

FÍSICA



Pessoas escorregando em um plano inclinado com atrito desprezível.

Dinâmica - Módulos

- | | |
|---|---|
| 49 – 3ª Lei de Newton:
Ação e Reação | 58 – Atrito |
| 50 – Aplicações da
3ª Lei de Newton | 59 – Exercícios |
| 51 – Exercícios | 60 – Exercícios |
| 52 – Exercícios | 61 – Plano inclinado |
| 53 – Exercícios | 62 – Exercícios |
| 54 – Exercícios | 63 – Plano
inclinado com atrito |
| 55 – Problema do elevador | 64 – Componentes
da força resultante |
| 56 – Máquina de Atwood | 65 – Exercícios |
| 57 – Exercícios complementares | 66 – Exercícios |

Módulo

49

3ª Lei de Newton: ação e reação

Palavras-chave:

- Ação-Reação

A 3ª Lei de Newton tem relevante importância na explicação dos fenômenos de nosso dia a dia. Uma pessoa anda trocando forças de ação e reação com o chão; um pássaro voa trocando forças de ação e reação com o ar; uma nave a jato acelera trocando forças de ação e reação com os jatos expulsos.

A 3ª Lei de Newton ensina que a cada força de ação corresponde uma força de reação e mostra que as forças na natureza aparecem sempre aos pares e, portanto, o número total de forças presentes no Universo é sempre par. Não existe uma força isolada na natureza. Quando um pugilista soca o rosto de seu adversário, ele recebe uma reação em sua mão: a ação machuca o rosto e a reação machuca a mão (é por isso que ele usa luvas).

É fundamental a compreensão de que as forças de ação e reação são **trocadas** entre dois corpos e, por isso, não estão aplicadas ao mesmo corpo e nunca poderão equilibrar-se.

1. 3ª Lei de Newton: Lei da ação e reação

A 3ª Lei de Newton traduz o comportamento de um corpo interagindo com outros corpos, isto é, trocando forças com outros corpos.

Enunciado da 3ª Lei de Newton

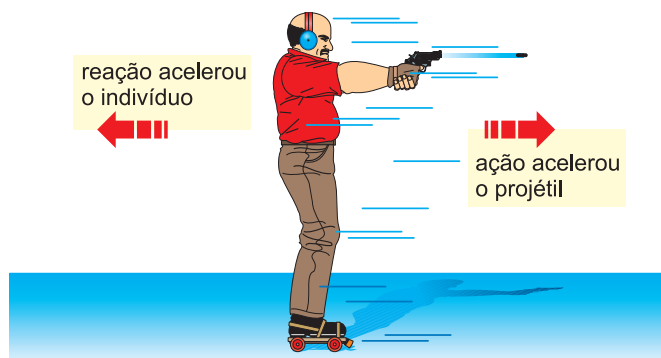
Quando um corpo A aplica uma força sobre um corpo (B), (\vec{F}_{AB}), o corpo B reage e aplica sobre o corpo A uma força (\vec{F}_{BA}) com a mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto.

Matematicamente, traduzimos a 3ª Lei de Newton escrevendo que as forças de ação e reação são opostas:

$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$$



O atleta aplica no saco de areia uma força \vec{F} ; o saco aplica no atleta uma força de reação $-\vec{F}$.



O coice de uma arma é explicado pelo Princípio da Ação e Reação (3ª Lei de Newton).



Numa colisão, as forças de um mesmo par ação-reação podem produzir efeitos diferentes, apesar de terem intensidades iguais.



O homem, assim como os peixes, para se deslocar submerso na água, exerce força no líquido, empurrando-o para trás, e recebe do líquido, pela lei da ação e reação, uma força que o impulsiona para frente.

Cumpra salientar que as forças de ação e reação, embora sejam opostas, **nunca vão equilibrar-se**, pois não estão aplicadas ao mesmo corpo: a força de ação está aplicada em B (produz aceleração e/ou deformação em B) e a força de reação está aplicada em A (produz aceleração e/ou deformação em A).

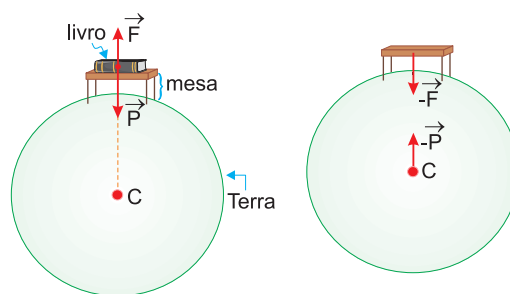


As forças de um par ação-reação atuam sobre corpos distintos e não se equilibram:

\vec{F} : força que o míssil exerce nos gases.

$-\vec{F}$: força que os gases aplicam no míssil.

A título de exemplo, consideremos um livro sobre uma mesa e identifiquemos os pares ação-reação.



Atuam sobre o livro duas forças:

- 1) a força peso (\vec{P}) que o planeta Terra aplica no livro;
- 2) a força de contato (\vec{F}) que a mesa aplica na região do livro em contato com ela.

E as respectivas forças de reação?

- A reação à força peso está aplicada na Terra, podendo ser considerado como ponto de aplicação o centro da Terra.
- A reação à força \vec{F} está aplicada na mesa (na região de contato livro-mesa).

As forças de ação e reação estão sempre aplicadas em corpos distintos e, por isso, não podem equilibrar-se.

Procuremos, em seguida, apresentar um resumo das principais características das forças de ação e reação:

- 1) Têm sempre a mesma intensidade, porém com orientação oposta.
- 2) Estão sempre aplicadas em corpos distintos e nunca se equilibram.
- 3) Podem ter efeito estático (deformação) ou efeito dinâmico (aceleração).
- 4) Os efeitos produzidos podem ser diferentes, pois o efeito estático depende da resistência mecânica dos corpos e o efeito dinâmico depende da massa dos corpos.
- 5) Comparecem sempre aos pares, isto é, sempre simultaneamente, e os termos ação e reação são permutáveis.

- 6) Podem ser forças de **contato** ou forças de **campo**.

As forças de **contato** são aquelas em que há um contato mecânico direto entre os corpos.

Exemplos: soco na cara, tiro de espingarda, chute na bola etc.

As forças de campo são aquelas exercidas a distância, podendo ser de origem gravitacional, elétrica ou magnética.

- 7) Levando em conta a teoria da relatividade de Einstein, que limita a velocidade de propagação de uma partícula ou de uma onda, a teoria de Newton torna-se falha para explicar a ação e reação presentes em forças de campo entre dois corpos muito distantes. De fato, não haveria, neste caso, simultaneidade entre as forças de ação e reação, havendo um certo intervalo de tempo para a força transmitir-se de um corpo para o outro.

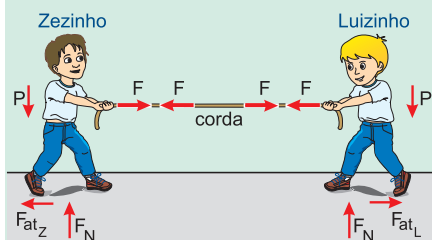
Exercícios Resolvidos

1 (OLIMPIÁDA PAULISTA DE FÍSICA-MODELO ENEM)

Dois estudantes, Zezinho e Luizinho de massas iguais estão brincando de "cabo de guerra" em um solo horizontal. Zezinho conseguiu vencer, arrastando Luizinho. Outros estudantes que assistiram discutiam as razões para a vitória de Zezinho. Considerando-se a massa da corda desprezível, é correto afirmar que:

- a força que Zezinho exerceu na corda é mais intensa que a força que Luizinho exerceu na corda.
- a corda exerceu uma força mais intensa em Luizinho do que em Zezinho.
- Zezinho exerceu sobre o solo uma força de atrito mais intensa do que a exercida por Luizinho.
- Luizinho exerceu sobre o solo uma força de atrito mais intensa do que a exercida por Zezinho.
- a força resultante na corda é dirigida para o lado de Zezinho.

Resolução



Como a corda tem massa desprezível, a força resultante na corda é nula e ela recebe nas duas extremidades forças com a mesma intensidade F .

Se Zezinho ganhou a competição, ele permaneceu parado e Luizinho foi acelerado, no sentido de se aproximar dele.

Para tanto devemos ter:

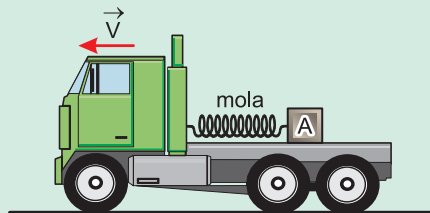
$$F_{at_z} = F \quad \text{e} \quad F > F_{at_L}$$

Portanto: $F_{at_z} > F_{at_L}$

Resposta: C

2 (UNIFENAS-MG-MODELO ENEM)

Um caminhão movimenta-se sobre uma trajetória retilínea. No instante em que ele passa pela origem dos espaços, nota-se que a mola que prende o bloco A sobre a carroceria está comprimida, de acordo com a figura abaixo.



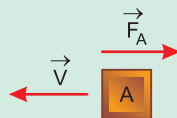
Sabe-se que a superfície onde o bloco A está apoiado é horizontal e não há qualquer tipo de atrito. A trajetória está orientada para a esquerda.

Conforme a situação dada, o movimento do caminhão é:

- retilíneo e uniforme.
- retardado e progressivo.
- retardado e retrógrado.
- acelerado e progressivo.
- acelerado e retrógrado.

Resolução

- Como o caminhão se move para a esquerda, seu movimento é progressivo.
- Se a mola está sendo comprimida, ela recebe do bloco A uma força dirigida para a esquerda e, pela lei da ação e reação, ela aplica sobre o bloco A uma força dirigida para a direita.



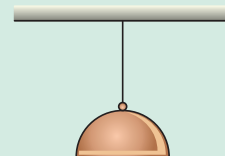
3) Como a força resultante em A é dirigida para a direita, a aceleração de A também é dirigida para a direita.

4) Como a velocidade e a aceleração de A têm sentidos opostos, o movimento de A (e também do movimento do caminhão) é retardado.

Resposta: B

3 (UNIFESP)

Na figura está representado um lustre pendurado no teto de uma sala.



Nessa situação, considere as seguintes forças:

- O peso do lustre, exercido pela Terra, aplicado no centro de gravidade do lustre.
- A tração que sustenta o lustre, aplicada no ponto em que o lustre se prende ao fio.
- A tração exercida pelo fio no teto da sala, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.
- A força que o teto exerce no fio, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.

Dessas forças, quais configuram um par ação-reação, de acordo com a Terceira Lei de Newton?

- I e II.
- II e III.
- III e IV.
- I e III.
- II e IV.

Resolução

- A reação ao peso do lustre é uma força que o lustre aplica no centro da Terra.
 - A reação à tração que o fio aplica no lustre é a força que o lustre aplica no fio.
- III e IV formam um par ação-reação entre o fio e o teto da sala.

Resposta: C

Exercícios Propostos

1 (UFRS)

A massa de uma partícula X é dez vezes maior do que a massa de uma partícula Y. Se as partículas colidirem frontalmente uma com a outra, pode-se afirmar que, durante a colisão, a intensidade da força exercida por X sobre Y (F_{XY}), comparada à intensidade da força exercida por Y sobre X (F_{YX}) é dada pela relação:

- $F_{XY} = \frac{F_{YX}}{100}$
- $F_{XY} = \frac{F_{YX}}{10}$
- $F_{XY} = F_{YX}$
- $F_{XY} = 10F_{YX}$
- $F_{XY} = 100F_{YX}$

RESOLUÇÃO:

De acordo com a lei de ação e reação, as forças trocadas têm a mesma intensidade.

Resposta: C

2 (UEPB-MODELO ENEM) – Num automóvel, movendo-se



em uma BR, guiado por um aluno de Física, falta combustível ao se aproximar de um posto de gasolina. Lembrando-se de uma aula sobre o princípio de ação e reação, ele raciocinou: “se eu descer do carro e tentar empurrá-lo com uma força \vec{F} , ele vai reagir com uma força $-\vec{F}$ e ambas vão

anular-se e eu não conseguirei mover o carro”. Mas uma pessoa que vinha com ele, não concordando com este raciocínio, desceu do carro e o empurrou, conseguindo movê-lo. Como você justificaria o carro mover-se?

Com base na compreensão desta lei, analise as proposições a seguir.

- O carro move-se porque a pessoa dá um rápido empurrão no carro e, momentaneamente, essa força é maior do que a força que o carro exerce sobre ela.
- O carro move-se porque a pessoa empurra o carro para frente com uma força maior do que a força que o carro exerce sobre ela.
- O carro move-se porque a força que a pessoa exerce sobre o carro é tão intensa quanto a que o carro exerce sobre ela, no entanto, a força de atrito que a pessoa exerce (entre os pés e o solo) é grande e é para frente, enquanto a que ocorre no carro (entre os pneus e solo) é pequena e para trás.
- O carro move-se porque a força que a pessoa exerce sobre o carro e a força que o carro exerce sobre a pessoa têm módulos iguais, de sentidos contrários, mas aplicadas em corpos diferentes e, portanto, cada uma exerce o seu efeito independentemente.

A partir da análise feita, assinale a alternativa correta:

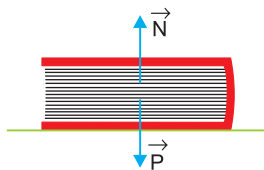
- Apenas a proposição IV é verdadeira.
- Apenas as proposições III e IV são verdadeiras.
- Apenas as proposições I e III são verdadeiras.
- Apenas as proposições II e III são verdadeiras.
- Apenas as proposições II e IV são verdadeiras.

RESOLUÇÃO:

Ação e reação são forças trocadas entre dois corpos: nunca estão aplicadas ao mesmo corpo e nunca se equilibram.

Resposta: A

3 (UNIRIO-RJ) – Um livro está em repouso num plano horizontal.



A força peso \vec{P} e a ação normal \vec{N} da superfície de apoio sobre o livro estão representadas na figura, atuando sobre o livro. A força \vec{Q} que o livro exerce sobre a superfície não está representada. Considere as afirmações:

- A Terceira Lei de Newton nos permite concluir que $|\vec{N}| = |\vec{P}|$.
- De acordo com a Terceira Lei de Newton, podemos afirmar que \vec{N} é a reação ao peso \vec{P} .
- A Terceira Lei de Newton nos permite concluir que $|\vec{N}| = |\vec{Q}|$.

A(s) afirmação(ões) verdadeira(s) é(são)

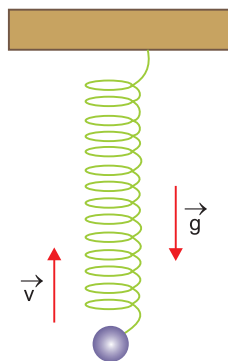
- II, apenas.
- I e II, apenas.
- I e III, apenas.
- III, apenas.
- I, II e III

RESOLUÇÃO:

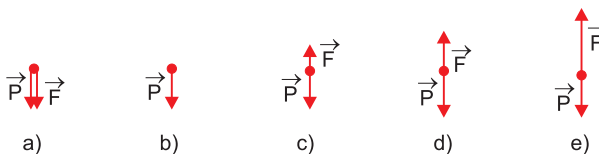
- FALSA: $|\vec{N}| = |\vec{P}|$, porque o livro está em repouso.
- FALSA: a reação ao peso \vec{P} está aplicada no centro da Terra. A reação à força \vec{N} é a força \vec{Q} que o livro exerce sobre o plano horizontal.
- VERDADEIRA: \vec{N} e \vec{Q} constituem um par ação-reação.

Resposta: D

4 (FUVEST-SP) – Uma bolinha pendurada na extremidade



de uma mola vertical executa um movimento oscilatório. Na situação da figura, a mola encontra-se comprimida e a bolinha está subindo com velocidade \vec{V} . Indicando-se por \vec{F} a força da mola e por \vec{P} a força peso aplicadas na bolinha, o único esquema que pode representar tais forças na situação descrita acima é



RESOLUÇÃO:



Se a mola está sendo comprimida, ela recebe da bolinha uma força dirigida para cima e, de acordo com a 3ª Lei de Newton (ação e reação), a mola exerce sobre a bolinha uma força \vec{F} dirigida para baixo.

A força peso \vec{P} é vertical e dirigida para baixo.

Resposta: A

5 (OLIMPIADA DE PORTUGAL-MODELO ENEM) – Ceres é

um planeta-anão do Sistema Solar com massa $M = 9,5 \cdot 10^{20}$ kg. Considere um satélite em órbita circular em torno de Ceres. O satélite tem massa $m = 100$ kg.

Selecione a alternativa que completa corretamente a frase.

O módulo da força gravitacional que o satélite exerce no planeta Ceres

- vale $\frac{1}{9,5 \cdot 10^{18}}$ do módulo da força gravitacional que Ceres exerce no satélite
- vale $9,5 \cdot 10^{18}$ vezes o módulo da força gravitacional que Ceres exerce no satélite.
- é igual ao módulo da força gravitacional que Ceres exerce no satélite.
- é nulo.
- tem um valor imprevisível.

RESOLUÇÃO:

Pela lei da ação e reação as forças trocadas entre Ceres e o seu satélite têm intensidade iguais.

Resposta: C

Exercícios Resolvidos – Módulo 50

1 (UFC-MODELO ENEM) – Um pequeno automóvel colide frontalmente com um caminhão cuja massa é cinco vezes maior que a massa do automóvel. Em relação a essa situação, marque a alternativa que contém a afirmativa correta.

- a) Ambos experimentam desaceleração de mesma intensidade.
- b) Ambos experimentam força de impacto de mesma intensidade.
- c) O caminhão experimenta desaceleração cinco vezes mais intensa que a do automóvel.
- d) O automóvel experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do caminhão.
- e) O caminhão experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do automóvel.

Resolução

a) FALSA: De acordo com a 3ª lei de Newton (ação e reação) as forças trocadas têm a mesma intensidade; as respectivas acelerações terão intensidades inversamente proporcionais às suas massas:

$$F = m_A a_A = m_C a_C \Rightarrow \frac{a_A}{a_C} = \frac{m_C}{m_A}$$

- b) CERTA: 3ª lei de Newton
- c) FALSA: Sendo $m_C = 5 m_A$, resulta $a_C = \frac{a_A}{5}$
- d) FALSA.
- e) FALSA: $|\vec{F}_{AC}| = |\vec{F}_{CA}|$

Resposta: B

2 (MACK-SP-MODELO ENEM) – No pátio de manobras do METRÔ, os vagões A e B, com movimentos de mesma direção e sentidos opostos, se chocam. O impacto é

absorvido por suportes adequados. Durante a colisão, em valor absoluto, a aceleração média do vagão A é igual a $1,0 \text{ cm/s}^2$ e a do vagão B é igual a $0,25 \text{ cm/s}^2$. Sendo 30 toneladas a massa do vagão A, a massa do vagão B é de

- a) 15 toneladas.
- b) 30 toneladas.
- c) 60 toneladas.
- d) 120 toneladas.
- e) 240 toneladas.

Resolução

De acordo com a 3ª Lei de Newton (ação e reação), as forças trocadas entre A e B, no ato da colisão, terão a mesma intensidade:

$$|\vec{F}_{AB}| = |\vec{F}_{BA}|$$

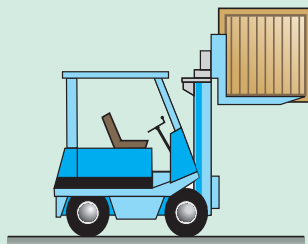
$$m_B a_B = m_A a_A$$

$$m_B \cdot 0,25 = 30 \cdot 1,0$$

$m_B = 120 \text{ toneladas}$

Resposta: D

3 (UFRJ) – Um operário usa uma empilhadeira de massa total igual a uma tonelada para levantar verticalmente uma caixa de massa igual a meia tonelada, com uma aceleração inicial de módulo igual a $0,5 \text{ m/s}^2$ e dirigida para cima, que se mantém constante durante um curto intervalo de tempo.

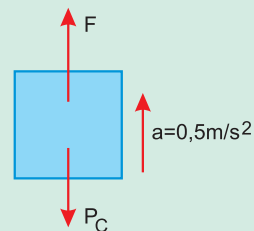


Use $g = 10 \text{ m/s}^2$ e calcule, neste curto intervalo de tempo:

- a) A intensidade da força que a empilhadeira exerce sobre a caixa;

b) A intensidade da força que o chão exerce sobre a empilhadeira. (Despreze a massa das partes móveis da empilhadeira).

Resolução

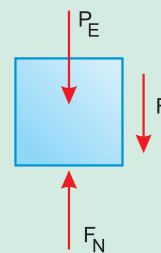


PFD (caixa)

$$F - P_C = m_C a$$

$$F - 500 \cdot 10 = 500 \cdot 0,5$$

$F = 5,25 \cdot 10^3 \text{ N}$



$$F_N = P_E + F \text{ (empilhadeira em repouso)}$$

$$F_N = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 + 5,25 \cdot 10^3 \text{ (N)}$$

$F_N = 15,25 \cdot 10^3 \text{ N}$

**Respostas: a) 5,25kN
b) 15,25kN**

Exercícios Propostos – Módulo 50

1 (VUNESP-MODELO ENEM) – O avião não está preso ao chão, mas solto no ar. Tem todos os graus de liberdade. Tem-se toda a Física do corpo rígido num objeto que se pode ver. Conhecer a história do voo ajuda a entender algumas questões.

(Henrique Lins de Barros. *Do átomo ao avião*.
Revista Fapesp, agosto de 2007)

Quatro forças básicas atuam no voo de um avião: o peso, a força de sustentação, a resistência do ar e a força de tração.

- I. O peso é a força gravitacional que puxa o avião para a Terra.

- II. A força de sustentação é a força que empurra o avião para cima contra a gravidade.
- III. A resistência do ar é a força aplicada pelo ar opondo-se ao movimento do avião.
- IV. A força de tração é a força criada pelas turbinas do avião, que por meio da lei da ação e reação impulsiona o avião para frente.

Está correto o contido em

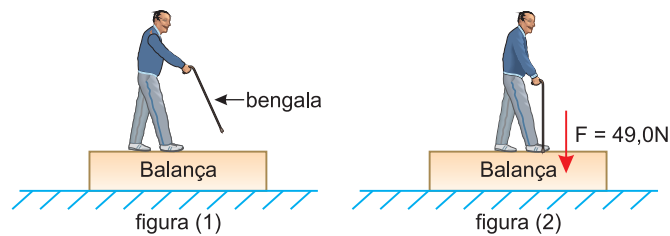
- a) I e II, apenas.
- b) I e III, apenas.
- c) II e III, apenas.
- e) II, III e IV, apenas.
- e) I, II, III e IV.

RESOLUÇÃO:I (V) **Conceito de peso.**II (V) **Em um voo horizontal a força de sustentação equilibra o peso.**III (V) **A resistência do ar é oposta à velocidade.**IV (V) **Ação e Reação.****Resposta: E**

2 (MODELO ENEM) – Uma pessoa, segurando na mão uma bengala de massa 2,0kg, está sobre uma balança de mola (dinamômetro) calibrada para indicar a massa em quilogramas. A aceleração da gravidade, para a calibração da balança, tem módulo $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Quando a pessoa não encosta a bengala na balança, esta indica 80,0kg (figura 1).

Em seguida, a pessoa, com a ponta da bengala, passa a exercer sobre a balança uma força \vec{F} vertical para baixo de intensidade 49,0N (figura 2).



A indicação da balança, na situação esquematizada na figura 2, é

- a) 31,0kg b) 75,0kg c) 80,0kg
d) 85,0kg e) 129kg

RESOLUÇÃO:

O sistema formado pela pessoa e pela bengala está sujeito a duas forças externas: o seu peso total e a força de reação da balança. Como em ambas as situações o sistema está em equilíbrio, a resultante externa é nula e, portanto,

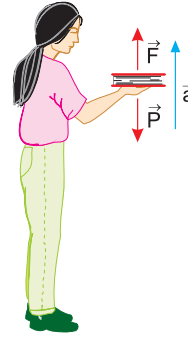
$$F_{\text{balança}} = P_{\text{total}} = 80,0 \cdot 9,8 \text{ (N)}$$

A força de reação da balança tem a mesma intensidade da força que ela recebe do sistema, a qual provoca a sua indicação de massa e, portanto, nos dois casos a balança marca 80,0kg.

Observe que, quando a bengala aplicou uma força vertical para baixo de 49,0N, ela recebeu uma reação vertical para cima de 49,0N, que é comunicada à pessoa e alivia a compressão de seus pés sobre a balança, exatamente do valor de 49,0N.

Resposta: C

3 Em um local onde $g = 10,0\text{m/s}^2$ e o efeito do ar é desprezível, um livro de massa 1,0 kg está-se movendo verticalmente para cima, com movimento acelerado e aceleração de módulo igual a $2,0\text{m/s}^2$, em virtude da ação de uma força vertical \vec{F} , aplicada pela mão de uma pessoa.



a) Calcule as intensidades do peso \vec{P} do livro e da força \vec{F} .

b) Caracterize em intensidade, direção e sentido, a força que o livro exerce sobre a mão da pessoa.

RESOLUÇÃO:a) 1) $P = mg = 10,0\text{N}$

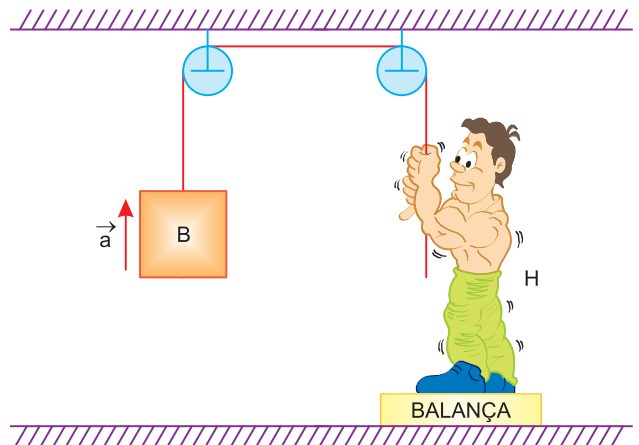
$$2) \text{ PFD (livro): } F - P = ma \Rightarrow F - 10,0 = 1,0 \cdot 2,0 \Rightarrow \boxed{F = 12,0\text{N}}$$

b) A mão aplicou ao livro uma força vertical para cima e de intensidade 12,0N; o livro reage, de acordo com a 3ª Lei de Newton, e aplica sobre a mão uma força vertical, para baixo e de intensidade 12,0N.

Respostas: a) $P = 10,0\text{N}$ e $F = 12,0\text{N}$.

b) 12,0N, vertical e para baixo.

4 Na figura temos um operário, de massa 80kg, sobre uma balança de mola em um plano horizontal, puxando verticalmente para baixo um fio ideal (sem peso e inextensível) de modo a suspender verticalmente um bloco de massa 20kg com aceleração constante de módulo igual a $0,5\text{m/s}^2$, dirigida para cima.



A aceleração da gravidade é suposta constante com módulo igual a 10m/s^2 e despreza-se o efeito do ar.

Determine

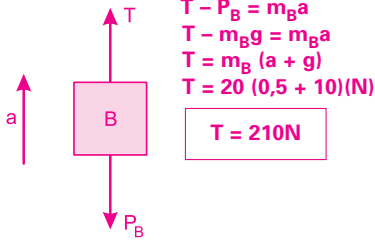
a) a intensidade da força que o operário aplica ao fio.

b) a indicação da balança, que está calibrada em newtons.

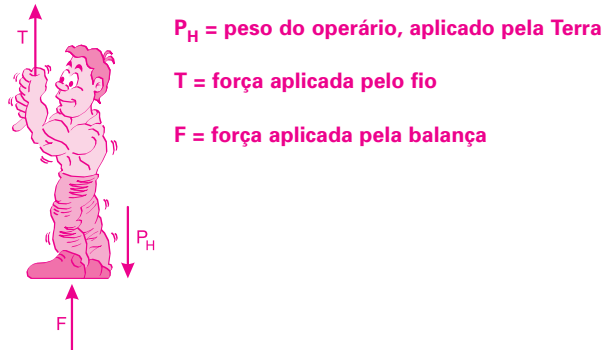
c) a força de reação ao peso do operário (3ª Lei de Newton), indicando sua intensidade, direção, sentido e onde está aplicada.

RESOLUÇÃO:

a) 2ª Lei de Newton ao bloco B



b) Isolando-se o operário, vem:



Como o operário permanece em equilíbrio, temos:

$T + F = P_H$
 $210 + F = 80 \cdot 10$

$F = 590 \text{N}$

De acordo com a 3ª Lei de Newton (ação e reação), o operário aplica sobre a balança uma força vertical, dirigida para baixo e de intensidade 590N e que corresponde à indicação da balança.

c) A reação ao peso do operário é uma força vertical, dirigida para cima (oposta ao peso), com intensidade 800N (igual à do peso) e que o operário aplica no centro da Terra.

