

F229 – Experimento 1. Pêndulos Físicos

INTRODUÇÃO

O sistema composto por uma partícula de massa m , suspensa por um fio inelástico, sem massa e de comprimento l , oscilando em torno de uma posição de equilíbrio, pela ação da força da gravidade, é chamado de pêndulo simples e é um exemplo idealizado de oscilador harmônico. O seu período de oscilação é dado, para pequenos ângulos de oscilação, por

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \quad (1)$$

onde g é a aceleração da gravidade.

Note que, nesse modelo, o período de oscilação não depende das massas e propriedades específicas da partícula ou do fio. O modelo de pêndulo simples, embora muito útil, nem sempre é uma boa aproximação para pêndulos reais. Neste experimento, são estudados dois tipos de pêndulos que não podem ser tratados como pêndulos simples: o pêndulo composto e o pêndulo de torção. O experimento se divide em duas partes. Cada parte do experimento será realizada em uma aula.

PÊNDULO COMPOSTO

Um pêndulo composto, ou pêndulo físico, é um sistema em que um corpo rígido oscila em torno de um eixo fixo, pela ação da força gravitacional. Na Fig. 1 é representado o pêndulo composto que você usará neste experimento, juntamente com o foto-gate e cronômetro inteligente usados na determinação do período do movimento. O pêndulo é constituído por uma barra rígida e homogênea de alumínio, na extremidade da qual é presa uma placa retangular de ferro. O período de oscilação do pêndulo, T , para pequenos ângulos de oscilação, é dado por

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

onde I_0 é o momento de inércia do pêndulo em relação ao ponto de suspensão, M é a massa do pêndulo e D a distância entre o centro de massa (CM) do sistema e o ponto de suspensão.

Utilizando o teorema dos eixos paralelos de modo a relacionar I_0 com o momento de inércia em relação ao centro de massa, I_{CM} , e lembrando que $I_{CM} = Mk^2$, sendo k o raio de giração, deduz-se que

$$T = 2\pi\sqrt{(D + k^2/D)/g} \quad (3)$$

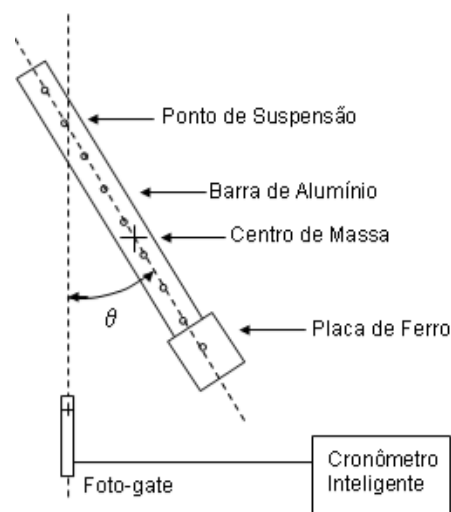


Figura 1. Pêndulo composto.

PÊNDULO DE TORÇÃO

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 2 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.

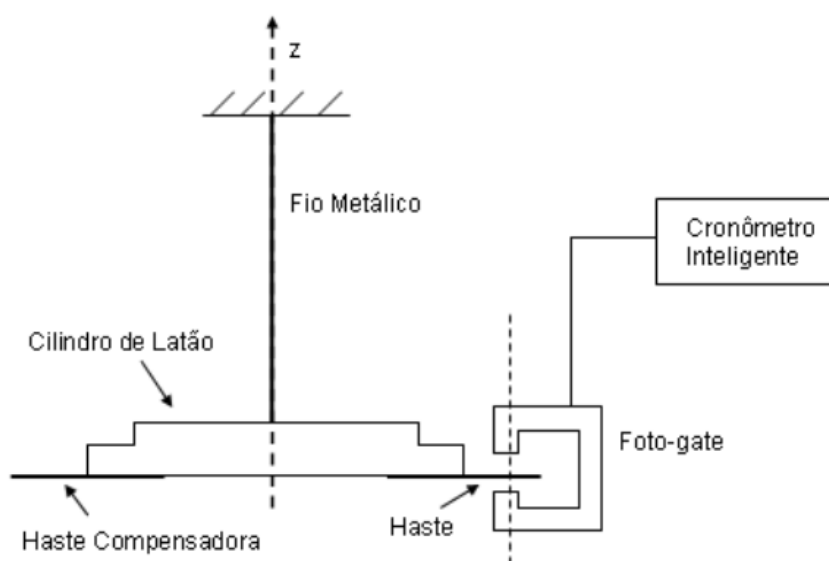


Figura 2. Pêndulo de torção do curso F-229 com foto-gate e cronômetro inteligente para a medida do período.

