UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
4323101 - Física I

LISTA 04

Movimento Circular

Observe os diferentes graus de dificuldade para as questões: (*), (**), (***)

1. (*) A hélice de um avião gira a 1900 rev/min.
   (a) Calcule a velocidade angular da hélice em rad/s.
   R: 199 rad/s
   (b) Quantos segundos a hélice leva para girar 35 graus?
   R: $0,00307$ s

2. (*) Uma criança está empurrando um carrossel. O deslocamento angular do carrossel varia com o tempo de acordo com a relação $\theta(t) = \gamma t + \beta t^3$, onde $\gamma = 0,400$ rad/s e $\beta = 0,0120$ rad/s^3.
   (a) Calcule a velocidade angular do carrossel em função do tempo.
   R: $\omega(t) = \gamma + 3\beta t^2$
   (b) Qual é o valor da velocidade angular inicial?
   R: $\omega(0) = \gamma = 0,400$ rad/s
   (c) Calcule o valor da velocidade angular instantânea para $t = 5,00$ s e a velocidade média angular para o intervalo do tempo de $t = 0$ até $t = 5,00$ s. Mostre que a velocidade média angular não é igual à média das velocidades angulares para $t = 0$ até $t = 5,00$ s e explique a razão dessa diferença.
   R: $\omega(5) = 1,30$ rad/s, $\omega_{media} = 0,70$ rad/s, média das velocidades $= 0,85$ rad/s.

3. (*) O ângulo descrito por uma roda de bicicleta girando é dado por $\theta(t) = a + bt^2 - ct^3$, onde a, b e c são constantes positivas tais que se t for dado em segundos, θ deve ser medido em radianos.
   (a) Calcule a aceleração angular da roda em função do tempo.
   R: $\alpha(t) = 2b - 6ct$

(b) Em que instantes a velocidade angular instantânea da roda é nula?
R: $t = 0$ e $t = \frac{2b}{3c}$

4. (*) Um ventilador elétrico é desligado, e sua velocidade angular diminui uniformamente de 500 rev/min até 200 rev/min em $4,00\ s$.

   (a) Ache a aceleração angular em rev/s^2 e o número de revoluções ocorridas no intervalo de $4,00\ s$.
   R: $\alpha = -1,25\ rev/s^2$ e $23,3$ revoluções

   (b) Supondo que a aceleração angular calculada no item (a) permaneça constante, durante quantos segundos, depois de desligado o aparelho, a hélice continuará a girar até parar?
   R: $t = 6,67\ s$

5. (*) A roda de uma olaria gira com aceleração angular constante igual a $2,25\ rad/s^2$. Depois de $4,00\ s$, o ângulo descrito pela roda é de $60,0\ rad$. Qual era a velocidade angular inicial da roda?
R: $\omega_0 = 10,5\ rad/s$.

6. (*) Para um movimento com aceleração angular constante

   (a) Deduza uma expressão que forneça $\theta - \theta_0$ em função de ω, α e t (não use ω_0).
   R: $\theta - \theta_0 = \omega t + \frac{1}{2}\alpha t^2$

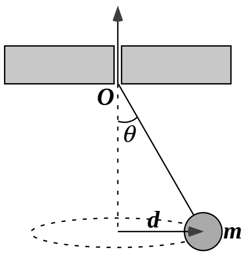
   (b) Para $t = 8,0\ s$, uma engrenagem gira em torno de um eixo fixo a $4,50\ rad/s$. Durante o intervalo precedente de $8,0\ s$ ela girou através de um ângulo de $40,0\ rad$. Use o resultado da parte (a) para calcular a aceleração constante da engrenagem.
   R: $\alpha = -0,125\ rad/s^2$

   (c) Qual era a velocidade angular de engrenagem para $t = 0$?
   R: $\omega_0 = 5,5\ rad/s$

7. (*) Uma bolinha presa a um fio de massa desprezível gira em torno de um eixo vertical com velocidade escalar constante, mantendo-se a uma distância $d = 0,5\ m$ do eixo; o ângulo θ entre o fio e a vertical é igual a $30°$. O fio passa sem atrito através de um orifício O numa placa, e é puxado lentamente para cima até que o ângulo θ passa a ser de $60°$.