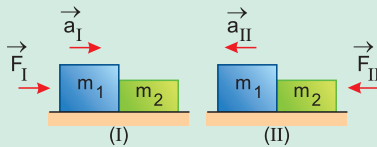
Resposta: a) 210N

b) 590N

c) 800N; vertical; para cima; no centro da Terra

Exercícios Resolvidos – Módulo 51

1 (UFMA-MG) – Dois blocos de massas diferentes, m_1 e m_2 , estão em contato e se movem em uma superfície horizontal sem atrito, sob ação de uma força externa, conforme mostram as figuras I e II. Nos dois esquemas a força externa tem a mesma intensidade. É correto afirmar:



- As forças de contato entre os blocos nas situações I e II constituem um par ação-reação, tendo, portanto, mesma intensidade em ambas as situações.
- A aceleração adquirida pelos blocos e as forças de contato entre eles têm as mesmas intensidades em ambas as situações.
- A aceleração adquirida pelos blocos e as forças de contato entre eles têm diferentes intensidades em ambas as situações.
- A aceleração adquirida pelos blocos tem a mesma intensidade nas situações I e II e as forças de contato entre os blocos têm intensidades diferentes nas referidas situações.

Resolução

As forças de contato entre os blocos, em cada esquema, formam um par ação-reação porém nos esquemas I e II tem intensidade diferentes:

Esquema I: $F_1 = (m_1 + m_2) a_1$

Esquema II: $F_{II} = (m_1 + m_2) a_{II}$

Como $F_I = F_{II}$ resulta $a_I = a_{II}$

Esquema I: PFD (m_2): $F_C = m_2 a_I$

Esquema II: PFD (m_1): $F'_C = m_1 a_{II}$

Como $a_I = a_{II}$ e $m_1 \neq m_2$ resulta $F'_C \neq F_C$

Resposta: D

2 (UFSCar-MODELO ENEM) – *Ah..., tantas coisas passam pela sua cabeça nos momentos que antecedem o início desta prova... e aquele fiscal, aparentemente insensível ao seu nervosismo, empurrando uma fileira de carteiras... Finalmente, são lidas as instruções para a prova...*

.... Podem abrir seus cadernos de questões. Boa prova!

Por ser o vestibular da UFSCar, a tarefa era de grande responsabilidade e o fiscal de prova precisava ainda levar ao fundo da sala toda uma fileira de carteiras. Exercendo sobre a primeira carteira da fila uma força horizontal de intensidade constante, acelera essa carteira a $1,0 \text{m/s}^2$. Observa então que, na medida em que uma carteira passa a empurrar a próxima, o conjunto todo tem sua aceleração diminuída, chegando a se tornar nula exatamente quando a fila contém seis carteiras. Enquanto lia as instruções da prova, pairava na mente do fiscal uma questão:

Qual deve ser a intensidade da força de atrito que ocorre entre uma carteira e o piso da sala?

a) 5,0N b) 6,0N c) 10,0N

d) 15,0N e) 30,0N

Responda à questão do fiscal, considerando-se que

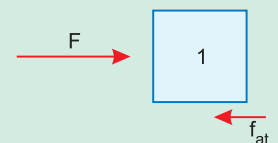
- as carteiras são idênticas, podendo ser con-

sideradas pontos materiais que se movem em linha reta;

- as intensidades das forças de atrito estático máximo e de atrito dinâmico são muito próximas, podendo ser consideradas iguais;
- o piso da sala é plano e horizontal;
- cada carteira tem massa $25,0 \text{kg}$.

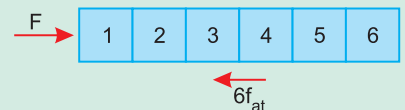
Resolução

1) 2ª Lei de Newton para uma carteira:



$F - f_{at} = ma$ (1)

2) Para o conjunto de seis carteiras:



$F = 6 f_{at}$ (2)

(2) em (1):

$6 f_{at} - f_{at} = ma$

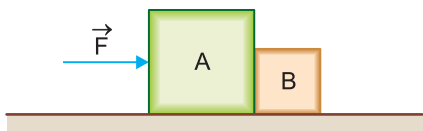
$5 f_{at} = ma$

$f_{at} = \frac{ma}{5} \Rightarrow f_{at} = \frac{25,0 \cdot 1,0}{5} (\text{N})$

$f_{at} = 5,0 \text{N}$

Resposta: A

1 O bloco A, de massa 4,0kg, e o bloco B, de massa 1,0kg, representados na figura, estão justapostos e apoiados sobre uma superfície plana e horizontal. Eles são acelerados pela força constante e horizontal F , de módulo igual a 10,0N, aplicada ao bloco A, e passam a deslizar sobre a superfície com atrito desprezível.



- Calcule o módulo da aceleração dos blocos.
- Determine a direção e o sentido da força \vec{F}_{AB} exercida pelo bloco A sobre o bloco B e calcule o seu módulo.
- Determine a direção e o sentido da força \vec{F}_{BA} exercida pelo bloco B sobre o bloco A e calcule o seu módulo.

RESOLUÇÃO:

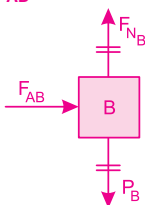
a) PFD (A + B):

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

$$10,0 = (4,0 + 1,0) a \Rightarrow a = 2,0m/s^2$$

b) PFD (B): $F_{AB} = m_B a$

$$F_{AB} = 1,0 \cdot 2,0(N) = 2,0N$$



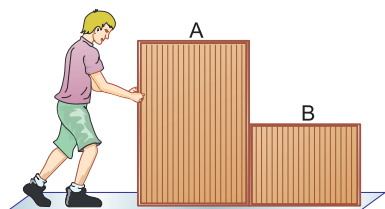
c) De acordo com a 3ª Lei de Newton:

$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB} \Rightarrow |\vec{F}_{BA}| = |\vec{F}_{AB}| = 2,0N$$

Respostas: a) 2,0m/s².

- Horizontal; para a direita; módulo igual a 2,0N.
- Horizontal; para a esquerda; módulo igual a 2,0N.

2 (MODELO ENEM) – O esquema abaixo ilustra a situação em que um homem empurra horizontalmente dois caixotes, A e B, sobre uma superfície plana com aceleração de módulo 0,50m/s². Os atritos entre os caixotes e o piso são desprezíveis.



Sabendo-se que $m_A = 100kg$ e $m_B = 80kg$, a força que o caixote A exerce sobre o caixote B tem intensidade igual a

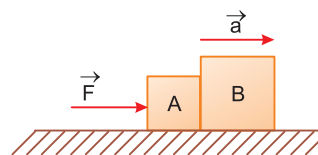
- 40N
- 60N
- 70N
- 85N
- 90N

RESOLUÇÃO:



Resposta: A

3 Considere dois blocos, A e B, de massas respectivamente iguais a 1,0kg e 4,0kg, encostados um no outro em um plano horizontal sem atrito. Uma força horizontal constante, de intensidade F , é aplicada ao bloco A, conforme ilustra a figura.



Os blocos têm aceleração de módulo igual a 3,0m/s². Desprezando-se o efeito do ar, determine

- o valor de F .
- a intensidade da força que um bloco exerce sobre o outro.

RESOLUÇÃO:

a) PFD (A + B):

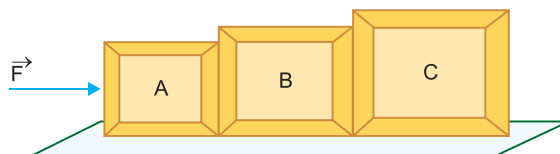
$$F = (m_A + m_B) a \Rightarrow F = 5,0 \cdot 3,0(N) \Rightarrow F = 15,0N$$

b) PFD (B):

$$F_{AB} = m_B a \Rightarrow F_{AB} = 4,0 \cdot 3,0(N) \Rightarrow F_{AB} = 12,0N$$

Respostas: a) 15,0N b) 12,0N

4 Uma força \vec{F} , de módulo 50,0N, atua sobre o bloco A da figura, deslocando os três blocos sobre uma superfície horizontal. Sabe-se que as massas de A, B e C são, respectivamente, 5,0kg, 7,0kg e 8,0kg.



Desprezando-se os atritos, podemos afirmar que o módulo da força que o bloco C exerce sobre o bloco B é igual a:

- 10,0N
- 20,0N
- 30,0N
- 40,0N
- 50,0N

RESOLUÇÃO:

1) PFD (A + B + C): $F = (m_A + m_B + m_C) a$

$$50,0 = 20,0 \cdot a$$

$$a = 2,5m/s^2$$

2) PFD (C): $F_{BC} = m_C a$

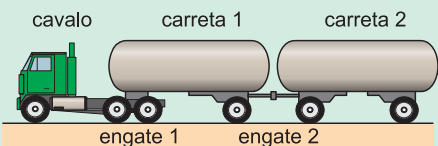
$$F_{BC} = 8,0 \cdot 2,5(N) = 20,0N$$

3) 3ª Lei de Newton: $F_{CB} = F_{BC} = 20,0N$

Resposta: B

Exercícios Resolvidos – Módulo 52

1 (MODELO ENEM) – Com motores mais potentes, caminhões com duas carretas têm se tornado muito comuns nas estradas brasileiras.



O caminhão esquematizado acelera uniformemente numa estrada reta e horizontal com aceleração de módulo a . Nessas condições:

- A força de atrito que o chão aplica nas rodas motrizes do “cavalo” tem intensidade F .
- A força que o engate 1 transmite para a carreta 1 tem intensidade f_1 .
- A força que o engate 2 transmite para a carreta 2 tem intensidade f_2 .
- Os engates 1 e 2 têm massa desprezível.
- O cavalo e as carretas 1 e 2 têm massas respectivamente iguais a m , m_1 e m_2 .
- A resistência do ar e as forças de atrito nas rodas não motrizes são desprezíveis.

Determine f_1 e f_2 em função de F , m , m_1 e m_2

$$a) f_1 = f_2 = \frac{(m_1 + m_2) F}{m + m_1 + m_2}$$

$$b) f_1 = f_2 = \frac{m_2 F}{m + m_1 + m_2}$$

$$c) f_1 = f_2 = \frac{m_1 F}{m + m_1 + m_2}$$

$$d) f_1 = \frac{(m_1 + m_2) F}{m + m_1 + m_2} \text{ e } f_2 = \frac{m_2 F}{m + m_1 + m_2}$$

$$e) f_1 = \frac{m_1 F}{m + m_1 + m_2} \text{ e } f_2 = \frac{m_2 F}{m + m_1 + m_2}$$

Resolução

1) PFD (cavalo + carretas):

$$F = (m + m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{F}{m + m_1 + m_2}$$

2) PFD (carretas):

$$f_1 = (m_1 + m_2) a$$

$$f_1 = \frac{(m_1 + m_2) F}{m + m_1 + m_2}$$

3) PFD (carreta 2):

$$f_2 = m_2 a \Rightarrow f_2 = \frac{m_2 F}{m + m_1 + m_2}$$

Resposta: D

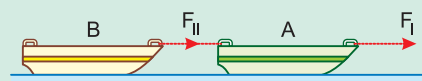
2 (UNESP-MODELO ENEM) – Um rebocador puxa duas barcaças pelas águas de um lago tranquilo. A primeira delas tem massa de 30 toneladas e a segunda, 20 toneladas. Por uma questão de economia, o cabo de aço I que conecta o rebocador à primeira barcaça suporta, no máximo, $6,0 \cdot 10^5$ N, e o cabo II, $8,0 \cdot 10^4$ N.



Desprezando-se o efeito de forças resistivas, calcule a aceleração máxima do conjunto, a fim de evitar o rompimento de qualquer um dos cabos.

- a) $1,0\text{m/s}^2$ b) $2,0\text{m/s}^2$ c) $4,0\text{m/s}^2$
d) $10,0\text{m/s}^2$ e) $12,0\text{m/s}^2$

Resolução



Desprezando-se as forças resistivas, temos:

$$F_I = (m_A + m_B) a$$

$$F_{II} = m_B a$$

Calculemos a máxima aceleração para não arrebentar o cabo I:

$$6,0 \cdot 10^5 = 50 \cdot 10^3 \cdot a_1$$

$$a_1 = 12,0\text{m/s}^2$$

Calculemos a máxima aceleração para não arrebentar o cabo II:

$$8,0 \cdot 10^4 = 20 \cdot 10^3 a_{II}$$

$$a_{II} = 4,0\text{m/s}^2$$

Para não arrebentar nenhum dos cabos, a máxima aceleração do conjunto tem módulo $4,0\text{m/s}^2$.

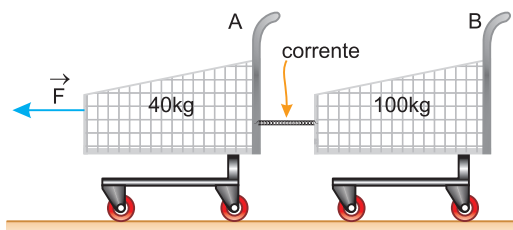
Resposta: C

Exercícios Propostos – Módulo 52

1 (FGV-SP-MODELO ENEM) – Dois carrinhos de supermercado, A e B, podem ser acoplados um ao outro por meio de uma pequena corrente de massa desprezível de modo que uma única pessoa, ao invés de empurrar dois carrinhos separadamente, possa puxar o conjunto pelo interior do supermercado. Um cliente aplica uma força horizontal constante de intensidade F , sobre o carrinho da frente, dando ao conjunto uma aceleração de intensidade $0,5\text{m/s}^2$.

Sendo o piso plano e as forças de atrito desprezíveis, o módulo da força F e o da força de tração na corrente são, em N, respectivamente:

- a) 70 e 20. b) 70 e 40. c) 70 e 50.
d) 60 e 20. e) 60 e 50.



RESOLUÇÃO:

1) PFD (A+B):

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

$$F = (40 + 100) 0,5 \text{ (N)} = 70\text{N}$$

2) PFD (B)

$$T = m_B a$$

$$T = 100 \cdot 0,5 \text{ (N)} = 50\text{N}$$

Resposta: C

2 (UFAL) – Uma força horizontal \vec{F} , de intensidade $20,0$ N, puxa três corpos presos entre si por dois fios.

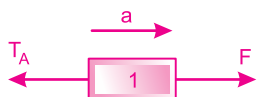


Desprezam-se os atritos entre os corpos e a superfície horizontal de apoio. As massas dos corpos 1 e 3 são, respectivamente, $m_1 = 3,0\text{kg}$ e $m_3 = 2,0\text{kg}$. A intensidade de força de tração no fio A tem valor $14,0$ N. Nessas condições, determine

- a) o módulo da aceleração do sistema;
 b) a intensidade da força de tração no fio B.

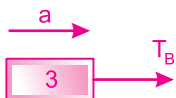
RESOLUÇÃO:

a) Isolando-se o bloco 1:



PFD (bloco 1):
 $F - T_A = m_1 a$
 $20,0 - 14,0 = 3,0 a$
 $a = 2,0 \text{ m/s}^2$

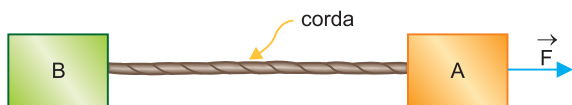
b) Isolando-se o bloco 3:



PFD (3):
 $T_B = m_3 a$
 $T_B = 2,0 \cdot 2,0 \text{ (N)}$
 $T_B = 4,0 \text{ N}$

Respostas: a) $2,0 \text{ m/s}^2$ b) $4,0 \text{ N}$

3 (MODELO ENEM) – Considere dois blocos, A e B, ligados por uma corda homogênea de massa $m_C = 2,0 \text{ kg}$ em um local isento de gravidade.



Os blocos A e B têm massas respectivamente iguais a $m_A = 3,0 \text{ kg}$ e $m_B = 1,0 \text{ kg}$.

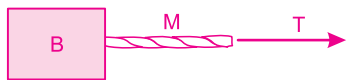
Uma força \vec{F} constante e de intensidade $F = 12,0 \text{ N}$ é aplicada em A, conforme mostra o esquema.

A força tensora no meio da corda tem intensidade igual a:
 a) zero b) $2,0 \text{ N}$ c) $4,0 \text{ N}$ d) $6,0 \text{ N}$ e) $12,0 \text{ N}$

RESOLUÇÃO:

Aplicando-se a 2ª Lei de Newton ao sistema (A + C + B), vem:
 $F = (m_A + m_C + m_B) a$

$12,0 = 6,0a \Rightarrow a = 2,0 \text{ m/s}^2$



A força tensora T_M no ponto médio da corda vai acelerar o bloco B e metade da corda.

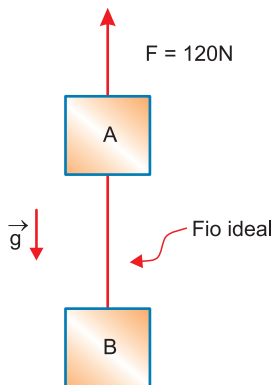
PFD $\left(B + \frac{C}{2} \right)$: $T_M = \left(m_B + \frac{m_C}{2} \right) a$

$T_M = (1,0 + 1,0) \cdot 2,0 \text{ (N)}$

$T_M = 4,0 \text{ N}$

Resposta: C

4 Dois blocos, A e B, estão conectados por um fio ideal e se



movem verticalmente com aceleração constante, sob ação de uma força \vec{F} , vertical, constante e de intensidade $F = 120 \text{ N}$.

Os blocos A e B têm massas respectivamente iguais a $m_A = 3,0 \text{ kg}$ e $m_B = 7,0 \text{ kg}$. Despreze o efeito do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine

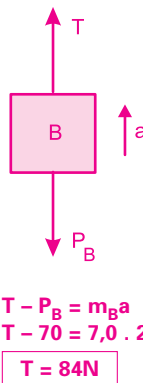
- a) o módulo da aceleração dos blocos.
 b) a intensidade da força que traciona o fio.

RESOLUÇÃO:

a) Aplicando-se a 2ª Lei de Newton (PFD) ao sistema formado por A e B, vem:

$F - (P_A + P_B) = (m_A + m_B) a$
 $120 - 10,0 \cdot 10 = 10,0 \cdot a$
 $20 = 10,0a$
 $a = 2,0 \text{ m/s}^2$

b) Aplicando-se a 2ª Lei de Newton ao bloco B, vem:



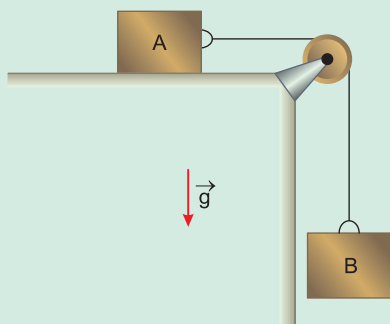
$T - P_B = m_B a$
 $T - 70 = 7,0 \cdot 2,0$
 $T = 84 \text{ N}$

Respostas: a) $2,0 \text{ m/s}^2$ b) 84 N

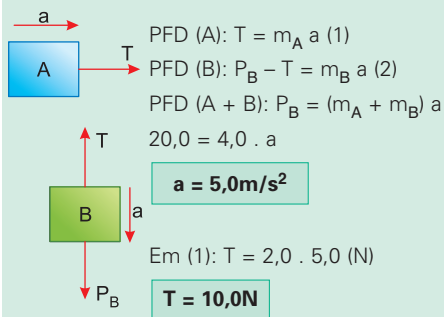
Exercícios Resolvidos – Módulo 53

1 (EsPC-SP) – Na figura abaixo, as massas de A e de B são iguais a 2,0kg, cada uma, e os blocos A e B estão ligados por um fio e uma roldana ideais. Sabendo-se que todos os atritos são desprezíveis e que a aceleração da gravidade tem módulo igual a 10,0m/s², podemos afirmar que a intensidade da tração no fio ideal, em newtons, é de

- a) 2,0 b) 5,0 c) 10,0
d) 20,0 e) 40,0

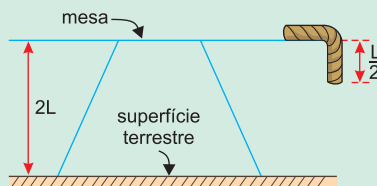


Resolução

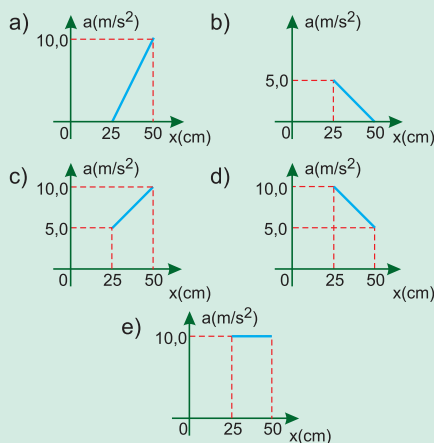


Resposta: C

2 (MODELO ENEM) – Uma fina corda homogênea, de comprimento $L = 50\text{cm}$, é abandonada do repouso com metade de seu comprimento sobre uma mesa sem atrito e a outra metade pendente, conforme representa a figura. Despreze o efeito do ar e admita que a aceleração da gravidade tem módulo $g = 10,0\text{m/s}^2$.

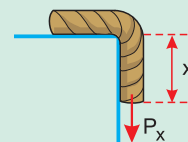


Seja x o comprimento da corda que está pendente e a o módulo da aceleração da corda. Assinale a opção que representa corretamente o gráfico de a em função de x desde o instante em que a corda foi abandonada até o instante em que deixa a mesa.



Resolução

A força que vai acelerar a corda é o peso da parte pendente cujo comprimento é indicado por x .



Aplicando-se a 2ª lei de Newton à corda, temos:

$$P_x = M_{\text{total}} a$$

A massa da corda é proporcional ao respectivo comprimento:

$$m_x = k x$$

$$m_{\text{total}} = k L$$

Portanto:

$$kx g = k L a$$

$$a = \frac{x}{L} g$$

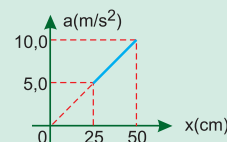
Para $x_1 = 25\text{cm}$ temos:

$$a_1 = \frac{25}{50} \cdot 10,0 \text{ (m/s}^2\text{)} = 5,0 \text{ m/s}^2$$

Para $x_2 = 50\text{cm}$ temos:

$$a_2 = \frac{50}{50} \cdot 10,0 \text{ (m/s}^2\text{)} = 10,0 \text{ m/s}^2$$

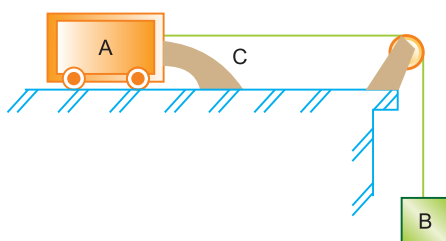
Como a função $a = f(x)$ é linear (1.º grau), temos



Resposta: C

Exercícios Propostos – Módulo 53

1 (FUVEST-SP)

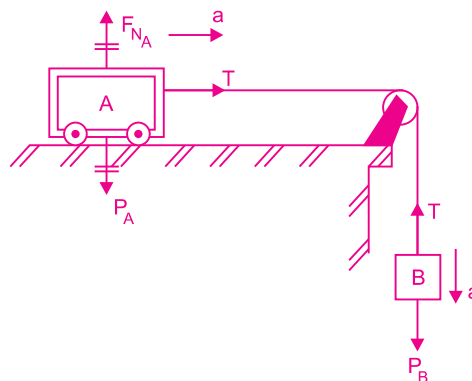


Um carrinho A de massa 20,0kg é unido a um bloco B de massa 5,0kg por meio de um fio leve e inextensível, conforme a figura acima. Inicialmente, o sistema está em repouso devido à presença do anteparo C que bloqueia o carrinho A.

Retirando-se o anteparo C, determine

- a) o módulo da aceleração do carrinho A.
 b) a intensidade da força tensora no fio.
 Despreze os atritos e adote $g = 10,0\text{m/s}^2$.

RESOLUÇÃO:



- a) 1) PFD (A): $T = m_A a$ (I)
 2) PFD (B): $P_B - T = m_B a$ (II)
 3) PFD (A + B): $P_B = (m_A + m_B) a$ (I) + (II)

A resultante externa que acelera o sistema é o peso do bloco pendente.

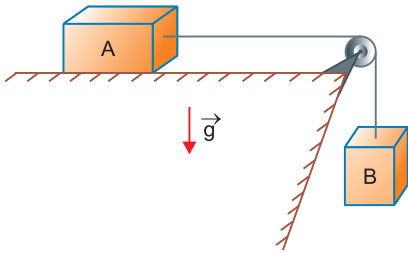
$$50,0 = (20,0 + 5,0) a \Rightarrow a = 2,0 \text{ m/s}^2$$

b) Em (I): $T = 20,0 \cdot 2,0$ (N)

$$T = 40,0 \text{ N}$$

Respostas: a) $2,0 \text{ m/s}^2$ b) $40,0 \text{ N}$

2 (MODELO ENEM) – Os dois corpos, A e B, da figura a seguir, estão inicialmente em repouso. Desprezam-se os atritos e o efeito do ar. O fio e a polia são ideais e adota-se $g = 10 \text{ m/s}^2$. Os blocos A e B têm massas respectivamente iguais a $10,0 \text{ kg}$ e $5,0 \text{ kg}$. Podemos afirmar que, depois de $3,0 \text{ s}$, a velocidade escalar do sistema será:



- a) $3,0 \text{ m/s}$ b) $10,0 \text{ m/s}$ c) $15,0 \text{ m/s}$
 d) $20,0 \text{ m/s}$ e) $30,0 \text{ m/s}$

RESOLUÇÃO:

1) PFD (A + B):

$$P_B = (m_A + m_B) a$$

$$50,0 = 15,0 \cdot a$$

$$a = \frac{50,0}{15,0} \text{ (m/s}^2\text{)} = \frac{10,0}{3,0} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

2) MUV:

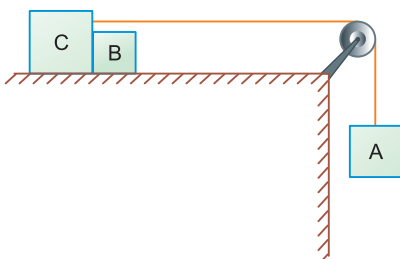
$$V = V_0 + \gamma t$$

$$V_1 = 0 + \frac{10,0}{3,0} \cdot 3,0 \text{ (m/s)}$$

$$V_1 = 10,0 \text{ m/s}$$

Resposta: B

3 Os blocos A, B e C, mostrados na figura a seguir, têm massas respectivamente iguais a $4,0 \text{ kg}$, $1,0 \text{ kg}$ e $3,0 \text{ kg}$. Despreze todos os atritos. O fio e a polia são ideais (massas desprezíveis) e a aceleração da gravidade tem módulo $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Determine

- a) o módulo da aceleração dos blocos.
 b) a intensidade da força que traciona o fio.
 c) a intensidade da força que o bloco C aplica no bloco B.

RESOLUÇÃO:

a) PFD (A + B + C):

$$P_A = (m_A + m_B + m_C) \cdot a$$

$$40,0 = 8,0 a \Rightarrow a = 5,0 \text{ m/s}^2$$

b) PFD (B + C):

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

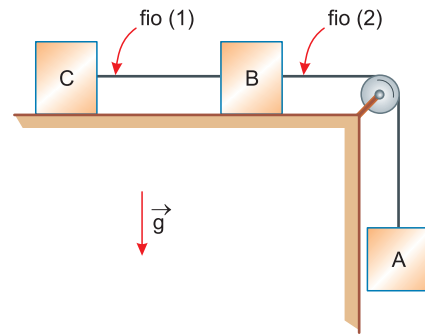
$$T = 4,0 \cdot 5,0 \text{ (N)} \Rightarrow T = 20,0 \text{ N}$$

c) PFD (B):

$$F_{CB} = m_B \cdot a \Rightarrow F_{CB} = 1,0 \cdot 5,0 \text{ (N)} \Rightarrow F_{CB} = 5,0 \text{ N}$$

Respostas: a) $5,0 \text{ m/s}^2$ b) $20,0 \text{ N}$ c) $5,0 \text{ N}$

4 No esquema da figura, os fios e a polia são ideais. Despreza-se qualquer tipo de força de resistência passiva (atrito e resistência do ar) e adota-se $g = 10,0 \text{ m/s}^2$.



As massas dos blocos A, B e C são dadas respectivamente por:

$$m_A = 2,0 \text{ kg}; m_B = 4,0 \text{ kg}; m_C = 4,0 \text{ kg}.$$

Sendo o sistema abandonado do repouso, na situação indicada na figura, calcule, antes que o bloco B colida com a polia,

- a) o módulo da aceleração dos blocos.
 b) a intensidade da força que traciona o fio (1).
 c) a intensidade da força que traciona o fio (2).

