas associadas a cada guia de trabalho prático;
- assegure-se de que compreendeu toda a teoria associada ao trabalho antes de iniciar a sua realização experimental.

Durante a realização do trabalho:

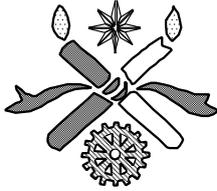
- Esboce um esquema da montagem (sempre que aplicável) anotando todos os valores relevantes para a experiência bem como todos os dados relevantes acerca do material e instrumentação usada. Deve anotar dados suficientes para que alguém que não conheça a experiência consiga reproduzir a montagem;
- anote todas as medições e observações que efectuar, bem como as condições em que foram realizadas;
- anote as medições com toda a precisão que o instrumento de medida lhe permitir, lembre-se que anotar 20 não é o mesmo que anotar 20,0;
- no mínimo deve realizar três leituras para cada parâmetro que medir;
- sempre que possível, efectue cálculos que lhe permitam concluir se os dados que está a obter fazem sentido.

Após a realização do trabalho:

- Apresente os dados de forma a facilitar a sua interpretação, *i.e.*, sob a forma de tabela ou em forma gráfica;
- se os valores teóricos forem conhecidos, não se esqueça de os comparar com os valores que obteve experimentalmente;
- efectue o tratamento de erros de forma a permitir perceber o que fez;
- retire conclusões. Se o objectivo do trabalho era medir um valor, apresente-o juntamente com o valor que calculou para o seu erro e compare-o com o valor que esperava obter;
- se os valores que obteve se afastam dos valores esperados, não atire todas as culpas para os erros nem para a falta de sensibilidade dos aparelhos de medida, tente perceber o que se passou.

Mais algumas recomendações:

- Escreva o seu relatório de forma que se precisar lê-lo daqui a alguns anos seja capaz de perceber o que fez. Não tente explicar-me o que fez, explique-o a si próprio de forma a tornar o relatório um elemento para sua consulta futura;
- seja tão conciso quanto possível, lembre-se que a classificação não é proporcional ao número de páginas entregues;
- se tiver tempo, seja original e criativo, tente melhorar o guia de trabalho prático que seguiu;
- também é boa política efectuar medições e cálculos adicionais que lhe permitam verificar os valores que obteve.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular
Guia do trabalho prático

1 Reflexão, refração e dispersão

Objectivos

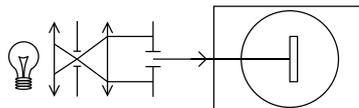
1. Verificação experimental da lei da reflexão;
2. estudar o comportamento dos raios luminosos quando mudam de meio óptico;
3. estudar a dispersão da luz por um prisma óptico.

Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- disco de Hartl;
- espelho plano, espelho côncavo e espelho convexo;
- espelho plano para usar com pó de giz;
- pó de giz;
- lâmina de faces paralelas;
- 2 prismas ópticos;
- lente plano-convexa;
- corpo trapezoidal;
- alvo.

Procedimento

1. Faça incidir um feixe de luz delgado e paralelo tangencialmente ao disco de Hartl, coincidindo com o diâmetro cujas extremidades indicam 0° .
2. Posicione o espelho plano na superfície do disco de Hartl e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.



3. Rode o disco de Hartl de modo a fazer variar o ângulo de incidência entre 0° e 90° e registe numa tabela os valores correspondentes para o ângulo de reflexão.

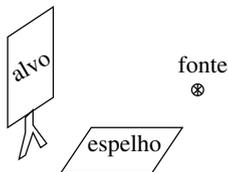
4. Repita o procedimento para os espelhos côncavo e convexo.



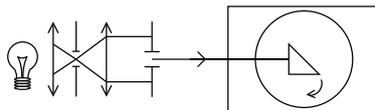
5. Repita o procedimento para a lâmina de faces paralelas, observando desta vez os raios incidente, reflectido e refractado na primeira superfície da lâmina.
 6. Represente graficamente $\sin \theta_i = f \sin \theta_t$, sendo θ_i e θ_t os ângulos de incidência e de refração na primeira superfície da lâmina.



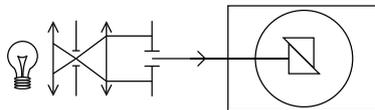
7. Coloque o espelho plano sobre a plataforma circular e faça incidir o feixe luminoso sobre o espelho de modo a obter o respectivo feixe reflectido no alvo.
 8. Espalhe o pó de giz sobre o espelho e observe o que sucede à imagem no alvo. Compare os dois tipos de reflexão que ocorrem (com e sem o pó de giz no espelho).



