

## FAP151 - FUNDAMENTOS DE MECÂNICA. Junho de 2007

### 10ª Lista de Exercícios. Aplicações das leis de Newton em sistemas com atrito.

Exercícios para entregar: **14** e **21**. Note que não é suficiente fornecer apenas as respostas, é necessário apresentar os cálculos intermediários e o raciocínio que conduziu à solução.

#### Força conhecida, mas não constante, com cinemática completa.

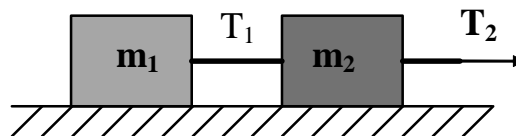
1. Um carro de uma tonelada está parado numa estrada horizontal plana. Em  $t = 0$  s, o motorista pisa no acelerador de maneira que a força horizontal **resultante** (motor + atritos) é 10000 N (dez mil newtons), mantendo esse valor constante durante 10 s. O motorista tira, então, o pé do acelerador, de modo que a força do motor vai a zero e, em consequência, a força resultante muda bruscamente; a força resultante passa a ser a força de atrito, com módulo 1000 N (mil newtons) e **oposta** à velocidade do carro.

- Esboce o gráfico da força resultante em função do tempo, desde  $t = 0$  s até 60 s.
- Esboce os gráficos de aceleração e velocidade em função do tempo, desde  $t = 0$  s até o carro parar. Determine o instante em que o carro pára.
- Esboce o gráfico de posição em função do tempo, desde  $t = 0$  s até o carro parar. Determine o deslocamento do carro desde  $t = 0$  s até parar.

#### Forças de tração em sistemas de muitos corpos.

2. Dois blocos estão sobre uma mesa horizontal, ligados por uma corda de massa desprezível, e são puxados para a direita por uma força externa  $T_2$ , como mostra a figura abaixo. Os blocos têm massas  $m_1 = 1,2$  kg e  $m_2 = 2,4$  kg, e os coeficientes de atrito estático e cinético são iguais a 0,6 e 0,5, respectivamente.

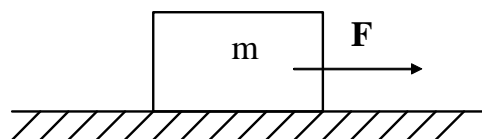
- Esboce os diagramas de corpo livre dos blocos e escreva as equações de movimento correspondentes.
- Se  $T_2 = 25$  N, determine a aceleração do sistema e a tração  $T_1$ .
- Calcule o menor valor de  $T_2$  que permite iniciar o movimento a partir do repouso.
- Calcule o menor valor de  $T_2$  no sentido do movimento que permite manter o sistema em movimento.



#### Força de atrito, sistemas de um corpo

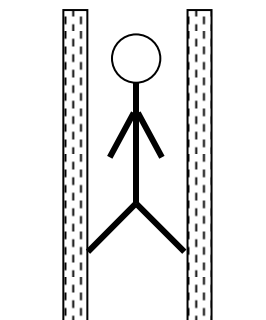
3. Um bloco de massa  $m = 5$  kg repousa sobre o chão horizontal. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o chão é  $\mu = 0,6$ . No instante  $t = 0$  s, uma força horizontal de módulo 50 N é aplicada sobre o bloco e mantida constante até  $t = 3$  s, quando cessa completamente. Use  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

- Esboce o gráfico da projeção horizontal da força **resultante** no bloco.
- Esboce o gráfico da aceleração do bloco.
- Esboce o gráfico da velocidade do bloco.
- Determine o instante em que o bloco pára.
- Determine a distância percorrida pelo bloco, desde  $t = 0$  s até parar.

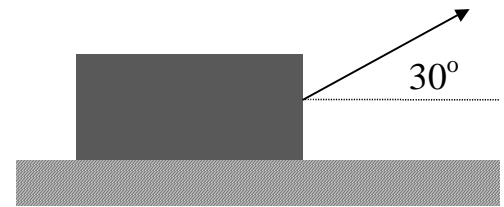


4. Uma criança se mantém suspensa do chão no batente de uma porta empurrando as laterais do batente com os pés conforme esboço ao lado.

