

Universidade de São Paulo

Lista 3 - Física 1 (4310145)



Instruções

- A lista deve ser manuscrita!
- Para entregar sua lista, faça um upload para <https://mega.nz/megadrop/6Blr5qcXTJM>
- Não esqueça de colocar seu nome e número USP na lista!
- Não coloque apenas a resposta final! Apresente seus cálculos, faça diagramas, desenhos e explique, da melhor maneira possível, as etapas da resolução.
- Quando você digitalizar sua lista, coloque todos os exercícios em um mesmo arquivo (preferencialmente pdf) em ordem. Se você não sabe fazer isso, procure aprender com antecedência. Antes de enviar, certifique-se que a digitalização ficou legível. O nome do arquivo da sua lista deve ter a forma “primeiro nome-número USP-Lista-X”, onde X é o número da lista. Por exemplo: “jader-12345678-Lista-3.pdf”
- Você pode e deve discutir a sua lista com seus colegas, mas não deve copiar a lista dos seus colegas.
- Se você tiver qualquer dúvida, entre em contato! ;)

1. Uma massa $m = 1\text{kg}$ se move no espaço tal que suas coordenadas x , y e z são dadas por

$$x = 5t^2 - 1 + \exp(-t^2) \quad (1)$$

$$y = 3t^3 - 1 + \exp(-t) \quad (2)$$

$$z = 6t^2 - 1 + \exp(t/2) \quad (3)$$

em que t é dado em segundos e x , y e z em metros. Encontre o vetor força resultante que atua na partícula no instante $t = 1\text{s}$.

2. Uma partícula de massa m_1 está presa a uma corda de comprimento ℓ_1 . A partícula se move em um círculo horizontal sobre uma superfície sem atrito. Uma segunda partícula de massa m_2 é presa a partícula de massa m_1 por uma corda de comprimento ℓ_2 , e também se move em um círculo sobre a superfície, como mostrado na Figura 1. Se o período do movimento é T , encontre a tensão em cada corda.

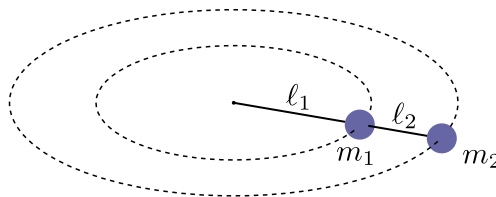


Figura 1: Problema 2.

3. A distinção entre massa e peso foi descoberta depois que Jean Richer transportou pêndulos de Paris até Caiena em 1671. Richer notou que o período do pêndulo era maior em Caiena.
- (a) Leia os apêndices A e B.

- (b) Considere o comprimento do pêndulo L como 1,0000m. Se o período do pendulo em Caiena é 2,00906s, qual é a aceleração da gravidade em Caiena?
- (c) Se o período do pendulo em Paris é 2,00612s, qual é a aceleração da gravidade em Paris?
- (d) Uma pessoa tem massa de 70,0000kg. Qual será o seu peso, em unidades de kgf¹, em Caiena? E em Paris?
4. Duas partículas de massa $m = 1\text{kg}$ são conectadas por um fio esticado de comprimento $L = 2\text{m}$, como mostrado na Figura 13. Elas movem-se em uma orbita circular com velocidade constante $v = 5\text{m/s}$ em um sistema de gravidade zero. Qual é a tensão no fio?

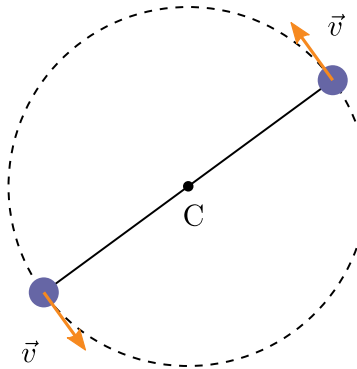


Figura 2: Problema 4.

5. Uma pessoa de massa m trabalha em um andaime de massa M (ver Figura 3).

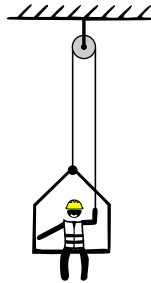


Figura 3: Problema 5.

- (a) Desenhe um diagrama de corpo livre para o andaime e outro para a pessoa, indicando todas as forças que atuam em cada corpo.
- (b) Se a pessoa e o andaime se encontram em repouso, encontre uma expressão para a tensão T na corda.
- (c) Suponha que a pessoa queira subir. Ela puxa a corda tal que ele sobe com aceleração a . Obtenha uma expressão para a tensão T' na corda nesse caso.

