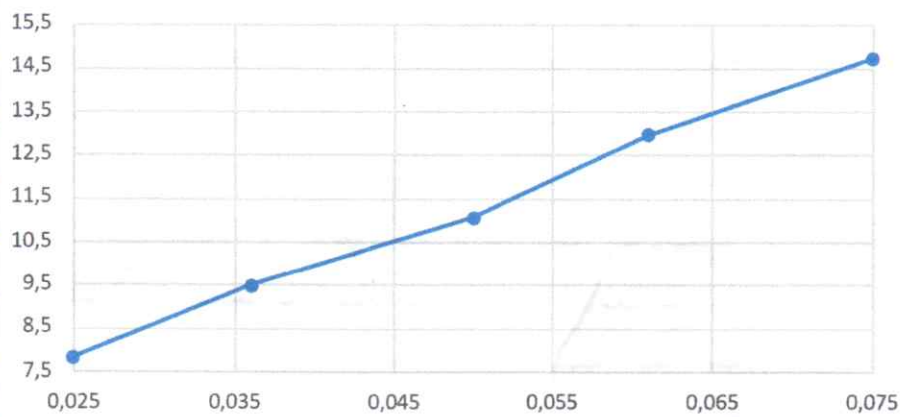


* Anexo 7

Gráfico 8: Tempo ao quadrado (s^2) por massas relacionadas à associação em paralelo das molas 1 e 2



EXP 2

• Pêndulo Físico

↳ Introdução

○ Pêndulo Físico, também chamado de pêndulo real, trata-se de um sistema onde o corpo pode estar oscilando a um ponto fixo de seu centro de massa. Esse sistema mecânico consiste em uma massa m de dimensões desprezíveis (massa puntiforme), que está presa a um fio inextensível também de massa desprezível, capaz de oscilar em torno de sua posição fixa. No estado de equilíbrio, a massa fica deslocada e em seguida solta, será possível observar que ele irá oscilar em torno de sua posição de

equilíbrio, em um movimento periódico. ① experimento *
em questão estudar mais a fundo o sistema do pêndulo
físico incluindo as fórmulas associadas à ele.

↳ materiais e métodos

Inicialmente, foram anotados os erros dos instrumentos
utilizados durante a aula experimental. Em seguida, a
profundidade, largura e massa de uma barra de metal
com os furos, enumerados, foram anotadas. Com uma régua,
a distância entre os furos, da barra foi anotada, assim
como a distância entre a extremidade e o centro de
massa. Feito isso, a barra foi posicionada de forma ver-
tical no suporte junto à bancada em cada um dos vinte
primeiros furos até atingir o centro de massa e para cada
furo, um deslocamento com ângulo pequeno foi realizado, a
fim de medir o tempo necessário para dez oscilações. Foram
realizadas cinco medidas para cada furo. Com os tem-
pos, a média e o período foram calculados. Com os dados
em mãos, um gráfico dos períodos em função da distância
do centro de massa foi construído. Conclusões Teóricas fo-
ram comparadas, são exemplo, o período, o momento de iné-
rcia, o raio de giro equivalente e a gravidade. Por fim, o
trabalho executado foi analisado e discutido, a fim de
atingir os objetivos de aula.

