As leis de Newton

E suas aplicações

Prof. Toni Burgatto

Aula 03

SUMÁRIO

Introdução

Nessa aula iniciaremos o estudo da Dinâmica da partícula. Estudaremos conceitos os Princípios da Dinâmica, os tipos de forças e como resolver questões envolvendo bloquinhos.

Este assunto é muito abordado na EsPCEx não apenas em questões propriamente ditas, mas de forma interdisciplinar. É muito importante ter os conceitos bem embasados, pois usaremos muito no decorrer do curso.

A EsPCEx gosta de cobrar aquela questão clássica envolvendo dinâmica de movimento circular e conservação da energia. Nós iremos trabalhar essa questão quando estivermos na aula de energia mecânica.

Além de fazer as questões da EsPCEx, não deixe de fazer as questões das outras instituições que construirão seu conhecimento.

Caso tenha alguma dúvida entre em contato conosco através do fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:

@proftoniburgatto

1. Os princípios da Dinâmica

No estudo da Cinemática nosso objetivo era descrever os tipos de movimentos, sem nos preocuparmos com os agentes causadores das mudanças no movimento. A partir de agora, estudaremos os movimentos com foco naquilo que os produzem ou modificam.

Basicamente, foi o italiano Galileu Galilei (1564-1642) personagem fundamental na revolução científica e quem fundou as bases da Dinâmica. Ele foi responsável pelos primeiros estudos do movimento uniformemente variado e do movimento do pêndulo simples.

Ele enunciou a lei dos corpos, enunciou o princípio da inércia e o conceito de referencial inercial. Mais tarde, o inglês Isaac Newton (1642-1727) formalizou as ideias introduzidas por Galileu e as publicou em sua obra principal obra *Philosophie Naturalis Principia Mathematica.*

O sucesso da Mecânica Newtoniana reinou por cerca de 200 anos. Somente no início do século XX surgiram novos ramos da Física: Mecânica Quântica e Mecânica Relativística. As leis propostas por Newton precisavam de alguns ajustes para corpos com velocidades muito altas, próximas a velocidade da luz dando início a Mecânica Relativística e para estudos de fenômenos atômicos necessitamos recorrer as leis da Mecânica Quântica.

1.1. Massa de um corpo

O conceito de massa vai muito além da medida de quantidade de matéria. Atualmente este conceito está “errado". A massa de um corpo é uma propriedade da energia nele contida (Baierlein, 1991). Essa definição não era ainda conhecido por Newton.

Por fins didáticos, diremos que a massa de um corpo é medida através da comparação desse corpo com corpos padrão, utilizando balanças de braços iguais como instrumento de medida.

Figura 1: Balança de braço iguais utilizada para comparar massas.

O quilograma padrão é um bloco pequeno composto de platina (90%) e irídio (10%) mantido no Instituto Internacional de Pesos e Medidas, em Sévres, próximo a Paris.

Na física muitas vezes aparece o submúltiplo grama (símbolo g) e o múltiplo tonelada (símbolo t), na qual estão relacionados da seguinte forma:

$$\begin{cases} 1\ g = \dfrac{1}{1000} kg = 10^{-3} kg \\ 1t = 1000\ kg = 10^{3} kg \end{cases}$$

No SI a unidade de massa é o quilograma (kg).

1.2. Conceito de força e força resultante

Para Newton, força é o agente causador de deformação. Ela é responsável pela variação de velocidade do corpo. Dado que velocidade e aceleração são grandezas vetoriais, quando falamos em variação da velocidade, essa alteração pode ser no módulo, na direção ou no sentido do vetor.

As forças podem ser **de contato**, como por exemplo quando empurramos um carro, ou **de ação a distância**, também chamada de **forças de campo**, como por exemplo a força com que uma carga elétrica exerce em outra a uma determinada distância.

Considere um objeto sendo puxado por duas cordas, em uma superfície sem atrito, numa mesa horizontal, onde podemos representar as forças da seguinte forma:

Figura 2: Representação de duas forças atuando em um corpo.

Se apenas existisse a $\vec{F}_1$o bloco estaria indo para a esquerda com uma aceleração $\vec{a}_1$. Por outro lado, se existisse apenas $\vec{F}_2$ o bloco seria puxado para a direita com uma aceleração $\vec{a}_2$. Entretanto, as forças atuam ao mesmo tempo no bloco, logo, a soma desses vetores determinará o vetor resultante e, portanto, a aceleração resultante. Na Figura 2, por construção, o vetor $|\vec{F}_2| > |\vec{F}_1|$, então, a resultante estará para a direita e a aceleração resultante do bloco também.

Note que se $|\vec{F}_2| = |\vec{F}_1|$, os vetores se anulariam, e o vetor resultante seria o vetor nulo. Assim, o bloco permaneceria sem aceleração.

Para o caso de n forças atuarem em um corpo, podemos determinar a força resultante pela soma vetorial:

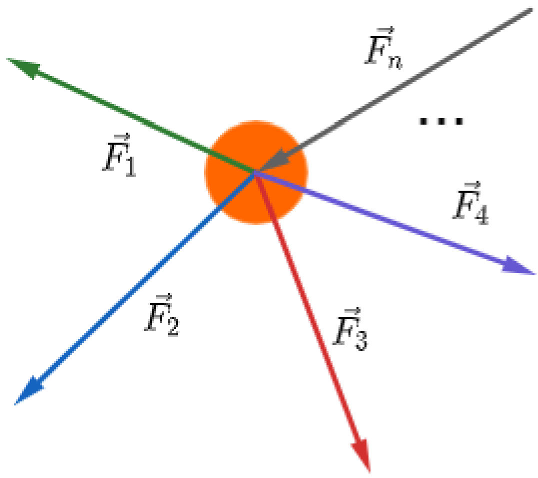


Figura 3: Força resultante é a soma vetorial das forças.

$$\boxed{\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \cdots + \vec{F}_n}$$

1.3. Equilíbrio de um ponto material

Um ponto material está em **equilíbrio em relação a um dado referencial**, quando a **resultante** das forças que agem nele é **nula**.

Existem dois tipos de equilíbrios para um ponto material: equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico.

1.3.1. Equilíbrio estático

Um ponto material está em equilíbrio estático em relação a um dado referencial quando se apresenta em repouso. Assim, se um corpo em equilíbrio estático apresenta velocidade constante e igual a zero, ou seja, $\vec{v} = constante = \vec{0}$.

Podemos imaginar um exemplo onde temos uma lâmpada pendurada no centro de uma sala. Se adotarmos um sistema de coordenadas com origem em um dos cantos da sala, temos que a posição da lâmpada segue invariável em relação a esse referencial, isto é, ele permanece em repouso com o decorrer do tempo ($\vec{v} = \vec{0}$). Portanto, podemos dizer que a resultante das forças que agem nele é nula e que constitui um equilíbrio estático.

Além disso, definimos o equilíbrio estático em outras três categorias:

a) **equilíbrio estável**: a tendência do ponto material é voltar à posição inicial. Por exemplo, uma bola solta dentro de uma cuba esférica:

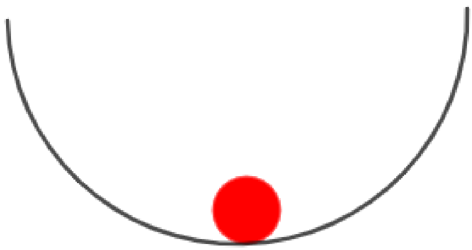


Figura 4: Exemplo de conjunto em equilíbrio estável.

b) **equilíbrio instável**: a tendência do ponto material é afastar-se ainda mais da posição inicial. Por exemplo, uma bola solta do lado de fora de uma cuba esférica:

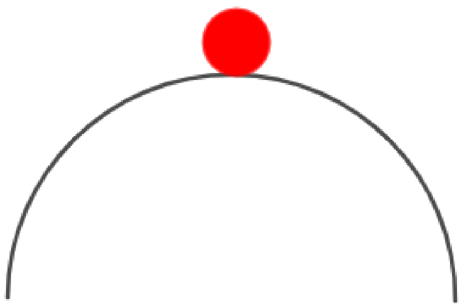


Figura 5: Exemplo de conjunto em equilíbrio instável.

c) **equilíbrio indiferente**: o ponto material permanece em equilíbrio na próxima posição. Por exemplo, uma bola solta em uma superfície reta horizontal:

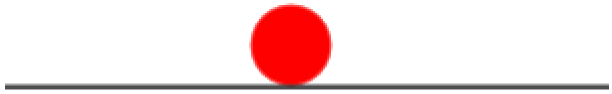


Figura 6: Exemplo de conjunto em equilíbrio indiferente.

1.3.2. Equilíbrio dinâmico

Um ponto material está em equilíbrio dinâmico em relação a um dado referencial inercial quando ele está em um movimento retilíneo e uniforme (MRU).

Nesse caso, temos que a velocidade é constante e diferente de zero ($\vec{v} = constante \neq \vec{0}$).

Para ilustrar essa situação, vamos analisar o movimento de um objeto deslizando sobre uma mesa de madeira. Sabemos que devida a superfície da mesa possuir certas imperfeições existem forças resistivas atuando no corpo. Por isso, existem forças contrárias atrapalhando o movimento até o momento em que o corpo para.

Entretanto, podemos repetir o mesmo experimento em uma mesa de gelo, suposta perfeitamente lisa, onde não existiria nenhuma força resistente. Assim, não existiria força contrária ao movimento e a velocidade do móvel permaneceria invariável ao longo do tempo, realizando um MRU.

Outro exemplo onde podemos aplicar esse conceito é o lançamento de um foguete. Inicialmente, gasta-se muito combustível para manter o movimento acelerado do foguete para que ele possa vencer a atração gravitacional da Terra.

Após esta fase inicial, quando o foguete está no espaço as forças gravitacionais são quase desprezíveis e o corpo passa a estar livre da ação de forças. Nesse momento, desliga-se os motores propulsores e móvel passa a descrever um MRU.

1.4. Conceito de Inércia

Inicialmente, dizemos que **inércia** é a resistência que os corpos oferecem às mudanças da velocidade vetorial ($\vec{v}$: trata-se de um vetor, por isso, temos sempre que analisar módulo, direção e sentido).

Em outras palavras, dizemos que um corpo em repouso tende a permanecer em repouso, ou ainda, um corpo em MRU tende a continuar em MRU, por inércia.

Um caso clássico da aplicação da inércia é o passageiro em pé no corredor do ônibus. Imagine um ônibus viajando a 50 km/h em uma avenida. O passageiro no corredor também está com essa velocidade no mesmo sentido do ônibus. Entretanto, ao fechar o semáforo, o motorista do ônibus pisa nos freios e impõe uma força contrária ao movimento no móvel e este começa a frear.

Pelo conceito de inércia, o passageiro tende a continuar com sua velocidade de 50 km/h para frente e, por isso, sente-se lançado para a frente, sendo obrigado a vencer essa inércia aplicando uma força contrária ao se apoiar em alguma parte do ônibus.

Somente com aplicação de uma força pode-se vencer a tendência de inércia,

O mesmo efeito ocorre quando o semáforo fica verde e o ônibus começa a aumentar sua velocidade. Nesse momento, nosso corpo, que estava parado, sente-se atirado para trás, pois, pelo conceito de inércia nosso corpo tenderia a ficar em repouso.

1.5. A 1ª Lei de Newton – Princípio da Inércia

A primeira Lei de Newton pode ser enunciada de duas formas:

Se a resultante das forças em uma partícula é nula, então ele permanece em repouso ou em MRU, pelo princípio da inércia.

Ou ainda:

Uma partícula livre da ação da resultante das forças externas é incapaz de alterar sua própria velocidade vetorial.

Para melhor compreender a primeira lei, vamos utilizar dois exemplos. O primeiro trata-se de um carrinho sobre uma pista de gelo. Se consideramos que não existe atrito entre os pneus e a pista de gelo, então, quando ligamos o carrinho, o móvel fica patinando e não sai do lugar pois não existe força resultante na direção do movimento capaz de alterar sua velocidade que era nula.

Agora, imagine que o carrinho chegue à pista de gelo com uma velocidade $\vec{v} = contante \neq \vec{0}$. Ao tentar qualquer alteração na velocidade do móvel, o motorista não terá êxito, pois não existe atrito entre os pneus e a superfície, então, não há forças atuando na direção do movimento, isto é, a resultante das forças nessa direção é nula. Logo, o móvel descreverá um MRU.

Para analisar a primeira lei pelo segundo enunciado, vamos utilizar o exemplo de um bloco girando em cima de uma mesa perfeitamente lisa, num plano horizontal.

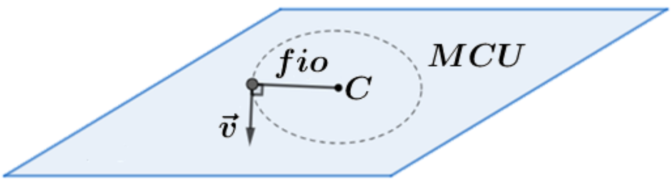


Figura 7: Bloco realizando um MCU. Existe força resultante no fio.

Para essa situação, o módulo da velocidade é constante, característica do MCU, mas a velocidade está sendo alterada a cada instante de direção. Então, quem altera a velocidade vetorial da partícula? A resposta é simples: uma força externa aplicada ao fio garante o MCU da partícula. O que acontece se o fio se romper? Nesse caso, não existiria nenhuma força atuando na partícula no plano horizontal, logo, a resultante seria nula e a partícula descreveria um MRU na linha da reta tangente:

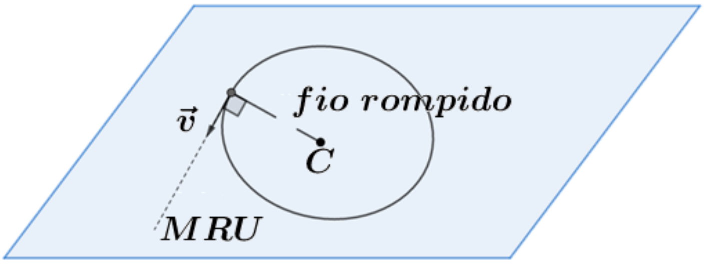


Figura 8: Após romper o fio, por inércia, o bloco realizará um MRU.

Este exemplo mostra claramente que para alterar a velocidade vetorial de um ponto material é necessária ter a resultante das forças não nula.

1.6. A 2ª Lei de Newton – O Princípio Fundamental da Dinâmica

A segunda lei anunciada por Newton possui um enunciado muito mais complexo, não sendo didático apresentá-la agora. No capítulo de quantidade de movimento e impulso, enunciaremos novamente a segunda lei segundo Newton. Nesse momento, apresentaremos de forma mais simplificada.

De uma forma geral, a segunda lei diz que se a resultante das forças que atua em um corpo for diferente de zero, então a partícula adquire uma aceleração proporcional a essa força resultante.

A segunda lei pode ser expressa matematicamente por:

$$\boxed{\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}}$$

Essa lei também é conhecida como Lei Fundamental da Dinâmica ou Princípio fundamental da Dinâmica.

Dado que massa é uma grandeza escalar positiva, podemos concluir que $\vec{F}_R$ e $\vec{a}$ sempre possuem a mesma direção e o mesmo sentido. Se $\vec{F}_R$ for nula, então $\vec{a}$ também é nula e recaímos na primeira lei.

No SI, a unidade de força é o *newton* (N). Ela é definida a partir da segunda lei:

Um newton é a intensidade de força aplicada a um ponto material de massa 1,0 kg que produz uma aceleração de módulo igual a 1m/s².

Pela segunda lei, temos que:

$$\boxed{F_R = m \cdot a \Rightarrow F_R = (1\ kg) \cdot (1 m/s^2)\ = 1N}$$

Ou seja:

$$\boxed{1N = 1kg \cdot m/s^2}$$

1.7. O Peso $\vec{P}$

É conhecimento de todos que quando soltamos um objeto próximo a superfície da Terra, este cai em direção ao solo. Tal fato é explicado pela teoria da Gravitação de Newton. Veremos esse capítulo mais a frente e detalharemos muito mais o que é a força peso.

Por agora, apenas diremos que a **força peso** de um corpo é a **força de atração gravitacional** que a Terra exerce sobre ele.

Pela definição, a força gravitacional comunica uma aceleração denominada aceleração da gravidade ($\vec{g}$) que denota o vetor que representa o campo gravitacional. Este vetor $\vec{g}$ é orientado de modo igual ao peso, ou seja, é radial e orientado para o centro da Terra.

Como veremos futuramente, a aceleração da gravidade diminui à medida que nos afastamos do centro da Terra, radialmente, mostrando que $|\vec{g}|$ varia com a altitude. Além disso, experimentalmente sabe-se que $|\vec{g}|$ aumenta quando vamos do equador para os polos. Em outras palavras, o módulo do campo gravitacional varia com a latitude.

Todo o detalhamento da força peso e campo gravitacional será feito no capítulo de Gravitação.

Por intermédio de experimentos, pode-se verificar que, ao nível do mar e num local de latitude de 45°, $|\vec{g}|$ (normal) é:

$$|\vec{g}_N| = g_N = 9{,}80665\ m/s^2$$

Experimentalmente, abandona-se um corpo de certa altura, em um lugar sem resistência do ar e de modo que a única força atuando no corpo seja a força de atração gravitacional, observa-se que a aceleração do corpo não depende da massa nem do tamanho nem do formato do corpo. Pela 2ª lei de Newton, temos que:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Como nesse caso a força resultante é a força peso e a aceleração é a da gravidade, podemos escrever que:

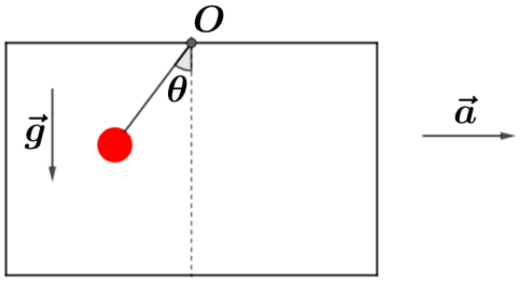
$$\boxed{\vec{P} = m \cdot \vec{g}}$$

Futuramente, vamos ampliar nossos conceitos de peso e definir o peso de um corpo em relação a um planeta (ou satélite) como a força de atração exercida pelo planeta sobre o corpo. De imediato, notamos que a aceleração da gravidade ($\vec{g}$) depende do planeta. Apenas é uma característica do corpo.

Para os nossos problemas, consideramos que os movimentos ocorrem próximo a superfície da Terra e que aceleração da gravidade terá a mesma direção e sempre o sentido para baixo.

1)

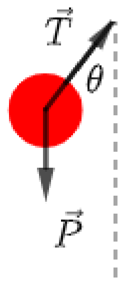
Um vagão de trem está se locomovendo para a direita em um movimento retilíneo e um pêndulo de massa m é preso ao teto do vagão, formando um ângulo θ com a vertical.



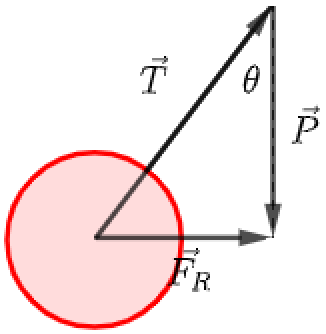
Supondo conhecidos θ, a gravidade local g e a massa m do pêndulo, determine o módulo da aceleração do trem.

Comentários:

Se isolarmos a esfera pendular e representarmos o diagrama de forças que agem na esfera, para um dado referencial inercial (aquele que vale o princípio da inércia) por:



Fazendo a soma vetorial, temos:



Fechado o triângulo das forças, podemos escrever uma relação entre o módulo da força peso e o módulo da força resultante:

$$tg\theta = \frac{F_R}{P}$$

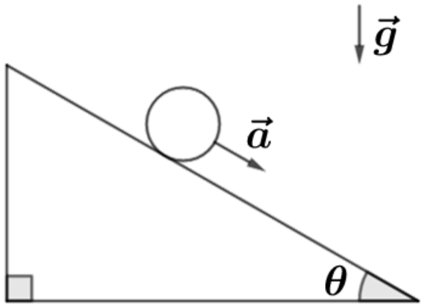
$$tg\theta = \frac{m \cdot a}{m \cdot g}$$

$$\therefore \boxed{a = g \cdot tg\theta}$$

Note que a aceleração do veículo não depende da massa do pêndulo. Como a gravidade é suposta constante no local e conhecida, a aceleração é função apenas do ângulo de inclinação da esfera com a linha vertical.

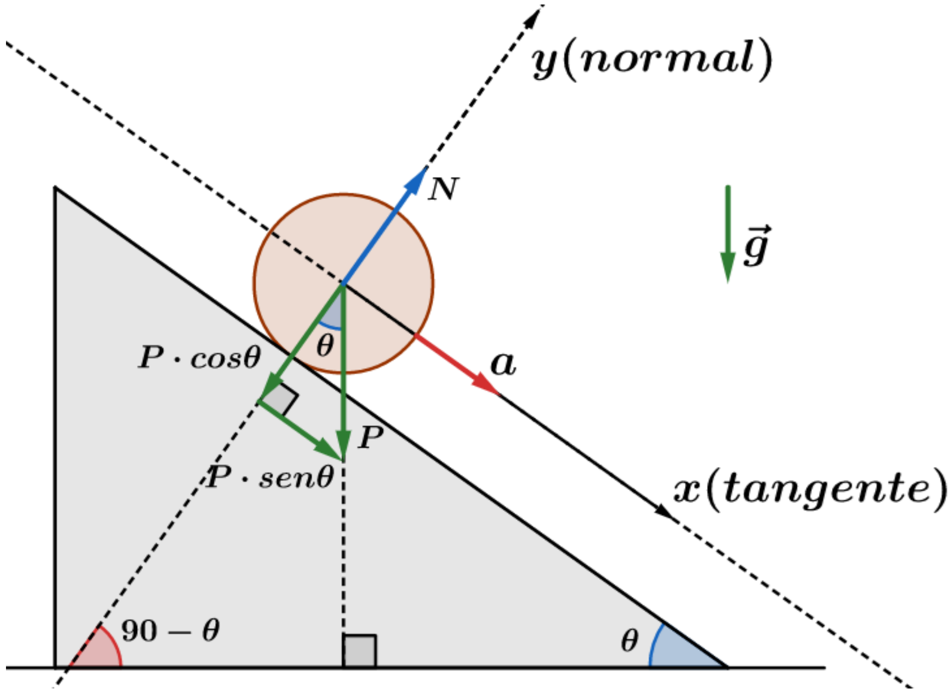
2)

Uma partícula de massa m é solta em um plano inclinado fixo, onde desce em movimento acelerado. O ângulo de inclinação do plano com a horizontal vale θ. Desprezando os atritos e a resistência do ar, determine o módulo da aceleração na direção do movimento.



Comentários:

Vamos considerar os eixos do sistema na direção do movimento da partícula e na direção normal. A partir disso, vamos decompor nossas forças e aplicar a 2ª lei em cada componente:



Na direção y:

$$Pcos\theta - N = m.a_y$$

$$\boxed{N = Pcos\theta}$$

Na direção x:

$$F_R = Psen\theta$$

$$m \cdot a = m \cdot gsen\theta$$

$$\boxed{a = g \cdot sen\theta}$$

Notamos que a aceleração na direção do movimento independe da massa do corpo.

PRESTE MAIS ATENÇÃO!

1.8. A 3ª Lei de Newton – O princípio da Ação e da Reação

Na terceira lei, nosso objetivo é analisar o sentido da força em cada corpo que compõe o sistema.

Considere um homem empurrando um caixote com uma força $\vec{F}_{HC}$, que vamos chamar de **força de ação**.

Figura 9: Homem empurrando caixote para a direita.

Por outro lado, o caixote exerce alguma força sobre o homem? A resposta é sim. O caixote aplica ao homem uma força de mesmo módulo e sentido contrário e a chamamos de **força de reação**. Dizemos que:

$$\boxed{\vec{F}_{HC} = -\vec{F}_{CH}}$$

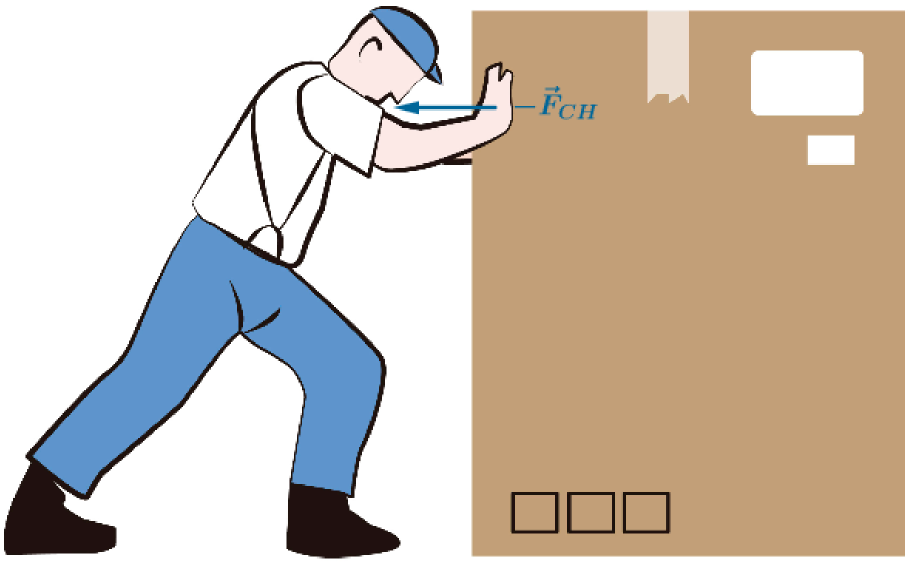


Figura 10: Reação do caixote aplicada no homem.

Note que as forças de ação e de reação estão em corpos diferentes. O homem aplica uma força ao caixote, essa forma está no caixote. Da mesma forma, o caixote aplica uma força no homem e essa força está no homem.

Dessa forma, podemos enunciar o Princípio da Ação e da Reação como:

*Para toda força de **ação** existe uma força de **reação** correspondente, de modo que essas forças possuem **o mesmo módulo**, **a mesma direção** e **os sentidos contrários**, estando aplicadas em **corpos diferentes**.*

Devido ao fato de estarem aplicadas em corpos diferentes, os pares ação e reação nunca se anulam mutuamente. Para Newton a reação era instantânea, mas hoje sabemos que a informação viaja à velocidade da luz, como exemplo, se o sol "sumir" momentaneamente, demoraria o tempo que a luz leva para percorrer a distância Sol-Terra para a Terra sair pela tangente, mostrando que não seria instantaneamente como pensava Newton.

Exemplos de aplicação da 3ª Lei:

1) **Força peso**: se nas proximidades da Terra um corpo sofre uma força de atração $\vec{P}$, pela terceira lei dizemos que a Terra também é atraída pelo corpo.

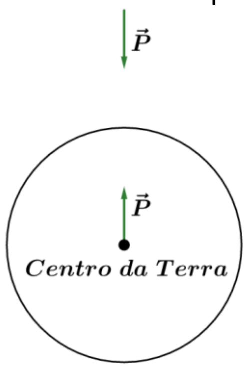


Figura 11: Par Ação e Reação da força peso.

Note que as forças possuem o mesmo módulo. Entretanto, a massa da Terra é muito maior que a massa dos corpos que analisaremos nos nossos problemas, por isso, a aceleração da Terra será desprezível em relação à do corpo.

2) **Movimento de um pedestre**: quando um pedestre caminha para frente, ele está empurrando o chão para trás (ação) por intermédio do atrito. Pela 3ª lei, o chão empurra o pedestre para frente (reação), resultando no movimento da pessoa**.**

Figura 12: Força de atrito responsável pelo movimento de uma pessoa para frente.

3) **Objeto sobre uma mesa:** quando colocamos um objeto sobre uma mesa, podemos decompor a força que age em cada corpo da seguinte forma:

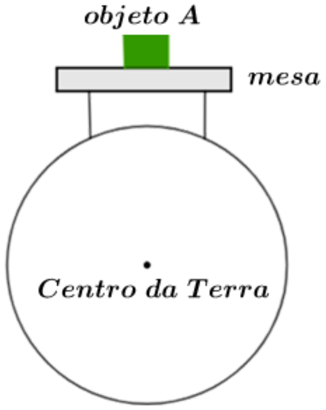


Figura 13: Objeto sobre uma mesa. A figura está fora de escala, apenas para dar ideia da representação das forças.

Inicialmente, notamos que existe uma força peso sobre o objeto e a reação desta força está próximo ao centro da Terra.

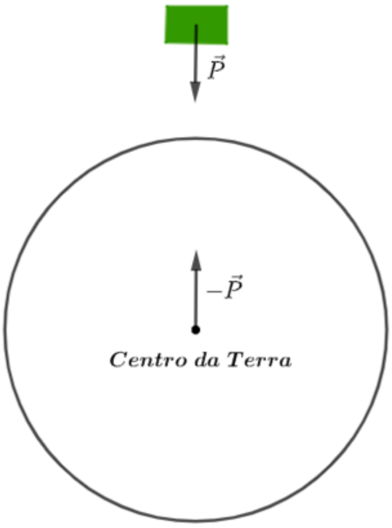


Figura 14: Par Ação e Reação do bloco sobre a mesa.

O bloco empurra a mesa fazendo uma força $\vec{N}_{AM}$ e a reação desta força é $\vec{N}_{MA}$ que está aplicada ao objeto.

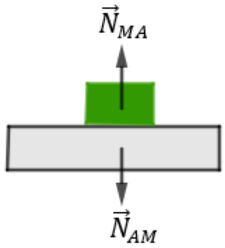
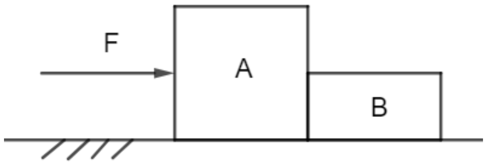


Figura 15: Diagrama de forças de contato entre o bloco e a mesa.

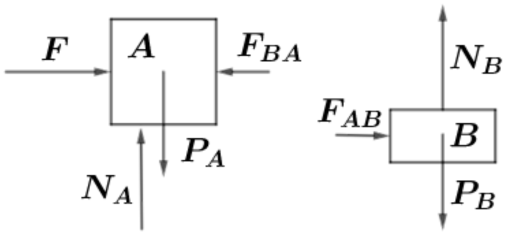
3)

Dois blocos possuem massa $2m$ e m e é aplicada uma força F, conforme figura abaixo. Determine o módulo da força de contato entre os blocos. Despreze os atritos.

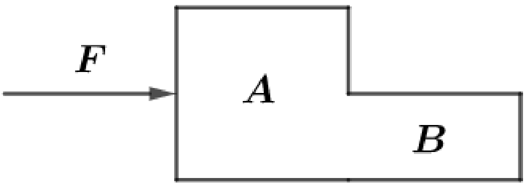


Comentários:

Diagrama de forças para cada um dos blocos:



Dado que o conjunto bloco A + bloco B andam juntos, podemos determinar a aceleração do sistema, para força $\vec{F}$ aplicada:



$$F = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$F = (2m + m) \cdot a$$

$$\boxed{a = \frac{F}{3m}}$$

Conhecendo a aceleração, podemos aplicar a 2ª na direção do movimento para cada bloco:

Bloco A:

$$F - F_{BA} = m_A \cdot a$$

$$F - F_{BA} = 2m \cdot \frac{F}{3m}$$

$$\boxed{F_{BA} = \frac{F}{3}}$$

Bloco B:

$$F_{AB} = m_B \cdot a$$

$$F_{AB} = m \cdot \frac{F}{3m}$$

$$\boxed{F_{AB} = \frac{F}{3}}$$

Note que o módulo da força que A aplica em B ($\vec{F}_{AB}$) é igual ao módulo da força que B aplica em A ($\vec{F}_{BA}$). Resultado esperado, pois, eles constituem um par ação e reação, conforme a 3ª lei.

1.9. Forças em fios

Em muitos aparatos físicos, a utilização de cordas e de fios são essenciais para a realização de determinada tarefa. Vamos estudar a influência dos fios no caso da figura abaixo:

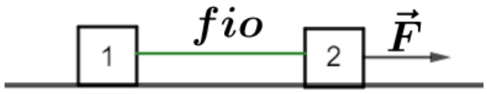


Figura 16: Representação de dois blocos ligados por um fio.

Vamos desconsiderar o atrito entre os blocos e a superfície. Dizemos que o bloco 1 tem massa m_1, bloco 2 tem massa m_2 e o fio massa tem m_{fio}. Nesse conjunto blocos e fio, aplicamos uma força $\vec{F}$ constante para a direita.

Dessa forma, pela segunda lei de Newton para o sistema como um todo, podemos escrever que:

$$\boxed{F = (m_1 + m_2 + m_{fio}) \cdot a}$$

A partir dessa equação podemos determinar o valor da aceleração do conjunto.

Porém, podemos analisar as forças que atuam em cada um dos blocos, pelo seguinte diagrama de forças:

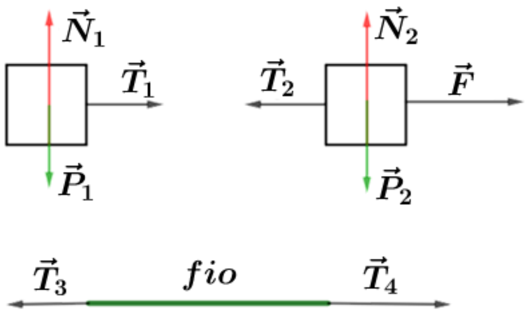


Figura 17: Diagrama de forças para o sistema estudado.

Na direção vertical não existe movimento, então temos que, em módulo:

$$\boxed{N_1 = P_1 \; e \; N_2 = P_2}$$

Na direção horizontal, podemos escrever a 2ª lei de Newton para cada bloco:

- Bloco 1: o bloco tem a mesma aceleração que o sistema.

$$T_1 = F_{r1}$$

$$T_1 = m_1 \cdot a \quad \text{(I)}$$

- Bloco 2: o bloco também tem a mesma aceleração que o sistema.

$$F - T_2 = m_2 \cdot a \ \ \text{(II)}$$

- Para o fio: a aceleração é a mesma que o sistema também.

$$T_4 - T_3 = m_{fio} \cdot a \ \ \text{(III)}$$

Por Ação e Reação, podemos afirmar que $\vec{T}_1 = -\vec{T}_3$ e $\vec{T}_4 = -\vec{T}_2$.

Dizemos que um fio é ideal quando sua massa é desprezível, isto é, $m_{fio} \cong 0$.

