NUSP:

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9

Instruções: preencha ***completamente*** *os círculos com os dígitos do seu número USP (um em cada coluna); na parte de baixo dessa folha, preencha* ***completamente*** *os círculos com as respostas corretas correspondentes a cada questão. Use caneta esferográfica preta ou azul. Escreva apenas nas áreas designadas.*

Nome: ....

Assinatura: ....

Turma: ....

Professor: ....

ESTE ESPAÇO É DE USO EXCLUSIVO DA BANCA DE CORREÇÃO

	1a Avaliação	Revisão
Múltipla-escolha		
Discursiva QD		
Total		

- Esta prova é formada de uma parte objetiva contendo 4 questões de múltipla-escolha (1-4) e uma parte discursiva contendo uma questão (QD).
- A parte objetiva corresponde a um total de 4 pontos e a parte discursiva a 6 pontos.

Marque as respostas das questões de múltipla-escolha

(1) Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

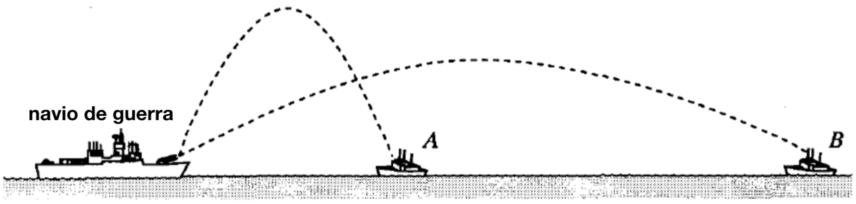
(2) Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

(3) Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

(4) Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

QUESTÕES DE MÚLTIPLA-ESCOLHA (1-4)

(1) [(1,0 pt)] Um navio de guerra atira simultaneamente dois mísseis em navios inimigos. Se os mísseis seguem as trajetórias parabólicas mostradas, qual das afirmações é correta:



- ☐ *(a)* Só é possível determinar a ordem de chegada dos mísseis conhecendo-se o valor exato dos ângulos de lançamento.
- ☐ *(b)* O navio B é atingido primeiro.
- ☐ *(c)* Só é possível determinar a ordem de chegada dos mísseis conhecendo-se as magnitudes das velocidades de lançamento.
- ☐ *(d)* O navio A é atingido primeiro.
- ☐ *(e)* Os navios A e B são atingidos simultaneamente.

SOLUÇÃO

Os tempos de vôo t_v de cada míssel devem ser o dobro dos respectivos tempos de subida t_s. Tomando $t = 0$ como o instante de lançamento, o tempo de subida é igual ao instante em que a componente vertical da velocidade do míssel se anula

$$v_y(t) = v_{0_y} - gt = 0 \quad \Longrightarrow \quad t_s = \frac{v_{0_y}}{g}$$

Por outro lado, adotando-se a origem do sistema de coordenadas na posição do canhão, a altura máxima H alcançada por cada míssel é dada por

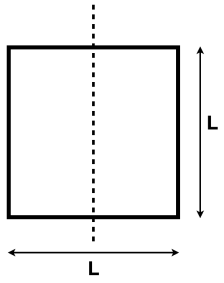
$$H = y(t_s) = v_{0_y} t_s - \frac{g}{2} t_s^2 = \frac{v_{0_y}^2}{2g} \quad \Longrightarrow \quad v_{0_y} = \sqrt{2gH}$$

Então

$$t_v = 2t_s = 2\left(\frac{2H}{g}\right)^{1/2},$$

de forma que $t_{v_A} > t_{v_B}$, já que da figura $H_A > H_B$.

