

Mecânica e Ondas

Trabalho de Laboratório

Estudo do movimento do pêndulo

Objetivo

Estudo do pêndulo harmónico, determinação do período, medição da aceleração gravítica g .

Resumo do processo experimental e da análise teórica

Parte da montagem experimental a utilizar está ilustrada na figura 1.



Figura 1: Foto que exemplifica a montagem a utilizar

O sistema consiste num pêndulo, construído com um fio o mais fino possível mas resistente, e um objeto suspenso o mais denso possível (por exemplo um metal) e bastante simétrico. O comprimento do objeto deve ser pequeno comparado com o comprimento do fio. O fio deve estar firmemente amarrado (para não deslizar durante a oscilação) a um ponto fixo numa extremidade e ao objeto na outra extremidade. Como exemplo, na Fig.1 usa-se um fio de costura e uma porca. Também é útil fixar uma ponta abaixo do objeto para servir de ponto de passagem para medirmos o período.

O procedimento experimental é o seguinte. Deve começar por medir o comprimento, que vai desde o ponto fixo até ao centro de massa do objeto grave. Sendo o objeto grave homogéneo, o centro de massa está no centro geométrico, o que é fácil de determinar se o objeto for simétrico (idealmente uma esfera, mas pode ser quadrado, ou cilíndrico, etc).

Deve então lançar o pêndulo num movimento oscilatório de pequena amplitude. Medimos o período contando o tempo de passagem por cima do ponto de referência (note que a passagem inicial é a passagem 0, não conta) contando por exemplo 10 oscilações. Dividindo o tempo total pelo número de oscilações, obtemos o período **T**.

Repita a medição do período várias vezes, pelo menos 25. Convém excluir algumas medições, em particular deve excluir as primeiras, até apanhar o jeito de medir o tempo com o cronómetro. Se não tiver a certeza de alguma medição (por exemplo se não tem a certeza de quantas oscilações contou, ou se o valor do período der significativamente diferente dos demais) deve também excluí-la. Fica assim com uma série de 20 ou mais medições do período, com as quais poderá depois fazer uma análise do erro.

Realizamos agora os cálculos teóricos da forma menos avançada. Se desprezarmos o atrito com o ar, as únicas forças são o peso e a tensão do fio. O movimento é circular não uniforme, no plano vertical. Segundo a componente tangencial do movimento, a 2ª Lei de Newton é,

$$m\ddot{\theta} = -mg\sin(\theta)$$

no limite de pequenos ângulos $\sin \theta \rightarrow \theta$ e a equação é equivalente à dum oscilador harmónico,

$$m\ddot{\theta} = -mg\sin\theta \approx -mg\theta$$

sendo a frequência angular uma função simples do período, $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Finalmente conseguimos calcular a aceleração da gravidade g a partir do período da oscilação e do comprimento do fio a ,

$$g = l \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

Nota: se preferir pode utilizar outra técnica de medição (por exemplo editando os frames dum vídeo dum pêndulo e estudando o movimento) desde que consiga atingir os mesmos objetivos.

Mecânica e Ondas

Relatório do Trabalho de Laboratório

Estudo do movimento do pêndulo

Relatório *(a preencher em azul escuro,
sem apagar o que está escrito a preto)*

(imprima no formato pdf para enviar no fim da aula ao docente)

Data	Turno	Grupo
data de entrega	dia da semana e hora	

Nº	Nome	Curso

I. Fotos do grupo

Insira aqui as fotos do grupo a trabalhar com a montagem experimental, para comprovar que a experiência foi realizada pelos alunos. Como os alunos devem trabalhar remotamente, podem optar por mostrar fotografias separadas dos alunos.



Figura 1 – fotos do grupo, mostrando todos os elementos a trabalhar.

II. Introdução

II.1 - Objetivos

II.2 – Breve introdução teórica (*facultativa, não será avaliada*)

III. Montagem experimental

Insira aqui as fotos da montagem experimental. Deve incluir todo o equipamento que utiliza. Inclua uma tabela com o inventário de todo o equipamento utilizado.



Figura 2 – Fotos da montagem experimental (pode utilizar mais páginas)

Tabela 1 – Inventário de todo o equipamento utilizado

IV. Tabelas de medições experimentais

Tabela 2 - Registo dos valores experimentais para o movimento do pêndulo. Cada um dos elementos do grupo deve montar um pêndulo e preencher a tabela com as suas medições dos tempos, sendo também as montagens respetivas apresentadas na Fig. 2 (semelhante à da Fig. 1).

Aluno 1			Aluno 2			Aluno 3		
tempo total (s)	num. oscil.	período T (s)	tempo total (s)	num. oscil.	período T (s)	tempo total (s)	num. oscil.	período T (s)

Nota: Cada aluno deve tomar nota de várias medições do período **T**. Na primeira coluna deve indicar o tempo total das oscilações com as quais calculou o período, na segunda o número de oscilações e na terceira o período. As medições do tempo podem ir até ao centésimo de segundo, para termos pelo menos 3 algarismos significativos (ou 4).