Dessa forma, temos que:

$$T_4 - T_3 \cong 0 \cdot a$$
$$T_4 \cong T_3$$

Mas, como $\vec{T}_1 = -\vec{T}_3$ e $\vec{T}_4 = -\vec{T}_2$, concluímos que, em módulo:

$$\boxed{T_1 = T_2 = T}$$

Portanto, quando estamos trabalhando com um fio ideal a tração ao longo do fio é a mesma.

Podemos reescrever nosso diagrama de forças da seguinte forma:

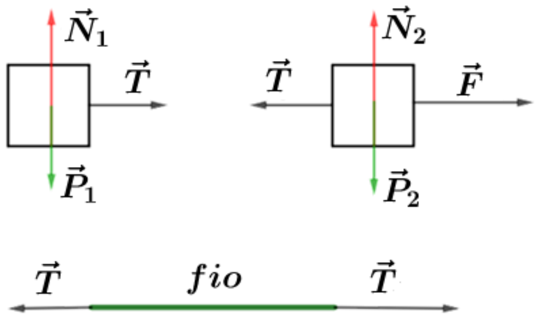


Figura 18. Diagrama de forças para o conjunto estudado, considerando a massa do fio nula.

Dessa forma, podemos determinar o módulo da tração T no fio em função da força aplicada:

$$T_1 = m_1 \cdot a$$
$$T = m_1 \cdot \frac{F}{m_1 + m_2}$$
$$\boxed{T = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot F}$$

Nota:

Em muitos livros, autores utilizam a palavra tensão como sinônimo de tração. Não faremos isso aqui, pois a palavra tensão tem outra definição para nós no estudo das deformações.

Observação: Caso a massa do fio não for desprezível, não podemos considerar o fio na horizontal como propomos no início. O fio deve ter uma certa curvatura:

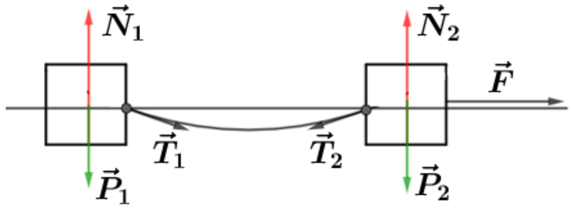
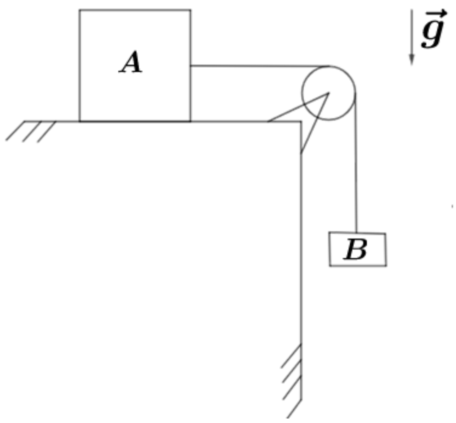


Figura 19: Diagrama de forças quando a massa do fio não é nula.

4)

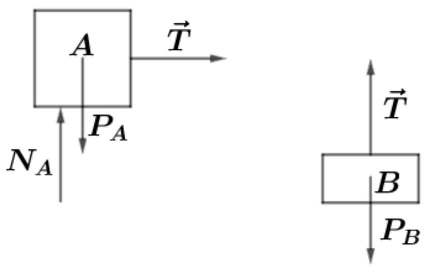
Na montagem abaixo, o fio que liga os blocos A e B é inextensível e sua massa é desprezível. A polia gira sem atrito e seu momento de inércia é desprezível. Os blocos possuem massas m_A e m_B e não existe atrito entre A e a superfície. Em um dado instante, o sistema é abandonado à ação da gravidade.



Determine a aceleração do sistema e a tração no fio.

Comentários:

Inicialmente, vamos desenhar o diagrama de forças em cada bloco:



Aplicando o Princípio Fundamental da Dinâmica a cada um dos blocos, temos:

Bloco A:

$$N_A - P_A = m_A \cdot a_y$$

Mas neste bloco apenas existe movimento na horizontal:

$$a_{Ay} = 0$$

$$\therefore N_A = P_A$$

Na direção horizontal:

$$T = m_A \cdot a_{Ax} \text{ (i)}$$

Bloco B:

Só existe movimento na vertical e dado que o fio é inextensível, o deslocamento sofrido pelo bloco A na horizontal é o mesmo sofrido por B na vertical. Assim, os blocos terão os mesmos deslocamentos nos respectivos intervalos de tempo, ou seja, eles terão a mesma velocidade.

Pensando analogamente para as variações de velocidade, vemos que eles têm as mesmas acelerações também:

$$\Delta s_{Ax} = \Delta s_{By} \Rightarrow v_{Ax} = v_{B_y} \Rightarrow a_{Ax} = a_{By} = a \text{ (ii)}$$

Assim, podemos escrever a 2ª lei para o bloco B:

$$P_B - T = m_B \cdot a \text{ (iii)}$$

A partir das equações, temos o sistema:

$$\begin{cases} T = m_A \cdot a \\ P_B - T = m_B \cdot a \end{cases} \Rightarrow P_B = (m_A + m_B)$$

$$\boxed{a = \frac{m_B}{m_A + m_B} \cdot g}$$

Logo, pela equação (i), temos que a tração é:

$$T = m_A \cdot a$$

$$\boxed{T = \frac{m_A \cdot m_B}{m_A + m_B} \cdot a}$$

1.10. Referenciais Inerciais

De acordo com o Princípio da Inércia, se não há força resultante atuando sobre uma partícula, esta deve ter **velocidade vetorial constante**.

Quando estudamos cinemática, definimos o que é referencial e vimos como os movimentos dependem de qual referencial estamos adotando. Dessa forma, devemos nos perguntar: Qual sistema de referência deve ser adotado para usarmos as leis de Newton? Essa é uma resposta não tão simples de resolver.

Vamos relembrar da cinemática que podemos escrever um vetor a partir de outro, isto é, podemos fazer uma mudança de referencial da seguinte forma:

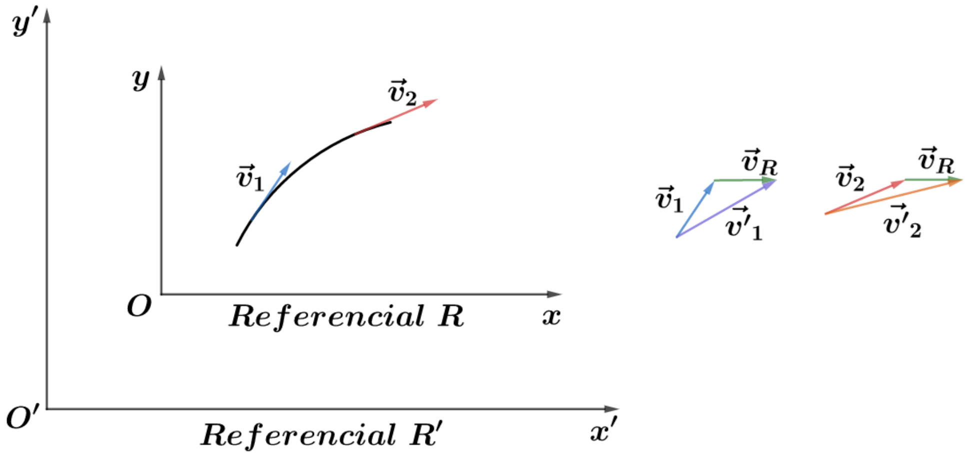


Figura 20: Representação de dois referenciais no R². Note que a velocidade depende do referencial adotado.

Para os instantes t_1 e t_2, podemos escrever as velocidades para cada referencial e calcular a aceleração média em cada um:

$$\vec{v}_1' = \vec{v}_1 + \vec{v}_R \text{ e } \vec{v}_2' = \vec{v}_2 + \vec{v}_R$$

- Referencial R:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

- Referencial R':

$$\vec{a}'_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2' - \vec{v}_1'}{t_2 - t_1} = \frac{(\vec{v}_2 + \vec{v}_R) - (\vec{v}_1 + \vec{v}_R)}{t_2 - t_1} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \vec{a}_m$$

$$\therefore \boxed{\vec{a}_m = \vec{a}'_m}$$

A esse resultado pode-se aplicar o limite da aceleração média para um intervalo de tempo tendendo a zero e determinarmos a mesma relação para as acelerações instantâneas, isto é:

$$\boxed{\vec{a} = \vec{a}'}$$

A partir desse resultado, podemos notar que embora as velocidades sejam diferentes ($\vec{v}_1' \neq \vec{v}_1$ e $\vec{v}_2' \neq \vec{v}_2$) para cada referencial, a aceleração é rigorosamente ($\vec{a} = \vec{a}'$) desde que o referencial tenha velocidade vetorial constante ($\vec{v}_R = constante$).

Assim, podemos aplicar a segunda lei para estes referenciais sem violar a primeira lei. Para referenciais com essa característica chamamos de Referenciais Inerciais.

Afinal, como encontrar esses referenciais? Usualmente, adota-se como inercial um sistema de referências que está em repouso em relação as estrelas fixas (bem distantes) e, dessa forma, terá um referencial inercial qualquer outro referencial que se mova em relação a ele quando descrever um MRU.

Diante disso, concluímos que a Terra não é um referencial inercial, já que possui movimento de rotação e movimento de translação circular em torno do Sol. Contudo, para a maioria das nossas aplicações, podemos considerar a Terra próximo de um referencial inercial.

1.11. Elevadores acelerados

Imagine uma pessoa no interior de um elevador subindo com aceleração constante de módulo a.

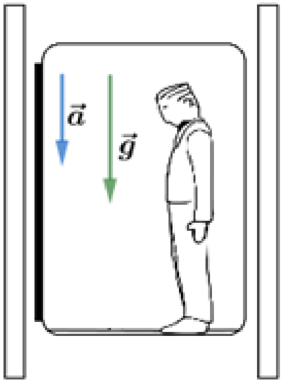


Figura 21: Uso de gravidade aparente para resolução de problemas no elevador acelerado.

Podemos decompor fazer o diagrama de forças que atua na pessoa e escrever a segunda lei de Newton para ela.

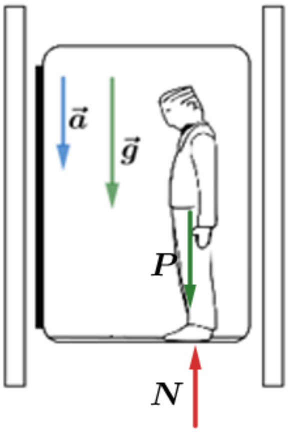


Figura 22: Diagrama de forças para uma pessoa em um elevador acelerado para baixo.

$$P - N = m \cdot a$$

$$m \cdot g - N = m \cdot a$$

$$N = m \cdot (g - a)$$

Assim, se colocássemos uma balança no piso do elevador, quando ele está descendo com aceleração a, a normal que ele exerce sobre o piso (ou sobre os pratos da balança, caso colocássemos uma ali) seria menor que aquela caso o elevador estivesse em MRU ou em repouso ($a = 0$).

Sempre que formos trabalhar com problemas envolvendo elevadores, devemos escrever as forças que agem nos corpos e escrever a segunda lei de Newton para a situação proposta em questão. Não se apegue ao resultado pronto.

1.12. Tópico especial: vínculos geométricos

Chamamos de vínculo geométrico toda restrição física imposta pelo sistema dinâmico estudado. Pode-se criar um vínculo geométrico usando fios, corpo extenso e molas.

Devido às restrições físicas, a cinemática dos corpos fica interligada pelo vínculo estabelecido na ligação entre os corpos.

Vamos estudar agora alguns casos comuns nos exercícios dos nossos vestibulares.

1.12.1. Polias fixas com fios inextensíveis

Nesse caso, temos que o tamanho do fio permanece o mesmo. Além disso, devemos tomar um referencial fixo para tomar as posições dos blocos.

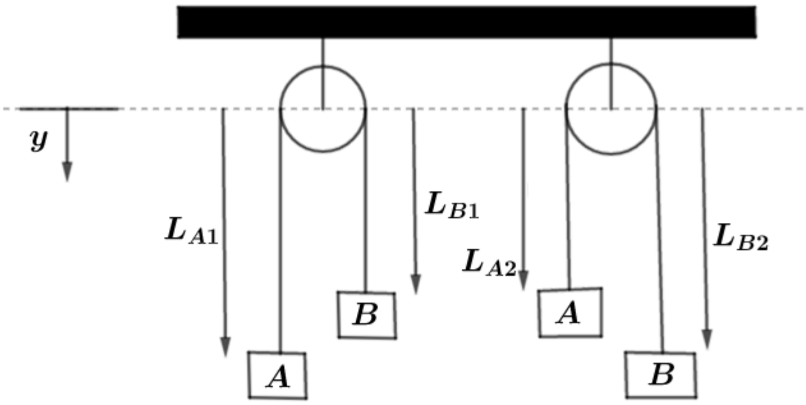


Figura 23: Exemplo de aplicação de vínculos geométricos em polias fixas.

Dessa forma, devido ao fato de o fio ser inextensível, podemos escrever que:

$$L_{fio} = L_{A1} + L_{B1} + \pi R = L_{A2} + L_{B2} + \pi R$$

$$(L_{A2} - L_{A1}) + (L_{B2} - L_{B1}) = 0$$

Se tomarmos esses dois momentos no instante de tempo t e $t + \Delta t$, então:

$$\boxed{\Delta L_A + \Delta L_B = 0}$$

Se essa relação é válida para os deslocamentos dos fios, então as velocidades de cada trecho do fio também irão seguir essa formação, isto é:

$$\boxed{v_A + v_B = 0}$$

O mesmo raciocínio se repete para as velocidades e, assim, temos as relações entre as acelerações de cada parte do fio:

$$\boxed{a_A + a_B = 0}$$

Portanto, os módulos das acelerações são iguais, mas os sentidos são contrários.

$$\boxed{|a_A| = |a_B|}$$

Isto é apenas um processo matemático. A partir de agora, vamos apenas escrever a equação que rege os deslocamentos dos corpos e, consequentemente, saberemos a relação entre as acelerações.

$$L_A + L_B = 0$$
$$\downarrow$$
$$v_A + v_B = 0$$

$$\downarrow$$

$$a_A + a_B = 0$$

Nota: os rigores do Cálculo Diferencial não é o foco do nosso curso, ele saberá abordado no seu primeiro ano com todo fundamento.

1.12.2. Polias móveis com fios inextensíveis

Vamos tomar um caso em que temos uma polia móvel e aplicar os conceitos vistos aqui:

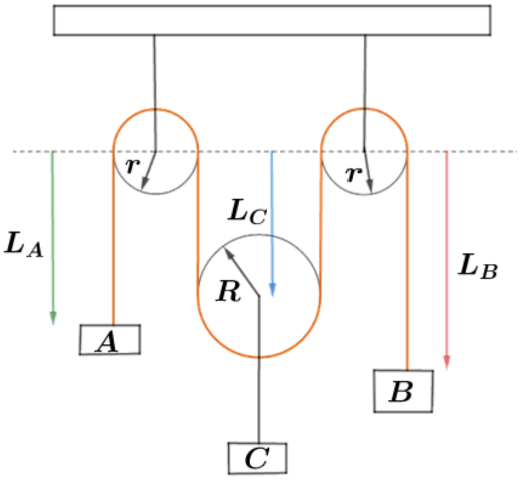


Figura 24: Exemplo de aplicação de vínculos geométricos em polia móvel.

O comprimento do fio é dado por:

$$L_{fio} = L_A + \pi \cdot r + L_C + \pi \cdot R + L_C + \pi \cdot r + L_B$$

$$\boxed{L_{fio} = L_A + 2L_C + L_B + 2\pi \cdot r + \pi \cdot R}$$

Para as velocidades teremos a seguinte lei de formação:

$$\boxed{v_A + 2v_C + v_B = 0}$$

Novamente, para as acelerações, temos que:

$$\boxed{a_A + 2a_C + a_B = 0}$$

Os sinais devem ser tomados de acordo com a tendência dos movimentos determinada quando escrevemos a 2ª lei para cada bloco. Não importa o sentido que você tomou para o corpo, se a aceleração der um valor negativo, significa apenas que sua convenção de sentido está trocada.

2. Força elástica

2.1. Lei de Hooke

Em 1676, o físico inglês Robert Hooke estudando a deformação em molas notou que a deformação obedece a uma lei muito simples, quando a mola é deformada ainda na região elástica.

Segundo Hooke:

"As forças deformantes são proporcionais às deformações elásticas produzidas".

Considere uma mola de comprimento natural L_0, isto é, nesse comprimento a mola está completamente relaxada, sem sofrer nenhuma deformação. Se for aplicada uma força $\vec{F}$, temos a seguinte configuração de forças:

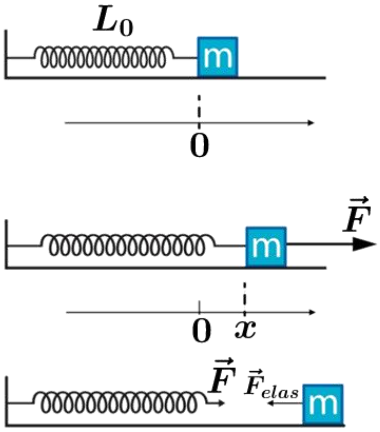


Figura 25: Mola distendida por uma força e o diagrama de forças no bloco.

Pela construção do sistema, definimos que a diferença de comprimentos é dada por:

$$\boxed{x = L - L_0}$$

Essa diferença é chamada de deformação da mola. Se x não for muito grande, isto é, L não muito maior que L_0, dizemos que a mola está na sua região perfeitamente elástica (cada mola tem sua região elástica, pois essa é uma propriedade do material e da geometria da mola). Se a mola está nessas condições, pode-se aplicar a lei de Hooke da seguinte forma:

$$\boxed{F = k \cdot x}$$

Onde k é uma constante que depende da mola. Comumente, chama-se k de constante elástica da mola e sua unidade no SI é:

$$\boxed{u(k) = \frac{u(F)}{u(x)} = N/m}$$

A lei de Hooke é válida para quando fazemos uma elongação ou uma compressão na mola.

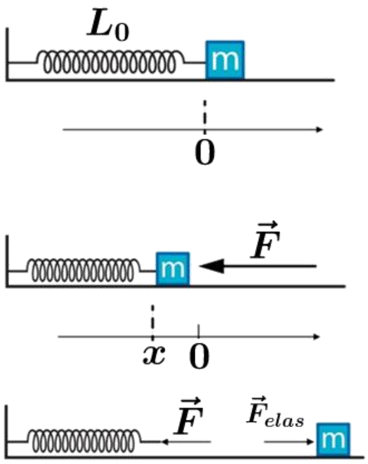


Figura 26: Mola comprimida devido à ação de uma força e o diagrama de forças no bloco.

De acordo com essa lei, ao fazermos o gráfico da força em função da deformação plotaremos uma reta partindo da origem, cujo coeficiente angular é numericamente igual a constante elástica da mola.

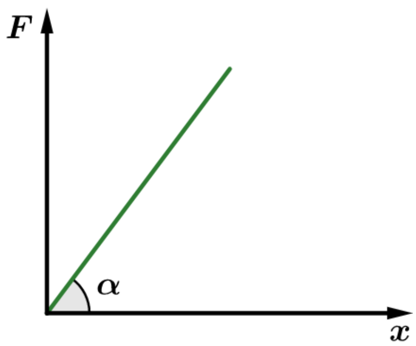


Figura 27: Gráfico da força elástica em função da deformação na mola.

Portanto:

$$\boxed{tg\alpha \overset{N}{=} k = \frac{F}{x}}$$

Experimentalmente, verificamos que quando retiramos a força que aplicamos na mola, a tendência natural é a mola voltar ao seu comprimento inicial. Para casos que a mola não volta completamente ao seu estado inicial, dizemos que ela saiu da sua região perfeitamente elástica. Nesta deformação, não se aplica a lei de Hooke. Esse tipo de deformação não será trabalhado aqui.

Toda vez que obedecida segue a lei de Hooke, chamamos de **deformação elástica**.

Outro fator importante no estudo de molas é o par ação e reação. Se uma força $\vec{F}$ é aplicada na mola, a mola reage com uma força $\vec{F}_{elastica}$ (força elástica) aplicada no "agente" que aplica $\vec{F}$. Pela 3ª lei de Newton, $\vec{F}$ e $\vec{F}_{elastica}$ têm o mesmo módulo, a mesma direção, mas sentidos opostos.

Note que a força elástica sempre tende a trazer o bloco para a posição inicial. Por isso, chamamos $\vec{F}_{elastica}$ de força de restauração ou força restauradora, já que ela busca restaurar a posição inicial.

Quando atribuímos o sinal da força elástica, devemos convencionar o sinal positivo para deslocamento no sentido do eixo e negativo para o sentido oposto. Assim, podemos escrever que:

$$\boxed{F_{elastica} = -k \cdot x}$$

Dessa forma, o gráfico da força elástica é:

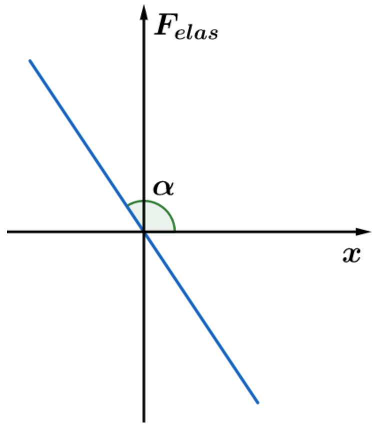


Figura 28: Gráfico da força elástica em função da deformação.

2.2. Mola ideal

Chamamos de mola ideal aquela cuja massa é desprezível e obedeça à lei de Hooke.

Vamos considerar o seguinte sistema constituído de uma mola com uma extremidade livre, onde aplicamos uma força $\vec{F}$. Podemos escrever o seguinte diagrama de forças:

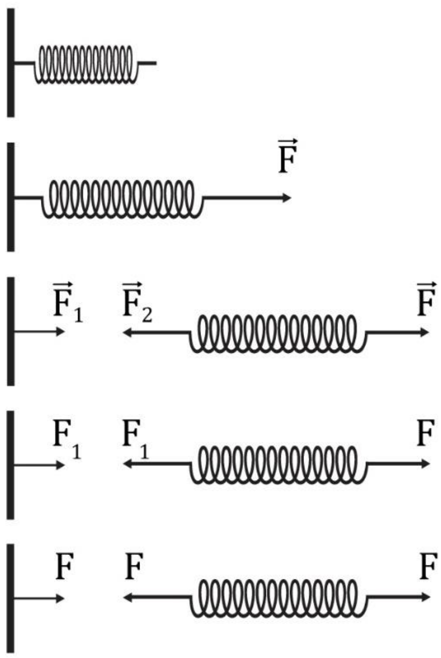


Figura 29: Diagrama de forças na mola ideal.

Note que $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ constituem um par ação e reação. Logo, temos que:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Se a mola está em equilíbrio e sua massa é desprezível, teremos que:

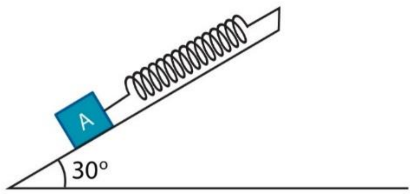
$$\vec{F} + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

Ou seja, o módulo da força aplicada se “distribui” ao longo da mola ideal, semelhante ao fio ideal. Então:

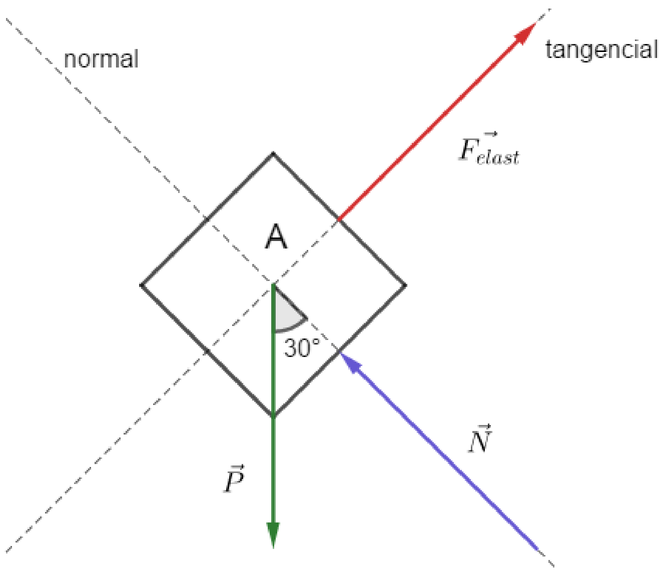
$$\boxed{|\vec{F}| = |\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F = k \cdot x}$$

Exemplo:

No esquema abaixo, determine a deformação da mola para o sistema em equilíbrio, dado que: $m = 5{,}0\ kg$, $g = 10{,}0\ m/s^2$, $k = 50\ N/m$, não há atrito e mola ideal.



Isolando o corpo A, temos o seguinte diagrama de forças:



Decompondo as forças na direção normal e tangencial, temos que:

$$\begin{cases} N = P \cdot cos(30°) \\ P \cdot sen(30°) = F_{elast} \end{cases}$$

Portanto, temos que:

$$m_A \cdot g \cdot sen(30°) = k \cdot x$$

$$x = \frac{m_A \cdot g \cdot sen(30°)}{k}$$

$$x = \frac{5 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}}{50} = 0{,}5\, m$$

$$\boxed{x = 50\, cm}$$

2.3. Dinamômetro

Trata-se de instrumento utilizado para medir forças. A ideia do aparelho é bem simples e usa diretamente a lei de Hooke.

Considere uma mola ideal com uma das extremidades fixa. Adapta-se uma escala graduada em Newton, já que pela lei de Hooke $F = k \cdot x$, basta conhecermos bem a constante elástica da mola e facilmente construímos essa escala. O zero da escala é definido quando a mola está no seu comprimento natural.

Dessa forma, ao aplicarmos uma força desconhecida na extremidade até estabelecer o equilíbrio. Esta força produz uma deformação na mola de $x = \frac{F}{k}$. Então, ao multiplicarmos a deformação pela constante da mola encontramos a força desconhecida.

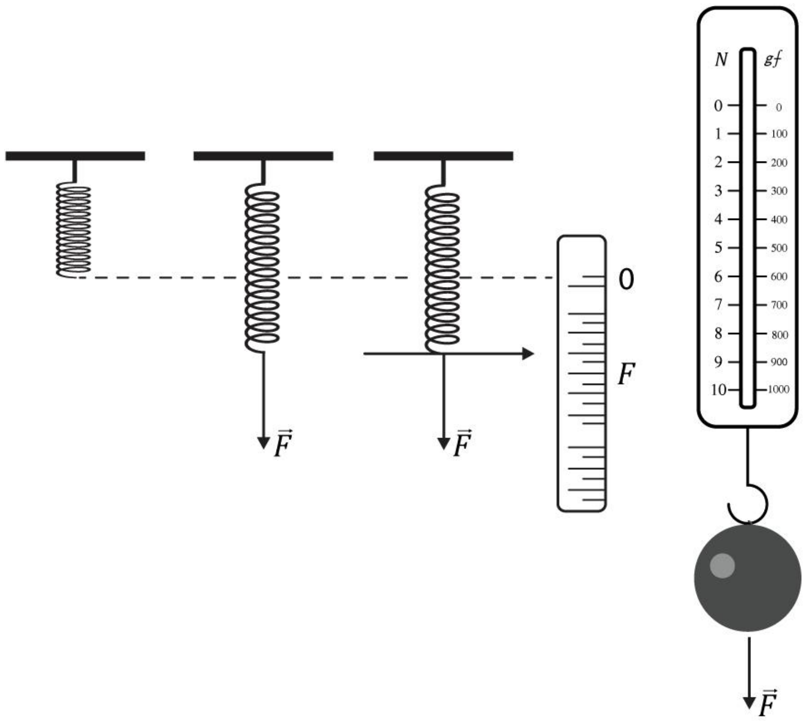


Figura 30:Aplicação de força elástica para medir forças desconhecidas.

No geral, os exercícios supõem dinamômetro ideal, isto é, a massa do dinamômetro é desprezível. Como no caso da mola, a força em cada extremidade é a mesma.

2.4. Associação de molas em série

Vamos construir um sistema com duas molas ideais, com constantes k_1 e k_2, em série, como na figura abaixo. Aplica-se uma força $\vec{F}$ na extremidade livre do conjunto. Denotamos por mola equivalente, que possui constante elástica k, aquela que possui a mesma deformação quando submetida a mesma força $\vec{F}$.

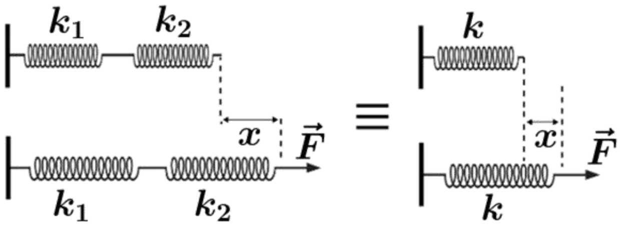


Figura 31: Molas em série e mola equivalente.

Diante disso, podemos determinar o valor de k a partir de k_1 e k_2.

Notamos que a deformação total do conjunto é soma das deformações de cada mola, isto é:

$$x = x_1 + x_2 \quad (eq.1)$$

Como visto anteriormente, para molas ideais, a força se "distribui" ao longo das molas. Então, o módulo da força na mola 1 é igual módulo da força na mola 2 que é igual a F. Aplicando a lei de Hooke em cada mola, temos que:

$$\begin{cases} F_1 = F = k_1 \cdot x_1 \\ F_2 = F = k_2 \cdot x_2 \\ \quad F = k \cdot x \end{cases} (sist.1)$$

Isolando a deformação em cada equação em $(sist.1)$ e substituindo em $(eq.1)$, temos que:

$$\frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

O conceito acima é aplicado para n molas:

$$\boxed{\frac{1}{k}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\cdots+\frac{1}{k_n}}$$

Para o caso de molas em paralelo, a constante da mola equivalente é menor que a menor das constantes.

Exemplo: uma mola de constante elástica k é repartida ao meio. Determine a constante elástica das partes.

Podemos imaginar que a mola de constante k é composição de duas molas em séries. Assim, se cada mola idêntica tem constante k_1, a associação delas dará a mola de constante elástica k. Então:

$$k=\frac{k_1\cdot k_1}{k_1+k_1}$$

$$\therefore \boxed{k_1=2k}$$

Este resultado mostra que ao cortar uma mola ao meio, sua constante elástica dobra. Ou ainda, quando reduzimos o tamanho de uma mola aumentamos sua rigidez elástica.

2.5. Associação de molas em paralelo

Para o caso de molas em paralelo só existe interesse prático quando as molas são idênticas.

Considere o sistema como na figura abaixo:

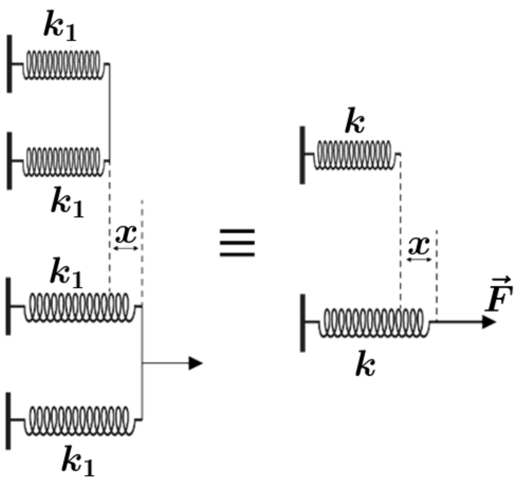


Figura 32: Molas em série e mola equivalente.

Nesse sistema, a força $\vec{F}$ é aplicada no centro de uma haste de massa desprezível que liga cada extremidade das molas. Denotamos por k a constante elástica da mola equivalente, isto é, sob a ação da mesma força $\vec{F}$, a mola equivalente deverá sofrer a mesma deformação.

Devido ao fato de as molas serem idênticas e devida a simetria do problema, temos que a força em cada mola será a metade da força aplicada no centro da haste. Além disso, cada mola sofrerá a mesma deformação.

Aplicando a lei de Hooke para cada mola e para a mola equivalente, temos que:

$$\frac{F}{2} = k_1 \cdot x \; (eq. 2)$$

$$F = k \cdot x \; (eq. 3)$$

Fazendo $\frac{eq.3}{eq.2}$, temos que:

$$\frac{F}{\frac{F}{2}} = \frac{k \cdot x}{k_1 \cdot x}$$

$$\boxed{k = 2 \cdot k_1}$$

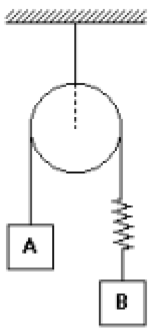
Podemos generalizar o resultado para o caso de n molas associadas em paralelo:

$$\boxed{k = n \cdot k_1}$$

Em muitos projetos, os cálculos levam a molas cuja constante elástica não é comercializada. Assim, fazer associação de molas torna-se uma saída para encontrar a constante de mola desejada.

5)

O corpo A, de massa $m_A = 1kg$, sobe com aceleração constante de $3\,m/s^2$. Sabendo-se que o comprimento inicial da mola é $L_0 = 1\,m$ e a constante elástica da mola é $k = 26N/m$.



A massa do corpo B vale aproximadamente:

a) 1,0 kg

b) 1,45 kg

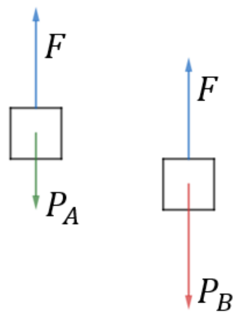
c) 1,58 kg

d) 1,67 kg

e) 1,86 kg

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças dos blocos, podemos escrever a 2ª lei para cada corpo:



$$\begin{cases} F - P_A = m_A \cdot a_A \\ P_B - F = m_B \cdot a_B \end{cases}$$

Se considerarmos que o sistema já entrou em equilíbrio, isto é, a deformação da mola já está definida, temos que a aceleração de A é igual a de B. Então, podemos somar as equações e encontrar que:

$$m_B \cdot g - m_A \cdot g = m_A \cdot a_A + m_B \cdot a_A$$

$$m_B = \frac{m_A(a_A + g)}{g - a_A}$$

$$m_B = \frac{1(3 + 10)}{10 - 3} \cong 1{,}86\ kg$$

Note que não precisamos encontrar a força elástica.

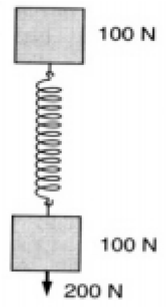
Gabarito: E

6)

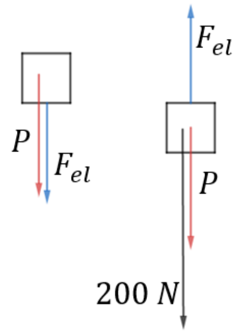
O conjunto dos blocos representados na figura está sujeito a uma força vertical para baixo, constante, de $200\ N$. A constante elástica da mola (de massa desprezível) que une os blocos vale $1000\ N/m$ e o movimento do sistema se dá na mesma linha vertical.