(2) **[**(1,0 pt)**]** Um objeto é formado por quatro barras delgadas homogêneas, cada uma com massa M e comprimento L, na forma de um quadrado. O momento de inércia om relação ao eixo representado pela linha pontilhada na figura e passando pelo plano do objeto é:



- ☐ *(a)* $\frac{1}{3}ML^2$
- ☐ *(b)* $\frac{2}{3}ML^2$
- ☐ *(c)* $\frac{4}{3}ML^2$
- ☐ *(d)* nenhuma das alternativas
- ☐ *(e)* $32ML^2$

SOLUÇÃO

Para o eixo de rotação em questão, há duas barras (que rotularemos de 1 e 2) girando paralelas a ele a uma distância $L/2$ deste. O teorema dos eixos paralelos aplicado a estas duas barras fornece:

$$I_1 + I_2 = 2I_1 = 2\left[0 + M\left(\frac{L}{2}\right)^2\right] = \frac{ML^2}{2},$$

onde usou-se o fato de que o momento de inércia de cada uma das barras em relação a um eixo passando pelos seus CMs e paralelo às barras é nulo, dado que se tratam de barras delgadas.

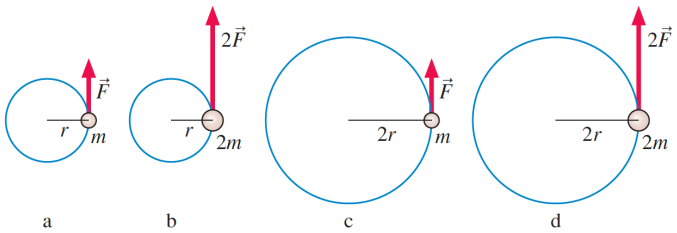
As duas barras restantes (3 e 4) giram em torno de um eixo perpendicular a elas e passando pelos seus CMs, logo

$$I_3 + I_4 = 2I_3 = 2\frac{1}{12}ML^2 = \frac{ML^2}{6}$$

Logo, o momento de inércia total em torno do eixo em questão é

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \frac{2}{3}ML^2$$

(3) [(1,0 pt)] O ordenamento correto das magnitudes das acelerações angulares α_a a α_d das massas pontuais em trajetórias circulares é:



- ☐ *(a)* $\alpha_a < \alpha_b < \alpha_c < \alpha_d$
- ☐ *(b)* $\alpha_d < \alpha_c < \alpha_b < \alpha_a$
- ☐ *(c)* $\alpha_a = \alpha_b < \alpha_c < \alpha_d$
- ☐ *(d)* $\alpha_c = \alpha_d < \alpha_a = \alpha_b$
- ☐ *(e)* $\alpha_a = \alpha_c < \alpha_b = \alpha_d$

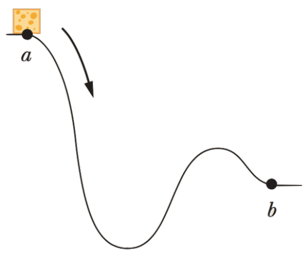
SOLUÇÃO

Todos os torques $\vec{\tau}$ das forças acima com respeito ao centro dos círculos apontam para fora do plano da folha e, portanto, também os correpondentes vetores aceleração angular $\vec{\alpha}$. Suas magnitudes são

$$\begin{aligned}
\alpha_a &= \frac{\tau_a}{I_a} = \frac{rF}{mr^2} = \frac{F}{mr} \\
\alpha_b &= \frac{\tau_b}{I_b} = \frac{r(2F)}{(2m)r^2} = \frac{F}{mr} \\
\alpha_c &= \frac{\tau_c}{I_c} = \frac{(2r)F}{m(2r)^2} = \frac{F}{2mr} \\
\alpha_d &= \frac{\tau_d}{I_d} = \frac{(2r)(2F)}{(2m)(2r)^2} = \frac{F}{2mr}
\end{aligned}$$

Logo, $\alpha_c = \alpha_d < \alpha_a = \alpha_b$

(4) [(1,0 pt)] A figura mostra um pedaço de 2 kg de queijo que desliza por um trilho sem atrito do ponto a ao ponto b, separados por uma distância vertical de 0,80 m. O queijo percorre uma distância total de 2 m ao longo do trilho. Qual é o trabalho realizado sobre o queijo pela força gravitacional durante o deslocamento de a até b (considere $g = 10$ m/s^2).