RESOLUÇÃO:

a) PFD (A + B + C):

$$P_A = (m_A + m_B + m_C) a$$

$$20,0 = 10,0 a \Rightarrow a = 2,0 \text{ m/s}^2$$

b) PFD (C):

$$T_1 = m_C a$$

$$T_1 = 4,0 \cdot 2,0 \text{ (N)} \Rightarrow T_1 = 8,0 \text{ N}$$

c) PFD (A):

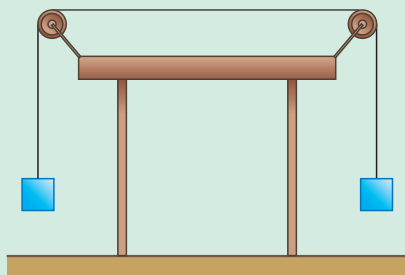
$$P_A - T_2 = m_A a$$

$$20,0 - T_2 = 2,0 \cdot 2,0 \Rightarrow T_2 = 16,0 \text{ N}$$

Respostas: a) $2,0 \text{ m/s}^2$ b) $8,0 \text{ N}$ c) $16,0 \text{ N}$

Exercícios Resolvidos – Módulo 54

1 (UFMG-MODELO ENEM) – Dois blocos iguais estão conectados por um fio de massa desprezível, como mostra a figura.



A intensidade da força tensora máxima que o fio suporta, sem arrebentar, é de 70N.

Em relação à situação apresentada, assinale a alternativa correta.

- O maior valor para o peso de cada bloco que o fio pode suportar é 70N.
- O maior valor para o peso de cada bloco que o fio pode suportar é 140N.
- O fio não arrebenta porque as forças se anulam.
- O maior valor para o peso de cada bloco que o fio pode suportar é 35N.

Resolução

Quando um fio ideal é solicitado, em cada extremidade, por uma força de intensidade T , dizemos que ele está sujeito a uma força tensora (equivocadamente chamada de tensão) de intensidade T .

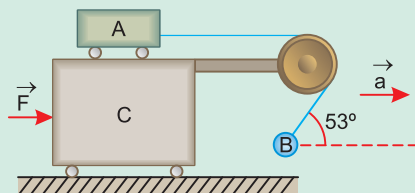
Se a força máxima que ele suporta tem intensidade 70N, é porque ao puxá-lo, em cada extremidade, com 70N, ele estará na iminência de ruptura.

Resposta: A

2 A figura mostra um carrinho A, que se pode mover sem atrito sobre outro carro, C, cuja massa vale $m_C = 8,0\text{kg}$, no qual está fixa

uma roldana. O carrinho A está ligado por um fio ideal, passando pela roldana, a um corpo B de massa $m_B = 3,0\text{kg}$. Quando o conjunto todo está sob uma aceleração horizontal constante \vec{a} , o carrinho A e o corpo B não se movem em relação ao carrinho C e a parte do fio entre o corpo B e a roldana forma um ângulo de 53° com a horizontal.

Dados: $g = 10,0\text{m/s}^2$, $\text{sen } 53^\circ = 0,80$ e $\text{cos } 53^\circ = 0,60$



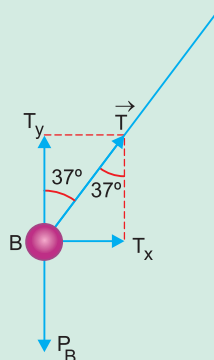
A roldana e o fio têm massas desprezíveis e não há atrito entre o carro C e o plano horizontal de apoio. Despreza-se o efeito do ar. Uma força horizontal constante \vec{F} está aplicada ao carro C e é responsável pela aceleração do sistema.

Nessas condições, determine

- o módulo da aceleração \vec{a} do sistema;
- a intensidade da força que traciona o fio;
- a massa do bloco A;
- a intensidade da força \vec{F} .

Resolução

a)



$$1) T_y = P_B = m_B g$$

$$2) T_x = m_B a$$

$$3) \text{tg } 37^\circ = \frac{T_x}{T_y} = \frac{m_B a}{m_B g}$$

$$a = g \text{ tg } 37^\circ$$

$$a = g \frac{\text{sen } 37^\circ}{\text{cos } 37^\circ}$$

$$a = 10,0 \cdot \frac{0,60}{0,80} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\boxed{a = 7,5\text{m/s}^2}$$

$$b) T_y = T \cdot \text{cos } 37^\circ = P_B$$

$$T \cdot 0,80 = 30,0 \Rightarrow \boxed{T = 37,5\text{N}}$$

$$c) \begin{array}{|c|} \hline \text{A} \\ \hline \end{array} \xrightarrow{T}$$

$$\text{PFD (A): } T = m_A a$$

$$37,5 = m_A \cdot 7,5$$

$$\boxed{m_A = 5,0\text{kg}}$$

$$d) \text{ PFD (A + B + C):}$$

$$F = (m_A + m_B + m_C) a$$

$$F = (5,0 + 3,0 + 8,0) \cdot 7,5 \text{ (N)}$$

$$\boxed{F = 120\text{N}}$$

Respostas: a) $7,5\text{m/s}^2$ b) $37,5\text{N}$
c) $5,0\text{kg}$ d) 120N

Exercícios Propostos – Módulo 54

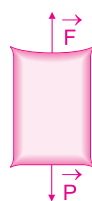
1 (UFJF-MG-MODELO ENEM) – Pedro foi passar as férias escolares na casa de seu tio, que tinha uma mercearia na zona rural. Chegando ao lugarejo, foi direto para a mercearia e encontrou o tio preocupado, porque a balança da mercearia, muito importante para pesar as mercadorias, estava quebrada. Como havia terminado a 1ª série do ensino médio, disse ao tio que poderia resolver o problema, aplicando os conhecimentos de Física que havia estudado na escola. Pedro havia notado que, entre as coisas que o tio vendia, havia uma mola na qual estava escrita uma especificação interessante: 25N/cm . Ele sabia que aquele N era a unidade newton de força e que cm era a unidade de comprimento centímetro. Para provar que estava certo, Pedro prendeu a mola no teto e dependurou na extremidade de baixo

da mola um saco de ração em cujo pacote estava escrito o valor da massa.

Se a mola se deformou $4,0\text{cm}$, calcule a massa do saco de ração que Pedro dependurou nela. Adote $g = 10\text{m/s}^2$.

- a) 5kg b) 10kg c) 15kg d) 20kg e) 25kg

RESOLUÇÃO:



\vec{F} : força que a mola aplica no saco.

\vec{P} : força de gravidade que o planeta Terra aplica no saco.

$$F = P$$

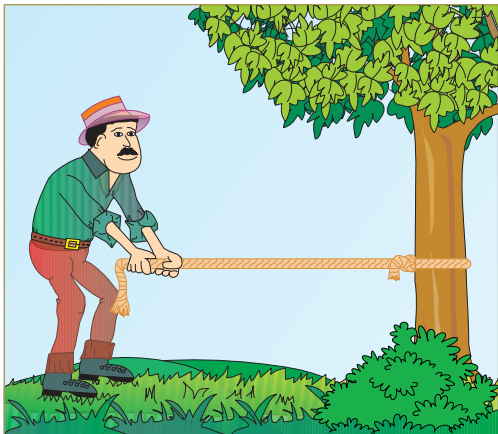
$$kx = mg$$

$$25 \cdot 4,0 = m \cdot 10 \Rightarrow m = 10\text{kg}$$

Resposta: B

Consideremos uma corda elástica, cuja constante elástica vale 10N/cm. As deformações da corda são elásticas até uma força de tração de intensidade 300N, e o máximo esforço que ela pode suportar, sem romper-se, é de 500N. Com base neste enunciado, responda aos testes 2 e 3.

- 2 (MODELO ENEM) – Se amarrarmos um dos extremos da corda em uma árvore e puxarmos o outro extremo com uma força de intensidade 300N, a deformação será:
- a) 60cm. b) 30cm. c) nula. d) imprevisível.
e) indeterminada, pois a corda vai romper-se.



RESOLUÇÃO:

$$F = kx$$

$$300 = 10 \cdot x$$

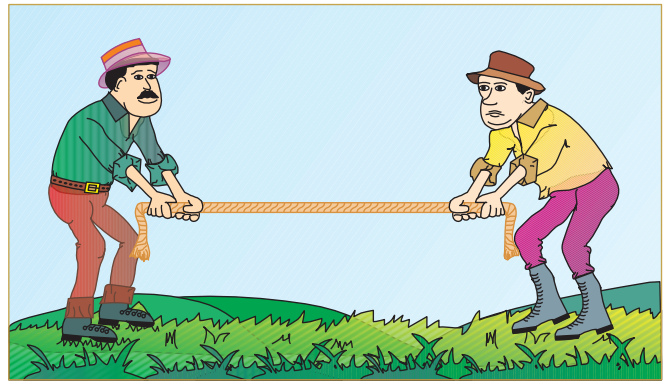
$$x = 30\text{cm}$$

A força deformadora é a força aplicada em uma das extremidades da corda.



Resposta: B

- 3 (MODELO ENEM) – Se substituímos a árvore por um segundo indivíduo que puxe a corda também com uma força de intensidade 300N, podemos afirmar que:
- a) a força de tração será nula;
b) a força de tração terá intensidade 300N e a deformação será a mesma do caso anterior;
c) a força de tração terá intensidade 600N e a deformação será o dobro da anterior;
d) a corda se romperá, pois a intensidade de força de tração será maior que 500N.



RESOLUÇÃO:

O segundo indivíduo desempenha a mesma função que a árvore no exercício anterior.

Resposta: B

- 4 Na situação física da figura seguinte, dois blocos de massas $m_1 = 8,0\text{kg}$ e $m_2 = 2,0\text{kg}$ estão presos a um dinamômetro. Aplica-se uma força \vec{F}_1 de intensidade 10,0N ao bloco de massa m_1 e uma força \vec{F}_2 de intensidade 50,0N ao bloco de massa m_2 . Desprezando-se a massa do dinamômetro, determine
- a) o módulo da aceleração do sistema.
b) o resultado que deve mostrar o dinamômetro.



Obs.: considere que o sistema esteja livre de ações gravitacionais.

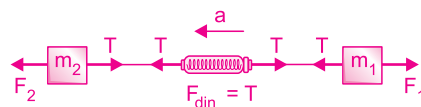
RESOLUÇÃO:

a) PFD (sistema)

$$F_2 - F_1 = (m_1 + m_2) a$$

$$40,0 = 10,0 \cdot a \Rightarrow a = 4,0\text{m/s}^2$$

b)



PFD (m_2): $F_2 - T = m_2 a$

$$50,0 - T = 2,0 \cdot 4,0$$

$$T = 42,0\text{N}$$

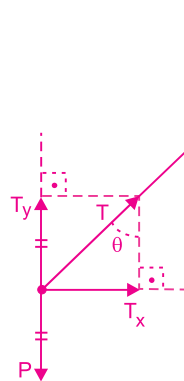
A resultante no dinamômetro é sempre nula (massa desprezível) e a força que ele indica é a força aplicada em uma de suas extremidades (força de tração no fio).

Respostas: a) 4,0m/s² b) 42,0N

5 (MODELO ENEM) – Um pêndulo é colocado no aerofólio traseiro de um carro de Fórmula 1. Num dado intervalo de tempo, em um trecho retilíneo e horizontal da pista, esse pêndulo forma um ângulo de 45° com a vertical. Se o módulo da aceleração da gravidade vale $10,0\text{m/s}^2$, então o módulo da aceleração do carro, no intervalo de tempo considerado, em m/s^2 , vale:

- a) 20,0 b) 10,0 c) 7,5 d) 5,0 e) 2,5

RESOLUÇÃO:



- 1) $T_y = P = mg$
- 2) $T_x = ma$ (PFD)
- 3) $\text{tg } \theta = \frac{T_x}{T_y} = \frac{ma}{mg}$

$$a = g \text{ tg } \theta$$

$$a = 10,0 \cdot 1 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$a = 10,0\text{m/s}^2$$

Resposta: B

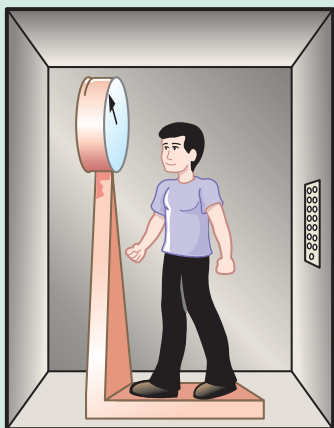
Módulo

55

Problema do elevador

Exercícios Resolvidos

1 (MODELO ENEM) – Na figura temos uma pessoa de massa $m = 70,0\text{kg}$ que está de pé sobre uma balança no interior de um elevador. A situação problema consiste em determinar a leitura na balança quando o elevador estiver parado ou com aceleração dirigida para cima ou para baixo.



A indicação da balança será o peso aparente da pessoa que é dado pelo produto de sua massa pela gravidade aparente no interior do elevador.

$$P_{\text{ap}} = mg_{\text{ap}}$$

Quando o elevador tem aceleração dirigida para cima surge em seu interior uma gravidade artificial dirigida para baixo que é somada com a gravidade real.

$$\uparrow \vec{a} \Leftrightarrow g_{\text{ap}} = g + a$$

Quando o elevador tem aceleração dirigida para baixo surge em seu interior uma gravidade artificial dirigida para cima que é subtraída (em módulo) da gravidade real

$$\downarrow \vec{a} \Leftrightarrow g_{\text{ap}} = g - a$$

Considere $g = 10,0\text{m/s}^2$ e a balança calibrada em newtons (N).

Analise as proposições a seguir:

- (I) Com o elevador parado ou subindo com velocidade constante de módulo $0,50\text{m/s}$, a balança registra 700N .
- (II) Com o elevador descendo, o peso aparente é menor que o real.
- (III) Se o elevador estiver subindo com movimento retardado (freando) e aceleração com módulo $2,0\text{m/s}^2$, a balança indicará 840N .
- (IV) Se o elevador estiver descendo e freando com aceleração de módulo $2,0\text{m/s}^2$, a balança indicará 840N .

Somente está correto o que se afirma em:

- a) I b) I e IV c) II
- d) II e III e) I, III e IV

Resolução

- (I) VERDADEIRA. Com o elevador parado ou em MRU (velocidade constante), de subida ou descida, a aceleração é nula e o peso aparente é igual ao real ($P = P_{\text{ap}} = mg = 700\text{N}$).
- (II) FALSA. O peso aparente depende da aceleração do elevador:

Descendo com MRU: $P_{\text{ap}} = P$

Descendo com movimento acelerado: $\downarrow \vec{v} \quad \downarrow \vec{a}$

$$P_{\text{ap}} < P$$

Descendo com movimento retardado: $\downarrow \vec{v} \quad \uparrow \vec{a}$

$$P_{\text{ap}} > P$$

III) FALSA.

$$\uparrow \vec{v} \quad \downarrow \vec{a} :$$

$$P_{\text{ap}} = m(g - a) = 70,0 \cdot 8,0 \text{ (N)} = 560\text{N}$$

IV) VERDADEIRA.

$$\downarrow \vec{v} \quad \uparrow \vec{a} :$$

$$P_{\text{ap}} = m(g + a) = 70,0 \cdot 12,0 \text{ (N)} = 840\text{N}$$

Resposta: B

2 (VUNESP-MODELO ENEM) – Um professor de Física solicitou aos seus alunos que observassem as alterações nos valores indicados para a massa de uma pessoa quando a balança é colocada dentro de um elevador. Murilo resolve realizar o experimento proposto e observa que com o elevador parado no térreo a indicação da balança é de 50kgf . As observações são realizadas em diversos momentos do movimento de subida e descida do elevador.

Em determinado instante, a indicação da balança é de 55kgf . Considerando-se $1\text{kgf} = 10\text{N}$ e $g = 10\text{m/s}^2$, são feitas as seguintes afirmações sobre o movimento do elevador:

- I. pode estar subindo em movimento acelerado, com aceleração de módulo $1,0\text{m/s}^2$.

- II. pode estar subindo em movimento retardado, com aceleração de módulo $1,0 \text{ m/s}^2$.
- III. pode estar subindo em movimento acelerado, com aceleração de módulo $0,1 \text{ m/s}^2$.
- IV. pode estar descendo em movimento retardado, com aceleração de módulo $1,0 \text{ m/s}^2$.

A partir das informações dadas, é possível apenas o que foi afirmado em

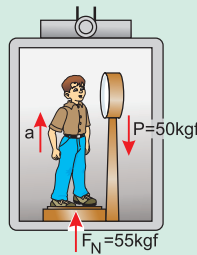
- a) I b) II c) III
- d) II e IV e) I e IV

Resolução

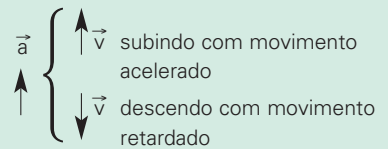
$$1) \quad F_N - P = ma$$

$$55 \cdot 10 - 50 \cdot 10 = 5,0 \cdot a$$

$a = 1,0 \text{ m/s}^2$



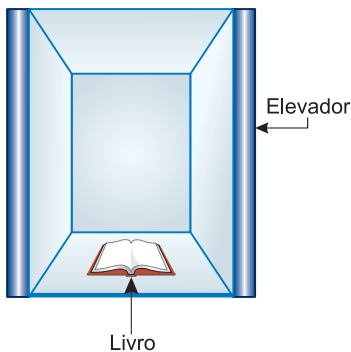
2)



Resposta: E

Exercícios Propostos

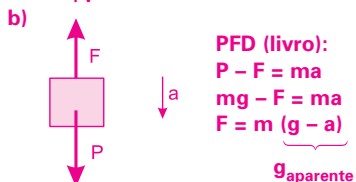
1 Um elevador está subindo verticalmente com movimento retardado e aceleração constante de módulo igual a $2,0 \text{ m/s}^2$. A aceleração da gravidade é constante e tem módulo $g = 10,0 \text{ m/s}^2$. Um livro de massa $2,0 \text{ kg}$ está apoiado no piso do elevador.



- a) Indique, por meio de setas, a orientação dos vetores velocidade \vec{v} e aceleração \vec{a} , associados ao movimento do elevador. Justifique sua resposta.
- b) Qual a intensidade da força que o livro aplica no piso do elevador?
- c) Qual a intensidade da gravidade aparente no interior do elevador?
- d) Se o livro for abandonado de uma altura $H = 0,64 \text{ m}$, qual o seu tempo de queda até atingir o piso do elevador? (Despreze o efeito do ar.)

RESOLUÇÃO:

a) Como o elevador está subindo, o vetor velocidade é dirigido para cima e como o movimento é retardado, o vetor aceleração tem sentido oposto ao do vetor velocidade:



$F = 2,0 (10,0 - 2,0) \text{ (N)} \Rightarrow \mathbf{F = 16,0N}$

De acordo com a 3ª Lei de Newton, o livro aplica sobre o piso uma força de intensidade $16,0 \text{ N}$.

- c) $g_{ap} = g - a = 8,0 \text{ m/s}^2$
- d) $\Delta s = v_0 t + \frac{\gamma}{2} t^2 \text{ (MUV)}$

$0,64 = 0 + \frac{8,0}{2} t_0^2 \Rightarrow t_0^2 = \frac{0,64}{4,0} = 0,16 \Rightarrow \mathbf{t_0 = 0,40s}$

2 (VUNESP-CEFET-SP-MODELO ENEM)

Garfield

Jim Davis



Folha de São Paulo

Garfield, muito esperto, também poderia obter um efeito de “diminuição de peso” se estivesse em um elevador que

- a) estivesse parado.
- b) subisse freando.
- c) subisse acelerando.
- d) descesse com velocidade constante.
- e) subisse com velocidade constante.

RESOLUÇÃO:

A gravidade aparente dentro do elevador é dada por:

$\uparrow \vec{a} \Leftrightarrow g_{ap} = g + a$

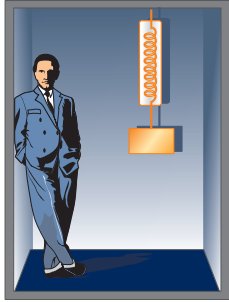
$\downarrow \vec{a} \Leftrightarrow g_{ap} = g - a$

Para que o peso aparente seja menor que o real ($g_{ap} < g$), a aceleração do elevador deve ser dirigida para baixo e temos duas possibilidades:

- $\downarrow \vec{a} \downarrow \vec{V}$: elevador descendo com movimento acelerado.
- $\downarrow \vec{a} \uparrow \vec{V}$: elevador subindo com movimento retardado.

Resposta: B

3 (MACKENZIE-MODELO ENEM) – O esquema representa

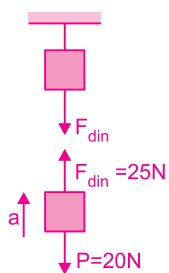


um elevador que se movimenta verticalmente. Preso a seu teto, encontra-se um dinamômetro que sustenta em seu extremo inferior um bloco de ferro. O bloco pesa 20N, mas o dinamômetro marca 25N.

Considerando-se $g = 10\text{m/s}^2$, podemos afirmar que o elevador pode estar

- em repouso.
- descendo com velocidade constante.
- descendo em queda livre.
- descendo em movimento retardado com aceleração de módulo igual a $2,5\text{m/s}^2$.
- subindo em movimento retardado com aceleração de módulo igual a $2,5\text{m/s}^2$.

RESOLUÇÃO:



1) Como $F_{\text{din}} > P$, o elevador tem aceleração dirigida para cima.

Aplicando-se a 2ª Lei de Newton, vem

$$F_{\text{din}} - m g = m a$$

$$F_{\text{din}} = m (g + a)$$

g_{aparente}

$$25 = 2,0 (10 + a)$$

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

- $$2) \uparrow a \left\{ \begin{array}{l} 1) \uparrow \vec{V} \text{ elevador subindo com movimento acelerado.} \\ 2) \downarrow \vec{V} \text{ elevador descendo com movimento retardado.} \end{array} \right.$$

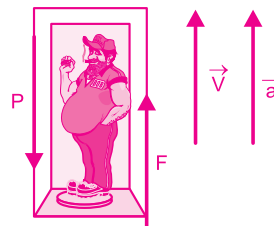
Resposta: D

4 Uma pessoa de massa 80kg está sobre uma balança dentro de um elevador que sobe acelerando, com aceleração de módulo igual a $2,0\text{m/s}^2$. (Adote $g = 10\text{m/s}^2$)

A balança, que está calibrada em newtons, vai indicar

- 640N
- 720N
- 800N
- 880N
- 960N

RESOLUÇÃO:



$$\text{PFD: } F - P = ma$$

$$F = mg + ma$$

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

g_{aparente}

$$F = mg_{\text{ap}} = P_{\text{aparente}}$$

$$F = 80 (10 + 2) \text{ (N)}$$

$$F = 960\text{N}$$

Resposta: E

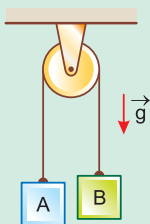
Módulo

56

Máquina de Atwood

Exercícios Resolvidos

1 O esquema abaixo representa uma máquina de Atwood que é formada por dois blocos A e B unidos por um fio ideal que passa por uma polia ideal.



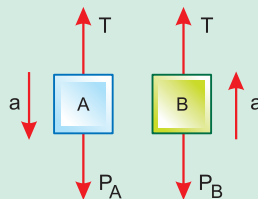
Os blocos A e B têm massas respectivamente iguais a 3,0kg e 2,0kg; o efeito do ar é desprezível e adota-se $g = 10,0\text{m/s}^2$.

Determine:

- o módulo da aceleração dos blocos A e B
- a intensidade da força que traciona o fio
- a intensidade da força transmitida ao teto

Resolução

a)



$$\text{PFD (A): } P_A - T = m_A a \quad (1)$$

$$\text{PDF (B): } T - P_B = m_B a \quad (2)$$

$$\text{PFD (A + B): } P_A - P_B = (m_A + m_B) a$$

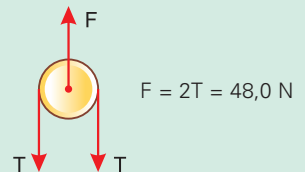
$$30,0 - 20,0 = 5,0 a$$

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

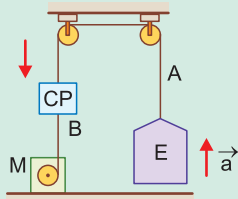
b) Em (2): $T - 20,0 = 2,0 \cdot 2,0$

$$T = 24,0 \text{ N}$$

c)



2 (FUVEST-MODELO ENEM) – Um elevador E está conectado a um contrapeso CP por meio de um cabo de sustentação A e de duas polias. O contrapeso, por sua vez, está conectado a um motor M, por meio de um cabo B, conforme ilustrado na figura. As massas do elevador e do contrapeso são iguais a $m = 5,0 \cdot 10^2\text{kg}$. Suponha que o elevador esteja subindo com movimento acelerado com uma aceleração de magnitude $a = 1,0 \text{ m/s}^2$.

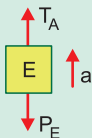


Desprezando-se as forças de atrito e considerando-se os cabos e as polias como sendo ideais, a intensidade da tração T_B exercida pelo cabo B sobre o contrapeso vale:

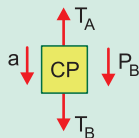
- a) $1,0 \cdot 10^3\text{N}$
- c) $2,0 \cdot 10^3\text{N}$
- e) $3,0 \cdot 10^3\text{N}$

- b) $1,5 \cdot 10^3\text{N}$
- d) $2,5 \cdot 10^3\text{N}$

Resolução



PFD (E): $T_A - P_E = m_E a$ (1)



PFD (CP): $T_B + P_B - T_A = m_{CP} a$ (2)

Como $m_E = m_{CP} = m$ vem:

(1) + (2): $T_B = 2m a$

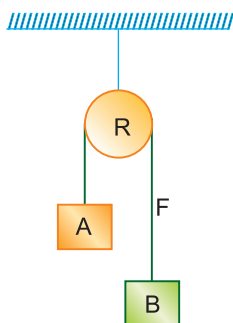
$T_B = 10,0 \cdot 10^2 \cdot 1,0$ (N)

$T_B = 1,0 \cdot 10^3\text{N}$

Resposta: A

Exercícios Propostos

1 (FUND. CARLOS CHAGAS) – No esquema abaixo, considere:



R – roldana fixa, de massa desprezível, na qual não ocorre nenhum atrito.

F – fio inextensível com massa desprezível e perfeitamente flexível.

A – corpo de massa $m_A = 2,0\text{kg}$.

B – corpo de massa $m_B = 3,0\text{kg}$.

g = intensidade da aceleração da gravidade = $10,0\text{m/s}^2$.

Calcule

- a) a intensidade da aceleração dos blocos.
- b) a intensidade da força que traciona o fio.

RESOLUÇÃO:

a)

PFD (A): $T - P_A = m_A a$ (1)

PFD (B): $P_B - T = m_B a$ (2)

PFD (A + B): $P_B - P_A = (m_A + m_B) a$

$30,0 - 20,0 = 5,0 \cdot a$

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

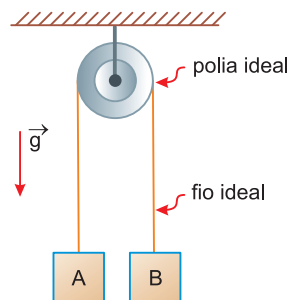
b) Em (1):

$T - 20,0 = 2,0 \cdot 2,0 \Rightarrow$ **$T = 24,0\text{N}$**

NOTA: salientar que, na máquina de Atwood, a força resultante que acelera o sistema é a diferença dos pesos.

Respostas: a) $2,0\text{m/s}^2$ b) $24,0\text{N}$

2 O esquema da figura representa uma máquina de Atwood ideal. Os blocos têm aceleração de módulo $a = 2,0\text{m/s}^2$ e a força que traciona o fio tem intensidade $T = 24\text{N}$. Adote $g = 10\text{m/s}^2$, despreze o efeito do ar e admita que a massa de A é maior que a de B.



Determine

- a) a massa do bloco A.
- b) a massa do bloco B.

RESOLUÇÃO:

a)

PFD (A): $P_A - T = m_A a$

$m_A \cdot 10 - 24 = m_A \cdot 2,0$

$8,0m_A = 24$

$m_A = 3,0\text{kg}$

b)

PFD (B): $T - P_B = m_B a$

$24 - m_B \cdot 10 = m_B \cdot 2,0$

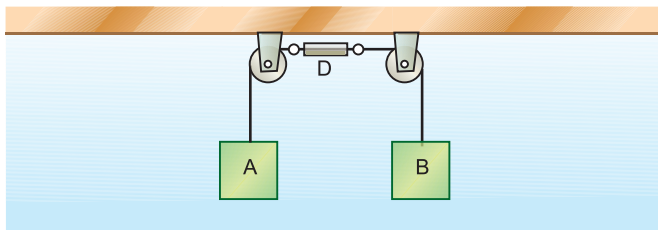
$24 = 12 m_B$

$m_B = 2,0\text{kg}$

Respostas: a) $3,0\text{kg}$ b) $2,0\text{kg}$

3 (UNAMA-MODELO ENEM) – Os corpos *A* e *B*, mostrados na figura, possuem massas $m_A = 3,0 \text{ kg}$ e $m_B = 5,0 \text{ kg}$ e estão ligados entre si por meio de um fio fino e inextensível, que passa por duas roldanas fixas. Entre as duas roldanas, o fio é cortado e amarrado em cada uma das extremidades de um dinamômetro, *D*. Despreze as massas das roldanas, dos fios e do dinamômetro, assim como todas as forças de atrito. Adote $g = 10,0 \text{ m/s}^2$. Deixando-se livre o sistema, o valor da força medida pelo dinamômetro será:

- a) 27,5 N b) 80,0 N c) 35,7 N
d) 20,0 N e) 37,5 N



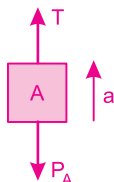
RESOLUÇÃO:

1) A aceleração do sistema terá módulo *a* dado por

$$P_B - P_A = (m_A + m_B) a \Rightarrow 50,0 - 30,0 = 8,0 a$$

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

2) Isolando-se o bloco *A*:



$$\text{PFD (A): } T - P_A = m_A a$$

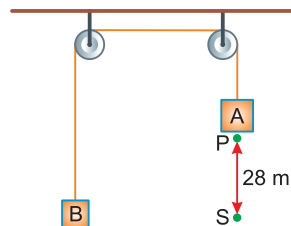
$$T - 30,0 = 3,0 \cdot 2,5$$

$$T = 37,5 \text{ N}$$

O dinamômetro é solicitado de cada lado por uma força de intensidade $T = 37,5 \text{ N}$, que é a força por ele indicada.

