

* experimento 2:

Pêndulo Físico

Introdução

- um pêndulo físico consiste em um sistema formado por um corpo sólido que fica suspenso em sua extremidade superior (ponto O), o qual é capaz de oscilar livremente em torno de um eixo fixo, que recebe o nome de "eixo de oscilação". Quando este está no equilíbrio, o corpo permanece em repouso, até que uma força externa o desloque lateralmente (inércia), e assim, inicia-se um movimento periódico ao redor da posição de equilíbrio.

Os pêndulos físicos, também conhecidos com pêndulos reais, recebem tal nome pelo fato de não apresentarem uma distribuição uniforme de massa, ou seja, as massas pendulares não atuam como simples partículas, mas como sólidos com dimensões que não podem ser desprezadas, diferente do que ocorre com o pêndulo simples.

Materiais e métodos

- foi-se calculado para realizar o experimento, materiais como, haste de suspensão, cronômetro, balança, trena, paquímetro e barra de metal com diversos furos equidistantes das bordas.

Para a montagem do pêndulo físico, utilizou-se a barra de metal, a qual foi posicionada na haste encontrada no laboratório. A barra possuía diversos furos previamente demarcados pelos seus respectivos números, de forma crescente. A barra foi suspensa pelo primeiro furo e, em seguida, deslocada em um ângulo " θ " pequeno, a fim de iniciar o movimento de oscilação. Foi cronometrado o tempo para 10 oscilações, com o intuito de calcular o período de uma oscilação. Esse processo foi realizado de forma com que a barra fosse suspensa sucessivamente pelos furos numerados de 1 a 20, repetindo esse mesmo procedimento outras 4 vezes.

para cada um dos furos. Assim, os seguintes dados foram obtidos:

nº do furo	d (cm)	r (cm)	d ₁ (s)	d ₂ (s)	d ₃ (s)	d ₄ (s)	d ₅ (s)	d _m (s)	T (s)
1	2,5	47,5	15,95	15,94	16,02	15,93	15,88	15,92	1,59
2	5	45	15,65	15,54	15,52	15,67	15,72	15,62	1,56
3	7,5	42,5	15,48	15,44	15,39	15,41	15,53	15,45	1,54
4	10	40	15,29	15,25	15,31	15,27	15,29	15,28	1,53
5	12,5	37,5	15,04	14,93	15,01	14,95	14,98	14,98	1,49
6	15	35	14,84	14,91	14,90	14,92	14,89	14,89	1,49
7	17,5	32,5	14,84	14,89	14,84	14,89	14,87	14,86	1,49
8	20	30	14,81	14,84	14,84	14,82	14,80	14,82	1,48
9	22,5	27,5	14,73	14,79	14,75	14,80	14,72	14,76	1,48
10	25	25	14,65	14,64	14,65	14,7	14,62	14,65	1,46
11	27,5	22,5	14,88	14,77	14,78	14,90	14,84	14,83	1,48
12	30	20	15,19	15,45	15,40	15,33	15,22	15,32	1,53
13	32,5	17,5	15,71	15,66	15,74	15,67	15,66	15,69	1,57
14	35	15	16,25	16,43	16,33	16,41	16,28	16,34	1,63
15	37,5	12,5	17,32	17,43	17,49	17,38	17,51	17,43	1,74
16	40	10	18,49	18,90	18,60	19,55	18,92	18,69	1,87
17	42,5	7,5	21,26	21,99	21,01	21,77	21,44	21,49	2,15
18	45	5	24,24	25,21	24,68	25,12	25,02	24,95	2,48
19	47,5	2,5	34,97	34,65	34,93	34,7	34,81	34,79	3,48
20	50	0	-	-	-	-	-	-	-

Resultados e discussões

- para o estudo do pêndulo composto foram utilizadas algumas equações que são deduzidas a seguir:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -m \cdot g \cdot r \cdot \sin\theta \rightarrow \sin\theta \sim \theta$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mgr\theta}{I} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mg \cdot r}}$$

$$T_{min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}} \text{ (equação 7)}$$

$$r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

$$\rightarrow T^2 = (2\pi)^2 \cdot \left(\frac{2R}{g}\right) \rightarrow T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{2R}{g}$$

$$I = mR^2 + mr^2 \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}}$$

considerando $r_1 = r_2 = R$, temos:

$$r_1 \cdot r_2 = R^2 \rightarrow \text{se } r_1 + r_2 = 2R, \text{ temos:}$$

$$\frac{T^2 \cdot g}{4\pi^2} = r_1 + r_2 \text{ (equação 8)}$$

$$(r_1 + r_2)^2 = 4R^2 \rightarrow \text{considerando } r_1 = r_2$$

$$r_1 + r_2 = R^2 \text{ (equação 9)}$$

Para a definição do raio do giro, foram utilizados os dados referentes aos 3 primeiros furos da barra, os quais podem ser encontrados na tabela disponibilizada anteriormente.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{g}}$$