- Esboce o diagrama de corpo livre correspondente à criança.
- Mostre que a componente normal da força da criança sobre o batente esquerdo tem mesmo módulo e sinal contrário à componente normal sobre o batente direito.
- Calcule o valor mínimo da componente normal da força da criança sobre o batente se o coeficiente de atrito estático entre o calçado e o batente é 0,8 e a massa da criança é 35 kg.



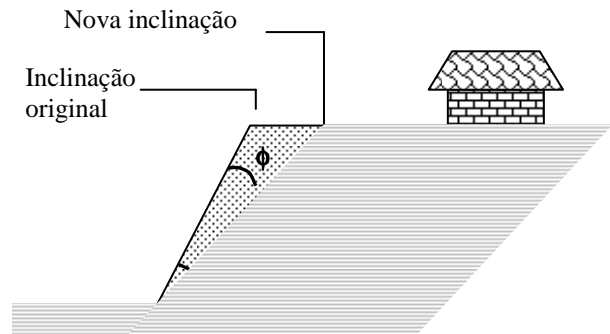
5. Um bloco com 10 kg de massa repousa sobre uma superfície horizontal. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície é  $\mu = 0,5$ . No instante  $t = 0$ , aplica-se uma força de módulo 80 N, numa direção que forma  $30^\circ$  com a horizontal conforme a figura ao lado, que atua por 10 s. Qual a velocidade atingida pelo bloco após cessar a força?



6. Uma criança arrasta um brinquedo de 1,5 kg ao longo do nível do chão, por uma corda inclinada em  $30^\circ$  com a horizontal. Uma força de atrito de módulo 5,0 N opõe-se ao movimento.

- Esboce o diagrama de corpo livre do brinquedo.
- Qual a intensidade da força na corda que puxa o carrinho, se este se move com aceleração igual a  $0,40 \text{ m/s}^2$ ?
- Determine o coeficiente de atrito entre o brinquedo e o chão.
- Qual deve ser a intensidade da força na corda, para que o brinquedo mova-se com velocidade constante? Não esqueça que a força normal aumenta quando a força na corda diminui.

7. (HRK E5.16) Uma casa é construída no topo de uma montanha inclinada em  $42^\circ$ . Sucessivas quedas de material na superfície da rampa indicam que o gradiente de inclinação deve ser reduzido. Se o coeficiente de atrito do solo com o solo é 0,55, qual deve ser o ângulo adicional  $\phi$  usado para modificar a inclinação da rampa?



8. Um carro com massa igual a 1000 kg usa pneus cujo coeficiente de atrito com a estrada é 0,8.

- Qual a força de frenagem máxima em uma estrada horizontal? Nesta situação, qual o tempo necessário para parar o carro inicialmente a  $72 \text{ km/h}$ ?
- Qual a força de frenagem máxima em uma rampa inclinada em  $30^\circ$ ? Nesta situação, qual o tempo necessário para parar o carro que inicia a descida da rampa a  $72 \text{ km/h}$ ?

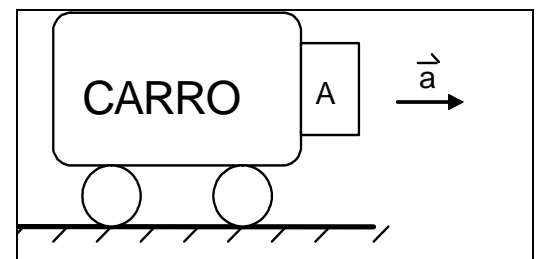
### Força de atrito em um corpo de um sistema de dois corpos

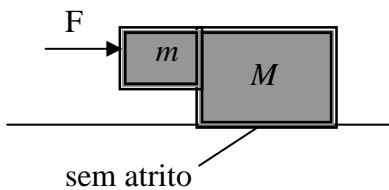
9. Uma força horizontal  $F$  empurra um bloco de peso  $P$  contra uma parede vertical. O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é  $\mu_e$  e o coeficiente de atrito cinético é  $\mu_c$ . Suponha que o bloco está inicialmente em repouso.