¹A unidade quilograma-força (kgf) é a unidade de força usada no sistema métrico gravitacional. Ela se relaciona com o Newton (unidade de força no SI) por meio da relação $1\text{kgf} = 9.806650\text{N}$.

- (d) No caso do item (c), o que acontece com a tensão T' se a aceleração for $a = -g$? Discuta o resultado obtido.
6. Três blocos estão em contato em uma superfície sem atrito, como mostrado na Figura 4(a). Uma força $\vec{F}$ é aplicada no bloco de massa m_1 . Faça um diagrama de corpo livre para cada bloco e aplique a segunda lei de Newton para cada bloco. Encontre a aceleração a dos blocos e a magnitude da força de contato entre os blocos (em função das massas e de F).
7. Qual força horizontal deve ser aplicada a massa M , na Figura 4(b), tal que os blocos m_1 e m_2 permaneçam parados com relação ao bloco M . Assuma que todas as superfícies são sem atrito.

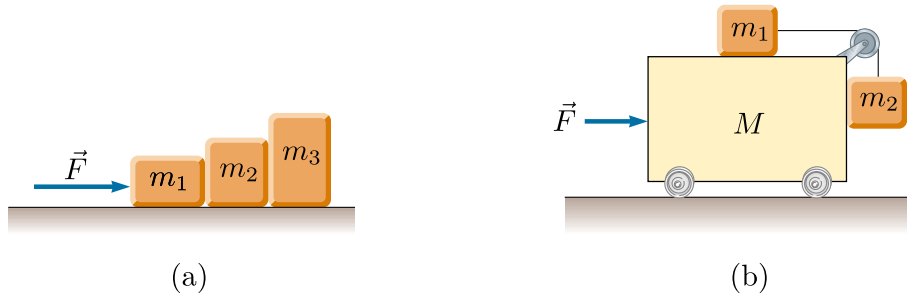


Figura 4: (a) Problema 6. (b) Problema 7

8. Considere o sistema mostrado na Figura 5.
- (a) Calcule a força F em cada caso para que a massa m permaneça parada.
- (b) Generalize o resultado encontrado no item anterior para o caso de n polias.
- (c) Supondo que $F = 1\text{kgf}$, quantas polias seriam necessárias para suspender um carro de massa $m \sim 1000\text{kg}$

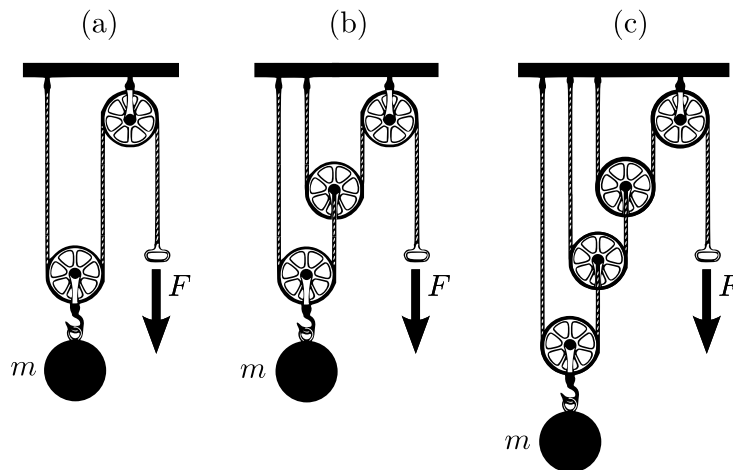


Figura 5: Problema 8.

9. Considere o sistema mostrado na Figura 6.

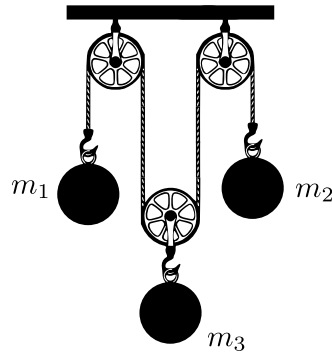


Figura 6: Problema 9.

