

## Trabalhos práticos 1 e 2 – Ótica

Nome: \_\_\_\_\_

Nmec: \_\_\_\_\_

Turma/grupo \_\_\_\_/\_\_\_\_

### Objetivos

Caracterizar as imagens formadas por lentes convergentes e divergentes.

Determinar a distância focal de uma lente convergente utilizando a equação dos focos conjugados.

### Introdução

Quando um objeto é colocado a uma distância  $p$  de uma lente (convergente ou divergente), forma-se uma imagem (real ou virtual), a uma distância  $q$ , que obedece à chamada equação dos focos conjugados (eq. 1), onde  $f$  representa a distância focal da lente.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Eq. (1)

A representação gráfica da eq. (1) para 2 lentes com valores de  $f$  diferentes é a seguinte:

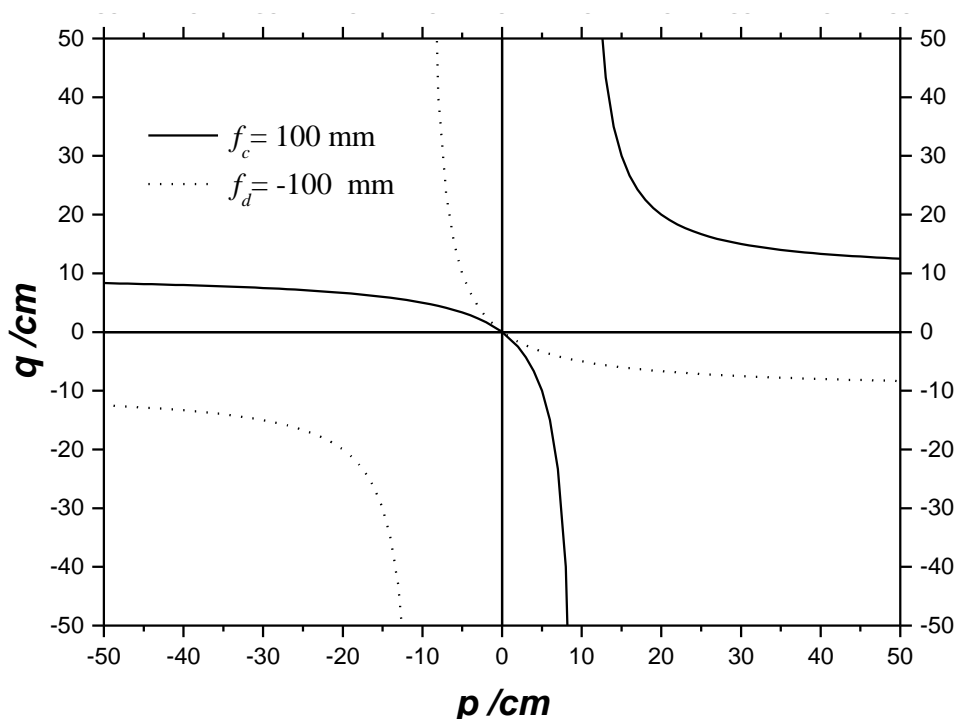


Figura 1

## Preparação do trabalho

a) Baseado no gráfico da Fig. 1 indique quais das seguintes afirmações são verdadeiras:

1. Para um objeto virtual, a imagem dada por uma lente convergente com  $|f| = 10\text{cm}$  é sempre real. \_\_\_\_\_
2. Para um objeto virtual, a imagem dada por uma lente divergente com  $|f| = 10\text{ cm}$  é sempre virtual. \_\_\_\_\_
3. Um objeto virtual situado a uma distância inferior a  $|f|$  de uma lente divergente pode formar imagens reais e virtuais. \_\_\_\_\_
4. A ampliação dum objeto real, dada por uma lente divergente colocada a uma distância de  $30\text{cm}$ , é maior que 3. \_\_\_\_\_

b) Discuta com base no gráfico da Fig. 1 onde se forma a imagem quando a distância da lente divergente ao objeto tende para infinito.