   (a) Que comprimento do fio foi puxado?
   R: $\Delta l = 0,6\ m$

   (b) De que fator variou a velocidade de rotação?
   R: $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 2,08$



8. (*) Uma força é aplicada tangencialmente à borda de uma polia que tem 10 cm de raio e momento de inércia de $1 \times 10^{-3}\ kg\, m^2$ em relação ao seu eixo. A força tem módulo variável com o tempo, segundo a relação $F(t) = 0,5t + 0,30t^2$, com F em Newtons e t em segundos. A polia está inicialmente em repouso. Em $t = 3\ s$, quais são

   (a) a sua aceleração angular e
   R: $\alpha = 420\ rad/s^2$

   (b) sua velocidade angular?
   R: $\omega = 495\ rad/s$

9. (**) Um corpo rígido roda em torno de um eixo fixo com o deslocamento angular dado por $\theta(t) = at - bt^3$, onde $a = 6,0\ rad/s$ e $b = 2,0\ rad/s^3$ e $t \geq 0$. Ache os valores médios da velocidade angular e da aceleração angular para o intervalo de tempo de $t = 0$ até o instante em que o corpo para.
   R: $\omega_{media} = \frac{2a}{3} = 4\ rad/s$ e $\alpha_{media} = -\sqrt{3ab} = -6,0\ rad/s^2$.

10. (**) Considere o movimento de uma partícula de massa m num campo de forças centrais associado à energia potencial $U(r)$, onde r é a distância da partícula ao centro de forças O. Neste movimento, a magnitude $l = |\vec{l}|$ do momento angular da partícula em relação a O se conserva. Sejam (r, θ) as componentes em coordenadas polares do vetor de posição r da partícula em relação à origem O.

    (a) Mostre que as componentes em coordenadas polares do vetor velocidade v da partícula são $v_r = \frac{dr}{dt}$ (velocidade radial) e $v_\theta = r\frac{d\theta}{dt}$ (velocidade transversal). Mostre que $l = mrv_\theta$.

    (b) Mostre que a energia total E da partícula é dada por $E = \frac{mv_r^2}{2} + \frac{l^2}{(2mr^2)} + U(r)$

Gravitação

11. (*) Europa é um satélite do planeta Júpiter, com raio de 1569 km e com aceleração em queda-livre, na sua superfíficie, de 1,39 m/s^2.

(a) Calcule a velocidade de escape em Europa.
R: 2,09 km/s

(b) Que altura uma partícula alcança se ela deixa a superfície com uma velocidade vertical de 1,01 km/s?
R: 478,9 km

(c) Com que velocidade um objeto atinge o satélite se ele for largado de uma altura de 1000 km?
R: 1,303 km/s

(d) Calcule a massa de Europa.
R: $5,13 \times 10^{22}$ kg

12. (*) O asteróide Eros, um dos muitos "planetas menores" que orbitam em torno do Sol na região entre Marte e Júpiter, tem raio 7,0 km e massa $5,0 \times 10^{15}$ kg.

    (a) Se você estivesse em Eros, poderia levantar uma caminhonete de 2000 kg?

    (b) Você poderia correr rápido o suficiente para se colocar em órbita?

    Ignore os efeitos devidos à rotação do asteróide. Nota: os recordes olímpicos de tempo para a corrida de 400 m é de 43,49 s para homens (Michael Johnson-EUA, 1996) e de 48,25 s para mulheres (Marie-José Pérec-França, 1996).

13. (*) Considere um sistema isolado formado por três esferas. Duas delas, de massas 2,53 kg e 7,16 kg, são separadas por uma distância de centro a centro de 1,56 m. A terceira de 212 g é posicionada a 42,0 cm do centro da esfera de 7,16 kg, ao longo da linha que liga os centros. Quanto trabalho deve ser realizado por um agente externo para mover a esfera de 212 g ao longo da linha que liga os centros e a posicionar a 42,0 cm do centro da esfera de 2,53 kg?
    R: $9,845 \times 10^{-11}$ J

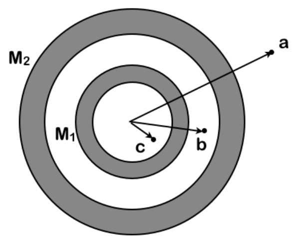
14. (**) Considere um sistema em que um corpo de massa m orbita em torno de outro com massa M, onde $M >> m$ (equivale a assumir M em repouso).