Resposta: E

4 (FATEC-SP) – Na figura abaixo, fios e polias são ideais. O objeto *A*, de massa 10 kg , desce em movimento acelerado com aceleração constante de módulo igual a $2,5 \text{ m/s}^2$, passando pelo ponto *P* com velocidade escalar de $2,0 \text{ m/s}$.



Adotando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando-se todas as forças de resistência, a massa do objeto *B* e a velocidade escalar com que o corpo *A* passa pelo ponto *S* são, respectivamente:

- a) 6,0 kg e 15 m/s b) 3,0 kg e 14 m/s c) 4,0 kg e 12 m/s
d) 5,0 kg e 13 m/s e) 6,0 kg e 12 m/s

RESOLUÇÃO:

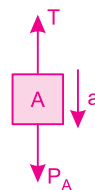
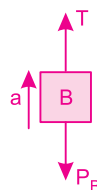
1) Aplicando-se a Equação de Torricelli entre *P* e *S*, com *A* em movimento acelerado, teremos:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \gamma \Delta s$$

$$V^2 = (2,0)^2 + 2 \cdot 2,5 \cdot 28 = 144$$

$$V = 12 \text{ m/s}$$

2) Aplicando-se a 2ª Lei de Newton:



$$\text{A: } P_A - T = m_A a \text{ (I)}$$

$$\text{B: } T - P_B = m_B a \text{ (II)}$$

$$\text{(I) + (II): } P_A - P_B = (m_A + m_B) a$$

$$100 - m_B \cdot 10 = (10 + m_B) 2,5$$

$$100 - 10m_B = 25 + 2,5 m_B$$

$$75 = 12,5 m_B \Rightarrow m_B = 6,0 \text{ kg}$$

Resposta: E

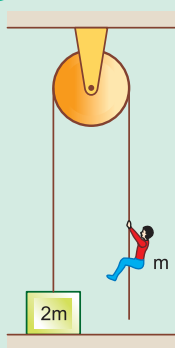
Módulo

57

Exercícios complementares

Exercícios Resolvidos

1 (FUVEST-MODELO ENEM) – Um homem, de massa *m*, está pendurado em uma corda de massa desprezível, tendo na outra extremidade um fardo de massa $2m$, apoiado no solo. A corda passa por uma polia de massa desprezível. O homem pode subir ou descer pela corda livremente.



Escolha a afirmação correta:

- a) É impossível elevar o fardo do solo.
b) Pendurando-se na corda, o homem conseguirá elevar o fardo naturalmente, pois a polia multiplica a tensão da corda por 2.
c) Subindo pela corda com velocidade constante, o homem conseguirá elevar o fardo do solo.
d) Escorregando pela corda, para baixo, com velocidade constante, o homem elevará o fardo do solo.
e) Subindo pela corda, com aceleração adequada, o homem elevará o fardo do solo.

Resolução

Para elevar o fardo, o homem deve aplicar na corda uma força vertical para baixo de intensidade $F > 2mg$.

O homem terá uma aceleração dirigida para cima dada por:

$$F - mg = ma$$

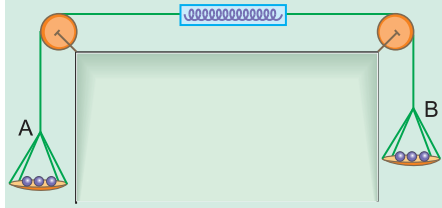
Para $F \cong 2mg$, vem:

$$2mg - mg = ma \Rightarrow a \cong g$$

Na realidade, *a* deve ser um pouco maior que *g*.

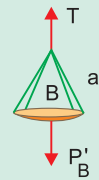
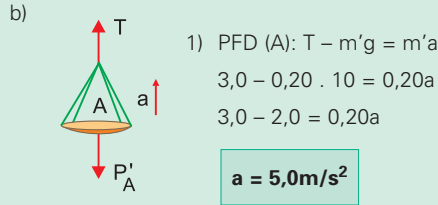
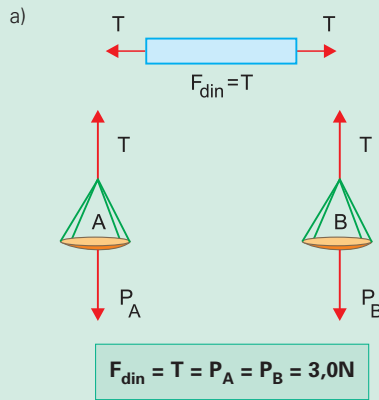
Resposta: E

2 Na figura representamos um dinamômetro ideal ligado por fios ideais a dois pratos A e B de massas desprezíveis. As polias também são ideais e o sistema está em equilíbrio. Em cada prato foram colocadas três esferas idênticas de massa 0,10kg cada uma.



- a) Qual a indicação do dinamômetro que está calibrado em newtons? Adote $g = 10\text{m/s}^2$ e despreze o efeito do ar.
 b) Se uma das esferas for retirada do prato A, quantas esferas idênticas a ela devem ser colocadas no prato B, de modo que a leitura no dinamômetro não se altere? Justifique sua resposta.

Resolução



2) PFD (B):

$$P'_B - T = m'_B a$$

$$m'_B \cdot 10 - 3,0 = m'_B \cdot 5,0$$

$$5,0m'_B = 3,0$$

$$m'_B = 0,60\text{kg}$$

$$\Delta m = m'_B - m_B = 0,30\text{kg} \text{ (3 esferas)}$$

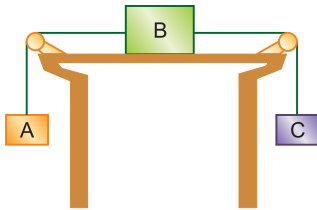
Respostas: a) 3,0N

b) 3



Exercícios Propostos

1 A figura abaixo mostra um sistema em que se consideram desprezíveis o atrito entre o bloco B e a superfície de apoio, as massas das polias e dos fios, e o efeito do ar.

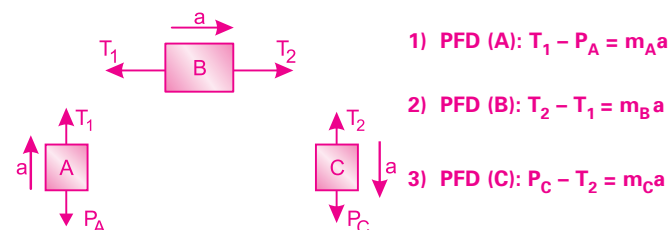


Dados: $m_A = 2,0\text{kg}$; $m_B = 5,0\text{kg}$; $m_C = 3,0\text{kg}$
 $g = 10,0\text{m/s}^2$

O módulo da aceleração adquirida pelos corpos, quando o sistema é abandonado, vale, no Sistema Internacional de unidades,

- a) 1,0 b) 2,0 c) 3,0 d) 5,0 e) 10,0

RESOLUÇÃO:



4) PFD (A + B + C):

$$(1) + (2) + (3)$$

$$P_C - P_A = (m_A + m_B + m_C) a$$

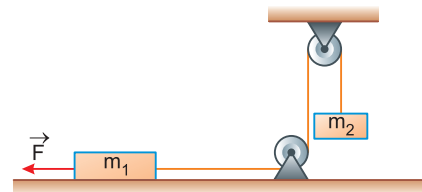
$$30,0 - 20,0 = 10,0a$$

$$a = 1,0\text{m/s}^2$$

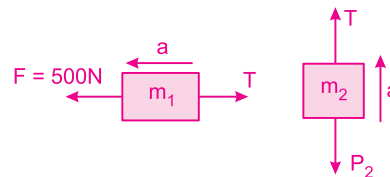
Resposta: A

2 (VUNESP) – Considere o sistema mecânico representado na figura no qual os atritos e as massas do fio e das polias são desprezíveis, a intensidade da força horizontal \vec{F} vale 500N, $m_1 = 15\text{kg}$, $m_2 = 10\text{kg}$ e o módulo da aceleração da gravidade local vale 10m/s^2 . A intensidade da tração no fio e o módulo da aceleração do sistema valem, **respectivamente**,

- a) 400N e 20m/s^2 . b) 360N e 15m/s^2 .
 c) 300N e 20m/s^2 . d) 260N e 16m/s^2 .
 e) 130N e 16m/s^2 .



RESOLUÇÃO:



PFD (m_1): $F - T = m_1 a$ (1)

PFD (m_2): $T - P_2 = m_2 a$ (2)

PFD ($m_1 + m_2$): $F - P_2 = (m_1 + m_2) a$

$$500 - 100 = 25 \cdot a \Rightarrow a = 16\text{m/s}^2$$

Em (1): $500 - T = 15 \cdot 16$

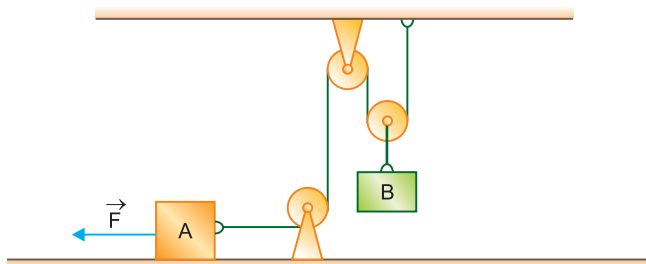
$$T = 500 - 240 \text{ (N)}$$

$$T = 260\text{N}$$

Resposta: D

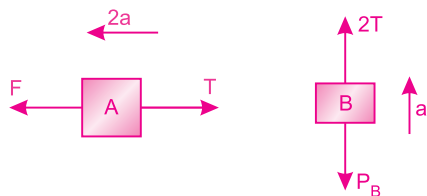
3 No sistema apresentado na figura abaixo, o fio e as polias são ideais, todos os atritos são desprezíveis e o módulo da força \vec{F} que atua sobre o bloco A vale 550N. Considerando-se a aceleração da gravidade com módulo igual a 10m/s^2 e sabendo-se que as massas de A e de B valem 20kg e 15kg, respectivamente,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

- a) 10 b) 15 c) 20 d) 25 e) 30



RESOLUÇÃO:

Explicar que quando o bloco B sobe uma distância x , a quantidade de fio liberada é $2x$ (x de cada lado) e por isso o bloco A se desloca $2x$. Isto significa que a velocidade de A é o dobro da de B e a aceleração de A é o dobro da de B.



PFD (A): $F - T = m_A \cdot 2a$ (1)

PFD (B): $2T - P_B = m_B \cdot a$ (2)

(1) x 2: $2F - 2T = 4m_A a$ (3)

(2) + (3): $2F - P_B = (m_B + 4m_A) a$

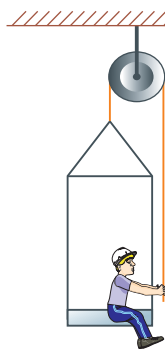
$1100 - 150 = (15 + 80) a$

$a = 10\text{m/s}^2$

$a_B = 10\text{m/s}^2$
 $a_A = 20\text{m/s}^2$

Resposta: A

4 (MODELO ENEM) – Um homem está sentado em um elevador de pintor sustentado por uma corda ideal que passa por uma polia ideal, conforme mostra a figura.



A massa total do homem com o elevador é de 100kg.

Adote $g = 10\text{m/s}^2$ e despreze o efeito do ar.

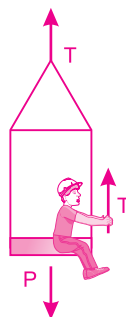
O homem puxa a corda de modo que o sistema adquira uma aceleração constante \vec{a} , vertical, dirigida para cima e de módulo igual a $1,0\text{m/s}^2$.

A intensidade da força que o assento aplica sobre o homem, supondo-se

que sua massa seja de 80kg, vale:

- a) 300N b) 330N c) 500N
d) 550N e) 800N

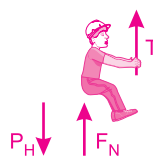
RESOLUÇÃO:



1) PFD: $2T - P = M a$

$2T - 100 \cdot 10 = 100 \cdot 1,0$

$2T = 1100 \Rightarrow T = 550\text{N}$



2) PFD: $T + F_N - P_H = m_H a$

$550 + F_N - 800 = 80 \cdot 1,0$

$F_N = 330\text{N}$

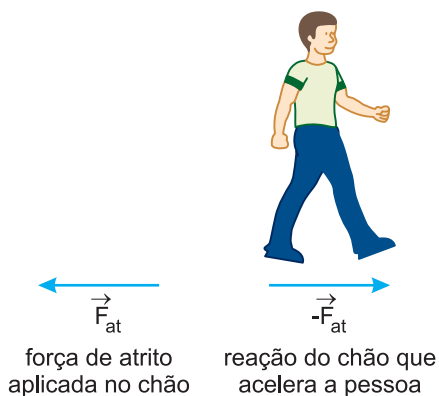
Resposta: B

- Coeficiente de atrito
- Força de atrito de destaque
- Força de atrito dinâmico

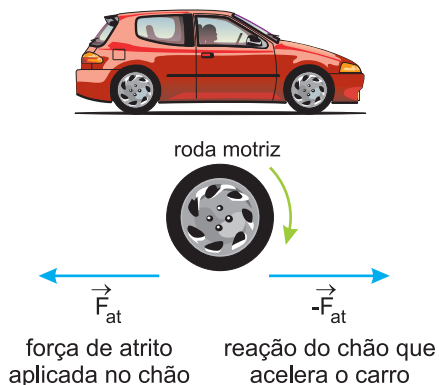
Muita gente imagina que atrito é uma coisa ruim, que a força de atrito é uma força nefasta que deve ser sempre evitada.

A força de atrito não só está presente em nosso dia a dia como é de relevante importância para nós.

É por causa da força de atrito que nós podemos andar: com os pés, empurramos o solo para trás e, pela lei da ação e reação, recebemos uma força de atrito dirigida para frente que nos vai acelerar.



Quando as rodas motrizes de um carro (rodas que têm tração) giram, elas empurram o chão para trás e pela lei da ação e reação recebem uma força de atrito para frente que é responsável pela aceleração do carro.



Quando um carro faz uma curva no plano horizontal, é a força de atrito aplicada pelo chão que vai proporcionar a ele a aceleração centrípeta capaz de alterar a direção de sua velocidade.

Portanto, o atrito é indispensável para o nosso bem-estar.

1. Conceito

Considere dois sólidos, S_1 e S_2 , em contato, e seja A uma região plana na área de contato entre eles.

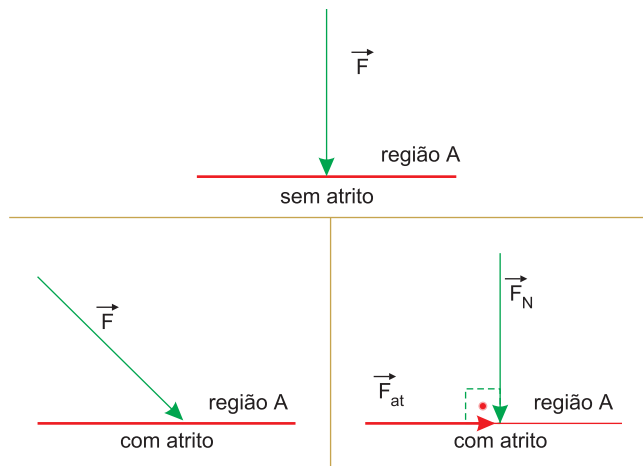
Seja F a resultante das forças de contato que S_1 exerce em S_2 ao longo da região A.

Se, na região A não houver atrito entre S_1 e S_2 , a força F será perpendicular a esta região.

Se na região A houver atrito entre S_1 e S_2 , a força F pode ter duas componentes:

\vec{F}_N = componente normal à região de contato;

\vec{F}_{at} = componente de atrito, tangencial à região de contato.

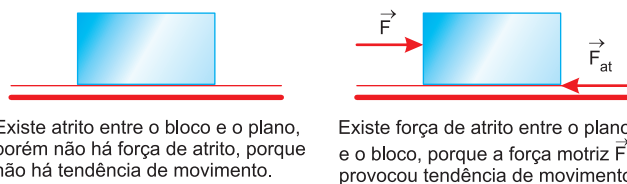


Portanto, conceituamos atrito como sendo um **estado de aspereza ou rugosidade entre sólidos em contato, que permite o desenvolvimento de forças tangenciais à região de contato entre eles.**

Hipótese atômica

A origem do atrito é atribuída à ligação de alguns átomos da periferia dos dois corpos em contato, levando a uma "soldagem" instantânea entre os dois corpos. Vencer a força de atrito é arrebentar essas ligações.

É fundamental salientar que existir atrito entre dois corpos é um estado potencial de permitir a possibilidade de troca de forças em direção tangencial à região de contato, porém o efetivo aparecimento das forças de atrito só ocorrerá quando houver movimento relativo entre os corpos ou pelo menos uma tendência de movimento relativo entre eles, provocado pela presença de forças **externas**.

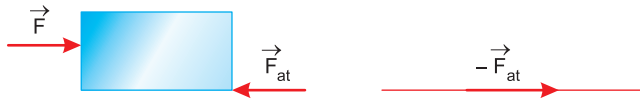


Existe atrito entre o bloco e o plano, porém não há força de atrito, porque não há tendência de movimento.

Existe força de atrito entre o plano e o bloco, porque a força motriz F provocou tendência de movimento.

O sentido da força de atrito entre dois corpos é sempre de modo a se opor ao deslizamento dos corpos em contato, isto é, sempre contrário ao movimento relativo ou à tendência de movimento relativo entre os corpos.

Observe ainda que, de acordo com a 3ª Lei de Newton (ação e reação), existe uma força de atrito aplicada em S_1 , e outra oposta aplicada em S_2 .



\vec{F}_{at} = força de atrito que o apoio aplica no bloco.

$-\vec{F}_{at}$ = força de atrito que o bloco aplica no apoio.

2. Atrito estático

Enquanto não houver movimento relativo entre os corpos em contato, o atrito é dito **estático**.



Embora solicitado pela força motriz \vec{F} , o bloco continua em repouso; o atrito é estático.

Sendo \vec{F} a força motriz tangencial que solicita o corpo ao movimento e \vec{F}_{at} a força de atrito que resiste à tendência de movimento, para que o corpo não deslize, isto é, permaneça em equilíbrio estático, devemos ter:

$$\vec{F} + \vec{F}_{at} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{F}_{at} = -\vec{F} \Leftrightarrow |\vec{F}_{at}| = |\vec{F}|$$

Força de atrito de destaque

À medida que aumentamos a intensidade da força motriz \vec{F} , a força de atrito deve aumentar de modo a impedir o movimento.

Porém, a força de atrito não pode aumentar indefinidamente; existe um limite, um valor máximo que não pode ser superado e que é denominado **força de atrito de destaque**.

Portanto, enquanto o atrito permanecer estático, a força de atrito tem a mesma intensidade da força motriz e pode variar desde zero (quando não há solicitação ao movimento) até o valor máximo, chamado força de atrito de destaque:

$$0 \leq F_{at} \leq F_{destaque}$$

A força de atrito de destaque ($F_{destaque}$) tem valor proporcional à intensidade da força normal de compressão entre os corpos em contato (F_N).

$$F_{destaque} = \mu_e F_N$$

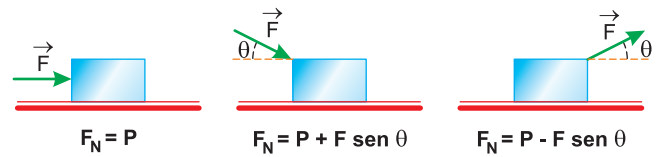
μ_e = constante de proporcionalidade, denominada coeficiente de atrito estático.

Força normal de compressão

A força normal de compressão \vec{F}_N é a força que aperta um corpo contra o outro. Em cada problema estudado, precisamos pesquisar qual a força que faz o papel de força normal.

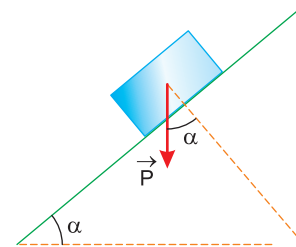
• Para um bloco sobre um plano horizontal, sujeito à ação de uma força motriz horizontal, a força normal \vec{F}_N tem intensidade igual à do peso do corpo.

• Se a força aplicada for inclinada de θ em relação à horizontal, ela admite uma componente vertical de intensidade $F = F \text{ sen } \theta$ que é somada vetorialmente com o peso do bloco para fornecer a força \vec{F}_N



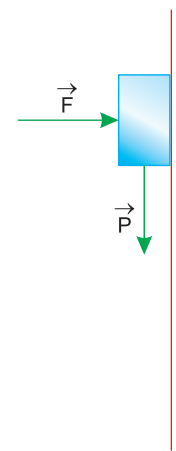
• Para um bloco sobre um plano inclinado de α , em relação à horizontal, a força normal \vec{F}_N tem intensidade igual à da componente normal do peso:

$$F_N = P \cos \alpha.$$



$$F_N = P_N = P \cos \alpha$$

• Para um bloco pressionado contra uma parede vertical, por uma força horizontal \vec{F} , a força normal tem intensidade igual à da força \vec{F} e a força motriz terá intensidade igual à do peso do bloco.



$$F_N = F \text{ e } F_{motriz} = P$$

Coeficiente de atrito

A constante de proporcionalidade (μ_e) é um adimensional (não tem unidades) denominado **coeficiente de atrito estático** entre os corpos.

Teoricamente, o coeficiente de atrito pode assumir qualquer valor, porém, na prática, em geral ele é menor do que 1 e seu valor depende da natureza dos corpos que estão atritando (borracha – asfalto; borracha – paralelepípedo; madeira – madeira etc.), e do estado de polimento ou lubrificação entre os corpos (chão encerado, asfalto molhado etc.).



Cumprе ressaltar que o coeficiente de atrito não depende da área de contato entre os corpos.

A título de exemplo, o coeficiente de atrito entre o pneu de um carro e um chão de asfalto, em um dia seco, é da ordem de 0,60.

O coeficiente de atrito entre o pneu do carro e um chão de asfalto, em um dia seco, é da ordem de 0,60.

Atrito dinâmico

Quando a intensidade da força motriz (F) superar a intensidade da força de atrito de destaque (F_{destaque}), haverá movimento relativo entre os corpos e o atrito entre eles será dito **dinâmico**.

$$F > F_{\text{destaque}} \Leftrightarrow \text{atrito dinâmico}$$

Quando o movimento relativo se inicia, o valor do coeficiente de atrito diminui e ele passa a ser chamado de **coeficiente de atrito dinâmico** ou **cinético** (μ_d).

$$\mu_e > \mu_d$$

Supondo-se superfícies de contato homogêneas, o coeficiente de atrito dinâmico será constante e a intensidade da força de atrito dinâmico ($F_{\text{dinâmica}}$) não depende da velocidade relativa entre os corpos, sendo dada por:

$$F_{\text{dinâmica}} = \mu_d F_N$$

F_N = intensidade da força normal de compressão entre os corpos em contato.

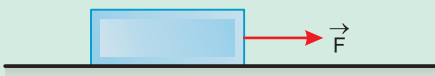
Por simplicidade de raciocínio e de cálculo, muitas vezes assumimos, teoricamente, os coeficientes de atrito estático e dinâmico como iguais ($\mu_d = \mu_e$), o que significa assumir a força de atrito dinâmico com a mesma intensidade da força de atrito de destaque.

$$\text{Na prática: } \mu_e > \mu_d \Leftrightarrow F_{\text{destaque}} > F_{\text{dinâmica}}$$

$$\text{Simplificação: } \mu_e = \mu_d \Leftrightarrow F_{\text{destaque}} = F_{\text{dinâmica}}$$

Exercícios Resolvidos – Módulo 58

1 (CEFET-MG) – Um bloco de massa igual a 5,0kg está em repouso sobre uma superfície horizontal que apresenta coeficientes de atrito estático de 0,30 e cinético de 0,20. Aplica-se, então, ao bloco uma força horizontal \vec{F} de intensidade 12,0N, como mostrado na figura a seguir. Adote $g = 10,0\text{m/s}^2$.



O módulo da força de atrito, em newtons, é igual a:

- a) 10,0 b) 12,0 c) 15,0
d) 20,0 e) 50,0

Resolução

1) A força de atrito de destaque é dada por:

$$F_{\text{at,destaque}} = \mu_E F_N = \mu_E mg$$

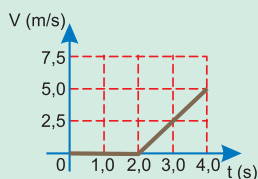
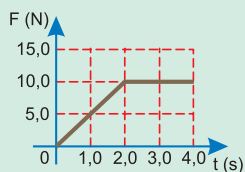
$$F_{\text{at,destaque}} = 0,30 \cdot 50,0 \text{ (N)} = 15,0\text{N}$$

2) Como a força motriz aplicada (12,0N) não superou a força de destaque (15,0N), o bloco continua parado e, portanto:

$$F_{\text{at}} = F = 12,0\text{N}$$

Resposta: B

2 (VUNESP-MODELO ENEM) – É aplicada, sobre um corpo de massa 2,0 kg, que se encontra sobre uma superfície horizontal com atrito, uma força variável paralela ao plano. Os gráficos representam a relação entre intensidade da força aplicada e tempo e entre velocidade escalar e tempo.



Considerando-se que a aceleração da gravidade tem módulo $10,0\text{m/s}^2$, os coeficientes de atrito estático e dinâmico valem, respectivamente,

- a) 0,25 e 0,25. b) 0,25 e 0,50.
c) 0,50 e 0,25. d) 0,50 e 0,50.
e) 1,00 e 0,50.

Resolução

1) De acordo com o gráfico $v = f(t)$, o corpo só se movimentou quando a força aplicada atingiu o valor $F = 10,0 \text{ N}$. Isto significa que a força de atrito de destaque é ligeiramente menor que (aproximadamente a) 10,0N

$$F_{\text{at,destaque}} = \mu_E F_N = \mu_E P$$

$$10,0 = \mu_E \cdot 20,0 \Rightarrow \mu_E = 0,50$$

2) Com o bloco em movimento, a aceleração tem módulo a dado por:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,0}{2,0} \text{ (m/s}^2\text{)} = 2,5\text{m/s}^2$$

3) PFD: $F - F_{\text{at,din}} = m a$

$$10,0 - F_{\text{at,din}} = 2,0 \cdot 2,5$$

$$F_{\text{at,din}} = 5,0 \text{ N}$$

4) $F_{\text{at,din}} = \mu_D P$

$$5,0 = \mu_D \cdot 20,0$$

$$\mu_D = 0,25$$

Resposta: C

Exercícios Propostos – Módulo 58

- 1** Um bloco de massa $m = 2,0\text{kg}$ está em repouso sobre um plano horizontal. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre o bloco e o plano de apoio valem, respectivamente, $0,40$ e $0,30$. Considere $g = 10,0\text{m/s}^2$ e despreze o efeito do ar. Uma força horizontal constante \vec{F} é aplicada sobre o bloco.



Calcule a intensidade da força de atrito entre o plano e o bloco e o módulo da aceleração adquirida pelo bloco nos seguintes casos:

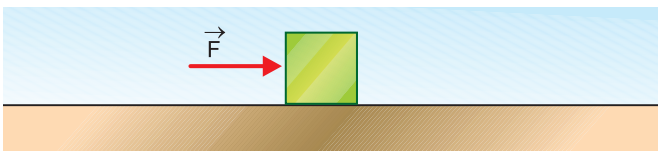
- a) $|\vec{F}| = 7,0\text{N}$
 b) $|\vec{F}| = 10,0\text{N}$

RESOLUÇÃO:

- a) 1) $F_{\text{at, destaque}} = \mu_E F_N = \mu_E m g$
 $F_{\text{des}} = 0,40 \cdot 2,0 \cdot 10,0 \text{ (N)} = 8,0\text{N}$
 2) Como $F < F_{\text{des}}$, o bloco permanecerá em repouso e portanto:
 $F_{\text{at}} = F = 7,0\text{N}$ e $a = 0$.
- b) 1) Como $F > F_{\text{des}}$, o atrito será dinâmico.
 2) $F_{\text{at, din}} = \mu_D m g = 0,30 \cdot 20,0 \text{ (N)} = 6,0\text{N}$
 3) PFD: $F - F_{\text{at, din}} = m a$
 $10,0 - 6,0 = 2,0 a$
 $a = 2,0\text{m/s}^2$

Respostas: a) $7,0\text{N}$ e zero b) $6,0\text{N}$ e $2,0\text{m/s}^2$

- 2** Um objeto de peso $20,0\text{N}$ está em repouso em um plano horizontal quando recebe a ação de uma força motriz de intensidade F .