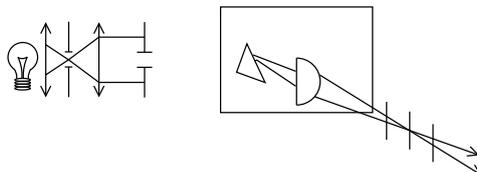
9. Faça incidir um feixe delgado e paralelo de luz branca tangencialmente a uma folha de papel. Coloque o prisma no percurso do feixe de modo que este incida próximo do vértice.
 10. Rode o prisma até que o ângulo entre o feixe emergente e a normal à superfície de emergência seja o maior possível. Registe a cor da radiação mais e menos desviada.



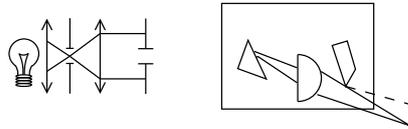
11. Coloque o segundo prisma encostado ao primeiro e em posição invertida em relação a ele. Comente o efeito que ocorre.



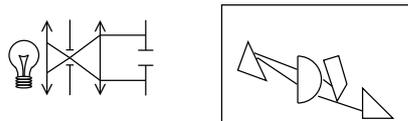
12. Retire o segundo prisma e coloque a lente plano-convexa no seu lugar mas a alguma distância do primeiro prisma. Registe as cores observadas em três posições: no foco da lente, antes do foco e depois do foco.



13. Utilize o corpo trapezoidal para bloquear a luz vermelha do feixe e anote a cor que observa na posição do ponto focal da lente. Repita este passo mas agora bloqueando a luz violeta.

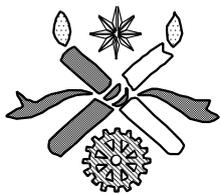


14. Bloqueie agora todas as cores excepto a vermelha. Coloque o segundo prisma no percurso do feixe vermelho de modo que este incida próximo do vértice e observe o raio emergente. Compare os efeitos observados devido ao primeiro e ao segundo prisma.



Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht, E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular

Guia do trabalho prático

2 Índice de refração, prismas e reflexão interna total

Objectivos

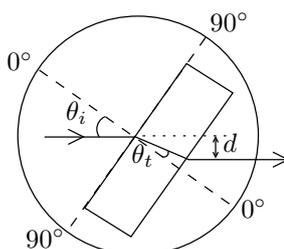
1. Determinar o índice de refração do material que constitui uma lâmina de faces paralelas;
2. determinar o índice de refração do material que constitui um prisma;
3. determinar o ângulo crítico a partir do qual ocorre reflexão interna total.

Material e equipamento utilizado

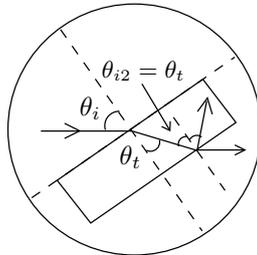
- Laser de HeNe;
- lente cilíndrica;
- disco de Hartl;
- lâmina de faces paralelas;
- prisma óptico.

Procedimento

1. Faça incidir um feixe de luz delgado e paralelo tangencialmente ao disco de Hartl, coincidindo com o diâmetro cujas extremidades indicam 0° .
2. Posicione a lâmina de faces paralelas na superfície do disco de Hartl (com a sua primeira superfície tangente ao diâmetro cujas extremidades indicam 90°) e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.
3. Rode o disco de Hartl de modo a fazer variar o ângulo de incidência entre 0° e 90° e registe numa tabela os valores correspondentes para os ângulos de reflexão e refração.
4. Com estes dados, determine o índice de refração da lâmina.
5. Verifique que o raio luminoso que emerge da lâmina é paralelo ao raio incidente sobre a primeira face da lâmina e que o seu desvio lateral verifica a relação: $d = \frac{a \sin(\theta_i - \theta_t)}{\cos \theta_t}$, sendo a a espessura da lâmina, θ_i o ângulo da luz incidente e θ_t o ângulo de refração nessa primeira face.