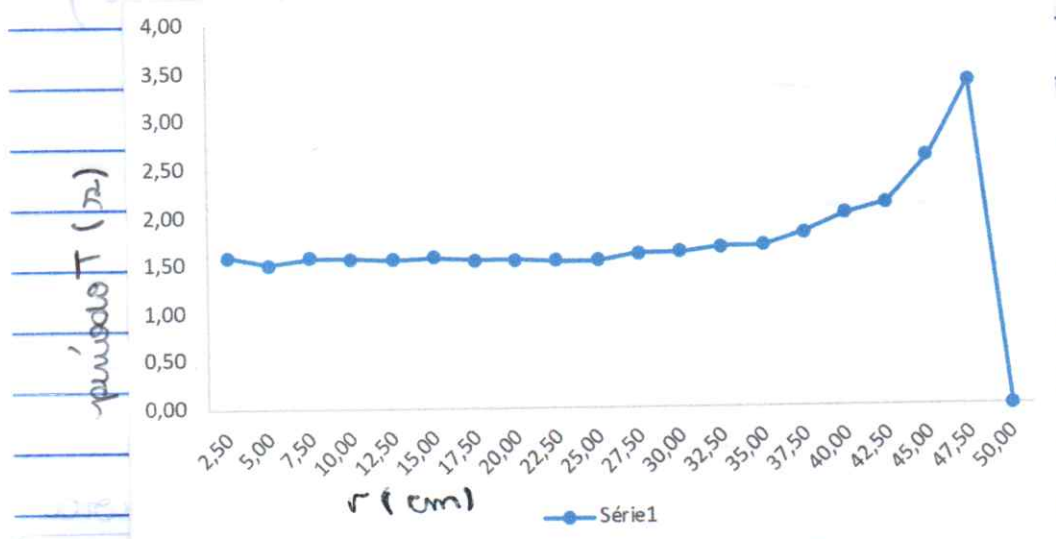
↳ Resultados e discussões

° medidas realizadas

Número do furo	d (cm)	r (cm)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	t4 (s)	t5 (s)	tm (s)	T (s)
1	2,50	47,50	14,53	16,96	15,44	15,90	16,49	15,86	1,59
2	5,00	45,00	14,35	14,53	15,65	15,89	14,69	15,02	1,50
3	7,50	42,50	15,83	15,26	16,59	15,69	15,57	15,79	1,58
4	10,00	40,00	15,59	15,98	16,21	15,29	15,33	15,68	1,57
5	12,50	37,50	15,28	15,71	15,85	15,34	15,65	15,57	1,56
6	15,00	35,00	15,41	15,65	15,96	15,94	15,78	15,75	1,58
7	17,50	32,50	15,26	15,43	15,74	15,33	15,67	15,49	1,55
8	20,00	30,00	15,61	15,56	15,59	15,10	15,51	15,47	1,55
9	22,50	27,50	15,11	15,80	15,33	15,14	15,45	15,37	1,54
10	25,00	25,00	15,24	15,48	15,17	15,41	15,67	15,39	1,54
11	27,50	22,50	15,76	16,35	16,60	15,38	16,54	16,13	1,61
12	30,00	20,00	15,41	16,44	16,95	15,65	16,26	16,14	1,61
13	32,50	17,50	16,18	17,44	17,34	16,94	15,34	16,65	1,67
14	35,00	15,00	16,77	17,98	16,57	16,83	15,65	16,76	1,68
15	37,50	12,50	17,61	17,86	19,28	17,60	18,43	18,16	1,82
16	40,00	10,00	19,98	19,23	22,67	19,17	19,35	20,08	2,01
17	42,50	7,50	21,39	21,77	20,89	21,25	20,62	21,18	2,12
18	45,00	5,00	25,55	25,54	26,92	25,78	25,90	25,94	2,59
19	47,50	2,50	34,97	34,79	32,63	33,55	32,84	33,76	3,38
20	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

massa da bala $\Rightarrow 427,0 \pm 1g$
 altura $\Rightarrow 97,5 \pm 0,5 cm$
 largura $\Rightarrow 2,6 \pm 0,5 cm$
 espessura $\Rightarrow 0,45 \pm 0,05 cm$

gráfico \Rightarrow Período em função da distância do eixo de massa



Primeiramente, define-se como "raio de giro" a própria distância entre o centro de massa e o ponto de apoio da régua durante o giro, definido como r .

Para uma determinação teórica do T_{\min} é usada a equação (7) demonstrada abaixo:

• Para qualquer MHS

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}} \Rightarrow \frac{dT}{dr} = 2\pi \left[\frac{-(R^2 + r^2)^{-1/2}}{gr} \right],$$

para um valor mínimo de T , devemos igualar a derivada da função do período a 0, portanto:

$$0 = 2\pi \left[\frac{-(R^2 + r^2)^{-1/2}}{gr} \right], = 2\pi \cdot \frac{1}{2} \cdot u^{-1/2} \cdot u' \quad \text{I}$$

$$u = \frac{R^2 + r^2}{gr} \Rightarrow u' = \frac{(R^2 + r^2)' \cdot gr - (R^2 + r^2) \cdot (gr)'}{g^2 r^2}$$

$$\Rightarrow u' = \frac{2r \cdot gr - (R^2 + r^2) \cdot g}{g^2 r^2} \Rightarrow u' = \frac{2r^2 - R^2 - r^2}{gr^2} \Rightarrow u' = \frac{r^2 - R^2}{gr^2}$$

$$u^{-1/2} = \left(\frac{R^2 + r^2}{gr} \right)^{-1/2} = \left(\frac{gr}{R^2 + r^2} \right)^{1/2}$$

Substituindo em I:

$$0 = \pi \cdot \left(\frac{gr}{R^2 + r^2} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{r^2 - R^2}{gr^2} \right) \Rightarrow \pi \cdot \left(\frac{R^2 + r^2}{gr} \right)^{-1/2} \cdot \left(\frac{r^2 - R^2}{gr^2} \right)$$

$$= \pi \cdot \left(\frac{R^2 + r^2}{gr} \right)^{-1/2} \cdot \left(\frac{r^2 - R^2}{gr^2} \right)$$