Os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre o objeto e o plano horizontal valem, respectivamente, $0,60$ e $0,50$. Adote $g = 10,0\text{m/s}^2$.

- a) Calcule as intensidades da força de atrito de destaque e da força de atrito dinâmica.
 b) Preencha a tabela a seguir com os valores da intensidade da força de atrito que o bloco recebe do plano horizontal e do módulo da aceleração adquirida pelo bloco.

F(N)	$F_{\text{at}}(\text{N})$	$a(\text{m/s}^2)$
10,0		
12,0		
20,0		

RESOLUÇÃO:

a) $F_{\text{destaque}} = \mu_E F_N = 0,60 \cdot 20,0 \text{ (N)} = 12,0\text{N}$

$F_{\text{at, din}} = \mu_D F_N = 0,50 \cdot 20,0 \text{ (N)} = 10,0\text{N}$

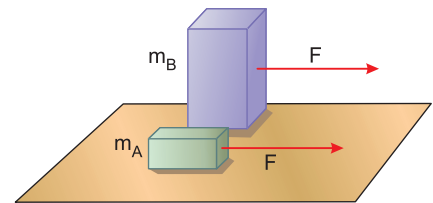
F(N)	$F_{\text{at}}(\text{N})$	$a(\text{m/s}^2)$
10,0	10,0	zero
12,0	12,0	zero
20,0	10,0	5,0m/s ²

PFD: $F - F_{\text{at}} = m a$

$20,0 - 10,0 = \frac{20,0}{10,0} \cdot a \Rightarrow a = 5,0\text{m/s}^2$

Respostas: a) $12,0\text{N}$ e $10,0\text{N}$ b) ver tabela

- 3 (UFPI-MODELO ENEM)** – Dois objetos A e B, feitos do mesmo material, de massas $m_A = 5\text{kg}$ e $m_B = 15\text{kg}$, são postos sobre uma mesma superfície horizontal (ver figura). Os coeficientes de atrito estático e cinético entre os objetos e a superfície são, respectivamente, $0,3$ e $0,2$.



Considerando-se a aceleração da gravidade com módulo igual a 10m/s^2 , os módulos das forças de atrito f_A e f_B que atuam nos corpos A e B quando sofrem cada um, independentemente, uma força horizontal constante \vec{F} de módulo igual a 20N , são:

- a) $f_A = 15\text{N}$; $f_B = 45\text{N}$ b) $f_A = 15\text{N}$; $f_B = 30\text{N}$
 c) $f_A = 10\text{N}$; $f_B = 45\text{N}$ d) $f_A = 10\text{N}$; $f_B = 30\text{N}$
 e) $f_A = 10\text{N}$; $f_B = 20\text{N}$

RESOLUÇÃO:

1) Cálculo da força de atrito de destaque:

$F_{\text{atA}} = \mu_E P_A = 0,3 \cdot 50 \text{ (N)} = 15\text{N}$

$F_{\text{atB}} = \mu_E P_B = 0,3 \cdot 150 \text{ (N)} = 45\text{N}$

2) Como $F > F_{\text{atA}}$, o bloco A vai entrar em movimento, o atrito será dinâmico e teremos:

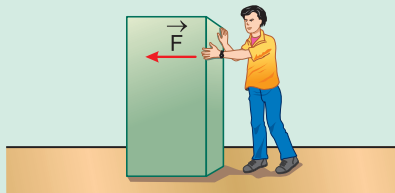
$f_A = \mu_D P_A = 0,2 \cdot 50\text{N} = 10\text{N}$

3) Como $F < F_{\text{atB}}$, o bloco B vai ficar em repouso, o atrito será estático e teremos:

$f_B = F = 20\text{N}$

Resposta: E

1 (PUC-RS-MODELO ENEM) – Um estudante empurra um armário, provocando o seu deslizamento sobre um plano horizontal, ao mesmo tempo em que o armário interage com o plano por meio de uma força de atrito cinético. Essa força de atrito mantém-se constante enquanto o armário é empurrado e o efeito da resistência do ar é desprezado. No instante representado na figura, a força \vec{F} exercida pelo estudante tem módulo ligeiramente superior ao módulo da força de atrito entre o armário e o plano.



Se o módulo da força \vec{F} permanecer inalterado, o módulo da velocidade do armário _____; Se o módulo de \vec{F} diminuir, mas permanecer ainda superior ao módulo da força de atrito, o módulo da velocidade do armário, nos instantes subsequentes, _____;

Se o módulo de \vec{F} diminuir até tornar-se igual ao módulo da força de atrito, o módulo da velocidade do armário, nos instantes subsequentes, _____.

1) A sequência correta de preenchimento das lacunas acima é:

- a) permanecerá constante – permanecerá constante – permanecerá constante
- b) aumentará – aumentará – permanecerá constante
- c) aumentará – permanecerá constante – diminuirá
- d) permanecerá constante – diminuirá – atingirá o valor zero
- e) aumentará – diminuirá – atingirá o valor zero

Resolução

Enquanto o módulo de \vec{F} for maior que a força de atrito dinâmica o bloco terá movimento acelerado e sua velocidade vai aumentar

- 1ª lacuna: aumentará
- 2ª lacuna: aumentará

Se o módulo de \vec{F} ficar igual ao módulo da força de atrito, a força resultante no bloco anular-se-á e a velocidade do bloco ficará constante

- 3ª lacuna: permanecerá constante

Resposta: B

2 (MODELO ENEM) – Um carro de massa total 400kg se desloca em linha reta em um plano horizontal. O carro tem tração dianteira e metade de seu peso total está distribuído nas rodas dianteiras. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e o chão vale 0,60 e a ace-

leração da gravidade tem módulo $g = 10,0\text{m/s}^2$. A força de resistência do ar, oposta à sua velocidade, tem intensidade F dada pela expressão:

$$F = \frac{1}{2} CA\rho V^2$$

C = coeficiente de penetração aerodinâmica = 0,40
 A = área da seção transversal do carro = $2,5\text{m}^2$
 ρ = densidade do ar = $1,2\text{kg/m}^3$
 V = módulo da velocidade do carro
 Considere $\sqrt{20} \cong 4,5$

A máxima velocidade que o carro, isento de aerofólio, pode atingir é aproximadamente igual a:

- a) 100km/h b) 162km/h
- c) 180km/h d) 185km/h
- e) 200km/h

Resolução

1) A força máxima que o carro pode receber do chão por meio do atrito é dada por:

$$F_{\text{atmáx}} = \mu_E F_N = \mu_E \cdot \frac{mg}{2}$$

$$F_{\text{atmáx}} = 0,60 \cdot 4,0 \cdot \frac{10^2 \cdot 10,0}{2} \text{ (N)}$$

$F_{\text{atmáx}} = 1,2 \cdot 10^3\text{N}$

2) A força de resistência do ar é dada por:

$$F = \frac{1}{2} CA\rho V^2$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot 0,40 \cdot 2,5 \cdot 1,2 \cdot V^2$$

$$F = 0,6 V^2 \text{ (SI)}$$

3) Quando for atingida a velocidade limite, teremos:

$$F = F_{\text{atmáx}}$$

$$0,6 V_{\text{lim}}^2 = 1,2 \cdot 10^3$$

$$V_{\text{lim}}^2 = 2,0 \cdot 10^3 = 20 \cdot 10^2$$

$$V_{\text{lim}} \cong 45\text{m/s} = 162\text{km/h}$$

Resposta: B

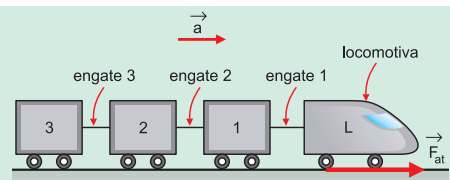
3 (MODELO ENEM) – A situação problema nesta questão é o cálculo da máxima aceleração de um trem usando a 2ª Lei de Newton:

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

\vec{F}_R = força resultante
 m = massa
 \vec{a} = aceleração

Considere um trem formado por uma locomotiva, de massa $M = 2,0t$, e três vagões, cada um com massa $m = 1,0t$.

Os engates entre locomotiva e vagão 1 e entre os vagões têm massas desprezíveis e suportam uma força de intensidade máxima de $6,0 \cdot 10^3\text{N}$.



Todas as rodas da locomotiva são motrizes e o coeficiente de atrito estático entre tais rodas e os trilhos vale μ . O efeito do ar e a força de atrito nos vagões são desprezíveis. A aceleração da gravidade tem módulo $g = 10,0\text{m/s}^2$. Admita que o trem está com a máxima aceleração possível de modo a não arrebentar nenhum dos engates e que ele se move em trilhos retilíneos e horizontais.

Analise as proposições a seguir:

- (I) A aceleração do trem tem módulo $a = 2,0\text{m/s}^2$.
- (II) A força total de atrito que os trilhos exercem nas rodas da locomotiva tem intensidade $F_{\text{at}} = 1,0 \cdot 10^4\text{N}$.
- (III) A força que o engate (3) aplica no vagão (3) tem intensidade $F_3 = 6,0 \cdot 10^3\text{N}$.
- (IV) O mínimo valor possível para o coeficiente de atrito estático μ , compatível com as condições do problema, é 0,50.

Somente está correto o que se afirma em:

- a) I b) II e III c) I, II e IV
- d) II, III e IV e) I, III e IV

Resolução

(I) VERDADEIRA. A força no engate 1 ($F_1 = 3ma$) é maior que no engate 2 ($F_2 = 2ma$) e que no engate 3 ($F_3 = ma$) e, portanto, devemos impor como condição para não arrebentar nenhum dos engates que $F_1 = 6,0 \cdot 10^3\text{N}$

PFD (conjunto de vagões): $F_1 = 3ma$

$$6,0 \cdot 10^3 = 3 \cdot 1,0 \cdot 10^3 a \Rightarrow a = 2,0\text{m/s}^2$$

(II) VERDADEIRA.

PFD (locomotiva + vagões): $F_{\text{at}} = (M + 3m) a$

$$F_{\text{at}} = 5,0 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \text{ (N)} \Rightarrow F_{\text{at}} = 1,0 \cdot 10^4\text{N}$$

(III) FALSA.

PFD (vagão 3): $F_3 = ma$

$$F_{\text{at}} = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \text{ (N)} \Rightarrow F_3 = 2,0 \cdot 10^3\text{N}$$

(IV) VERDADEIRA.

$$F_{\text{at}} \leq \mu_E F_N \Rightarrow F_{\text{at}} \leq \mu_E P_L$$

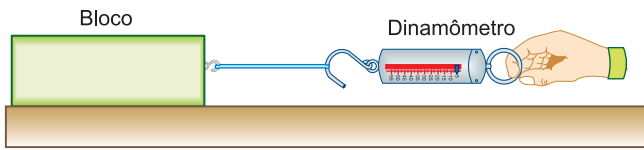
$$1,0 \cdot 10^4 \leq \mu_E \cdot 2,0 \cdot 10^3 \cdot 10,0$$

$$\mu_E \geq 0,50 \text{ portanto, } \mu_{E(\text{mín})} = 0,50$$

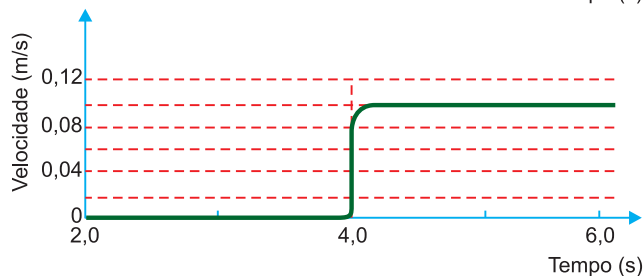
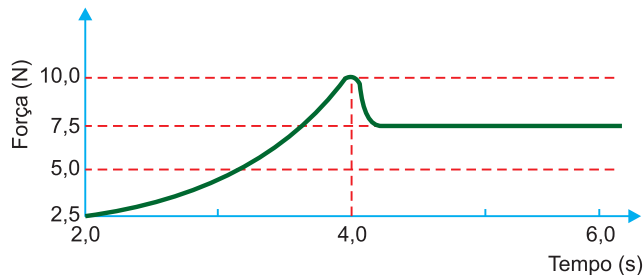
Resposta: C

Exercícios Propostos – Módulo 59

1 (UFMG) – Observe esta figura:



Um bloco de 5,0kg está conectado a um dinamômetro, por meio de um fio. O dinamômetro é puxado sobre uma superfície plana e horizontal, para a direita, em linha reta. A força medida por esse dinamômetro e a velocidade escalar do bloco, ambas em função do tempo, estão mostradas nestes gráficos:



Considerando-se essas informações e adotando-se $g = 10,0\text{m/s}^2$,

- determine o módulo da resultante das forças sobre o bloco no instante $t_1 = 3,5\text{s}$ e no instante $t_2 = 5,0\text{s}$. Justifique sua resposta.
- calcule o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o bloco. Explique seu raciocínio.
- calcule o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o bloco. Explique seu raciocínio.
- calcule o valor aproximado da distância percorrida pelo bloco entre os instantes 2,0s e 5,0s.

RESOLUÇÃO:

a) No instante t_1 , o bloco está em repouso e, no instante t_2 , o bloco está em movimento retilíneo e uniforme. Em ambos os casos, a força resultante no bloco é nula.

b) A força de atrito de destaque vale 10,0N, de acordo com o primeiro gráfico.

$$F_{\text{at,destaque}} = \mu_E F_N = \mu_E P$$

$$10,0 = \mu_E \cdot 50,0$$

$$\mu_E = 0,20$$

c) A força de atrito dinâmico vale 7,5N, de acordo com o primeiro gráfico.

$$F_{\text{at,din}} = \mu_D F_N$$

$$7,5 = \mu_D \cdot 50,0$$

$$\mu_D = 0,15$$

d) Entre 2,0s e 4,0s, o bloco está parado. Entre 4,0s e 5,0s, temos

$$\Delta s = v \Delta t$$

$$\Delta s = 0,10 \cdot 1,0 \text{ (m)}$$

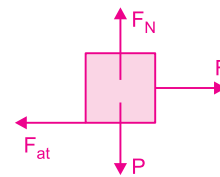
$$\Delta s = 0,10\text{m} = 10\text{cm}$$

Respostas: a) zero b) 0,20 c) 0,15 d) 10cm

2 (UEL-PR-MODELO ENEM) – Um mouse de massa 80g, puxado horizontalmente pelo seu fio de ligação, é arrastado sobre um pequeno tapete horizontal, em movimento praticamente retilíneo uniforme por uma força, também horizontal, de intensidade igual a 0,16N. Tendo a aceleração da gravidade módulo igual a 10m/s^2 , o coeficiente de atrito dinâmico entre o mouse e o tapete é

- a) 0,40 b) 0,30 c) 0,25 d) 0,20 e) 0,10

RESOLUÇÃO:



Sendo a velocidade constante (MRU), a força resultante é nula e, portanto,

$$F_{\text{at}} = F$$

$$F_N = P$$

Como $F_{\text{at}} = \mu F_N$, vem

$$F = \mu P$$

$$P = mg = 0,080 \cdot 10\text{N} = 0,80\text{N}$$

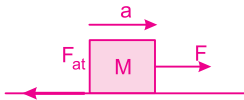
$$\mu = \frac{F}{P} = \frac{0,16}{0,80} = 0,20$$

Resposta: D

3 (UFV-MG-MODELO ENEM) – Uma caixa cuja massa é 10,0kg, que se encontra em uma superfície plana e horizontal, sofre uma aceleração de módulo 5,0m/s² ao ser puxada horizontalmente por uma corda. Sabendo-se que o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e a caixa é 0,25 e que a aceleração da gravidade no local tem módulo 10,0m/s², a intensidade da força de tração na corda é:

- a) 15,0N b) 25,0N c) 75,0N
d) 80,0N e) 85,0N

RESOLUÇÃO:



PFD: $F_R = Ma$

$F - F_{at} = Ma$

$F - \mu_c P = Ma$

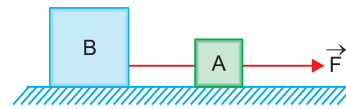
$F - 0,25 \cdot 100 = 10,0 \cdot 5,0$

$F - 25,0 = 50,0$

$F = 75,0N$

Resposta: C

4 (UFMG) – A figura abaixo representa dois blocos, A e B, ligados por um fio inextensível e apoiados sobre uma superfície horizontal. Puxa-se o bloco A por uma força horizontal \vec{F} de módulo 28,0N. A massa de A é igual a 3,0kg, a de B igual a 4,0kg e o coeficiente de atrito entre cada um dos blocos e a superfície vale 0,20. Despreze a massa do fio e considere $g = 10,0m/s^2$.



Determine

- a) o módulo da aceleração dos blocos;
b) a intensidade da força de tração no fio que liga os blocos.

RESOLUÇÃO:

a) **PFD (A + B):** $F - F_{at} = ma$

$F - \mu P = ma$

$28,0 - 0,20 \cdot 70,0 = 7,0 \cdot a \Rightarrow a = 2,0 m/s^2$

b) **PFD (B):** $T - F_{atB} = m_B a$

$T - \mu P_B = m_B a$

$T - 0,20 \cdot 40,0 = 4,0 \cdot 2,0$

$T - 8,0 = 8,0 \Rightarrow T = 16,0N$

Respostas: a) 2,0m/s²

b) 16,0N

Exercícios Resolvidos – Módulo 60

1 (VUNESP-MODELO ENEM) – Um veículo de passeio, trafegando numa estrada pavimentada, retilínea e de topografia plana e horizontal, molhada em razão de chuvas que caíam naquele momento, teve sua trajetória interceptada por um pedestre que, inadvertidamente, deslocava-se do acostamento em direção ao lado oposto da via. Diante do perigo iminente, o condutor do veículo aciona violentamente os freios do seu veículo, travando as rodas, e os pneus deixam sobre o asfalto 62,5m de vestígios de frenagem característicos, quando atropela a vítima. Sabendo-se que o coeficiente de atrito dinâmico entre a pista e os pneus do carro naquelas condições é de 0,50 e que a aceleração da gravidade tem módulo igual a 10,0m/s², o perito criminal designado para o levantamento do local determinou, com os elementos técnicos disponíveis, que o veículo envolvido trafegava com velocidade mínima, em km/h de módulo, aproximadamente, igual a

- a) 70 b) 80 c) 90 d) 100 e) 110

Resolução:

1) **PFD:** $F_{at} = ma$

$\mu_d mg = ma \Rightarrow a = \mu_d g = 5,0 m/s^2$

$V^2 = V_0^2 + 2\gamma\Delta s$

2) $V^2 = V_0^2 - 2 \cdot 5,0 \cdot 62,5$

$V^2 = V_0^2 - 625$

Como $V^2 \geq 0$ vem $V_0^2 - 625 \geq 0$

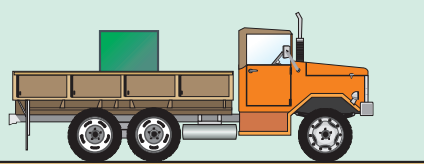
$V_0^2 \geq 625 \Rightarrow V_0 \geq 25 m/s$

$V_0 \geq 90km/h$

$V_0 (\text{min}) = 90km/h$

Resposta: C

2 (MODELO ENEM) – Um caminhão está inicialmente em repouso, com uma caixa sobre sua carroceria, também em repouso.

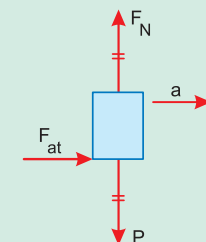


Sabendo-se que $g = 10m/s^2$ e que o coeficiente de atrito estático entre a caixa e a

carroceria do caminhão é 0,20, o módulo da máxima aceleração que pode ter o caminhão, em trajetória retilínea e horizontal, sem que a caixa escorregue, é

- a) 1,0m/s² b) 1,5m/s² c) 2,0m/s²
d) 2,5m/s² e) 3,0m/s²

Resolução:



1. **PFD (caixa):**
 $F_{at} = ma$

2. Como o atrito é estático, temos:

$F_{at} \leq \mu_E F_N$

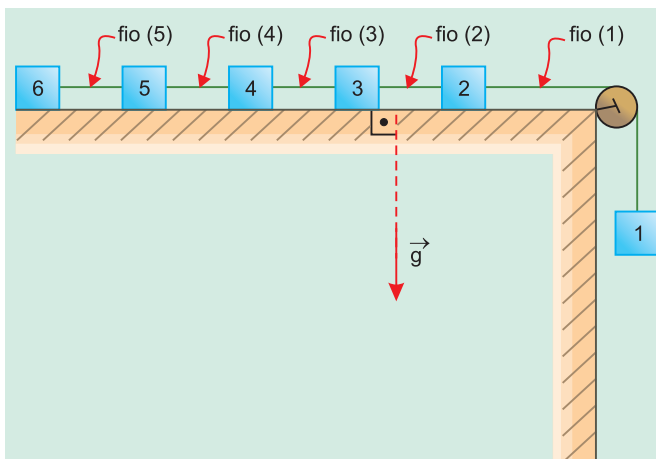
$ma \leq \mu_E mg$

$a \leq \mu_E g$

$a_{\text{máx}} = \mu_E g = 2,0m/s^2$

Resposta: C

3 (MODELO ENEM) – Na figura, temos um sistema formado por seis blocos idênticos unidos por fios ideais (inextensíveis e de massas desprezíveis). A massa da polia e o atrito na polia são desprezíveis. Não considere o efeito do ar.



Os blocos numerados de (2) a (6) estão no plano horizontal e o bloco (1) está suspenso. Inicialmente, o sistema está em equilíbrio e o coeficiente de atrito estático entre a superfície horizontal de apoio e cada um dos blocos vale 0,25.

Para que o sistema comece a se mover com movimento acelerado e com a maior quantidade possível de blocos se movendo, devemos cortar o fio:

- a) (5) b) (4) c) (3) d) (2) e) (1)

Resolução

O sistema começará a se mover quando o peso do bloco suspenso superar a força de atrito de destaque entre os blocos apoiados e a superfície horizontal.

Seja n o número de blocos apoiados que vão mover-se. Devemos ter:

$$P_1 > F_{at, destaque}$$

$$mg > n \mu mg$$

$$1 > n \cdot \mu$$

$$n < \frac{1}{\mu} \Rightarrow n < \frac{1}{0,25} \Rightarrow \boxed{n < 4}$$

O máximo valor possível para n será três

$$\boxed{n = 3}$$

Portanto, estarão movendo-se, além do bloco 1, os blocos (2), (3) e (4) e, portanto, devemos cortar o fio (4).

Resposta: B

Exercícios Propostos – Módulo 60

1 (FUVEST-MODELO ENEM) – Um policial rodoviário, ao examinar uma cena de engavetamento em um trecho retilíneo e horizontal de uma rodovia, verifica que o último carro envolvido deixou marca de pneus, resultante da freada de 75m de extensão. O motorista desse carro afirmou que, ao colidir, teria velocidade praticamente nula. Com base na medida feita pelo policial, na afirmação do motorista e sabendo-se que o coeficiente de atrito entre os pneus e o asfalto da rodovia é $\mu = 0,60$, pode-se concluir que a velocidade escalar inicial do último carro, medida em km/h, era aproximadamente

- a) 60 b) 84 c) 108 d) 120 e) 144

Nota: Admita que o carro tenha freio nas quatro rodas e despreze o efeito do ar. Adote $g = 10\text{m/s}^2$ e admita, ainda, que as rodas travaram.

RESOLUÇÃO:

1) Cálculo do módulo da aceleração do carro durante a freada:

$$\text{PFD: } F_{at} = ma$$

$$\mu mg = ma$$

$$a = \mu g = 0,60 \cdot 10 \text{ (m/s}^2\text{)} = 6,0\text{m/s}^2$$

2) Cálculo da velocidade escalar inicial:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \gamma \Delta s \text{ (MUV)}$$

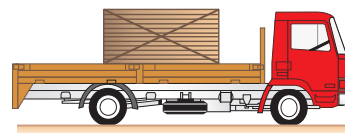
$$0 = V_0^2 + 2 (-6,0) 75$$

$$V_0^2 = 900$$

$$\boxed{V_0 = 30\text{m/s} = 108\text{km/h}}$$

Resposta: C

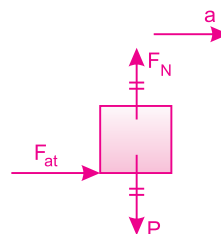
2 (MACKENZIE-SP-MODELO ENEM) – Um caminhão de massa M , que carrega uma caixa de massa m , está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. Seja μ o coeficiente de atrito estático entre a caixa e a carroceria do caminhão e g o módulo da aceleração da gravidade no local.



A máxima aceleração que o caminhão pode ter, para que a caixa não deslize sobre ele, tem módulo dado por:

- a) μg b) $\sqrt{2} \mu g$ c) $\sqrt{3} \mu g$ d) $2 \mu g$ e) $3 \mu g$

RESOLUÇÃO:



$$1) F_N = P = mg$$

$$2) F_{at} = ma$$

$$3) F_{at} \leq \mu F_N \text{ (atrito estático)}$$

$$ma \leq \mu mg$$

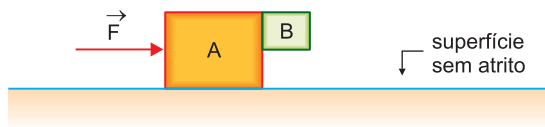
$$a \leq \mu g$$

$$\boxed{a_{máx} = \mu g}$$

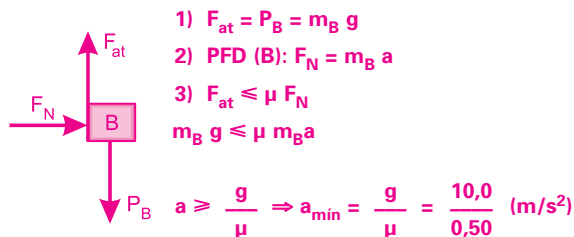
Resposta: A

3 (UnB) – O coeficiente de atrito estático entre os blocos A e B, montados como mostra a figura abaixo, vale 0,50. Considerando-se que as massas dos blocos A e B sejam, respectivamente, iguais a 3,0kg e 1,0kg e que $g = 10,0\text{m/s}^2$, o menor valor do módulo da força \vec{F} para que o bloco B não caia vale:

- a) 10,0N b) 20,0N c) 40,0N
d) 80,0N e) 90,0N



RESOLUÇÃO:



$$a_{\min} = 20,0\text{m/s}^2$$

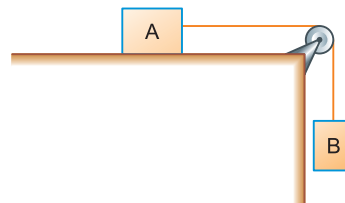
4) PFD (A + B):

$$F = (m_A + m_B) a_{\min}$$

$$F = 4,0 \cdot 20,0 \text{ (N)} \Rightarrow F = 80,0\text{N}$$

Resposta: D

4 Sabendo-se que os coeficientes de atrito estático e cinético entre o corpo A e o plano horizontal são, respectivamente, 0,30 e 0,20, que a massa do corpo B é 6,0kg e que $g = 10\text{m/s}^2$, determine



- a) o menor valor da massa do corpo A para que o sistema permaneça parado;
 b) o módulo da aceleração do conjunto e a intensidade da tração na corda que os une se a massa do corpo A for 10kg.

RESOLUÇÃO:

a) Para o sistema ficar parado:

$$P_B < F_{\text{destaque}}$$

$$60 \leq 3,0 m_A \Rightarrow m_A \geq 20\text{kg} \Rightarrow m_{A(\min)} = 20\text{kg}$$

b) 1) PFD (A + B): $P_B - F_{atA} = (m_A + m_B) a$

$$m_B g - \mu m_A g = (m_A + m_B) a$$

$$60 - 0,20 \cdot 100 = 16 \cdot a \Rightarrow a = 2,5\text{m/s}^2$$

2) PFD (B): $P_B - T = m_B a$

$$60 - T = 6,0 \cdot 2,5 \Rightarrow T = 45\text{N}$$

Respostas: a) 20kg

b) 2,5m/s² e 45N

Módulos

61 e 62

Plano inclinado

Palavras-chave:

- Componente tangencial do peso
- Componente normal do peso



Que importância tem um plano inclinado em nossa vida cotidiana?

Um plano inclinado deve ser entendido como uma "máquina simples" que nos permite economizar forças.

