Física Geral e Experimental I

Educação a Distância
Cruzeiro do Sul Educacional
Campus Virtual

Material Teórico

Leis de Newton

Responsável pelo Conteúdo:
Prof. Dr. José Agostinho Gonçalves de Medeiros
Prof. Ms. Eduardo Landulfo

Revisão Textual:
Profa. Esp. Márcia Ota

UNIDADE Leis de Newton

- Introdução
- Força
- Leis de Newton
- Massa X Força Peso
- O valor de g com a localidade
- Forças de Atrito
- Movimento Circular
- Sistema Inercial e Pseudoforças

Objetivo de APRENDIZADO

A proposta é apresentar os conceitos e ideias relacionados às leis de Newton. Será apresentado o conceito de força e a sua relação com o movimento.

Ao final, esperamos que seja capaz de interpretar, conceituar e calcular:

- força resultante;
- distinguir os diferentes tipos de força;
- diferença entre massa e peso;
- enunciar as 3 Leis de Newton.

A leitura do Conteúdo Teórico com atenção é essencial para compreender os conceitos apresentados, pois é comum encontrarmos conceitos que a princípio divergem do que observamos no dia a dia.

Contextualização

A Humanidade sempre dependeu da natureza para a sua sobrevivência; então, a curiosidade em relação aos fenômenos da natureza é algo muito comum em todas as civilizações.

No Brasil, possuímos regiões cujo clima é muito diferente de outras regiões, devido às peculiaridades de cada região.

Quais são as relações entre a Física e o meio ambiente?

Os fenômenos naturais envolvem matéria e energia; tais fenômenos podem ser explicados a partir das interações entre os corpos e estas interações se apresentam na forma de forças e campos.

Os quatro tipos de forças fundamentais na natureza determinam todos os fenômenos observados no universo.

O texto a seguir mostra a relação entre as Leis de Newton e as características do tempo e clima.

Dinâmica planetária de tempo e clima

As variações no tempo são determinadas basicamente pelos movimentos do ar. Mesmo o clima de uma região é o resultado da persistência de certos tipos de circulações nesse local. O estudo das circulações atmosféricas é feito por meio do uso das “leis” da termodinâmica e da mecânica clássica desenvolvidas desde a época de Newton (século XVII). Entretanto, a aplicação dessas leis não é tão simples como no caso do estudo do movimento de pontos ou corpos sólidos. Afinal, a atmosfera é um gás e não um ponto material, podendo sofrer variações de massa e de volume. Além disso, a terra é uma esfera girante, portanto, um sistema “não-inercial”, onde aparecem “forças fictícias” (força de Coriolis, por exemplo), tornando mais difícil o tratamento do problema com a Mecânica Newtoniana.

O ar em movimento

A primeira causa para os movimentos do ar (vento) é praticamente a energia solar, num processo de conversão de energia térmica em energia cinética. Inclusive, muitas vezes, a atmosfera é estudada como sendo uma “máquina térmica”, como uma caldeira, que transforma energia em trabalho. Na verdade, o aquecimento da atmosfera pela energia solar é feito principalmente de maneira indireta, ou seja, a superfície da Terra absorve a energia solar, aquece-se, transportado para as regiões mais altas da atmosfera pelo movimento vertical do ar (convecção) ou para outras regiões por meio de transportes verticais (advecção). São, principalmente, as diferenças de absorção da energia solar nas várias regiões da Terra que determinam o movimento do ar. Essas diferenças podem ser provocadas, por exemplo, pelas diferenças de latitude, inclinação do terreno ou diferentes capacidades térmicas do solo.

De acordo com a “Primeira Lei de Newton”, para um corpo (parcela de ar) mudar seu estado de movimento, deve existir um balanço entre as forças que atuam sobre esse corpo. Existem basicamente duas classes de forças que afetam a atmosfera: 1- aquelas que existem independente do estado de movimento do ar; e 2- aquelas que aparecem somente após existir movimento. Na primeira categoria, estão aquelas provocadas por “campos”, como, por exemplo, a “força gravitacional” e a “força do campo de pressão”. Na segunda, aparecem como uma reação ao movimento, como por exemplo, a “força de fricção” e a “força de Coriolis”.