- Esboce o diagrama de corpo livre do bloco.
- Qual o menor valor da força  $F$  para que o bloco não se mova?
- Supondo  $F = 50 \text{ N}$ ,  $P = 20 \text{ N}$ ,  $\mu_e = 0,6$  e  $\mu_c = 0,4$ , determine o valor da força da parede sobre o bloco.
- Mesmo que no item anterior, mas com  $F = 30 \text{ N}$ .

10. O coeficiente de atrito entre o bloco A e o carro da figura ao lado é 0,6. O bloco tem 2 kg de massa.

- Esboce os diagramas de corpo livre do bloco e do carro e escreva as equações de movimento correspondentes.
- Determine a aceleração mínima  $a$  do carro e do bloco para que o bloco não caia.
- No caso do item b), qual o módulo da força de atrito?
- Sendo a aceleração maior que a mínima calculada no item b), a força de atrito será maior que a calculada no item c)? Explique.

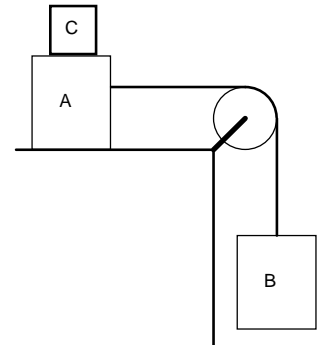




11. (HRK P5.9, modificado) Os dois blocos de massas  $m = 16 \text{ kg}$  e  $M = 88 \text{ kg}$  mostrados na figura ao lado estão livres para se mover. O coeficiente de atrito estático entre os blocos é  $\mu_e = 0,4$ , mas a superfície abaixo de  $M$  é lisa, sem atrito. Qual é a força mínima horizontal  $F$  necessária para segurar  $m$  contra  $M$ ?

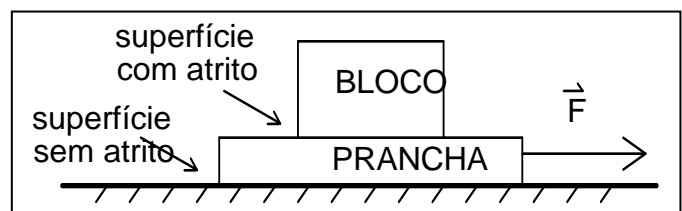
12. A figura abaixo representa dois blocos ligados por uma corda leve e inextensível. As massas de A e B são, respectivamente, 10 e 5 kg. O coeficiente de atrito entre A e a mesa é 0,2; não há atrito entre os blocos A e C nem entre o fio que liga os blocos e o guia fixo para o fio. Inicialmente o sistema está parado.

- Esboce os diagramas de corpo livre dos blocos e escreva as equações de movimento correspondentes.
- Determine o menor valor da massa de C que evite o movimento de B.
- Determine as acelerações dos blocos no caso de ser retirado o corpo C.
- Sabendo que B está a 0,5 m do chão, determine o tempo para que B atinja o chão após a retirada do corpo C, bem como sua velocidade no impacto com o chão.



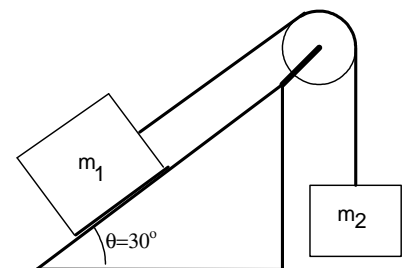
13. Um bloco de massa 4,0 kg está sobre uma prancha de 4,0 kg que pode deslizar sobre um assoalho sem atrito, conforme figura abaixo. O coeficiente de atrito entre o bloco e a prancha, tanto estático quanto cinético, é  $\mu = 0,40$ .

- Esboce os diagramas de corpo livre do bloco e da prancha e escreva as equações de movimento correspondentes.
- Qual é o valor máximo de  $F$  que pode atuar sobre a prancha de modo que o bloco não escorregue sobre a prancha?
- Sendo  $F$  igual a 36 N, determine a aceleração de cada objeto e a força de atrito que atua sobre cada objeto.
- Mesmo que no item c) acima, mas com  $F$  igual a 16 N.