Nota: os cálculos dos período podem ser todos feitos numa folha de cálculo – por

exemplo excel, libre office ou google spreadsheets – nesse caso pode copiar diretamente a respetiva tabela.

Tabela 3 - Registo dos valores experimentais para o comprimento do fio.

l1 (m)	l2 (m)	l3 (m)

Nota: a é importante obter pelo menos três algarismos significativos (ou 4) para estas medições. Deve ter muito cuidado ao fixar o fio e a determinar a posição do centro de massa do objeto grave.

Comente com o maior detalhe possível que técnicas utilizou para estas medições. Pode tirar mais fotos para ilustrar as fixações do fio e as suas técnicas.

V. Cálculos dos resultados pedidos.

V.1 – Usando uma folha de cálculo – por exemplo excel, libre office ou google spreadsheets – vamos avaliar a qualidade dos resultados e o erro experimental na medição do período. Este procedimento deve ser repetido para os dados de cada um dos alunos. Para tal, por exemplo no excel, deve seguir alguns passos:

- numa primeira coluna inserir a ordem das medições,
- numa segunda coluna inserir todos os períodos medidos pelo aluno,
- pintar duas colunas vizinhas usando a tecla shift,
- fazer “insert chart”,
- escolher o tipo de gráfico “xy (scatter)” para ter abcissas e ordenadas,
- no gráfico clicar num dos pontos com o lado direito do rato,
- escolher a opção “add trend line “
- nessa opção escolher o tipo de regressão “linear” ,
- mas abaixo escolher “show equation”.

Deve então aparecer o gráfico com a curva do ajuste e a respetiva equação.

Figura 3 – Copie o gráfico da reta média da folha de cálculo dos períodos do Aluno1 , do aluno 2, e do aluno 3, e cole aqui as respetivas imagens.

Transcreva também aqui a expressão da reta média na forma duma função $y=y(x)$,

Aluno1:

Aluno2:

Aluno3:

Comente se cada uma das 3 retas tem o respetivo termo linear próximo de zero ou não (deveria ser uma reta horizontal, praticamente constante). Se assim for, pode de agora em diante desprezar este termo, de forma ao período ser constante. O período médio de cada aluno é dado pelo termo constante.

V.2 - Determine então o valor da aceleração gravítica g para cada um dos alunos, usando o período médio \bar{T} e o comprimento respetivo do fio l .

•

-

-

Comente (quantitativamente) se estes valores são próximos do valor correto para g à nossa latitude.

VI. Cálculo de erros

VI.1 – Para determinarmos os erros do período, como não sabemos exatamente qual é o nosso tempo de reação ao premirmos o botão do cronómetro após vermos o pêndulo passar pelo ponto de referência, vamos realizar um estudo estatístico. Use uma função (por exemplo no excel a AVEDEF) para ver o desvio médio entre as o valor médio do período e as diversas medições. Usando este desvio médio como o erro no período calcule então T_{superior} e T_{inferior} . Calcule para cada uma das séries de 3 medições estes dois valores.

-
-
-

VI.2 – Repita todos os cálculos da secção anterior, considerando agora os respetivos valores de T_{superior} , mostrando os resultados para um novo valor de g_{superior} ,

-
-
-

VI.2 - Repita de novo os cálculos da secção anterior, considerando agora os respetivos valores de T_{superior} , mostrando os resultados para um novo valor de g_{superior} ,

-
-
-

VI.3 – Usando estes dois resultados, para cada um dos três alunos, determine o valor médio para g e a respetiva barra de erro. Pode considerar que o valor correto deve estar na interseção das 3 barras de erro.

VII. Conclusão

VII-1. Comente muito brevemente se conseguiu atingir os objetivos do trabalho, se o resultado médio é bom (quantitativamente), se o resultado esperado está dentro da barra de erro (quantitativamente), e como poderia melhorar os resultados.

VII-2 Pequenos extras qualitativos (que basta uma aluno fazer, mas mostrando aos outros com a webcam do seu computador):

- Para testar um oscilador forçado, segure agora o fio com a mão, sem ponto fixo e oscile a mão. Quando oscila a mão muito depressa, o pêndulo fica em fase ou em oposição de fase com a mão?
- E quando oscila a mão devagar, o pêndulo fica em fase ou em oposição de fase com a mão?
- Pendure agora o pêndulo a um ponto alto, para ter o máximo de comprimento que conseguir (por exemplo a um aplique no teto). Deixe então o pêndulo oscilar durante exatamente uma hora. Meça a amplitude inicial, e a orientação do lano de oscilação inicial. Para testar o pêndulo amortecido, ao fim de uma hora de que fator diminuiu a amplitude?
- Ao fim de uma hora, o pêndulo mantém o seu plano de oscilação, ou o plano de oscilação rodou um pouco? (nota, segundo o pêndulo de Foucault, devido à rotação da terra, o pêndulo deveria rodar quase 10 graus à nossa latitude)