    (a) Mostre que, para uma órbita circular de raio r, a energia mecânica total do sistema pode ser escrita como:
    $$E = -\frac{GMm}{2r}$$

    (b) Use a conservação de energia para mostrar que a velocidade v de um objeto em uma órbita elíptica satisfaz a relação
    $$v^2 = GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right),$$

onde r é a distância entre o corpo em órbita e o corpo central de massa M e a é o comprimento do maior semi-eixo da elipse.

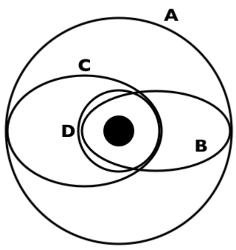
15. (**) Duas cascas concêntricas de densidade uniforme e massas M_1 e M_2 são posicionadas conforme mostrado na figura abaixo. Encontre a força sobre uma partícula de massa m quando a partícula está localizada em



   (a) $r = a$
   R: $F = -\frac{G(M_1+M_2)m}{a^2}$
   (b) $r = b$
   R: $F = -\frac{GM_1 m}{b^2}$
   (c) $r = c$
   R: $F = 0$
   A distância r é medida a partir do centro das cascas.

16. (**) Várias órbitas possíveis de um satélite são mostradas na figura abaixo:

   (a) Qual órbita tem o maior momento angular?
   R: A
   (b) Qual órbita tem a maior energia total?
   R: A
   (c) Em que órbita a maior velocidade é alcançada?
   R: B



Momento de Inércia

17. (*) Calcule o momento de inércia de um aro (um anel fino) de raio R e massa M em relação a um eixo perpendicular ao plano do aro passando pela sua periferia.
    R: $I = 2MR^2$

18. (*) Uma placa metálica fina de massa M tem forma retangular com lados a e b. Use o teorema dos eixos paralelos para determinar seu momento de inércia em relação a um eixo perpendicular ao plano da placa passando por um de seus vértices.
    R: $I = \frac{1}{3}M(a^2 + b^2)$

19. (**) Ache o momento de inércia de um disco maciço, uniforme, de raio R e massa M em relação a um eixo perpendicular ao plano do disco passando pelo seu centro.
    R: $I = \frac{1}{2}MR^2$

20. (**) Um cilindro oco tem massa m, raio externo R_2 e raio interno R_1. Mostrar que o momento de inércia em relação ao eixo de simetria é

$$I = m\frac{R_2^2 + R_1^2}{2}$$

Rotação de Objetos Extensos

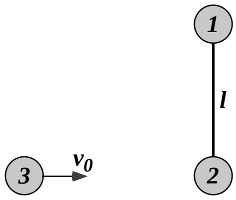
21. (*) Um cilindro de massa m e raio r, é solto (a partir do repouso) do topo de um plano inclinado que faz um ângulo α com a horizontal. Sabendo que o cilindro deve descer o plano inclinado rolando sem deslizar, encontre sua aceleração.
    R: $a = \frac{2}{3}gsen(\alpha)$

22. (*) Uma esfera, um cilindro e um aro, todos com o mesmo raio R, partem do repouso e rolam para baixo sobre o mesmo plano inclinado. Qual corpo atingirá a base primeiro?
    R: a esfera

23. (*) O que é maior, o momento angular da Terra associado à rotação em torno de seu eixo ou o seu momento angular associado ao movimento orbital em torno do Sol?
    R: o momento angular orbital.