$$1,59 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + (0,475)^2}{9,8 \cdot 0,475}} \rightarrow 0,064 = \frac{R^2 + 0,2256}{9,8 \cdot 0,475} \rightarrow R = 0,2689 \text{ m}$$

$$1,56 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + (0,450)^2}{9,8 \cdot 0,450}} \rightarrow 0,062 = \frac{R^2 + 0,2025}{9,8 \cdot 0,450} \rightarrow R = 0,2663 \text{ m}$$

$$1,54 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + (0,425)^2}{9,8 \cdot 0,425}} \rightarrow 0,060 = \frac{R^2 + 0,1806}{9,8 \cdot 0,425} \rightarrow R = 0,2632 \text{ m}$$

Desse forma, os valores encontrados para o giro dos furos 1, 2 e 3 são, respectivamente, 0,2689 m, 0,2663 m e 0,2632 m, permitindo a conclusão de que o raio de giro é equivalente a aproximadamente 0,26 m. Em seguida, foi utilizado esse valor encontrado para determinar, a partir da equação 7, o período mínimo:

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2 \cdot 0,26}{9,8}} \rightarrow T_{\min} = 1,45 \text{ s}$$

Para observar de modo mais prático com o período T de oscilações se comporta em relação a distância d do furo até a extremidade tomada como referência, foram montados os gráficos dispostos abaixo. A partir da análise desse gráfico, é possível observar uma pequena diminuição no período conforme d aumenta, até que se procure o ponto em certo ponto, e o período passa a crescer novamente.

Além disso, a fim de examinar melhor esse fenômeno, foi feito um gráfico apenas os pontos de 1 a 13, em que se observa uma parábola, com alguns valores dispersos, devido a possíveis erros experimentais.

Gráfico 1

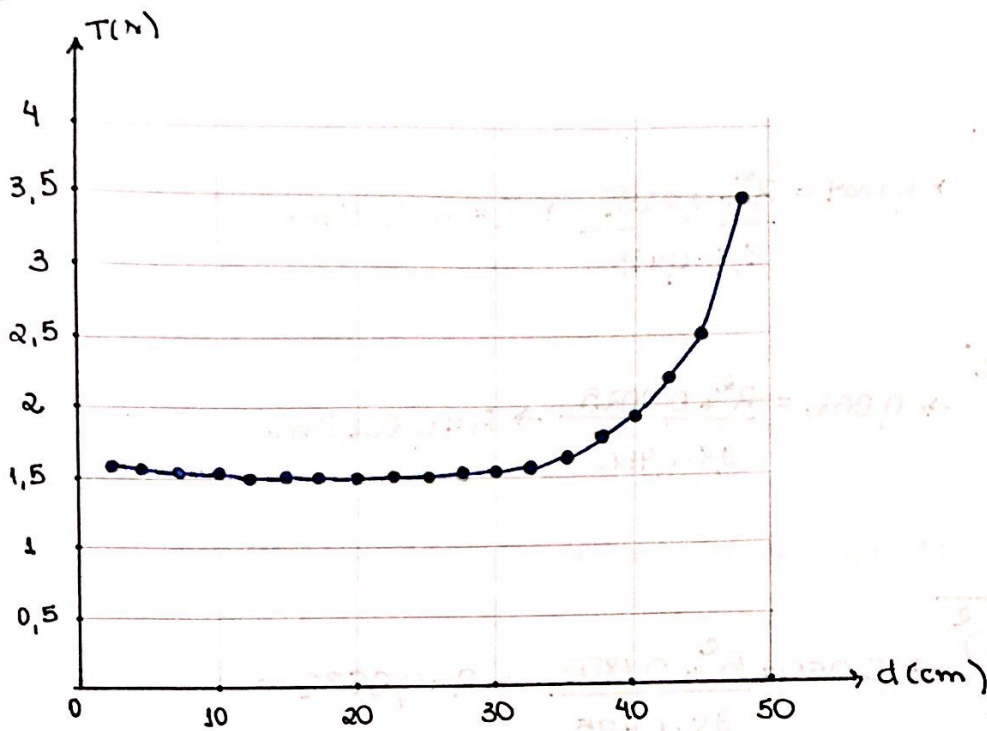
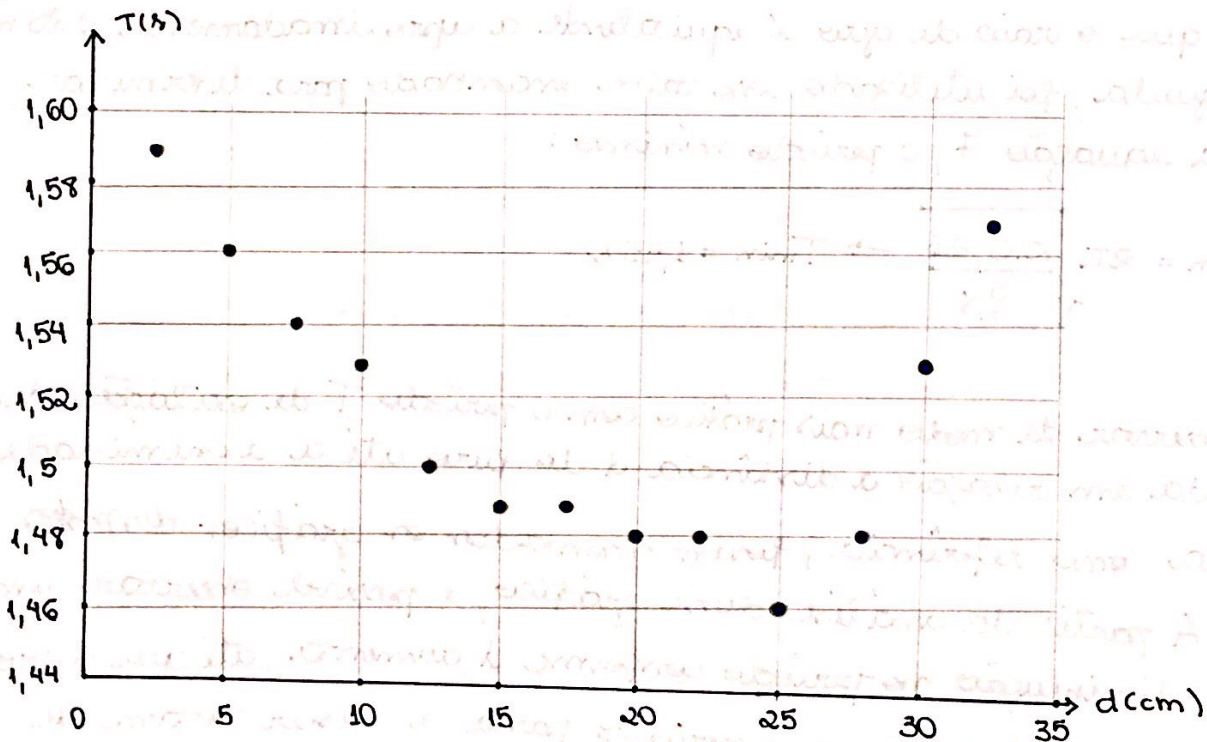