Fonte: texto retirado do site do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP).

Introdução

Thinkstock/Getty Images

Até agora, havíamos estudado o movimento e sua descrição, sem nos preocuparmos com as causas e as ações responsáveis pelo início e manutenção do movimento. Era simplesmente quando dirigimos um carro, damos a partida no motor e acionamos as marchas para colocar o veículo em movimento.

A origem de se estudar os movimentos ou dar uma razão para a existência deles ocorreu há mais de 300 anos. Naquele período, quando se observavam os corpos celestes, o Sol e a Lua, por exemplo, perguntava-se como se davam os movimentos destes e se a Terra estaria em movimento também ou não.

Antes de Newton, outros filósofos observavam estes corpos celestes e buscavam compreender sua disposição no céu.

Isaac Newton foi e é um personagem polêmico e de grande prestígio.

Sua colaboração para a ciência é marcante, talvez superada em popularidade somente por Einstein.

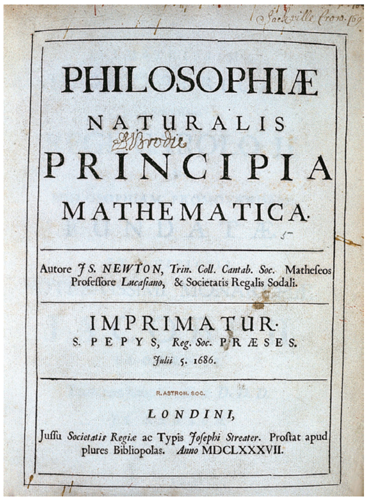
Newton foi o autor dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, ou **Principia**, escrito em latim, que era a língua científica utilizada naquele período pelos ocidentais.

Principia: é uma obra de três volumes escrita por Newton, publicada em 5 de julho de 1687; outras duas edições foram publicadas em 1713 e 1726.

Provavelmente o livro de ciências naturais de maior influência já publicado, contém as **Leis de Newton** para o movimento dos corpos, a **Lei da Gravitação Universal**, na qual Newton demonstrou as leis de Kepler para o movimento dos planetas.

Na formulação de suas teorias da física, Newton desenvolveu um campo do Cálculo Infinitesimal. Entretanto, a linguagem do cálculo foi deixada de fora do *Principia*.

Principia, de Newton, no original.



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

Thinkstock/Getty Images

Força

Quantas forças estão agindo sobre você agora ? Esta pergunta, parece até sem sentido ou até mesmo "embaraçosa".

A primeira resposta que nos viria à mente seria: "Nenhuma força". Depois de um pouco mais de reflexão, apareceriam as respostas: Gravitacional, Força Normal, etc.

Mas o que é uma força, afinal de contas?

Quando praticamos um esporte, andamos ou abrimos uma porta, exercemos uma força em outros objetos ou corpos e no ambiente que nos cerca.

A locomotiva de um trem exerce uma força ao puxar ou empurrar os vagões; um cabo de aço que segura uma viga exerce uma força de sustentação, mesmo que a viga não se mexa.

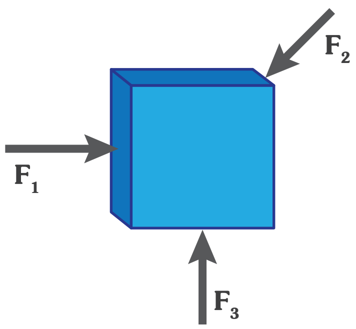
As forças na natureza são várias e são classificadas em dois tipos: **Forças de Contato** e **Forças de Longo Alcance** ou **de Campo**. Os nomes destes tipos de forças tornam bem claro seu conceito. Assim, enquanto num tipo faz-se necessário o contato direto entre o agente da força e o objeto que a recebe, no outro caso, a ação da força se dá mesmo à distância. As forças hoje são resultado da interação entre a matéria e, são nomeadas de acordo com o tipo desta interação.

