

Experimento 3

PÊNULO DE TORÇÃO

1. Introdução

Um sistema composto por um corpo rígido suspenso por um fio e capaz de oscilar em torno de um eixo comum com o fio é o que se denomina de *pêndulo de torção*. A Figura 1 mostra esquematicamente o pêndulo de torção do curso F-229. Quando o pêndulo oscila em torno do eixo z, a haste (pequeno retângulo de alumínio preso ao corpo do pêndulo) periodicamente interrompe o feixe infravermelho do foto-gate possibilitando a medida do período de oscilação pelo cronômetro inteligente. A função das haste compensadora é evitar que simetria do corpo suspenso seja alterada, mantendo o centro de gravidade no eixo z.

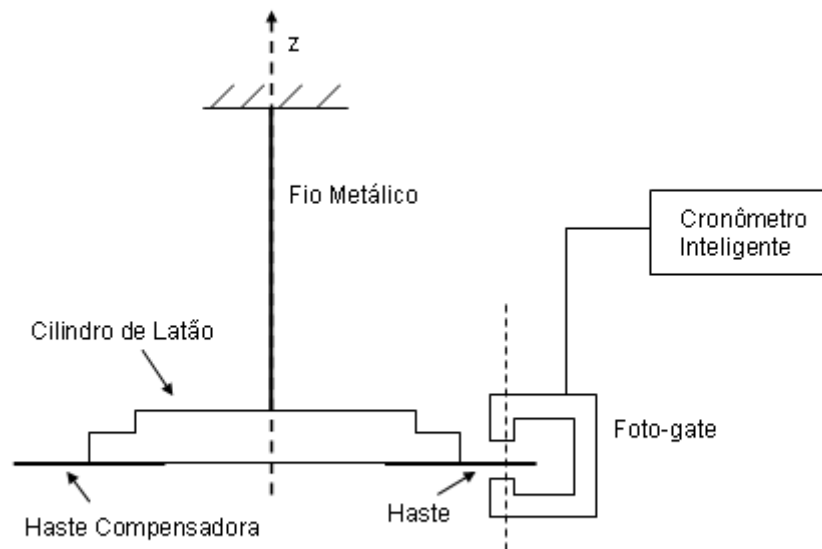


Figura 1. Pêndulo de torção do curso F-229 com foto-gate e cronômetro inteligente para a medida do período.

Dando-se uma torção no corpo de um ângulo θ , o fio irá apresentar um torque de oposição, τ , proporcional a θ , definido pela relação $\tau = -k\theta$, sendo k uma constante própria do fio, denominada de *coeficiente de restituição*. Como o torque é sempre de oposição ao deslocamento angular, se ao corpo for dado um deslocamento inicial, θ_0 , e depois abandonado, ele irá oscilar com um período T , dado pela equação

$$T = 2\pi\sqrt{I_0/k} \quad (1)$$

onde I_0 é o momento de inércia do corpo em relação ao eixo colinear com o fio.

Um pêndulo de torção é útil para determinar momentos de inércia de objetos de forma complexa – uma roda de engrenagem, ou uma hélice de avião – por exemplo. O pêndulo é também útil para se determinar o *módulo de cisalhamento* do material do fio (ver abaixo), conhecendo-se o momento de inércia do corpo.

O coeficiente de restituição é uma grandeza *extrínseca*, ou seja, depende das dimensões do fio (comprimento e diâmetro). Entretanto, o seu conhecimento pode levar à uma grandeza *intrínseca*, própria do material do fio, denominada de módulo de cisalhamento, G. Demonstra-se que a relação entre G e k é dada por

$$G = 2Lk/(\pi r^4) \quad (2)$$

sendo L e r o comprimento e o raio do fio, respectivamente.

A partir das Equações (1) e (2) é fácil mostrar (demonstre!) que

$$T = [8\pi I_0 L / (Gr^4)]^{1/2} \quad (3)$$

2. Objetivo

Determinar o módulo de cisalhamento do fio do pêndulo a partir da Eq. (3).

3. Material

Pêndulo de torção com fio metálico, régua de 1 m, paquímetro, micrômetro, foto-gate da PASCO e cronômetro inteligente.

4. Procedimento

Monte o pêndulo e ajuste o foto-gate como indicado pela figura. Faça medidas de T para vários comprimentos do fio, colocando seus resultados numa tabela.

Uma etapa importante neste experimento é determinar o momento de inércia do corpo. Determine I_0 pela fórmula para o momento de inércia que melhor se aplica ao corpo em questão, tomando suas medidas com o paquímetro. **NÃO É PRECISO PESAR O CORPO DO PÊNDULO – O VALOR DA MASSA SERÁ DADO NA AULA.** É importante lembrar que o momento de inércia do cilindro de latão (ver figura) é muito maior que o das hastes. Assim, estas últimas não devem ser levadas em consideração em seus cálculos, pois não interferem significativamente com o movimento do pêndulo.

A próxima etapa é, usando a tabela, lançar seus resultados em gráfico. Antes disso, entretanto, linearize a Eq. (3) para escolher os eixos do gráfico de tal forma que os pontos possam ser ajustados por uma reta. Explique como irá extrair G do gráfico e calcule o seu valor e o respectivo desvio padrão. O diâmetro do fio, necessário para o cálculo, deverá ser medido com o micrômetro.

Observação importante: Diferentemente do pêndulo simples, o movimento do pêndulo de torção é harmônico simples para qualquer ângulo de torção inicial, exceto, é claro, de ângulos que possam produzir deformações permanentes no fio e alterem suas propriedades elásticas.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Alonso e E.J. Finn, *Física – um Curso Universitário*, Vol. 1, seção 12.6.
2. P. Lucie, *Física Básica – Mecânica*, Editora Campus, XXX, cap. 4.7.
3. *Handbook of Physics* (Statics of Elastic Bodies), pp.3-75 à 3-77.
4. C.J. Smithells, *Metals Reference Book*, Vol. 3, 4a. Ed., Butterworths, London, 1967, pp. 775-776 e 708-711.