Adote $g\ = 10\ m/s^2$.

Qual é, em cm, a deformação da mola?



Comentários:



Escrevendo o diagrama de forças, temos que:

$$\begin{cases} 200 + P - F_{el} = m \cdot a \\ P + F_{el} = m \cdot a \end{cases}$$

Subtraindo a segunda da primeira equação, temos que:

$$200 - F_{el} - F_{el} = 0$$

$$2 \cdot 1000 \cdot x = 200$$

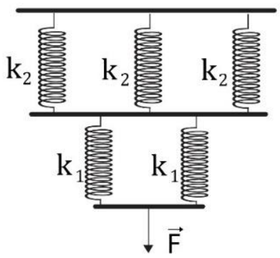
$$x = \frac{200}{2000}$$

$$x = 0{,}10\ m = 10\ cm$$

Gabarito: 10 cm.

7)

Determine a mola equivalente da seguinte associação:



Onde $k_2 = 2k_1$.

Comentários:

Inicialmente, determinamos as molas equivalentes para cada parte em paralelo:

$$k_2' = 3k_2 = 6k_1$$

$$k_1' = 2k_1$$

Notamos que k_2' e k_1' estão em série, logo:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1'} + \frac{1}{k_2'} \Rightarrow k = \frac{k_1' \cdot k_2'}{k_1' + k_2'}$$

$$k = \frac{(2k_1)(6k_1)}{2k_1 + 6k_1} \Rightarrow k = 1{,}5\ k_1$$

3. Força de atrito

3.1. Atrito seco entre sólidos

Forças de atrito de estão presentes na vida diária. Quando vencemos as forças de atrito somos capazes de locomover e de girar.

Ela surge da interação entre a superfície dos corpos. Quando um corpo desliza sobre a superfície de outro corpo, logo, há movimento relativo entre as superfícies, os corpos exercem entre eles uma força tangente à superfície de contato, se opondo ao deslizamento.

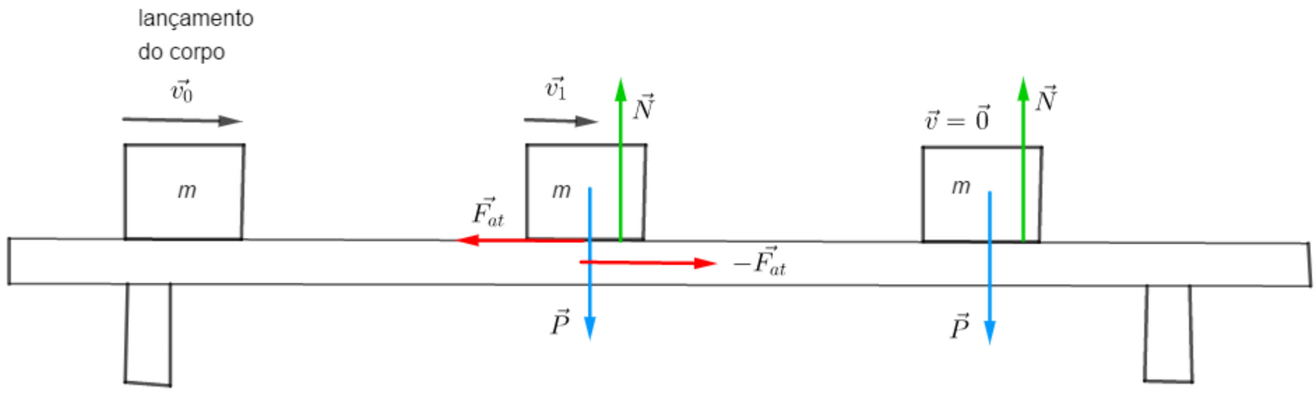
Até agora estudamos casos onde essa interação era desprezível. Entretanto, na prática as forças de atrito sempre existem e são essenciais, por exemplo, quando você segura um lápis para escrever, enquanto você caminha, pregos e parafusos segurando algo e etc.

É possível reduzir bem o atrito entre superfícies sólidas utilizando lubrificantes ou fazendo um ótimo polimento das superfícies.

Vamos estudar alguns exemplos da utilização da força atrito na nossa vida.

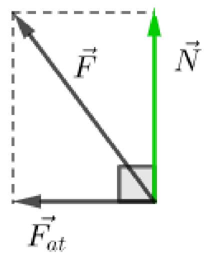
Exemplo 1: força de atrito freando objetos.

Um bloco lançado com velocidade inicial $\vec{v}_0$ em uma mesa horizontal.



Após lançar o corpo com velocidade inicial $\vec{v}_0$, devido a interação entre as superfícies surge uma força de atrito $\vec{F}_{at}$ no bloco contrária ao seu movimento. Pelo Princípio da Ação e Reação, o bloco deve ter exercido uma força de mesma intensidade e sentido contrário na mesa ($-\vec{F}_{at}$).

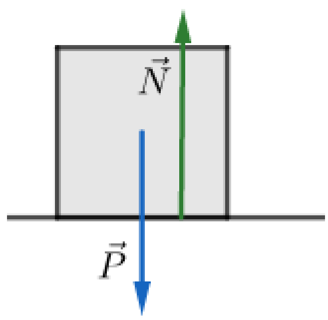
Quando o bloco para a força de atrito se anula. Note que a força resultante que a superfície da mesa faz sobre o bloco é a composição da força normal e da força de atrito.



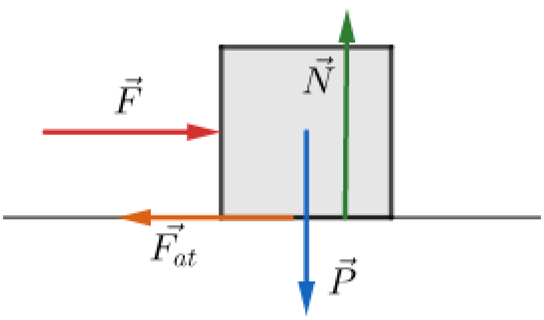
$$\boxed{F^2 = N^2 + F_{at}^2}$$

Exemplo 2: força de atrito oposta a tendência do movimento.

Um saco de cimento repousa sobre uma superfície plana e horizontal, onde atuam apenas as forças peso ($\vec{P}$) e normal ($\vec{N}$).



Se um operador faz uma força horizontal $\vec{F}$ mas está ainda não suficiente para tirar o saco de cimento da sua posição inicial, dizemos que a força exercida pela pessoa é igual a força de atrito estático entre o solo e o objeto. Neste caso, a força de atrito deve ter sentido contrário à ***tendência do movimento***.



Neste caso, temos que:

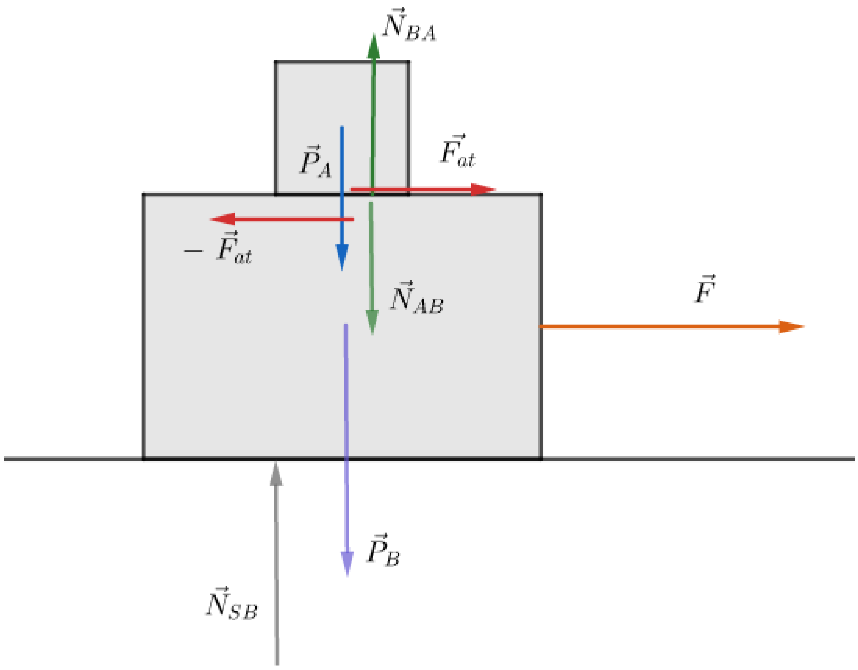
$$\vec{F} + \vec{F}_{at} = \vec{0}$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_{at}|$$

Se olharmos apenas para estes dois exemplos, somos levados a concluir que a força de atrito sempre tem sentido contrária a tendência do movimento ou contrária ao movimento. Entretanto, há casos onde a força de atrito tem **o mesmo sentido** que o movimento do corpo.

Exemplo 3: força de atrito na direção do movimento.

Vamos colocar um objeto A em cima de um objeto maior B, de tal forma que aplicamos uma força horizontal em B. Inicialmente o sistema está em repouso. Se considerarmos o atrito entre B e o solo desprezível, temos os seguintes diagramas de força.



Quando aplicamos a força na horizontal ao bloco B, dependendo da intensidade de $\vec{F}$ pode acontecer dos dois blocos se deslocarem juntos, ou seja, o bloco A não escorrega sobre B. Isso acontece pois existe uma força de atrito no bloco A no mesmo sentido de $\vec{F}$.

Outra maneira de enxerga isso é pelo princípio da Inércia. Se não houvesse atrito, o bloco A deveria ficar parado em relação ao solo, pois não existem força resultante atuando nele, quando desconsideramos o atrito.

Se colocássemos o referencial no bloco B, o corpo A deveria ir para a esquerda, sentido oposto a tendência do movimento de A em relação a B. Observe que por Ação e Reação a força de atrito no bloco B está orientada para a esquerda, sentido contrário ao movimento dos blocos.

Exemplo 4: força de atrito na caminhada de uma pessoa.

Quando uma pessoa caminha para a direita em relação ao solo, o pé do indivíduo aplica ao chão uma força $-\vec{F}$ para a esquerda. De acordo com a 3ª lei, o chão aplica sobre o pé da pessoa uma força $\vec{F}$ para a direita.

Note que as forças $-\vec{F}$ e $\vec{F}$ são forças de atrito. Caso não existisse atrito entre a sola do sapato e o chão, a pessoa escorregaria, isto é, ela faria uma força horizontal para trás e não teria nenhum efeito do solo para "lançar" ela para frente.

Figura 33: Força de atrito responsável pelo movimento de uma pessoa para frente.

Observe que a tendência do movimento do indivíduo é para a esquerda. Novamente, a força de atrito atua o sentido contrário a tendência do movimento da pessoa.

Se existe movimento relativo entre as superfícies em contato, chamamos de ***força de atrito dinâmico***. Quando não há movimento relativos entre as superfícies de contato, denominamos por ***força de atrito estático***.

Exemplo 5: força de atrito na tração de um automóvel.

Quando dizemos que um carro tem tração traseira, dizemos apenas que as rodas traseiras são tracionadas pelo motor. Considere um móvel com tração traseira. Se as rodas de trás são tracionadas pelo motor, elas “empurram” o chão para trás com uma força $-\vec{F}$. Pela 3ª lei, o chão exerce uma força nas rodas $\vec{F}$ que impulsiona o carro para frente. Se a roda não derrapar, $-\vec{F}$ e $\vec{F}$ são as forças de atrito estático.

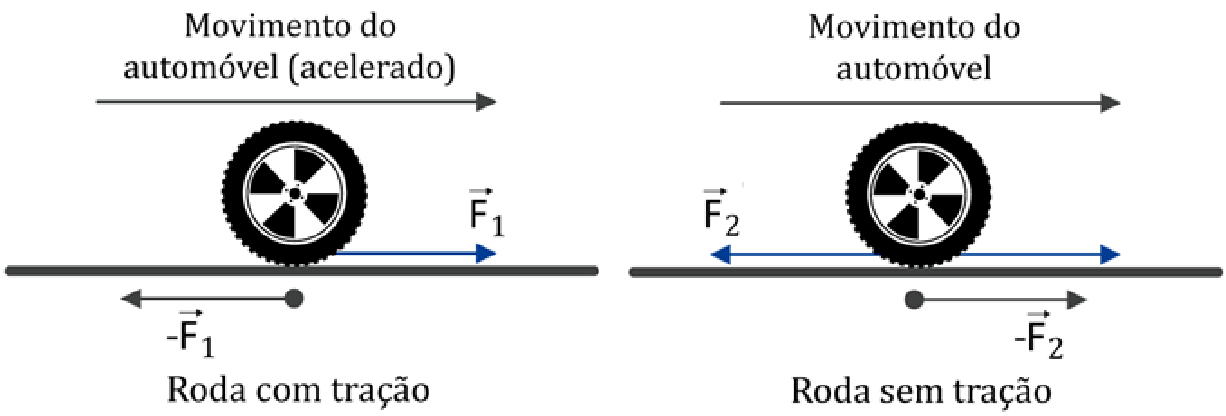


Figura 34: Roda tracionada (à esquerda) onde a ação da força de atrito é responsável pelo descolamento para a direita e roda sem tração (à direita) onde a reação do atrito impulsiona o carro para a direita.

Por outro lado, as rodas da frente não são tracionadas (apenas se o automóvel for 4x4 terá tração nas 4 rodas) e essas rodas “empurram” o chão para frente como uma força $\vec{F}'$. Pelo Princípio da Ação e Reação, o chão empurra a roda com mesma força, mas sentido contrário $-\vec{F}'$. Se a roda **não derrapar**, as forças $\vec{F}'$ e $-\vec{F}'$ são forças de **atrito estático**.

3.2. Qual a origem das forças de atrito?

Independente de quão lisa seja a superfície, utilizando um microscópio podemos ver as irregularidades que ela apresenta. Considere um livro sobre uma mesa.

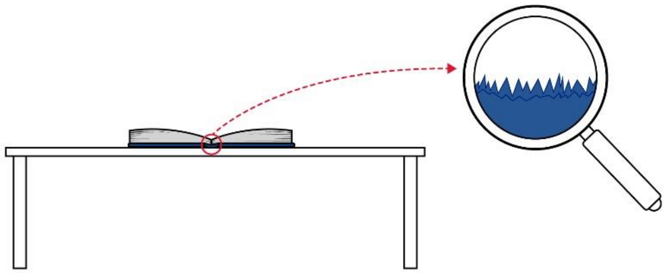


Figura 35: Ampliação de uma superfície rugosa, mostrando as imperfeições das áreas de contato.

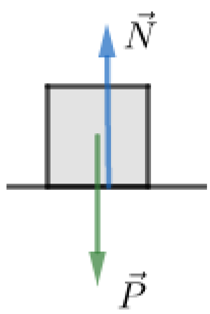
Notamos que na verdade a área real de contato é menor que a área da base do livro. Apenas os pontos mais salientes se tocam. Assim, os "picos" e as "depressões" se interpenetram dificultando o movimento de uma superfície em relação à outra.

Essa não é a única causa do atrito, ainda existe a força de coesão ou de adesão entre as moléculas dos dois corpos em contato. Chamamos de força de coesão quando os materiais são iguais e força de adesão quando os materiais são diferentes.

Se colocarmos duas superfícies metálicas bem polidas e limpas em contato em alto vácuo, é quase impossível fazer uma deslizar em relação à outra. Devido ao fato de serem muito lisas, a interação entre os átomos é muito forte e as superfícies se soldam a frio formando uma única peça metálica.

3.3. Atrito estático

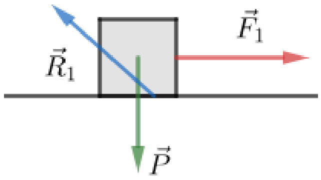
Para estudar o atrito estático, vamos utilizar um bloco em repouso em cima de uma mesa horizontal e fazer o diagrama de forças que nele atuam.



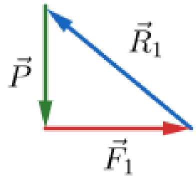
Note que essas são as forças que atuam no corpo e pela condição de equilíbrio temos que:

$$\vec{N} + \vec{P} = \vec{0}$$

Se uma pessoa faz uma força $\vec{F}_1$ na horizontal, mas este não se move, então, a força de contato da mesa, a força exercida pelo indivíduo e o peso do bloco devem ter resultante nula, ou seja:



Pela condição de equilíbrio, temos que:

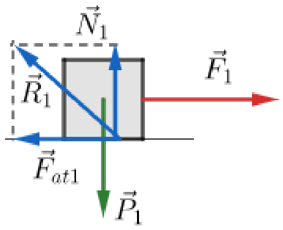


$$\vec{R}_1 + \vec{P} + \vec{F}_1 = \vec{0}$$

Repare que a força de contato $\vec{R}_1$ pode ser decomposta em duas componentes:

1) Componente perpendicular à superfície de contato, a qual chamamos de ***força normal***; e
2) Componente tangencial à superfície de contato, a qual chamamos de ***força de atrito***.

Diagrama de forças com $\vec{R}_1$ decomposta:



Podemos separar a condição de equilíbrio para cada direção:

- Na horizontal:

$$F_{at1} = F_1$$

- Na vertical:

$$N_1 = P_1$$

Se aumentarmos a força $\vec{F}_1$ aplicada pelo indivíduo, a força de atrito entre o corpo e a superfície também aumentaria e a normal continuaria a mesma, já que o peso do objeto não se alterou.

Poderíamos repetir esse processo até o momento que a força aplicada pela pessoa seja quase suficiente para mover o bloco. Dizemos que o bloco está na iminência de mover-se. Nessa situação, temos que o atrito estático é máximo ($\vec{F}_{at,e1}^{máx}$).

Se repetirmos a experiência, mas com uma massa maior em cima do bloco, verificaremos que a força de atrito máxima aumentou ($\vec{F}_{at,e2}^{máx}$), já que a normal aumentou também (N_2). Entretanto, quando fazemos $\frac{\vec{F}_{at,e}^{máx}}{N}$, temos que:

$$\frac{F_{at,e1}^{máx}}{N_1} = \frac{F_{at,e2}^{máx}}{N_2} = \cdots \frac{F_{at,e}^{máx}}{N}$$

Chamamos de coeficiente de atrito estático μ_e este quociente entre a força de atrito máxima e sua respectiva normal:

$$\frac{F_{at,e1}^{máx}}{N_1} = \frac{F_{at,e2}^{máx}}{N_2} = \cdots \frac{F_{at,e}^{máx}}{N} = \mu_e$$

Portanto:

$$\boxed{F_{at,e}^{máx} = \mu \cdot N}$$

Note que μ_e é definido como quociente de duas grandezas de mesma dimensão, assim, o coeficiente de atrito será adimensional, isto é, não possui unidade.

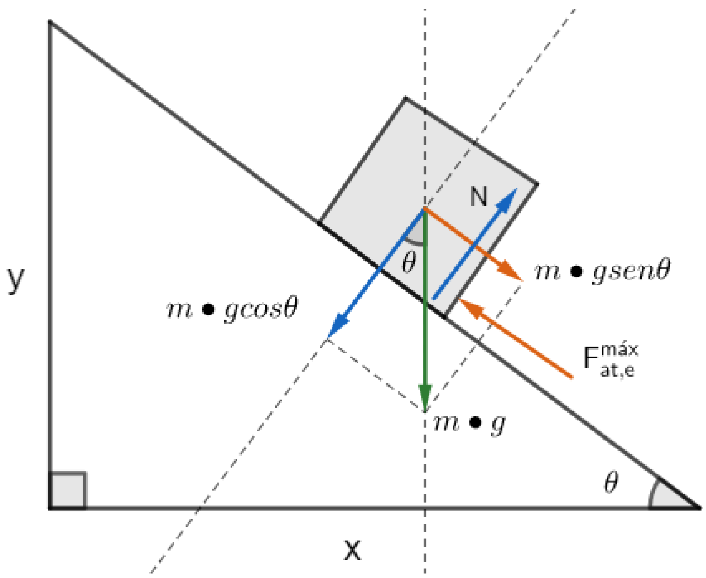
Observe que a força de atrito e a normal são apenas composição da força de contato entre as superfícies.

Como vimos através do experimento, a força de atrito estático varia de 0 até seu valor máximo:

$$\boxed{0 \leq F_{at,e} \leq F_{at,e,máx} = \mu_e \cdot N}$$

Os coeficientes de atrito são determinados experimentalmente. Os valores de μ_e dependem das propriedades dos corpos e das superfícies de contato. Assim, sempre que mencionamos coeficiente de atrito colocamos a preposição ***entre***, por exemplo, atrito *entre* o ovo e uma frigideira de Teflon é próximo de 0,04 e o atrito *entre* o sapato de um alpinista e a rocha pode chegar a 1,2 (Halliday, Resnick 2009).

Vamos calcular o coeficiente de atrito entre um bloco que está na iminência de deslizar e um plano inclinado, dado as dimensões do plano:



Fazendo a condição de equilíbrio na direção normal ao plano, temos que:

$$N = m \cdot g \cdot cos\theta \;\; (eq. 1)$$

Fazendo a condição de equilíbrio na direção tangencial ao plano, temos que:

$$m \cdot g \cdot sen\theta = F_{at,e}^{máx} = \mu_e \cdot N \; (eq. 2)$$

Substituindo a normal na eq. 2, temos que:

$$m \cdot g \cdot sen\theta = \mu_e \cdot m \cdot g \cdot cos\theta$$

$$\therefore \boxed{\mu_e = tg\theta = \frac{y}{x}}$$

3.4. Atrito dinâmico

Enquanto a força aplicada horizontalmente sobre um corpo não for maior que a força de atrito estático máxima, este corpo permanecerá em repouso. Somente quando $F > \mu_e \cdot N$ teremos movimento relativo entre as superfícies. Quando isso ocorrer, o atrito deixará de ser estático e passará a ser dinâmico.

Diferentemente da $F_{at,e}$, a força de atrito dinâmico $F_{at,d}$ não varia e seu módulo é sempre dado por:

$$\boxed{F_{at,d} = \mu_d \cdot N}$$

Em que μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico (ou cinético).

Novamente, μ_d depende do material de que é feito cada corpo, assim como do estado de polimento e lubrificação das superfícies em contato, entretanto, independem da área das superfícies em contato.

Geralmente, tem-se $\mu_d < 1$, mas existem casos onde $\mu_d \geq 1$. Além disso, semelhante ao μ_e, o coeficiente de atrito dinâmico também é adimensional.

Experimentalmente, verifica-se que à medida que a velocidade se torna muito grande, o coeficiente de atrito cinético diminui, mas essa variação é tão pequena que em geral é desprezada.

Além disso, a experiência mostra que o coeficiente de atrito estático é maior que o cinético:

$$\boxed{\mu_e \geq \mu_d}$$

Entretanto, há casos em que a diferença entre os coeficientes é tão pequena que pode ser desprezada. Então:

$$\boxed{\mu_e = \mu_d = \mu}$$

Quando iniciado o movimento, reduz o acoplamento entre as saliências das superfícies e alteram-se as forças de interação entre as moléculas das superfícies. Vemos isso no nosso dia a dia. É sempre mais tranquilo manter um objeto em movimento que retirá-lo do repouso.

Podemos relacionar a força de atrito com a força que um operador aplica horizontalmente:

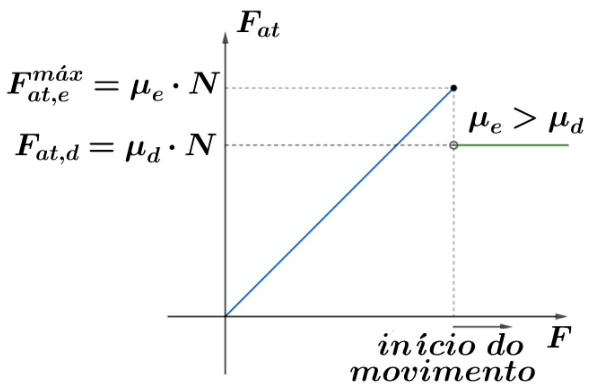


Figura 36: Gráfico da força de atrito em função da força aplicada para mover o corpo.

Podemos sintetizar as características da força de atrito da seguinte forma:

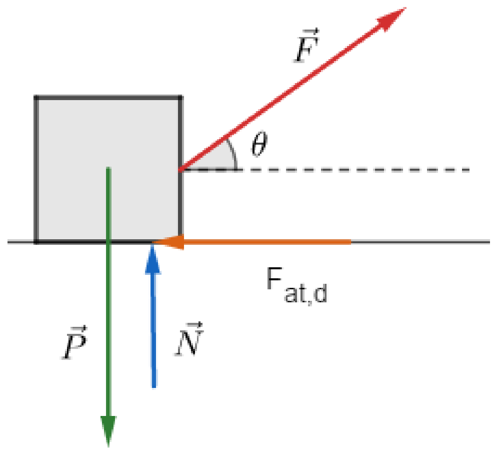
Tipo de Atrito	Direção da $\boldsymbol{F_{at}}$	Sentido da $\boldsymbol{F_{at}}$	Intensidade da $\boldsymbol{F_{at}}$
Estático	Paralela à superfície de contato	Contrário à tendência do movimento	$0 \leq F_{at,e} \leq \mu_e \cdot N$
Dinâmico ou Cinético		Contrário ao movimento	$F_{at,d} = \mu_d \cdot N$

8)

Uma caixa de m repousa sobre um plano horizontal, onde o atrito cinético é μ_d. A caixa é puxada por um operador por uma força de módulo F que faz um ângulo θ. Se a aceleração do corpo é a, calcule o módulo F.

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças, temos:



Aplicando a segunda lei de Newton na direção normal, temos:

$$F_{sen\theta} + N = P$$

$$N = m \cdot g - F_{sen\theta}$$

Fazendo novamente a 2ª lei, mas na direção tangencial a superfície, temos que:

$$Fcos\theta - F_{at,d} = m \cdot a$$

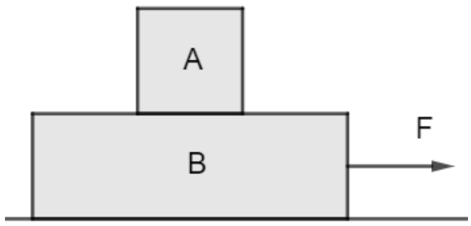
Porém, $F_{at,d} = \mu \cdot N$, então:

$$Fcos\theta - \mu_d \cdot (m \cdot g - Fsen\theta) = m \cdot a$$

$$\boxed{F = \frac{m(a + g \cdot \mu_d)}{cos\theta + \mu_d \cdot sen\theta}}$$

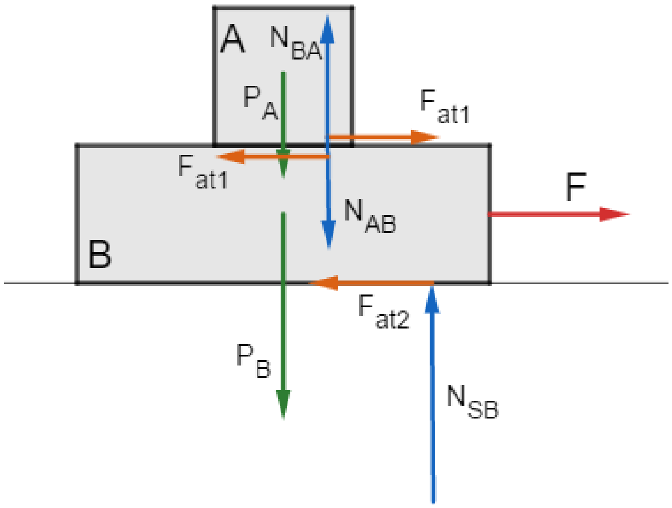
9)

Considere um sistema constituído de dois blocos, onde o coeficiente de atrito estático entre A e B vale μ_1 e o coeficiente de atrito dinâmico entre B e o solo vale μ_2. Determine a máxima força aplicada em B para que o bloco A não escorregue em relação a B. Qual a aceleração de cada bloco se a força aplicada em B for $2F_{máx}$? Dado que o coeficiente de atrito dinâmico entre A e B vale μ_{1d}.



Comentários:

Vamos fazer o diagrama de forças para os dois objetos:



O sentido da força de atrito no bloco A pode ser determinado pelo Princípio da Inércia, conforme no exemplo dado na teoria.

1) Para o caso da força aplicada F ser máxima sem movimento relativo dos blocos, devemos ter que:

$$a_A = a_B = a$$

Dessa forma, podemos escrever a segunda lei para cada um dos corpos em cada direção:

Bloco A:

$$\begin{cases} horizontal: F_{at1} = m_A \cdot a_A \\ vertical: N_{BA} = P_A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu_1 \cdot m_A \cdot g = m_A \cdot a \\ N_{BA} = m_A \cdot g \end{cases} \Rightarrow \boxed{a = \mu_1 \cdot g}$$

Bloco B:

$$\begin{cases} horizontal: F_{máx} - F_{at1} - F_{at2} = m_B \cdot a_B \\ vertical: N_{SB} = N_{AB} + P_B \\ N_{AB} = N_{BA} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{máx} = \mu_1 \cdot m_A \cdot g + \mu_2 \cdot N_{SB} + m_B \cdot \mu_1 \cdot g \\ N_{SB} = (m_A + m_B)g \\ N_{AB} = N_{BA} = m_A \cdot g \end{cases}$$

$$\therefore \boxed{F_{máx} = (\mu_1 + \mu_2) \cdot (m_A + m_B) \cdot g}$$

2) Para o caso em que $F = 2F_{máx}$ teremos que se a força F supera a máxima força para o qual não existe movimento relativo entre os blocos. Portanto, os blocos terão acelerações diferentes. Vamos rescrever a 2ª Lei para cada bloco na direção horizontal:

$$\begin{cases} F_{at1d} = m_A \cdot a_A \\ 2F_{máx} - F_{at1d} - F_{at2} = m_B \cdot a_b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu_{1d} \cdot m_A \cdot g = m_A \cdot a_A \\ 2F_{máx} - \mu_{1d} \cdot m_A \cdot g - \mu_2 \cdot m_B \cdot g = m_B \cdot a_B \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \boxed{a_A = \mu_{1d} \cdot g} \\ \boxed{a_B = \dfrac{2F_{máx} - (\mu_{1d} \cdot m_A + \mu_2 \cdot m_B) \cdot g}{m_B}} \end{cases}$$

Em que $F_{máx} = (\mu_1 + \mu_2) \cdot (m_A + m_B) \cdot g$.

ACORDE!

4. Dinâmica do movimento curvilíneo

4.1. As resultantes tangencial e centrípeta

Para estudar a dinâmica do movimento curvilíneo, vamos considerar uma partícula descrevendo uma trajetória curva em relação a um referencial inercial, em um dado plano α.

Se em um dado instante existem as forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ agem sobre a partícula, podemos decompor essas forças em duas direções: normal e tangencial.

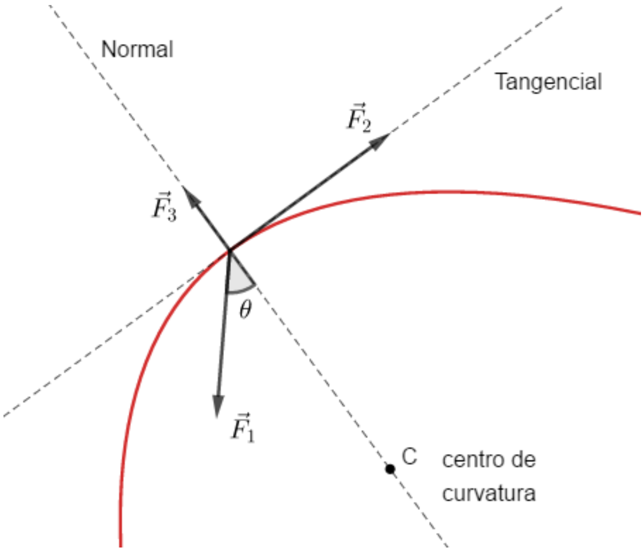


Figura 37: Forças atuando em uma partícula em movimento curvilíneo.

Decompondo as forças nas direções normal e tangencial, encontramos a componente em cada direção:

$$F_t = F_2 - F_1 \cdot sen\ \theta$$

$$F_c = F_1 \cdot \cos\theta - F_3$$

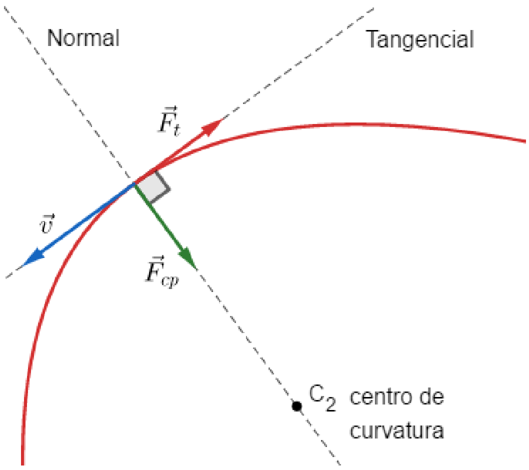


Figura 38: Vetores decompostos nas direções normal e tangencial em movimento curvilíneo.

Dessa forma, a força resultante na partícula pode ser encontrada pela soma vetorial das componentes tangencial e centrípeta (força na direção normal, orientada para o centro de curvatura da trajetória). O módulo pode ser dado pelo Teorema de Pitágoras:

$$\boxed{F_R^2 = F_t^2 + F_{cp}^2}$$

4.2. A componente tangencial

A resultante tangencial é responsável por variar o módulo da velocidade vetorial $\vec{v}$ da partícula. Ela pode ser escrita pela 2ª Lei de Newton como:

$$\boxed{\vec{F}_t = m \cdot \vec{a}_t}$$

A direção de $\vec{F}_t$ é sempre a da tangente à trajetória em cada instante. Portanto, ela possui a mesma direção da velocidade vetorial da partícula. Entretanto, o sentido de $\vec{F}_t$ depende da natureza do movimento: acelerado ou retardado.

- Acelerado:

Nesse caso, $\vec{F}_t$ tem o mesmo sentido da velocidade vetorial $\vec{v}$.

