

**Lista de Exercícios V**

- ① Uma espingarda consiste em um cano horizontal, uma mola (de constante de mola  $k$  (N/m)) com extremidade fixa no extremo fechado do cano e um êmbolo que consiste de uma massa  $m$  presa à mola com coordenada  $x(t)$ . Uma bala de massa  $M$ (kg) está inicialmente encostada na massa do êmbolo. Em  $t = 0$  a mola que está comprimida até  $x(0) = -L$ , é solta com velocidade inicial  $v_0 = 0$  (m/s). Encontre a velocidade em que o êmbolo e a bala perdem contato. Despreze toda forma de atrito e viscosidade.
- ② A Figura 3 mostra um conjunto de massas sólidas. Há uma força  $\mathbf{F}$  na direção indicada. Não há atrito entre nenhuma superfície. A polia e a corda são ideais (sem massa e de comprimento constante). Encontre a força  $\mathbf{F}_0$  como função das massas  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$  para que a massa 3 não suba nem desça num campo gravitacional onde a aceleração é  $g$  para abaixo. O que acontece (calcule o movimento vertical de  $M_3$ ) se a força for  $\mathbf{F}_0 + \Delta \mathbf{f}$ ? Discuta a relação entre o sinal (sentido) de  $\Delta \mathbf{f}$  e a movimento de  $M_3$ .

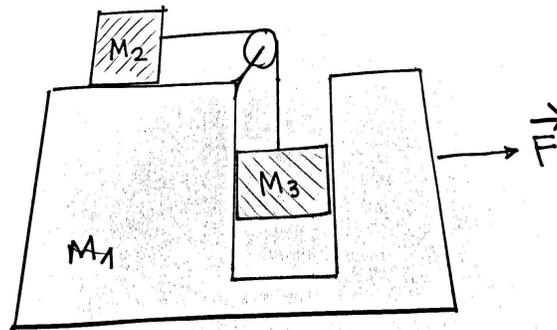


Figura 1: Conjunto de massas sólidas.

- ③ Encontre a frequência de oscilação de uma massa presa a duas molas ligadas:
- (a) em paralelo;

(b) em série.

Dados:  $M, k_1, k_2$ .

- ④ Um carro tem aceleração constante  $\mathbf{A}$ . Em  $t = 0$  joga uma bola para frente num ângulo  $\theta$  e a bola cai, em  $t = T^*$  exatamente no lugar de onde foi lançada no carro. Para que valores de  $\theta, \mathbf{v}_0$  e  $\mathbf{V}_C$  isso é possível?  $\mathbf{v}_0$  e  $\mathbf{V}_C$  são, respectivamente, a velocidade medida em relação ao carro no momento em que a bola é jogada e a velocidade do carro em  $t = 0$ . Como sempre a aceleração da gravidade tem intensidade  $g = |\mathbf{g}|$ .
- ⑤ Uma lavadora de vidros externos de um prédio está sentada em uma cadeira de cabos. Suponha que a única forma de movimento é na vertical. A massa da mulher é  $M$  e a da cadeira  $m$ . O cabo passa por uma polia e volta até ela, que pode puxar o cabo para subir. Ela puxa o cabo para baixo com tal força que a força que faz na cadeira é  $N$ .

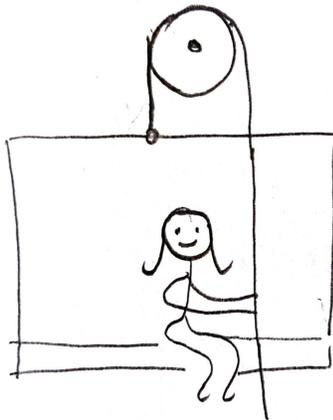


Figura 2: Lavadora de vidros sentada na cadeira de cabos.

- (a) Qual é a aceleração da lavadora e da cadeira?  
(b) Qual é a força sobre a polia?

Faça o diagrama de forças e no final do exercício substitua os valores  $N = 300$  newtons,  $M = 60$  kg e  $m = 10$  kg e  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