c) Considere a Fig. 1. Para o caso da lente convergente, que gama de valores da distância objeto-lente lhe parece mais adequada para identificar a forma da curva descrita pela eq. (1)? Explique sucintamente a sua resposta.

d) Reescreva a eq. (1) de forma a colocar  $q$  em evidência. Sabendo que a medida da distância objeto-lente é igual a  $p \pm \Delta p$  e a distância focal da lente é  $f \pm \Delta f$  determine a expressão do erro associado ao cálculo de  $q$ .

e) Sabendo que a ampliação,  $m$ , de um objeto pode ser calculada por um dos processos seguintes,

$$m = \frac{y_{\text{imagem}}}{y_{\text{objeto}}} = -\frac{q}{p} \quad \text{Eq. (2)}$$

e que  $y = \bar{y} \pm \Delta y$ ,  $p = \bar{p} \pm \Delta p$ , *etc*, determine a expressão que permite obter o erro relativo  $\frac{\Delta m}{m}$ , para ambos os casos.

--	--

## Procedimento experimental

### Material Necessário

Fonte de Alimentação, foco luminoso, banco de ótica, suporte com objeto e dispersor, lente convergente e lente divergente ( $|f|=10.0 \pm 0.1 \text{ cm}$ ), alvo, papel milimétrico, calculadora com regressão linear, fita métrica, régua e craveira.

## Trabalho prático 1

### 1. Estudo de lentes convergentes

**Todos os valores medidos deverão ser registados na tabela I**

**(tenha em atenção a convenção de sinais e os algarismos significativos das grandezas)**

- a) Monte o dispositivo experimental de acordo com a Fig. 2 e meça o tamanho,  $y$ , do objeto. Esta medição deve ser efetuada com a craveira ou com a régua? Porquê? Estime o erro  $\Delta y$  cometido.