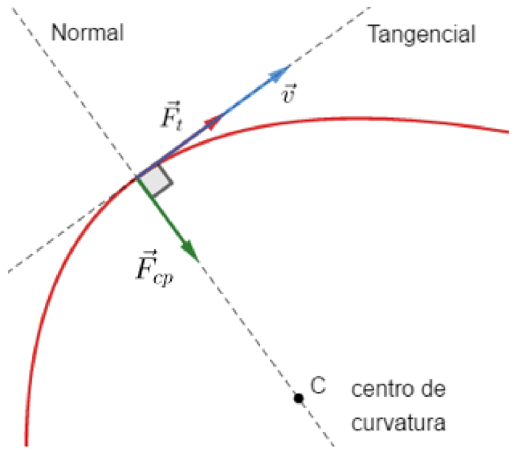


Figura 39: Velocidade e aceleração tangencial no mesmo sentido.

- Retardado:
  Nesse caso, $\vec{F}_t$ tem sentido contrário ao da velocidade vetorial $\vec{v}$.

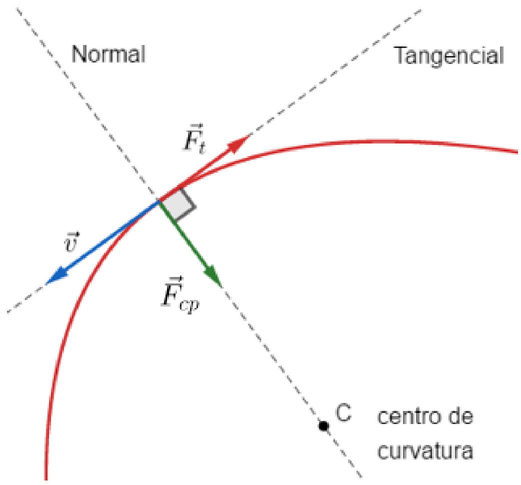


Figura 40: Velocidade e aceleração tangencial em sentidos opostos.

Vamos analisar um pêndulo simples, onde o fio de massa desprezível está fixado em C. Se soltarmos a massa do pêndulo é abandonado em A, o pêndulo passa por B onde tem velocidade máxima e para simetricamente em C. Desprezamos a resistência do ar.

Note que de A para B, o pêndulo descreve um movimento acelerado e de B para C, o pêndulo descreve um movimento retardado:

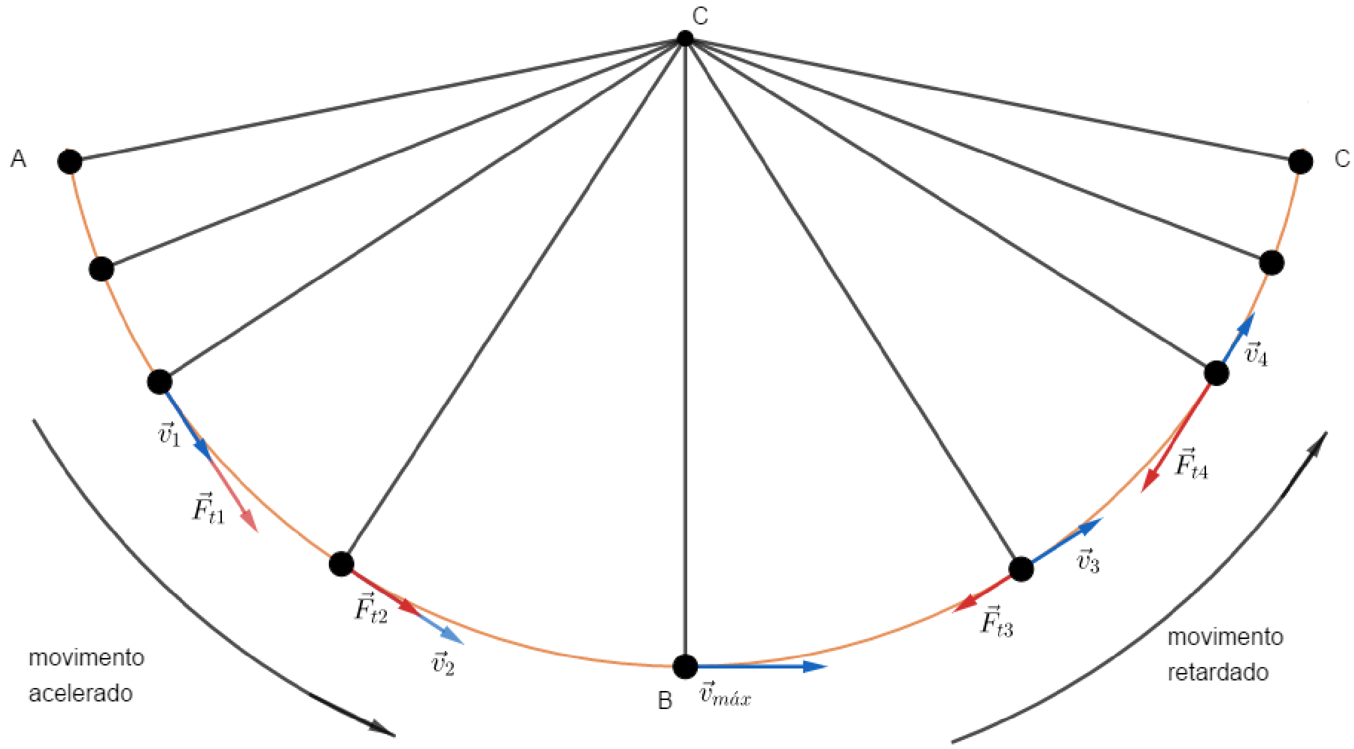


Figura 41: Representação dos vetores velocidade e força tangencial no movimento de um pêndulo.

Novamente, vamos reforçar a ideia de que a força tangencial é responsável por alterar o módulo da velocidade vetorial $\vec{v}$. Isso se explica pelo fato de $\vec{F}_t$ e $\vec{v}$ terem a mesma direção.

Para movimentos variados (acelerados ou retardados), $\vec{v}$ varia em módulo e quem causa essa mudança é a $\vec{F}_t$, pois nestes casos ela é não-nula.

Por outro lado, nos movimentos uniformes o módulo de $\vec{v}$ não varia, pois nessas situações a $\vec{F}_t$ é nula.

4.3. A componente centrípeta

A componente centrípeta pode ser escrita como:

$$\boxed{\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}}$$

Conforme visto no capítulo de cinemática vetorial, o módulo da aceleração centrípeta pode ser dado por:

$$\boxed{a_{cp} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R}$$

Em que R é o raio de curvatura da trajetória.

A componente centrípeta $\vec{F}_{cp}$ tem como função variar a direção da velocidade vetorial $\vec{v}$. É por isso que $\vec{F}_{cp}$ é perpendicular à $\vec{v}$. Nos movimentos retilíneos, $\vec{v}$ não varia de direção, mostrando que $\vec{F}_{cp} = \vec{0}$. Podemos imaginar que nos movimentos retilíneos teríamos raios de curvaturas tendendo ao infinito.

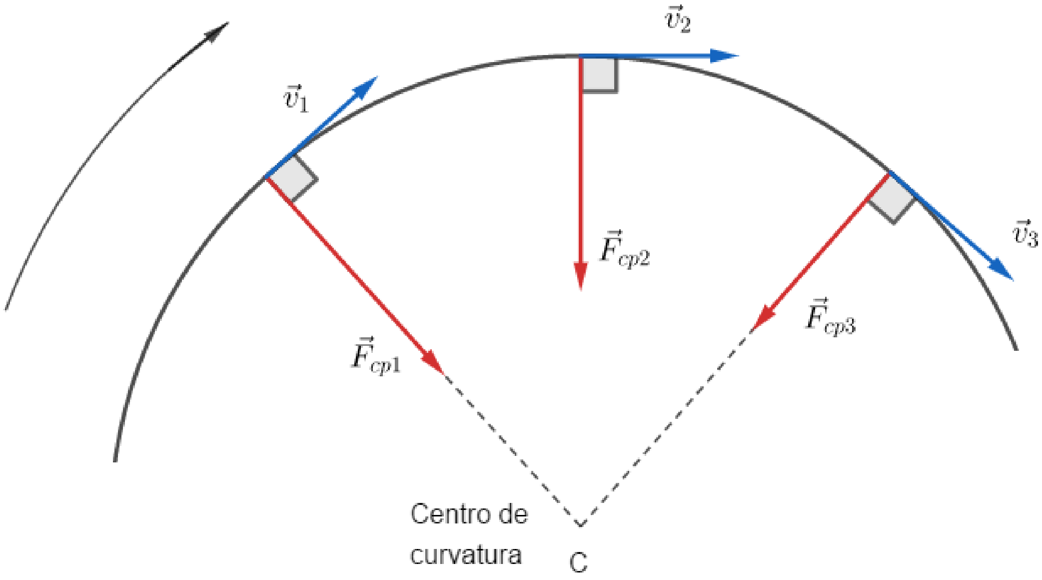


Figura 42: Representação dos vetores velocidade e força centrípeta.

4.4. As componentes tangencial e centrípeta nos principais movimentos

3.4.1. Movimento retilíneo e uniforme

Pelo fato de o movimento ser retilíneo, temos que:

$$\boxed{\vec{v}\ tem\ direção\ constante \Rightarrow \vec{F}_{cp} = \vec{0}}$$

Dado que o movimento é uniforme, temos que:

$$\boxed{|\vec{v}| = constante \neq 0 \Rightarrow \vec{F}_t = \vec{0}}$$

Portanto, a resultante será nula:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_t + \vec{F}_{cp} = \vec{0} + \vec{0}$$

$$\boxed{\vec{F}_R = \vec{0}}$$

4.4.2. Movimento retilíneo e variado

Pelo fato de o movimento ser retilíneo, temos que:

$$\boxed{\vec{v} \text{ tem direção constante} \Rightarrow \vec{F}_{cp} = \vec{0}}$$

Dado que o movimento é variado, temos que:

$$\boxed{|\vec{v}| \text{ é variável} \Rightarrow \vec{F}_t \neq \vec{0}}$$

Portanto, a resultante será a componente tangencial:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_t + \vec{F}_{cp} = \vec{F}_t + \vec{0}$$

$$\boxed{\vec{F}_R = \vec{F}_t}$$

4.4.3. Movimento circular e uniforme

Pelo fato de o movimento ser circular, temos que:

$$\boxed{\vec{v} \text{ tem direção variável} \Rightarrow \vec{F}_{cp} \neq \vec{0}}$$

Dado que o movimento é uniforme, temos que:

$$\boxed{|\vec{v}| = constante \neq 0 \Rightarrow \vec{F}_t = \vec{0}}$$

Portanto, a resultante será a componente centrípeta:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_t + \vec{F}_{cp} = \vec{0} + \vec{F}_{cp}$$

$$\boxed{\vec{F}_R = \vec{F}_{cp}}$$

4.4.4. Movimento curvilíneo e variado

Pelo fato de o movimento ser curvilíneo, temos que:

$$\boxed{\vec{v} \text{ tem direção variável} \Rightarrow \vec{F}_{cp} \neq \vec{0}}$$

Dado que o movimento é variado, temos que:

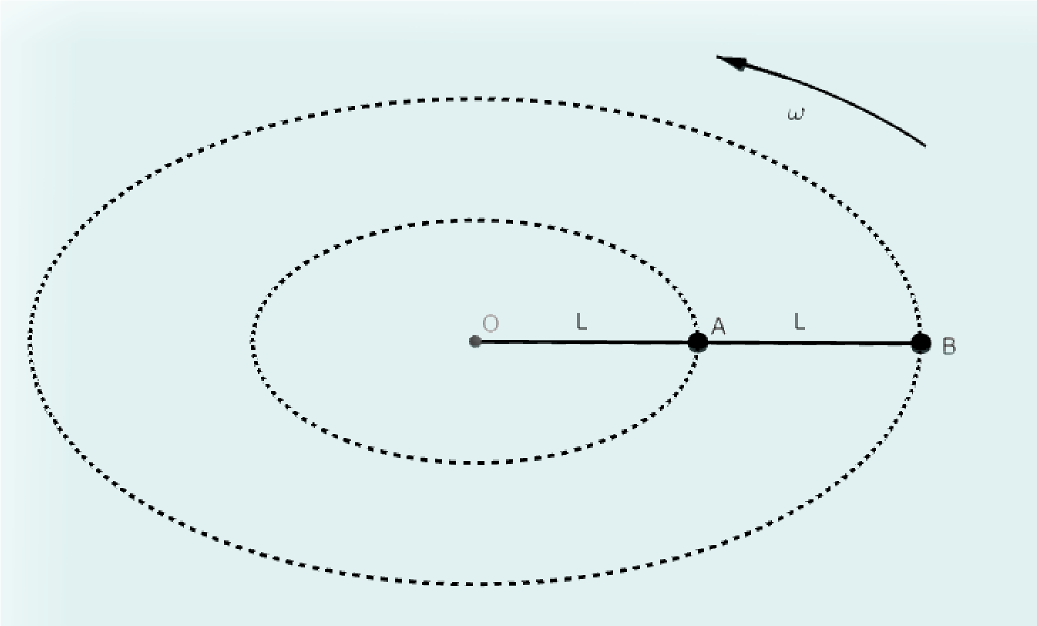
$$\boxed{|\vec{v}| \text{ é variável} \Rightarrow \vec{F}_t \neq \vec{0}}$$

Portanto, a resultante será a soma vetorial das componentes tangencial e centrípeta:

$$\boxed{\vec{F}_R = \vec{F}_t + \vec{F}_{cp}}$$

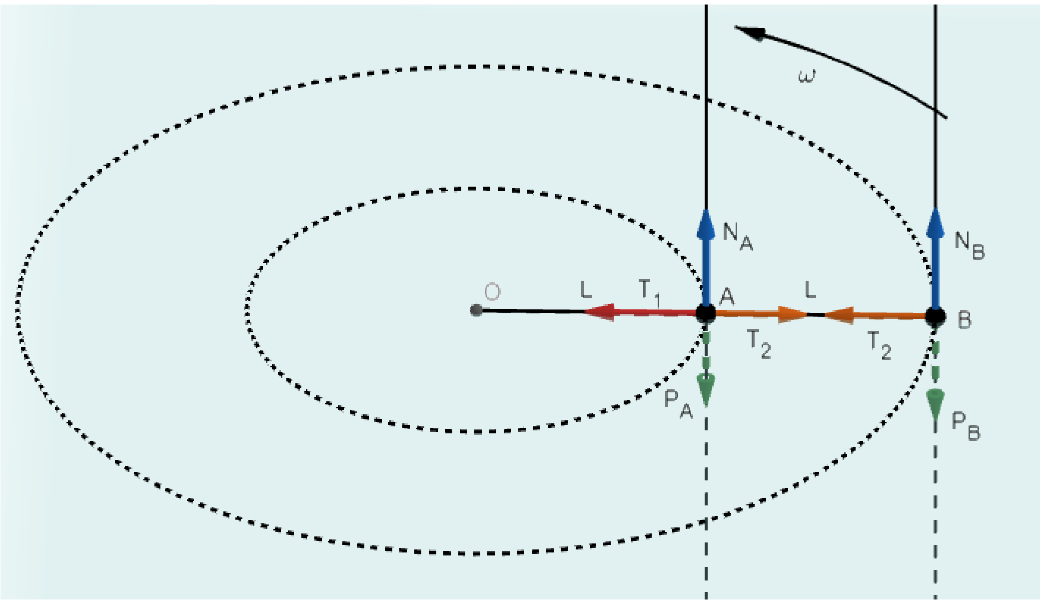
10) Partículas em movimento circular uniforme de um móvel sobre um plano de apoio horizontal.

Considere dois corpos de massas iguais a m ligados por fios ideais de comprimento L. Despreze os atritos na mesa. Se ambas as partículas giram com velocidade angular constante ω em torno do ponto fixo C, determine as intensidades das trações nos fios.



Comentários:

Inicialmente, vamos escrever as forças que atuam nas duas partículas:



Observe que para a trajetória desejada, devemos ter que $T_1 > T_2$.

Assim, escrevemos a 2ª Lei na direção radial para cada massa:

$$\begin{cases} T_1 - T_2 = F_{cpA} \\ T_2 = F_{cpB} \end{cases}$$

Inicialmente calculamos T_2, pois já conhecemos a força centrípeta em B:

$$T_2 = F_{cpB} = m \cdot \omega^2 \cdot R_B$$

$$T_2 = m \cdot \omega^2 \cdot (2L)$$

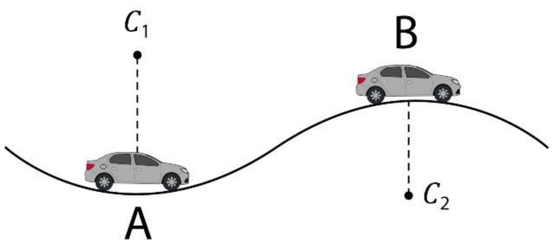
$$\boxed{T_2 = 2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L}$$

Portanto, T_1 é dado por:

$$T_1 = 2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L + m \cdot \omega^2 \cdot R_A$$
$$T_1 = 2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L + m \cdot \omega^2 \cdot L$$
$$\boxed{T_1 = 3 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot L}$$

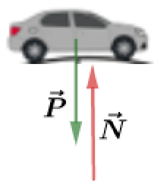
11) Estrada com lombada e com depressão

Um móvel de 300 kg viaja em uma estrada que apresenta uma região de depressão e uma região de lombada cujos raios de curvaturas são iguais a 100 m. Determine as forças normais que a pista exerce sobre o automóvel nos pontos A e B se o móvel viaja com velocidade de módulo constante igual a 10 m/s. Adote $g = 10\ m/s^2$



Comentários:

Temos o seguinte diagrama de forças para o carro:



Note que a resultante centrípeta tem sentido de $\vec{N}_A$, devido a curvatura da estrada. Pela 2ª Lei na posição na posição A:

$$\boxed{N_A - P = F_{cp}}$$
$$N_A - P = m \cdot a_{cpA}$$
$$N_A = 300 \cdot 10 + 300 \cdot \frac{10^2}{100}$$
$$\Rightarrow \boxed{N_A = 3300\ N}$$

Note que agora a resultante centrípeta tem sentido de $\vec{P}$, devido a curvatura da estrada. Para a posição B, temos que:

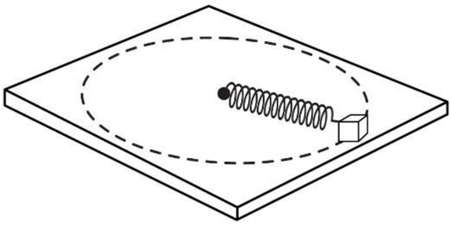
$$\boxed{P - N_B = F_{cpB}}$$
$$P - N_B = m \cdot a_{cpB}$$

$$N_B = 300 \cdot 10 - 300 \cdot \frac{10^2}{100}$$

$$\Rightarrow \boxed{N_B = 2700\ N}$$

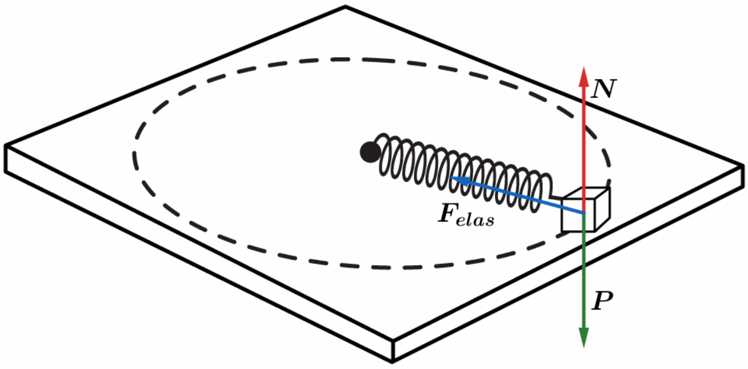
12)

Uma caixa de massa 1,0 kg descreve um movimento circular em uma mesa horizontal perfeitamente lisa, está presa a uma mola de constante elástica $k = 1{,}0 \cdot 10^2 N/m$. Sabe-se que o comprimento natural da mola é de 0,75 m. Determine a deformação da mola, se a o bloco gira com velocidade de módulo 5,0 m/s.



Comentários:

Para essa situação, temos o seguinte diagrama de forças:



Note que a força peso e a normal da superfície na caixa se equilibram. Dessa forma, a resultante das forças é a força elástica e ela é a centrípeta:

$$\boxed{F_{el} = F_{cp}}$$

Lembrando que a força elástica é dada pela Lei de Hooke $F_{el} = k \cdot x$, onde x é a deformação da mola. Então, teremos que o raio de curvatura será o comprimento natural mais a deformação que a mola sofre:

$$F_{el} = k \cdot x$$

$$F_{cp} = \frac{m \cdot v^2}{l_0 + x}$$

$$F_{el} = F_{cp} \Rightarrow k \cdot x = \frac{m \cdot v^2}{l_0 + x}$$

Substituindo valores, temos que:

$$100x = \frac{1 \cdot 5^2}{0{,}75 + x} \Rightarrow 100x^2 + 75x = 25 \Rightarrow \boxed{4x^2 + 3x - 1 = 0}$$

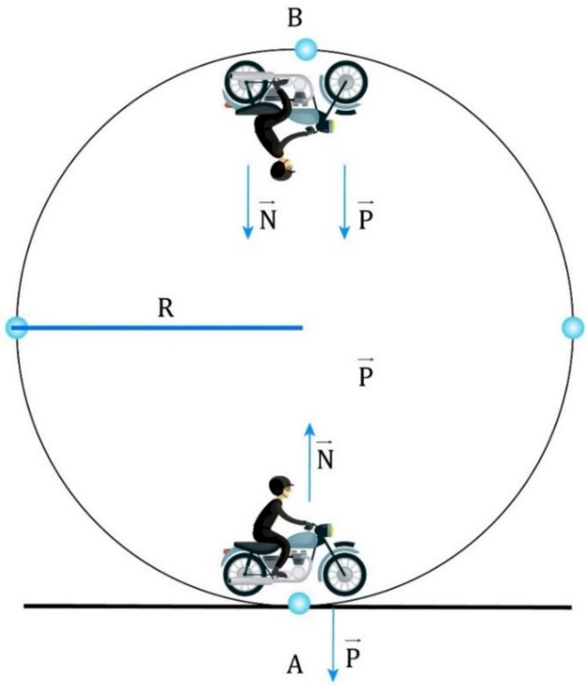
As raízes dessa equação são $x_1 = 0{,}25\ m$ e $x_2 = -1{,}0\ m$. Para a situação que estamos estudando, não convém deformação igual a -1,0 m. Portanto, a deformação da mola será de 0,25 m.

13) Globo da morte

Considere um motociclista realizando um movimento circular, num plano vertical, dentro de um "globo da morte" de raio R. A massa do conjunto homem mais moto é M. Calcule a intensidade da força normal que o globo aplica na moto na posição mais elevada do globo, se a velocidade do móvel é v. Adote gravidade igual a g. Qual é a mínima velocidade no ponto mais alto para o motociclista conseguir efetuar a curva completa?

Comentários:

No ponto mais alto da trajetória, a moto está de ponta cabeça, de tal forma que a força peso e força normal tem a mesma orientação. Portanto, a soma da força peso e da força normal é a resultante das forças e está é a centrípeta.



Vetorialmente, temos:

$$\boxed{\vec{F}_{cp} = \vec{N} + \vec{P}}$$

Em módulo, podemos escrever que:

$$F_{cp} = N + P$$

$$N = F_{cp} - P$$

$$\boxed{N = \frac{m \cdot v^2}{R} - mg}$$

Para o caso da velocidade mínima no ponto mais alto, devemos ter que a normal seja praticamente nula. O motociclista está quase perdendo contato com o globo. Dessa forma, temos que:

$$N \cong 0 \Rightarrow F_{cp} = P \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot R$$

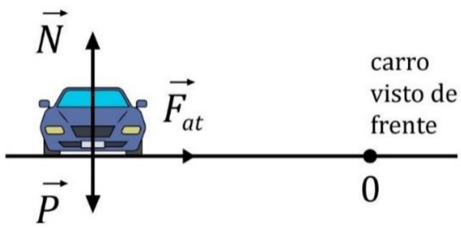
$$\Rightarrow \boxed{v = \sqrt{R \cdot g}}$$

14) Carro executando uma curva num plano horizontal

Um automóvel entra em uma curva circular de raio R, em movimento uniforme, num plano horizontal. O coeficiente de atrito estático vale μ_s. Sendo g a gravidade local, determine a máxima velocidade do carro para fazer a curva sem derrapar.

Comentários:

Notamos que a força peso e força normal se equilibram e que a força de atrito é a resultante centrípeta. A tendência do movimento é o móvel derrapar para fora da curva no caso da velocidade máxima. Assim, a força de atrito é direcionada para dentro da curva:



$$F_{cp} = F_{at}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = F_{at}$$

Para não derrapar para fora da curva, devemos ter que:

$$F_{at} \leq \mu_s \cdot N$$

Portanto:

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \leq \mu_s \cdot m \cdot g$$

Então:

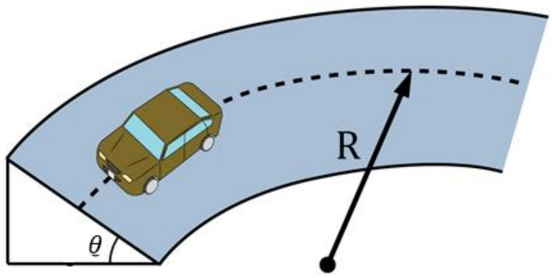
$$\boxed{v \leq \sqrt{\mu_s \cdot R \cdot g}}$$

Logo, a velocidade máxima terá módulo igual a:

$$\boxed{v = \sqrt{\mu_s \cdot R \cdot g}}$$

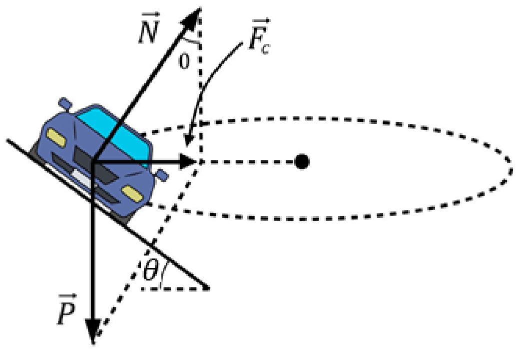
15) Carro executando curva numa pista sobrelevada

Um carro de massa m percorre uma pista circular de raio R, contida num plano horizontal. O módulo da velocidade do móvel é constante e igual a v. A parte exterior da pista é mais elevada que a parte inferior. Qual deve ser o ângulo θ para que o móvel consiga efetuar a curva **independente** da força de atrito.



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no automóvel, temos que:



Dado que o móvel realiza um MCU, a resultante das forças é a centrípeta. Assim, temos que:

$$tg\theta = \frac{F_{cp}}{P}$$

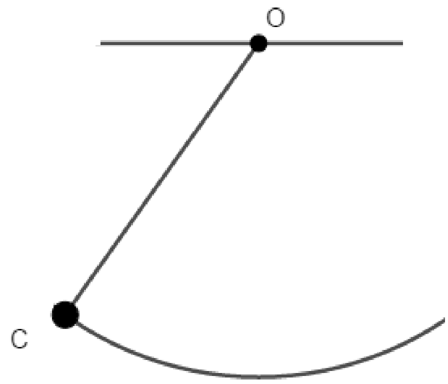
$$tg\theta = \frac{\frac{m \cdot v^2}{R}}{m \cdot g}$$

$$tg\theta = \frac{v^2}{R \cdot g}$$

$$\therefore \theta = arctg\left(\frac{v^2}{R \cdot g}\right)$$

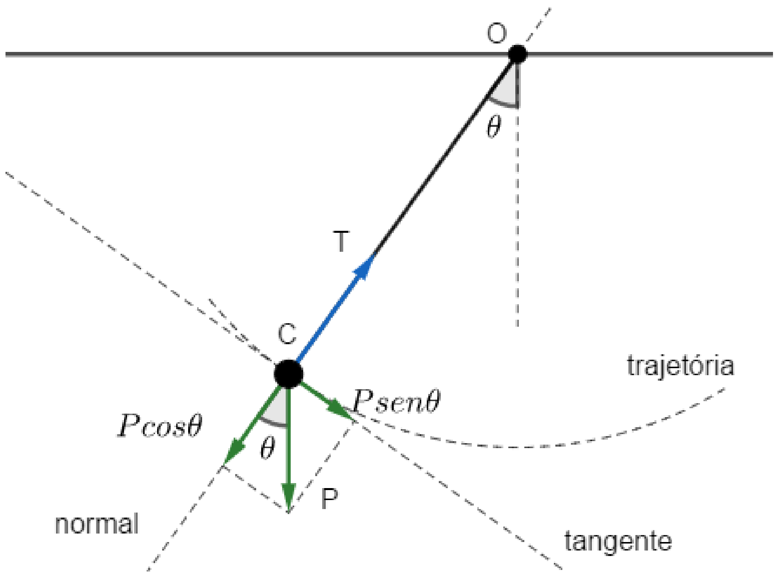
16) Pêndulo simples

Seja um pêndulo simples de comprimento L, com uma esfera de massa m. A velocidade escalar no ponto A vale v. Determine a força de tração no fio no ponto A e a aceleração tangencial. Despreze a resistência do ar e a massa do fio.



Comentários:

Inicialmente, vamos fazer o diagrama de força no ponto C:



Note que a tração tem direção normal à trajetória e o peso precisa ser decomposto nas direções da normal e da tangencial à trajetória.

A resultante centrípeta é dada por:

$$T - Pcos\theta = F_{cp}$$

$$T = m \cdot g \cdot cos\theta + \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$\boxed{T = m\left(g \cdot cos\theta + \frac{v^2}{R}\right)}$$

Por outro lado, a resultante tangencial é $P \cdot sen\theta$. Então:

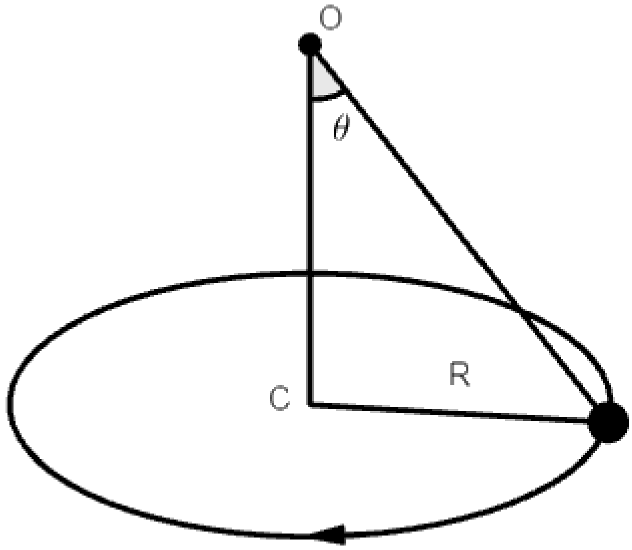
$$F_t = P \cdot sen\theta$$

$$m \cdot a_t = m \cdot g \cdot sen\theta$$

$$\boxed{a_t = g \cdot sen\theta}$$

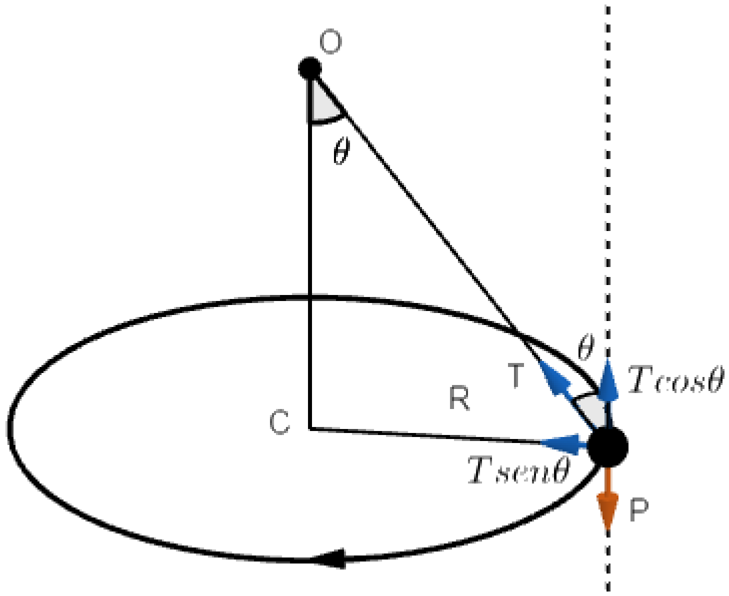
17) Pêndulo cônico

Uma esfera de massa m está presa em um fio de massa desprezível conforme a figura abaixo. A partícula descreve um MCU em torno de C, em um plano horizontal, constituindo o pêndulo cônico. Determine a tração no fio e a velocidade escalar da esfera.



Comentários:

Fazendo inicialmente o diagrama de forças, temos:



Note que o peso se equilibra com a componente da tração $T \cdot cos\theta$, então:

$$m \cdot g = T \cdot cos\theta$$

$$\boxed{T = \frac{m \cdot g}{cos\theta}}$$

Por outro lado, a componente da tração $T \cdot sen\theta$ é a resultante centrípeta do MCU. Logo:

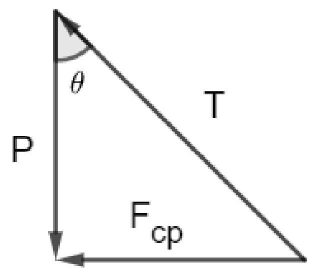
$$T \cdot sen\theta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Substituindo a tração, temos que:

$$\frac{m \cdot g}{cos\theta} \cdot sen\theta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$\therefore \boxed{v = \sqrt{R \cdot g \cdot tg\theta}}$$

Outra forma de chegar nesse resultado é ver que a partícula realiza um MCU, então a força tangencial é nula. Logo, a resultante do movimento é a centrípeta. Então, construí o seguinte triângulo de forças:



$$\vec{F}_{cp} = \vec{P} + \vec{T}$$

Então, podemos relacionar a força peso com a tração e com a resultante centrípeta:

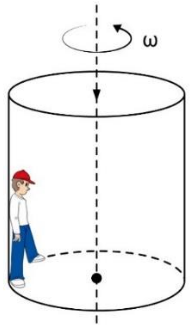
$$cos\theta = \frac{P}{T} \Rightarrow \boxed{T = \frac{m \cdot g}{cos\theta}}$$

$$tg\theta = \frac{F_{cp}}{P} \Rightarrow tg\theta = \frac{\frac{m \cdot v^2}{R}}{m \cdot g}$$

$$\Rightarrow \boxed{v = \sqrt{R \cdot g \cdot tg\theta}}$$

18) Rotor

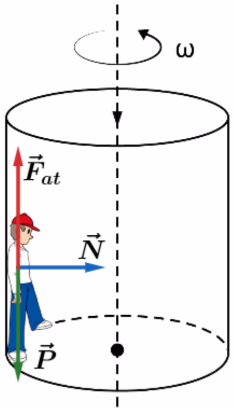
Este brinquedo existe em parques de diversões e funciona basicamente assim: a pessoa entra dentro do cilindro e fica em pé encostada na parede interna. O cilindro começa a girar em torno do seu eixo vertical e a partir de uma velocidade angular mínima, o assoalho do cilindro é retirado e a pessoa fica presa à parede do brinquedo. Se o raio do cilindro é R, a gravidade é g e o coeficiente de atrito estático entre a pessoa e a parede é μ_s, qual deve ser a mínima velocidade angular que o cilindro deve ter para que a pessoa não escorregue?