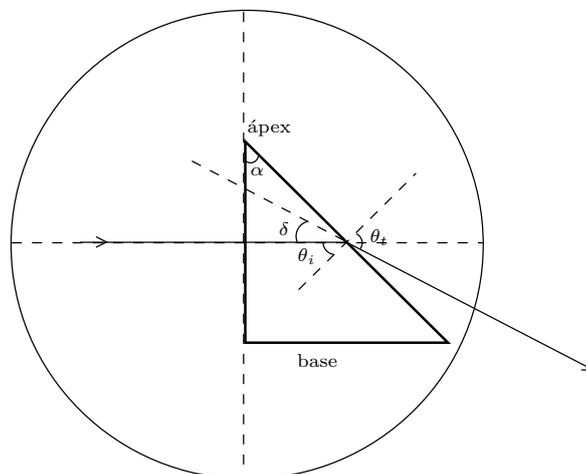
6. Quando o ângulo de incidência for 90° , o ângulo de refração na primeira face da lamina assume um valor máximo que define o ângulo de refração limite.
7. Quando o ângulo de incidência na segunda face da lamina (igual ao ângulo de refração na primeira face) for igual ao ângulo de refração limite, deixa de haver refração na segunda face da lamina e toda a luz passa a ser reflectida.



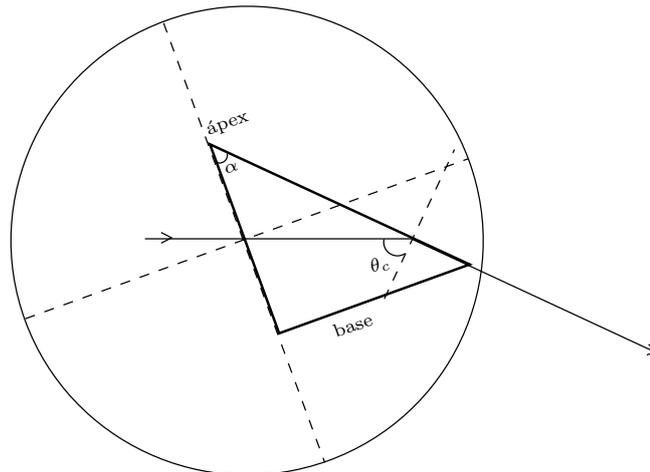
8. Determine o ângulo de reflexão interna total.
9. Sabendo o ângulo de reflexão interna total, calcule o índice de refração da lâmina e compare-o com o que foi obtido anteriormente.
10. O índice de refração que determinou permite-lhe concluir que a lâmina de faces paralelas é de vidro?



11. Sobre o disco de Hartl, substitua a lâmina de faces paralelas pelo prisma óptico e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.



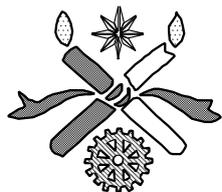
12. Meça e registre o valor do ângulo do prisma, α , e o valor do ângulo de desvio, δ .
13. Determine o índice de refração do prisma.
14. Rode o prisma até que o feixe emergente deixe de ser visto.
15. Desenhe o contorno do prisma no papel, marcando o ponto em que o feixe se reflecte internamente e os pontos de entrada do feixe incidente e de saída do feixe reflectido.
16. Retire o prisma e desenhe os feixes incidente e reflectido na superfície interna do prisma. Meça o ângulo entre esses feixes e tenha em conta que este ângulo é duplo do ângulo crítico, já que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.



17. Utilizando o índice de refração que calculou para o prisma, calcule o valor do ângulo crítico aplicando a expressão $\sin \theta_c = 1/n$, derivada da lei de Snell.
18. Determine a diferença percentual entre o valor experimental que mediu para o ângulo crítico e o valor que calculou no ponto anterior.
19. O índice de refração que determinou permite-lhe concluir que o prisma é de vidro?

Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht, E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular
Guia do trabalho prático

3 Superfícies reflectoras e refractoras

Objectivos

1. Estudar as características das imagens dadas por espelhos esféricos;
2. determinar a distância focal de espelhos côncavos e convexos;
3. determinar a distância focal de lentes côncavas e convexas;
4. verificar a validade da equação de Newton.

Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- espelho côncavo ($f = 250$ mm);
- espelho convexo ($f = 250$ mm);
- lente côncava ($f = 500$ mm);
- lente convexa ($f = 500$ mm);
- objecto pequeno: vela;
- alvo;
- compasso;
- placa de dois orifícios.