14. Dois corpos de massas  $m_1 = 3,0 \text{ kg}$  e  $m_2 = 1,00 \text{ kg}$  estão ligados por uma corda leve e inextensível que passa por uma polia sem atrito, conforme a figura ao lado, havendo, porém, atrito entre o bloco e o plano inclinado. Use  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ , mas faça todas as contas com pelo menos dois algarismos e, se o resultado começar com 1 ou 2, retenha 3 algarismos.

- Esboce os diagramas de corpo livre dos blocos.
- Escolha sistemas de referência apropriados para cada um dos blocos. Escreva as equações de movimento para os blocos e a relação entre as acelerações dos blocos nos sistemas escolhidos.
- Considerando o sistema inicialmente em repouso, calcule a força de atrito (módulo, direção e sentido) necessária para que ele permaneça em repouso.



O coeficiente de atrito entre o plano e o bloco é  $\mu = 0,20$ , tanto estático quanto cinético.

- Calcule a força normal sobre o bloco 1 e verifique que o coeficiente de atrito dado é suficiente (por pouco, mas é) para manter o sistema em equilíbrio.
- Supondo que o bloco 1 recebesse um impulso inicial de 1,0 m/s para **cima** da rampa, qual a distância que ele percorreria até parar?
- Supondo que se desse um impulso inicial de 1,0 m/s para **baixo** da rampa no bloco 1, qual a distância que ele percorreria até parar? Não arredonde demais as contas intermediárias para não perder a solução!

### Força de atrito em sistemas de dois corpos

**15.** Um caminhão e seu reboque descem uma ladeira. O caminhão freia de modo a não derrapar, mas o reboque está com os pneus carecas e trava as rodas, derrapando, o que pode resultar numa força no engate. Para calculá-la, resolva os itens abaixo, considerando os seguintes dados: massa do caminhão,  $m_C = 15$  ton; massa do reboque,  $m_R = 10$  ton; inclinação da ladeira,  $\theta = 15^\circ$ ; coeficientes de atrito estático entre o caminhão e o chão  $\mu_e = 0,8$  e cinético entre o reboque e o chão  $\mu_c = 0,4$ .

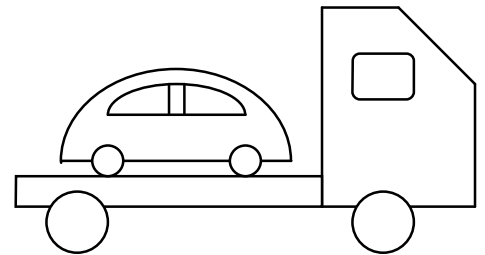
- Esboce os diagramas de corpo livre do caminhão e do reboque; não esqueça da força no engate.
- Escreva as equações de movimento do caminhão e do reboque, bem como as relações (de desigualdade) entre as forças de atrito e as normais no reboque e no caminhão.

Nos itens abaixo, chegue às fórmulas em função de  $m_C$ ,  $m_R$ ,  $\theta$ ,  $\mu_e$ ,  $\mu_c$  e  $g$  antes de substituir os valores numéricos dessas grandezas.

- Determine o valor da compressão no engate quando a força de atrito entre o caminhão e a pista é máxima.
- Determine o valor da compressão no engate quando o caminhão freia com aceleração de módulo  $2,0 \text{ m/s}^2$ , supondo que o reboque esteja derrapando.
- Calcule o módulo máximo da aceleração de frenagem quando a força no engate é nula. Use apenas a equação para o reboque.

**16.** Um caminhão transporta um carro na sua carroceria, como indica a figura ao lado. O caminhão desloca-se em linha reta com velocidade  $v$ . O coeficiente de atrito entre o carro e o caminhão é  $\mu$ .

- Faça o diagrama de corpo livre correspondente ao carro.
- Qual a máxima aceleração que pode ser impressa ao caminhão para que o carro não escorregue?
- Qual a máxima força de frenagem aplicada ao caminhão para que o carro não se choque com a cabine?
- Na condição do item c) acima, determine a distância percorrida pelo caminhão desde o início do frenagem até parar.



### Força de atrito no movimento circular

**17.** Um automóvel desloca-se sobre uma rodovia cuja superfície é horizontal a uma velocidade constante em módulo e igual a  $108 \text{ km/h}$ . O coeficiente de atrito entre os pneus e o piso da rodovia é  $\mu = 0,8$ .