- Encontre o sistema de 4 equações que podem ser usadas para calcular as acelerações a_1 , a_2 e a_3 das massas m_1 , m_2 e m_3 e a tensão T da corda. Dica: estude o exemplo resolvido no Apêndice C.
- Resolva o sistema e encontre a_1 , a_2 , a_3 e T . Você pode usar algum software de cálculo como o *mathematica*².
- Compare sua solução com a mostrada na Figura 7.

```
EQ1 := T - m1 g == m1 a1
EQ2 := 2 T - m3 g == m3 a3
EQ3 := T - m2 g == m2 a2
EQ4 := a1 + a2 + 2 a3 == 0
Solve[{EQ1, EQ2, EQ3, EQ4}, {a1, a2, a3, T}]
{{a1 -> - (4 g m1 m2 + g m1 m3 - 3 g m2 m3) / (4 m1 m2 + m1 m3 + m2 m3), a2 -> - (4 g m1 m2 - 3 g m1 m3 + g m2 m3) / (4 m1 m2 + m1 m3 + m2 m3),
a3 -> - (-4 g m1 m2 + g m1 m3 + g m2 m3) / (4 m1 m2 + m1 m3 + m2 m3), T -> 4 g m1 m2 m3 / (4 m1 m2 + m1 m3 + m2 m3)}}
```

Figura 7: Solução usando o mathematica.

- Uma conta desliza sem atrito por um arame semicircular de raio R que gira em torno de um eixo vertical à taxa de 2,0 revoluções por segundo. Encontre o valor de θ para o qual a conta permanecerá estacionária.

²Se você precisa de ajuda para usar o *mathematica*, entre em contato com o professor.

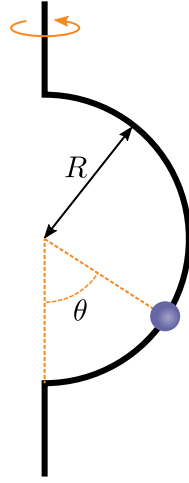


Figura 8: Conta em um arame rotacionando.

11. Um bloco de massa m é projetado rampa acima, com uma velocidade inicial v . O coeficiente de atrito cinético entre a rampa e o bloco é μ_k .
 - (a) Se a rampa está inclinada de um ângulo θ em relação à horizontal, qual a distância que o bloco percorre sobre a rampa até parar?
 - (b) Qual é o menor coeficiente de atrito estático, entre o bloco e a rampa, capaz de evitar que o bloco escorregue de volta?
12. Um bloco de massa m repousa em um plano inclinado que faz um ângulo θ com a horizontal (ver Figura 9).

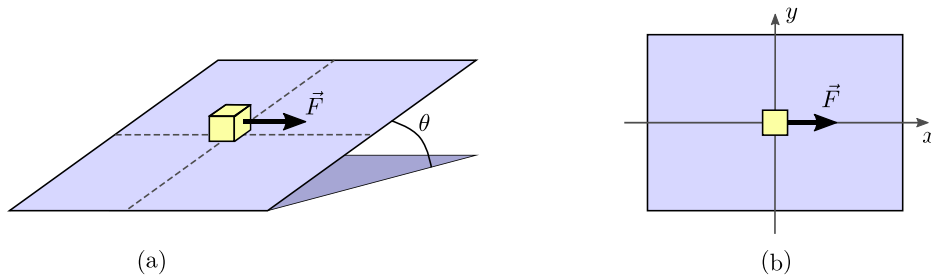


Figura 9: (a) Bloco de massa m em um plano inclinado. (b) Mesmo sistema, porém de um ponto de vista diferente, isto é, de um ponto de vista acima do plano inclinado.

- (a) Se o coeficiente de atrito estático é $\mu_s = 2 \tan \theta$, encontre a menor força horizontal $\vec{F}$ (como ilustrado na Figura 9) que faria o bloco se mover.
 - (b) Em que direção o bloco se moveria com relação ao eixo $+x$ mostrado na Figura 9(b)?
13. Partículas esféricas pequenas movendo-se lentamente através de um fluido, experimentam uma força de arraste dada pela lei de Stokes:

$$\vec{F}_a = -6\pi\eta r \vec{v} \quad (4)$$

em que r é o raio da partícula, v é a sua velocidade e η é o coeficiente de viscosidade do fluido.

