

T4A - Estudo do Movimento Pendular

Maria Milena Nunes da Silva - Grupo 4

18/03

Objetivos

- Estudo experimental do movimento pendular
- Determinação de algumas grandezas

Material

- Painel plástico vertical com ~~trilhos~~ trincas e sistema de fixação do pendulo
- Várias esferas de diferentes massas
- Fio de nylon
- Cronómetro
- Balança digital para pesagem das massas (DAHAUS LS 200)

Procedimento

2.2.1. Estudo do efeito da massa no período do pendulo

- ① Peso na balança as 3 massas escolhidas (esferas)
- ② Para cada esfera:
 - ~~Ponderar~~ Ponder a esfera na extremidade do fio e ajustar comprimento do fio ~~de~~ de modo a que distância entre o ponto de suspensão e o centro da esfera ~~seja~~, L, seja igual para as 3 massas
 - Afastar a esfera de um ângulo θ_0 ($\approx 5^\circ$) (igual para as 3 esferas) em relação ao fio de equilíbrio e largá-la, iniciando a contagem do tempo no cronómetro
 - Medir com o cronómetro o tempo correspondente a 10 oscilações completas de esfera (t_i)
 - Calcular período de oscilação correspondente (T_i)
 - Repetir processo mais duas vezes para cada esfera (3 maiores)

2.2.2. Estudo do período do pêndulo com a amplitude de oscilação (θ_0)

Mantendo a distância entre o ponto de suspensão até ao centro de referência (L) e a massa (m) fixa:

- ① Selecionar uma esfera e pendurar a sua extremidade do fio, medindo L

~~L~~ (L não deve ser muito)

- ② Medir o período de oscilação T para várias amplitudes iniciais θ_0

(5° , 10° , 15° aproximadamente) (3 vezes)

Põe cada valor de θ_0 :

— Afastar a esfera da sua ângulo θ_0 em relação ao equilíbrio e largá-la, iniciando a contagem de tempo no cronómetro

— Medir com o cronómetro o tempo ~~correspondente~~ correspondente a 10 oscilações completas da esfera (t_1)

— Calcular o período de oscilação correspondente (T_1)

— Repetir mais duas vezes o procedimento ~~correspondente~~

— Repetir graficamente T em função de θ_0

2.2.3. Estudo do período do pêndulo com o comprimento do fio (L)

Mantendo fixa a amplitude de oscilação do pêndulo ($\theta_0 \leq 5^\circ$) e a massa da esfera (m):

- ① Selecionar uma esfera e pendurar a sua extremidade do fio, medindo a distância entre o ponto de suspensão até ao centro de referência (L)

- ② Medir o período de oscilação T para vários comprimentos L

~~L~~, ~~50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm~~ separados de 5 cm (4 medidas)

Põe cada valor de L:

— Afastar a esfera do mesmo ângulo $\theta_0 \leq 5^\circ$ em relação ao equilíbrio e largá-la, iniciando a contagem de tempo no cronómetro

- Medir com o cronômetro o tempo correspondente a 10 oscilações completas da esfera (t_i)
- Calcular o período de oscilação correspondente
- Repetir mais duas vezes o procedimento
- Repetir graficamente T^2 em função de L
- Fazer um ajuste linear do tipo $T^2 = aL + b$ aos dados $T^2(L)$, determinando o deslocamento da origem, assim como as incertezas imortais e o coeficiente de determinação de regressão linear; traçar a reta de ajuste no gráfico
- Determinar a aceleração gravitacional (g) e a incerteza imortal (Δg) a partir dos resultados do ajuste linear

Cuidados a ter: garantir que o fio esteja esticado e paralelo ao painel do transferidor no momento da largada da esfera

$$\text{Incerteza } L = \pm 0,05 \text{ cm}$$

Dados experimentais

2.2.1.

	Valor	Imcerteza	Unidade
m_1	67,3		
m_2	29,4		
m_3	42,7		

$$m_1 = 67,3 \text{ g}$$

$$m_2 = 29,4 \text{ g}$$

$$m_3 = 42,7 \text{ g}$$

$$m_1 = 29,4 \text{ g}$$

$$m_2 = 29,3 \text{ g}$$

$$m_3 = 42,6 \text{ g}$$

$$m_2 = 42,6 \text{ g}$$

$$m_3 = 42,8 \text{ g}$$

	Eração	t_i $(\Delta) \pm 0,1$	T_i $(\Delta) \pm$	\bar{T}_i (Δ)	$\Delta \bar{T}_i$ (Δ)
Esfera 1	1	11,8			
	2	12,1			
	3	11,9			
	1	12,0			
Esfera 2	2	12,4			
	3	12,1			
	1	12,2			
Esfera 3	2	12,0			
	3	11,9			