--

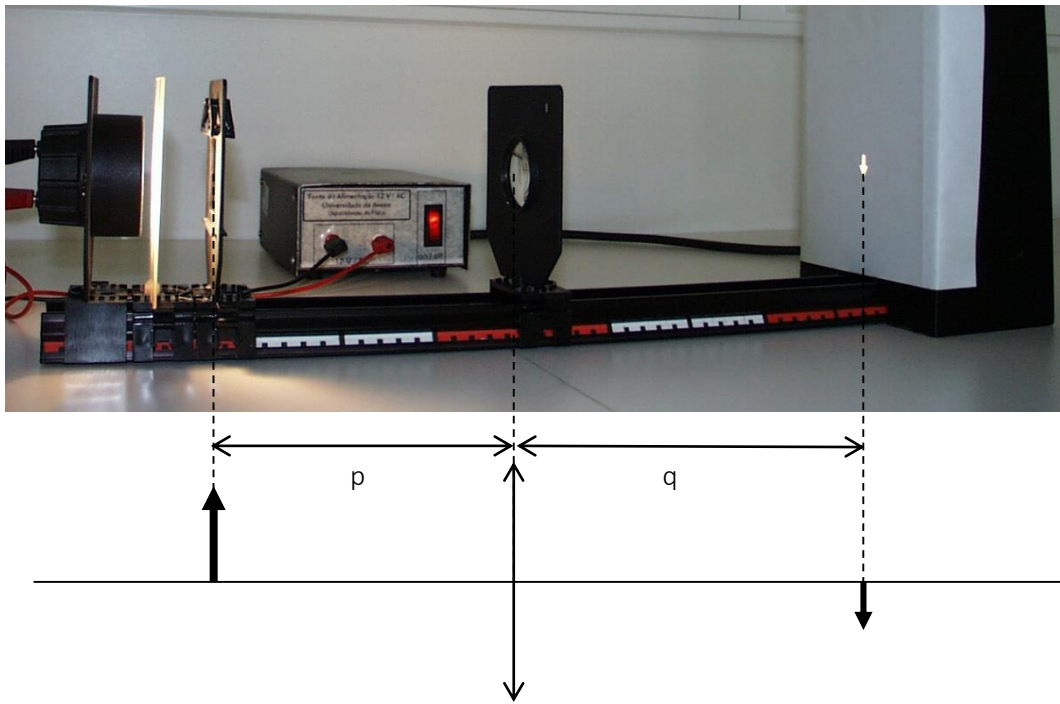


Figura 2: Dispositivo experimental e diagrama esquemático

- b) Utilize a lente convergente (distância focal  $f=10\text{ cm}$ ) e coloque-a a uma distância  $p$  do objeto tal que  $p < f$ . Tente obter a imagem no alvo e registre o que observa. Utilizando a Eq. (1) e o gráfico da Fig. 1, explique sucintamente as suas observações.

- c) Coloque agora a lente a uma distância  $p$  do objeto tal que  $p = f$ . De acordo com a Eq. (1) onde espera observar a imagem? Tente obter a imagem e comente as suas observações.

- d) Coloque a lente a uma distância  $p$  do objeto tal que  $p$  seja pouco maior que  $f$  e registre o valor na tabela I abaixo. Deslocando o alvo, obtenha a melhor imagem nele formada e caracterize-a (real ou virtual, direita ou invertida, ampliada ou reduzida).

--

- e) Meça a distância  $q_1$  da lente à imagem e o tamanho,  $y'_1$ , da imagem formada no alvo. Registre os valores na tabela I abaixo.

Tamanho do objeto $y \pm \text{---}$  / $\text{---}$	Distância focal da lente $f \pm 1$  / mm	Distância do objeto à lente $p \pm \text{---}$  / $\text{---}$	Distância da imagem à lente $q_i \pm \text{---}$  / $\text{---}$	Tamanho da imagem $y'_i \pm \text{---}$  / $\text{---}$	$\bar{q}$  / $\text{---}$	$d_i =  q_i - \bar{q} $  / $\text{---}$	$\bar{y}'$  / $\text{---}$	$d_i =  y'_i - \bar{y}' $  / $\text{---}$

Tabela I

- f) Considerando a dificuldade na localização do ponto de focagem ideal, facilmente notará que a incerteza que afeta esta medição é superior ao erro de leitura. Afim de estimar a incerteza,  $\Delta q_i$ , mantenha constante a distância objeto-lente  $p$ , desfoque e volte a focar a imagem. Obtenha assim duas medidas da distância  $q_i$  ( $i=1,2$ ) da lente à imagem e o tamanho,  $y'_i$ , da imagem formada no alvo. Esta operação deverá ser feita por diferentes elementos do grupo e os valores registados na Tabela I.
- g) Repetir o procedimento anterior para uma distância  $p$  superior à anterior em 10cm.
- h) Complete a tabela I, de forma a obter o valor mais provável das medições da distância objeto-imagem ( $q \pm \Delta q$ ) e do respetivo tamanho da imagem ( $y' \pm \Delta y'$ ). Apresente o resultado final destas medições.

- i) Compare o valor da incerteza obtido nas duas situações anteriores (alíneas f e g). Explique, justificando, de que modo este resultado o poderá auxiliar na realização experimental quando o objetivo é medir a localização e o tamanho da imagem formada.

- j) Utilizando a Eq. (1) preveja onde se forma a imagem quando se aumenta cada vez mais (no limite até ao infinito) a distância da lente ao objeto. Faça o paralelismo com o gráfico da Fig. 1.

- k) Utilizando o resultado da questão e) da preparação do trabalho, calcule pelos dois processos o valor do erro relativo da ampliação, para o par de valores  $(\overline{p}, \overline{q})$  da tabela I.

--	--

- l) Considerando os resultados anteriores, escolha o método mais preciso e determine o valor da ampliação do objeto e o respetivo erro.

## 2. Estudo das imagens formadas por lentes divergentes utilizando a combinação de lentes

Todos os valores medidos deverão ser registados na tabela II

(tenha em atenção a convenção de sinais e os algarismos significativos das grandezas)

- a) Monte o dispositivo experimental de acordo com a Fig. 2 mas utilize a lente divergente ( $f = -10 \text{ cm}$ ) colocada a uma distância  $p$  do objeto. Tente obter a imagem no alvo. O que verifica?