- (a) Obtenha uma expressão para a velocidade terminal de uma partícula esférica de poluição de raio r e de densidade ρ .
 - (b) Obtenha uma expressão para o tempo que a partícula leva para cair uma altura h . Assuma que a partícula tem velocidade inicial igual a sua velocidade terminal³.
 - (c) Calcule a velocidade terminal e o tempo de queda para o caso em que $r = 1,00 \times 10^{-5}\text{m}$, $\rho = 2000 \times \text{kg/m}^3$, $\eta = 1,80 \times 10^{-5}\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ e $h = 100\text{m}$.
 - (d) Imagina agora que você coloca uma amostra do ar que contém partículas de poluição (com as mesmas características apresentadas no item anterior) em um tubo de ensaio de 8,0cm de comprimento. Então você coloca o tubo de ensaio em uma centrífuga (800rev/min) com o ponto médio do tubo a 12 cm do eixo de rotação da centrífuga. Estime o tempo t' que você tem de esperar para que quase todas as partículas de poluição estejam no fundo do tubo de ensaio.
14. Um engenheiro recebe a missão de projetar uma curva em uma rodovia com as seguintes condições: quando a rodovia estiver coberta de gelo⁴ um carro em repouso não deve deslizar para o acostamento e um carro viajando a menos de 60km/h não deve derrapar para fora da curva. Qual é o menor raio de curvatura para a curva e com que angulo a rodovia deve ser inclinada?

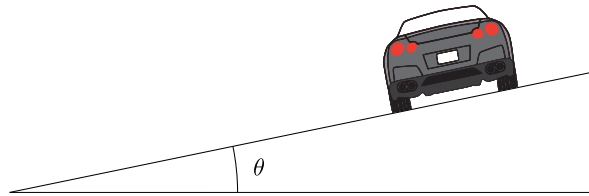


Figura 10: (a) Problema 14.

15. Responda as seguintes questões

- (a) Em uma tentativa de definir a terceira lei de Newton, um estudante afirma que as forças de ação e reação são iguais em magnitude e tem orientação oposta. Neste caso, como pode existir uma força resultante em um objeto?
- (b) Para deslocar uma caixa que está inicialmente em repouso, você deve aplicar uma força. Entretanto, quando a caixa começa a se mover, você pode aplicar uma força menor para manter o movimento. Por quê?
- (c) Considere a afirmação: “Como o carro está parado, nenhuma força age sobre ele.” Esta afirmação está correta? Como você poderia corrigi-la?
- (d) Considere o sistema mostrado na Figura 11. Dois blocos idênticos estão ligados por um cordão de massa desprezível que passa por uma polia. Inicialmente o ponto do meio do cordão está passando pela polia, além disso, a superfície sobre a qual está o bloco 1 não tem atrito. Os blocos estão em repouso, quando o bloco 2 é largado. O bloco 1 atingirá a polia antes ou depois do bloco 2 atingir a parede? (justifique sua resposta)

³Caso não assumíssemos isso, teríamos que fazer uma conta um pouco mais complicada, como mostrado no Apêndice D.

⁴Considere $\mu_s = 0,08$

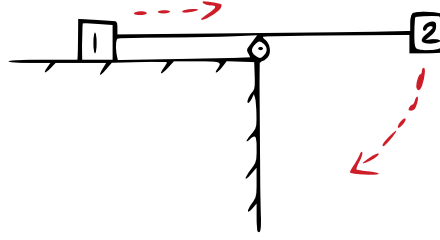


Figura 11: Problema 15(d).

16. Suponha que uma partícula está em equilíbrio sob a ação de três forças, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$. Mostre que

$$\frac{|\vec{F}_1|}{\sin \theta_{23}} = \frac{|\vec{F}_2|}{\sin \theta_{13}} = \frac{|\vec{F}_3|}{\sin \theta_{12}} \quad (5)$$

em que θ_{ij} é o menor ângulo entre os vetores $\vec{F}_i$ e $\vec{F}_j$.

17. No sistema mostrado na Figura 12, um dispositivo gira em torno de um eixo vertical. Encontre o período de rotação do dispositivo sendo que $d = 2\text{m}$, $\ell = 1\text{m}$ e $\theta = 3,3^\circ$.

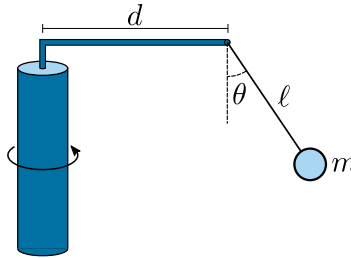


Figura 12: Problema 17.