24. (*) Um haltere formado por dois discos 1 e 2 iguais de massas m unidos por uma barra rígida de massa desprezível e comprimento $l = 30\ cm$ repousa sobre uma mesa de ar horizontal. Um terceiro disco 3 de mesma massa m desloca-se com atrito desprezível

e velocidade $v_0 = 3\ m/s$ sobre a mesa, perpendicularmente ao haltere, e colide frontalmente com o disco 2, ficando colado a ele. Descreva completamente o movimento subseqüente do sistema.
R: $v_{CM} = 1\ m/s$ na direção de v_0 e $\omega = 5\ rad/s$



25. (*) Dois patinadores de massa 60 kg, deslizando sobre uma pista de gelo com atrito desprezível, aproximam-se com velocidades iguais e opostas de 5 m/s, segundo retas paralelas, separadas por uma distância de $1,40\ m$.

    (a) Calcule o vetor momento angular do sistema e mostre que é o mesmo em relação a qualquer ponto e se conserva.
    R: $l = 420\ kg\,m^2/s$ perpendicularmente à pista

    (b) Quando os patinadores chegam a $1,40\ m$ um do outro, estendem os braços e dão-se as mãos, passando a girar em torno do centro de massa comum. Calcule a velocidade angular de rotação.
    R: $\omega = 7,1\ rad/s$

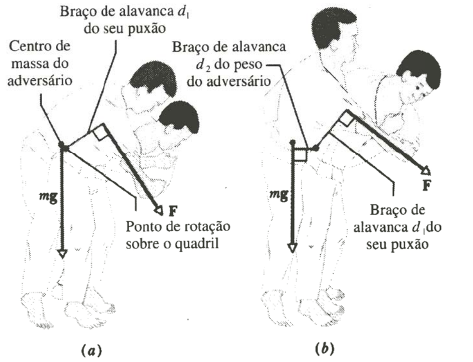
26. (*) A molécula de oxigênio, O_2, tem massa total de $5,3 \times 10^{-26}\ kg$ e um momento de inércia de $1,94 \times 10^{-46}\ kg\,m^2$, em relação ao eixo que atravessa perpendicularmente a linha de junção dos dois átomos. Suponha que essa molécula tenha em um gás a velocidade de 500 m/s e que sua energia cinética de rotação seja dois terços da energia cinética de translação. Determine sua velocidade angular.
R: $\omega = 6,75 \times 10^{12}\ rad/s$

27. (*) Para atirar ao solo um adversário de 80 kg, você utiliza o deslocamento em torno do quadril, um golpe básico do judô em que você tenta puxá-lo pelo uniforme com uma força F, que tem um braço de alavanca $d_1 = 0,30\ m$ em relação ao ponto de apoio (eixo de rotação) no seu quadril direito, sobre o qual deseja girá-lo com uma aceleração angular de $-12\ rad/s^2$, ou seja, uma aceleração no sentido horário na figura a seguir. Suponha que o momento de inércia I em relação ao ponto de rotação seja 15 $kg\,m^2$.

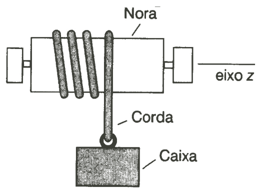
    (a) Qual deve ser o módulo de F se, inicialmente, você incliná-lo para frente, para fazer com que o centro de massa dele coincida com o seu quadril (figura a)?

R: $F = 600\ N$

(b) Qual será o módulo de F se o adversário permanecer ereto e o vetor peso dele tiver um braço de alavanca $d_2 = 0,12\ m$ em relação ao eixo de rotação (figura b)?
R: $F = 913,6\ N$



28. (*) Libera-se uma caixa que está presa a uma corda enrolada em uma nora (figura a seguir). A massa da caixa é $M_c = 35\ kg$, e a massa e o raio da nora são $M_n = 94\ kg$ e $R_n = 83\ mm$. Determine



(a) o módulo a da aceleração linear da caixa e
R: $a = 4,2\ m/s^2$

(b) a tensão F_T da corda. A nora pode ser tratada como um cilindro uniforme de raio R_n; despreza-se o torque devido ao atrito nos mancais da corda.
R: $F_T = 197,4\ N$