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças na pessoa, temos a força peso na vertical e para baixo, a força normal perpendicular à parede do cilindro e orientando para o eixo vertical e a força de atrito contrária a tendência do movimento.

No nosso caso, queremos saber a mínima velocidade, então a tendência da pessoa é descer na vertical, logo, a força de atrito está na vertical para cima, como mostra a figura:



De acordo com esse diagrama de forças, notamos que a normal é a nossa resultante centrípeta:

$$N = F_{cp} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Para não haver escorregamento na vertical, devemos ter que:

$$F_{at} = P = m \cdot g$$

E a força de atrito não deve passar a força de atrito estático máxima. Isto é:

$$F_{at} \leq \mu_s \cdot N$$

Logo, temos que:

$$F_{at} \leq \mu_s \cdot N$$

$$m \cdot g \leq \mu_s \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$\omega \geq \sqrt{\frac{g}{\omega \cdot R}}$$

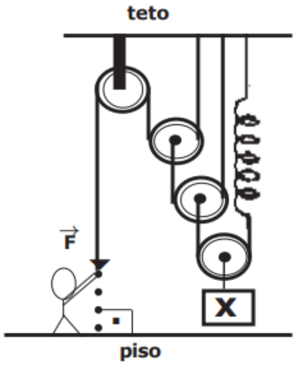
Logo a velocidade angular mínima é de:

$$\boxed{\omega = \sqrt{\frac{g}{\omega \cdot R}}}$$

5. Lista de exercícios

1. (EsPCEx – 2019)

O sistema de polias, sendo uma fixa e três móveis, encontra-se em equilíbrio estático, conforme mostra o desenho. A constante elástica da mola, ideal, de peso desprezível, é igual a $50\ N/cm$ e a força $\vec{F}$ na extremidade da corda é de intensidade igual a $100\ N$. Os fios e as polias, iguais, são ideais. O valor do peso do corpo X e a deformação sofrida pela mola são, respectivamente,



a) 800 N e 16 cm

b) 400 N e 8 cm

c) 600 N e 7 cm

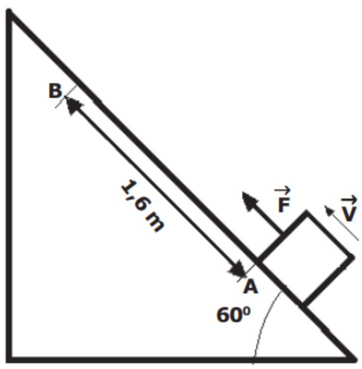
d) 800 N e 8 cm

e) 950 N e 10 cm

2. (EsPCEx – 2019/modificada)

No plano inclinado abaixo, um bloco homogêneo encontra-se sob a ação de uma força de intensidade $F = 4\ N$, constante e paralela ao plano. O bloco percorre a distância AB, que é igual a $1{,}6\ m$, ao longo do plano com velocidade constante. Desprezando-se o atrito, então a massa do bloco é dada por:

Dados: adote a aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$, $sen\ 60° = \sqrt{3}/2$ e $\cos 60° = 1/2$.



Desenho Ilustrativo - Fora de Escala

a) $\frac{2\sqrt{3}}{15}\ kg$

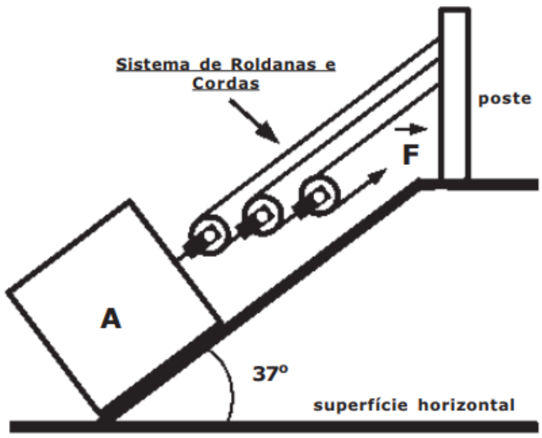
b) $\frac{4\sqrt{3}}{15}\ kg$

c) $\frac{6\sqrt{3}}{15}\ kg$

d) $\frac{8\sqrt{3}}{15}\ kg$

e) $\frac{10\sqrt{3}}{15}\ kg$

3. (EsPCEx – 2017)



Um bloco A de massa $100\ kg$ sobe, em movimento retilíneo uniforme, um plano inclinado que forma um ângulo de $37°$ com a superfície horizontal. O bloco é puxado por um sistema de roldanas móveis e cordas, todas ideais, e coplanares. O sistema mantém as cordas paralelas ao plano inclinado enquanto é aplicada a força de intensidade F na extremidade livre da corda, conforme o desenho abaixo. Todas as cordas possuem uma de suas extremidades fixadas em um poste que permanece imóvel quando as cordas são tracionadas. Sabendo que o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco A e o plano inclinado é de 0,50, a intensidade da força F é

Dados: $sen\ 37° = 0{,}60$ e $cos\ 37° = 0{,}80$

Considere a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$.

a) 125 N

b) 200 N

c) 225 N

d) 300 N

e) 400 N

4. (EsPCEx – 2015)

Um cilindro maciço e homogêneo de peso igual a $1000\ N$ encontra-se apoiado, em equilíbrio, sobre uma estrutura composta de duas peças rígidas e iguais, DB e EA, de pesos desprezíveis, que formam entre si um ângulo de 90°, e estão unidas por um eixo articulado em C. As extremidades A e B estão apoiadas em um solo plano e horizontal. O eixo divide as peças de tal modo que $DC = EC$ e $CA = CB$, conforme a figura abaixo.

Um cabo inextensível e de massa desprezível encontra-se na posição horizontal em relação ao solo, unindo as extremidades D e E das duas peças. Desprezando o atrito no eixo articulado e o atrito das peças com o solo e do cilindro com as peças, a tensão no cabo DE é:

Dados: $\cos 45° = sen\ 45° = \sqrt{2}/2$ e $\vec{g}$ é a aceleração da gravidade.

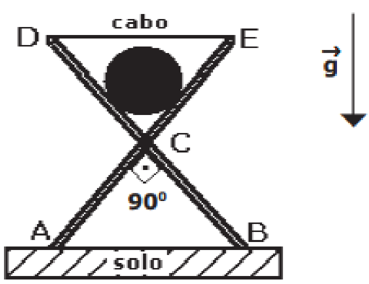
a) $200\ N$

b) $400\ N$

c) $500\ N$

d) $600\ N$

e) $800\ N$



desenho ilustrativo-fora de escala

5. (EsPCEx – 2014)

Uma pessoa de massa igual a $80\ kg$ está dentro de um elevador sobre uma balança calibrada que indica o peso em newtons, conforme desenho abaixo. Quando o elevador está acelerado para cima com uma aceleração constante de intensidade $a = 2,0\ m/s^2$, a pessoa observa que a balança indica o valor de

Dado: intensidade da aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$

a) $160\ N$

b) $640\ N$

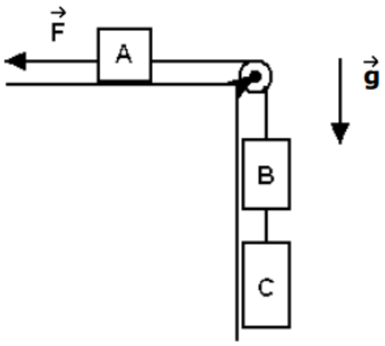
c) $800\ N$

d) $960\ N$

e) $1600\ N$

6. (EsPCEx – 2010)

Três blocos A, B e C de massas $4\ kg$, $6\ kg$ e $8\ kg$, respectivamente, são dispostos, conforme representado no desenho abaixo, em um local onde a aceleração da gravidade g vale $10\ m/s^2$.



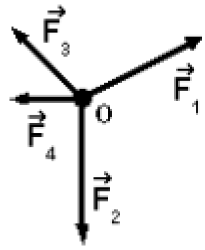
Desprezando todas as forças de atrito e considerando ideais as polias e os fios, a intensidade da força horizontal $\vec{F}$ que deve ser aplicada ao bloco A, para que o bloco C suba verticalmente com uma aceleração constante de $2\ m/s^2$, é de:

a) $100\ N$ b) $112\ N$ c) $124\ N$ d) $140\ N$ e) $176\ N$

7. (EsPCEx – 2009)

Uma partícula "O" descreve um movimento retilíneo uniforme e está sujeito à ação exclusiva das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$, conforme o desenho abaixo:

Podemos afirmar que



a) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_4$

b) $\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_2$

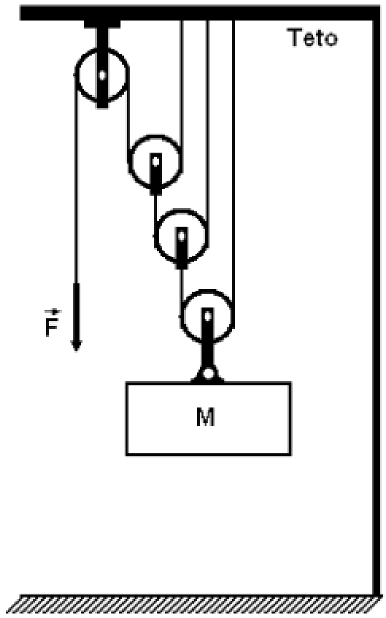
c) $\vec{F}_1 - \vec{F}_2 + \vec{F}_4 = -\vec{F}_3$

d) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_4 = \vec{F}_3$

e) $\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_1$

8. (EsPCEx – 2009)

Um trabalhador utiliza um sistema de roldanas conectadas por cordas para elevar uma caixa de massa $M = 60\ kg$. Aplicando uma força $\vec{F}$ sobre a ponta livre da corda conforme representado no desenho abaixo, ele mantém a caixa suspensa e em equilíbrio. Sabendo que as cordas e as roldanas são ideais e considerando a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$, o módulo da força $\vec{F}$ vale



a) $10\ N$

b) $50\ N$

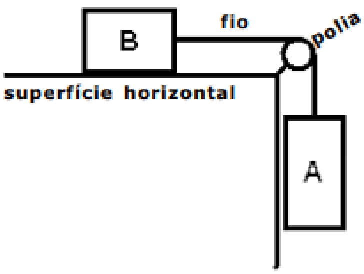
c) $75\ N$

d) $100\ N$

e) $150\ N$

9. (EsPCEx – 2008)

Dois blocos A e B, de massas $M_A = 5\ kg$ e $M_B = 3\ kg$ estão dispostos conforme o desenho abaixo em um local onde a aceleração da gravidade vale $10\ m/s^2$ e a resistência do ar é desprezível. Sabendo que o bloco A está descendo com uma velocidade constante e que o fio e a polia são ideais, podemos afirmar que a intensidade da força de atrito entre o bloco B e a superfície horizontal é de



a) 0 N

b) 30 N

c) 40 N

d) 50 N

e) 80 N

10. (EsPCEx – 2008)

Dois blocos A e B, de massas respectivamente iguais a 8 kg e 6 kg, estão apoiados em uma superfície horizontal e perfeitamente lisa. Uma força horizontal, constante e de intensidade F = 7 N, é aplicada no bloco A, conforme a figura abaixo.

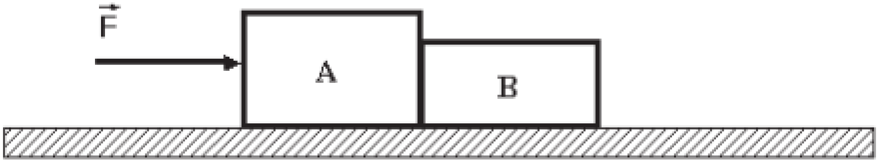


Figura Ilustrativa

Nessas condições, podemos afirmar que o bloco B adquire uma aceleração de

a) 0,50 m/s^2

b) 0,87 m/s^2

c) 1,16 m/s^2

d) 2,00 m/s^2

e) 3,12 m/s^2

11. (EsPCEx – 2005)

Um bloco parte da posição 1 e desloca-se em movimento retilíneo uniformemente variado sobre uma superfície horizontal com atrito até parar na posição 3, conforme a figura abaixo.

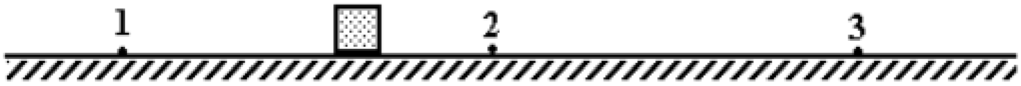
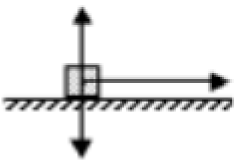


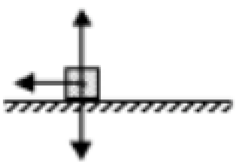
Figura ilustrativa

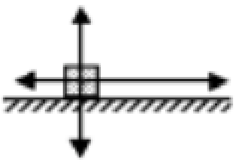
Desprezando a resistência do ar, o diagrama que melhor representa todas as forças que atuam sobre o bloco, quando ele está passando pelo ponto 2, é:

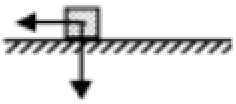
Obs.: Todas as forças estão representadas no centro de massa do bloco.

a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

12. (EsPCEx – 2004)

Um bloco retangular M de massa $18\ kg$ é puxado com uma força F de $126\ N$ ao longo de um piso segundo uma trajetória retilínea e plana. Sabendo que o bloco se desloca com uma velocidade constante, o valor do coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso é:

Dados: Considere a intensidade da aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$ e despreze a resistência do ar.

a) 1,2

b) 1,1

c) 0,9

d) 0,7

e) 0,4

13. (EsPCEx – 2004)

Na figura abaixo, um bloco A de massa 3kg está ligado a um bloco B de massa 2kg através de um fio e polia ideais e a resistência do ar é desprezível. Sabendo que o conjunto se encontra em equilíbrio estático, podemos afirmar que o módulo da força de atrito entre o bloco A e o plano inclinado, em N, vale:

Dados: Considere a intensidade da aceleração da gravidade igual a 10 m/s², $\cos 30° = 0{,}9$ e $sen\ 30° = 0{,}5$.

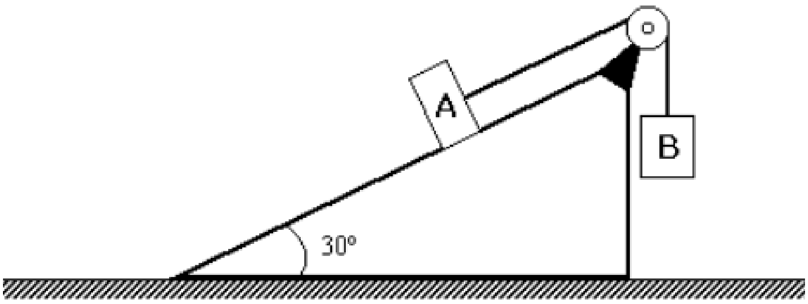
a) 2

b) 4

c) 5

d) 7

e) 8



14. (EsPCEx – 2003)

No sistema representado na figura abaixo, em equilíbrio estático, as polias e os fios são ideais e a resistência do ar é desprezível. A aceleração da gravidade local é igual a g, a massa do bloco I vale M e é o triplo da massa do bloco II.

Dados: $\cos 30° = \sqrt{3}/2$ e $sen\ 30° = 1/2$.

Neste sistema, a força de atrito entre o bloco I e a superfície do plano inclinado vale

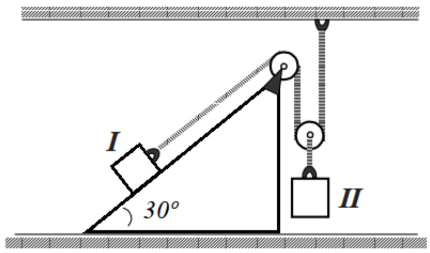
a) $4Mg$

b) $7Mg/3$

c) $7Mg$

d) $Mg/3$

e) Mg



15. (EsPCEx – 2002)

Na figura abaixo, as massas A e B são iguais a $2\ kg$, cada uma, e estão ligadas por um fio e uma roldana ideais. Sabendo que todos os atritos são desprezíveis e que a aceleração da gravidade é igual a $10\ m/s^2$, podemos afirmar que a tração no fio ideal, em newtons, é de

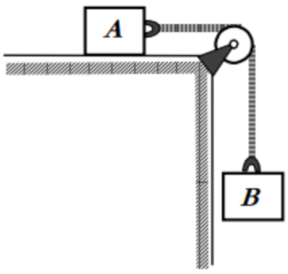
a) 2

b) 5

c) 10

d) 20

e) 40



16. (EsPCEx – 2002)

No sistema apresentado na figura abaixo, o fio e as polias são ideais, todos os atritos são desprezíveis e o módulo da força $\vec{F}$ que atua sobre o bloco A vale $550\ N$. Considerando a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$ e sabendo que as massas de A e de B valem $20\ kg$ e $15\ kg$, respectivamente, a aceleração do bloco B, em m/s^2, é igual a

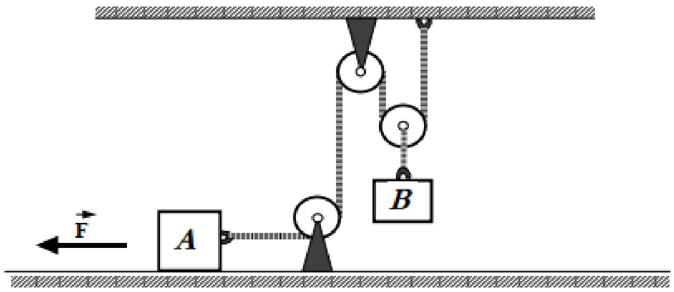
a) 10

b) 15

c) 20

d) 25

e) 30



17. (EsPCEx – 2001)

Um bloco A de peso P encontra-se em repouso preso a uma mola ideal de constante elástica K sobre um plano inclinado perfeitamente liso conforme a figura abaixo. Nesta situação, o alongamento da mola será de:

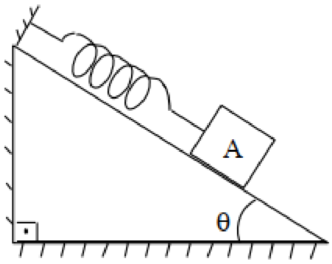
a) $P \cdot \cos\theta\ /K$

b) $P \cdot sen\ \theta/K$

c) $P \cdot tg\ \theta/K$

d) $P/(K \cdot sen\ \theta)$

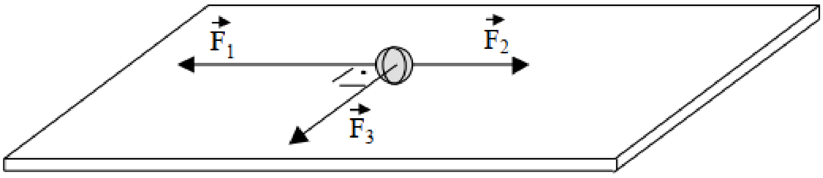
e) $P/(K \cdot \cos\theta)$



18. (EsPCEx – 2001)

Uma bola de $0{,}5\ kg$ encontra-se sobre um plano horizontal perfeitamente liso e está submetida à ação de três forças horizontais que passam pelo seu centro de massa, conforme a figura abaixo.

Dados: $|\vec{F}_1| = 6\ N$, $|\vec{F}_1| > |\vec{F}_2|$ e $|\vec{F}_3| = 3\ N$. Despreze a resistência do ar.



Sabendo que a bola adquire uma aceleração resultante de módulo $10\ m/s^2$, podemos concluir que a intensidade da força $\vec{F}_2$ é:

a) 4 N

b) 3 N

c) 2 N

d) 1 N

e) 5 N

19. (EsPCEx – 2001)

A figura mostra um corpo A de massa $m = 3\ kg$, apoiado em uma parede vertical onde o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a parede vale $\mu_e = 0{,}2$. Então o valor mínimo de $|\vec{F}|$ para mantê-lo em equilíbrio é:

Dado: $g = 10\ m/s^2$

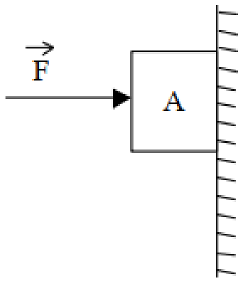
a) 40 N

b) 150 N

c) 120 N

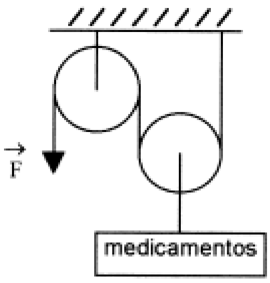
d) 80 N

e) 30 N



20. (EsPCEx – 2000)

Um sistema de fios e polias ideais, conforme a figura abaixo, é usado em uma farmácia para levar medicamentos do depósito para a loja. A aceleração da gravidade vale $10\ m/s^2$, e o atrito com o ar é desprezível. O módulo da força $\vec{F}$ que o farmacêutico deve aplicar ao sistema para que os medicamentos de massa $800\ g$ subam com velocidade constante deve ser de



a) $4\ N$

b) $8\ N$

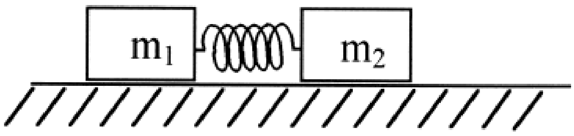
c) $8 \cdot 10\ N$

d) $4 \cdot 10^3\ N$

e) $8 \cdot 10^3\ N$

21. (EsPCEx – 2000)

Dois blocos de massa $m_1 = 10{,}0\ kg$ e $m_2 = 2{,}0\ kg$ interligados por uma mola ideal de constante elástica $50\ N/m$ são colocados em repouso sobre uma superfície plana, horizontal e sem atrito. Logo após terem sido afastados e soltos simultaneamente ao longo do plano horizontal, os corpos de massa m_1 e m_2, adquirem as acelerações $\vec{a}_1$ e $\vec{a}_2$ respectivamente Desprezando o atrito do ar, o valor da razão a_1/a_2 é



a) 0,2

b) 0,6

c) 1,0

d) 4,2

e) 5,0

22. (EEAR – 2018)

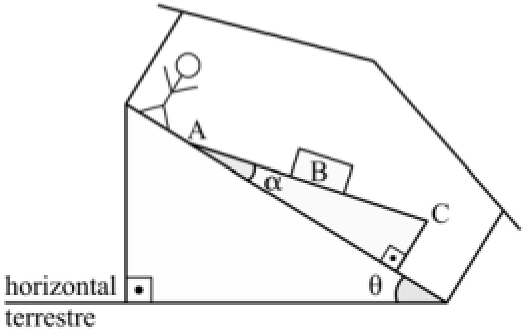
Em alguns parques de diversão há um brinquedo em que as pessoas se surpreendem ao ver um bloco aparentemente subir uma rampa que está no piso de uma casa sem a aplicação de uma força. O que as pessoas não percebem é que o piso dessa casa está sobre um outro plano inclinado que faz com que o bloco, na verdade, esteja descendo a rança em relação a horizontal terrestre. Na figura a seguir, está representada uma rampa com uma inclinação α em relação ao piso da casa e uma pessoa observando o bloco (B) "subindo” a rampa (desloca-se da posição A para a posição C).

Dados:

1) a pessoa, a rampa, o plano inclinado e a casa estão todos em repouso entre si e em relação a horizontal terrestre.

2) considere P = peso do bloco.

3) desconsidere qualquer atrito.



Nessas condições, a expressão da força responsável por mover esse bloco a partir do repouso, para quaisquer valores de θ e α que fazem funcionar corretamente o brinquedo, é dada por

a) $Psen(\theta + \alpha)$

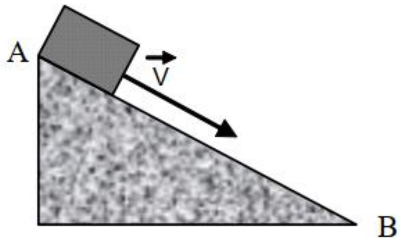
b) $Psen(\theta - \alpha)$

c) $Psen\ \alpha$

d) $Psen\ \theta$

23. (EEAR – 2018)

Um bloco de massa $m = 5\ kg$ desliza pelo plano inclinado, mostrado na figura abaixo, com velocidade constante de $2\ m/s$. Calcule, em Newtons, a força resultante sobre o bloco entre os pontos A e B.



a) zero

b) 7,5 N

c) 10,0 N

d) 20,0 N

24. (EEAR – 2017)

Um trem de 200 toneladas consegue acelerar a $2\ m/s^2$ Qual a força, em newtons, exercida pelas rodas em contato com o trilho para causar tal aceleração

a) $1 \cdot 10^5$

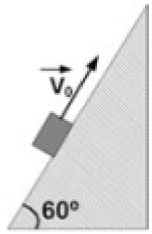
b) $2 \cdot 10^5$

c) $3 \cdot 10^5$

d) $4 \cdot 10^5$

25. (EEAR – 2016)

Um plano inclinado forma um ângulo de 60° com a horizontal. Ao longo deste plano é lançado um bloco de massa 2 kg com velocidade inicial v_0, como indicado na figura. Qual a força de atrito, em N, que atua sobre o bloco para fazê-lo parar? (Considere o coeficiente de atrito dinâmico igual a 0,2)



a) 2

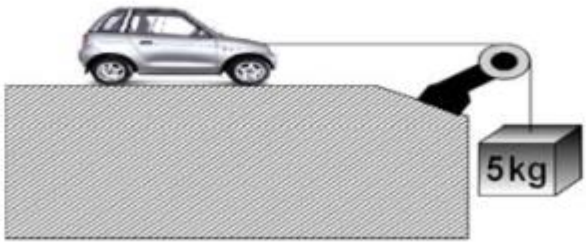
b) 3

c) 4

d) 5

26. (EEAR – 2016)

Um carrinho é puxado em um sistema sem atrito por um fio inextensível numa região de aceleração gravitacional igual a 10 m/s², como mostra a figura.



Sabendo que o carrinho tem massa igual a 200 g, sua aceleração, em m/s², será aproximadamente:

a) 12,6

b) 10

c) 9,6

d) 8

27. (EEAR – 2016)

O personagem Cebolinha, na tirinha abaixo, vale-se de uma Lei da Física para executar tal proeza que acaba causando um acidente. A lei considerada pelo personagem é:

a) 1ª Lei de Newton: Inércia.

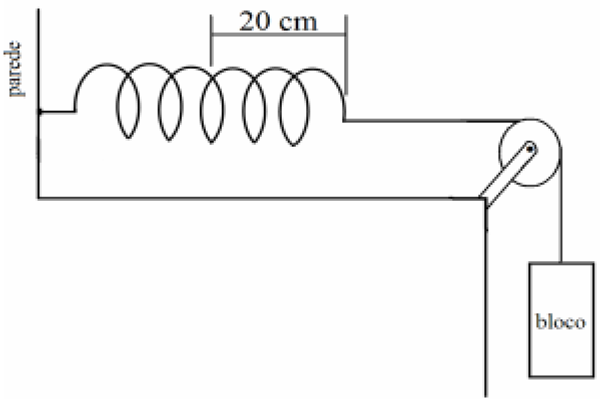
b) 2ª Lei de Newton: $F = m \cdot a$.

c) 3ª Lei de Newton: Ação e Reação.

d) Lei da Conservação da Energia.

28. (EEAR – 2015)

Uma mola está presa à parede e ao bloco de massa igual a $10\,kg$. Quando o bloco é solto a mola distende-se $20\,cm$ e mantém-se em repouso, conforme a figura mostrada a seguir. Admitindo o módulo aceleração da gravidade igual a $10\,m/s^2$, os atritos desprezíveis e o fio inextensível, determine, em N/m, o valor da constante elástica da mola.



a) 5

b) 20

c) 200

d) 500

29. (EEAR – 2015)

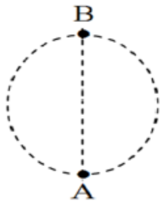
Uma partícula de massa igual a $500\ g$ está ligada por um fio de massa desprezível ao centro da trajetória e executa M.C.U. em um plano vertical, ou seja, perpendicular ao solo, descrevendo uma circunferência de raio igual a $10\,m$. Sabe-se que, a partícula ao passar pelo ponto A apresenta uma velocidade angular de $1\,rad/s$. Determine a tração no fio, em N, quando a partícula estiver exatamente no ponto B, considerando o fio ideal, o módulo da aceleração da gravidade no local igual a $10\,m/s^2$ e o ponto B exatamente no ponto mais alto da trajetória. Todo movimento foi observado por um observador fixo no solo.

a) 0,0

b) 0,8

c) 6,4

d) 11,0



30. (EEAR – 2014)

Na figura a seguir o bloco A, de massa igual a $6\ kg$, está apoiado sobre um plano inclinado sem atrito. Este plano inclinado forma com a horizontal um ângulo de 30°. Desconsiderando os atritos, admitindo que as massas do fio e da polia sejam desprezíveis e que o fio seja inextensível, qual deve ser o valor da massa, em kg, do bloco B para que o bloco A desça o plano inclinado com uma aceleração constante de $2\ m/s^2$.

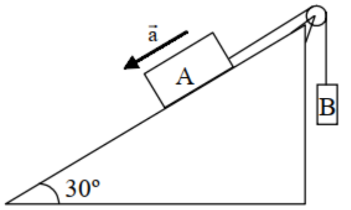
Dado: aceleração da gravidade local $= 10\ m/s^2$.

a) 0,5

b) 1,5

c) 2,0

d) 3,0



31. (EEAR – 2014)

Em um Laboratório de Física o aluno dispunha de uma régua, uma mola e dois blocos. Um bloco com massa igual a $10\ kg$, que o aluno denominou de bloco A e outro de valor desconhecido, que denominou bloco B. Ele montou o experimento de forma que prendeu o bloco A na mola e reparou que a mola sofreu uma distensão de $5\ cm$. Retirou o bloco A e ao colocar o bloco B percebeu que a mola distendeu $7{,}5\ cm$. Com base nestas informações, e admitindo a mola ideal e a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$, o aluno concluiu corretamente que o bloco B tem massa igual a _______ kg.

Observação: mola ideal é aquela que obedece a Lei de Hooke.

a) 12,5

b) 15,0

c) 125

d) 150

32. (EEAR – 2013)

Assinale a afirmação correta.

a) Todo corpo em equilíbrio está em repouso.

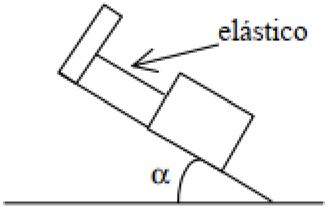
b) Se duas forças produzem o mesmo momento resultante, elas têm intensidades iguais.

c) A resultante das forças que atuam num corpo têm módulo igual ao módulo da soma vetorial dessas forças.

d) Se toda ação corresponde uma reação, todo corpo que exerce uma ação sofre sempre efeitos de duas forças.

33. (EEAR – 2013)

Considere um corpo preso na sua parte superior por um elástico, e apoiado num plano inclinado (como mostrado na figura abaixo).



À medida que aumentarmos o ângulo de inclinação a do plano, a força que age no elástico aumenta devido

a) ao crescimento do peso do corpo.

b) ao aumento da quantidade de massa do corpo.

c) à componente do peso do corpo paralela ao plano inclinado tornar-se maior.

d) à componente do peso do corpo, perpendicular ao plano inclinado, aumentar.

34. (EEAR – 2013)

Um bloco de massa M está inicialmente em repouso sobre um plano horizontal fixo. Logo após, uma força, horizontal de intensidade constante e igual a $25\ N$, interage com o bloco, durante 2 segundos, ao final do qual o bloco atinge uma velocidade de $4\ m/s$. Sabendo que a força de atrito, entre o bloco e o plano, é constante e de módulo igual a $5\ N$, calcule o valor de M, em kg.

a) 5,0

b) 10,0

c) 15,0

d) 20,0

35. (EEAR – 2010)

Considere que o sistema, composto pelo bloco homogêneo de massa M preso pelos fios 1 e 2, representado na figura a seguir está em equilíbrio. O número de forças que atuam no centro de gravidade do bloco é

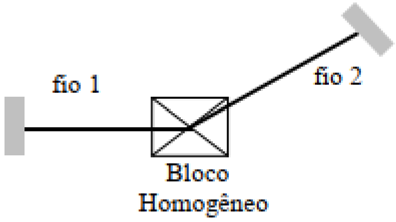
Obs.: Considere que o sistema está na Terra.

a) 1

b) 2

c) 3

d) 5



36. (EEAR – 2010)

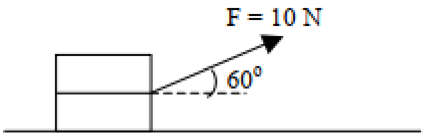
Um garoto puxa uma corda amarrada a um caixote aplicando uma força de intensidade igual a $10\ N$, como está indicado no esquema a seguir. A intensidade, em N, da componente da força que contribui apenas para a tentativa do garoto em arrastar o caixote horizontalmente, vale

a) 5

b) $5\sqrt{2}$

c) $5\sqrt{3}$

d) 10



37. (EEAR – 2009)

Uma força, de módulo F, foi decomposta em duas componentes perpendiculares entre si. Verificou-se que a razão entre os módulos dessas componentes vale $\sqrt{3}$. O ângulo entre esta força e sua componente de maior módulo é de:

a) 30°

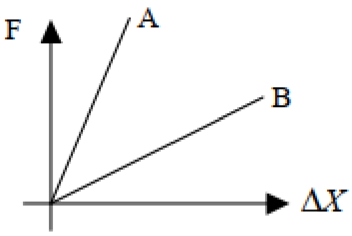
b) 45°

c) 60°

d) 75°

38. (EEAR – 2009)

O gráfico a seguir representa a deformação de duas molas, A e B, de mesmo comprimento, quando submetidas a esforços dentro de seus limites elásticos. Assim sendo, pode-se concluir, corretamente que, se as molas forem comprimidas igualmente.



a) B lança um corpo de massa m com força maior do que A.

b) A lança um corpo de massa m com força maior do que B.

c) A e B lançam um corpo de massa m com a mesma força.

d) A e B, não conseguem lançar um corpo de massa m dentro de seus limites elásticos.