18. Uma pessoa amarra uma pedra de massa $m = 0,4\text{kg}$ em uma das extremidades de uma corda enquanto segura a outra extremidade. A pessoa faz a pedra girar em uma circunferência vertical de raio $r = 1\text{m}$, aumentando lentamente a velocidade até a corda arrebentar. Considerando que a corda pode suportar uma tração máxima de 40N ,

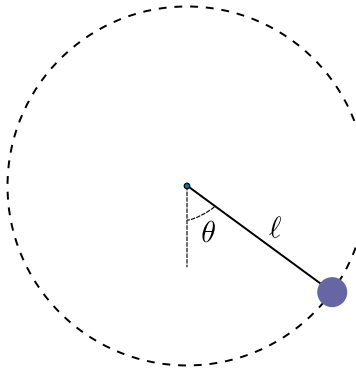


Figura 13: Problema 18.

- (a) quanto é o valor de θ quando a corda arrenta?
 (b) Qual é a velocidade da pedra quando a corda arrebenta?
19. Uma partícula de massa m é colocada no interior de um funil que gira em torno de um eixo com velocidade angular constante, como mostrado na Figura 14. Considere o coeficiente de atrito estático entre a partícula e o funil como sendo μ_s e a distância entre a partícula e o eixo de rotação como sendo r . Existem dois valores para o período de rotação T para os quais a partícula permanece em repouso relativamente ao funil. Calcule esses valores em função de θ , r , g e μ_s .

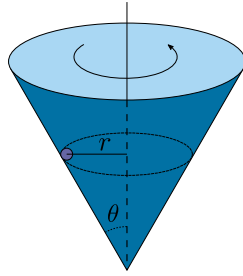


Figura 14: Problema 19.

20. Considere o sistema mostrado na Figura 20. Cada bloco tem massa $m = 5\text{kg}$. Considere ainda que, para cada par de superfícies $\mu_s = 0,2$ e $\mu_k = 0,1$.

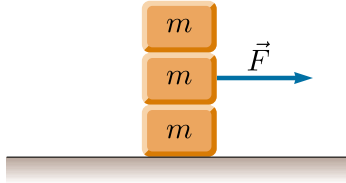


Figura 15: Problema 20.

- (a) Na situação em que uma força $|\vec{F}| = 25\text{N}$ é aplicada no bloco do meio, calcule a aceleração de cada bloco.
 (b) Na situação em que uma força $|\vec{F}| = 50\text{N}$ é aplicada no bloco do meio, calcule a aceleração de cada bloco.
21. Um bloco de massa m_1 está sobre um suporte de massa m_2 , como mostra a Figura 16. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e o suporte é μ_s . O suporte está sobre uma mesa sem atrito.

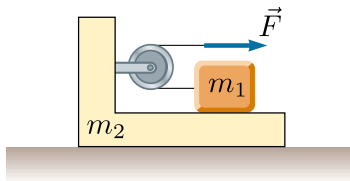


Figura 16: Problema 21.

- (a) Qual é a força máxima F que pode ser aplicada se o bloco não deve deslizar sobre o suporte?
 (b) Qual será a correspondente aceleração do suporte?

Apêndice

A Lei da gravitação

A lei da gravitação de Newton fornece a força de interação entre duas massas m_1 e m_2 , separadas por uma distância r . A força que atua na massa m_1 devido a massa m_2 é designada $\vec{F}_{12}$ e a força que atua na massa m_2 devido a massa m_1 é designada $\vec{F}_{21}$, como mostrado na Figura 17. As forças $\vec{F}_{12}$ e $\vec{F}_{21}$ tem o mesmo módulo e direção, mas sentidos opostos. Sendo assim, podemos escrever $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. O módulo da força gravitacional é dado por

$$F_{12} = F_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (6)$$

onde G é a constante da gravitação universal

$$G = (6,670 \pm 0,005) \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \quad (7)$$

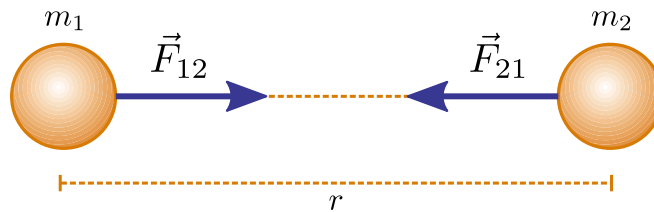


Figura 17: Força de interação gravitacional entre duas massas.