Na natureza, reconhecemos quatro tipos de forças fundamentais, enumeradas por sua ordem de grandeza:

- A **força nuclear forte** e a **força nuclear fraca**, que estão presentes no núcleo atômico;
- A **força eletromagnética** ou **força elétrica**, responsável por manter os corpos coesos e que impede que ao encostarmos no sofá não afundemos nele;
- A **força da gravidade**, que é a quarta espécie de força, sobre a qual Newton desenvolveu sua teoria, questionando-se sobre o motivo dos objetos caírem no solo e o movimento dos planetas.

Por razões práticas e de simplicidade, aqui, vamos nos ater às forças mais comuns no dia a dia, que, na verdade, seriam a base para a Mecânica Clássica.

O primeiro passo é definir que a força é uma grandeza vetorial, isto é, uma força só estará totalmente determinada se conhecermos sua direção, sentido e módulo.



As forças por serem vetores podem ser escritas em negrito **F** ou com uma seta acima $\vec{F}$. Por estarmos trabalhando com o Sistema de Unidades Internacional, o SI, a unidade de força será o Newton, cuja abreviação vai ser o N.

Uma força pode ser de compressão, ao empurrar, ou de tração, quando puxa um objeto. Se tivermos mais de uma força atuando num objeto, a força resultante será a soma vetorial das forças atuantes neste objeto, que é a **superposição das forças**.

Exemplo

No esquema a seguir, há duas forças atuantes em um objeto, a força resultante vai ser em módulo e direção:

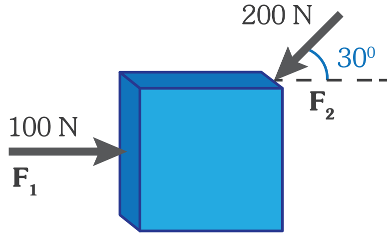
a) 11 N, 34,3º

b) 54 N, 34,3º

c) 54 N, 55,7º

d) 124 N, 53,8º

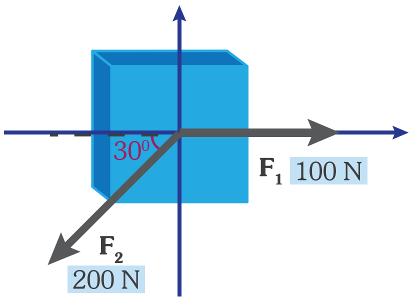
e) 89 N, 55,7º



Solução

Montemos um esquema de forças vetoriais no plano xy e centralizado no objeto.

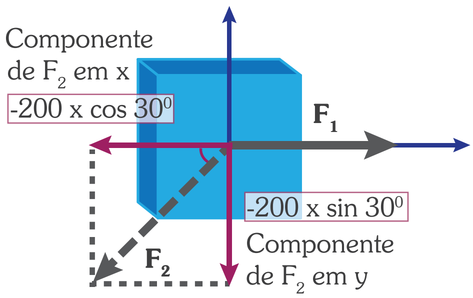
Vamos escrever agora as forças com suas componentes e os versores $\hat{\imath}, \hat{\jmath}$.



$$\boldsymbol{F}_1 = 100\hat{\imath}$$

$$\boldsymbol{F}_2 = \left(-200 \times \cos 30^o\right)\hat{\imath} + \left(-200 \times \sin 30^o\right)\hat{\jmath}$$

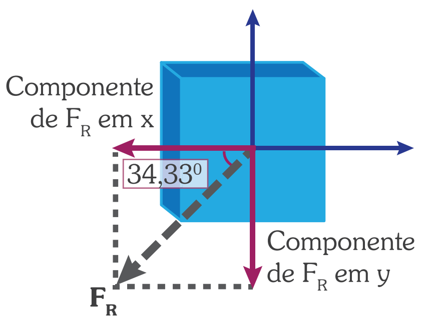
$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$$



$$\boldsymbol{F}_R = \left(100 - 200\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\hat{\boldsymbol{i}} = \left(-100\right)\hat{\boldsymbol{j}}$$

$$\boldsymbol{FR} \approx -73,2051\hat{\boldsymbol{i}} = -100,0\hat{\boldsymbol{j}}$$

$$\left|\boldsymbol{F}_R\right| = \sqrt{-73,2051^2 + (-100)^2} = 123,93 \approx 124N$$