39. (EEAR – 2008)

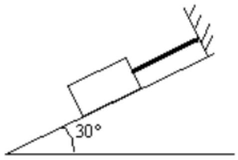
A figura abaixo representa um corpo de massa $80\ kg$. Em repouso, sobre um plano inclinado 30° em relação à horizontal. Considere $g = 10\ m/s^2$, ausência de atritos e a corda inextensível e de massa desprezível. O módulo da tração sobre a corda, para que o corpo continue em equilíbrio é ____N.

a) 200

b) 400

c) 600

d) 800



40. (EEAR – 2008)

Um veículo percorre uma pista de trajetória circular, horizontal, com velocidade constante em módulo. O raio da circunferência é de $160\ m$ e o móvel completa uma volta a cada π segundos, calcule em m/s^2, o módulo da aceleração centrípeta que o veículo está submetido.

a) 160

b) 320

c) 640

d) 960

41. (EEAR – 2008)

No gráfico que relaciona, a força aplicada em um corpo e a força de atrito entre este e uma superfície perfeitamente horizontal, a região que descreve a força de atrito _________________ pode ser explicada pela __________ Lei de Newton enquanto a que mostra a força de atrito ________ pela _______ Lei de Newton.

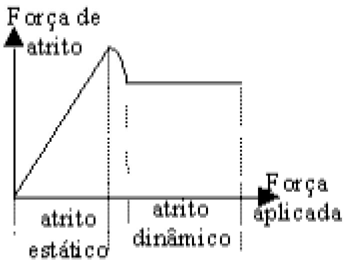
Assinale a alternativa que completa corretamente a afirmação acima.

a) dinâmico; 1ª; estático; 1ª

b) estático; 2ª; dinâmico; 1ª

c) estático; 1ª; dinâmico; 2ª

d) dinâmico; 2ª; estático; 2ª



42. (EEAR – 2008)

Dinamômetro é o instrumento que mede a intensidade da força que atua em um objeto, a partir de uma medida de

a) aceleração.

b) velocidade.

c) deformação.

d) temperatura.

43. (EEAR – 2007)

Um carro desloca-se ao lado de um caminhão, na mesma direção, no mesmo sentido e com mesma velocidade em relação ao solo, por alguns instantes. Neste intervalo de tempo, a velocidade relativa entre carro e caminhão é____________________. Em um instante posterior, a inclinação de um pêndulo dependurado na cabine do caminhão, quando este é freado repentinamente, é explicada pelo motorista do carro a partir da ________________de Newton.

a) nula; 1ª lei

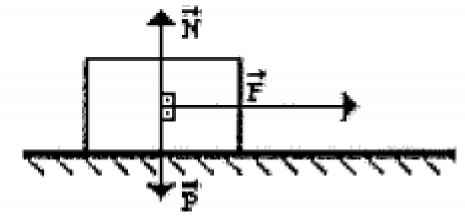
b) nula; 3ª lei

c) positiva; 1ª lei

d) positiva; 3ª lei

44. (CN – 2019)

Observe a figura abaixo:



Aplica-se uma força ($\vec{F}$) de intensidade constante $10\ N$, sempre na mesma direção e sentido, sobre um corpo, inicialmente em repouso, de massa $2{,}0\ kg$, localizado sobre uma superfície horizontal sem atrito. Sabendo-se que além da força mencionada atuam sobre o corpo somente o seu peso e a normal, calcule, em metros, o deslocamento escalar sofrido pelo corpo ao final de um intervalo de tempo de $4{,}0\ s$ de aplicação da referida força e assinale a opção correta, considerando $g = 10\ m/s^2$ e o corpo um ponto material.

a) 10

b) 16

c) 40

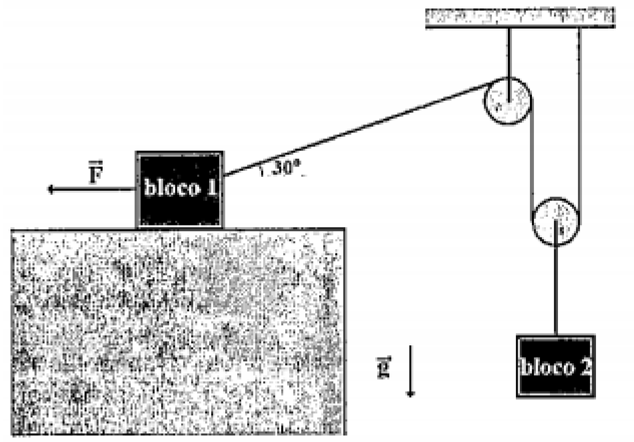
d) 80

e) 200

45. (CN – 2018)

Considere um bloco de $2\ kg$ apoiado sobre uma superfície horizontal cujo atrito é desprezível. Do lado esquerdo é aplicada ao bloco uma força F horizontal de $10\ N$ e do lado direito é ligado a ele uma corda ideal, esticada e inclinada de $30°$ com a horizontal, conforme indicado na figura. A corda após passar por um sistema de roldanas ideal, sendo uma delas móvel, liga-se a outro bloco de $10\ kg$, porém suspenso pela corda. Marque a opção correta que fornece a intensidade aproximada da tração na corda ideal. Despreze o atrito com o ar e considere os blocos como pontos materiais.

Dados: $g = 10\ m/s^2$, $sen\ 30° = 0{,}50$ e $\cos 30° = 0{,}87$.



a) $5\ N$

b) $10\ N$

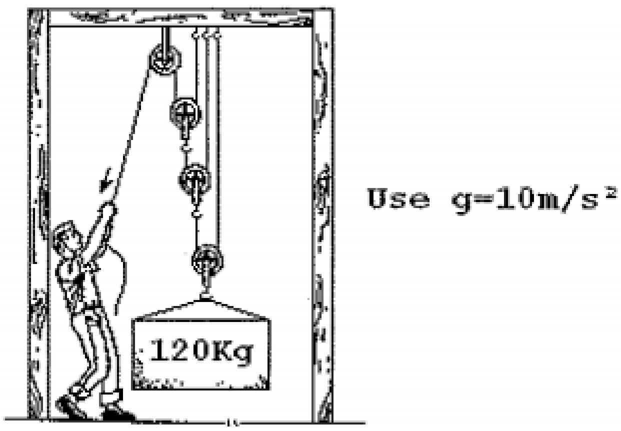
c) $20\ N$

d) $30\ N$

e) $40\ N$

46. (CN – 2009)

Observe a figura a seguir.



Suponha que a força exercida pelo homem mostrado na figura acima seja integralmente usada para movimento um corpo, de massa $15\ kg$, através de um piso horizontal perfeitamente liso, deslocando-o de uma posição inicial $s_0 = 20\ m$, a partir do repouso e com aceleração constante, durante 4 s. Nessas condições pode-se afirmar que, ao final desse intervalo de tempo, a posição final e a velocidade do corpo valem, respectivamente,

a) 100 m e 100 km/h

b) 100 m e 108 km/h

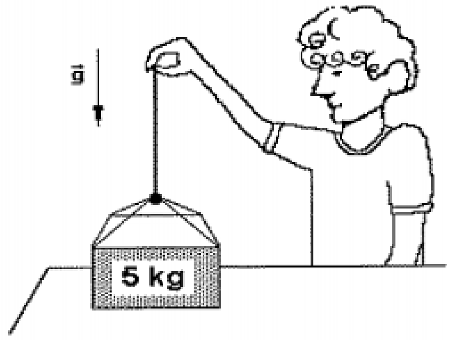
c) 100 m e 144 km/h

d) 120 m e 108 km/h

e) 120 m e 144 km/h

47. (CN – 2005)

Observe a figura:



A figura mostra um menino erguendo um bloco com uma força de $69\ N$, num local onde a gravidade vale $9{,}8\ m/s^2$. Supondo que o fio seja inextensível e considerando desprezível a sua massa, é correto afirmar que a aceleração adquirida pelo bloco tem valor, em m/s^2, igual a

a) 2

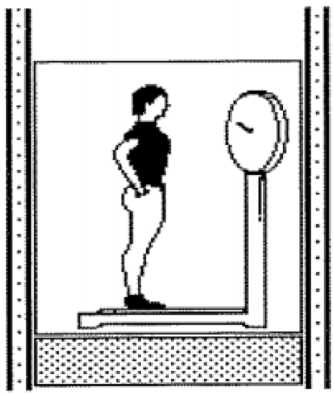
b) 4

c) 5

d) 7

e) 8

48. (CN – 2004)



Uma balança foi colocada dentro de um elevador, conforme mostra a figura acima. Se o elevador executa um movimento de descida com aceleração constante, então a balança registra um peso

a) maior que o marcado fora do elevador.

b) menor que o marcado fora do elevador.

c) igual ao marcado fora do elevador.

d) igual ao dobro do registrado fora do elevador.

e) igual a zero pois não será possível medi-lo.

6. Gabarito sem comentários

1) D
2) B
3) A
4) C
5) D
6) E
7) A
8) C
9) D
10) A
11) C
12) D
13) C
14) D
15) C
16) A
17) B
18) C
19) B
20) A
21) A
22) B
23) A
24) D
25) A
26) C
27) A
28) D
29) A
30) B
31) B
32) C
33) C
34) D
35) C
36) A
37) A
38) B
39) B
40) C
41) C
42) C
43) A
44) C
45) D
46) C
47) B
48) B

7. Lista de exercícios comentada

1. (EsPCEx – 2019)

O sistema de polias, sendo uma fixa e três móveis, encontra-se em equilíbrio estático, conforme mostra o desenho. A constante elástica da mola, ideal, de peso desprezível, é igual a $50\ N/cm$ e a força $\vec{F}$ na extremidade da corda é de intensidade igual a $100\ N$. Os fios e as polias, iguais, são ideais. O valor do peso do corpo X e a deformação sofrida pela mola são, respectivamente,

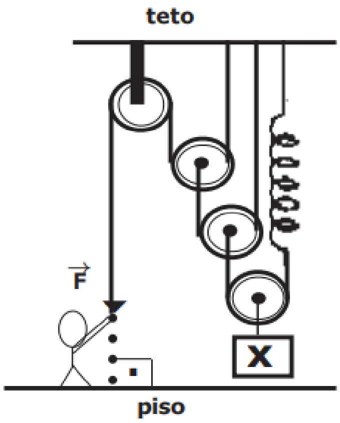
a) 800 N e 16 cm

b) 400 N e 8 cm

c) 600 N e 7 cm

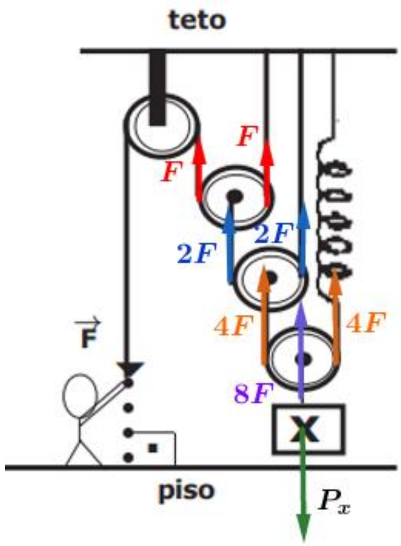
d) 800 N e 8 cm

e) 950 N e 10 cm



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no sistema temos:



Se o sistema está em equilíbrio, então:

$$4F = F_{elas} \text{ e } 8F = P_x$$

Portanto:

$$4F = F_{elas}$$

$$4 \cdot 100 = 50 \cdot \Delta x$$

$$\boxed{\Delta x = 8\ cm}$$

E o peso de X é igual a:

$$8F = P_x$$

$$8 \cdot 100 = P_x$$

$$\boxed{P_x = 800\ N}$$

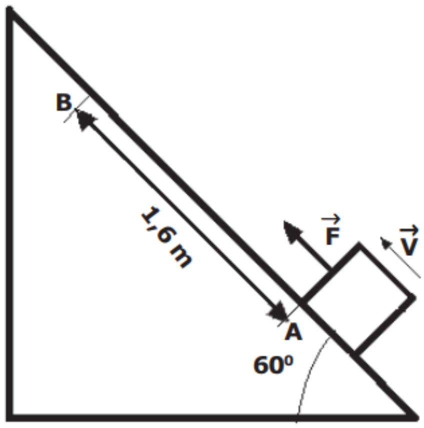
Gabarito: D

---

2. (EsPCEx – 2019/modificada)

No plano inclinado abaixo, um bloco homogêneo encontra-se sob a ação de uma força de intensidade $F = 4\ N$, constante e paralela ao plano. O bloco percorre a distância AB, que é igual a $1{,}6\ m$, ao longo do plano com velocidade constante. Desprezando-se o atrito, então a massa do bloco é dada por:

Dados: adote a aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$, $sen\ 60° = \sqrt{3}/2$ e $\cos 60° = 1/2$.



Desenho Ilustrativo - Fora de Escala

a) $\frac{2\sqrt{3}}{15}\ kg$

b) $\frac{4\sqrt{3}}{15}\ kg$

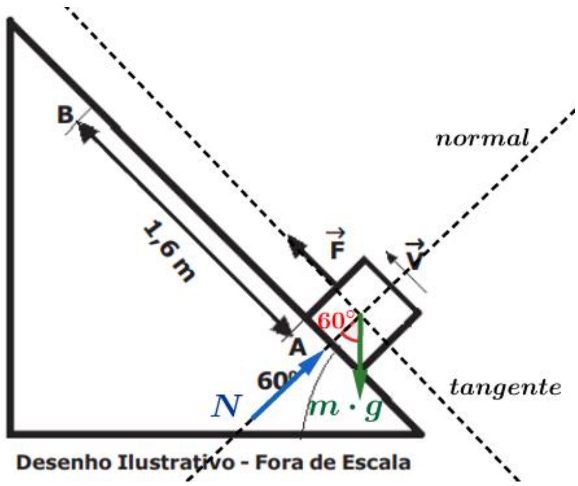
c) $\frac{6\sqrt{3}}{15}\ kg$

d) $\frac{8\sqrt{3}}{15}\ kg$

e) $\frac{10\sqrt{3}}{15}\ kg$

Comentários:

Escrevendo o diagrama de forças no bloco, temos:



Desenho Ilustrativo - Fora de Escala

$$F - m \cdot g \cdot sen(60°) = m \cdot a$$

Como ele está subindo com velocidade constante, então $a = 0$. Portanto:

$$F = m \cdot g \cdot sen(60°)$$

$$4 = m \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

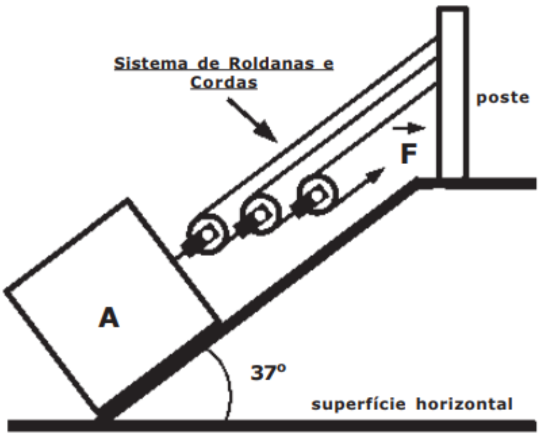
$$m = \frac{4}{5\sqrt{3}} = \frac{4\sqrt{3}}{15}\ kg$$

Gabarito: B

---

3. (EsPCEx – 2017)

Um bloco A de massa $100\ kg$ sobe, em movimento retilíneo uniforme, um plano inclinado que forma um ângulo de $37°$ com a superfície horizontal. O bloco é puxado por um sistema de roldanas móveis e cordas, todas ideais, e coplanares. O sistema mantém as cordas paralelas ao plano inclinado enquanto é aplicada a força de intensidade F na extremidade livre da corda, conforme o desenho abaixo. Todas as cordas possuem uma de suas extremidades fixadas em um poste que permanece imóvel quando as cordas são tracionadas. Sabendo que o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco A e o plano inclinado é de 0,50, a intensidade da força F é



Dados: $sen\ 37° = 0{,}60$ e $cos\ 37° = 0{,}80$

Considere a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$.

a) 125 N

b) 200 N

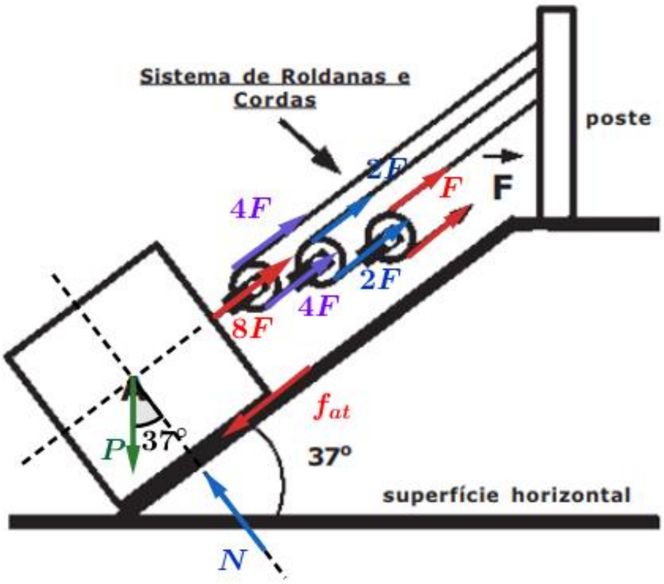
c) 225 N

d) 300 N

e) 400 N

Comentários:

Como o bloco sofre A sobe o plano inclinado em um MRU, então:



Portanto:

$$P \cdot sen\, 37° + f_{at} = 8F$$

$$m \cdot g \cdot sen\, 37° + \mu \cdot N = 8F$$

$$m \cdot g \cdot sen\, 37° + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos 37° = 8F$$

$$100 \cdot 10 \cdot 0{,}6 + 0{,}5 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 0{,}8 = 8F$$

$$\boxed{F = 125\ N}$$

Gabarito: A

---

4. (EsPCEx – 2015)

Um cilindro maciço e homogêneo de peso igual a $1000\ N$ encontra-se apoiado, em equilíbrio, sobre uma estrutura composta de duas peças rígidas e iguais, DB e EA, de pesos desprezíveis, que formam entre si um ângulo de 90°, e estão unidas por um eixo articulado em C. As extremidades A e B estão apoiadas em um solo plano e horizontal. O eixo divide as peças de tal modo que $DC = EC$ e $CA = CB$, conforme a figura abaixo.

Um cabo inextensível e de massa desprezível encontra-se na posição horizontal em relação ao solo, unindo as extremidades D e E das duas peças. Desprezando o atrito no eixo articulado e o atrito das peças com o solo e do cilindro com as peças, a tensão no cabo DE é:

Dados: $\cos 45° = sen\ 45° = \sqrt{2}/2$ e $\vec{g}$ é a aceleração da gravidade.

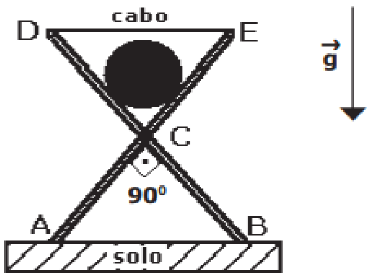
a) $200\ N$

b) $400\ N$

c) $500\ N$

d) $600\ N$

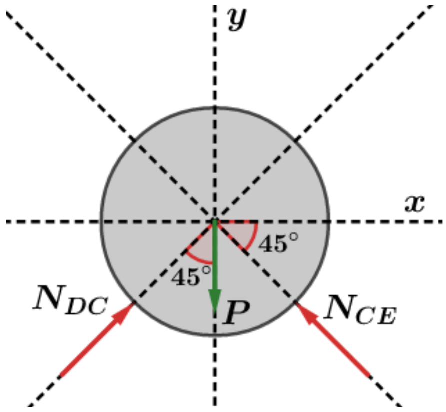
e) $800\ N$



desenho ilustrativo-fora de escala

Comentários:

Escrevendo as forças no cilindro, temos:



Analisando a simetria do problema, podemos decompor as forças na direção x e y, temos:

a) Na direção x:

$$N_{CE} \cdot \cos 45° = N_{DC} \cdot sen\ 45°$$

$$N_{CE} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = N_{DC} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\boxed{N_{CE} = N_{DC}}$$

A partir de agora, chamaremos N_{CE} e N_{DC} de N.

b) Na direção y:

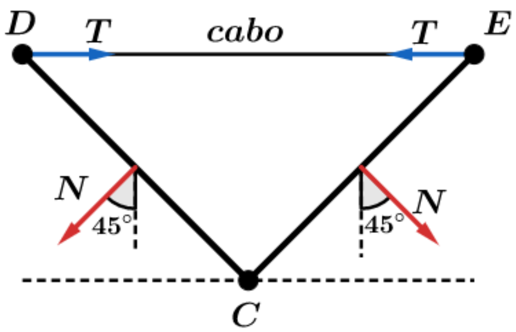
$$N_{CE} \cdot sen\ 45° + N_{DC} \cdot \cos 45° = P$$

$$N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = P$$

$$N \cdot \sqrt{2} = P$$

$$\boxed{N = \frac{P}{\sqrt{2}}}$$

Na estrutura, temos:



Na direção da tração, para que a barra DC permaneça em equilíbrio, devemos ter:

$$N \cdot sen\,45° = T$$

$$T = \frac{P}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$T = \frac{P}{2}$$

$$T = \frac{1000}{2}$$

$$\boxed{T = 500\ N}$$

Gabarito: C

---

5. (EsPCEx – 2014)

Uma pessoa de massa igual a $80\ kg$ está dentro de um elevador sobre uma balança calibrada que indica o peso em newtons, conforme desenho abaixo. Quando o elevador está acelerado para cima com uma aceleração constante de intensidade $a = 2{,}0\ m/s^2$, a pessoa observa que a balança indica o valor de

Dado: intensidade da aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$

a) $160\ N$

b) $640\ N$

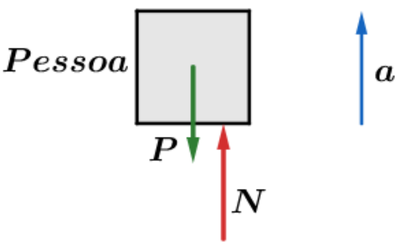
c) $800\ N$

d) $960\ N$

e) $1600\ N$

Comentários:

Quando o elevador está subindo com aceleração a, devemos ter que:



$$N - P = m \cdot a$$

$$N = m \cdot g + m \cdot a$$

$$N = m(a + g)$$

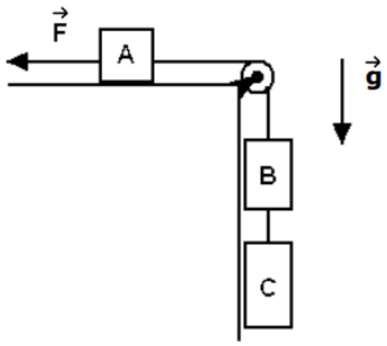
$$N = 80(2 + 10)$$

$$\boxed{N = 960\ N}$$

Gabarito: D

6. (EsPCEx – 2010)

Três blocos A, B e C de massas $4\ kg$, $6\ kg$ e $8\ kg$, respectivamente, são dispostos, conforme representado no desenho abaixo, em um local onde a aceleração da gravidade g vale $10\ m/s^2$.

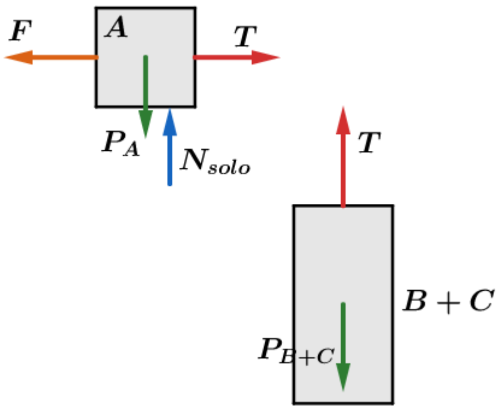


Desprezando todas as forças de atrito e considerando ideais as polias e os fios, a intensidade da força horizontal $\vec{F}$ que deve ser aplicada ao bloco A, para que o bloco C suba verticalmente com uma aceleração constante de $2\ m/s^2$, é de:

a) $100\ N$ b) $112\ N$ c) $124\ N$ d) $140\ N$ e) $176\ N$

Comentários:

Considerando os blocos B e C como um só, já que não faremos nenhuma análise entre eles, então:



$$F - T = m_A \cdot a$$

$$T - (m_B + m_C) \cdot g = (m_B + m_C) \cdot a$$

Somando as equações, temos:

$$F - (m_B + m_C) \cdot g = (m_A + m_B + m_C) \cdot a$$

Substituindo valores, temos:

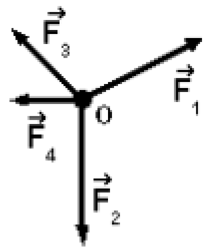
$$F - (6 + 8) \cdot 10 = (4 + 6 + 8) \cdot 2$$

$$\boxed{F = 176\ N}$$

Gabarito: E

7. **(EsPCEx – 2009)**

Uma partícula “O” descreve um movimento retilíneo uniforme e está sujeito à ação exclusiva das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$, conforme o desenho abaixo:



Podemos afirmar que

a) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_4$

b) $\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_2$

c) $\vec{F}_1 - \vec{F}_2 + \vec{F}_4 = -\vec{F}_3$

d) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_4 = \vec{F}_3$

e) $\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_1$

Comentários:

Se a partícula descreve um MRU, então a força resultante sobre ela é nula. Ou seja:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0}$$

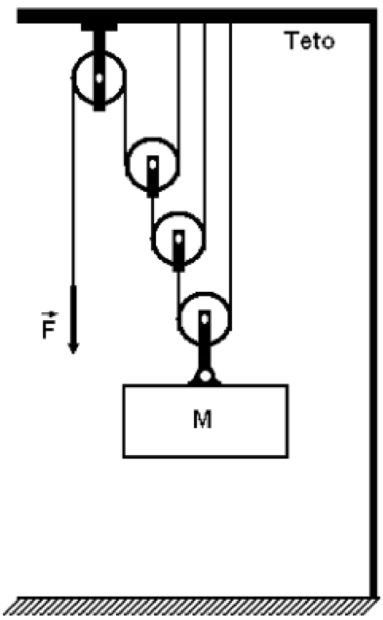
Portanto:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_4$$

Gabarito: A

8. **(EsPCEx – 2009)**

Um trabalhador utiliza um sistema de roldanas conectadas por cordas para elevar uma caixa de massa $M = 60\ kg$. Aplicando uma força $\vec{F}$ sobre a ponta livre da corda conforme representado no desenho abaixo, ele mantém a caixa suspensa e em equilíbrio. Sabendo que as cordas e as roldanas são ideais e considerando a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$, o módulo da força $\vec{F}$ vale



a) $10\ N$

b) $50\ N$

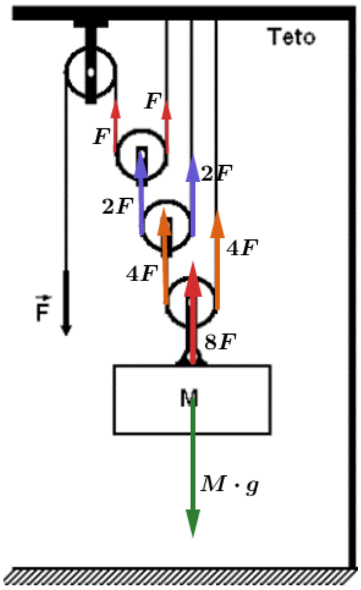
c) $75\ N$

d) $100\ N$

e) $150\ N$

Comentários:

De acordo com o diagrama de forças, temos:



$$8F - M \cdot g = 0$$

$$F = \frac{M \cdot g}{8}$$

$$F = \frac{60 \cdot 10}{8}$$

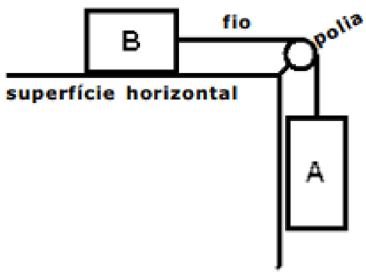
$$\boxed{F = 75\ N}$$

Gabarito: C

---

9. (EsPCEx – 2008)

Dois blocos A e B, de massas $M_A = 5\ kg$ e $M_B = 3\ kg$ estão dispostos conforme o desenho abaixo em um local onde a aceleração da gravidade vale $10\ m/s^2$ e a resistência do ar é desprezível. Sabendo que o bloco A está descendo com uma velocidade constante e que o fio e a polia são ideais, podemos afirmar que a intensidade da força de atrito entre o bloco B e a superfície horizontal é de



a) 0 N

b) 30 N

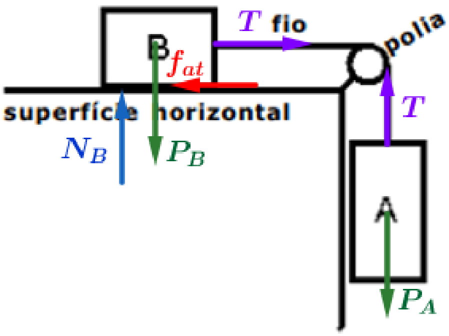
c) 40 N

d) 50 N

e) 80 N

Comentários:

Se o bloco a está descendo com velocidade constante e o fio é inextensível, então o bloco B está se movendo para a direita, também com velocidade constante (aceleração na direção do movimento é nula) e o atrito entre o bloco e a superfície horizontal é contrária ao movimento. Portanto, o diagrama de forças em cada bloco é dado por:



Portanto:

$$T - P_A = 0$$
$$T - f_{at} = 0$$

Logo:

$$f_{at} = P_A$$
$$f_{at} = m_A \cdot g$$
$$f_{at} = 5 \cdot 10$$
$$\boxed{f_{at} = 50\ N}$$

Gabarito: D

---

10. (EsPCEx – 2008)

Dois blocos A e B, de massas respectivamente iguais a 8 kg e 6 kg, estão apoiados em uma superfície horizontal e perfeitamente lisa. Uma força horizontal, constante e de intensidade F = 7 N, é aplicada no bloco A, conforme a figura abaixo.

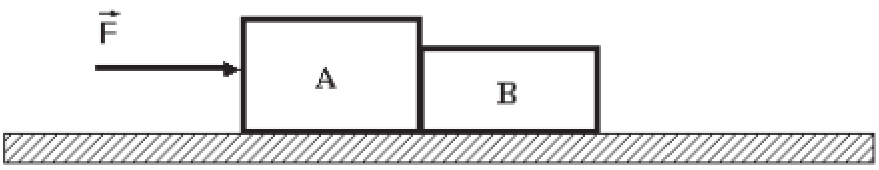


Figura Ilustrativa

Nessas condições, podemos afirmar que o bloco B adquire uma aceleração de

a) $0{,}50\ m/s^2$

b) $0{,}87\ m/s^2$

c) $1{,}16\ m/s^2$

d) $2{,}00\ m/s^2$

e) $3{,}12\ m/s^2$

Comentários:

Como os blocos estão em contato, ao empurrar o bloco A com uma força F, o bloco B será empurrado pela força de contato F_{AB}, mas em todo o seu deslocamento, ele sempre está junto de A, ou seja, ele terá o mesmo deslocamento, nos mesmos intervalos de tempo, ou seja, ele terá a mesma aceleração de A. Portanto, podemos trabalhar os dois blocos grudados, como um único bloco $A + B$. Aplicando a segunda lei de Newton na horizontal, temos:

$$F = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$7 = (8 + 6) \cdot a$$

$$a = 0{,}5\ m/s^2$$

Gabarito: A

---

11. (EsPCEx – 2005)

Um bloco parte da posição 1 e desloca-se em movimento retilíneo uniformemente variado sobre uma superfície horizontal com atrito até parar na posição 3, conforme a figura abaixo.

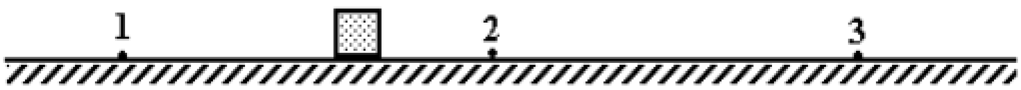
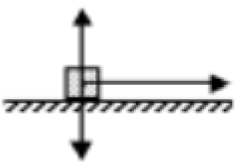


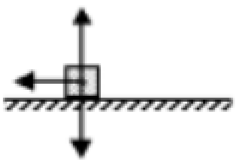
Figura ilustrativa

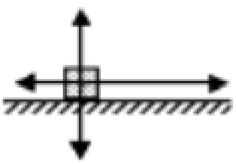
Desprezando a resistência do ar, o diagrama que melhor representa todas as forças que atuam sobre o bloco, quando ele está passando pelo ponto 2, é:

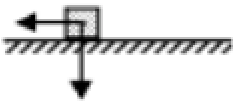
Obs.: Todas as forças estão representadas no centro de massa do bloco.

a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

Comentários:

Se o bloco está realizando um MRUV e para no ponto 3, ele precisa realizar um movimento retardado, isto é, velocidade contrária a aceleração. Se ele está se movendo de 1 para 3, então a aceleração deve estar no sentido oposto, na direção horizontal. Portanto, já descartamos as alternativas a), b) e d), que possuem força resultante para a direita, ou seja, aceleração para a direita.

A diferença entre as letras c) e e) é justamente a força de contato entre a superfície e o bloco que não está escrita na letra e). Portanto, a alternativa correta é a letra c).

Gabarito: C

---

12. (EsPCEx – 2004)

Um bloco retangular M de massa $18\ kg$ é puxado com uma força F de $126\ N$ ao longo de um piso segundo uma trajetória retilínea e plana. Sabendo que o bloco se desloca com uma velocidade constante, o valor do coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso é:

Dados: Considere a intensidade da aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$ e despreze a resistência do ar.

a) 1,2

b) 1,1

c) 0,9

d) 0,7

e) 0,4

Comentários:

Se o bloco é puxado com uma força F ao longo de uma superfície plana e horizontal, e ele possui velocidade constante, ou seja, aceleração nula, temos que:

$$F - f_{at} = 0$$

$$F = f_{at}$$

Na direção perpendicular ao plano horizontal, temos que:

$$N = P$$

Portanto, o atrito cinético entre o plano e o bloco é de:

$$F = \mu \cdot N$$

$$F = \mu \cdot P$$

$$126 = \mu \cdot 18 \cdot 10$$

$$\boxed{\mu = 0{,}7}$$

Observação: a questão não menciona se o plano é horizontal ou inclinado. Aqui consideramos que ele é horizontal, isto é, a aceleração da gravidade é perpendicular ao plano. Se ele fosse inclinado, o bloco poderia ser puxado com uma força F paralela ao plano, o bloco poderia desenvolver um MRU ao longo do plano, mas a análise do exercício seria completamente diferente.