Gráfico 2



A partir de um determinado período T , foram encontrados valores para r_1 e r_2 e, posteriormente, fez-se uso desses resultados para encontrar o raio de giro R equivalente e a aceleração da gravidade "g" equivalentes a tal período. Para tanto, as equações 7, 8 e 9 foram necessárias.

$$r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \rightarrow r_1 + r_2 = 0,627$$

$$r_1 \cdot r_2 = R^2 \rightarrow R = 0,3135 \text{ m}$$

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}} \rightarrow 1,45 = 2\pi \sqrt{\frac{2 \cdot 0,31}{g}} \rightarrow g = 11,6 \text{ m/s}^2$$

Assim, é possível comparar o valor do raio de giro encontrado acima (0,31m), com o que já foi demonstrado anteriormente (0,26m), observando uma pequena divergência entre os números, considerando que dois métodos diferentes foram utilizados. Do mesmo, nota-se que a gravidade encontrada por meio da fórmula é de $11,6 \text{ m/s}^2$, diferentemente do valor teórico da gravidade, que é $9,8 \text{ m/s}^2$.

Por último, foi calculado o momento de inércia equivalente (I_c) da barra, dado pela equação demonstrada a seguir

$$I_c = mR^2 \rightarrow I_c = 0,424 \cdot 0,3135^2 = 0,042 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} m \cdot L^2 \rightarrow I_c = \frac{0,424 \cdot 1^2}{12} = 0,035 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

O primeiro valor encontrado corresponde ao eixo da barra utilizada no experimento e, o segundo, a uma barra rígida sem os furos.

Conclusão

Com o experimento, concluiu-se que, um sistema tende a voltar ao seu estado inicial, quando é forçado a sair do seu estado de equilíbrio e, no caso do pêndulo, esse fenômeno resulta em um movimento periódico em torno de um eixo de rotação, conhecido como momento de inércia. Assim, por meio dos dados obtidos, foi estudada o período, o tempo mínimo para uma oscilação, a aceleração da gravidade, o raio de giro e o movimento de inércia de um corpo, proporcionando um melhor entendimento sobre o pêndulo composto.

