FIS01201
Física Geral e Experimental IIA

Experiência: A Constante de Gravitação Universal

Esta experiência leva à determinação quantitativa da constante G de gravitação universal.

Do ponto de vista histórico é uma experiência fundamental. Ela foi realizada pela primeira vez por Henry Cavendish, entre 1797 e 1798, mediante o emprego de uma balança de torção idealizada por Coulomb, em 1784, para medir forças eletrostáticas. Trata-se de um instrumento muito sensível, pois a interação gravitacional é fraca e difícil de ser medida em laboratório.

Equipamento

A balança de torção usada nesta experiência é similar àquela usada por Cavendish. Duas pequenas esferas de massa m estão presas a um suporte muito leve, em forma de T, suspenso por um fio fino metálico ou de fibra de quartzo, formando um pêndulo de torção. Duas esferas, cada uma de massa M e dispostas conforme mostra a figura 1, em uma representação esquemáticado conjunto, visto de cima, exercem um torque sobre o sistema móvel das massas pequenas. Quando este sistema se encontra em equilíbrio, é registrada a posição de um feixe de luz projetado sobre a escala de um anteparo distante, após ser refletido num pequeno espelho acoplado ao sistema móvel da balança. Deste modo torna-se possível medir o quase imperceptível deslocamento angular do espelho.

As esferas de massa M são, então, deslocadas para uma posição simétrica (figura 1) resultando um torque de mesmo módulo mas oposto ao anterior. A balança realiza um movimento harmônico amortecido que se extingue após aproximadamente uma hora e meia, quando é feita novamente a leitura da posição de equilíbrio com o auxílio do feixe de luz sobre a escala do anteparo.

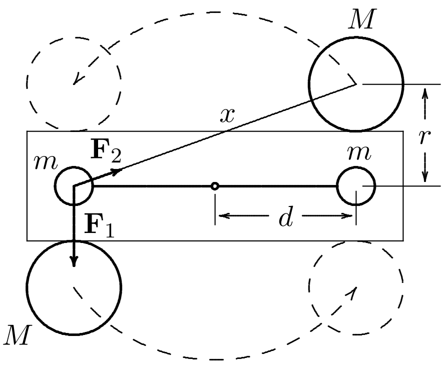

Figura 1– Geometria e diagrama de forças.

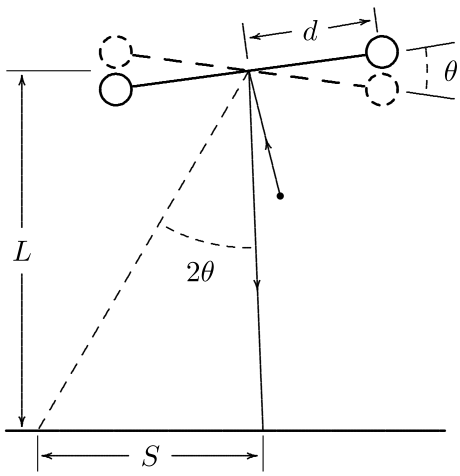

Figura 2 – Geometria do feixe de luz.

Procedimento

Na figura 2, S é o deslocamento do feixe de luz sobre o anteparo, entre as duas posições de equilíbrio. Sendo L a distância entre o espelho e o anteparo, S/L representa o dobro do deslocamento angular θ do sistema ao qual o espelho está acoplado ($\theta \ll 1\,\mathrm{rad}$). O módulo da variação de torque que produz esse deslocamento é $\kappa\theta$, onde κ é a constante de torção do fio, determinada indiretamente a partir do momento de inércia I do sistema (em relação ao eixo de rotação) e do período T de oscilação do pêndulo de torção (por ser material muito leve, o momento de inércia do suporte em forma de T é negligenciado):

$$\kappa = \frac{4\pi^2 I}{T^2}, \quad \text{onde} \quad I = 2md^2. \tag{1}$$

Com o auxílio da figura 1 e levando em consideração o fato de que distribuições esféricas e uniformes de massa agem gravitacionalmente como se toda a massa estivesse concentrada no centro, você pode comprovar que o módulo da variação do torque devido à interação gravitacional pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\triangle\tau = \frac{2(2GmM)d}{r^2}\left(1 - \frac{r^3}{x^3}\right), \quad \text{sendo} \quad x = (4d^2 + r^2)^{1/2}. \tag{2}$$

Igualando-se a equação (2) a $\kappa\theta$ obtém-se uma expressão para a constante de gravitação universal, que pode então ser calculada a partir das medidas de S, L e T, e de alguns parâmetros da própria balança:

$$G = \frac{\pi^2 r^2 d S}{MT^2 L\left(1 - \frac{r^3}{x^3}\right)}. \tag{3}$$

Para encontrar o período T, acompanha-se a posição do feixe de luz sobre a escala do anteparo com um cronômetro, em intervalos regulares de 10 s, durante 12 min, a partir do instante em que se inicia o movimento do sistema, em conseqüência da mudança de posição das esferas grandes. O registro desses pontos num gráfico não só comprova o amortecimento na oscilação do pêndulo como permite determinar T (ver figura 3).

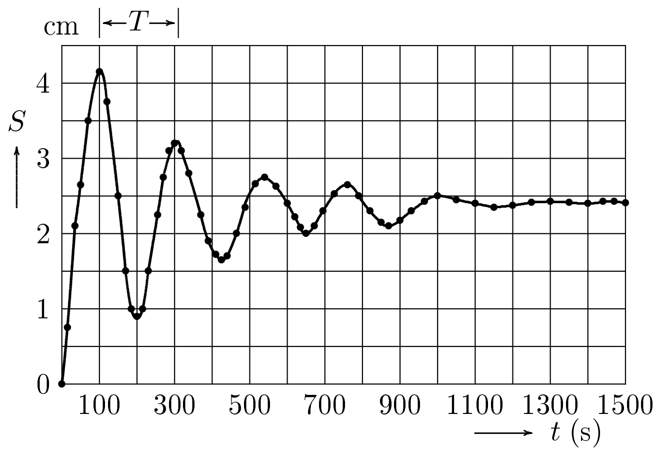

Figura 3 – Amplitude da oscilação do pêndulo em função do tempo.

As outras medidas, além de S, L e T, podem ser determinadas com facilidade. Para o sistema em consideração os valores são $m = 20\,\mathrm{g}$, $M = 1{,}5\,\mathrm{kg}$, $r = 4{,}68\,\mathrm{cm}$, $d = 5\,\mathrm{cm}$.

a) Faça as medidas necessárias e calcule o valor de G.

b) Comente possíveis fontes de erro.

Bibliografia

AXT, R., GUIMARÃES, V. H. *Física experimental I e II*: manual de laboratório. Porto Alegre. 2.ed. Ed. da Universidade–UFRGS, 1991.