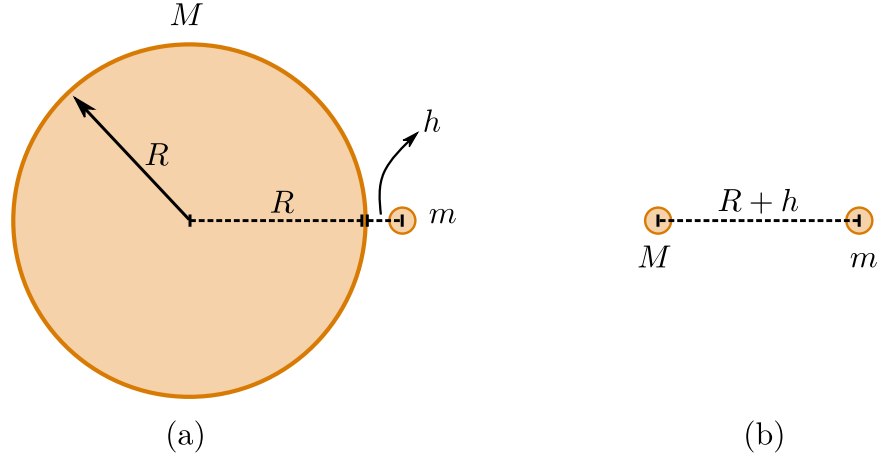


Figura 18: (a) Uma massa esférica homogênea M interagindo com uma massa pequena m , que pode ser considerada como uma partícula. Podemos estudar a situação em que o raio R da esfera é muito maior que a distância h da partícula até a superfície da esfera, ou seja, $R \gg h$. (b) Nesta figura, consideramos as duas massas como sendo partículas. É possível mostrar que a força gravitacional que atua em m devido à M (e a força gravitacional que atua em M devido à m) é a mesma que no caso mostrado na Figura (a). Uma prova deste resultado pode ser encontrada em [1].

Consideremos agora o caso de uma partícula próxima à superfície de uma massa esférica, como ilustrado na Figura 18 (a). Neste caso, podemos usar a seguinte aproximação

$$r = R + h \approx R$$

Assim, a força que atua em uma partícula m pode ser escrita como

$$F = \left(G \frac{M}{R^2} \right) m \quad (8)$$

Se definirmos

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (9)$$

podemos escrever a força gravitacional (para $R \gg h$) como

$$F = gm \quad (10)$$

Se considerarmos a massa M como sendo a Terra, teremos $M = 5,98 \times 10^{24} \text{kg}$ e $R = 6,37 \times 10^6 \text{m}$, e podemos obter

$$g \approx 9,8 \text{m/s}^2$$

B Pendulo Simples

O pendulo simples é um sistema mecânico que exibe movimento periódico (ver Figura 19). Ele consiste de uma partícula de massa m suspensa por um fio muito leve, de comprimento L , tal que a massa do fio é muito pequena quando comparada com a massa da partícula⁵

⁵Caso o corpo na extremidade do fio tenha um volume, consideramos o comprimento L como sendo a distância da extremidade do fio presa na parte superior até o centro de massa do corpo preso na outra extremidade.

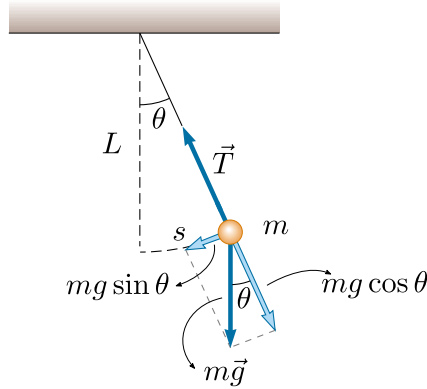


Figura 19: Pendulo simples.

As forças que agem na partícula são a tensão $\vec{T}$ exercida pelo fio e a força gravitacional $m\vec{g}$. A componente da força gravitacional tangencial ao movimento é $mg \sin \theta$ e sempre aponta para a posição angular $\theta = 0$, oposta ao deslocamento (cheque isso olhando a Figura). Chamamos esse tipo de força de força restauradora (esse tipo de força também aparece em um sistema massa mola). Podemos aplicar a segunda lei de Newton na direção tangencial ao movimento. Obtemos

$$\sum F_t = -mg \sin \theta = ma_t \quad (11)$$

onde $\sum F_t$ significa o somatório das forças que atuam na direção tangencial ao movimento e a_t é a componente tangencial da aceleração. Uma vez que a aceleração é a segunda derivada da posição, podemos escrever

$$a_t = \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (12)$$

em que s é o arco dado por $s = L\theta$. Sendo assim, podemos reescrever a Eq. (11) como