Procedimento

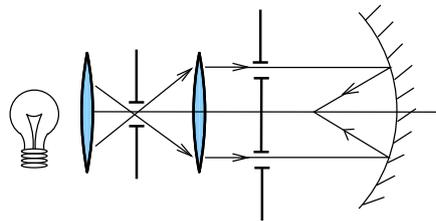
1. Situe o espelho côncavo em frente ao alvo e coloque o objecto entre eles.
2. Efectue três testes, colocando o objecto a diferentes distâncias do espelho:
Teste A: objecto situado entre o espelho e o seu foco;
Teste B: objecto situado entre o foco e o centro de curvatura do espelho;
Teste C: objecto situado para além do centro de curvatura do espelho.
Para cada teste, desloque o alvo para a frente e para trás, procurando ver neste uma imagem (real) do objecto; caso não consiga, procure ver no próprio espelho uma imagem (virtual) do objecto. Registe, em cada caso, as características da imagem observada.
3. Repita o procedimento anterior para o espelho convexo.



4. Situe o espelho côncavo em frente ao alvo e marque a posição do seu foco.
5. Coloque o objecto a uma distância um pouco superior à distância focal do espelho. Localize a posição da sua imagem real. Meça as distâncias do objecto ao foco e da imagem ao foco, x_o e x_i , respectivamente.
6. Repita o procedimento anterior para cinco distâncias diferentes e construa uma tabela com os valores de x_o , x_i e $1/x_o$.
7. Represente graficamente x_i em função de $1/x_o$; deverá obter uma linha recta. Determine o seu declive e compare-o com o valor do quadrado da distância focal do espelho.



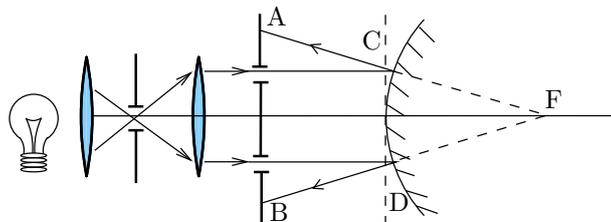
8. Proceda à montagem dos elementos de acordo com a figura seguinte, começando por colimar o feixe.



9. Uma colimação cuidadosa dá origem a um feixe cilíndrico formado por raios paralelos que incidem na placa de dois orifícios, a qual, deixa passar apenas dois feixes luminosos delgados que são paralelos. Esses dois feixes incidem no espelho e são reflectidos para o seu foco. Deixando o espelho fixo, desloque a placa de dois orifícios até encontrar o ponto exacto onde os dois feixes reflectidos se encontram.
10. Utilize um compasso para medir a distância focal pretendida, entre a placa de dois orifícios e o vértice do espelho. Acabou de determinar a distância focal de um espelho côncavo pelo método dos feixes paralelos.



11. Na mesma montagem, substitua o espelho côncavo por um espelho convexo. Desta vez, os dois feixes luminosos provenientes da placa de dois orifícios, são reflectidos na superfície do espelho voltando a encontrar a placa nos pontos A e B. O prolongamento desses raios reflectidos será o foco virtual do espelho.



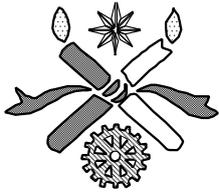
12. Calcule a posição do foco, observando que os triângulos ABF e CDF são semelhantes. Desta forma, acabou de determinar a distância focal de um espelho convexo pelo método de Hartmann.



13. Utilizando o mesmo princípio que lhe permitiu determinar as distâncias focais dos espelhos, substitua agora o espelho por uma lente convexa e determine a posição do seu foco.
14. Repita para uma lente côncava.

Bibliografia

- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht,E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular

Guia do trabalho prático

4 Telescópio com lentes

Objectivos

1. Construir um telescópio de Kepler e determinar o seu aumento;
2. construir um telescópio de Galileu e determinar o seu aumento;
3. efectuar um estudo comparativo entre os telescópios de Kepler e de Galileu.

Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- lente +500 mm;
- lente +200 mm;
- lente -200 mm;
- alvo;
- diapositivo com objecto.

Esquema da montagem

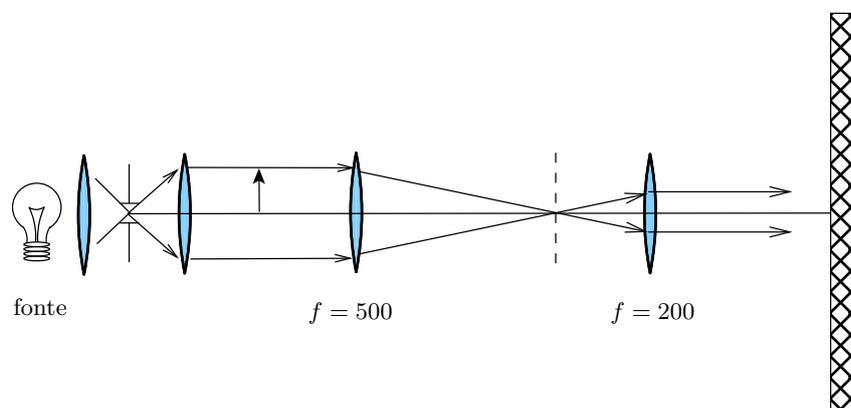
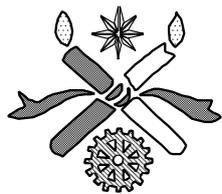


Figura 1: Esquema de montagem do telescópio de Kepler.