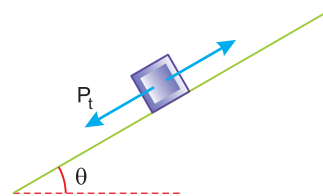
Um plano inclinado com frequência é utilizado para erguer corpos pesados.

Assim, quando pretendemos levantar um corpo de peso P a uma certa altura, se quisermos levá-lo verticalmente, teremos de aplicar uma força para vencer o

seu peso P . Se, contudo, usarmos um plano inclinado, a força a ser aplicada será menor, pois deveremos vencer apenas uma componente do peso paralela ao plano e que será chamada componente tangencial do peso, conforme explicado na teoria desenvolvida a seguir.



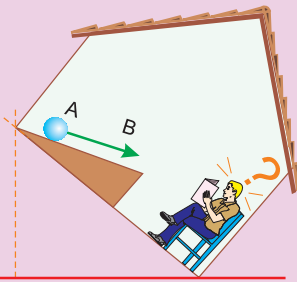
Corpo levantado verticalmente: a força aplicada F deve vencer o peso P



Corpo levantado ao longo do plano inclinado: a força F deve vencer o componente do peso P_t paralela ao plano inclinado.



Saiba mais



A imprensa divulgou alguns anos atrás a existência da Ladeira do Amendoim (Belo Horizonte-MG), na qual os carros subiam com os motores desligados.

Hoje, nos parques de diversões encontramos as casas malucas. No interior dessas casas, bolas de sinuca são solicitadas a se moverem para cima, ao longo de uma mesa inclinada.

No esquema acima, podemos perceber que em relação à Terra, quando a bola se desloca de A para B, está sendo acelerada para baixo, pela componente tangencial da força peso, de acordo com os nossos estudos do plano inclinado.

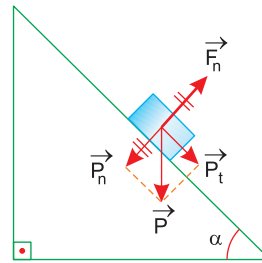
Tendo em vista que o piso da casa foi construído com uma inclinação maior com a horizontal terrestre, conforme a bola desce o plano, uma pessoa situada dentro da casa a vê afastando-se do piso. Para ela, aparentemente, a bola está subindo o plano.

Portanto: $P_t = P \operatorname{sen} \alpha$ e $P_n = P \operatorname{cos} \alpha$

2. Plano inclinado sem atrito

Consideremos um corpo abandonado ou lançado em um plano inclinado sem atrito.

A componente normal do peso (\vec{P}_n) é equilibrada pela força normal de contato (\vec{F}_n) aplicada pelo plano; a componente tangencial do peso (\vec{P}_t) será a força resultante no corpo.



Aplicando-se a 2ª Lei de Newton para o movimento do bloco, temos:

$$P_t = ma$$

$$P \operatorname{sen} \alpha = m a$$

$$mg \operatorname{sen} \alpha = ma$$

$$a = g \operatorname{sen} \alpha$$

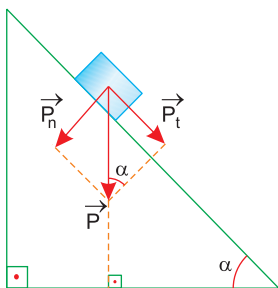
1. Componentes do peso

Quando um corpo de peso \vec{P} é colocado em um plano inclinado de α , em relação ao plano horizontal, é usual decompor o seu peso em duas parcelas:

- **Componente tangencial ou motriz** (\vec{P}_t): é a componente do peso, paralela ao plano, e que solicita o bloco a se mover para baixo, ao longo do plano.

- **Componente normal ou de compressão** (\vec{P}_n): é a componente do peso normal ao plano e que comprime o bloco contra o plano inclinado.

A componente motriz tem interesse em todo problema envolvendo plano inclinado, porém a componente normal só é usada quando existe atrito, pois faz o papel de força normal de compressão ($|\vec{F}_n| = |\vec{P}_n|$).



O ângulo assinalado no triângulo da figura é igual ao ângulo do plano (α) porque tem lados perpendiculares aos lados do ângulo (α).

Analisando-se o triângulo assinalado na figura, temos:

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{P_t}{P} \quad \text{e} \quad \operatorname{cos} \alpha = \frac{P_n}{P}$$

Notas

- 1) A aceleração de um corpo em um plano inclinado sem atrito não depende da sua massa.
- 2) A relação $a = g \operatorname{sen} \alpha$ só se aplica quando o corpo se move livremente no plano inclinado, isto é, sob a ação exclusiva de seu peso (\vec{P}) e da reação normal de apoio (\vec{F}_n).
- 3) Caso particular importante é quando $\alpha = 30^\circ$, $\operatorname{sen} \alpha = 1/2$ e $a = g/2$.
- 4) Como a aceleração é constante e não nula, o movimento do corpo, em trajetória retilínea, é do tipo uniformemente variado.



No plano inclinado, os corpos são acelerados pela componente tangencial da força peso, que solicita os objetos a se moverem para baixo, ao longo do plano.



Ao descer uma região inclinada, um esquiador descreve um movimento acelerado.

Exercícios Resolvidos – Módulo 61

1 (FGV-MODELO ENEM)

Coro ensaia no Municipal do Rio. De repente, o palco cai.

Rio – Um defeito num dos elevadores de palco do Teatro Municipal do Rio provocou um acidente ontem de manhã. Dois dos 60 integrantes de um grupo de coro que ensaiava com a Orquestra Sinfônica Brasileira (OSB) saíram feridos, sem gravidade. A falha, causada pelo rompimento de um cabo de aço, fez com que o palco ficasse inclinado 20 graus com a horizontal. (...)

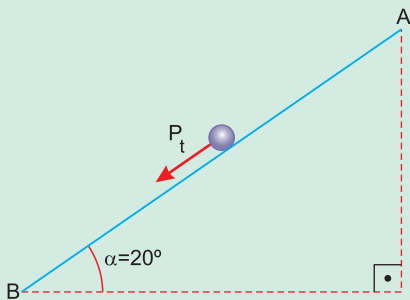
(Estado de S.Paulo. Adaptado)

Após a inclinação, os coristas, não mais conseguindo permanecer parados em pé, escorregaram até o fim do palco. Considere que um deles tenha escorregado por um tempo de 2,0s até atingir a borda do palco. A máxima velocidade escalar que esse corista poderia alcançar, se o atrito fosse desprezível, atingiria o valor, em m/s, de

- a) 2,0 b) 2,4 c) 3,6
d) 4,7 e) 6,8

Dados: $\sin 20^\circ = 0,34$; $\cos 20^\circ = 0,94$;
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Resolução



- 1) Aplicando-se a 2ª Lei de Newton ao movimento do corista, vem

$$P_t = ma$$

$$mg \sin \alpha = ma$$

$$a = g \sin \alpha$$

$$a = 10 \cdot 0,34 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$a = 3,4 \text{ m/s}^2$$

- 2) Usando-se a relação $V = f(t)$ do movimento uniformemente variado,

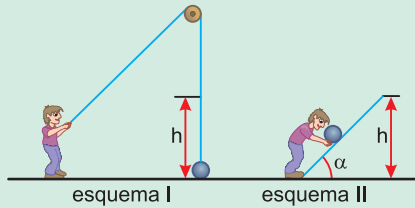
$$V = V_0 + \gamma t$$

$$V_f = 0 + 3,4 \cdot 2,0 \text{ (m/s)}$$

$$V_f = 6,8 \text{ m/s}$$

Resposta: E

- 2 (UNESP-MODELO ENEM) – Uma bola de pequeno diâmetro deve ser elevada, lentamente e com velocidade constante, à altura h . Considere duas opções: erguê-la mediante o uso de uma corda e uma polia ideais (esquema I) ou empurrá-la ao longo do plano inclinado (esquema II).



Se desprezarmos o atrito, a bola é erguida com a aplicação da menor força, quando

- se eleva a bola na vertical, utilizando a polia.
- se eleva a bola utilizando qualquer uma das opções sugeridas.
- se empurra a bola ao longo do plano inclinado com ângulo α igual a 60° .
- se empurra a bola ao longo do plano inclinado com o ângulo α igual a 45° .
- se empurra a bola ao longo do plano inclinado com o ângulo α igual a 30° .

Resolução

Quando a bola é levantada verticalmente, com velocidade constante, temos:

$$F_I = P$$

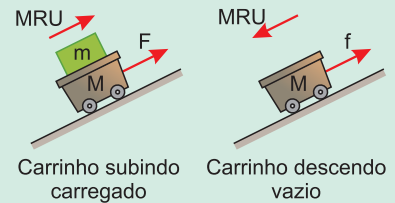
Se a bola for levantada, com velocidade constante, ao longo do plano inclinado, teremos:

$$F_{II} = P_t = P \sin \theta$$

Como o seno é função crescente de 0° a 90° , F_{II} será mínima quando $\sin \theta$ for mínimo e, para os valores citados nas opções, devemos ter $\theta = 30^\circ$.

Resposta: E

- 3 (VUNESP-MODELO ENEM) – Um carrinho de massa M é utilizado para levar uma carga de massa m para o alto de um plano inclinado. Quando ele está carregado, é necessária uma força de intensidade $F = 1000\text{N}$ para que ele suba em movimento retilíneo e uniforme. Depois de descarregar sua carga, é necessária uma força de intensidade $f = 800\text{N}$ para que ele desça vazio o mesmo plano inclinado, também em movimento retilíneo e uniforme. Nesse movimento, considere desprezíveis todas as forças dissipativas.



Assim, a relação M/m entre a massa do carrinho vazio e a massa da carga vale

- a) 1/4 b) 4/5 c) 5/4
d) 2 e) 4

Resolução

MRU \Leftrightarrow força resultante nula

$$1) F = P_t = (M + m) g \sin \theta \quad (1)$$

$$2) f = P_t' = M g \sin \theta \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} : \frac{F}{f} = \frac{M + m}{M}$$

$$\frac{1000}{800} = \frac{M + m}{M} = \frac{5}{4}$$

$$4M + 4m = 5M$$

$$M = 4m \Rightarrow \frac{M}{m} = 4$$

Resposta: E

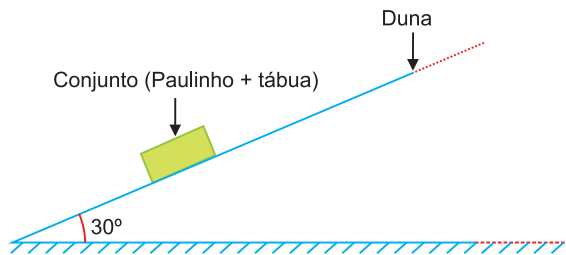
Exercícios Propostos – Módulo 61

- 1 (UFRN-MODELO ENEM) – Paulinho, após ter assistido a uma aula de Física sobre plano inclinado, decide fazer uma aplicação prática do assunto: analisar o que ocorre com ele e sua tábua de morro (usada no “esquibunda”), ao descer uma duna, inclinada de 30° em relação à horizontal e cuja extensão é de 40 m.

Inicialmente, Paulinho passa numa farmácia e verifica que a massa total, m_T , do conjunto (isto é, sua massa mais a massa da tábua) é de 60kg. Sendo a tábua de fórmica, bastante lisa e lubrificada com parafina, ele decide, numa primeira aproximação, desprezar o atrito entre a tábua e a areia da duna, bem como a resistência do ar.

Admitindo-se que, em nenhum momento da descida, Paulinho coloca os pés em contato com a areia, considerando-se que a aceleração da gravidade tem módulo igual a 10 m/s^2 e sabendo-se que $\sin 30^\circ = 1/2$, determine o módulo da velocidade, em km/h, com que o **conjunto** (Paulinho com a tábua) chegará à base da duna, supondo-se que ele tenha partido, do topo, do estado de repouso.

- a) 20 b) 30 c) 36 d) 72 e) 100



RESOLUÇÃO:

1) PFD: $P_t = ma$
 $mg \sin \theta = ma$

$a = g \cdot \sin \theta$

$a = 10 \cdot \frac{1}{2} \text{ (m/s}^2\text{)} \Rightarrow a = 5,0 \text{ m/s}^2$

2) MUV: $V^2 = V_0^2 + 2 \gamma \Delta s$

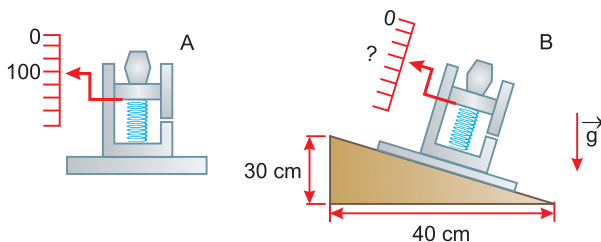
$V_f^2 = 0 + 2 \cdot 5,0 \cdot 40$

$V_f^2 = 400 \Rightarrow V_f = 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$

Resposta: D

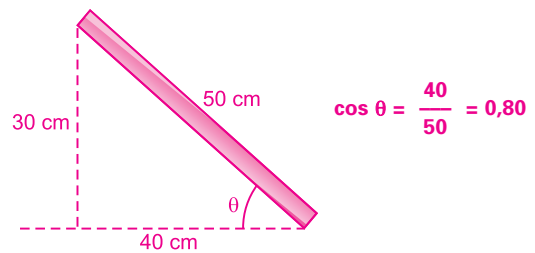
2 (FUVEST-SP-MODELO ENEM) – O mostrador de uma balança, quando um objeto é colocado sobre ela, indica 100N, como esquematizado em A. Se tal balança estiver desnivelada, como se observa em B, seu mostrador deverá indicar, para esse mesmo objeto, o valor de

- a) 125N b) 120N c) 100N d) 80N e) 75N



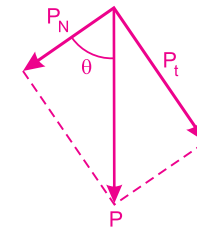
RESOLUÇÃO:

A força indicada pela balança corresponde à força normal de compressão que, com a balança inclinada, corresponde à componente normal do peso do corpo.



$P_N = P \cos \theta = 100 \cdot 0,80 \text{ (N)}$

$P_N = 80 \text{ N}$



Resposta: D

3 (UNIFOR-CE) – Um corpo escorrega por um plano inclinado, sem a ação de forças dissipativas. A aceleração da gravidade tem módulo igual a 10 m/s^2 . Partindo do repouso, ele desce 10m em 2,0s. Nessas condições, o ângulo que o plano inclinado forma com a horizontal mede

- a) 15° b) 30° c) 45° d) 60° e) 75°

RESOLUÇÃO:

1) $\Delta s = V_0 t + \frac{\gamma}{2} t^2$ (MUV)

$10 = \frac{a}{2} \cdot 4,0 \Rightarrow a = 5,0 \text{ m/s}^2$

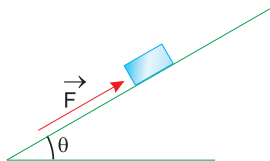
2) PFD: $P_t = ma$
 $mg \sin \theta = ma$

$a = g \cdot \sin \theta \Rightarrow 5,0 = 10 \sin \theta$

$\sin \theta = 0,50 \Rightarrow \theta = 30^\circ$

Resposta: B

- 4 Um bloco de massa 2,0kg é empurrado para cima, a partir do repouso, em um plano inclinado de θ em relação à horizontal, por uma força \vec{F} , constante, paralela ao plano e de intensidade 20N, em um local onde $g = 10\text{m/s}^2$.



Dados: $\text{sen } \theta = 0,60$ e $\text{cos } \theta = 0,80$.

Supondo-se que não haja atrito, calcule

- a) o módulo da aceleração adquirida pelo bloco;
 b) a distância percorrida e o módulo da velocidade adquirida após 2,0s de aplicação da força \vec{F} .

RESOLUÇÃO:

a) $P_t = P \cdot \text{sen } \theta \Rightarrow P_t = mg \cdot \text{sen } \theta$

$P_t = 2,0 \cdot 10 \cdot 0,60(\text{N}) \Rightarrow P_t = 12\text{N}$

Como $F > P_t$, concluímos que o bloco vai ser acelerado para cima.

PFD(bloco): $F_{\text{Res}} = ma$

$F - P_t = ma$

$20 - 12 = 2,0 \cdot a$

$a = 4,0\text{m/s}^2$

- b) Como o movimento é retilíneo, se adotarmos o sentido ascendente como positivo, teremos:

$a = |\gamma| \Rightarrow \gamma = 4,0\text{m/s}^2$

$\Delta s = v_0 t + \frac{\gamma t^2}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{4,0}{2} (2,0)^2 (\text{m})$

$\Delta s = 8,0\text{m}$

$v = v_0 + \gamma \cdot t$

Para $t = 2,0\text{s}$:

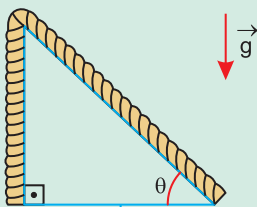
$v = 4,0 \cdot 2,0(\text{m/s})$

$v = 8,0\text{m/s}$

Respostas: a) $4,0\text{m/s}^2$ b) $8,0\text{m}$ e $8,0\text{m/s}$

Exercícios Resolvidos - Módulo 62

- 1 (MODELO ENEM) - Considere uma cunha cuja seção tem a forma de um triângulo retângulo. A cunha está fixa em um suporte preso no solo terrestre. Uma corda homogênea é colocada ao longo da cunha de acordo com a figura.

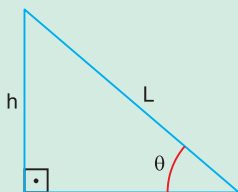


- d) o sentido de movimento da corda dependerá do ângulo θ .
 e) a corda necessariamente vai permanecer em repouso.

Resolução

Seja λ a densidade linear da corda (razão entre a massa e o comprimento da corda), o ramo vertical terá um peso P_V , dado por:

$P_V = \lambda h g$



O ramo de corda em contato com o plano inclinado terá como componente tangencial do peso: $P_t = \lambda L g \text{sen } \theta$

Porém, $\text{sen } \theta = \frac{h}{L}$ e $L \text{sen } \theta = h$

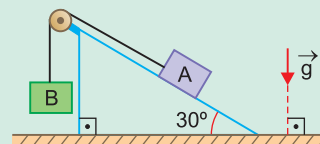
$P_t = \lambda h g$

Como $P_V = P_t$, a corda continuará em equilíbrio qualquer que seja o ângulo θ .

Resposta: E

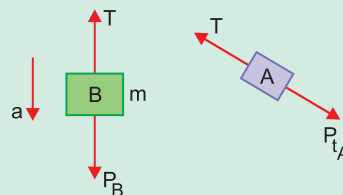
- 2 (AFA) - A figura apresenta um plano inclinado no qual está fixa uma polia ideal. O fio também é ideal e não há atrito. Adote $g = 10\text{m/s}^2$ e

despreze o efeito do ar.



Sabendo-se que os blocos A e B têm massas iguais, o módulo da aceleração de B é
 a) $2,5\text{m/s}^2$ b) $4,0\text{m/s}^2$ c) $5,0\text{m/s}^2$
 d) $7,5\text{m/s}^2$ e) $8,0\text{m/s}^2$

Resolução



PFD (B): $P_B - T = m_B a$

PFD (A): $T - P_{tA} = m_A a$

PFD (A + B): $P_B - P_{tA} = (m_A + m_B) a$

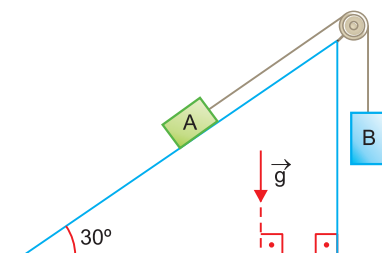
$mg - mg \frac{1}{2} = 2m a$

$\frac{g}{2} = 2a \Rightarrow a = \frac{g}{4} = 2,5\text{m/s}^2$

Resposta: A

Exercícios Propostos – Módulo 62

- 1 Na figura a seguir, estão representados dois blocos, A e B, e um plano inclinado de 30° em relação ao plano horizontal. Os atritos e o efeito do ar são desprezíveis, e o fio e a polia são ideais. Adote $g = 10,0\text{m/s}^2$.

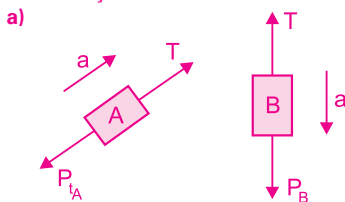


O bloco A tem massa de $2,0\text{kg}$ e o bloco B tem massa de $3,0\text{kg}$.

Determine

- o módulo da aceleração dos blocos A e B;
- a intensidade da força que traciona o fio.

RESOLUÇÃO:



$$\text{PFD (A): } T - P_{tA} = m_A a$$

$$\text{PFD (B): } P_B - T = m_B a$$

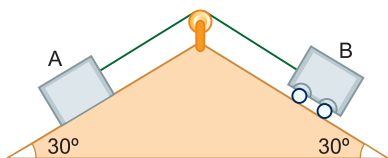
$$\text{PFD (A + B): } P_B - P_{tA} = (m_A + m_B) a$$

$$30,0 - 20,0 \cdot \frac{1}{2} = 5,0 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 4,0\text{m/s}^2}$$

$$\text{b) } T - 10,0 = 2,0 \cdot 4,0 \Rightarrow \boxed{T = 18,0\text{N}}$$

Respostas: a) $4,0\text{m/s}^2$ b) $18,0\text{N}$

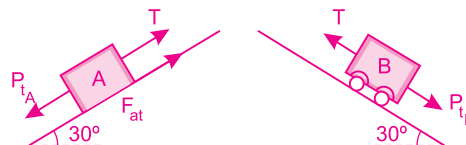
- 2 (VUNESP-FMTM-MODELO ENEM) – Sobre um sistema de planos com inclinações iguais, dois corpos, A e B, unidos por um fio muito fino e inextensível, encontram-se em repouso. O corpo A é maciço, com massa $10,0\text{kg}$ e sofre ação de uma força de atrito, cuja intensidade máxima é $20,0\text{N}$. O corpo B é oco e tem massa $2,0\text{kg}$, porém está preenchido com $10,0\text{kg}$ de água e montado sobre rodinhas, que tornam nula a ação de forças de atrito.



Em razão da presença de um orifício, esse segundo corpo está perdendo parte de sua massa de água. Considerando-se nulo o atrito entre a roldana e seu eixo, a menor massa de água que o corpo oco deverá possuir para que o sistema permaneça estático é, em kg,

- $4,0$
 - $5,0$
 - $6,0$
 - $7,0$
 - $8,0$
- Dados: $g = 10,0\text{m/s}^2$; $\text{sen } 30^\circ = 0,50$; $\text{cos } 30^\circ = 0,87$

RESOLUÇÃO:



Quando a massa de B for mínima, a tendência de movimento do sistema é de B subir e A descer e por isso a força de atrito em A é dirigida para cima e com intensidade máxima ($20,0\text{N}$).

Para o equilíbrio:

$$P_{tA} = T + F_{at}$$

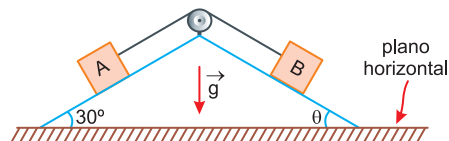
$$T = P_{tB}$$

$$\text{Portanto: } P_{tA} = P_{tB} + F_{at} \Rightarrow m_A g \text{ sen } 30^\circ = m_B g \text{ sen } 30^\circ + F_{at}$$

$$10,0 \cdot 10,0 \cdot 0,50 = m_B \cdot 10,0 \cdot 0,50 + 20,0 \Rightarrow m_B = 6,0 \text{ kg e } m_{\text{água}} = 4,0 \text{ kg}$$

Resposta: A

- 3 (IME) – Na figura a seguir, os objetos A e B pesam, respectivamente, 40N e 30N e estão apoiados sobre planos inclinados lisos, ligados entre si por um fio inextensível, de peso desprezível, que passa por uma polia sem atrito.



Sabendo-se que o sistema está em equilíbrio, determine

- a intensidade da força que traciona o fio;
- o valor de $\text{sen } \theta$.

RESOLUÇÃO:

$$\text{a) } T = P_{tA} = P_A \text{ sen } 30^\circ$$



$$T = 40 \cdot \frac{1}{2} \text{ (N)} \Rightarrow \boxed{T = 20\text{N}}$$

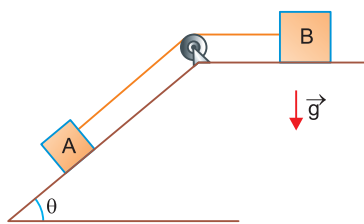
$$\text{b) } T = P_{tB}$$

$$20 = 30 \cdot \text{sen } \theta$$

$$\boxed{\text{sen } \theta = \frac{2}{3}}$$

Respostas: a) 20N b) $\frac{2}{3}$

- 4 Na figura a seguir, o bloco A tem massa $m_A = 2,0\text{kg}$ e o bloco B tem massa $m_B = 4,0\text{kg}$.



Adote $g = 10,0\text{m/s}^2$ e despreze os atritos e o efeito do ar. O fio e a polia são ideais.

Dados: $\sin \theta = 0,60$
 $\cos \theta = 0,80$

Determine

- o módulo da aceleração dos blocos;
- a intensidade da força que traciona o fio.

RESOLUÇÃO:

a) PFD (A): $P_{tA} - T = m_A a$

PFD (B): $T = m_B a$

PFD (A + B): $P_{tA} = (m_A + m_B) a$

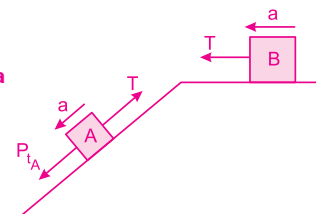
$m_A g \sin \theta = (m_A + m_B) a$
 $2,0 \cdot 10,0 \cdot 0,60 = 6,0 a$

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

b) $T = m_B a$

$T = 4,0 \cdot 2,0 \text{ (N)} \Rightarrow T = 8,0\text{N}$

Respostas: a) $2,0\text{m/s}^2$ b) $8,0\text{N}$



Módulo

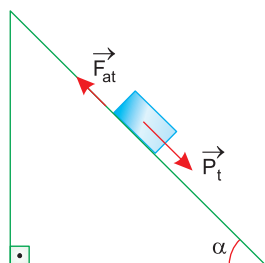
63

Plano inclinado com atrito

Palavras-chave:

- Coeficiente de atrito
- Componente tangencial do peso
- Componente normal do peso

- Consideremos um corpo abandonado em um plano inclinado com atrito. Seja μ_e o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano inclinado.



Para que o corpo se movimente, a componente tangencial do peso (P_t) deve superar a força de atrito de destaque (F_{destaque}).

$P_t > F_{\text{destaque}}$

Porém: $P_t = P \sin \alpha = mg \sin \alpha$

$F_{\text{destaque}} = \mu_e F_N = \mu_e mg \cos \alpha$

Portanto: $mg \sin \alpha > \mu_e mg \cos \alpha$

$\sin \alpha > \mu_e \cos \alpha \Rightarrow \mathbf{tg \alpha > \mu_e}$

Portanto, só haverá movimento quando for satisfeita a relação $tg \alpha > \mu_e$.

- Calculemos o módulo da aceleração (a) quando o bloco está escorregando para baixo.

Aplicando-se a 2.ª Lei de Newton, temos:

$P_t - F_{\text{at}} = m a$

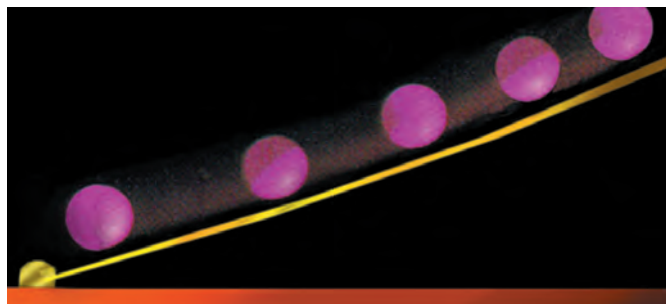
Porém: $P_t = P \sin \alpha = mg \sin \alpha$

$F_{\text{at}} = \mu_d F_N = \mu_d mg \cos \alpha$

μ_d = coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e o plano inclinado.

Portanto: $mg \sin \alpha - \mu_d mg \cos \alpha = m a$

$a = g (\sin \alpha - \mu_d \cos \alpha)$



A foto estroboscópica acima mostra que as distâncias percorridas em intervalos de tempos iguais aumentam quando um corpo desce por um plano inclinado. Medindo-se essas distâncias, pode-se mostrar que o movimento é uniformemente variado.

Notas

1) Mesmo no caso em que há atrito, a aceleração no plano inclinado não dependerá da massa do corpo.

2) O bloco poderá descer o plano com movimento retilíneo e uniforme (velocidade constante e aceleração nula) se for lançado para baixo:

$a = 0 \Rightarrow \sin \alpha - \mu_d \cos \alpha = 0 \Rightarrow \sin \alpha = \mu_d \cos \alpha$

$\mathbf{tg \alpha = \mu_d}$

3) O ângulo α , tal que $tg \alpha = \mu_d$, é denominado **ângulo de atrito**.

