

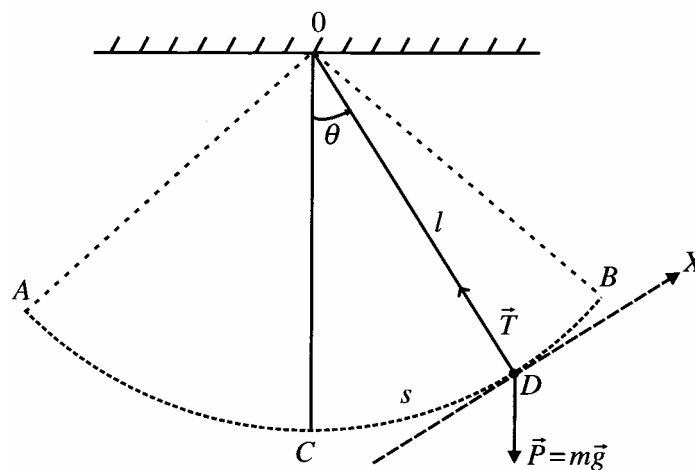
## TRABALHO PRÁTICO Nº 2

**DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE**  
**Experiência 1**

**Objectivo** - Neste trabalho pretende-se determinar o valor local da aceleração da gravidade utilizando um pêndulo gravítico simples.

**1. Introdução**

Conforme um dos livros de texto recomendados para as disciplinas de Física Geral, "um pêndulo simples é constituído por um corpo de massa  $m$ , suspenso de um ponto fixo por um fio de comprimento  $\ell$ , que se supõe inextensível e de massa desprezável" [2] (Figura 1). Quando é afastado da posição de equilíbrio e liberto, o pêndulo fica a oscilar no plano vertical, em torno do ponto  $O$  de fixação do fio, apenas por acção da gravidade. Na figura 1 mostra-se que o corpo está sujeito a duas forças aplicadas no seu centro de massa: o peso  $\vec{P}$  e a tensão do fio  $\vec{T}$ .



**Figura 1** {Reproduzida da pág. 110 da ref. [2]}

Diagrama de corpo livre do corpo suspenso. Qualquer posição  $D$  pode ser caracterizada pelo ângulo  $\theta$ .

O corpo suspenso executa um movimento de rotação em torno de  $O$ , sendo possível definirmos a aceleração do movimento em termos das suas componentes tangencial e centrípeta. A componente tangencial da aceleração pode relacionar-se com a projecção da resultante das forças aplicadas ( $\vec{P}$  e  $\vec{T}$ ), na direcção da tangente à trajectória (direcção  $X$  da figura 1). Nesse caso, tem-se:

$$-P \sin \theta = ma_t = m \frac{d^2 s}{dt^2} \Leftrightarrow -mg \sin \theta = \ell \frac{d^2 \theta}{dt^2} \Leftrightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{\ell} \sin \theta = 0$$

uma vez que o arco  $s$  e o correspondente ângulo  $\theta$  estão relacionados por  $s = \ell \theta$ .

Para oscilações de pequena amplitude tem-se  $\sin \theta \approx \theta$ , e a última equação pode aproximar-se a:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{\ell} \theta = 0 \quad (1)$$

A equação (1) mostra que para pequenas oscilações o movimento do pêndulo é harmónico simples. Com base na equação genérica do movimento harmónico simples, pode notar-se que:

$\frac{g}{\ell} = k = \omega^2$ , onde  $\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$  é a frequência angular do movimento. A relação entre esta

grandeza e o período é dada por  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , pelo que

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (2).$$

A equação (2) mostra que, medindo o período de oscilação de um pêndulo que execute pequenas oscilações e tendo em conta o comprimento do fio, é possível determinar o valor da aceleração da gravidade no local da experiência.

## 2. Material necessário

Para a realização deste trabalho vai usar um pêndulo simples, um cronómetro e uma fita métrica. Note que o pêndulo é formado por uma massa suspensa de um fio, cujo comprimento livre pode ser ajustado através de um sistema deslocável.