- ⑥ Considere um pêndulo: uma massa  $m$  presa por um fio sem massa de comprimento  $l_0$  a temperatura  $T_0$ , num campo gravitacional uniforme.
1. Mostre as forças atuantes no sistema.
  2. Escreva as equações de movimento.
  3. Sob hipótese de amplitudes pequenas de movimento, o ângulo com a vertical satisfaz  $\tan(\theta) \approx \theta$ . Nestas condições resolva as equações de movimento, isto é, encontre  $\theta(t)$  para as condições iniciais  $\theta(t = 0) = \theta_0$  e  $\frac{d\theta}{dt}(t = 0) = u$ .
  4. Suponha que  $l$  é afetado pela temperatura. O coeficiente linear de expansão é  $\alpha$ , de forma que  $l(T) = l_0(1 + \alpha(T - T_0))$ . Como muda o período do pêndulo com a temperatura? Faça a aproximação que  $|\alpha(T - T_0)| \ll 1$ .
  5. Olhe novamente para as equações de movimento e mantenha a temperatura fixa em  $T_0$ . Faça um argumento para indicar se o período aumenta ou diminui se a amplitude for maior e a aproximação de baixos ângulos deixar de valer.
- ⑦ Suponha um modelo de locomoção de bactérias numa solução que além de água contém outras substâncias. Por algum motivo não explícito agora, chegamos à conclusão que é razoável supor que quando a bactéria se move com velocidade  $v$  sofre uma força de resistência ao movimento proporcional à velocidade ao quadrado  $v^2$ . Podemos escrever  $F = -bv^2$ . Suponha que a densidade das bactérias seja independente do raio.
- (a) Suponha que a velocidade em  $t = 0$  seja conhecida,  $v_0$ . Nesse momento a bactéria para de mover seus cílios. Escreva a equação de movimento e encontre a velocidade  $v(t)$ , para  $t > 0$ .
  - (b) Quais são as dimensões da constante  $b$ ? Suponha que a única distância relevante no problema de determinar  $b$  seja o raio da bactéria. Olhemos para uma corrida de duas bactérias com raios  $R_1 < R_2$ . Elas têm velocidade  $v_0$  em  $t = 0$  quando param de mover seus cílios. Qual tem maior velocidade no tempo  $t > 0$ ?

- (c) Suponha que a capacidade de produzir energia por unidade de tempo (e.g. em watts,  $1 \text{ W} = 1 \text{ N m/s}$ ) seja proporcional ao volume da bactéria. Calcule a força que uma bactéria deve fazer sobre o meio, necessária para manter uma velocidade  $v$  constante. Usando análise dimensional discuta qual das bactérias do item anterior poderá ter uma velocidade de locomoção maior.
- (d) A entrada de energia por unidade de tempo é proporcional à superfície da bactéria. Qual bactéria cansa mais rápido? Ou seja, se uma bactéria absorve nutrientes (energia) durante um tempo  $\Delta T_{\text{in}}$ , em quanto tempo  $\Delta t_{\text{ativa}}$  a gasta ao locomover-se a uma velocidade  $v$  constante?
- ⑧ A figura 3 mostra um modelo eletromecânico de transdução de movimento no ouvido interno de mamíferos (nós). A figura 4 mostra um conjunto de massas sólidas que ilustra um modelo auxiliar onde podemos fazer cálculos necessários para quem estuda o modelo da figura 3. Há uma força  $\mathbf{F}$  na direção indicada. Não há atrito entre nenhuma superfície. Introduza as variáveis necessárias para descrever o problema. Calcule a evolução das variáveis relevantes.
- ⑨ Considere uma massa  $m$  rodando no extremo de um fio de comprimento  $R$ . O movimento se dá em um plano vertical no campo gravitacional da Terra. Num determinado instante a velocidade da massa é  $\vec{v}$  e o ângulo que o fio faz com a horizontal é  $\theta$ , segundo a Fig. 5.
1. Desenhe o diagrama de forças atuando sobre a massa  $m$ .
  2. Decomponha as forças nas direções  $\hat{r}$  e  $\hat{\theta}$ .
  3. Encontre a força que o fio exerce sobre a massa  $m$ .
  4. Qual a condição para que a massa  $m$  desenvolva uma trajetória circular e não caia dentro do círculo?
  5. Encontre a aceleração tangencial nesse instante. Quando a velocidade da massa aumenta (diminui)?
- ⑩ Um bloco de massa  $m$  está em repouso sobre um plano inclinado de ângulo  $\theta$ . O coeficiente de atrito é  $\mu$ .
1. Desenhe o diagrama de forças atuando sobre a massa  $m$ .