Diametros:

$$\text{Incerteza: } \pm 0,01 \text{ mm}$$

$$d_1 = (24,5 + 0,235) \text{ mm}$$

$$d_2 = (22,7 + 0,315) \text{ mm}$$

$$d_3 = (19,5 + 0,128) \text{ mm}$$

2.2.2. m_1

L (cm) $\pm 0,05$	θ_0 (°) $\pm 0,5$	Enunciado	t_i (s) $\pm 0,1$	T_i (s) \pm	\bar{T}_i (s)	ΔT_i (s)
		1	11,8			
		2	11,8			
		3	12,0			
35,87		1	11,8			
		2	11,8			
		3	11,9			
		1	11,9			
		2	11,9			
		3	11,9			
		15				

2.2.3 m_1

θ_0 (°) $\pm 0,5$	L (cm) $\pm 0,05$	Enunciado	t_i (s) $\pm 0,1$	T_i (s) \pm	\bar{T}_i (s)	ΔT_i (s)	$A(\bar{T}_i)$ (s)
		1	12,0				
		2	11,8				
		3	11,9				
35,87		1	12,4				
		2	12,5				
		3	12,4				
\oplus		1	13,1				
		2	13,0				
38,14		3	13,1				
\oplus		1	13,1				
		2	13,0				
41,44		3	13,1				

2.2.1.

	$L_{f,0}$ (cm)	$L_{ganchos}$ (cm)	d (cm) \Rightarrow	L	Imaturação
m_1	32,10	1,30	$24,735 \times 10^{-1}$	35,87 cm	$\boxed{0,05 \text{ cm}}$
m_2	33,00	1,75	$22,315 \times 10^{-1}$		
m_3	33,79	1,10	$19,628 \times 10^{-1}$		

$$\oplus_1 L_{f,0} = 35,60 \text{ cm}$$

$$L = 35,60 + 1,30 + \frac{24,735}{2} = 38,14 \text{ cm}$$

$L_{ganchos}$
esfera 1

$L_{ganchos}$
esfera 2

$L_{ganchos}$
esfera 1

$$\oplus_3 L_{f,0} = 42,60 \text{ cm}$$

$$L = 42,60 + 1,30 + \frac{24,735}{2}$$

$$= 45,14 \text{ cm}$$

$$\oplus_2 L_{f,0} = 38,90 \text{ cm}$$

$$L = 38,90 + 1,30 + \frac{24,735}{2}$$

L

45,14	\oplus_3	1 13,5
		2 13,7
		3 13,6

$L_{f,0}$

$L_{ganchos}$
 $d/2$

\checkmark

Tratamento de dados

Esferas	Ensaio	m	Média m
		(g) ± 0.1	(g) ± 0.1
1	1	67.3	67.3
	2	67.3	
	3	67.3	
2	1	29.4	29.4
	2	29.4	
	3	29.3	
3	1	42.6	42.7
	2	42.6	
	3	42.8	

Tabela 1.1. : massas das 3 esferas

Estudo do efeito da massa no período do péndulo

Esferas	Ensaio	ti	Ti	Média Ti	Incerteza Média Ti
		(s) ± 0.1	(s) ± 0.01	(s)	
1	1	11.8	1.18	1.190	0.009
	2	12.1	1.21		
	3	11.9	1.19		
2	1	12.0	1.20	1.220	0.012
	2	12.4	1.24		
	3	12.1	1.21		
3	1	12.2	1.22	1.200	0.009
	2	12.0	1.20		
	3	11.9	1.19		

Tabela 2.1. : Médias das valores do período e respectivas incertezas (em função da massa de esfera)

Média das médias Ti	1.200
Incerteza da média	0.007

Tabela 2.2. : Média das médias das valores do período e respectiva incerteza

(Nota: os valores da "Média Ti" e "Média das médias Ti" apresentam um zero a mais)

três casas decimais) apesar disso permanece com a mesma precisão em comparação com a

"Incerteza da média", calculada pelo cálculo: $\sqrt{\frac{1}{3}}$ (desvio-padrão dos valores)

Estudo da variação do período com a amplitude de oscilação

Esfera	L	L	θ	Medição	Ensaio	ti	Ti	Média Ti	Incerteza Média Ti
	(cm) ± 0.05	(m) ± 0.0005	($^{\circ}$) ± 0.5			(s) ± 0.1	(s) ± 0.01	(s)	
1	35.87	0.3587	5 ($^{\circ}$)	1	1	11.8	1.18	1.190	0.001
					2	11.8	1.18		
					3	12.0	1.20		
	35.87	0.3587	10 ($^{\circ}$)	2	1	11.8	1.18	1.180	0.003
					2	11.8	1.18		
					3	11.9	1.19		
	35.87	0.3587	15 ($^{\circ}$)	3	1	11.9	1.19	1.190	0.000 \oplus
					2	11.9	1.19		
					3	11.9	1.19		