A direção será fornecida pela função inversa ou recíproca da tangente:

$$\tan^{-1}\frac{-100}{-73,2051} = 53,79^o$$

Resposta: d)

Leis de Newton

As Leis de Newton são conceitos e princípios que irão relacionar as causas do movimento e a interação dos corpos mediantes as forças. Essas leis são analíticas e, num primeiro momento, podem parecer complexas demais.

De forma sintética e simplista, dizemos que a **primeira lei** afirma que quando a soma das forças em um corpo se cancelam, ou seja, for igual a zero, o corpo não altera seu estado de movimento.

A **segunda lei**, mais conhecida, mostra que se há uma força atuando, há uma aceleração. E a **terceira** que relaciona a interação entre dois corpos quando uma força é aplicada por um em outro.

Vamos, adiante, por meio de exemplos, enunciar e elucidar cada uma destas leis.

Primeira Lei de Newton – Lei da Inércia

A **primeira lei** enuncia-se: "Cada corpo persiste no estado de repouso ou em movimento retilíneo uniforme, exceto quando uma força atuar para mudar este estado" ou "Quando a força resultante sobre um corpo for nula ele se move com velocidade constante, isto é, com aceleração nula". É importante observar alguns pontos aqui:

1. A força que importa é a resultante, isto é, a somatória vetorial de todas as forças que atuam num objeto ser igual a zero:

$$\sum \vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \ldots + \vec{F_3} = 0$$

2. Dizemos que quando a somatória da forças for igual a zero, o corpo está em equilíbrio.

   A unidade de força no Sistema Internacional é o **Newton**, N, que equivale ao produto:

   $1N = 1 \text{ kg x } 1 \text{ m/s}^2$

   ou

   $1N = 1 \text{ kg.m.s}^{-2}$

Exemplo

Dois carros, um a 100 km/h e o outro a 75 km/h, deslocam-se em linha reta e sem alterar a sua velocidade. Podemos afirmar que:

a) A força resultante no carro a 100 km/h é maior que no que está a 75 km/h.

b) Não há forças atuando em nenhum dos carros.

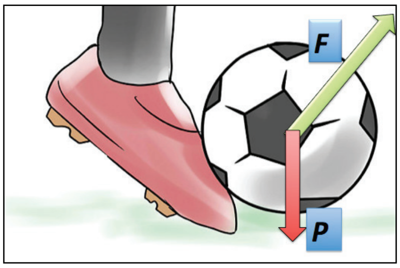
c) Existe uma força do motor de cada carro que é contrária ao atrito dos pneus e à resistência do ar.

d) A força motriz do carro a 100 km/h é igual a do carro a 75 km/h.

e) A força para trás do carro a 75 km/h é maior por causa de a sua velocidade ser menor.

Resposta :c)

Somatória das forças diferente de zero há mudança no estado de movimento da bola

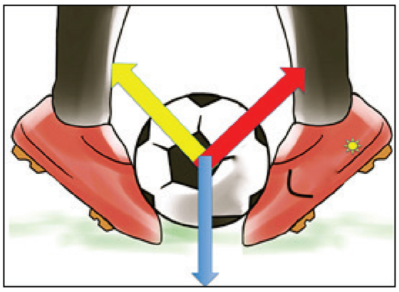


Fonte: Eduardo Landulfo

Uma bola de futebol quando é chutada tem a força peso para baixo, e a força do chute, entre o pé do jogador e a bola numa direção que ela irá se deslocar, e, portanto, mudar de velocidade (acelerar) e direção. Isso porque a somatória da forças vetoriais não se anula e, portanto, há uma resultante não nula, isto é, diferente de zero.