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (13)$$

A Eq. (13) é uma equação diferencial [ou seja, para resolvermos temos de encontrar quem é a função $\theta(t)$ que satisfaz Eq. (13)]. Ela não é fácil de resolver. Podemos ter algum progresso assumindo que $\theta(t)$ assume valores relativamente pequenos (que é o caso de pequenas oscilações). Desta forma, podemos usar a aproximação⁶

$$\sin \theta \approx \theta \quad (15)$$

⁶Existem diferentes maneiras de provar essa aproximação. Uma delas é expandindo a função $\sin \theta$ em série,

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \quad (14)$$

note que para θ pequeno, o primeiro termo da série acaba predominando.

Desta forma, a Eq. (13) pode ser reescrita como

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}\theta = 0 \quad (16)$$

A Eq. (16) pode ser resolvida. De fato sua solução é dada por⁷

$$\theta(t) = \theta_{\text{máx}} \cos(\omega t + \phi) \quad (17)$$

em que $\theta_{\text{máx}}$ é o deslocamento angular máximo e ϕ é uma fase constante. Essas duas constantes podem ser encontradas dadas as condições iniciais do problema. A constante ω é dada por

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (18)$$

O período T do pêndulo é o tempo que ele leva para completar uma oscilação. Por exemplo, o tempo que ele leva para sair da posição $\theta = \theta_{\text{máx}}$ ir até a posição $\theta = -\theta_{\text{máx}}$ e voltar até a posição $\theta = \theta_{\text{máx}}$, é um período. Pela relação Eq (17) é possível ver que o período é dado por⁸

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (19)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (20)$$

C Exemplo resolvido: Sistema de polias

Consideremos duas massas m_1 e m_2 suspensas por um sistema de duas polias e de fios, todos de massa desprezível, da forma indicada na Figura 20. Encontre a aceleração a_1 da massa m_1 , a aceleração a_2 da massa m_2 e a tensão na corda.

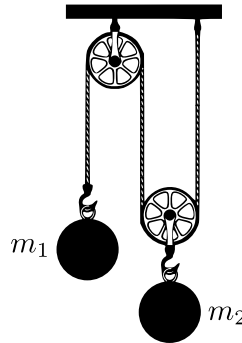


Figura 20: Sistema de polias.

⁷Substitua a solução fornecida, Eq. (17), na equação diferencial (16) para conferir se a solução fornecida realmente satisfaz a equação diferencial.

⁸Isso é verdade pois, $\cos(\phi) = \cos(2\pi + \phi)$.

Solução

As partes móveis do sistema são os dois subsistemas envoltos em linhas tracejadas: a massa m_1 e o sistema formado pela massa m_2 presa à polia 2, que se movem juntas (ver Figura 21). Chamamos de T

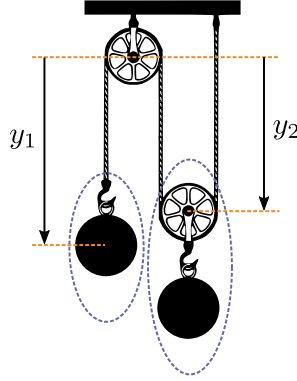


Figura 21: Sistema de polias.

a tensão no fio, que é a mesma dos dois lados da polia 2 e é também a mesma com a qual a polia 1 age sobre a massa m_1 . Seja a_1 a aceleração de massa m_1 , tomada positivamente quando dirigida para cima. A equação de movimento da massa m_1 é então:

$$T - m_1 g = m_1 a_1 \quad (21)$$

Para a massa m_2 , temos

$$2T - m_2 g = m_2 a_2 \quad (22)$$

Temos duas equações e 3 incógnitas (T , a_1 e a_2). Precisamos de mais uma equação. Se y_1 e y_2 são os comprimentos das porções de fio indicadas na figura, vemos pela figura que

$$y_1 + 2y_2 = \text{constante} \quad (23)$$

Derivando duas vezes a Eq. (23) obtemos

$$v_1 + 2v_2 = 0 \quad \implies \quad a_1 + 2a_2 = 0 \quad (24)$$

Podemos agora encontrar a_1 , a_2 e T

$$a_1 = + \frac{2(m_2 - 2m_1)}{4m_1 + m_2} g \quad (25)$$

$$a_2 = - \frac{(m_2 - 2m_1)}{4m_1 + m_2} g \quad (26)$$

$$T = \frac{3m_1 m_2}{4m_1 + m_2} g \quad (27)$$

D Sobre o que assumimos no problema 13

No item (c) do problema 13, assumimos que a partícula tem velocidade inicial igual a sua velocidade terminal. Mas, caso assumíssemos que a partícula partisse do repouso, o resultado encontrado também valeria? Podemos checar isso. Para isso, vamos começar escrevendo a segunda Lei de Newton como