- ☐ *(a)* 40 J.
- ☐ *(b)* -40 J.
- ☐ *(c)* 56 J.
- ☐ *(d)* 16 J.
- ☐ *(e)* Não é possível calcular o trabalho realizado pela força gravitacional sem conhecer a curva que representa a trajetória seguida pelo queijo entre a e b.

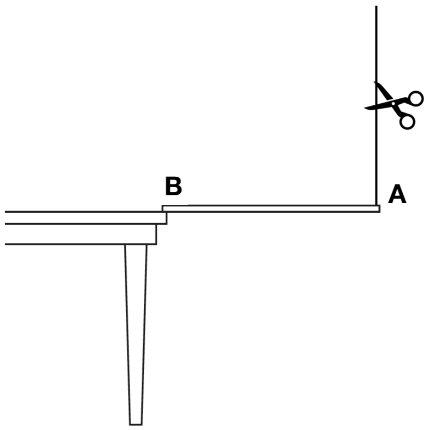
SOLUÇÃO

A força gravitacional é uma força conservativa, por tanto, o trabalho realizado sob o queijo durante o deslocamento de a até b, $W_{a\to b}$, não depende do caminho seguido. Assim, para calcular o trabalho realizado, podemos imaginar um caminho onde o queijo é deslocado horizontalmente até uma posição c, que verticalmente está na mesma altura que a e horizontalmente na mesma posição de b. Depois o queijo é deslocado de c até b seguindo uma linha reta. Assim $W_{a\to b} = W_{a\to c} + W_{c\to b} = 0 - mg\Delta y_{ab} = -(2\text{ kg})(10\text{ m/s}^2)(-0,80\text{ m}) = 16$ J.

QUESTÃO DISCURSIVA

ATENÇÃO: A solução dessa questão deve ser feita no caderno de provas devidamente identificado com nome, NUSP e turma.

[(QD) (6,0 pt)] Uma barra delgada homogênea de massa M e comprimento L encontra-se suspensa horizontalmente com a extremidade B apoiada na borda de uma mesa e a outra extremidade A suspensa por um fio inextensível e de massa desprezível preso ao teto. O fio é cortado com uma tesoura e o instante imediatamente após o corte será chamado de t_0.



(a) (1,0) Adote um sistema de coordenadas, esboce o diagramas de forças sobre a barra antes e imediatamente após o corte do fio. Escreva todas as forças explicitamente nas duas situações acima em termos da base de versores adotada.

(b) (1,0) Antes do corte do fio, ou seja, para $t < t_0$, determine a magnitude das forças $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$.

(c) (1,0) Determine o vetor torque com respeito ao ponto B no instante t_0.

(d) (1,0) Determine o vetor aceleração angular da barra em t_0 ao girar em torno de um eixo passando por B.

(e) (1,0) Determine o vetor aceleração do centro de massa em t_0.

(f) (1,0) Determine a força $\vec{F}_B$ de reação da mesa sobre a extremidade B da barra em t_0. Qual a razão entre a magnitude dessa força em $t = t_0$ e em $t < t_0$?

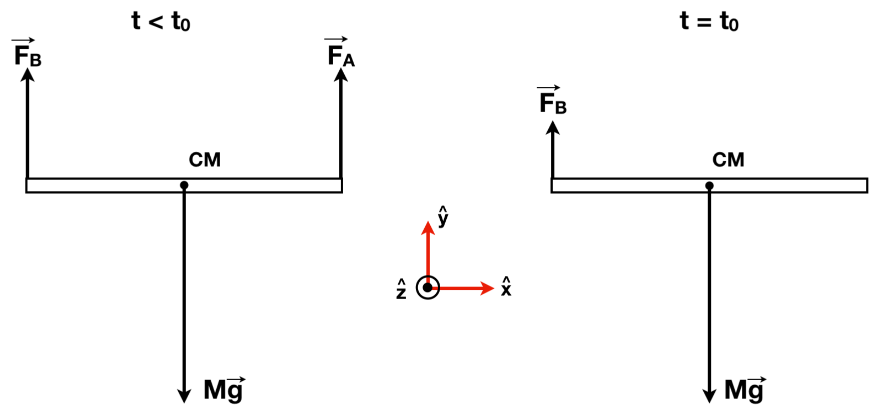
IMPORTANTE: Deixe todas as suas respostas em termos apenas das variáveis fornecidas no enunciado, da aceleração gravitacional local ($\vec{g}$) e dos versores da base adotada.