Nesse novo caso, teríamos que decompor a força peso nas direções normal e tangente ao plano, e fazer mesma análise das forças, sabendo que o corpo está descrevendo um MRUV ao longo do plano.

Gabarito: D

---

13. (EsPCEx – 2004)

Na figura abaixo, um bloco A de massa 3kg está ligado a um bloco B de massa 2kg através de um fio e polia ideais e a resistência do ar é desprezível. Sabendo que o conjunto se encontra em equilíbrio estático, podemos afirmar que o módulo da força de atrito entre o bloco A e o plano inclinado, em N, vale:

Dados: Considere a intensidade da aceleração da gravidade igual a 10 m/s², $\cos 30° = 0{,}9$ e $sen\ 30° = 0{,}5$.

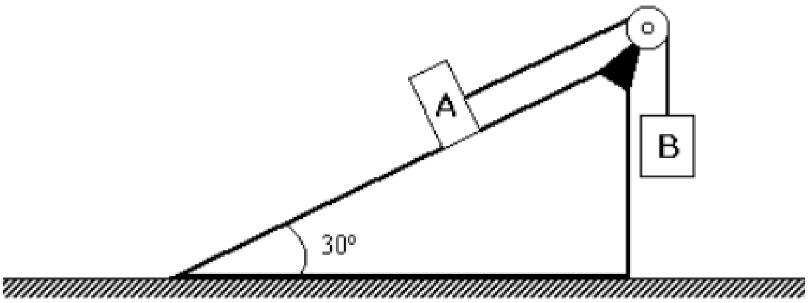
a) 2

b) 4

c) 5

d) 7

e) 8



Comentários:

Inicialmente, vamos calcular a força de tração no fio, dado que B está em repouso e o valor da componente da força peso de A na direção do plano inclinado:

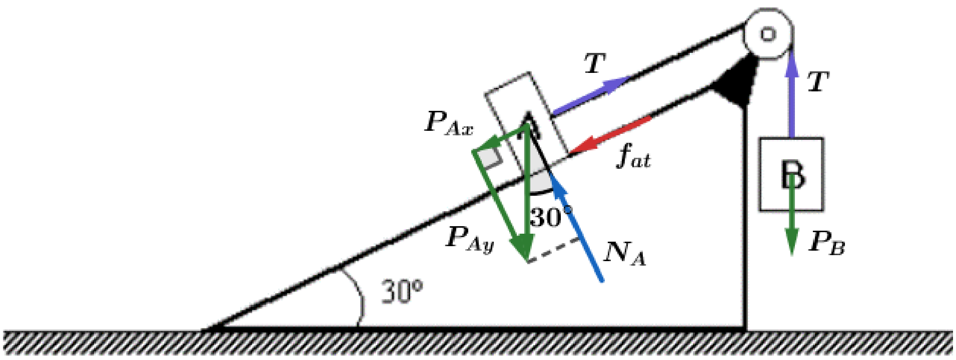
$$T = P_B = 2 \cdot 10 = 20\ N$$

$$P_{A_x} = P_A \cdot sen\ 30°$$

$$P_{A_x} = 3 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}$$

$$\boxed{P_{A_x} = 15\ N}$$

Note que no bloco A, a tração está para cima no plano inclinado e vale 20 N, enquanto P_{A_x} está para baixo, com valor de 15 N. Assim, a tendência do bloco A é subir o plano inclinado. Portanto, a força de atrito entre A e o plano é para baixo, contrária a tendência de movimento e vale:



$$f_{at} + P_{A_x} = T$$

$$f_{at} + 15 = 20$$

$$\boxed{f_{at} = 5\ N}$$

Gabarito: C

14. (EsPCEx – 2003)

No sistema representado na figura abaixo, em equilíbrio estático, as polias e os fios são ideais e a resistência do ar é desprezível. A aceleração da gravidade local é igual a g, a massa do bloco I vale M e é o triplo da massa do bloco II.

Dados: $\cos 30° = \sqrt{3}/2$ e $sen\ 30° = 1/2$.

Neste sistema, a força de atrito entre o bloco I e a superfície do plano inclinado vale

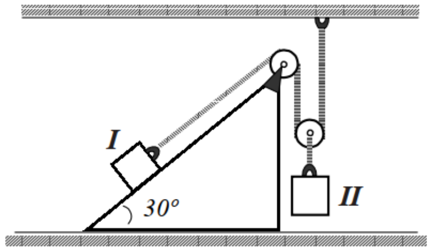
a) $4Mg$

b) $7Mg/3$

c) $7Mg$

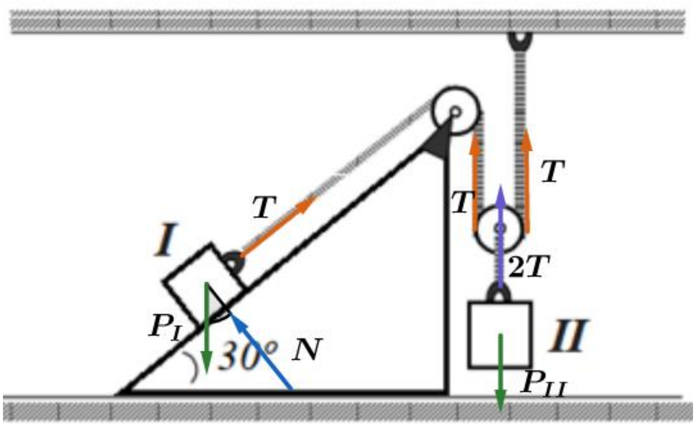
d) $Mg/3$

e) Mg



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças sem o atrito, para analisarmos a tendência do movimento, temos:



Assim, como o sistema está em equilíbrio estático, sem colocarmos ainda o atrito, pois vamos analisar a tendência do movimento, temos:

$$2T = P_{II}$$

$$2T = \frac{M}{3} \cdot g$$

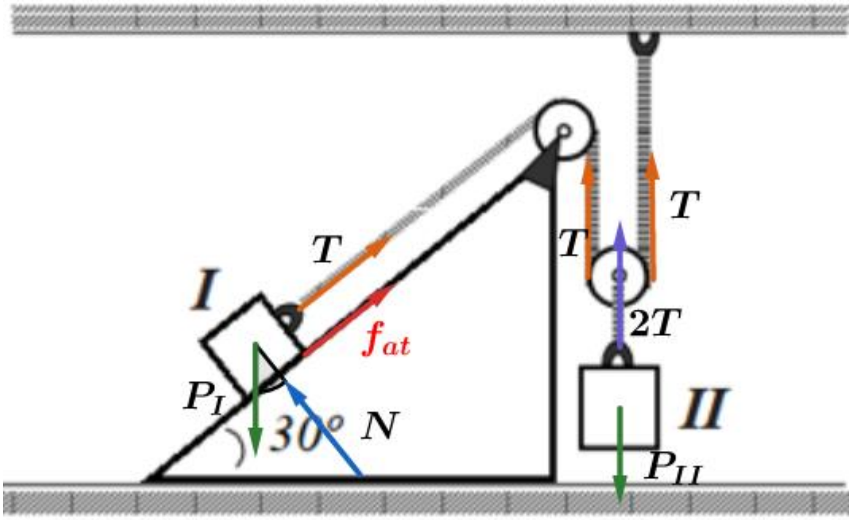
Lembrando que $M_I = M = 3 \cdot M_{II}$. Logo:

$$\boxed{T = \frac{M \cdot g}{6}}$$

No bloco I, temos:

$$P_{I_x} = M \cdot g \cdot sen\ 30° = \frac{M \cdot g}{2}$$

Logo, o peso de I é maior que a tração no fio, ou seja, a tendência do movimento é de descer o plano. Então, temos o seguinte diagrama de forças:



Logo:

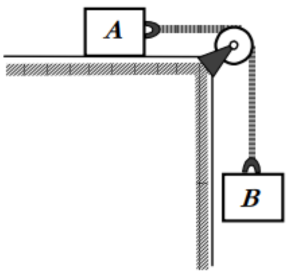
$$T + f_{at} = P_I \cdot sen\ 30°$$
$$\frac{M \cdot g}{6} + f_{at} = \frac{M \cdot g}{2}$$
$$\boxed{f_{at} = \frac{M \cdot g}{3}}$$

Gabarito: D

---

15. (EsPCEx – 2002)

Na figura abaixo, as massas A e B são iguais a 2 kg, cada uma, e estão ligadas por um fio e uma roldana ideais. Sabendo que todos os atritos são desprezíveis e que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2, podemos afirmar que a tração no fio ideal, em newtons, é de



a) 2

b) 5

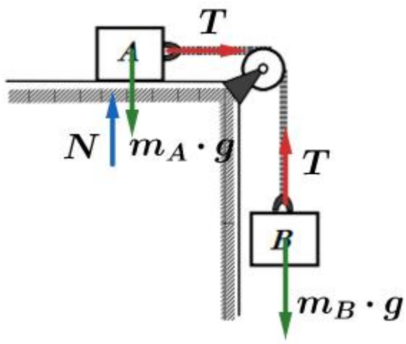
c) 10

d) 20

e) 40

Comentários:

Pelo diagrama de forças, temos:



$$m_B \cdot g - T = m_B \cdot a \ (eq. 1)$$
$$T = m_A \cdot a \ (eq. 2)$$

Substituindo a aceleração na equação 1, temos:

$$m_B \cdot g - T = m_B \cdot \frac{T}{m_A}$$
$$2 \cdot 10 - T = 2 \cdot \frac{T}{2}$$
$$\boxed{T = 10\ N}$$

Gabarito: C

---

16. (EsPCEx – 2002)

No sistema apresentado na figura abaixo, o fio e as polias são ideais, todos os atritos são desprezíveis e o módulo da força $\vec{F}$ que atua sobre o bloco A vale $550\ N$. Considerando a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$ e sabendo que as massas de A e de B valem $20\ kg$ e $15\ kg$, respectivamente, a aceleração do bloco B, em m/s^2, é igual a

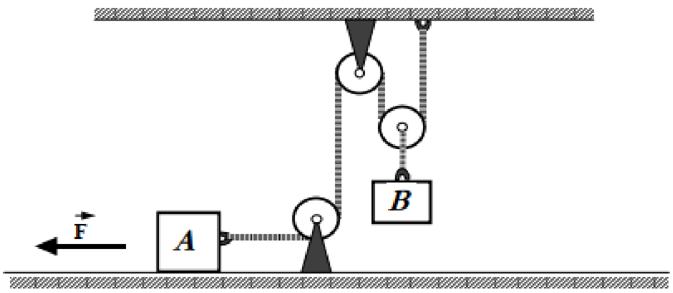
a) 10

b) 15

c) 20

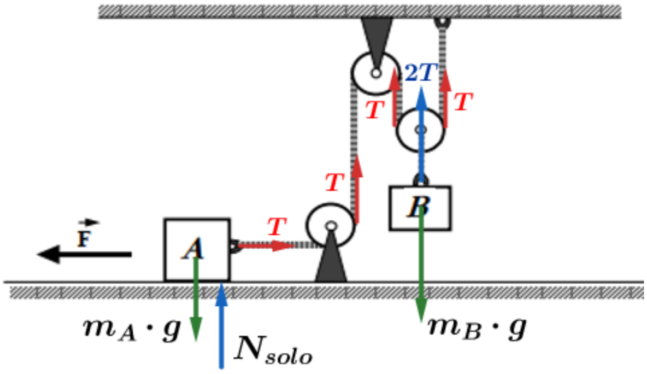
d) 25

e) 30



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças, temos:



$$F - T = m_A \cdot a_A$$

Para o bloco B, temos:

$$2T - m_B \cdot g = m_B \cdot a_B$$

Do vínculo geométrico da polia móvel, temos:

$$a_B = \frac{a_A}{2}$$

Portanto:

$$\begin{cases} F - T = m_A \cdot 2a_B \\ 2T - m_B \cdot g = m_B \cdot a_B \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2F - 2T = 2 \cdot m_A \cdot 2a_B \\ 2T - m_B \cdot g = m_B \cdot a_B \end{cases}$$

$$2F - m_B \cdot g = 4m_A \cdot a_B + m_B \cdot a_B$$

Substituindo valores, temos:

$$2 \cdot 550 - 15 \cdot 10 = 4 \cdot 20 \cdot a_B + 15 \cdot a_B$$

$$\boxed{a_B = 10\ m/s^2}$$

Gabarito: A

---

17. (EsPCEx – 2001)

Um bloco A de peso P encontra-se em repouso preso a uma mola ideal de constante elástica K sobre um plano inclinado perfeitamente liso conforme a figura abaixo. Nesta situação, o alongamento da mola será de:

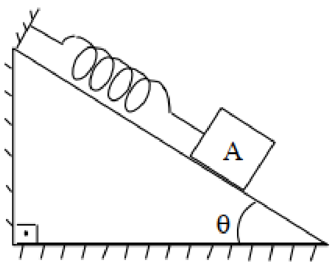
a) $P \cdot \cos\theta\ /K$

b) $P \cdot sen\ \theta/K$

c) $P \cdot tg\ \theta/K$

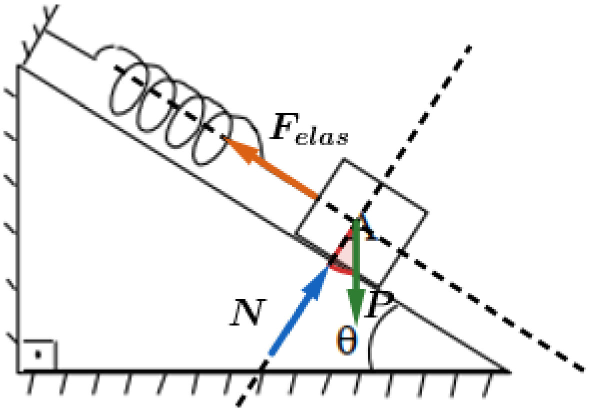
d) $P/(K \cdot sen\ \theta)$

e) $P/(K \cdot \cos\theta)$



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no bloco A, temos:



Se o sistema está em equilíbrio, então a projeção do peso na direção do plano inclinado é igual a força elástica. Portanto:

$$F_{elas} = P_x$$

$$k \cdot \Delta x = P \cdot sen\ \theta$$

$$\boxed{\Delta x = \frac{P \cdot sen\ \theta}{k}}$$

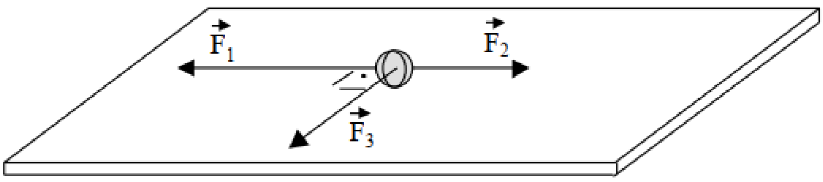
Gabarito: B

---

18. (EsPCEx – 2001)

Uma bola de $0{,}5\ kg$ encontra-se sobre um plano horizontal perfeitamente liso e está submetida à ação de três forças horizontais que passam pelo seu centro de massa, conforme a figura abaixo.

Dados: $|\vec{F}_1| = 6\ N$, $|\vec{F}_1| > |\vec{F}_2|$ e $|\vec{F}_3| = 3\ N$. Despreze a resistência do ar.



Sabendo que a bola adquire uma aceleração resultante de módulo $10\ m/s^2$, podemos concluir que a intensidade da força $\vec{F}_2$ é:

a) 4 N

b) 3 N

c) 2 N

d) 1 N

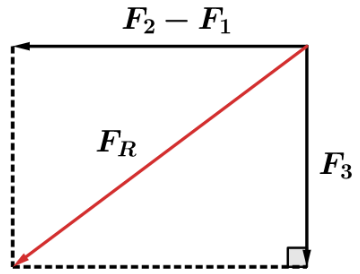
e) 5 N

Comentários:

A força resultante sobre a bola é dada por:

$$F_R = m \cdot a$$
$$F_R = 0{,}5 \cdot 10$$
$$\boxed{F_R = 5\ N}$$

Dada a disposição dos vetores, temos:



$$(F_1 - F_2)^2 + F_3^2 = F_R^2$$
$$(6 - F_2)^2 + 3^2 = 5^2$$
$$(6 - F_2)^2 = 4^2$$
$$(6 - F_2)^2 - 4^2 = 0$$
$$(6 - F_2 - 4)(6 - F_2 + 4) = 0$$
$$F_2 = 2\ N\ ou\ F_2 = 10\ N$$

Como $F_2 < F_1$, então $F_2 = 2\ N$.

Gabarito: C

---

19. (EsPCEx – 2001)

A figura mostra um corpo A de massa $m = 3\ kg$, apoiado em uma parede vertical onde o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a parede vale $\mu_e = 0{,}2$. Então o valor mínimo de $|\vec{F}|$ para mantê-lo em equilíbrio é:

Dado: $g = 10\ m/s^2$

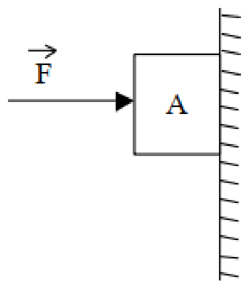
a) 40 N

b) 150 N

c) 120 N

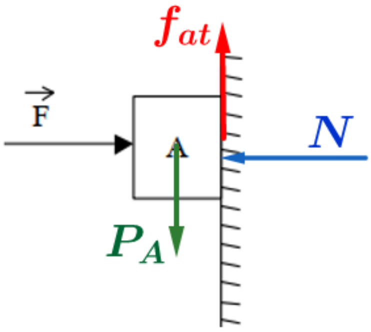
d) 80 N

e) 30 N



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no bloco A, temos:



Para que o bloco permaneça em equilíbrio, devemos ter que:

$$F = N$$
$$P_A = f_{at}$$

Mas, da teoria sabemos que:

$$f_{at} \leq \mu_e \cdot N$$

Portanto:

$$f_{at} \leq \mu_e \cdot F$$

Entretanto, $P_A = f_{at}$, então:

$$P_A \leq \mu_e \cdot F$$

Ou:

$$\mu_e \cdot F \geq P_A$$
$$F \geq \frac{P_A}{\mu_e}$$

Portanto, o menor valor de F é dado por:

$$F = \frac{P_A}{\mu_e}$$

Substituindo valores, temos:

$$F = \frac{3 \cdot 10}{0{,}2}$$
$$\boxed{F = 150\ N}$$

Gabarito: B

---

20. (EsPCEx – 2000)

Um sistema de fios e polias ideais, conforme a figura abaixo, é usado em uma farmácia para levar medicamentos do depósito para a loja. A aceleração da gravidade vale $10\ m/s^2$, e o atrito com o ar é desprezível. O módulo da força $\vec{F}$ que o farmacêutico deve aplicar ao sistema para que os medicamentos de massa $800\ g$ subam com velocidade constante deve ser de

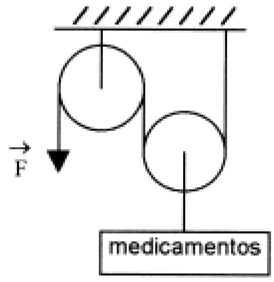
a) $4\ N$

b) $8\ N$

c) $8 \cdot 10\ N$

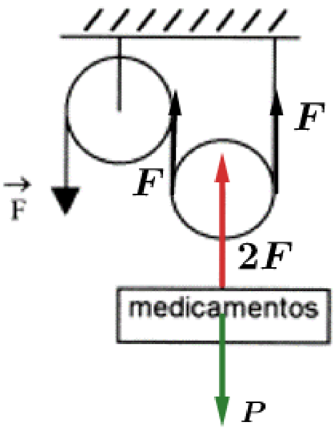
d) $4 \cdot 10^3\ N$

e) $8 \cdot 10^3\ N$



Comentários:

Se os medicamentos estão subindo com velocidade constante, então a aceleração do bloco formado pelos medicamentos é nula, assim como a aceleração da corda. Portanto:



$$2F - M \cdot g = 0$$

$$2F - 0{,}8 \cdot 10 = 0$$

$$\boxed{F = 4\ N}$$

Gabarito: A

---

21. (EsPCEx – 2000)

Dois blocos de massa $m_1 = 10{,}0\ kg$ e $m_2 = 2{,}0\ kg$ interligados por uma mola ideal de constante elástica $50\ N/m$ são colocados em repouso sobre uma superfície plana, horizontal e sem atrito. Logo após terem sido afastados e soltos simultaneamente ao longo do plano horizontal, os corpos de massa m_1 e m_2, adquirem as acelerações $\vec{a}_1$ e $\vec{a}_2$ respectivamente Desprezando o atrito do ar, o valor da razão a_1/a_2 é

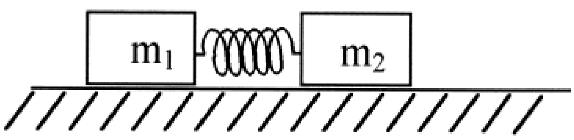
a) 0,2

b) 0,6

c) 1,0

d) 4,2

e) 5,0



Comentários:

Quando o sistema é solto, após a mola sofrer uma distensão, a força que atua nos blocos na horizontal é a força elástica, pois não há atrito entre os blocos e a superfície. Portanto, para cada um dos blocos, temos:

$$\begin{cases} F_{elas} = F_{R_1} = m_2 \cdot a_2 \\ F_{elas} = F_{R_2} = m_1 \cdot a_1 \end{cases}$$

Note que no bloco 1, a força elástica está para a esquerda e, no bloco 2, a força elástica está para a direita. Além disso, como a mola é ideal, tudo se passa como se a força fosse distribuída na mola. Portanto:

$$m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2$$

Substituindo valores, temos:

$$10 \cdot a_1 = 2 \cdot a_2$$

$$\boxed{\frac{a_1}{a_2} = \frac{2}{10} = 0{,}2}$$

Gabarito: A

---

22. (EEAR – 2018)

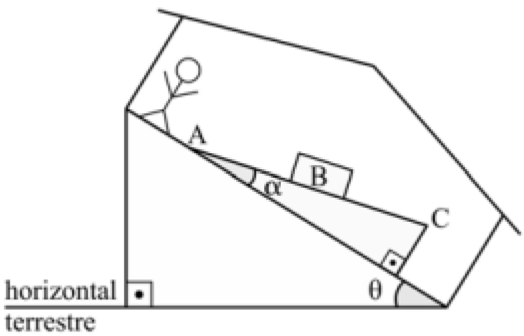
Em alguns parques de diversão há um brinquedo em que as pessoas se surpreendem ao ver um bloco aparentemente subir uma rampa que está no piso de uma casa sem a aplicação de uma força. O que as pessoas não percebem é que o piso dessa casa está sobre um outro plano inclinado que faz com que o bloco, na verdade, esteja descendo a rança em relação a horizontal terrestre. Na figura a seguir, está representada uma rampa com uma inclinação α em relação ao piso da casa e uma pessoa observando o bloco (B) "subindo” a rampa (desloca-se da posição A para a posição C).

Dados:

1) a pessoa, a rampa, o plano inclinado e a casa estão todos em repouso entre si e em relação a horizontal terrestre.

2) considere P = peso do bloco.

3) desconsidere qualquer atrito.



Nessas condições, a expressão da força responsável por mover esse bloco a partir do repouso, para quaisquer valores de θ e α que fazem funcionar corretamente o brinquedo, é dada por

a) $Psen(\theta + \alpha)$

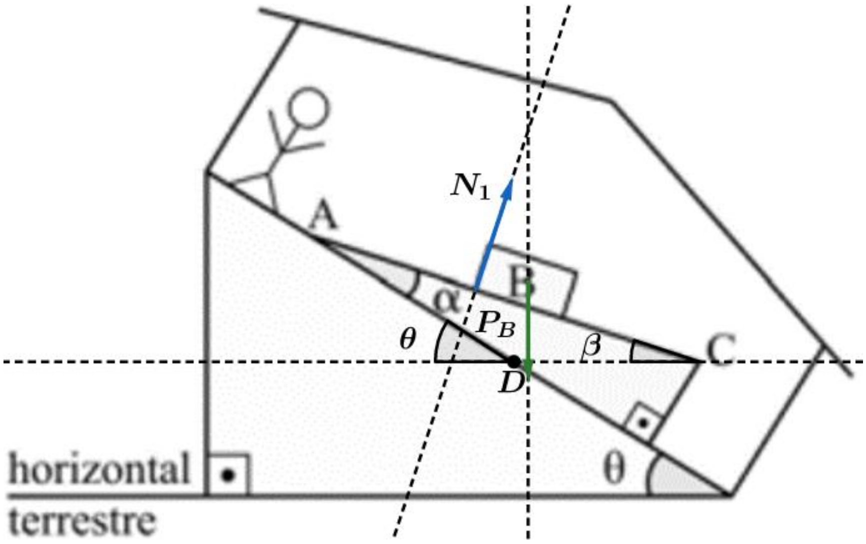
b) $Psen(\theta - \alpha)$

c) $Psen\ \alpha$

d) $Psen\ \theta$

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no bloco B, temos:



Na direção tangente a AC, temos:

$$P_B \cdot sen(\beta) = m_B \cdot a_B = F_{R_{AC}}$$

Na direção normal a AC, temos:

$$N_1 = P_B \cdot \cos(\theta)$$

Da geometria do problema, como θ é ângulo externo no triângulo ACD, temos:

$$\theta = \alpha + \beta$$

Portanto:

$$\boxed{F_{R_{AC}} = P \cdot sen(\theta - \alpha)}$$

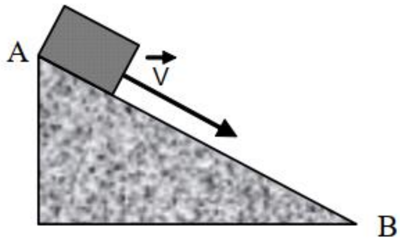
Essa força é responsável pelo movimento do bloco B em relação ao plano AC.

Gabarito: B

---

23. (EEAR – 2018)

Um bloco de massa $m = 5\ kg$ desliza pelo plano inclinado, mostrado na figura abaixo, com velocidade constante de $2\ m/s$. Calcule, em Newtons, a força resultante sobre o bloco entre os pontos A e B.



a) zero

b) 7,5 N

c) 10,0 N

d) 20,0 N

Comentários:

Se o bloco se move com velocidade constante ao longo do plano inclinado, então a resultante nessa direção é nula. Como na direção perpendicular do corpo também não há movimento, então a força resultante sobre o bloco deve ser nula.

Para que o bloco se mova ao longo do plano inclinado com velocidade constante, muito provavelmente deve haver atrito entre o bloco e o plano inclinado.

Gabarito: A

---

24. (EEAR – 2017)

Um trem de 200 toneladas consegue acelerar a $2\ m/s^2$ Qual a força, em newtons, exercida pelas rodas em contato com o trilho para causar tal aceleração

a) $1 \cdot 10^5$

b) $2 \cdot 10^5$

c) $3 \cdot 10^5$

d) $4 \cdot 10^5$

Comentários:

Se a massa do corpo é de 200 toneladas, isto é, $200 \cdot 10^3\ kg$, temos:

$$F_R = m \cdot a$$

$$F_R = 200 \cdot 10^3 \cdot 2$$

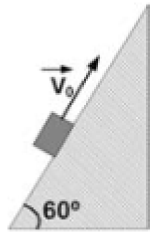
$$\boxed{F_R = 4 \cdot 10^5\ N}$$

Gabarito: D

---

25. (EEAR – 2016)

Um plano inclinado forma um ângulo de 60° com a horizontal. Ao longo deste plano é lançado um bloco de massa 2 kg com velocidade inicial v_0, como indicado na figura. Qual a força de atrito, em N, que atua sobre o bloco para fazê-lo parar? (Considere o coeficiente de atrito dinâmico igual a 0,2)



a) 2

b) 3

c) 4

d) 5

Comentários:

A força de atrito cinético é dada por:

$$f_{at} = \mu \cdot N$$

Em que $N = m \cdot g \cdot \cos 60°$, então:

$$f_{at} = 0{,}2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}$$

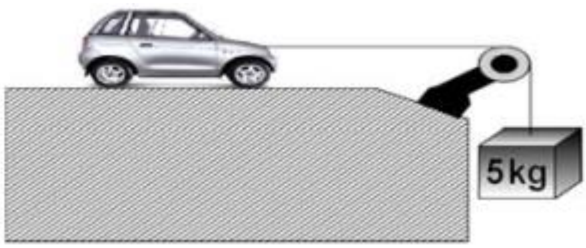
$$\boxed{f_{at} = 2\ N}$$

Gabarito: A

---

26. (EEAR – 2016)

Um carrinho é puxado em um sistema sem atrito por um fio inextensível numa região de aceleração gravitacional igual a 10 m/s², como mostra a figura.



Sabendo que o carrinho tem massa igual a 200 g, sua aceleração, em m/s², será aproximadamente:

a) 12,6

b) 10

c) 9,6

d) 8

Comentários:

Escrevendo o diagrama de forças nos corpos, temos:

$$F - T = m_{Carro} \cdot a$$
$$T - m \cdot g = m \cdot a$$
$$F - m \cdot g = m_{Carro} \cdot a + m \cdot a$$
$$a = \frac{F - m \cdot g}{m_{Carro} + m}$$
$$a =$$

Gabarito: C

---

27. (EEAR – 2016)

O personagem Cebolinha, na tirinha abaixo, vale-se de uma Lei da Física para executar tal proeza que acaba causando um acidente. A lei considerada pelo personagem é:

a) 1ª Lei de Newton: Inércia.

b) 2ª Lei de Newton: $F = m \cdot a$.

c) 3ª Lei de Newton: Ação e Reação.

d) Lei da Conservação da Energia.

Comentários:

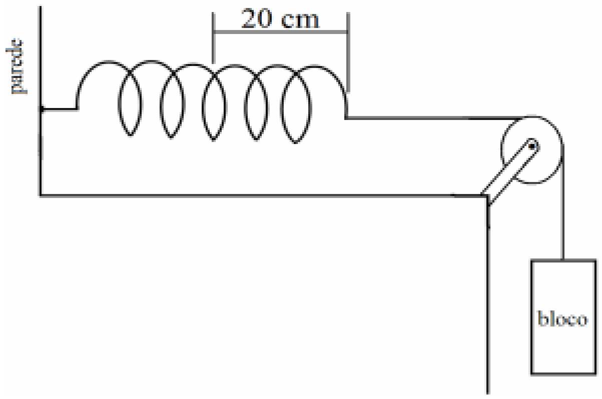
A lei da Física em questão é a primeira lei de Newton, o princípio da Inércia, pois ao tirar a toalha da mesa, Cebolinha esquece que a toalha tenderia a manter seu movimento e acerta a própria mãe.

Gabarito: A

---

28. (EEAR – 2015)

Uma mola está presa à parede e ao bloco de massa igual a $10\,kg$. Quando o bloco é solto a mola distende-se $20\,cm$ e mantém-se em repouso, conforme a figura mostrada a seguir. Admitindo o módulo aceleração da gravidade igual a $10\,m/s^2$, os atritos desprezíveis e o fio inextensível, determine, em N/m, o valor da constante elástica da mola.



a) 5

b) 20

c) 200

d) 500

Comentários:

Quando o sistema já atingiu o equilíbrio, a força elástica na mola é igual a tração no fio. Por outro lado, no bloco, a força peso deve ser igual a tração no fio. Então:

$$\begin{cases} F_{elas} = T_{fio} \\ T_{foi} = P_{bloco} \end{cases}$$

Portanto:

$$F_{elas} = P_{bloco}$$

$$k \cdot \Delta x = m \cdot g$$

Substituindo valores, temos:

$$k \cdot \frac{20}{100} = 10 \cdot 10$$

$$\boxed{k = 500\,N/m}$$

Gabarito: D

---

29. (EEAR – 2015)

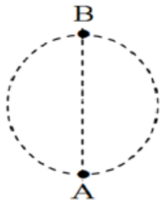
Uma partícula de massa igual a $500\,g$ está ligada por um fio de massa desprezível ao centro da trajetória e executa M.C.U. em um plano vertical, ou seja, perpendicular ao solo, descrevendo uma circunferência de raio igual a $10\,m$. Sabe-se que, a partícula ao passar pelo ponto A apresenta uma velocidade angular de $1\,rad/s$. Determine a tração no fio, em N, quando a partícula estiver exatamente no ponto B, considerando o fio ideal, o módulo da aceleração da gravidade no local igual a $10\,m/s^2$ e o ponto B exatamente no ponto mais alto da trajetória. Todo movimento foi observado por um observador fixo no solo.

a) 0,0

b) 0,8

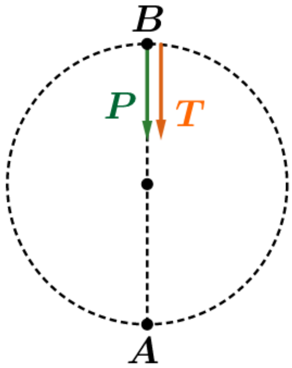
c) 6,4

d) 11,0



Comentários:

O bloco executa um MCU com velocidade angular constante de módulo 1 rad/s e raio igual a 10. No ponto B, temos o seguinte diagrama de forças:



A resultante na direção do centro da trajetória circular no ponto B é:

$$P + T = R_{cp}$$

Se conhecemos a velocidade e o raio, então a resultante centrípeta pode ser calculada como:

$$P + T = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Substituindo valores, temos:

$$\frac{500}{1000} \cdot 10 + T = \frac{500}{1000} \cdot 1^2 \cdot 10$$

$$\boxed{T = 0{,}0\ N}$$

Gabarito: A

---

30. (EEAR – 2014)

Na figura a seguir o bloco A, de massa igual a 6 kg, está apoiado sobre um plano inclinado sem atrito. Este plano inclinado forma com a horizontal um ângulo de 30°. Desconsiderando os atritos, admitindo que as massas do fio e da polia sejam desprezíveis e que o fio seja inextensível, qual deve ser o valor da massa, em kg, do bloco B para que o bloco A desça o plano inclinado com uma aceleração constante de 2 m/s^2.