Bibliografia

- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht,E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.
- Yu,F., Yang.X., *Optical engineering*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular
Guia do trabalho prático

5 Modelo do olho

Objectivos

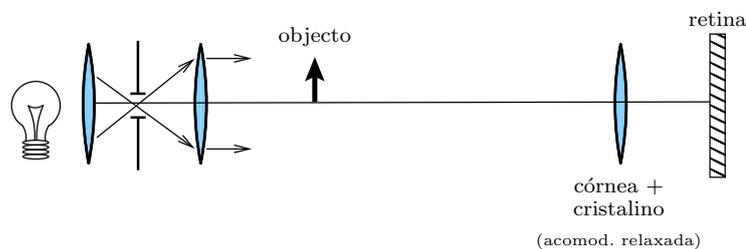
1. Demonstrar o funcionamento óptico do olho normal, do olho míope e do olho hipermetrope;
2. simular o mecanismo de acomodação.

Material e equipamento utilizado

- Fonte luminosa colimada;
- lente +100 mm;
- lente +300 mm;
- lente +200 mm;
- lente +150 mm;
- alvo;
- diapositivo com objecto.

Procedimento experimental

1. Proceda à montagem de todos os componentes ópticos de acordo com a figura, começando por colimar o feixe de luz. A lente de 200 mm simula o efeito conjunto da córnea e do cristalino (quando a acomodação está relaxada). O alvo funciona como retina.



2. Encontre a posição em que se forma sobre o alvo, uma imagem nítida do objecto. Esta situação corresponde ao funcionamento óptico do olho normal, em que a imagem se forma na retina. Para este olho, determine a posição do seu ponto remoto e determine o seu comprimento axial.
3. Substitua a lente de 200 mm por uma outra de 100 mm e encontre a nova posição do alvo para a qual a imagem é nítida. Esta situação corresponde à visão de um olho míope. Determine o comprimento axial deste olho míope.

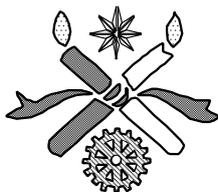
4. Coloque novamente o alvo na posição original e aproxime o objecto até ver a imagem nítida. Este será o ponto remoto do indivíduo míope.
5. Substitua agora a lente de 100 mm por outra de 300 mm e encontre a nova posição do alvo para a qual a imagem é nítida. Esta situação corresponde à visão de um olho hipermetrope. Determine o comprimento axial deste olho hipermetrope.
6. Coloque novamente o alvo na posição original e desloque o objecto de maneira a procurar ver a imagem nítida. Consegue fazê-lo? Explique o que acontece.



1. Proceda novamente à montagem de todos os componentes ópticos de modo a reproduzir o funcionamento do olho normal.
2. Simule o mecanismo de acomodação colocando diante do modelo do olho uma lente de 150 mm.
3. Determine o percurso de acomodação nos casos de olho normal e olho míope.

Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht, E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.
- Rabbetts, R., *Bennett and Rabbett's Clinical Visual Optics*. 4th edition, Butterworth-Heinemann, 2007.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Departamento de Física

Óptica Geométrica Ocular
Guia do trabalho prático

6 Combinação de lentes e espelhos

Objectivos

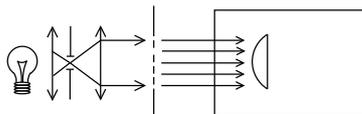
1. Observar o efeito de lentes e combinações de lentes e espelhos sobre o percurso dos raios luminosos;
2. observar o efeito da aberração esférica;
3. estudar combinações de lentes esféricas e cilíndricas.

Material e equipamento utilizado

- Fonte luminosa colimada;
- alvo vertical;
- plataforma horizontal;
- adaptador com 5 fendas coloridas;
- caixa com lentes e espelhos vários;
- 1 lente esférica positiva;
- 2 lentes cilíndricas;
- lente tórica;
- diapositivo com objecto pontual.