Pode haver outra situação em que a somatória das forças é nula e aí o objeto não se moverá e permanecerá em repouso, estático. Esta é uma situação que o corpo está equilíbrio.

$$\sum \vec{F} = 0$$



Fonte: Eduardo Landulfo

Isso significa que as componentes em x e em y também são iguais a zero.

$$\sum \vec{F}_x = 0 \;\; e \;\; \sum \vec{F}_y = 0$$

Exemplo

Três forças num plano atuam sobre um objeto conforme a figura a seguir. As componentes x e y da força resultante vão ser respectivamente:

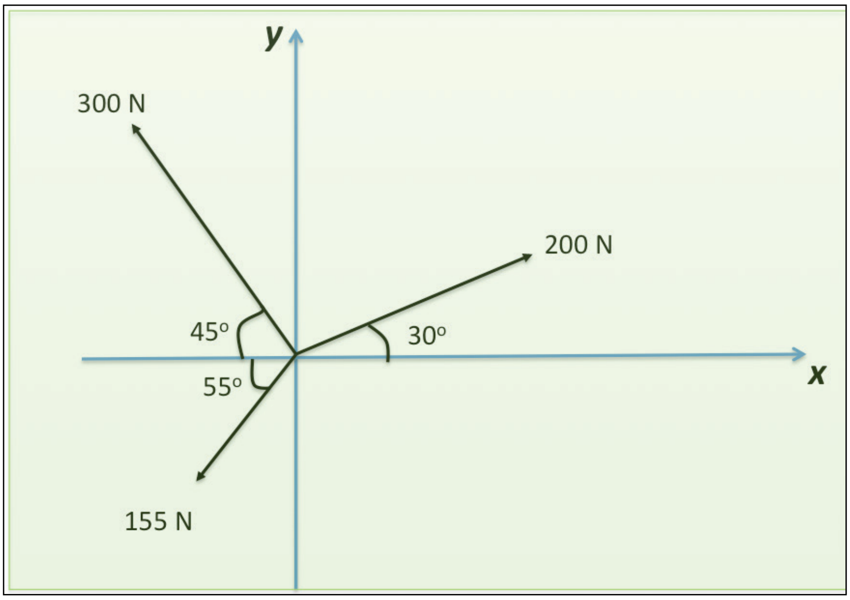
a) **-128 N e 185 N**

b) 132 N e - 188 N

c) 173 N e 100 N

d) -212 N e 212 N

e) -93 N e -124 N



Solução

Dados

$F_1 = 200$ N e $\alpha_1 = 30°$

$F_2 = 300$ N e $\alpha_2 = 45°$

$F_3 = 155$ N e $\alpha_3 = 55°$

Trocando Ideias

A ordem dos índices F_1, F_2 e F_3 poderia ser outra, sem alteração do resultado. É um problema que iremos resolver vetorialmente.

Assim, temos que a força resultante será:

$$\vec{R} = \sum \overrightarrow{F_i} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} + \overrightarrow{F_3}$$

Onde

$$F_1 = F_{1x}\hat{i} + F_{1y}\hat{j}$$

e

$$F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1 = 200 \cos 30^o = 173\ N$$

$$F_{1y} = F_1 \operatorname{sen} \alpha_1 = 200 \operatorname{sen} 30^o = 100\ N$$

Assim, teremos que:

$$F_1 = 173\hat{i} + 100\hat{j}$$

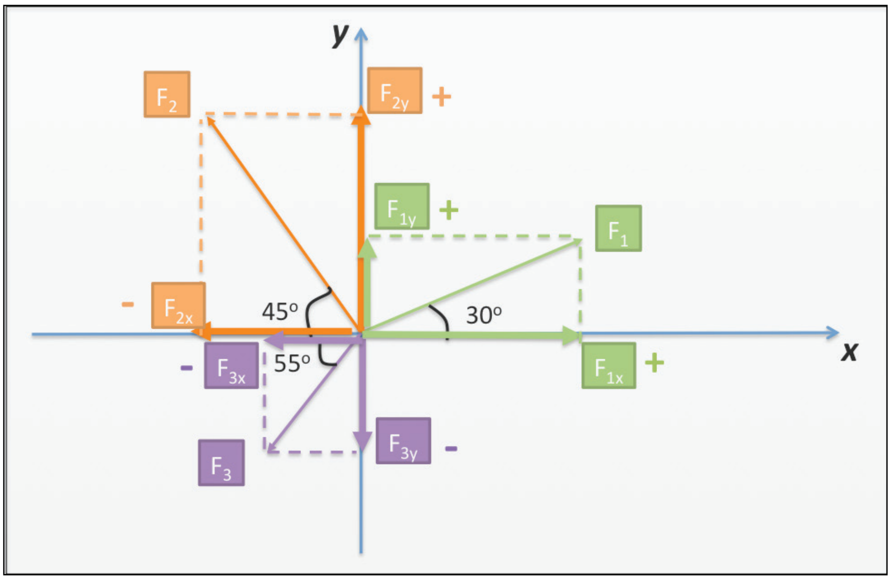
Da mesma maneira:

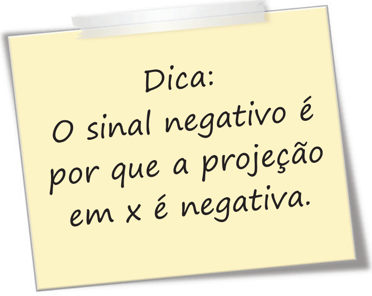
$$F_2 = F_{2x}\hat{i} + F_{2y}\hat{j}$$

e

$$F_{2x} = F_2 \cos \alpha_2 = 300 \cos 135^o = -212\ N$$

$$F_{2y} = F_2 \operatorname{sen} \alpha_2 = 300 \operatorname{sen} 135^o = 212\ N$$





E teremos que:

$$F_2 = -212\hat{i} + 212\hat{j}$$

E $\mathbf{F_3}$

$$F_3 = F_{3x}\hat{i} + F_{3y}\hat{j}$$

e

$$F_{3x} = F_3 \cos \alpha_3 = 155 \cos (55^o + 180^o) = -89\ N$$

$$F_{3y} = F_3 \,sen\, \alpha_3 = 155 \,sen\, (55^o + 180^o) = -127\ N$$

Trocando Ideias

Aqui poderíamos ter feito **sen** e **cos** de 55º, mas o sinal de negativo não iria aparecer e precisamos do diagrama para concluir que as componentes são negativas. Se fizermos 55º+180º diretamente, o sinal de negativo aparece naturalmente.

Assim teremos que:

$$F_3 = -89\hat{i} - 127\hat{j}$$

Finalmente a resultante será:

$$\vec{R} = \sum \vec{F_i} = (173\hat{i} + 100\hat{j}) + (-212\hat{i} + 212\hat{j}) + (-89\hat{i} + 127\hat{j})$$

$$\vec{R} = -128\hat{i} + 185\hat{j}$$

Resposta: a)

Segunda Lei de Newton – F = M.A

A **segunda lei de Newton** trata do movimento quando a somatória das forças não é nula, isto é, não for zero. Como vimos anteriormente, se a somatória das forças num corpo for nula, ele permanece em movimento com velocidade constante ou parado.

Na sua elaboração, Newton enunciou a segunda Lei como:

"*Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é imprimida*".

Que pode ser reescrita como: "*Quando uma força resultante externa atuar em um corpo, ele adquire uma aceleração. A aceleração será aquela com a mesma direção e com o mesmo sentido da força resultante. O vetor força resultante será dado pelo produto da massa pela aceleração*":

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$

onde **a** ou $\vec{a}$ é a aceleração do corpo.

Alternativamente, podemos escrever também, que:

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

E logo percebemos que quanto maior a massa menor a aceleração de um corpo para uma determinada força.