Tabela II

Tamanho do objeto	Distância focal da lente divergente	Distância do objeto à lente divergente	Distância entre as lentes	Distância focal da lente convergente	Distância da imagem à lente convergente	Tamanho da imagem
$y \pm \Delta y$ / _____	$f_d \pm 1$ / mm	$p_d \pm \Delta p_d$ / _____	$d \pm \Delta d$ / _____	$f_c \pm 1$ / mm	$q_c \pm \Delta q_c$ / _____	$y' \pm \Delta y'$ / _____

- b) Adicione à montagem experimental a lente convergente, colocando-a  $10 \text{ cm}$  à frente da lente divergente (mantenha esta distância sempre constante). Obtenha a melhor imagem dada pela lente no alvo e caracterize a imagem obtida.

- c) Tendo em atenção a imagem dada pela lente convergente, diga se a imagem dada pela lente divergente é direita ou invertida? Explique a sua resposta tendo em atenção as características da imagem dada pela lente convergente na alínea 1d).

d) Represente no diagrama de raios a imagem obtida pelo par de lentes utilizado, tendo em atenção que:

- Um raio procedente do objeto e paralelo ao eixo ótico é refratado pela lente divergindo da mesma como se viesse do foco;
- Um raio procedente do objeto que passa pelo vértice da lente é refratado sem que ocorra alteração da sua direção.

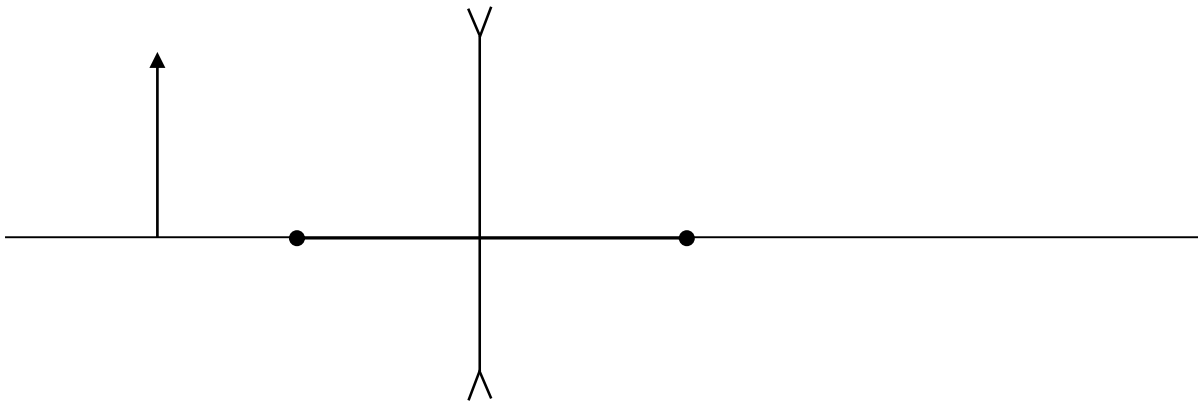


Figura 3: Diagrama de raios

e) Aumente a distância entre o objeto e a lente divergente, mantendo constante a distância entre as duas lentes. Descreva o que observa depois de focar a imagem dada pela lente convergente. Discuta, com base no diagrama de raios as suas observações.



## Trabalho prático 2

### 3. Determinação da Distância Focal de uma Lente Convergente

**Todos os valores medidos deverão ser registados na tabela III e numa folha de cálculo (Excel)**

**(tenha em atenção os algarismos significativos das grandezas)**

- Monte o dispositivo experimental de acordo com a figura 2 utilizando a lente convergente.
- Obtenha 8 medições diferentes – dentro dos limites anteriormente determinados na questão c) da preparação do trabalho – das distâncias  $p$  e  $q$ . Para cada  $p$  meça duas vezes  $q$ , uma vez para a mínima distância à qual a imagem parece focada ( $q_{\text{MIN}}$ ) e outra para a máxima distância à qual a imagem ainda parece focada ( $q_{\text{MAX}}$ ).
- Considerando o processo de medida utilizado escreva a expressão que lhe permite estimar  $\Delta \bar{q}$ . Explique.