Procedimento experimental

1. Proceda à montagem de todos os componentes ópticos de acordo com a montagem seguinte, começando por colimar o feixe de luz.



2. Registe sob a forma de um esboço o percurso dos feixes emergentes da lente plano convexa. Pode fixar uma folha de papel branca à plataforma horizontal e decalcar o percurso dos feixes.
3. Repita o procedimento de modo a poder completar a tabela seguinte.

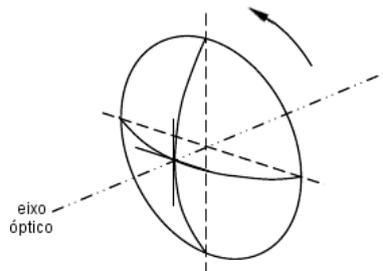
Lentes	Esquema de raios



1. Para o caso da lente plano convexa, bloqueie os feixes exteriores e marque o ponto focal dos feixes centrais, F_c .
2. Bloqueie os três feixes centrais e marque o ponto focal dos feixes exteriores, F_e .
3. Rode a lente de 180° e verifique as novas posições de F_c e F_e .
4. Determine a aberração esférica nas duas situações e indique em que posição a aberração é menor.

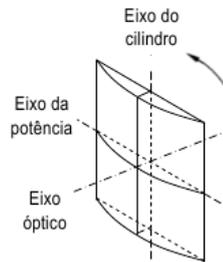


1. Retire da montagem a plataforma horizontal e coloque no seu lugar uma lente esférica positiva. Retire também o adaptador de cinco fendas. Utilize como objecto o diapositivo com o objecto pontual.
2. Utilize um alvo vertical para procurar a imagem que a lente esférica forma a partir do objecto pontual.
3. Rode a lente esférica em torno do seu eixo óptico. O que acontece à imagem?
4. Registe as distâncias da lente ao objecto e da lente à imagem. Determine a potência da lente.

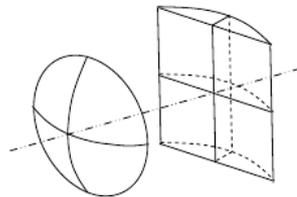


5. Substitua a lente esférica por uma lente cilíndrica em posição vertical.
6. Utilize o alvo vertical para procurar a imagem que a lente cilíndrica forma a partir do objecto pontual. Registe as distâncias da lente ao objecto e da lente à imagem.

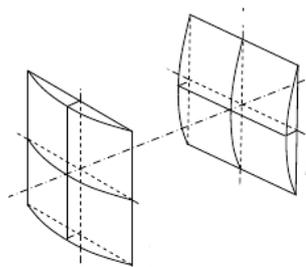
7. Rode a lente cilíndrica 90° em torno do seu eixo óptico e observe as alterações que ocorrem na imagem. Registre as distâncias da lente ao objecto e da lente à imagem. Determine a potência da lente.



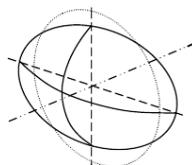
8. Coloque agora a lente esférica encostada à lente cilíndrica.
 9. Utilize o alvo vertical para procurar as posições das imagens que a combinação esferocilíndrica produz.
 10. Registre as distâncias ao objecto e às imagens. Calcule o intervalo de Sturm.



11. Substitua a lente esférica por outra lente cilíndrica de modo que as duas lentes cilíndricas se situem a 90° entre si.
 12. Utilize o alvo vertical para procurar as posições das imagens que a combinação bicilíndrica produz.
 13. Registre as distâncias ao objecto e às imagens. Calcule o intervalo de Sturm.



14. Retire da montagem ambas lentes cilíndricas e coloque no seu lugar a lente tórica.
 15. Utilize o alvo vertical para procurar as posições das imagens que a lente tórica produz.
 16. Registre as distâncias ao objecto e às imagens. Calcule o intervalo de Sturm.



17. Refira-se à imagem de um objecto pontual obtida a partir de uma lente esférica, uma lente cilíndrica, uma lente bicilíndrica, uma lente esferocilíndrica e uma lente tórica.

Bibliografia

- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Hecht,E., *Óptica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.
- Rabbetts,R., *Bennett and Rabbett's Clinical Visual Optics*. 4th edition, Butterworth-Heinemann, 2007.
- Bennet,A.G., *Emsley and Swaine's Ophthalmic Lenses*. Volume I, The Hatton Press Ltd., 1968.