Tabela 3 : Médias dos valores do período e respectivas incertezas (em função de θ)

\oplus esta incerteza é exatamente zero pois os três medições realizadas neste ensaio são iguais (tendo em conta, obviamente, a incerteza do cronômetro)

(Nota: os valores da "Média Ti" apresentam três casas decimais ~~apenas duas~~ - num caso a mais - afinal deve concordar com a "Incerteza Média Ti", calculada pelo expresso $\frac{\text{desvio padrão dos valores}}{\sqrt{3}}$)

Período em função do ângulo inicial

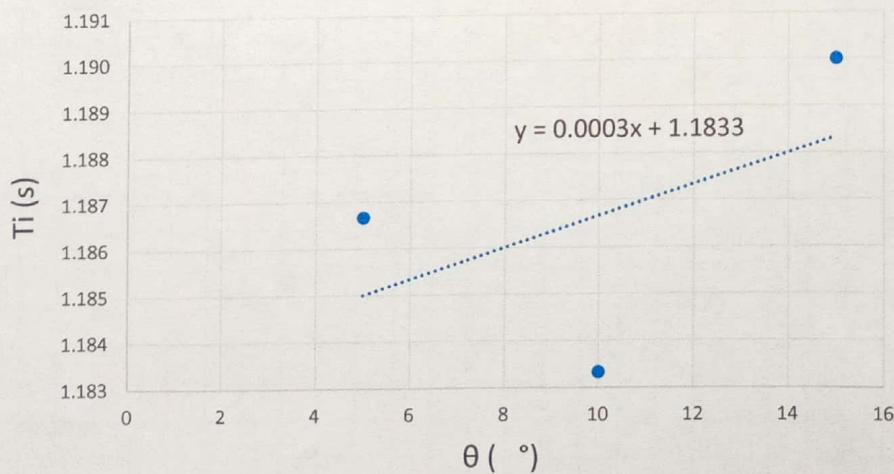


Gráfico 1 : Período (T_i) em função do ângulo inicial (θ)

Estudo de variação do período com o comprimento do pendulo

Esfera	θ	L	L	Medição	Ensaios	ti	Ti	Média Ti	Incerteza Média Ti	Ti2	Incerteza Ti2	Ajuste linear	Resíduos
	($^{\circ}$) ± 0.5	(cm) ± 0.05	(m) ± 0.0005			(s) ± 0.1	(s) ± 0.01	(s)		(s2)			
1	5°	35.87	0.3587	1	1	12.0	1.20	1.190	0.006	1.420	0.014	1.43	-0.0176
					2	11.8	1.18						
					3	11.9	1.19						
		38.14	0.3814	2	1	12.4	1.24	1.240	0.003	1.550	0.008	1.54	0.0105
					2	12.5	1.25						
					3	12.4	1.24						
		41.44	0.4144	3	1	13.1	1.31	1.310	0.003	1.710	0.009	1.68	0.0243
					2	13.0	1.30						
					3	13.1	1.31						
		45.14	0.4514	4	1	13.5	1.35	1.350	0.009	1.830	0.024	1.85	-0.0172
					2	13.7	1.37						
					3	13.4	1.34						

Tabela 4.1 : Médias dos valores do período e respectivas incertezas (em função de L)

(Nota: os valores da "Média Ti" e de "Ti²" apresentam três casas decimais - um zero a mais - apenas para harmonizar com concordância com as incertezas calculadas:

→ "Incerteza Média Ti": $\frac{\text{desvio - raiz dos resíduos}}{\sqrt{3}}$

$$\rightarrow " \text{ Incerteza } T_i^2": \sqrt{\left(\frac{d(T_i^2)}{dT_i} \times \text{incerteza média } T_i \right)^2} = \sqrt{(2T_i \times \text{incerteza média } T_i)^2}$$

Ajuste linear		
m	4.4762	-0.171874618
u(m)	0.365630411	0.147347351
	0.986831558	0.025573926
	149.8782594	2
	0.098024234	0.001308051

Tabela 4.2 : Ajuste linear de forma

a obter o declínio (m), a incerteza do

~~declínio~~ declínio (u(m)) e a ordenada na origem (b)

g (m/s ²)	Incerteza
valor obtido	0.72
valor tabelado	9.81
Erro relativo percentual	10.1%

Tabela 4.3 : Valor obtido de g e

respectiva incerteza e erro relativo

Quadrado do período em função da distância entre o ponto de suspensão e o centro da esfera