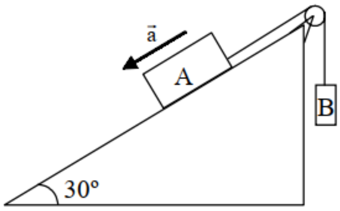
Dado: aceleração da gravidade local $= 10\ m/s^2$.

a) 0,5

b) 1,5

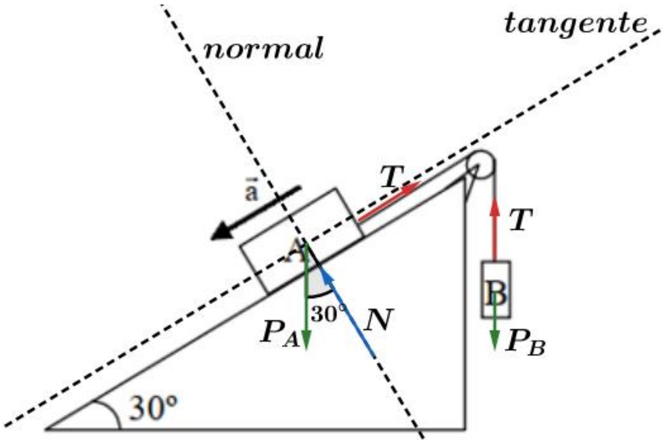
c) 2,0

d) 3,0



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças, temos:



Para o bloco A na direção tangente, temos:

$$P_A \cdot sen(30°) - T = m_A \cdot a \ (eq.1)$$

Na direção normal, temos:

$$P_A \cdot \cos(30°) = N$$

Para o bloco B, temos:

$$T - P_B = m_B \cdot a \ (eq.2)$$

Somando (1) com (2), vem:

$$P_A \cdot sen(30°) - P_B = m_A \cdot a + m_B \cdot a$$

Substituindo valores podemos encontrar o valor de m_B:

$$6 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} - m_B \cdot 10 = 6 \cdot 2 + m_B \cdot 2$$

$$30 - 12 = 12 \cdot m_B$$

$$m_B = \frac{18}{12} = 1{,}5 \ kg$$

Gabarito: B

---

31. (EEAR – 2014)

Em um Laboratório de Física o aluno dispunha de uma régua, uma mola e dois blocos. Um bloco com massa igual a $10 \ kg$, que o aluno denominou de bloco A e outro de valor desconhecido, que denominou bloco B. Ele montou o experimento de forma que prendeu o bloco A na mola e reparou que a mola sofreu uma distensão de $5\ cm$. Retirou o bloco A e ao colocar o bloco B percebeu que a mola distendeu $7{,}5\ cm$. Com base nestas informações, e admitindo a mola ideal e a aceleração da gravidade igual a $10\ m/s^2$, o aluno concluiu corretamente que o bloco B tem massa igual a _______ kg.

Observação: mola ideal é aquela que obedece a Lei de Hooke.

a) 12,5

b) 15,0

c) 125

d) 150

Comentários:

Considerando que ele pendeu os blocos à mola na direção vertical, então a partir da distensão da mola provocada pelo bloco A podemos determinar a constante da mola:

$$F_{elas1} = m_A \cdot g$$
$$k \cdot \Delta x_A = m_A \cdot g$$
$$k \cdot \frac{5}{100} = 10 \cdot 10$$
$$k = \frac{10^4}{5}\ N/m$$

Quando ele repete o procedimento para B, como já conhecemos a constante elástica da mola, podemos determinar a massa desconhecida de B:

$$F_{elas2} = m_B \cdot g$$
$$k \cdot \Delta x_B = m_B \cdot g$$
$$\frac{10^4}{5} \cdot \frac{7{,}5}{100} = m_B \cdot 10$$
$$\boxed{m_B = 15\ kg}$$

Gabarito: B

---

32. (EEAR – 2013)

Assinale a afirmação correta.

a) Todo corpo em equilíbrio está em repouso.

b) Se duas forças produzem o mesmo momento resultante, elas têm intensidades iguais.

c) A resultante das forças que atuam num corpo têm módulo igual ao módulo da soma vetorial dessas forças.

d) Se toda ação corresponde uma reação, todo corpo que exerce uma ação sofre sempre efeitos de duas forças.

Comentários:

a) Incorreta. Um corpo descrevendo um movimento retilíneo uniforme também está em repouso, pois $\vec{F}_R = \vec{0}$, entretanto, o corpo não está em repouso.

b) Incorreta. Embora eu não tenha ensinado o conteúdo de momento de uma força. Futuramente, veremos que o momento de uma força é dado pelo produto da força pelo braço de giração. Portanto, ainda que as forças não sejam iguais, é possível que, dependendo do braço, tenhamos o mesmo momento, mas com forças de intensidades diferentes.

$$M = F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2$$

c) Correta. Força é um vetor e, por isso, toda vez que formos fazer a força resultante, devemos analisar a soma vetorial das forças.

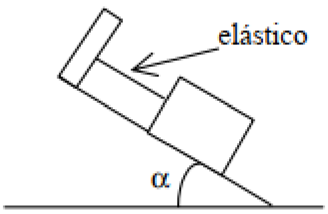
d) Incorreta. De acordo com a terceira lei de Newton, para toda ação existe uma reação, mas elas não estão nos mesmos corpos. Se uma pessoa empurra uma caixa, ela está fazendo uma força na caixa. Por outro lado, a caixa está fazendo uma força a pessoa de mesma intensidade, mesma direção, mas de sentido contrário.

Gabarito: C

---

33. (EEAR – 2013)

Considere um corpo preso na sua parte superior por um elástico, e apoiado num plano inclinado (como mostrado na figura abaixo).



À medida que aumentarmos o ângulo de inclinação a do plano, a força que age no elástico aumenta devido

a) ao crescimento do peso do corpo.

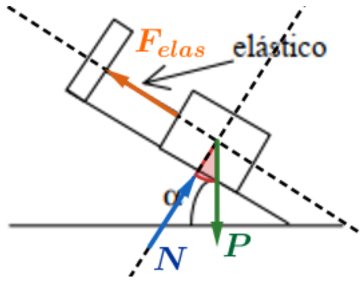
b) ao aumento da quantidade de massa do corpo.

c) à componente do peso do corpo paralela ao plano inclinado tornar-se maior.

d) à componente do peso do corpo, perpendicular ao plano inclinado, aumentar.

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no corpo, temos:



Como visto em teoria, o ângulo em vermelho é a inclinação α do plano. Portanto, a projeção da força peso na direção do plano é:

$$P_x = P \cdot sen\ \alpha$$

Conforme visto em teoria. Se o corpo está em equilíbrio na direção do plano inclinado, então:

$$F_{elas} = P_x$$

$$F_{elas} = P \cdot sen\ \alpha$$

Logo, quando aumentamos α, que é a inclinação do plano, aumentamos P_x, pois a função cresce entre 0° e 90°. Portanto, a força elástica também aumenta quando a inclinação α do plano é elevada.

Gabarito: C

---

34. (EEAR – 2013)

Um bloco de massa M está inicialmente em repouso sobre um plano horizontal fixo. Logo após, uma força, horizontal de intensidade constante e igual a $25\ N$, interage com o bloco, durante 2 segundos, ao final do qual o bloco atinge uma velocidade de $4\ m/s$. Sabendo que a força de atrito, entre o bloco e o plano, é constante e de módulo igual a $5\ N$, calcule o valor de M, em kg.

a) 5,0

b) 10,0

c) 15,0

d) 20,0

Comentários:

Inicialmente o bloco está em repouso e atinge a velocidade de 4 m/s em 2 segundos. Assim podemos determinar a aceleração do corpo:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{4 - 0}{2 - 0} = 2\ m/s^2$$

Se a força aplicada é de 25 N e constante, e o atrito entre o plano e o bloco é constante de 5 N, então a força resultante é dada por:

$$F - f_{at} = M \cdot a$$

Lembrando que o atrito é sempre contrário ao movimento, quando o corpo está em movimento e contrário a tendência de movimento, se o corpo estiver em repouso. Portanto:

$$25 - 5 = M \cdot 2$$

$$\boxed{M = 10{,}0\ kg}$$

Gabarito: B

---

35. (EEAR – 2010)

Considere que o sistema, composto pelo bloco homogêneo de massa M preso pelos fios 1 e 2, representado na figura a seguir está em equilíbrio. O número de forças que atuam no centro de gravidade do bloco é

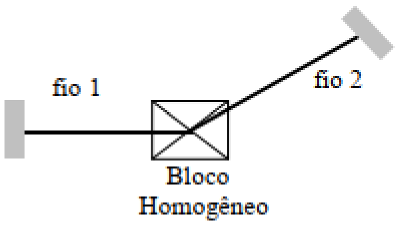
Obs.: Considere que o sistema está na Terra.

a) 1

b) 2

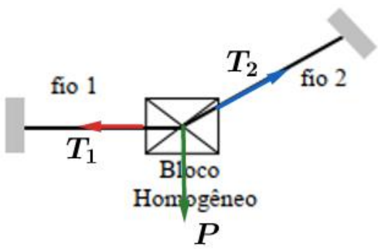
c) 3

d) 5



Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no bloco homogêneo, temos:



Assim, vemos que existem três forças em nosso sistema.

Gabarito: C

---

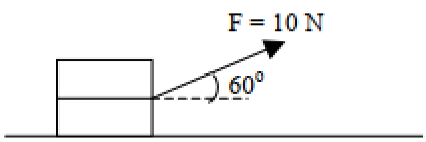
36. (EEAR – 2010)

Um garoto puxa uma corda amarrada a um caixote aplicando uma força de intensidade igual a $10\ N$, como está indicado no esquema a seguir. A intensidade, em N, da componente da força que contribui apenas para a tentativa do garoto em arrastar o caixote horizontalmente, vale

a) 5

b) $5\sqrt{2}$

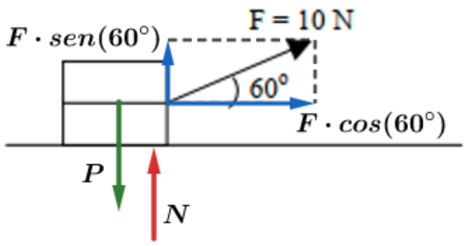
c) $5\sqrt{3}$



d) 10

Comentários:

Decompondo a força F e escrevendo as demais forças, temos:



Note que a componente $F \cdot \cos{(60°)}$ é a única responsável pelo movimento na horizontal. Portanto:

$$F_{R_H} = F \cdot \cos(60°)$$

$$F_{R_H} = 10 \cdot \frac{1}{2}$$

$$\boxed{F_{R_H} = 5\ N}$$

Gabarito: A

---

37. (EEAR – 2009)

Uma força, de módulo F, foi decomposta em duas componentes perpendiculares entre si. Verificou-se que a razão entre os módulos dessas componentes vale $\sqrt{3}$. O ângulo entre esta força e sua componente de maior módulo é de:

a) 30°

b) 45°

c) 60°

d) 75°

Comentários:

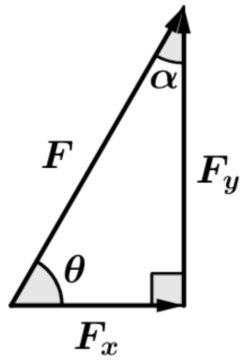
Se decompomos a força F em duas perpendiculares, temos que:

$$F_x^2 + F_y^2 = F^2$$

Se considerarmos que:

$$\frac{F_y}{F_x} = \sqrt{3}$$

Geometricamente, teríamos:



Da trigonometria, sabemos que:

$$tg(\theta) = \frac{F_y}{F_x}$$

$$tg(\theta) = \sqrt{3}$$

Logo:

$$\boxed{\theta = 60°}$$

Note ainda que se $\frac{F_y}{F_x} = \sqrt{3}$, então $F_y = \sqrt{3}F_x$. Como $\sqrt{3} \cong 1{,}7$, então $F_y > F_x$. Logo, o ângulo α desejado é entre F e F_y é igual a 30°.

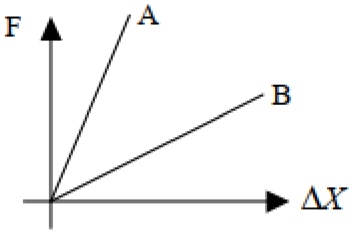
Você poderia ter escolhido a razão $\frac{F_x}{F_y} = \sqrt{3}$ e feito uma análise semelhante a essa que fiz logo acima e chegaríamos no mesmo resultado.

Gabarito: A

---

38. (EEAR – 2009)

O gráfico a seguir representa a deformação de duas molas, A e B, de mesmo comprimento, quando submetidas a esforços dentro de seus limites elásticos. Assim sendo, pode-se concluir, corretamente que, se as molas forem comprimidas igualmente.



a) B lança um corpo de massa m com força maior do que A.

b) A lança um corpo de massa m com força maior do que B.

c) A e B lançam um corpo de massa m com a mesma força.

d) A e B, não conseguem lançar um corpo de massa m dentro de seus limites elásticos.

Comentários:

Pelo gráfico, vemos que a mola A possui constante elástica maior que a de B, já que a inclinação (coeficiente angular) de A é maior que a de B, isto é:

$$k_A > k_B$$

Assim, se as molas forem comprimidas de uma mesma distensão, como a força é dada pela Lei de Hooke $F_{elas} = k \cdot x$, então a mola A proporcionará uma força de maior intensidade:

$$k_A > k_B \ (multiplicando\ a\ inequação\ por\ \Delta x)$$

$$k_A \cdot \Delta x > k_B \cdot \Delta x$$

$$F_{elas_A} > F_{elas_B}$$

Assim, o corpo A lança um bloco de massa m com maior força do que B.

Gabarito: B

---

39. (EEAR – 2008)

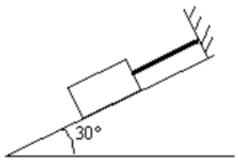
A figura abaixo representa um corpo de massa $80\ kg$. Em repouso, sobre um plano inclinado 30° em relação à horizontal. Considere $g = 10\ m/s^2$, ausência de atritos e a corda inextensível e de massa desprezível. O módulo da tração sobre a corda, para que o corpo continue em equilíbrio é ____N.

a) 200

b) 400

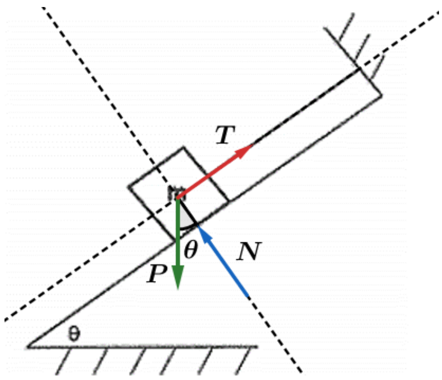
c) 600

d) 800



Comentários:

Fazendo o diagrama de corpo livre, temos:



Portanto, na direção tangente ao plano inclinado, temos:

$$P \cdot sen(\theta) = T$$

$$T = 80 \cdot 10 \cdot sen(30°)$$

$$T = 80 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2}$$

$$\boxed{T = 400\ N}$$

Gabarito: B

---

40. (EEAR – 2008)

Um veículo percorre uma pista de trajetória circular, horizontal, com velocidade constante em módulo. O raio da circunferência é de $160\ m$ e o móvel completa uma volta a cada π segundos, calcule em m/s^2, o módulo da aceleração centrípeta que o veículo está submetido.

a) 160

b) 320

c) 640

d) 960

Comentários:

A aceleração centrípeta de um corpo pode ser calculada pela expressão:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

A partir do período podemos encontrar a velocidade angular do corpo, pois ele realiza um movimento circular, com velocidade constante em módulo, ou seja, ele realiza um MCU. Portanto:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\pi} = 2\ rad/s$$

Logo:

$$a_{cp} = \omega^2 \cdot R$$

$$a_{cp} = 2^2 \cdot 160$$

$$a_{cp} = 4 \cdot 160$$

$$\boxed{a_{cp} = 640\ m/s^2}$$

Gabarito: C

---

41. (EEAR – 2008)

No gráfico que relaciona, a força aplicada em um corpo e a força de atrito entre este e uma superfície perfeitamente horizontal, a região que descreve a força de atrito _________________ pode ser explicada pela _________ Lei de Newton enquanto a que mostra a força de atrito _______ pela ______ Lei de Newton.

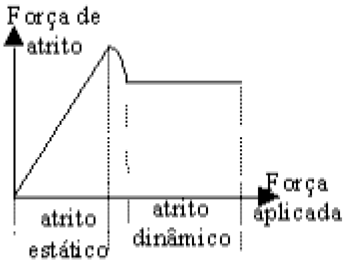
Assinale a alternativa que completa corretamente a afirmação acima.

a) dinâmico; 1ª; estático; 1ª

b) estático; 2ª; dinâmico; 1ª

c) estático; 1ª; dinâmico; 2ª

d) dinâmico; 2ª; estático; 2ª



Comentários:

Conforme visto o gráfico em teoria, enquanto aplicamos uma força na direção tangente à superfície onde o objeto está apoiado e ele não se movimenta, a força de atrito é igual ao módulo da força aplicada e o atrito é do tipo estático, e o bloco permanece em repouso, conforme a primeira lei de Newton.

Por outro lado, quando o bloco entra em movimento, temos o atrito dinâmico entre o bloco e a superfície, e o movimento do bloco é analisado utilizando a 2ª lei de Newton.

Gabarito: C

---

42. (EEAR – 2008)

Dinamômetro é o instrumento que mede a intensidade da força que atua em um objeto, a partir de uma medida de

a) aceleração.

b) velocidade.

c) deformação.

d) temperatura.

Comentários:

O dinamômetro é um instrumento utilizado para medir intensidade de força e ele se baseia na deformação de uma mola, pois, de acordo com a lei de Hooke, ao sofrer uma deformação bem conhecida, podemos encontrar a força sobre a mola, conhecendo bem a constante elástica da mola que constitui o dinamômetro. Caso ainda tenha alguma dúvida sobre o funcionamento do dinamômetro, volte e se apoie na teoria.

Gabarito: C

---

43. (EEAR – 2007)

Um carro desloca-se ao lado de um caminhão, na mesma direção, no mesmo sentido e com mesma velocidade em relação ao solo, por alguns instantes. Neste intervalo de tempo, a velocidade relativa entre carro e caminhão é____________________. Em um instante posterior, a inclinação de um pêndulo dependurado na cabine do caminhão, quando este é freado repentinamente, é explicada pelo motorista do carro a partir da ________________de Newton.

a) nula; 1ª lei

b) nula; 3ª lei

c) positiva; 1ª lei

d) positiva; 3ª lei

Comentários:

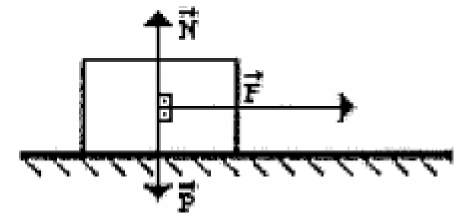
Quando o carro se desloca ao lado do caminhão com a mesma velocidade, em módulo, a velocidade relativa entre eles é nula. Ao frear o caminhão, a tendência do pêndulo era continuar o seu movimento. Entretanto, como o pêndulo está preso ao teto da cabine do caminhão, nós observamos que o pêndulo sofre uma inclinação em relação à vertical, conforme previsto pela primeira lei de Newton, o princípio da Inércia.

Gabarito: A

---

44. (CN – 2019)

Observe a figura abaixo:



Aplica-se uma força ($\vec{F}$) de intensidade constante $10\ N$, sempre na mesma direção e sentido, sobre um corpo, inicialmente em repouso, de massa $2{,}0\ kg$, localizado sobre uma superfície horizontal sem atrito. Sabendo-se que além da força mencionada atuam sobre o corpo somente o seu peso e a normal, calcule, em metros, o deslocamento escalar sofrido pelo corpo ao final de um intervalo de tempo de $4{,}0\ s$ de aplicação da referida força e assinale a opção correta, considerando $g = 10\ m/s^2$ e o corpo um ponto material.

a) 10

b) 16

c) 40

d) 80

e) 200

Comentários:

Ao aplicar apenas a força F na direção horizontal, ela desempenhará o papel de resultante sobre o corpo nessa direção. Portanto:

$$F_R = F$$

$$m \cdot a = F$$

$$2 \cdot a = 10$$

$$\boxed{a = 5\, m/s^2}$$

Como o corpo estava inicialmente em repouso, então a sua função horária é dada por:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$s - s_0 = 0 \cdot t + \frac{5 \cdot t^2}{2}$$

$$\Delta s = \frac{5 \cdot t^2}{2}$$

Para $t = 4{,}0\ s$, o deslocamento é dado por:

$$\Delta s = \frac{5 \cdot 4^2}{2}$$

$$\boxed{\Delta s = 40\, m}$$

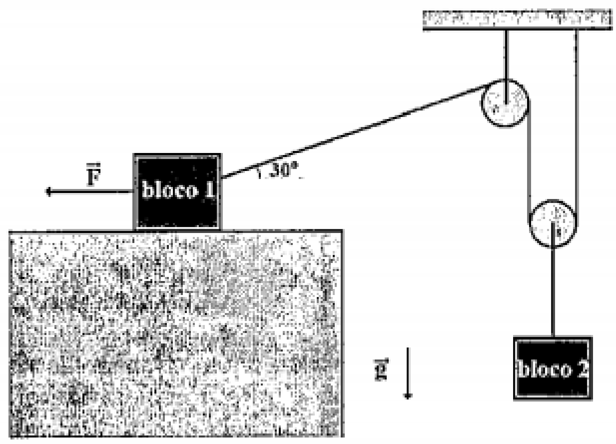
Gabarito: C

---

45. (CN – 2018)

Considere um bloco de $2\ kg$ apoiado sobre uma superfície horizontal cujo atrito é desprezível. Do lado esquerdo é aplicada ao bloco uma força F horizontal de $10\ N$ e do lado direito é ligado a ele uma corda ideal, esticada e inclinada de $30°$ com a horizontal, conforme indicado na figura. A corda após passar por um sistema de roldanas ideal, sendo uma delas móvel, liga-se a outro bloco de $10\ kg$, porém suspenso pela corda. Marque a opção correta que fornece a intensidade aproximada da tração na corda ideal. Despreze o atrito com o ar e considere os blocos como pontos materiais.

Dados: $g = 10\ m/s^2$, $sen\ 30° = 0{,}50$ e $\cos 30° = 0{,}87$.



a) $5\ N$

b) $10\ N$

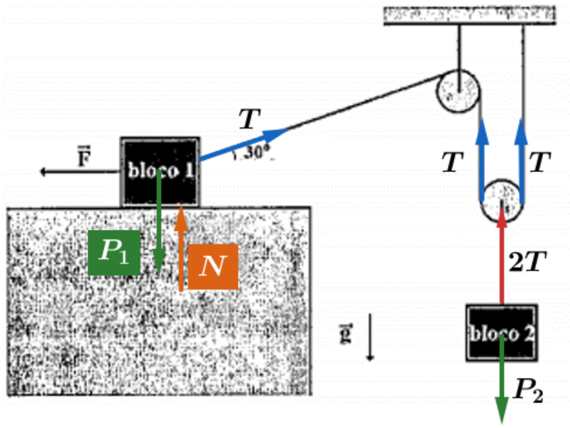
c) $20\ N$

d) $30\ N$

e) $40\ N$

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no sistema, temos:



Na direção horizontal, a aceleração do bloco 1 é dada por:

$$F - T \cdot \cos 30° = m_1 \cdot a_1 \ (eq. 1)$$

Na direção vertical, a aceleração do bloco 2 é expressa por:

$$2T - P_2 = m_2 \cdot a_2 \ (eq. 2)$$

Entretanto, do vínculo geométrico da polia móvel, temos que:

$$a_2 = \frac{a_1}{2}$$

Ou seja:

$$a_1 = 2a_2 \ (eq. 3)$$

Substituindo 3 em 1, temos:

$$F - T \cdot \cos 30° = m_1 \cdot 2 \cdot a_2$$

$$a_2 = \frac{F - T \cdot \cos 30°}{2 \cdot m_1} (eq. 4)$$

Substituindo 4 em 2, vem:

$$2T - P_2 = m_2 \cdot \left(\frac{F - T \cdot \cos 30°}{2 \cdot m_1}\right)$$

$$2T - 10 \cdot 10 = 10 \cdot \left(\frac{10 - T \cdot \cos 30°}{2 \cdot 2}\right)$$

Lembrando que:

$$\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}87$$

Então:

$$2T - 100 = 25 - \frac{5T \cdot \sqrt{3}}{4}$$

$$T\left(2 + \frac{5\sqrt{3}}{4}\right) = 125$$

$$T = \frac{125}{2 + \frac{5\sqrt{3}}{4}}$$

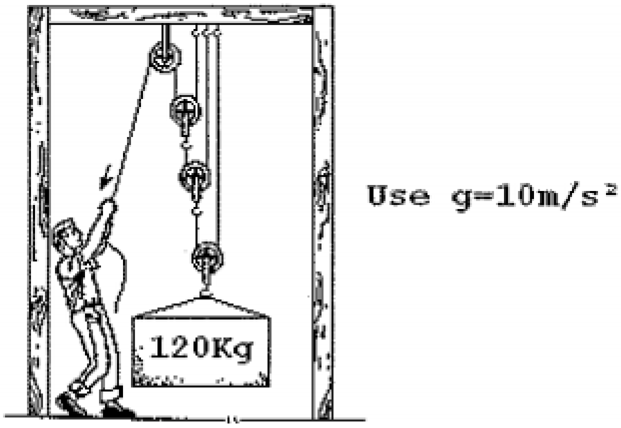
$$T \cong 30\ N$$

Gabarito: D

---

46. (CN – 2009)

Observe a figura a seguir.



Suponha que a força exercida pelo homem mostrado na figura acima seja integralmente usada para movimento um corpo, de massa $15\ kg$, através de um piso horizontal perfeitamente liso, deslocando-o de uma posição inicial $s_0 = 20\ m$, a partir do repouso e com aceleração constante, durante 4 s. Nessas condições pode-se afirmar que, ao final desse intervalo de tempo, a posição final e a velocidade do corpo valem, respectivamente,

a) 100 m e 100 km/h

b) 100 m e 108 km/h

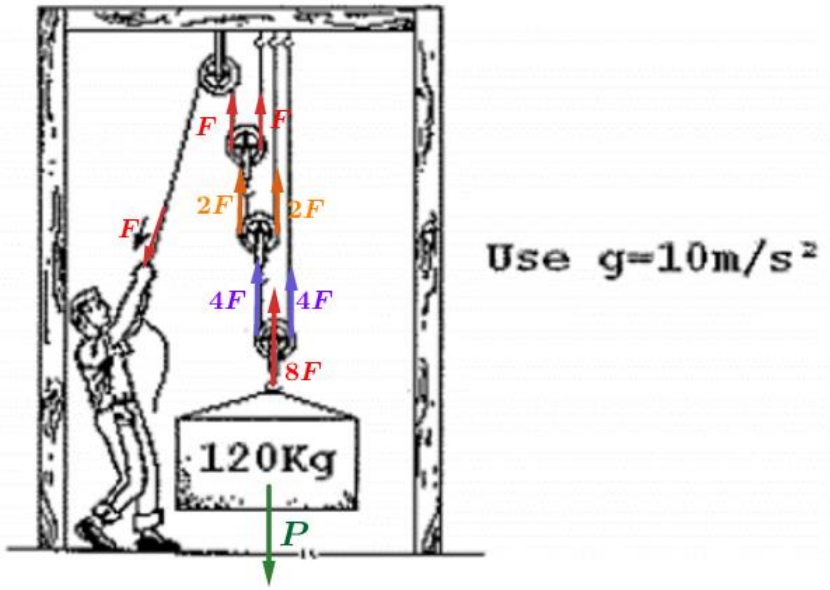
c) 100 m e 144 km/h

d) 120 m e 108 km/h

e) 120 m e 144 km/h

Comentários:

Fazendo o diagrama de forças no sistema, temos:



Inicialmente, devemos encontrar a força que o homem faz para manter o corpo de 120 kg em equilíbrio, pois esta força será utilizada para mover um bloco de 15 kg na horizontal, posteriormente. Para o equilíbrio do sistema formado na figura, temos:

$$8F = 120 \cdot 10$$

$$\boxed{F = 150\ N}$$

Agora temos um novo exercício. Se essa força é a resultante sobre o bloco de 15 kg na horizontal, então:

$$F = F_R$$

$$150 = 15 \cdot a$$

$$\boxed{a = 10\ m/s^2}$$

A função horária do espaço desse corpo é dada por:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$s = 20 + 0 \cdot t + \frac{10 \cdot t^2}{2}$$

$$s = 20 + 5 \cdot t^2$$

Para $t = 4\ s$, temos:

$$s(4) = 20 + 5 \cdot 4^2$$

$$s(4) = 20 + 5 \cdot 16$$

$$\boxed{s(4) = 100\ m}$$

A velocidade do corpo é dada pela função horária:

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

$$v(t) = 0 + 10 \cdot t$$

$$v(t) = 10 \cdot t$$

Para $t = 4\ s$, vem:

$$v(4) = 10 \cdot 4 = 40\ m/s$$

Em km/h a velocidade é de:

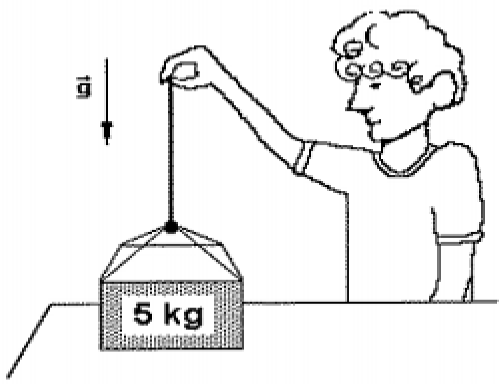
$$40 \cdot 3{,}6 = 144\ km/h$$

Gabarito: C

---

47. (CN – 2005)

Observe a figura:



A figura mostra um menino erguendo um bloco com uma força de $69\ N$, num local onde a gravidade vale $9{,}8\ m/s^2$. Supondo que o fio seja inextensível e considerando desprezível a sua massa, é correto afirmar que a aceleração adquirida pelo bloco tem valor, em m/s^2, igual a

a) 2

b) 4

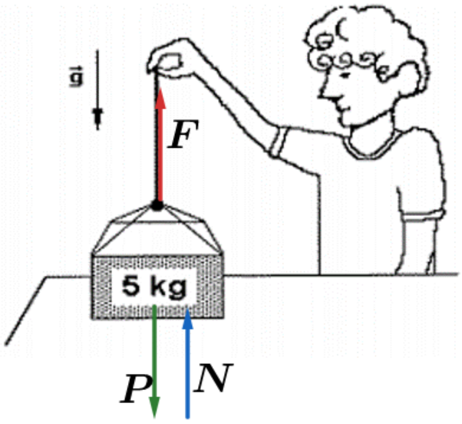
c) 5

d) 7

e) 8

Comentários:

Fazendo o diagrama de força no corpo, temos:



Quando o corpo começar a ser erguido, a normal tende a zero e o corpo perde contato com a mesa. Nesse instante, temos que:

$$F + \underbrace{N}_{\cong 0} - P = m \cdot a$$

$$F - m \cdot g = m \cdot a$$

Substituindo valores, temos:

$$69 - 5 \cdot 9{,}8 = 5 \cdot a$$

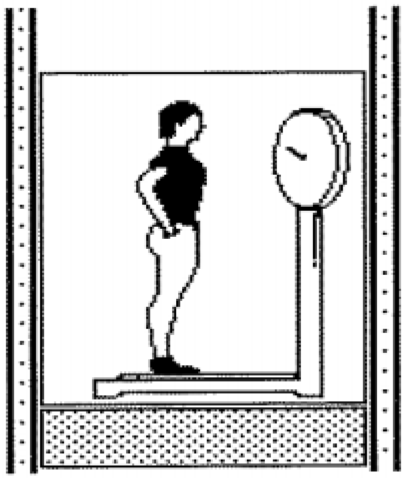
$$5 \cdot a = 20$$

$$\boxed{a = 4\, m/s^2}$$

Gabarito: B

---

48. (CN – 2004)



Uma balança foi colocada dentro de um elevador, conforme mostra a figura acima. Se o elevador executa um movimento de descida com aceleração constante, então a balança registra um peso

a) maior que o marcado fora do elevador.

b) menor que o marcado fora do elevador.

c) igual ao marcado fora do elevador.

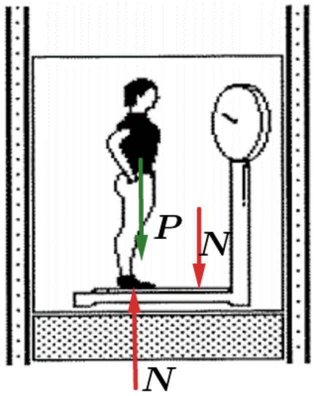
d) igual ao dobro do registrado fora do elevador.

e) igual a zero pois não será possível medi-lo.

Comentários:

Se o elevador está descendo com a aceleração a, então:

$$P_{pessoa} - N = m_{pessoa} \cdot a$$



Portanto:

$$N = P_{pessoa} - m_{pessoa} \cdot a$$

$$N = m_{pessoa} \cdot g - m_{pessoa} \cdot a$$

$$N = m_{pessoa}(g - a)$$

Como a balança lê a força de contato que a pessoa exerce sobre o prato da balança, então a balança faz uma leitura ligeiramente menor do que é de fato o peso da pessoa.

Gabarito: B

8. Considerações finais da aula

Chegamos ao final da nossa aula. Relembramos conceitos estudados no ensino médio e aprofundamos o nosso conhecimento em alguns assuntos como vínculos geométricos.

É muito importante saber bem as leis de Newton e como aplicá-las. Com nossa teoria e lista de exercícios, acredito que você tem condições para fazer qualquer questão dessa parte introdutória da Dinâmica.

Na próxima aula, trabalharemos força elástica, força de atrito e as forças no movimento curvilíneo.

Tome nota nos exercícios mais difíceis e faça mais de uma vez, com consciência completa do que você está fazendo. Não deixe nada passar com dúvidas.

Eu sei que o caminho para a aprovação é árduo, mas comentarei o maior número de questões da EsPCEx e passarei todos os bizus possíveis.

Conte comigo nessa jornada. Quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões entre em contato pelo fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:

@proftoniburgatto

9. Referências bibliográficas

[1] Calçada, Caio Sérgio. Física Clássica. 1. Ed. Saraiva Didáticos, 2012. 576p.

[2] Bukhovtsev, B.B. Krivtchenkov, V.D. Miakishev, G.Ya. Saraeva, I. M. Problemas Selecionados de Física Elementar. 1 ed. MIR, 1977.518p.

[3] Brito, Renato. Fundamentos de Mecânica. 2 ed. VestSeller, 2010. 496p.

[4] Newton, Gualter, Helou. Tópicos de Física. 11ª ed. Saraiva, 1993. 303p.

[5] Toledo, Nicolau, Ramalho. Os Fundamentos da Física 1. 9ª ed. Moderna. 490p.

[6] Resinick, Halliday. Fundamentos de Física. 8ª ed. LTC.394p.

10. Versão de aula

Versão da aula	Data da atualização
1.0	04/02/2020