- Determine a distância mínima de frenagem até a parada total, quando ele desloca-se em um trecho retilíneo.
- Determine o menor raio que uma curva pode ter para que um automóvel trafegue sem derrapar nas condições de velocidade e atrito do enunciado. Suponha que, no limite da derrapagem, a força de atrito tenha exatamente a direção radial.

**18.** (HRK P5.15) Uma pequena moeda é colocada sobre um prato giratório plano e horizontal. Observa-se que o prato executa exatamente três revoluções em  $3,3 \text{ s}$ .

- Esboce o diagrama de corpo livre da moeda.
- Qual a velocidade da moeda quando ela gira sem deslizar à distância de  $5,2 \text{ cm}$  do centro do prato?
- Qual é a aceleração (módulo e sentido) que age na moeda na parte (a)?
- Qual é a força de atrito que age na moeda na parte (a) se a moeda tem  $1,7 \text{ g}$  de massa?
- Qual é o coeficiente de atrito estático entre a moeda e o prato se a moeda desliza para fora quando está a mais de  $12 \text{ cm}$  do centro do prato?

**19.** Em uma estrada, uma curva compensada em forma de arco de circunferência de raio  $R$  é projetada para ser realizada a uma velocidade ideal  $v_i = 64$  km/h.

- Esboce o diagrama de corpo livre de um automóvel nessa curva compensada, isto é, é inclinada em um ângulo  $\theta$  com a horizontal de forma que a parte interna está mais baixa que a externa.
- Se  $R = 120$  m, qual o ângulo  $\theta$  correto de inclinação da estrada? Em outras palavras, determine o ângulo de inclinação da pista que permita realizar a curva mesmo sem atrito entre pneu e pista.
- Se a curva não for inclinada, qual seria o coeficiente de atrito mínimo entre os pneus e a estrada que evitaria a derrapagem de um veículo àquela velocidade?

**20.** (HRK E5.41) Uma curva inclinada de um trecho circular de uma rodovia é projetada para um tráfego que se move a 95 km/h. O raio da curva é 210 m. O tráfego está se movendo ao longo da rodovia a 52 km/h em um dia chuvoso.

- Esboce o diagrama de corpo livre de um veículo nessa curva compensada, supondo que não haja atrito, o que é a condição para a qual a curva foi projetada.
- Qual é o coeficiente de atrito mínimo entre os pneus e a estrada que permitirá que os carros façam a curva sem derrapar? *Refaça o diagrama de corpo livre, incluindo a força de atrito – cuidado na determinação do sentido dessa força.*
- Com este valor para o coeficiente de atrito, qual é a velocidade máxima que se pode atingir para fazer a curva sem derrapar? *Refaça o diagrama de corpo livre, incluindo a força de atrito, que neste caso mudou de sentido em relação à situação do item b).*

**21.** *Estudo da dependência da aceleração centrípeta com o raio de curvatura da trajetória.*

- Dois aeromodelos idênticos, com 2 kg de massa, realizam movimentos em um plano horizontal, circulares e uniformes, com velocidades de módulo igual a 10 m/s, ligados ao centro da circunferência por cabos de aço. O raio da trajetória de Alfa é 10 m e o de Beta, 15 m. Para qual dos modelos a força aplicada pelo cabo de aço é maior? Explique, usando o diagrama de corpo livre e a equação de movimento correspondente. Qual deles realiza uma volta completa em menor tempo? Explique e calcule o tempo necessário para esse aeromodelo dar uma volta completa.
- Duas borrachas de massa  $m$ , idênticas, foram colocadas sobre um disco de superfície uniforme, paralelo ao plano horizontal e rodando em torno do seu eixo. Uma borracha está à distância  $r$  do centro do disco e a outra, à distância  $2r$ . Em baixa rotação, as duas borrachas não escorregam em relação à superfície do disco, realizando movimentos circulares. O disco aumenta gradativa e lentamente sua velocidade angular, de maneira que a cada volta pode-se supor que o movimento do disco é circular e uniforme. Verifica-se que as borrachas escorregam, saindo dos lugares em que estavam, mas não simultaneamente. Qual das duas escorrega primeiro e porquê? Explique detalhadamente porque as duas não escorregam no mesmo instante.