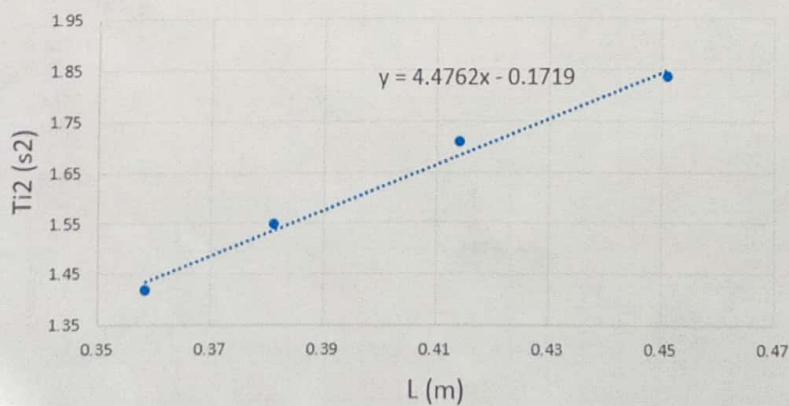


Gráfico 2 : Quadrado do período (T_i^2) em função da distância entre o ponto de suspensão e o centro de esfera (L)

Discussão

2.2.1. Estudo do efeito da massa no período do pêndulo (Tabela 2.1. e 2.2)

— A imprecisão de medida das médias dos valores do período é relativamente reduzida (0.007%), ou seja, as médias dos valores do período ($1.190, 1.220 \pm 1.200$) para cada espécie mas ~~apresentam~~ apresentam um grande desvio da sua própria média.

Ou seja, pode - se concluir que a média dos valores do período obtida para cada espécie é muito semelhante, pelo que a massa da espécie não influencia significativamente o período do pêndulo.

— Ainda assim, os valores obtidos ~~são~~ ($1.190, 1.220, 1.200$) são diferentes, sendo justificados ~~por~~ por:

- Influência da força da Coriolis: prova que a espécie oscila não só no plano do painel como também no plano perpendicular ao painel, alterando assim ~~o período~~ o período;
- Falta de exatidão no início ou final o cronômetro: isto é visivelmente observável, mesmo que ~~se tem~~ se tem ~~uma~~ alternada a função ~~para~~ responsável por este funções.

2.2.2. Estudo da variação do período com a amplitude de oscilação (Tabela 3 e Gráfico 1)

— De acordo com o gráfico 1, o declínio é da ordem de grandeza 10^{-4} , pelo que, apesar da escala utilizada, o eixo do gráfico é praticamente horizontal. Desta maneira, ~~é~~ pode - se concluir que o ângulo inicial a partir do qual é largada uma dada espécie não influencia significativamente o período do pêndulo (que corresponde ao inverso da velocidade angular).

— Mesmo assim, o declínio não é nulo, ~~existem~~ existem ~~variações~~ variações além de ~~existir~~ existir incerteza da média do período, factos que não explicam pelos ~~que~~ causas apontadas na secção 2.2.1.

2.2.3. Estudo de variação do período com o comprimento da corda

- Foram realizados 4 enemas para obter um enema com ~~máximo~~ mínimo de efluentes, pois o enxugamento entre enemas é de ~~mais ou menos~~ cerca de 3 cm e mais de 5 cm, como referido no procedimento.

 Tablas
e. 1, e. 2.
e 4.3
e gráfica 2

- De acordo com o gráfico 2, verifica - se um aumento do período ~~com o aumento do comprimento do fio~~ (ou de distância entre o ponto de suspensão e o centro de esfera) com o aumento da altura.
 - Realizando o ajuste linear, tem - se que o declínio obtido, m , conforma a $\frac{4\pi^2}{g}$, ou seja, o valor de $8,82 \text{ ms}^{-2}$ obtém - se a partir da expressão $\frac{4\pi^2}{m}$. A incerteza deste valor obtém - se a partir da expressão

$$\sqrt{\left(\frac{d}{dm} \left(\frac{4\pi^3}{m} u(m) \right) \right)^2} = \sqrt{\left(-\frac{4\pi^2}{m^2} u(m) \right)^2}$$

Conclusion

- Verificou-se que a maneira de como esforça bem combina o ângulo inicial a partir do qual esse esforço é lançado não afeta o período do seu pendulo
 - O erro relativo do valor da gravidade obtido é bastante elevado (aproximadamente 10%).
Assim tal, em futuras reproduções desta experiência devem ser tomados os seguintes cuidados de forma a minimizarem o erro:

- Ligar o aparelho com uma ligeira aproximação ao painel, de modo a reduzir o efeito da força de Coriolis;
- Recular mais do que houver de forma a que o declive obtido pelo ajuste linear seja mais grande;
- Tomar amola mais frequentes ao iniciar e parar o cronômetro.