Lista de Exercícios

F 229 2S/2019

Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física "Gleb Wataghin"

Problema 1 - Pêndulo composto

A equação para o período de um pêndulo composto é dada por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g}\left(D + \frac{k^2}{D}\right)}, \tag{1}$$

onde T é o período, g a aceleração da gravidade, D a distância do centro de massa ao ponto de suspensão e k o raio de giração.

a) Supondo que podemos variar apenas D enquanto g e k são mantidos fixos, existe um valor mínimo para o período do pêndulo? E um valor máximo? Explique.

b) Em que regime o período de um pêndulo composto se aproxima do de um pêndulo simples?

c) Utilizando a linearização $y = DT^2$ e $x = D^2$, um grupo encontrou $a = (3.830 \pm 0.005)$ s^2/m e $b = (0.821 \pm 0.001)$ m.s^2. Obtenha o valor da gravidade e do raio de giração com suas respectivas incertezas.

Problema 2 - Cordas vibrantes

A equação que descreve a condição para a obtenção de ondas estacionárias em uma corda tensionada é dada por:

$$L = \frac{n}{2f}\sqrt{\frac{T}{\mu}}, \tag{2}$$

onde L é o comprimento da corda, n o número de ventres, T a tensão aplicada, f a frequência de oscilação e μ a densidade linear da corda. Suponha que conhecemos μ. Sabendo que temos uma cigarra com frequência de oscilação variável e que o comprimento da corda pode ser livremente variado:

a) Proponha um experimento para encontramos a tensão (aqui considerada fixa) sobre a corda.

b) Encontre uma expressão para a incerteza na tensão em função da incerteza para todos os outros parâmetros, exceto o do número de ventres.

c) Sabendo que o valor encontrado para a tensão foi de $T = (10.0 \pm 0.1)$ N, a densidade linear da corda utilizada é $\mu = 0.32$ g/m e que a cigarra apresenta uma frequência máxima de 480 Hz enquanto a corda tem um comprimento máximo de 3 m, encontre o valor máximo do número de ventres que podem ser observados com esse aparato experimental.

Problema 3 - Ajustes lineares

No experimento 3, a equação que descreve a relação entre a diferença de massa dos corpos e o tempo de queda de uma altura h é:

$$\mathrm{\Delta m} = \frac{\mathrm{2h}}{\mathrm{gR^2}}\left(\mathrm{I} + \mathrm{MR^2}\right)\frac{1}{\mathrm{t^2}} + \frac{\tau_a}{\mathrm{gR}}. \tag{3}$$

onde $\Delta m = m_1 - m_2$, $M = m_1 + m_2$, h é a altura inicial, t é o tempo em que os corpos se deslocam de h, I e R são respectivamente o momento de inércia do cilindro de latão e seu raio, τ_a é o torque da força de atrito entre o eixo e o cilindro de latão, e g é a aceleração da gravidade.

a) Encontre duas linearizações possíveis da equação acima que assumam M constante.

b) Um grupo coletou os dados na tabela abaixo. Considerando $h = (0.989 \pm 0.002)$ m, $g = (9.8 \pm 0.1)$ m/s^2 e $R = (5.00 \pm 0.02)$ cm, e que a linearização feita foi tal que $x = 1/t^2$ e $y = \Delta m$, calcule o momento de inércia e o torque de atrito da polia e suas respectivas incertezas.

m_1 (kg)	m_2 (kg)	t (s)
0.98 ± 0.01	0.89 ± 0.01	2.61 ± 0.04
0.97 ± 0.01	0.90 ± 0.01	3.12 ± 0.05
0.96 ± 0.01	0.91 ± 0.01	3.87 ± 0.05
0.95 ± 0.01	0.92 ± 0.02	6.41 ± 0.07
0.94 ± 0.01	0.93 ± 0.02	12.2 ± 0.1

Problema 4 - Máquina de Atwood

A equação-modelo para o experimento 3 é dada por:

$$\Delta \mathrm{m} = \frac{2\mathrm{h}}{\mathrm{gR}^2}\left(\mathrm{I} + \mathrm{MR}^2\right)\frac{1}{\mathrm{t}^2} + \frac{\tau_a}{\mathrm{gR}}. \tag{4}$$

Um grupo linearizou tal equação da seguinte forma: $y = \Delta m$ e $x = 1/t^2$. Após o experimento, encontraram valores mais altos que o esperado para o torque de atrito τ_a. Formularam então duas hipóteses:

1. A tara da balança não foi zerada durante a medida das massas dos dois corpos e portanto a diferença das massas Δm real é menor do que a medida.
2. As medidas de tempo apresentam um atraso em relação ao valor real devido ao erro do operador do cronômetro, de forma que os valores coletados são maiores que os reais.

As hipóteses explicam o problema com o valor de τ_a? Explique com base no modelo.