29. (*) Sob determinadas circunstâncias, uma estrela pode sofrer um colapso e se transformar em um objeto extremamente denso, constituído principalmente por nêutrons e chamado "Estrela de Nêutrons". A densidade de uma estrela de nêutrons é aproximadamente 10^{14} vezes maior do que a da matéria comum. Suponha que a estrela seja uma esfera maciça e homogênea antes e depois do colapso. O raio inicial da estrela era de $7,0 \times 10^5\ km$ (comparável com o raio do Sol); seu raio final é igual a 16 km. Supondo que a estrela original completava um giro em 30 dias, encontre a velocidade

angular da estrela de nêutrons.
R: $\omega = 3,89 \times 10^3\ rad/s$

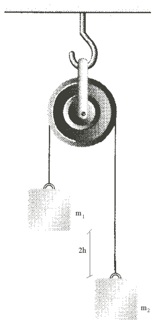
30. (*) Uma mesa giratória grande gira em torno de um eixo vertical fixo, fazendo uma revolução em $6,00\ s$. O momento de inércia da mesa giratória em torno desse eixo é igual a $1200\ kg\,m^2$. Uma criança com massa de $40,0\ kg$, que estava inicialmente em repouso no centro da mesa, começa a correr ao longo de um raio. Qual é a velocidade angular da mesa giratória quando a criança está a uma distância de $2,00\ m$ do centro? (Suponha que a criança possa ser considerada uma partícula).
R: $\omega = 0,924\ rad/s$

31. (*) Uma porta sólida de madeira com largura de $1,00\ m$ e altura de $2,00\ m$ é articulada em um de seus lados e possui massa total de $40,0\ kg$. Inicialmente ela está aberta e em repouso, a seguir, uma porção de material amorfo e pegajoso de massa igual a $0,500\ kg$, se deslocando perpendicularmente à porta com velocidade de $12,0\ m/s$, colide no centro da porta. Calcule a velocidade angular final da porta. A porção do material supracitado contribui significativamente para o momento de inércia?
R: $\omega = 0,223\ rad/s$

32. (**) Considere dois corpos com $m_1 > m_2$ ligados por um fio de massa desprezível que passa sobre uma polia de raio R e momento de inércia $I = \frac{MR^2}{2}$ ao redor de seu eixo de rotação, como na figura a seguir. O fio não desliza sobre a polia. A polia gira sem atrito. Os corpos são soltos do repouso e estão separados por uma distância vertical de $2h$. Expresse as respostas em função de m_1, m_2, M, g e h.

    (a) Encontre as velocidades translacionais dos corpos quando passam um pelo outro.
    R: $v = \left[\frac{2gh(m_1 - m_2)}{\left(m_1 + m_2 + \frac{M}{2}\right)}\right]^{1/2}$

    (b) Encontre a aceleração linear dos corpos.
    R: $a = \frac{(m_1 - m_2)}{\left(m_1 + m_2 + \frac{M}{2}\right)} g$



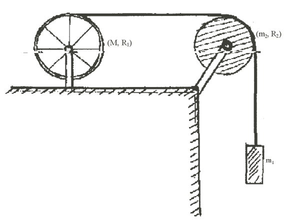
33. (**) Uma roda de bicicleta de massa M e raio R_1 (massa dos raios da roda desprezível) pode girar livremente em torno de um eixo horizontal. Um fio de massa desprezível é enrolado em torno de seu diâmetro, e ligado a um bloco de massa $m_1 = \frac{M}{5}$, passando por uma polia que é um disco de massa $m_2 = \frac{4M}{5}$ e raio R_2, como visto na figura.

   (a) Faça um diagrama mostrando as forças aplicadas pelo fio em cada um dos três corpos.