Correção Relatório 2. (pêndulo físico)

Nome: Bianca Jovier Zamar

Resultados e discussões

• dedução das fórmulas:

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -m \cdot g \cdot r \cdot \sin\theta \rightarrow \sin\theta \sim \theta$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = - \frac{mgr\theta}{I} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{I/mgr}, \quad I = mR^2 + mr^2 \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}}$$

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

$$r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

$$\rightarrow T^2 = (2\pi)^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{2R}{g}} \right)^2 \rightarrow T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{2R}{g}$$

considerando $r_1 = r_2 = R$, dem. - se:

$$\frac{T^2 g}{4\pi^2} = r_1 + r_2$$

$$\begin{cases} r_1 \cdot r_2 = R^2 \rightarrow \text{se } r_1 + r_2 = 2R, \text{ dem. - se} \\ (r_1 + r_2)^2 = 4R^2 \rightarrow \text{considerando } r_1 = r_2 \\ r_1 + r_2 = 2R \end{cases}$$

considerando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, o raio de giro equivalente (R) é

dado por:

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}} \rightarrow R = \frac{9,8 \cdot (1,46)^2}{8\pi^2} = 0,264 \text{ m}$$

→ através da tabela (anexada ao final do relatório), $T = 1,53$ nos furos 4 e 12 ($r_1 = 40\text{cm}$ e $r_2 = 20\text{cm}$), logo:

$$R = \sqrt{r_1 \cdot r_2} = \sqrt{0,4 \cdot 0,2} = 0,282\text{ m}$$

$$g = \frac{(r_1 + r_2) \cdot 4\pi^2}{T^2} = \frac{(0,4) + (0,2) \cdot 4\pi^2}{(1,53)^2} = 10,1\text{ m/s}^2$$

* R e g possuem valores semelhantes aos valores teóricos, o que pode causar a ligeira diferença nos valores experimentais ou do experimentador.

→ momento de inércia:

massa da barra = 424g

R calculado anteriormente = $0,282\text{ m}$

1) furos com base no raio de giro (R):

$$I = m \cdot R^2 = 0,424 \cdot (0,282)^2 = 0,0337\text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

2) barra homogênea com eixo de rotação no centro

$$I = \frac{m \cdot L^2}{12} = \frac{0,424 \cdot 1^2}{12} = 0,035\text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

3) barra com eixo no 1º furo:

$$I_1 = mR^2 + mr^2 = 0,424 \cdot (0,282)^2 + 0,424 \cdot (0,475)^2 = 0,129\text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

4) teóricas para a barra presa pela sua extremidade:

$$I = \frac{m \cdot L^2}{3} = \frac{0,424 \cdot 1^2}{3} = 0,141\text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

nº do furo	d (cm)	r (cm)	d ₁ (λ)	d ₂ (λ)	d ₃ (λ)	d ₄ (λ)	d ₅ (λ)	d _m (λ)	T(λ)
1	2,5	47,5	15,95	15,84	16,02	15,93	15,88	15,92	1,59
2	5	45	15,65	15,54	15,52	15,67	15,72	15,62	1,56
3	7,5	42,5	15,48	15,44	15,39	15,41	15,53	15,45	1,54
4	10	40	15,29	15,25	15,31	15,27	15,29	15,28	1,53
5	12,5	37,5	15,04	14,93	15,01	14,95	14,98	14,98	1,50
6	15	35	14,84	14,91	14,90	14,92	14,89	14,89	1,49
7	17,5	32,5	14,84	14,89	14,84	14,89	14,87	14,86	1,49
8	20	30	14,81	14,74	14,84	14,82	14,80	14,82	1,48
9	22,5	27,5	14,73	14,79	14,75	14,80	14,72	14,76	1,48
10	25	25	14,65	14,64	14,65	14,7	14,62	14,65	1,46
11	27,5	22,5	14,88	14,77	14,78	14,90	14,84	14,83	1,48
12	30	20	15,19	15,45	15,40	15,33	15,22	15,32	1,53
13	32,5	17,5	15,71	15,66	15,74	15,67	15,66	15,69	1,57
14	35	15	16,25	16,43	16,33	16,41	16,28	16,34	1,63
15	37,5	12,5	17,32	17,43	17,49	17,38	17,51	17,43	1,74
16	40	10	18,49	18,90	18,60	18,55	18,92	18,69	1,87
17	42,5	7,5	21,26	21,89	21,01	21,77	21,44	21,49	2,15
18	45	5	24,24	25,21	24,68	25,12	25,02	24,85	2,48
19	47,5	2,5	34,87	31,65	34,93	31,7	34,81	34,79	3,48
20	50	0	-	-	-	-	-	-	-