## 3. Execução experimental e análise dos dados obtidos

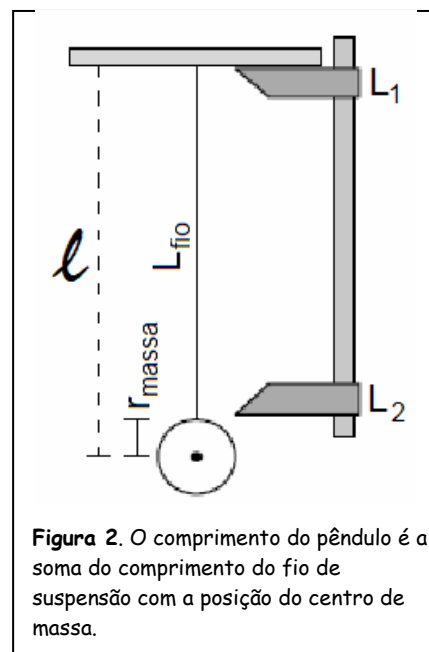
**Notas** - Em todas as medidas que realizar, anote sempre a incerteza associada ao valor medido.

- Não faça as medidas todas de uma vez e os cálculos apenas no final. É melhor ir verificando que os dados obtidos conduzem a resultados aceitáveis.

3.1. A aplicação da teoria exposta no § 1. considera que o comprimento do pêndulo deve incluir, além do comprimento do fio, a distância ao centro de massa da massa suspensa. É a situação esquematizada na figura 2. Comece por medir a distância  $r_{massa}$  e anote-a no seu logbook. Esse valor tem de ser adicionado a cada comprimento  $L_{fio}$  para obtenção do comprimento do pêndulo  $\ell$ .

3.2. Meça depois, e tome nota, o comprimento livre do fio:  $L_{fio}$ .

3.3. De seguida, desloque a massa suspensa de um pequeno ângulo relativamente à vertical e liberte-a, deixando-a oscilar. Com o cronómetro, registre o tempo de oscilação que a



massa demora a ir 10 vezes a uma posição extrema (10 períodos). Pode organizar os dados recolhidos e calculados numa tabela do estilo da tabela I. Estime qual o erro associado a cada uma das medidas directas que realizou, não se esquecendo de considerar a incerteza na medida do tempo introduzida pelos reflexos do operador no manuseamento do cronómetro. [Não se ocupe, por agora, com a propagação dos erros associados aos valores experimentais medidos.]

Tabela I

Experiência	Comprimento do fio: $L_{\text{fio}} \pm \delta L_{\text{fio}}$ (m)	Comprimento do pêndulo: [ $\ell = L_{\text{fio}} + r_{\text{massa}}$ ] $\ell \pm \delta \ell$ (m)	Tempo de oscilação: $t \pm \delta t$ (s)	Período: $\langle T \rangle = t/10$ $\langle T \rangle \pm \delta \langle T \rangle$ (s)	$(\langle T \rangle)^2 \pm \delta(\langle T \rangle)^2$ (s <sup>2</sup> )	$g \pm \delta g$ (m.s <sup>-2</sup> )
1						
2						
...						

3.4. Repita o procedimento anterior mais duas vezes. Para o mesmo comprimento do fio ficará, portanto, com 3 medidas do tempo de oscilação.

3.5. Repita o procedimento dos pontos 3.2 a 3.4 para mais 4 valores decrescentes do comprimento do fio. Use o sistema deslocável sobre o suporte vertical para ajustar cada um desses comprimentos livres do fio.

#### 4. Tratamento final e discussão de resultados

4.1. Pode agora determinar o melhor valor para a aceleração da gravidade e compará-lo com o valor esperado ( $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ ). Faça uma análise crítica da experiência e suas limitações, procurando identificar erros que justifiquem a possível discrepância entre o valor esperado e o melhor valor encontrado.

4.2. Para além do tratamento de dados que realizou até agora, é também possível, e certamente vantajoso, representar graficamente os dados medidos directamente, as grandezas  $T$  e  $\ell$ . Sabendo da relação matemática que existe entre essas grandezas, pense no gráfico que deve elaborar para dele extrair a aceleração da gravidade. [Nota - gráficos que traduzem relações lineares entre grandezas físicas são sempre mais fáceis de trabalhar.]

\* Em Lisboa obteve-se experimentalmente para a aceleração da gravidade ao nível do mar, o valor de  $g = (9,8010814 \pm 0,0000001) \text{ m.s}^{-2}$

**Bibliografia**

- [1] M. Alonso e E. Finn, *Física*, Addison-Wesley Iberoamericana (1999)
- [2] M.M.R.R. Costa e M.J.B.M. de Almeida, *Fundamentos de Física*, 2ª edição, Coimbra, Livraria Almedina (2004).
- [3] Paul Tipler, *Física*, Editora Guanabara-Koogan, 4ª Edição (2000).
- [4] M.C. Abreu, L. Matias e L.F. Peralta, *Física Experimental - Uma introdução*, Lisboa, Editorial Presença (1994).