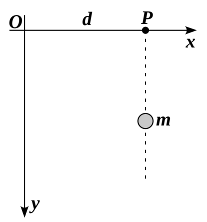
   (b) Obtenha a força exercida pelo fio na roda de bicicleta, em termos de M e da aceleração a da massa m_1.
   R: $F = Ma$

   (c) Determine a força exercida pelo fio na massa m_1, em termos de a e M.
   R: $F = \frac{M(g-a)}{5}$

   (d) Determine a aceleração a da massa m_1.
   R: $a = \frac{g}{8}$



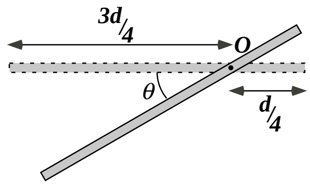
34. (**) Uma partícula de massa m parte do repouso no ponto P indicado na figura abaixo.



   (a) Calcule o torque da força gravitacional sobre a partícula em relação à origem O.
   R: $\tau = mgd$

   (b) Qual é o momento angular da partícula que cai, para um dado instante de tempo t, em relação ao ponto O?
   R: $L = mgtd$

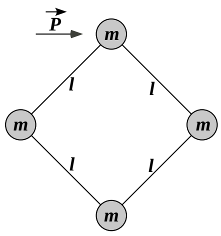
35. (**) Uma haste metálica delgada de comprimento d e massa M pode girar livremente em torno de um eixo horizontal, que a atravessa perpendicularmente, à distância $d/4$ de uma extremidade. A haste é solta a partir do repouso, na posição horizontal.



(a) Calcule o momento de inércia I da haste com respeito ao eixo em torno do qual ela gira.
R: $I = \frac{7}{48}Md^2$

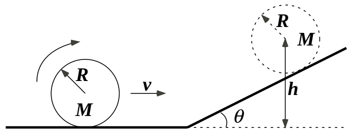
(b) Calcule a velocidade angular ω adquirida pela haste após ter caído de um ângulo θ (figura abaixo), bem como a aceleração angular α.
R: $\omega = \left[\frac{24}{7}\frac{g}{d}sen(\theta)\right]^{1/2}$ e $\alpha = \frac{12}{7}\frac{g}{d}cos(\theta)$

36. (**) Quatro discos iguais de massas m ocupam os vértices de uma armação quadrada formada por quatro barras rígidas de comprimento l e massa desprezível. O conjunto está sobre uma mesa de ar horizontal, podendo deslocar-se sobre ela com atrito desprezível. Transmite-se um impulso instantâneo $\vec{P}$ a uma das massas, na direção de uma das diagonais do quadrado (figura). Descreva completamente o movimento subseqüente do sistema.
R: $\vec{v}_{CM} = \frac{\vec{P}}{4m}$ e $\omega = \frac{\sqrt{2}P}{4ml}$



37. (**) Uma roda cilíndrica homogênea, de raio R e massa M, rola sem deslizar sobre um plano horizontal, deslocando-se com velocidade v, e sobe sobre um plano inclinado de inclinação θ, continuando a rolar sem deslizar (figura a seguir). Até que altura h o centro da roda subirá sobre o plano inclinado?
R: $h = R + \frac{3}{4}\frac{v^2}{g}$

Exercícios Complementares

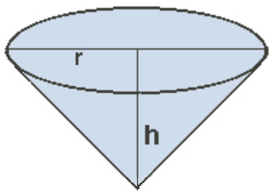


38. (**) Uma barra delgada de comprimento L possui massa por unidade de comprimento variando a partir da extremidade esquerda, onde $x = 0$, de acordo com $\frac{dm}{dx} = \gamma x$, onde γ é uma constante de unidade kg/m^2.

    (a) Calcule a massa total da barra em termos de γ e L.
    R: $M = \frac{\gamma L^2}{2}$

    (b) Calcule o momento de inércia da barra em relação a um eixo perpendicular à barra e passando pela sua extremidade esquerda.
    R: $I = \frac{1}{2}ML^2$

39. (**) Determine o momento de inércia de um cone maciço uniforme em relação a um eixo que passa através de seu centro . O cone possui massa M e altura h. O raio do círculo da sua base é igual a r.
    R: $I = \frac{3}{10}Mr^2$