4) Se o corpo for lançado para cima, no plano inclinado, a força de atrito terá sentido dirigido para baixo e, enquanto durar o movimento de subida, teremos:

2ª Lei de Newton: $P_t + F_{at} = ma$
 $mg \sin \alpha + \mu_d mg \cos \alpha = ma$

$a = g (\sin \alpha + \mu_d \cos \alpha)$

• Resumindo todos os casos possíveis:

I) **Corpo abandonado em repouso:**

Se $\tan \alpha \leq \mu_e \Rightarrow$ repouso e $F_{at} = P_t$

Se $\tan \alpha > \mu_e \Rightarrow$ movimento acelerado para baixo e

$a = g (\sin \alpha - \mu_d \cos \alpha)$

II) **Corpo lançado para baixo:**

Se $\tan \alpha < \mu_d \Rightarrow$ movimento retardado e

$a = g (\mu_d \cos \alpha - \sin \alpha)$

Se $\tan \alpha = \mu_d \Rightarrow$ movimento uniforme e $a = 0$

Se $\tan \alpha > \mu_d \Rightarrow$ movimento acelerado e

$a = g (\sin \alpha - \mu_d \cos \alpha)$

III) **Corpo lançado para cima:**

Até o corpo parar: movimento retardado e

$a = g (\sin \alpha + \mu_d \cos \alpha)$



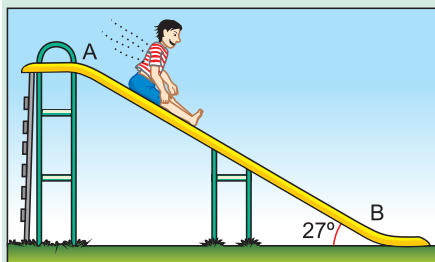
Uma criança desce em um escorregador com movimento acelerado pela componente tangencial da força peso. Para parar no plano inclinado, basta aumentar as forças de atrito, utilizando para isso as mãos, os pés etc.

Exercícios Resolvidos

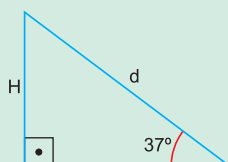
1 (PUC-SP-MODELO ENEM) – Uma criança de massa 25kg, inicialmente no ponto A, distante 2,4m do solo, percorre, a partir do repouso, o escorregador esquematizado na figura. O escorregador pode ser considerado um plano inclinado cujo ângulo com a horizontal é de 37° . Supondo-se o coeficiente de atrito cinético entre a roupa da criança e o escorregador igual a 0,50, o módulo da velocidade com que a criança chega à base do escorregador (ponto B) é, em m/s,

- a) 4,0 b) $4,0\sqrt{5}$ c) $4,0\sqrt{3}$
 d) $2,0\sqrt{10}$ e) 16

Dados: $\sin 37^\circ \approx 0,60$; $\cos 37^\circ \approx 0,80$;
 $\tan 37^\circ \approx 0,75$ e $g = 10\text{m/s}^2$.



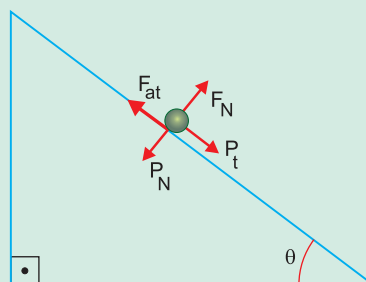
Resolução



1) $\sin 37^\circ = \frac{H}{d} \Rightarrow 0,60 = \frac{2,4}{d}$

$d = \frac{2,4}{0,60} \text{ (m)} = 4,0\text{m}$

2)



PFD (criança)

$P_t - F_{at} = ma$

$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$

$a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta)$

$a = 10 (0,60 - 0,50 \cdot 0,80) \text{ (m/s}^2\text{)}$

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

3) $V^2 = V_0^2 + 2 \gamma \Delta s$ (MUV)

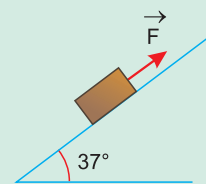
$V^2 = 0 + 2 \cdot 2,0 \cdot 4,0 = 16,0$

$V = 4,0\text{m/s}$

Resposta: A

2 (FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS-MODELO ENEM) – Para relacionar causas e efeitos dos movimentos, Newton lançou em 1686 a Teoria da Mecânica, hoje conhecida como Dinâmica Clássica. A questão abaixo apresentada é uma aplicação dessa teoria.

Um bloco de massa 4,0 kg deve ser arrastado com velocidade constante, para cima, sobre um plano inclinado de 37° por ação de uma força \vec{F} paralela ao plano.



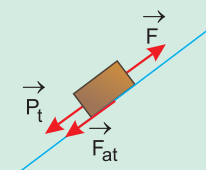
O plano oferece ao bloco uma força de atrito, cujo coeficiente é 0,25.

Considere $\sin 37^\circ = 0,60$; $\cos 37^\circ = 0,80$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Nestas condições, a força \vec{F} tem intensidade, em newtons,

- a) 32 b) 24 c) 16
 d) 12 e) 8,0

Resolução



Sendo a velocidade constante a força resultante é nula e teremos:

$$F = P_t + F_{at}$$

$$F = mg \sin 37^\circ + \mu mg \cos 37^\circ$$

$$F = 40 \cdot 0,60 + 0,25 \cdot 40 \cdot 0,80 \text{ (N)}$$

$$F = 24 + 8,0 \text{ (N)}$$

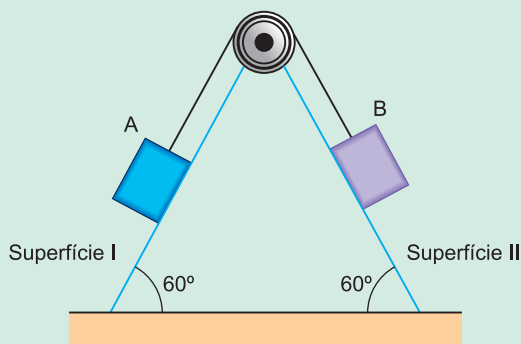
$$F = 32 \text{ N}$$

Resposta: A

3 (MACKENZIE-SP) – Os corpos A e B da figura abaixo são idênticos e estão ligados por meio de um fio suposto ideal. A polia possui inércia desprezível, a superfície I é altamente polida e o coeficiente de atrito cinético entre a superfície II e o corpo B é $\mu = 0,20$. Em determinado instante, o corpo B está descendo com velocidade escalar 3,0 m/s.

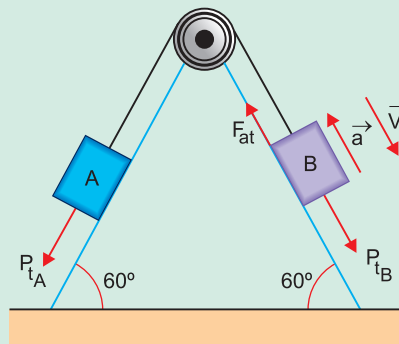
Após 2,0 s, sua velocidade escalar será:

- a) 0 b) 1,0 m/s c) 2,0 m/s d) 3,0 m/s e) 4,0 m/s



Adote: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Resolução



- 1) Sendo $P_{tB} = P_{tA}$, a força resultante que freia o sistema é a força de atrito em B:

$$\text{PFD (A + B)} : F_{at} = (m_A + m_B) a$$

$$\mu mg \cos 60^\circ = 2m a$$

$$0,20 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} = 2a \Rightarrow \mathbf{a = 0,50 \text{ m/s}^2}$$

- 2) Sendo o movimento uniformemente variado, vem:

$$V = V_0 + \gamma t$$

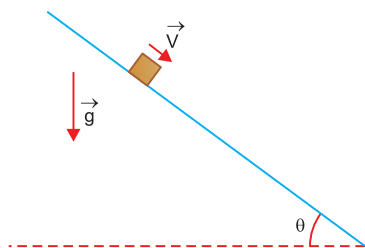
$$V_1 = 3,0 - 0,50 \cdot 2,0 \text{ (m/s)}$$

$$\mathbf{V_1 = 2,0 \text{ m/s}}$$

Resposta: C

Exercícios Propostos

1 Em um local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$ e o efeito do ar é desprezível, um bloco é lançado para baixo, em um plano inclinado de θ em relação ao plano horizontal, e desce o plano com velocidade constante.



Despreze o efeito do ar.

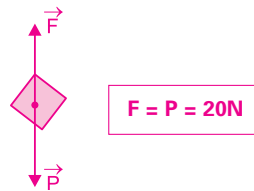
Sendo a massa do bloco igual a 2,0kg e $\theta = 30^\circ$, determine

- a) o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e o plano inclinado;
b) a intensidade da força que o plano inclinado exerce sobre o bloco.

RESOLUÇÃO:

a) $P_t = F_{at}$
 $P \sin \theta = \mu P \cos \theta \Rightarrow \mathbf{\mu = \tan \theta = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}}$

b) Sendo a velocidade constante, a força resultante é nula e a força aplicada pelo plano vai equilibrar o peso do bloco:



Respostas: a) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ b) 20N

2 (VUNESP-MODELO ENEM) – Ao modificar o estilo de uma casa para o colonial, deseja-se fazer a troca do modelo de telhas existentes. Com o intuito de preservar o jardim, foi montada uma rampa de 10,0m comprimento, apoiada na beirada do madeiramento do telhado, a 6,0m de altura. No momento em que uma telha – que tem massa de 2,5kg – é colocada sobre a rampa, ela desce acelerada, sofrendo, no entanto, a ação do atrito.

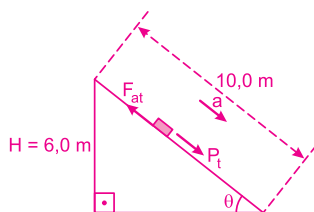


Nestas condições, o módulo da aceleração desenvolvida por uma telha, em m/s^2 , é

Dados: coeficiente de atrito = 0,2; $g = 10m/s^2$

- a) 3,8 b) 4,2 c) 4,4 d) 5,5 e) 5,6

RESOLUÇÃO:



$$1) \text{sen } \theta = \frac{6,0}{10,0} = 0,60; \text{cos } \theta = 0,80$$

2) PFD (telha):

$$P_t - F_{at} = ma$$

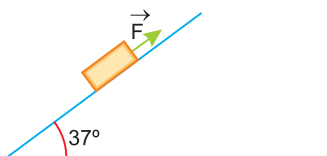
$$mg \text{sen } \theta - \mu mg \text{cos } \theta = ma$$

$$a = g (\text{sen } \theta - \mu \text{cos } \theta)$$

$$a = 10 (0,60 - 0,2 \cdot 0,80) (m/s^2) \Rightarrow a = 4,4m/s^2$$

Resposta: C

3 (UNIFOR-CE) – Um bloco de massa 2,0kg é arrastado para cima num plano inclinado de 37° com a horizontal, por uma força constante \vec{F} paralela ao plano inclinado. O bloco desliza para cima com aceleração dirigida para cima e com módulo de $2,0m/s^2$; o coeficiente de atrito de escorregamento entre o bloco e a superfície é 0,25.



Adotando-se $g = 10,0m/s^2$, $\text{sen } 37^\circ = 0,60$ e $\text{cos } 37^\circ = 0,80$, a intensidade da força \vec{F} , em newtons, é de

- a) 20,0 b) 16,0 c) 12,0 d) 8,0 e) 4,0

RESOLUÇÃO:

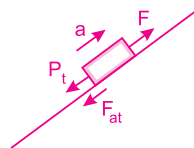
$$1) P_t = mg \text{sen } 37^\circ = 20,0 \cdot 0,60 (N) = 12,0 N$$

$$2) F_{at} = \mu_d P_N = \mu_d mg \text{cos } 37^\circ$$

$$F_{at} = 0,25 \cdot 20,0 \cdot 0,80 (N) = 4,0 N$$

$$3) \text{PFD (bloco): } F - (P_t + F_{at}) = ma$$

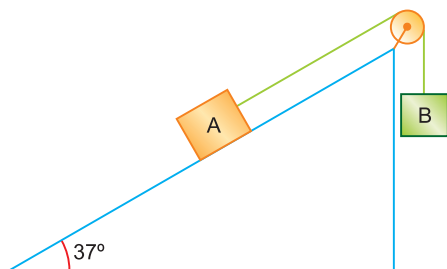
$$F - 16,0 = 2,0 \cdot 2,0 \Rightarrow F = 20,0N$$



Resposta: A

4 O bloco A, de massa 5,0kg, sobe o plano inclinado representado na figura adiante, com velocidade constante de módulo 2,0m/s. O coeficiente de atrito entre o bloco A e o plano inclinado vale 0,50.

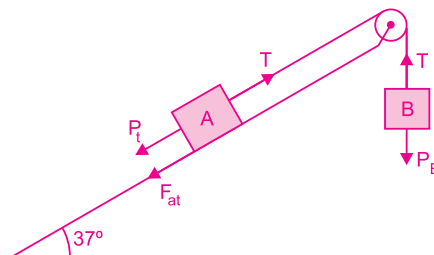
Dados: $g = 10,0m/s^2$ $\text{sen } 37^\circ = 0,60$ $\text{cos } 37^\circ = 0,80$



Nessas condições, a massa do bloco B, em kg, vale

a) 10,0 b) 8,0 c) 6,0 d) 5,0 e) 4,0

RESOLUÇÃO:



1) Para o bloco A:

$$T = P_t + F_{at}$$

$$T = mg \text{sen } \theta + \mu mg \text{cos } \theta \Rightarrow T = mg (\text{sen } \theta + \mu \text{cos } \theta)$$

$$T = 50,0 (0,60 + 0,50 \cdot 0,80) (N) \Rightarrow T = 50,0N$$

2) Para o bloco B:

$$T = P_B = m_B g$$

$$50,0 = m_B \cdot 10,0 \Rightarrow m_B = 5,0kg$$

Resposta: D

Em nossa vida cotidiana, são raros os casos em que a velocidade é mantida constante.

Quando você está dirigindo um carro e está acelerando, freando ou simplesmente fazendo uma curva, a velocidade do carro estará variando. Qualquer alteração de velocidade significará que as forças atuantes no carro admitem uma força resultante (soma vetorial das forças atuantes) não nula.

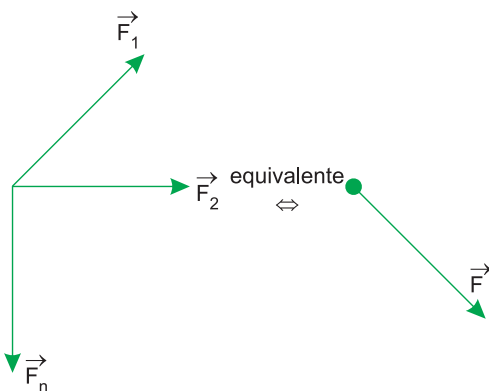
Como a velocidade é estudada como vetor, ela poderá variar em módulo (acelerar ou frear) e/ou em orientação (trajetória curva).

É por isso que o estudo da força resultante fica mais simples se ela for decomposta em duas parcelas: uma tangencial à trajetória, que será usada para acelerar e para frear, e outra perpendicular à trajetória, que vai curvar a trajetória.

1. Preliminares

Consideremos uma partícula sob a ação simultânea de n forças, $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, em relação a um sistema de referência inercial.

Define-se resultante (\vec{F}) das n forças como sendo uma força hipotética (imaginária) que, aplicada sozinha à partícula, produz o mesmo efeito que a ação simultânea das n forças. Em outras palavras, o conjunto das n forças e a força resultante proporcionam à partícula a mesma aceleração.

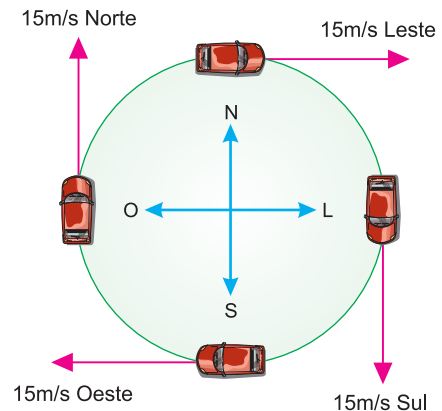


$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Cada uma das forças $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ admite uma reação ($-\vec{F}_1, -\vec{F}_2, \dots, -\vec{F}_n$) de acordo com a 3ª Lei de Newton, porém, não se pode falar em reação à força re-

sultante (\vec{F}), pois tal força é uma força **hipotética** que, se existisse, poderia substituir sozinha o conjunto das n forças.

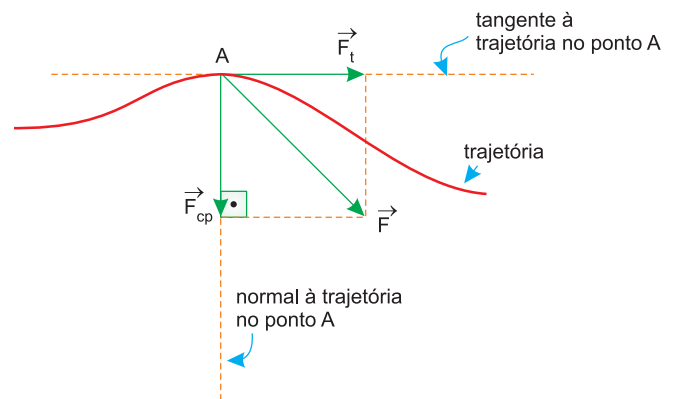


A figura mostra que a velocidade de um móvel em movimento circular e uniforme é variável. Este fato indica que devem atuar uma ou mais forças no móvel e que a força resultante não é nula.

2. Componentes da resultante

Consideremos uma partícula em trajetória curva e movimento não uniforme, em relação a um sistema de referência inercial.

Seja \vec{F} a força resultante na partícula, em um ponto A, da trajetória.



A força resultante (\vec{F}) pode ser decomposta em duas parcelas:

\vec{F}_t : componente tangencial da força resultante; é a componente da força resultante na direção da tangente à trajetória;

\vec{F}_{cp} : componente normal ou centrípeta da força resultante; é a componente da força resultante na direção da normal à trajetória.

É evidente que:

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

e

$$|\vec{F}|^2 = |\vec{F}_t|^2 + |\vec{F}_{cp}|^2$$

3. Resultante tangencial

A componente tangencial da força resultante (\vec{F}_t) é responsável pela variação do módulo da velocidade vetorial, isto é, é usada para acelerar (módulo da velocidade aumenta), ou para retardar (módulo da velocidade diminui) o corpo.

Quando o movimento for uniforme, não importando a trajetória descrita, o módulo da velocidade permanece constante e a resultante tangencial é nula.

Características vetoriais

Módulo ou intensidade

$$|\vec{F}_t| = m \cdot |\gamma|$$

em que m é a massa do corpo e γ sua aceleração escalar.

Direção: tangente à trajetória.

Sentido

- Quando o movimento é acelerado (módulo da velocidade aumenta), a resultante tangencial tem o mesmo sentido do movimento.

- Quando o movimento é retardado (módulo da velocidade diminui), a resultante tangencial tem sentido oposto ao do movimento.



Resultante tangencial constantemente nula

A resultante tangencial será constantemente nula quando $\gamma = \text{cte} = 0$, isto é, quando o corpo estiver em **repouso** ou em **movimento uniforme** com qualquer trajetória (reta ou curva).

Resultante tangencial constante não nula

A resultante tangencial terá módulo ($m |\gamma|$) constante e não nulo quando o movimento for **uniformemente variado** ($\gamma = \text{cte} \neq 0$).

A resultante tangencial será vetorialmente constante quando o movimento for **retilíneo** e **uniformemente variado** (MRUV).

4. Resultante centrípeta

A componente normal (ou centrípeta) da força resultante (\vec{F}_{cp}) é responsável pela variação da direção da velocidade vetorial, isto é, é usada para curvar a trajetória.

A resultante centrípeta é característica das trajetórias curvas.

Na trajetória retilínea, a resultante centrípeta é constantemente nula.

Características vetoriais

Módulo ou intensidade: $|\vec{F}_{cp}| = \frac{mV^2}{R}$, em que m

é a massa, V a velocidade escalar e R um elemento geométrico da trajetória denominado raio de curvatura da trajetória.

Nas trajetórias circulares, R é o raio da circunferência.

Nas trajetórias retilíneas, R tende para o infinito e a resultante centrípeta é nula.

O inverso de R é denominado curvatura (C) da trajetória:

$$C = \frac{1}{R}$$

Direção: normal à trajetória.

Sentido: dirigido para o centro da curva.



Uma vez que a trajetória do carrinho é curvilínea, a força resultante admite uma componente centrípeta.

Resultante centrípeta constantemente nula

A resultante centrípeta será constantemente nula quando $V = \text{cte} = 0$, isto é, repouso, ou quando $R \rightarrow \infty$, (R tende para infinito) isto é, **trajetória reta**.

A resultante centrípeta pode ter módulo constante (por exemplo, no movimento circular e uniforme), porém, como é sempre normal à trajetória, **nunca terá direção constante**.

Assim, a resultante centrípeta só poderá ser **vetorialmente constante** quando for nula, isto é, o móvel em **repouso** ou em **trajetória retilínea**.

5. Força resultante constante

$$\vec{F} = \text{cte} = \vec{0}$$

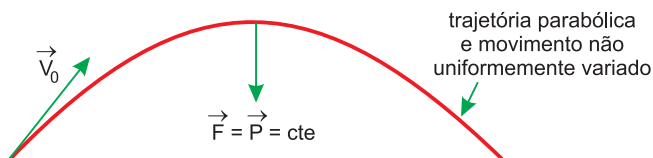
Se a força resultante for constante e nula, o móvel estará em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, de acordo com a 1ª Lei de Newton.

$$\vec{F} = \text{cte} \neq \vec{0}$$

Se a força resultante for constante e não nula, então existem duas possibilidades:

a) Se a velocidade inicial (\vec{V}_0) for nula ou tiver a mesma direção de \vec{F} , o movimento será retilíneo e uniformemente variado (MRUV), na direção de \vec{F} .

b) Se a velocidade inicial (\vec{V}_0) tiver direção distinta da de \vec{F} , a trajetória será parabólica e o movimento não é uniformemente variado. Como exemplo, temos o movimento de um projétil no campo de gravidade da Terra (suposto uniforme) e desprezando-se a resistência do ar.



6. Força resultante nos principais movimentos

Movimento retilíneo e uniforme

Sendo o movimento uniforme, temos:

$$\gamma = 0 \text{ e } \vec{F}_t = \vec{0}$$

Sendo a trajetória reta, temos:

$$R \rightarrow \infty \text{ e } \vec{F}_{cp} = \vec{0}$$

Portanto: $\vec{F} = \vec{0}$ (resultante constante e nula)

Movimento retilíneo e uniformemente variado

Sendo o movimento variado, temos:

$$\gamma \neq 0 \text{ e } \vec{F}_t \neq \vec{0}$$

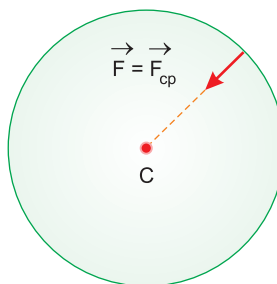
Sendo a trajetória reta, temos:

$$R \rightarrow \infty \text{ e } \vec{F}_{cp} = \vec{0}$$

Portanto: $|\vec{F}| = |\vec{F}_t| = m|\gamma|$ (resultante cons-

tante e não nula)

Movimento circular e uniforme



Sendo o movimento uniforme, temos:

$$\gamma = 0 \text{ e } \vec{F}_t = \vec{0}$$

Sendo a trajetória curva, temos: $\vec{F}_{cp} \neq \vec{0}$.

Portanto:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_{cp}| = \frac{mV^2}{R}$$

(resultante com módulo constante e direção variável)

Movimento circular e uniformemente variado

Sendo o movimento variado, temos:

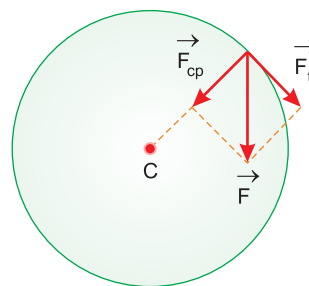
$$\gamma \neq 0 \text{ e } \vec{F}_t \neq \vec{0}$$

Sendo a trajetória curva, temos: $\vec{F}_{cp} \neq \vec{0}$

Portanto:

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

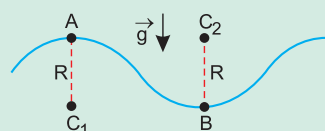
$$|\vec{F}|^2 = |\vec{F}_t|^2 + |\vec{F}_{cp}|^2$$



Neste caso, a resultante varia em módulo e direção.

Exercícios Resolvidos - Módulo 64

1 (UNICAP-PE-MODELO ENEM) – Devido aos relevos, nem sempre as estradas podem ser planas e horizontais. A figura adiante representa um trecho de uma estrada. **Analisando-se esse trecho da estrada, percebemos que a possibilidade de ser danificada, devido ao tráfego, é maior no ponto B do que no ponto A, para um veículo movendo-se com velocidade escalar constante.**



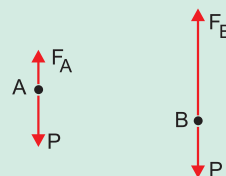
Nas posições A e B o raio de curvatura da trajetória é o mesmo.

A proposição do texto em negrito é:

- falsa – porque a força resultante no veículo será nula
- falsa – porque nas posições A e B a força normal aplicada pela pista tem a mesma intensidade do peso do carro.
- verdadeira – porque a força resultante centrípeta é maior na posição B
- verdadeira – porque a força normal que o veículo troca com a pista é maior na posição B

e) falsa – porque a força normal que o veículo troca com a pista é maior na posição A

Resolução



$$\text{Em A: } P - F_A = \frac{mV^2}{R}$$

$$\text{Em B: } F_B - P = \frac{mV^2}{R}$$

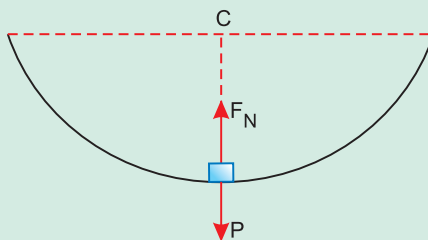
Portanto: $F_B > P > F_A$

Resposta: D

2 (UFAC-MODELO ENEM) – Um caminhão transporta uma carga de 3,0 toneladas em sua carroceria. Calcule a intensidade da força normal exercida pela carga sobre o piso da carroceria, quando ele passa, a 72km/h (20m/s), pelo ponto mais baixo de uma depressão circular contida em um plano vertical e com 400m de raio. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze o efeito do ar.

- a) $1,0 \cdot 10^3 \text{ N}$ b) $1,1 \cdot 10^3 \text{ N}$
 c) $3,3 \cdot 10^3 \text{ N}$ d) $1,1 \cdot 10^4 \text{ N}$
 e) $3,3 \cdot 10^4 \text{ N}$

Resolução:



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

$$F_N - mg = \frac{mV^2}{R}$$

$$F_N = m \left(g + \frac{V^2}{R} \right)$$

$$F_N = 3,0 \cdot 10^3 \left(10 + \frac{400}{400} \right) \text{ (N)}$$

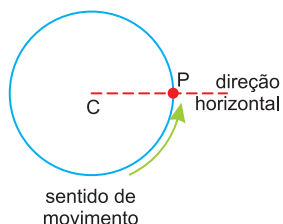
$$F_N = 33 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_N = 3,3 \cdot 10^4 \text{ N}$$

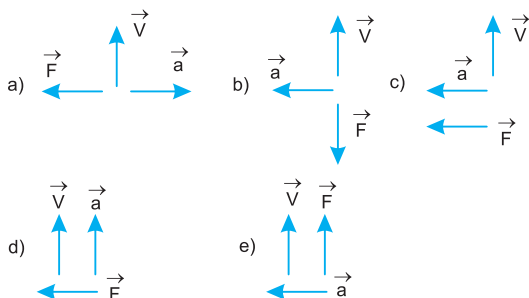
Resposta: E

Exercícios Propostos – Módulo 64

1 Uma criança está em uma roda gigante que se movimenta com velocidade angular constante.



Quando a criança passa pelo ponto P, qual o conjunto de vetores que melhor representa a direção e o sentido de sua velocidade vetorial \vec{V}_t de sua aceleração vetorial \vec{a} e da força resultante \vec{F} que atua sobre ela?

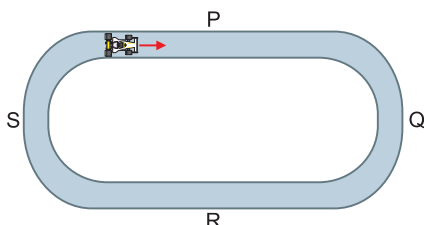


RESOLUÇÃO:

- 1) A velocidade vetorial tem a direção da tangente (vertical) e o mesmo sentido do movimento (para cima).
 2) Sendo o movimento circular e uniforme, a aceleração e a força resultante só têm componente centrípeta.