FORMULÁRIO

- $\frac{d}{dx}[f(x)]^n = n[f(x)]^{n-1}\frac{df}{dx}$.
- $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$
  - $I_{CM} = \frac{1}{2}MR^2$ (cilindro)
  - $I_{CM} = \frac{2}{5}MR^2$ (esfera)
  - $I_{CM} = \frac{1}{12}ML^2$ (barra delgada)
  - $I_{CM} = MR^2$ (anel delgado)

GABARITO

(a) Diagrama de forças e base de versores adotada



No sistema de coordenadas adotado, podemos escrever

$$M\vec{g} = -Mg\hat{y}, \quad \vec{F}_A = F_A\hat{y}, \quad \vec{F}_B = F_B\hat{y}$$

(b) Para que o CM esteja parado em $t < t_0$, devemos ter

$$\vec{F}_R = \vec{0} = F_A\hat{y} + F_B\hat{y} - Mg\hat{y} \quad \Longrightarrow \quad F_A + F_B = Mg$$

enquanto para que a barra não gire em torno do CM, o torque com respeito ao CM deve ser nulo

$$\vec{0} = \vec{\tau}_{CM} = \vec{\tau}_A + \vec{\tau}_B = \left(\frac{L}{2}\hat{x}\right) \times F_A\hat{y} + \left(-\frac{L}{2}\hat{x}\right) \times F_B\hat{y} \quad \Longrightarrow \quad F_A = F_B.$$

Logo, temos

$$F_A = F_B = \frac{Mg}{2}.$$

(c) Em $t = t_0$, o torque com respeito a B é simplesmente aquele devido à força peso, logo

$$\vec{\tau}_B = \left(\frac{L}{2}\hat{x}\right) \times (-Mg\hat{y}) = -\frac{MgL}{2}\hat{z}$$

(d) A correspondente aceleração angular pode ser obtida através da segunda lei de Newton para a rotação

$$\vec{\tau}_B = \frac{d\vec{L}_B}{dt} = \frac{d}{dt}(I_B\vec{\omega}) = I_B\vec{\alpha}.$$

O momento de inércia da barra com respeito a um eixo passando pelo ponto B e perpendicular à barra pode ser obtido via teorema dos eixos paralelos

$$I_B = I_{CM} + M\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{12}ML^2 + \frac{1}{4}ML^2 = \frac{1}{3}ML^2.$$

Logo

$$\vec{\alpha} = -\frac{3g}{2L}\hat{z}$$

(e) A velocidade $\vec{v}$ do CM e a sua velocidade angular de rotação $\vec{\omega}$ estão relacionadas por

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} = (-\omega\hat{z}) \times \left(\frac{L}{2}\hat{x}\right) = -\frac{L}{2}\omega\hat{y}$$

A aceleração do CM é então

$$\vec{a}_{CM} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{L}{2}\frac{d\omega}{dt}\hat{y} = -\frac{L}{2}\alpha\hat{y} = -\frac{3g}{4}\hat{y},$$

onde ω e α foram tomados como positivos.

(f) Usando o diagrama de forças do ítem (a) para $t = t_0$ e a 2a lei de Newton para o movimento de translação

$$\vec{F}_R = M\vec{a}_{CM} \quad \Longrightarrow \quad \vec{F}_B + M\vec{g} = -\frac{3}{4}Mg\hat{y} \quad \Longrightarrow \quad \vec{F}_B = \frac{1}{4}Mg\hat{y}$$

Logo, a razão entre as magnitudes de $\vec{F}_B$ antes e imediatamente após o corte do fio é

$$\frac{|\vec{F}_B(t = t_0)|}{|\vec{F}_B(t < t_0)|} = \frac{1}{2}.$$