Tabela III

$p_i \pm \text{_____}$ / _____	$q_{i \text{ MAX}} \pm \text{_____}$ / _____	$q_{i \text{ MIN}} \pm \text{_____}$ / _____	$\bar{q}$ / _____	$\Delta \bar{q}$ / _____


## Análise dos resultados experimentais

- d) Na folha de cálculo do Excel acrescente uma coluna para calcular o valor previsto para os  $q = fp/(p-f)$  para cada valor de  $p$ . De seguida crie um gráfico onde compara os resultados experimentais de  $q$  com os valores previstos pela equação anterior, para cada valor experimental de  $p$ .
- e) Algum dos pontos experimentais está particularmente afastado da previsão? Discuta os motivos que poderão ter levado a esse eventual afastamento. Discuta com o docente a necessidade de eventualmente repetir alguma medição.

- f) A relação entre os dados experimentais obtidos ( $p, q$ ) não é descrita por uma reta. Assim, com o objetivo de facilitar a sua análise, transforme a Eq. (1) numa expressão do tipo  $y = mx + b$  (processo de linearização), evidenciando a mudança de variáveis necessária e as definições de  $m$  e  $b$ .

- g) Analisando o resultado da alínea anterior preveja os valores de  $m$  e  $b$  (note que  $f = +100 \text{ mm}$ ).

- h) Determine as expressões que permitem obter o erro associado às novas variáveis  $x$  e  $y$  em função das grandezas medidas experimentalmente.

--	--

- i) Calcule  $x \pm \Delta x$  e  $y \pm \Delta y$  para os seus dados experimentais, usando a folha Excel criada anteriormente e preencha-a como se fosse a Tabela IV. Tenha em atenção os algarismos significativos.

Tabela IV

$x \equiv$ _____	$\Delta x$	$y \equiv$ _____	$\Delta y$
/ _____	/ _____	/ _____	/ _____

- j) Considere as colunas respeitantes aos erros  $\Delta x$  e  $\Delta y$ . Observa-se algum padrão de comportamento (monotonia)? Existe alguma relação óbvia entre a medida considerada e o seu erro? Que conclusão pode tirar?

- k) Para obter os dados da linearização dos valores experimentais, vamos utilizar as funções respetivas da calculadora e posteriormente verificar os resultados obtidos com o Excel (o processo para efetuar esta verificação está descrito no ficheiro “Tratamento dos dados experimentais usando Excel” disponível no Moodle).
- l) Utilizando os parâmetros obtidos no Excel, escreva a equação da reta na seguinte forma:  $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ . Tenha em atenção os algarismos significativos e as unidades.

- m) Os valores obtidos para  $m$  e  $b$  estão de acordo com o que esperava em função dos resultados previstos na alínea g)? Analisando o gráfico dos dados experimentais discuta os possíveis motivos para as eventuais discrepâncias.

- n) Determine, a partir dos parâmetros da reta, a distância focal da lente utilizada e o respetivo erro. Escreva o resultado na forma  $f \pm \Delta f$ . Tenha em atenção as unidades e os algarismos significativos do resultado.

### Análise e discussão dos resultados

- o) Determine o erro relativo  $\frac{\Delta f}{f}$  do resultado obtido na alínea anterior. Avalie se a precisão está dentro do critério convencionado ( $\leq 10\%$ ).

p) Avalie a exatidão do resultado obtido para a distância focal.

q) Comente os seus resultados.

## Bibliografia

Alonso, M. e Finn, E.J., *Física: um curso universitário*, vol. II, Edgard Blucher , São Paulo, 1977, 565 pp.  
Giancoli, D.C., *Physics: principles with applications*, 5ª edição, Prentice Hall, New Jersey, 1998, 1096 pp.  
Hecht, E., *Ótica*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991, 720 pp.