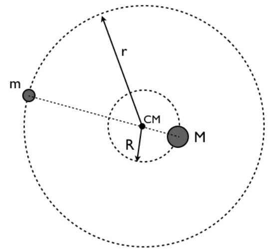


40. (**) Um ioiô é composto por dois discos cuja espessura é b e cujo raio é R. Os dois discos estão ligados por um eixo central estreito de raio R_0. Em torno desse eixo está enrolado um fio de comprimento L e espessura desprezível. O momento de inércia do sistema, com relação ao seu centro de massa é dado por I_{CM}. Supondo o atrito desprezível, encontre a velocidade linear do ioiô quando ele sobe o fio.
    R: $v = -\left[\frac{2MR_0^2 gL}{(I_{CM}+MR_0^2)}\right]^{1/2}$

41. (**) Um corpo de massa inicial M inicialmente em repouso está preso à extremidade de uma corda de tamanho l, quando esticada. A outra extremidade da corda está presa a um suporte, colocado em uma mesa que não oferece atrito. Esse corpo possui uma válvula que é capaz de expelir um gás, perpendicularmente ao fio e paralelamente à

mesa, numa taxa λ $[kg/s]$ e com uma velocidade escalar V_E relativa ao corpo. O corpo sai do repouso e começa a girar em torno do suporte do fio. Determine o momento angular da partícula num instante t qualquer, tomando $t = 0$ no instante em que a válvula é aberta.
R: $L = (M - \lambda t)\, l\, V_E\, ln\left[\frac{M}{(M-\lambda t)}\right]$

42. (*) Um par de estrelas gira em torno do seu centro de massa comum. Uma das estrelas tem massa M que é duas vezes a massa m da outra, isto é, $M = 2m$. Seus centros estão separados por uma distância d, que é grande se comparado ao tamanho de cada estrela.



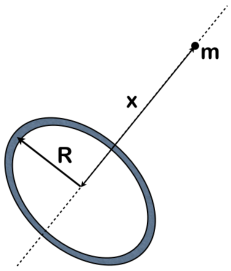
(a) Calcule o período de revolução das estrelas em torno do seu centro de massa comum em termos de d, m e G.
R: $T = 2\pi\sqrt{\frac{d^3}{3Gm}}$

(b) Compare as quantidades de movimento angular das duas estrelas em torno do seu centro de massa comum calculando a razão L_m/L_M.
R: $\frac{L_m}{L_M} = 2$

(c) Compare as energias cinéticas das duas estrelas calculando a razão K_m/K_M.
R: $\frac{K_m}{K_M} = 2$

43. (**) O Sol, de massa 2×10^{30} kg, está girando em torno do centro da Via-Láctea, estando distante deste $2,2 \times 10^{20}$ m. Ele completa uma revolução a cada $2,5 \times 10^8$ anos. Estime o número de estrelas na Via-Láctea. (Dica: Suponha para simplificar que as estrelas são distribuídas com simetria esférica em relação ao centro da galáxia e que o Sol está essencialmente na extremidade da galáxia).

44. (**) Vários planetas (os gigantes gasosos Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) possuem anéis praticamente circulares à sua volta, talvez compostos de material que não conseguiu formar um satélite. Além disso, várias galáxias têm estrutura em forma de anel. Considere um anel homegêneo de massa M e raio R.



(a) Encontre uma expressão para a força gravitacional exercida pelo anel sobre uma partícula de massa m localizada a uma distância x do centro do anel ao longo do seu eixo.
R: $\vec{F} = -\frac{GMm\,x}{(R^2+x^2)^{3/2}}\,\vec{\imath}$

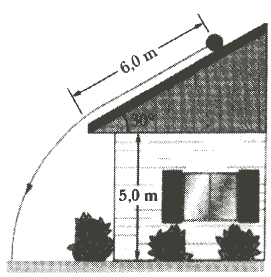
(b) Suponha que a partícula cai a partir do repouso devido à atração gravitacional do anel de matéria. Encontre uma expressão para a velocidade com a qual ela passa pelo centro do anel.
R: $v = \sqrt{2GM\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2+x^2}}\right)}$

45. (**) Um corpo esférico sólido de raio igual a 10 cm e massa de 12 kg, parte do repouso e rola uma distância de $6,0$ m, descendo o telhado de uma casa, cuja inclinação é igual a 30°.