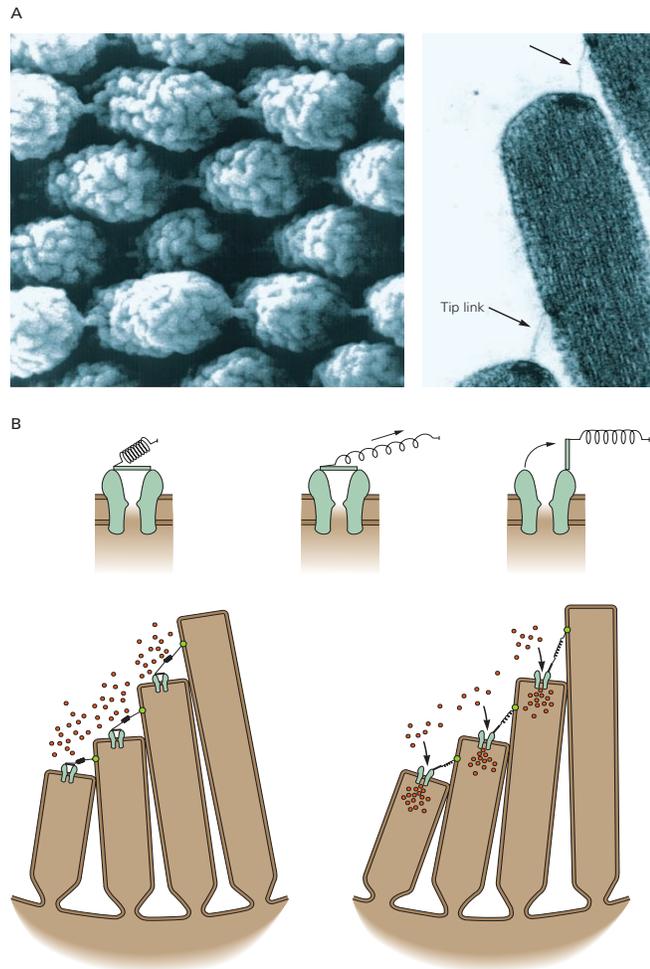
2. Escreva as equações de movimento para  $m$ . Decomponha as forças convenientemente.
3. Encontre o valor de  $\theta$  para o qual o bloco começa a deslizar.

**Figure 30–8** Mechanoelectrical transduction by hair cells.

**A.** A tip link connects each stereocilium to the side of the longest adjacent stereocilium, as seen in a scanning electron micrograph (left) and a transmission electron micrograph (right) of a hair bundle's top surface. Each tip link is only 3 nm in diameter. The links appear stouter in the illustration on the left because of metallic coating during specimen preparation. (Reproduced, with permission, from Assad, Shepherd, and Corey 1991; reproduced, with permission, from Hudspeth and Gillespie 1994.)

**B. Top:** Ion flux through the channel that underlies mechanoelectrical transduction in hair cells is regulated by a molecular gate. The opening and closing of the gate are controlled by the tension in an elastic element, the gating spring, that senses hair-bundle displacement. (Adapted, with permission, from Howard and Hudspeth 1988.)

**Bottom:** When the hair bundle is at rest each transduction channel clatters between closed and open states, spending most of its time shut. Displacement of the bundle in the positive direction increases the tension in the gating spring, here assumed to be in part a tip link, attached to each channel's molecular gate. The enhanced tension promotes channel opening and the influx of cations, thereby producing a depolarizing receptor potential. (Adapted, with permission, from Hudspeth 1989.)



to relatively low frequencies, the response to a stimulus of moderate intensity has a time constant of only  $80 \mu\text{s}$  at room temperature. For mammals to be able to respond to frequencies greater than 100 kHz, the hair cells evidently display gating rates that are an order of magnitude greater.

### The Temporal Responsiveness of Hair Cells Determines Their Sensitivity

The mechanical sensitivity of hair cells is not constant; responsiveness varies in such a way that a given cell best detects behaviorally relevant stimuli. When it is

Figura 3: Modelo eletromecânico de transdução de movimento no ouvido.

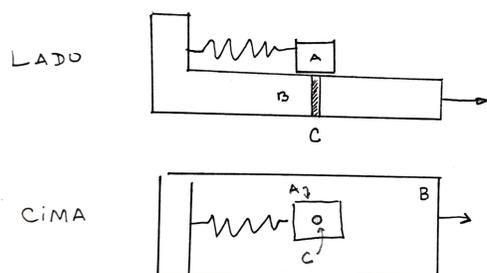


Figura 4: Vista de cima e de lado. O canal C não entra, não tem nenhum efeito neste modelo. Não há atrito.

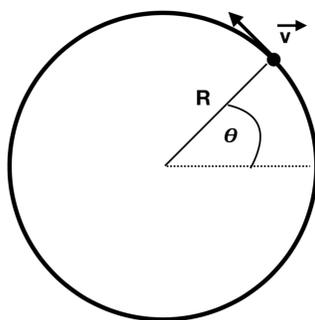


Figura 5: Massa girando no campo gravitacional da Terra.