Portanto $r^2 = R^2$;

Logo,

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

Além disso as equações (8) e (9) podem ser por

das duas seguintes formas:

• Para (8)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{R^2 + r^2}{gr} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi R^2}{gr} + \frac{4\pi r^2}{gr} \Rightarrow$$

$$T^2 gr = 4\pi R^2 + 4\pi r^2 \Rightarrow 4\pi r^2 - T^2 gr + 4\pi R^2 \quad \textcircled{\text{II}}$$

Para a equação $\textcircled{\text{II}}$, temos que $\Delta = (-T^2 g)^2 - 4 \cdot 4\pi^2 \cdot 4\pi R^2 = 0$. Como $\Delta = 0$, podemos concluir que a equação tem duas raízes r_1 e r_2 tal que $r_1 = r_2$, definidas por

$$r_1 = r_2 = -\frac{(-T^2 g) \pm 0}{2 \cdot 4\pi^2} \Rightarrow r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{8\pi^2} + \frac{T^2 g}{8\pi^2} = \frac{2T^2 g}{8\pi^2}$$

$$\Rightarrow \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

• Para (9):

$$\text{Temos que } r_1 = r_2 = \frac{T^2 g}{8\pi^2} \Rightarrow r_1 \cdot r_2 = \left(\frac{T^2 g}{8\pi^2}\right)^2 = \frac{T^4 g^2}{64\pi^4}$$

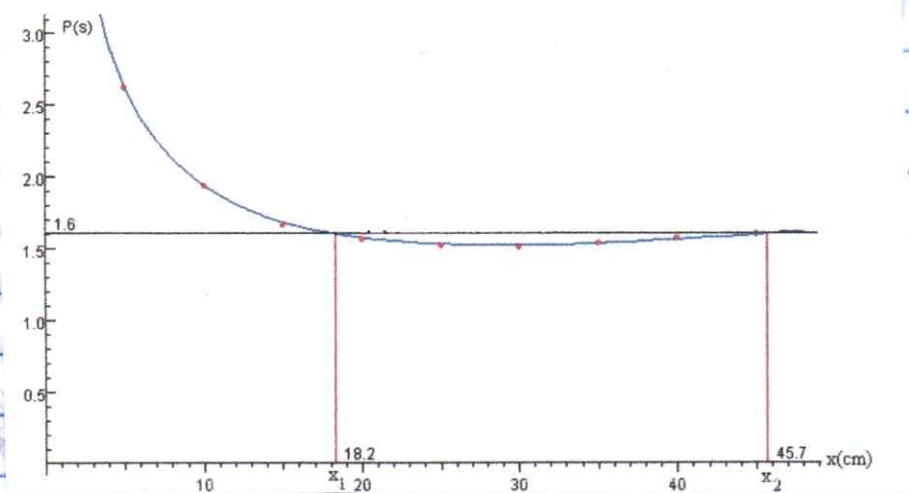
Sendo que $T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$, isolando R temos:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot 2R}{g} \Rightarrow R = \frac{T^2 g}{8\pi^2} \Rightarrow R = \frac{T^4 g^2}{64\pi^4} = r_1 \cdot r_2$$

Com as equações paradas, o próximo passo é definir o raio equivalente R , calculado a partir do momento de inércia I do corpo. Temos que, para qualquer corpo, $I = mR^2$, e para uma barra com o eixo fixado em uma de suas extremidades, $I = \frac{1}{3} mL^2$. Igualando as duas expressões, temos que $R = \frac{L}{\sqrt{3}}$. Considerando o comprimento da barra de 97,5 cm ou 0,975 m, temos $R = 0,56291$

○ Gráfico do experimento mostra muito bem o comporta-

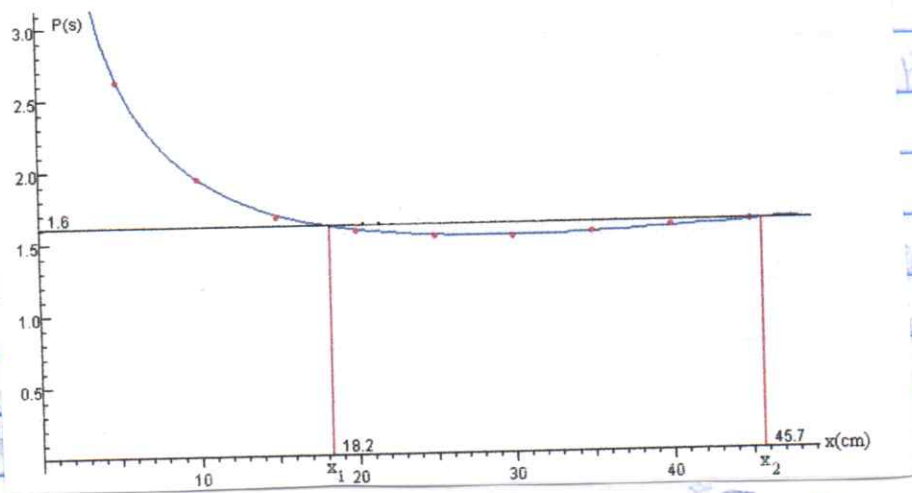
mento de um período de um MHS descrito teoricamente pelo gráfico a seguir:



Como pode ser observado, o gráfico encontrado no experimento foi próximo a este. As únicas divergências se encontram nas posições logo após o período mínimo. Isso é explicado pelo erro associado a essas posições, mostrando no gráfico do experimento. Nessas posições, elas são abundantemente maiores devido à proximidade do T onde se encontra o T mínimo, quando uma incógnita sensibilidade no experimento. A curva associada ao movimento, porém, está muito próxima se comparada a teórica.

Usando os valores experimentais em $T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$, o período do mínimo para esse experimento é de 2,12 segundos, o que difere muito do encontrado que foi de 1,50 segundos. Isso ocorre devido a sensibilidade do experimento que está sujeito ao erro do instrumento. A variação do ângulo para que ocorra um MHS não pode ser maior que 10° para que todas as fórmulas se validem, porém não existe um controle desse ângulo

mento de um período de um MHS descrito teoricamente pelo gráfico a seguir:



Como pode ser observado, o gráfico encontrado no experimento foi próximo a este. As únicas divergências se encontram nas posições logo após o período mínimo. Isso é explicado pelo erro associado a essas posições, mostrando no gráfico do experimento. Nessas posições, elas são abundantemente maiores devido à proximidade do v onde se encontra o T mínimo, quando uma incógnita sensibilidade no experimento. A curva associada ao movimento, porém, está muito próxima se comparada a teórica.

Usando os valores experimentais em $T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$, o período mínimo para esse experimento é de 2,12 segundos, o que difere muito do encontrado que foi de 1,50 segundos. Isso ocorre devido a sensibilidade do experimento que está suposto ao erro do instrumento. A variação do ângulo para que ocorra um MHS não pode ser maior que 10° pois que todas as fórmulas se validem, porém não existe um controle desse ângulo

pa parte do instrumento. Caso o ângulo exceda esse valor, o cálculo é feito com o seno do ângulo em vez de ele mesmo, obtendo o resultado e quando períodos menores, como os determinados experimentalmente.

Outra comparação que pode ser feita é, a partir de um T determinado experimentalmente, encontrar os coeficientes r_1 e r_2 e, portanto, R e g a partir das fórmulas (8) e (9).

Tomando $T = 1,887$ s e usando $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}}$ temos que r_1 e r_2 são respectivamente $0,784$ e $0,100$.

$$r_1 \cdot r_2 = R^2 \Rightarrow R = 0,0784$$

$$r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \Rightarrow g = 9,8006 \text{ m/s}^2$$

Os valores acima tem um erro associado, isto que, nem todas as oscilações desse experimento podem ter sido caracterizadas com MHS, invalidando grande parte dos cálculos. Devido a esse problema, os valores para g e R encontrados estão distantes da realidade.

O momento de inércia equivalente da barra (I_c), é calculado a partir da fórmula $I_c = m \cdot R^2$. Utilizando a massa de $0,427 \text{ kg}$ e o $R = 0,056291$ m temos que $I_c = 0,13530 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

↳ Conclusões

O experimento conseguiu demonstrar graficamente o comportamento de um pêndulo de uma barra como eixo de rotação em diferentes pontos de aplicação. Apesar da parte gráfica estar correta, o fato do experimento ter sido feito em condições não favoráveis para sua rea-

cidade, os cálculos se distanciam da realidade, obtendo valores imprecisos de T , g e R quando comparados aos teóricos. Para um experimento deste colírio, é recomendável o uso de algum instrumento para garantir uma constância no valor do ângulo θ utilizado para determinar cada período experimentalmente.

Bibliografia

• Halliday, David. Fundamentos de Física Vol II. Gravitação, Ondas e Termodinâmica, décima edição - Rio de Janeiro LTC, 2016.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{v \cdot T}{T} = v$$

deixado

o experimento é extremamente importante para a compreensão dos fenômenos físicos que ocorrem no mundo ao nosso redor. Através deste experimento, podemos observar de perto a relação entre a frequência e o período de um movimento periódico. Além disso, podemos determinar a aceleração da gravidade e a constante elástica de uma mola. Este experimento é fundamental para a compreensão dos conceitos de física e para a aplicação desses conceitos em situações reais.