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

$$T = 2\pi\sqrt{I_0/k} \quad (4)$$

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

$$G = 2Lk/(\pi r^4) \quad (5)$$

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

A partir das Equações (4) e (5) é fácil mostrar (demonstre!) que

$$T = [8\pi I_0 L / (Gr^4)]^{1/2} \quad (6)$$

OBJETIVOS

Investigar o movimento de pêndulos que não podem ser considerados ideais.

Determinar o raio de giração e momento de inércia do pêndulo composto em relação ao centro de massa.

Determinar o módulo de cisalhamento do fio do pêndulo de torção a partir da Eq. (6).

EXPERIMENTO

PARTE A – PÊNDULO COMPOSTO

Material

Pêndulo composto, eixo de suspensão, régua de 1 m, balança de precisão, cronômetro inteligente com foto-gate.

Procedimento

Consiste em tomar medidas de T em função de D .

Recomendações

(1) Para encontrar os vários valores de D , é preciso que você determine, com a maior precisão possível, a posição do CM do pêndulo, x_{CM} , em relação a uma origem qualquer, usando a equação

$$x_{CM} = (m_1x_1 + m_2x_2)/(m_1 + m_2)$$

onde x_1 e x_2 são as distâncias dos CM da barra de alumínio e da placa à origem, e m_1 e m_2 as respectivas massas.

(2) Procure realizar o experimento mantendo o ângulo de lançamento (valor máximo do ângulo de oscilação, θ , sempre pequeno (não muito maior que uns 15°), de modo que não sejam necessárias correções na Eqs. (2) e (3).

(3). Para medir T , o foto-gate deve ser ajustado de modo que (1) seu feixe infravermelho seja perpendicular ao plano da trajetória do pêndulo e, (2) que o pêndulo possa interromper o feixe em um determinado ângulo de sua trajetória ($\theta = 0$, por exemplo).

(4) Faça medidas de T para todos os furos no intervalo entre o mais afastado e o mais próximo do centro de massa. Para cada furo tome várias medidas de T e tire a média.

PARTE B – PÊNDULO DE TORÇÃO

Material

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

Procedimento

Monte o pêndulo e ajuste o foto-gate como indicado pela Figura 2. Faça medidas de T para vários comprimentos do fio.

Uma etapa importante neste experimento é determinar o momento de inércia do corpo. Meça as dimensões do corpo do pêndulo usando um 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 2) é muito maior que o das hastes. Assim, estas últimas não devem ser levadas em consideração, pois não interferem significativamente com o movimento do pêndulo.

Meça o diâmetro do fio, necessário para o cálculo de G , com um micrômetro.

Observação importante: Diferentemente do pêndulo simples e do pêndulo composto, 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

- M. Alonso e E.J. Finn, Física - Um Curso Universitário, Vol. 1, seções 12.5 e 12.6.
C. Kittel, Curso de Física de Berkeley – Mecânica, Vol. 1, cap. 8. (Biblioteca IFGW no. 531.K652.m).
D. Halliday, R. Resnick, Fundamentos de Física, Vol. 2, cap. 14.6.

P. Lucie, Física Básica, Vol. 2, pp. 166-167.

Handbook of Physics (Statics of Elastic Bodies), pp.3-75 à 3-77.

C.J. Smithells, Metals Reference Book, Vol. 3, 4a. Ed., Butterworths, London, 1967, pp. 775-776 e 708-711.

Leitura suplementar: K. Laws, The Physics of Dance, Physics Today, Vol. 38, p. 24 (1985).