Problema 5 - Lei de Stokes

Considere o experimento 4. A equação-modelo para a velocidade terminal da esfera metálica na solução de glicerina e água é:

$$v_T = K v_T' = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho')}{\eta} g r^2, \tag{5}$$

onde v_T é a velocidade terminal corrigida, v_T' a velocidade terminal medida, η a viscosidade do fluido, ρ' a densidade do fluido, ρ a densidade da esfera, r o raio da mesma e K o fator de Ladenburg, dado por:

$$K = \left(1 + 2.4\frac{r}{R}\right)\left(1 + 3.3\frac{r}{H}\right). \tag{6}$$

a) Em que regime podemos assumir que o fator de Ladenburg pode ser desprezado na análise, ou seja, $K \sim 1$?
b) Sabendo que a força viscosa é dada por:

$$F_v = 6\pi\eta r v, \tag{7}$$

onde v é a velocidade da esfera. Derive a expressão para a velocidade terminal. De acordo com a discussão do item anterior, em que regime a equação obtida é válida? **Dica**: A velocidade terminal é obtida quando a força total sobre a esfera é nula.
c) Do ponto de vista experimental, como podemos garantir que a velocidade observada é de fato terminal?
d) Suponha que a força viscosa seja independente da velocidade. Nesse caso, há uma velocidade terminal? Explique.

Problema 6 - Interpolação bilinear

No experimento 4, um grupo obteve os seguintes dados para a temperatura e viscosidade da solução de glicerina:

Temperatura (°C)	Viscosidade (mPa s)
26	765.3

Com base na tabela de referência encontrada no *Moodle*, encontre a concentração de glicerina para tal solução.

Problema 7 - Calorimetria

A calibração de um termopar é ajustada com um modelo linear ($y = ax + b$) e o resultado é $a = (21.03 \pm 0.05)$ °C/mV e $b = (0.72 \pm 0.01)$ °C.

a) Sabendo que a tensão medida utilizando um termopar para um determinado corpo foi de (1.3 ± 0.2) mV, determine a sua temperatura.

b) Para determinar a capacidade térmica de um calorímetro, um grupo realizou o seguinte experimento: um volume de 500 ml de água (calor específico $c_a = 1$ cal/ °C e densidade $\rho = 1$ g/ml) era adicionado a um calorímetro inicialmente à 25 °C. Tal procedimento é realizado para diversas temperaturas iniciais da massa de água. Mede-se então a variação da temperatura do calorímetro ΔT_c como função da variação de temperatura da água ΔT_a. Um ajuste linear desses dados é feito e o resultado é:

$$\Delta T_c = (0.403 \pm 0.008)\Delta T_a + (0.0003 \pm 0.0005). \tag{8}$$

Obtenha expressões para os coeficientes angular e linear da expressão acima e então encontre a capacidade térmica do calorímetro e sua incerteza.

Problema 8 - Calorimetria 2

Durante um experimento de calorimetria, alunos mediram que a capacidade térmica do calorímetro do laboratório era dada por $C = 3.3$ cal/°C. Em posse desse valor, o seguinte procedimento experimental foi feito, com o objetivo de encontrar o calor específico de um material:

- Mede-se a massa do objeto, obtendo-se (400 ± 1) g.
- Coloca-se o objeto dentro do calorímetro. Assume-se nessa etapa que a temperatura do sistema calorímetro + objeto seja dada por $T_i = 25$ °C.
- Um volume de 300 ml de água é aquecido até diferentes temperaturas e posteriormente introduzido no sistema calorímetro + objeto. A temperatura de equilíbrio é medida.

Em posse dos dados abaixo para a variação da temperatura da água (ΔT_A) e do calorímetro + objeto (ΔT_C), coletados em laboratório, encontre o calor específico do objeto.

Objeto 1	
ΔT_A	ΔT_C
(1.5 ± 0.2)	(22.1 ± 0.4)
(1.8 ± 0.2)	(27.2 ± 0.4)
(2.2 ± 0.2)	(31.4 ± 0.4)
(2.9 ± 0.2)	(49.7 ± 0.4)
(3.5 ± 0.2)	(54.0 ± 0.4)
(3.8 ± 0.2)	(58.1 ± 0.4)

Problema 9 - Método dos mínimos quadrados

A lei de Ohm prevê uma relação linear entre a queda de tensão sobre um resistor e a corrente elétrica no circuito:

$$V = RI, \tag{9}$$

onde V é a tensão, R a resistência e I a corrente.

Um grupo em F 329 mediu, para uma mesma resistência, os seguintes valores de tensão e corrente:

I (mA)	V (V)
40.0 ± 0.1	10.00 ± 0.05
61.3 ± 0.1	15.40 ± 0.06
84.1 ± 0.2	21.32 ± 0.08

Utilizando um modelo linear $y = ax + b$ onde $y = V$ e $x = I$, obtenha o valor da resistência e sua incerteza. Qual deveria ser o valor do coeficiente linear b idealmente? Compare com o obtido. Implemente o método dos mínimos quadrados manualmente e computacionalmente para a resolução dessa questão e compare os resultados.

Problema 10 - Propagação de incertezas

A energia eletromagnética U (dada em mJ) dentro de uma cavidade ótica é dada como função da potência de entrada P_{in} (em mW) por:

$$U = \frac{4\kappa_e P_{in}}{(\kappa_i + \kappa_e)^2}, \tag{10}$$

onde κ_e e κ_i são taxas de acoplamento e dissipação de energia no interior da cavidade ótica, respectivamente.

a) Escreva a incerteza em U (u_U) como função das incertezas em κ_e (u_{κ_e}), κ_i (u_{κ_i}) e P_{in} ($u_{P_{in}}$).

b) Sabendo que um grupo de alunos mediu os valores $\kappa_e = (5.1 \pm 0.3)$ GHz, $\kappa_i = (8.9 \pm 0.2)$ GHz e $P_{in} = 2.05 \pm 0.01$ mW para um dado dispositivo, obtenha o valor de U e sua respectiva incerteza.