$$F_a + P = ma \quad (28)$$

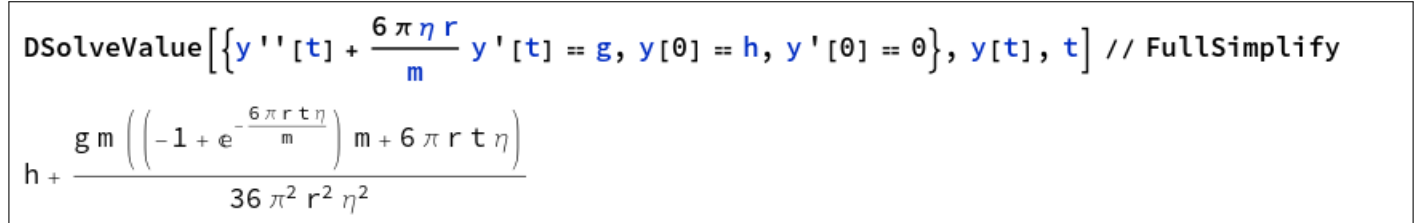
em que $F_a = -6\pi\eta r v$ e $P = mg$. Podemos reescrever a Eq. (28) como

$$a + \frac{6\pi\eta r}{m}v = g \quad (29)$$

lembrando que $\ddot{y}(t) = a$ e $\dot{y}(t) = v$, obtemos

$$\ddot{y}(t) + \frac{6\pi\eta r}{m}\dot{y}(t) = g \quad (30)$$

A Eq. (30) é uma equação diferencial, ordinária, linear, de segunda ordem. Você pode resolver essa equação analiticamente ou mesmo usando o mathematica.



The image shows a Mathematica notebook snippet. The code is: `DSolveValue[{y''[t] + (6 π η r / m) y'[t] == g, y[0] == h, y'[0] == 0}, y[t], t] // FullSimplify`. The output is:
$$h + \frac{g m \left(\left(-1 + e^{-\frac{6 \pi r t \eta}{m}} \right) m + 6 \pi r t \eta \right)}{36 \pi^2 r^2 \eta^2}$$

Figura 22: Solução usando o mathematica.

Podemos escrever a solução como

$$y(t) = -g \frac{(1 - e^{(-6\pi\eta r/m)t - 6\pi\eta r/m t})}{(6\pi\eta r/m)^2} \quad (31)$$

e calcular a velocidade como $v(t) = \dot{y}(t)$. Obtemos

$$v(t) = g \frac{(1 - e^{-(6\pi\eta r/m)t})}{6\pi\eta r/m} \quad (32)$$

Podemos obter a velocidade terminal, v_t , da Eq. (32) fazendo

$$v_t = \lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = \frac{g}{6\pi\eta r/m} \quad (33)$$

Podemos calcular o tempo t' que leva para a velocidade $v(t)$ alcançar 99% da velocidade terminal

$$\frac{v(t')}{v_t} = \frac{99}{100} \implies t' = \frac{1}{6\pi r \eta / m} \ln(100) \quad (34)$$

Neste tempo o deslocamento da partícula foi de

$$y(t') = -\frac{g}{(6\pi r\eta/m)^2} \left(\frac{99}{100} - \ln(100) \right) \quad (35)$$

Usando os valores fornecidos no exercício $r = 1,00 \times 10^{-5}\text{m}$, $\rho = 2000 \times \text{kg/m}^3$ e $\eta = 1,80 \times 10^{-5}\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ [também usamos $\rho = m/V$ com $V = 4\pi r^3/3$], obtemos

$$y(t') = 0,000215996\text{m} \quad (36)$$

Vemos portanto que leva uma distância muito pequena ($\sim 0,0002\text{m}$) para a partícula alcançar a velocidade terminal, ou seja, não faria muita diferença considerar a partícula como iniciando em repouso ou iniciando com velocidade v_t .

Referências

[1] H. Nussenzveig, *Curso de física básica, 1: mecânica* (E. Blucher 2013).