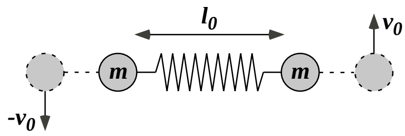
(a) Qual a aceleração linear do corpo durante o rolamento?
R: $a = 3,5\ m/s^2$

(b) Qual é a força de atrito f_e?
R: $f_e = 16,8\ N$

(c) Qual é a velocidade do corpo quando ele sai do telhado?
R: $v = 6,48\ m/s$



46. (**) Duas partículas de mesma massa m estão presas às extremidades de uma mola de massa desprezível, inicialmente com seu comprimento relaxado l_0. A mola é esticada



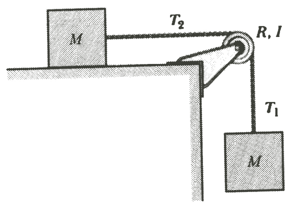
até o dobro desse comprimento e é solta depois de comunicar velocidades iguais e opostas v_0 e $-v_0$ às partículas, perpendiculares à direção da mola, tais que $kl_0^2 = 6mv_0^2$, onde k é a constante da mola. Calcule as componentes (v_r,v_θ) radial e transversal da velocidade das partículas quando a mola volta a passar pelo seu comprimento relaxado.
R: $v_r = 0$ e $v_\theta = 2v_0$

47. (**) Dois blocos idênticos, de massa M cada um, estão ligados por uma corda de massa desprezível, que passa por uma polia de raio R e de momento de inércia I (figura a seguir). A corda não desliza sobre a polia; desconhece-se existir ou não atrito entre o bloco e a mesa; não há atrito no eixo da polia. Quando esse sistema é liberado, a polia gira de um ângulo θ, num tempo t, e a aceleração dos blocos é constante. Todas as respostas devem ser expressas em função de M, I, R, θ, g e t.

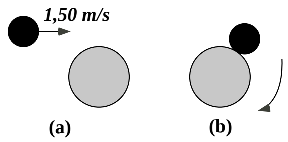
    (a) Qual a aceleração angular da polia?
    R: $\alpha = \frac{2\theta}{t^2}$

    (b) Qual a aceleração dos dois blocos?
    R: $a = \frac{2\theta R}{t^2}$

    (c) Quais as tensões na parte superior e inferior da corda?
    R: $T_1 = M\left(g - \frac{2\theta R}{t^2}\right)$ e $T_2 = Mg - \frac{2M\theta R}{t^2} - \frac{2I\theta}{Rt^2}$



48. (**) Um disco com uma massa de $80,0\ g$ e um raio de $4,00\ cm$ desliza ao longo de uma mesa de ar à velocidade de $1,50\ m/s$ como mostrado na figura. Ele faz uma colisão oblíqua com um segundo disco tendo raio $6,00\ cm$ e massa $120\ g$ (inicialmente em repouso) de forma que suas bordas apenas se toquem. Como suas bordas estão revestidas com uma cola de ação instantânea, os discos ficam grudados e giram após a colisão (ver figura).



(a) Qual é o momento angular do sistema em relação ao centro de massa?
R: $L = 72000\ g\,cm^2/s$

(b) Qual é a velocidade angular ao redor do centro de massa?
R: $\omega = 9,47\ rad/s$

49. (**) Um giroscópio possui movimento de precessão em torno de um eixo vertical. Descreva o que ocorre com a velocidade angular de precessão quando são feitas as seguintes mudanças nas variáveis, mantendo-se as outras grandezas constantes:

(a) a velocidade angular de spin do volante dobra;

(b) o peso total dobra;

(c) o momento de inércia em torno do eixo do volante dobra;

(d) a distância entre o pivô e o centro de gravidade dobra;

(e) O que ocorreria se todas as quatro variáveis indicadas nos itens de (a) até (d) dobrassem de valor ao mesmo tempo?

50. (***) Considere um giroscópio com um eixo que não está na direção horizontal, mas possui uma inclinação β em relação à horizontal. Mostre que a velocidade angular da precessão não depende do valor de β.