Resposta: C

2 (UFMG-MODELO ENEM) – Daniel está brincando com um carrinho, que corre por uma pista composta de dois trechos retilíneos – P e R – e dois trechos em forma de semicircunferências – Q e S –, como representado nesta figura:



O carrinho passa pelos trechos P e Q mantendo o módulo de sua velocidade constante. Em seguida, ele passa pelos trechos R e S aumentando sua velocidade.

Com base nessas informações, é correto afirmar que a resultante das forças sobre o carrinho

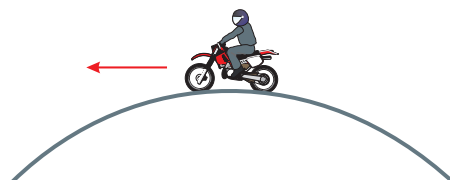
- a) é nula no trecho Q e não é nula no trecho R.
 b) é nula no trecho P e não é nula no trecho Q.
 c) é nula nos trechos P e Q.
 d) não é nula em nenhum dos trechos marcados.

RESOLUÇÃO:

- 1) Trecho P: MRU \Rightarrow resultante nula
 2) Trecho Q: movimento uniforme e curvo
 $\vec{F}_t = \vec{0}$ e $\vec{F}_{cp} \neq \vec{0}$
 3) Trecho R: movimento retilíneo e acelerado
 $\vec{F}_t \neq \vec{0}$ e $\vec{F}_{cp} = \vec{0}$
 4) Trecho S: movimento curvo e acelerado
 $\vec{F}_t \neq \vec{0}$ e $\vec{F}_{cp} \neq \vec{0}$

Resposta: B

3 (UFJF-MG-MODELO ENEM) – Um motoqueiro contou, para um amigo, que subiu em alta velocidade um viaduto e, quando chegou ao ponto mais alto deste, sentiu-se muito leve e por pouco a moto não perdeu o contato com o chão (vide figura abaixo).



Podemos afirmar que

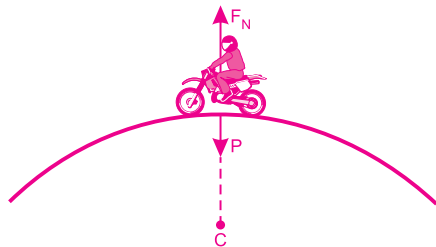
- a) isso aconteceu em função de sua alta velocidade, que fez com que seu peso diminuísse um pouco naquele momento.
 b) o fato pode ser mais bem explicado levando-se em consideração que a força normal, exercida pela pista sobre os pneus da moto, teve intensidade maior que o peso naquele momento.

- c) isso aconteceu porque seu peso, mas não sua massa, aumentou um pouco naquele momento.
- d) este é o famoso "efeito inercial", que diz que peso e força normal são forças de ação e reação.
- e) o motoqueiro se sentiu muito leve, porque a intensidade da força normal exercida sobre ele chegou a um valor muito pequeno naquele momento.

RESOLUÇÃO:

A sensação de peso, usualmente chamada de "peso aparente", é dada pela intensidade da força normal que o corpo troca com seu apoio.

No ponto mais alto da curva, temos:



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

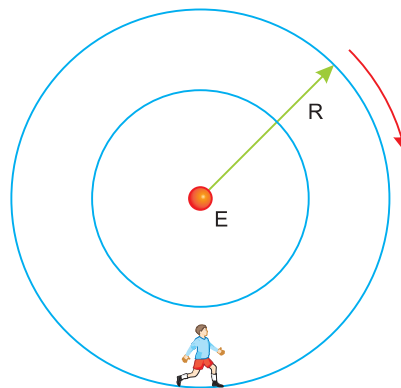
$$F_N = mg - \frac{mV^2}{R}$$

Quanto maior a velocidade, menor será F_N e "mais leve" vai sentir-se o motoqueiro.

A velocidade máxima possível para o motoqueiro não voar (abandonar a pista) ocorre quando $F_N = 0$.

Resposta: E

4 (UNICAMP-SP) – Algo muito comum nos filmes de ficção científica é o fato de as personagens não flutuarem no interior das naves espaciais. Mesmo estando no espaço sideral, na ausência de campos gravitacionais externos, elas se movem como se existisse uma força que as prendesse ao chão das espaçonaves. Um filme que se preocupa com esta questão é "2001, uma Odisseia no Espaço", de Stanley Kubrick. Nesse filme, a gravidade é simulada pela rotação da estação espacial, que cria um peso efetivo agindo sobre o astronauta. A estação espacial, em forma de cilindro oco, mostrada ao lado, gira com velocidade angular constante de módulo 0,2 rad/s em torno de um eixo horizontal **E** perpendicular à página. O raio **R** da espaçonave é 40m.



- a) Calcule o módulo da velocidade tangencial do astronauta representado na figura.
- b) Determine a intensidade da força de reação que o chão da espaçonave aplica no astronauta que tem massa $m = 80\text{kg}$.

RESOLUÇÃO:

a) A velocidade tangencial (linear) é dada por:

$$V = \omega R$$

$$V = 0,2 \cdot 40(\text{m/s}) \Rightarrow V = 8,0\text{m/s}$$

b) A força da reação aplicada pelo chão, que corresponde ao seu peso aparente, faz o papel de resultante centrípeta:

$$F = \frac{m V^2}{R} \Rightarrow F = \frac{80 \cdot 64}{40} (\text{N}) \Rightarrow F = 128\text{N}$$

Respostas: a) 8,0m/s b) 128N



No Portal Objetivo

Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** (www.portal.objetivo.br) e, em "localizar", digite **FIS1M301**

Exercícios Resolvidos - Módulo 65

1 (UNIFESP-MODELO ENEM) – Antes de Newton expor sua teoria sobre a força da gravidade, defensores da teoria de que a Terra se encontrava imóvel no centro do Universo alegavam que, se a Terra possuísse movimento de rotação, sua velocidade deveria ser muito alta e, nesse caso, os objetos sobre ela deveriam ser arremessados para fora de sua superfície, a menos que uma força muito grande os mantivesse ligados à Terra. Considerando-se o raio da Terra de $7 \cdot 10^6 \text{ m}$, o seu período de rotação de $9 \cdot 10^4 \text{ s}$ e $\pi^2 = 10$, a força resultante capaz de manter um corpo de massa 90 kg em repouso em relação à superfície da Terra, num ponto sobre a linha do Equador, vale, aproximadamente,

- a) 3 N b) 10 N c) 120 N
d) 450 N e) 900 N

Resolução

A força gravitacional que a Terra aplica ao corpo faz o papel de resultante centrípeta.

$$F = F_{cp} = m\omega^2 R = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R$$

$$F = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

$$F = \frac{90 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^6}{81 \cdot 10^8} (\text{N})$$

$$F \approx 3,1\text{N}$$

Resposta: A

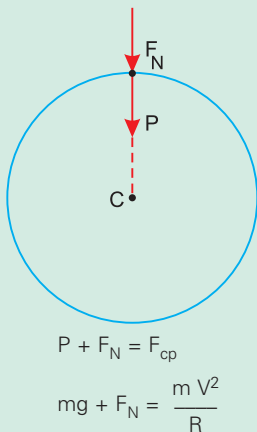
2 (OLIMPIADA BRASILEIRA DE FÍSICA-MODELO ENEM) – Considere o movimento de um motoqueiro em um globo da morte, como ilustrado a seguir.



Quando o motoqueiro encontra-se no ponto mais alto da trajetória e a sua velocidade é a mínima para não cair,

- a) seu peso deve ser igual à força normal aplicada pela pista.
 b) seu peso mais a força centrípeta deve ser igual à força normal aplicada pela pista.
 c) a força normal aplicada pela pista é a força resultante sobre o motoqueiro.
 d) a força peso é a força resultante sobre o motoqueiro.
 e) a força resultante sobre o motoqueiro é nula.

Resolução

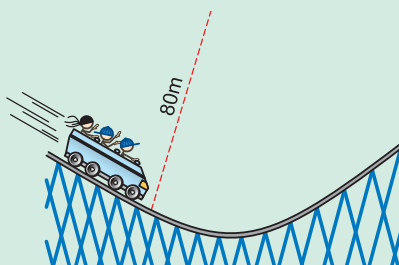


Quando a velocidade for a mínima possível, a força normal de contato com a pista se anula e o peso faz o papel de resultante centrípeta:

$$mg = \frac{m V_{\min}^2}{R} \Rightarrow V_{\min} = \sqrt{gR}$$

Resposta: D

3 (OLIMPIADA BRASILEIRA DE FÍSICA-MODELO ENEM) – Um trecho de uma montanha-russa apresenta uma depressão circular de raio de curvatura R igual a 80m. Determine o módulo da velocidade que deve ter um vagonete para que, descendo, seus passageiros sofram, no ponto mais baixo da depressão, uma sensação que seu peso triplicou. Despreze o efeito do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.



- a) 10 m/s
 d) 40 m/s
 b) 20 m/s
 e) 50 m/s
 c) 30 m/s

Resolução

No ponto mais baixo, temos:



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

$$F_N - mg = \frac{m V^2}{R}$$

$$F_N = mg + \frac{m V^2}{R}$$

Para ter a sensação que o peso triplicou, devemos ter $F_N = 3mg$

$$3mg = mg + \frac{m V^2}{R}$$

$$2g = \frac{V^2}{R}$$

$$V^2 = 2gR$$

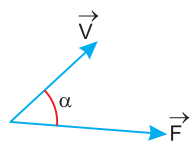
$$V = \sqrt{2gR}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 80} \text{ (m/s)} \Rightarrow V = 40 \text{ m/s}$$

Resposta: D

Exercícios Propostos – Módulo 65

- 1** Uma partícula está descrevendo uma trajetória circular de raio $R = 1,0\text{m}$, com movimento uniformemente variado. Num dado instante t_1 , a sua velocidade \vec{V} e a força resultante \vec{F} formam um ângulo α , tal que $\sin \alpha = 3/5$ e $\cos \alpha = 4/5$.



Sabendo-se que a partícula tem massa de $2,0\text{kg}$ e que, no instante t_1 considerado, a força resultante tem módulo de $30,0\text{N}$, calcule

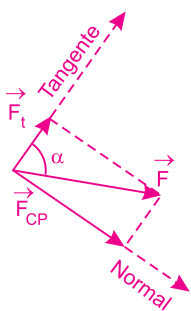
- a) o módulo da velocidade \vec{V} , no instante t_1 .
 b) o módulo da aceleração escalar.

RESOLUÇÃO:

a) $F_{cp} = F \sin \alpha = \frac{m V^2}{R}$

$$30,0 \cdot \frac{3}{5} = \frac{2,0 \cdot V^2}{1,0}$$

$$|V| = 3,0\text{m/s}$$

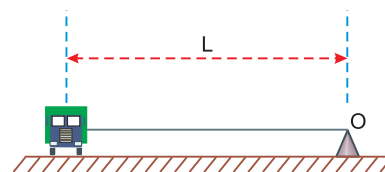


b) $F_t = F \cos \alpha = m |\gamma|$

$$30,0 \cdot \frac{4}{5} = 2,0 |\gamma| \Rightarrow |\gamma| = 12,0\text{m/s}^2$$

Respostas: a) 3,0m/s b) 12,0m/s²

- 2 (PUC-SP-MODELO ENEM)** – Um brinquedo é posto a girar em um plano horizontal sem atrito, preso a um fio ideal de comprimento $L = 4,0\text{m}$ e fixo na outra extremidade em um ponto O, conforme retrata a figura. Despreze o efeito do ar. O brinquedo descreve um movimento circular e uniforme, de centro O e raio L.



Sabe-se que o fio pode suportar uma força tensora de intensidade máxima $20,0\text{N}$.

Sabendo-se que a massa do brinquedo vale $0,80\text{kg}$, a máxima velocidade escalar que ele pode ter, sem que ocorra o rompimento do fio, é:

- a) 16,0m/s
 d) 8,0m/s
 b) 12,0m/s
 e) 5,0m/s
 c) 10,0m/s

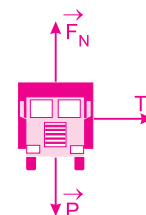
RESOLUÇÃO:

$$T = F_{cp} = \frac{m V^2}{L}$$

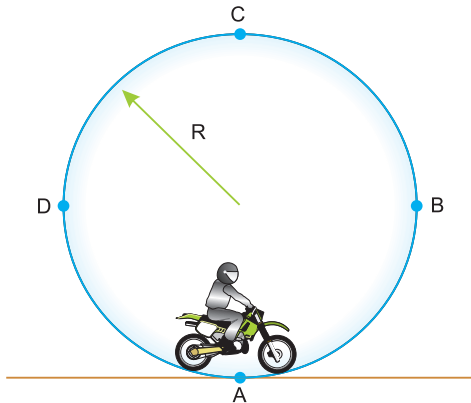
$$20,0 = \frac{0,80 V_{\max}^2}{4,0}$$

$$V_{\max}^2 = 100 \Rightarrow V_{\max} = 10,0\text{m/s}$$

Resposta: C

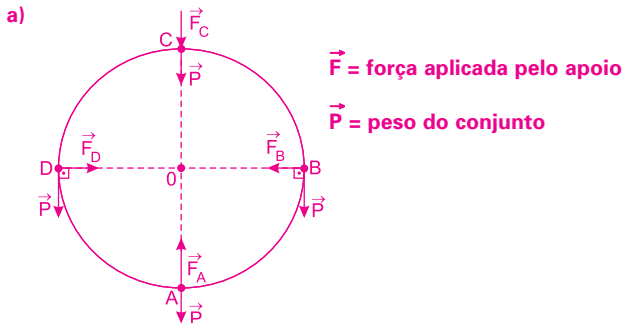


3 (UNICAMP-SP) – Uma atração muito popular nos circos é o “Globo da Morte”, que consiste numa gaiola de forma esférica no interior da qual se movimentava uma pessoa pilotando uma motocicleta. Considere um globo de raio $R = 3,6\text{m}$ e adote $g = 10\text{m/s}^2$.



- a) Faça um diagrama das forças que atuam sobre a motocicleta nos pontos A, B, C e D, indicados na figura adiante, sem incluir as forças de atrito. Para efeitos práticos, considere o conjunto piloto + motocicleta como sendo um ponto material.
- b) Qual o módulo da velocidade mínima que a motocicleta deve ter no ponto C para não perder o contato com o interior do globo?

RESOLUÇÃO:



b) A velocidade no ponto C será a mínima possível quando a força de contato com a gaiola se anular e, nesse caso, o peso fará o papel de resultante centrípeta.

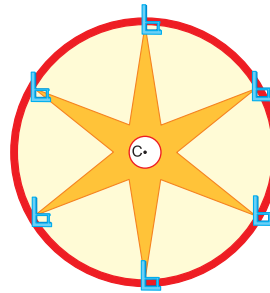
$$F_C = 0 \Rightarrow P = F_{cpC}$$

$$mg = \frac{mv_C^2}{R}$$

$$V_C = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \cdot 3,6} \text{ (m/s)} \Rightarrow V_C = 6,0\text{m/s}$$

Respostas: a) ver figura b) 6,0m/s

4 (UFRJ-MODELO ENEM) – A figura representa uma roda-gigante que gira com velocidade angular constante em torno de um eixo horizontal fixo que passa por seu centro C.



Numa das cadeiras, há um passageiro sentado sobre uma balança de mola (dinamômetro), cuja indicação varia de acordo com a posição do passageiro. No ponto mais alto da trajetória, o dinamômetro indica 234N e no ponto mais baixo indica 954N. O peso da pessoa vale

- a) 234N b) 594N c) 600N d) 800N e) 954N

RESOLUÇÃO:



No ponto A: $P - F_A = F_{cp}$ (1)

No ponto B: $F_B - P = F_{cp}$ (2)

Como o movimento é circular e uniforme, a força resultante é centrípeta e tem módulo constante:

$$(1) = (2): P - F_A = F_B - P \Rightarrow 2P = F_A + F_B$$

$$P = \frac{F_A + F_B}{2} \Rightarrow P = \frac{234\text{N} + 954\text{N}}{2}$$

$$P = 594\text{N}$$

Resposta: B



No Portal Objetivo

Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** (www.portal.objetivo.br) e, em “localizar”, digite **FIS1M302**

Exercícios Resolvidos – Módulo 66

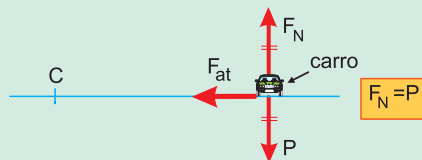
1 (PUC-MODELO ENEM) – Um automóvel percorre uma curva circular e horizontal de raio 50 m a 54 km/h. Adote $g = 10\text{m/s}^2$ e despreze o efeito do ar.

O mínimo coeficiente de atrito estático entre o asfalto e os pneus que permite a esse automóvel fazer a curva sem derrapar é

- a) 0,25 b) 0,27 c) 0,45 d) 0,50 e) 0,54



Resolução



A força de atrito aplicada pelo solo faz o papel de resultante centrípeta.

$$F_{at} = F_{cp} = \frac{m V^2}{R}$$

Se o carro não derrapar, o atrito será estático e teremos:

$$F_{at} \leq \mu_E F_N$$

$$\frac{m V^2}{R} \leq \mu_E mg \Rightarrow \mu_E \geq \frac{V^2}{g R}$$

$$\mu_{E(\min)} = \frac{V^2}{g R}$$

$$V = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{54}{3,6} \text{ m/s} = 15\text{m/s}$$

$$\mu_{E(\min)} = \frac{(15)^2}{10 \cdot 50} \Rightarrow \mu_{E(\min)} = 0,45$$

Resposta: C

2 (UFCEG-PB-MODELO ENEM) – Leia o texto seguinte:



MGM/Time Warner Company

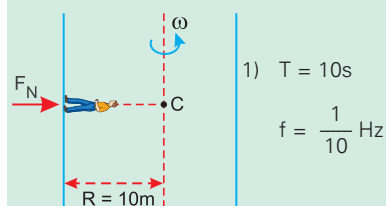
“O Discovery medeia quase cento e vinte metros de ponta a ponta, porém o reduzido universo ocupado pela sua tripulação estava inteiramente encerrado no interior da esfera de doze metros de sua cabina pressurizada. A região equatorial da esfera de pressão, poderíamos dizer a faixa compreendida entre Capricórnio e Câncer [analogia com o Globo Terrestre], continha dois tambores de pequena rotação, com vinte metros de diâmetro. Fazendo uma revolução a cada dez segundos, esse carrossel ou centrífuga produzia uma gravidade artificial suficiente para evitar a atrofia física que seria capaz de ocorrer em consequência da total ausência de peso, permitindo, também, que as funções rotineiras da vida fossem executadas em condições quase normais.”

(CLARKE, Arthur C. 2001 *Odisseia Espacial*. 9ª ed. Rio de Janeiro.)

Para um astronauta de 80 kg, seu “peso”, no local descrito no interior da Discovery, é:

- a) 800 N b) 480 N c) 288 N
d) 248 N e) 133 N (Adote $\pi = 3$)

Resolução



$$\begin{aligned} 2) \quad F_N &= F_{cp} = m\omega^2 R \\ F_N &= m (2\pi f)^2 R \\ F_N &= m 4\pi^2 f^2 R \\ F_N &= 80 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{1}{100} \cdot 10 \text{ (N)} \\ F_N &= 32\pi^2 \text{ N} \\ F_N &= 32 \cdot 9 \text{ N} \\ \boxed{F_N = 288 \text{ N}} \end{aligned}$$

Resposta: C

3 (UEFS-BA-MODELO ENEM) – Devido ao movimento de rotação da Terra, o peso aparente de um mesmo corpo na superfície terrestre é menor no Equador que nos polos.

Admitindo-se a Terra como uma esfera homogênea com raio de $6,4 \cdot 10^6$ m e o módulo da aceleração da gravidade nos polos como sendo $10,0 \text{ m/s}^2$, para que uma pessoa, situada na linha do equador, tivesse peso igual a zero, a velocidade angular de rotação da Terra deveria ser, em rad/s, igual a

- a) 12,5 b) 1,25 c) $1,25 \cdot 10^{-1}$
d) $1,25 \cdot 10^{-2}$ e) $1,25 \cdot 10^{-3}$

Resolução

Nos polos: $F_G = P_P = mg_P$

No Equador: $F_G = P_E + F_{cp}$

$$mg_P = mg_E + m\omega^2 R$$

$$g_E = g_P - \omega^2 R$$

Para que $g_E = 0$ temos:

$$g_P = \omega^2 R$$

$$\omega^2 = \frac{g_P}{R} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g_P}{R}}$$

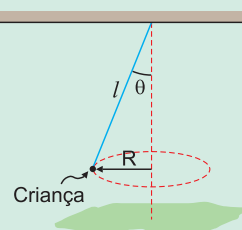
$$\omega = \sqrt{\frac{10,0}{6,4 \cdot 10^6}} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{64 \cdot 10^4}} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{1}{800} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \Rightarrow \boxed{\omega = 1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

Resposta: E

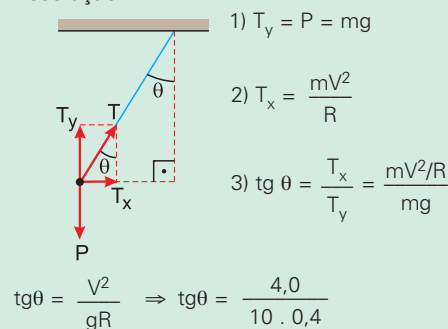
4 (UNIOESTE-MODELO ENEM) – Uma criança pendura-se na extremidade livre de uma corda que tem a outra extremidade presa ao teto de uma sala de ginástica.



Ela, então, impulsiona-se e faz uma trajetória circular cujo diâmetro é 0,8m. Se a velocidade linear da criança, cuja massa é 40kg, tiver módulo igual a 2,0m/s, qual será o ângulo que a corda faz com uma linha perpendicular ao solo? Considere a criança como uma partícula, a massa da corda desprezível e a aceleração gravitacional com módulo igual a 10 m/s^2 .

- a) 20° b) 30° c) 35°
d) 45° e) 60°

Resolução



$$\text{tg}\theta = \frac{V^2}{gR} \Rightarrow \text{tg}\theta = \frac{4,0}{10 \cdot 0,4}$$

$$\text{tg}\theta = 1 \Rightarrow \boxed{\theta = 45^\circ}$$

Resposta: D

Exercícios Propostos – Módulo 66

1 (CESGRANRIO) – Qual a velocidade mínima com que se deveria lançar uma pedra horizontalmente do pico do Monte Everest, para que ela entrasse em órbita em torno do centro da Terra, cujo raio é de $6,4 \cdot 10^6$ m, se o efeito do ar fosse desprezível?

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$

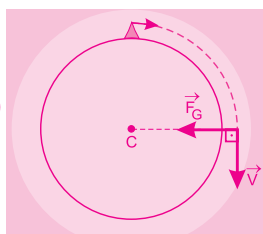
RESOLUÇÃO:

$$F_G = F_{cp}$$

$$mg = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \sqrt{gR} \Rightarrow v = \sqrt{10 \cdot 6,4 \cdot 10^6} \text{ (m/s)}$$

$$\boxed{v = 8,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}}$$



Salientar que tal velocidade é chamada velocidade cósmica primeira.

Resposta: 8,0km/s

2 (FUNDAÇÃO CARLOS CHAGAS-MODELO ENEM) – A velocidade escalar máxima que um carro pode desenvolver, ao fazer uma curva circular de raio igual a 80m, no plano horizontal, sem derrapar, num local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$, admitindo-se que o coeficiente de atrito estático entre os pneus e o chão seja igual a 0,50, é de:

- a) 8m/s b) 20m/s c) 24m/s d) 25m/s e) 40m/s

RESOLUÇÃO:

$$1) F_N = P = mg$$

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

3) Atrito estático:

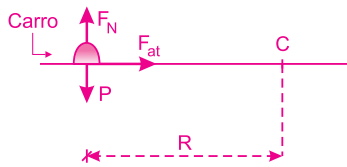
$$F_{at} \leq \mu F_N$$

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

$$v^2 \leq \mu g R$$

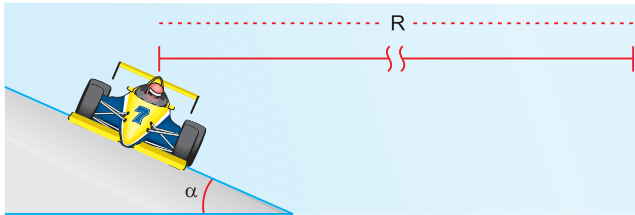
$$v \leq \sqrt{\mu g R}$$

$$v_{\text{máx}} = \sqrt{\mu g R} \Rightarrow v_{\text{máx}} = \sqrt{0,50 \cdot 10 \cdot 80} \text{ (m/s)} \Rightarrow v_{\text{máx}} = 20 \text{ m/s}$$



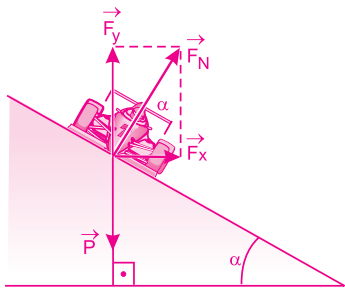
Resposta: B

3 (UFRJ) – Pistas com curvas de piso inclinado são projetadas para permitir que um automóvel possa descrever uma curva com mais segurança, reduzindo as forças de atrito da estrada sobre ele. Para simplificar, considere o automóvel como um ponto material.



- a) Suponha a situação mostrada na figura anterior, na qual se representa um automóvel descrevendo uma curva de raio R, contida em um plano horizontal, com velocidade de módulo V tal que a estrada não exerça forças de atrito sobre o automóvel. **Calcule o ângulo a de inclinação da curva, em função do módulo da aceleração da gravidade g e de V.**
- b) Suponha agora que o automóvel faça a curva de raio R, com uma velocidade maior do que V. **Faça um diagrama representando por setas as forças que atuam sobre o automóvel nessa situação.**

RESOLUÇÃO:



$$3) \quad \text{tg } \alpha = \frac{F_x}{F_y} = \frac{m V^2 / R}{m g}$$

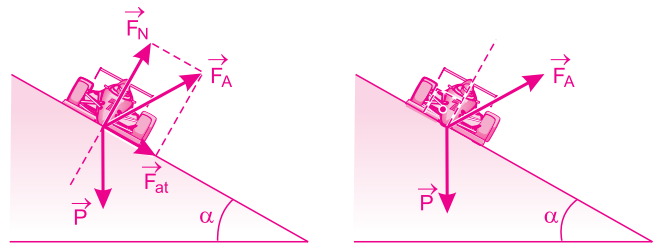
$$\text{tg } \alpha = \frac{V^2}{gR}$$

- a) A força normal \vec{F}_N que o piso aplica sobre o carro tem uma componente vertical \vec{F}_y que vai equilibrar o peso e uma componente horizontal \vec{F}_x que faz o papel de resultante centrípeta:

$$1) F_y = P = m g$$

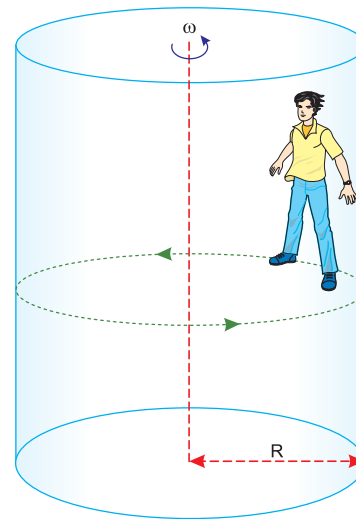
$$2) F_x = F_{cp} = \frac{m V^2}{R}$$

- b) Se o carro aumentar de velocidade, ele tende a escorregar para cima e surge uma força de atrito, aplicada pelo piso, dirigida para baixo (contrária à tendência de escorregamento).



A força exercida pelo apoio é a resultante entre a força normal \vec{F}_N e a força de atrito \vec{F}_{at} .

4 (MODELO ENEM) – Em um parque de diversões, existe um brinquedo chamado rotor, constituído por um cilindro vertical de raio R = 2,0m em movimento de rotação uniforme com período T = 2,0s. Uma pessoa, em posição vertical, é mantida comprimida contra a parede do rotor, sem escorregar, mesmo após a retirada do seu piso. Adote g = 10,0m/s², despreze o efeito do ar e considere $\pi^2 \approx 10$.



O menor coeficiente de atrito estático entre a parede do rotor e a pessoa, para evitar o seu escorregamento, vale:

- a) 0,20 b) 0,30 c) 0,40 d) 0,50 e) 1,0

RESOLUÇÃO:

$$1) F_{at} = P = m g$$

$$2) F_N = F_{cp} = m \omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

$$3) F_{at} \leq \mu F_N$$

$$m g \leq \mu \frac{4\pi^2}{T^2} m R$$

$$\mu_{\text{min}} = \frac{g T^2}{4\pi^2 R} = \frac{10,0 \cdot 4,0}{4 \cdot 10 \cdot 2,0} \Rightarrow \mu_{\text{min}} = 0,50$$

Resposta: D