Mais para frente, em nosso curso, iremos ver que a segunda lei de Newton pode ser formulada a partir do **momento linear** ou **quantidade de movimento** de um corpo dada por:

$$\vec{p} = m.\vec{v}$$

E que :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m.\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}.\frac{d\vec{m}}{dt}$$

Como vamos considerar que a massa do objeto não varia temos que $\frac{dm}{dt} = 0$.

E que $\frac{d\vec{v}}{dt} = a$

E assim:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m.\vec{a}$$

Que é a mesma definição que utilizamos anteriormente.

Exemplo

Numa linha de montagem, um operário aplica uma força horizontal da esquerda para a direita, igual a 20 N sobre uma caixa, inicialmente parada, com massa igual a 40 kg. A aceleração que esta caixa irá adquirir é de:

Fonte: Eduardo Landulfo

a) 2 m/s^2 de cima para baixo.

b) 2 m/s^2 da direita para a esquerda.

c) 0,5 m/s^2 da esquerda para a direita.

d) 0,5 m/s^2 da direita para a esquerda.

e) 0,5 m/s^2 de cima para baixo.

Solução

F = 20 $\vec{i}$ N

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{20\vec{i}}{40} = 0,5\vec{i}\ m/s^2$$

A aceleração possui a mesma direção e o mesmo sentido que a força aplicada.

Resposta: c)

Exemplo

Um engradado desliza numa esteira da esquerda para a direita, até parar. Quando chega à esteira, está com uma velocidade de 5,0 m/s e tem uma massa de 12 kg. Após percorrer 1,2 m, ele para. A força de atrito que diminui a velocidade do engradado até ele parar é :

a) 12,0 $\vec{i}$ N

b) -125 $\vec{i}$ N

c) -12,0 $\vec{j}$ N

d) 12,0 $\vec{j}$ N

e) 10,0 $\vec{i}$ N

Solução

A aceleração do engradado vai ser negativa e a sua posição é dada por:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_i + \boldsymbol{v}_i.t + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}.t^2$$

Como a aceleração é constante, temos:

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_i + \boldsymbol{a}.t$$

e

$$\boldsymbol{t} = \frac{\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_i}{\boldsymbol{a}}$$

Substituindo na primeira equação:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_i + \boldsymbol{v}_i.\frac{\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_i}{\boldsymbol{a}} + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}.\left(\frac{\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_i}{\boldsymbol{a}}\right)^2$$

$$\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_i = \frac{\boldsymbol{v}.\boldsymbol{v}_i - \boldsymbol{v}_i^2}{\boldsymbol{a}} + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}.\left(\frac{\boldsymbol{v}^2 - 2\boldsymbol{v}\boldsymbol{v}_i + \boldsymbol{v}_i^2}{\boldsymbol{a}^2}\right)$$

$$2\boldsymbol{a}.(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_i) = 2\boldsymbol{v}.\boldsymbol{v}_i - 2\boldsymbol{v}_i^2 + \boldsymbol{v}^2 - 2\boldsymbol{v}\boldsymbol{v}_i + \boldsymbol{v}_i^2$$

$$\boldsymbol{v}^2 = \boldsymbol{v}_i^2 + 2\ \boldsymbol{a}.(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_i)$$

Esta é a equação de Torricelli, que pode ser reescrita com o índice "o" ao invés de "i", e, $(r - r_i)$ pode ser escrito como Δr ou Δs. Portanto:

$$\boxed{\boldsymbol{v}^2 = \boldsymbol{v}_o^2 + 2\ \boldsymbol{a}.\ \Delta \boldsymbol{s}}$$

Assim, em nosso problema, temos:

$$\boldsymbol{v} = 0\ ;\ \boldsymbol{v}_o = 5{,}0\vec{i}\,\frac{m}{s}\ ;\ m = 12\,kg\ ;\ \Delta s = 1{,}2\,m$$

E temos que **a**

$$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{v}^2 - \boldsymbol{v}_o^2}{2.\Delta \boldsymbol{s}} = \frac{0^2 - 5{,}0^2}{2.1{,}2} = \frac{-25}{2{,}4} \approx -10{,}4\boldsymbol{m}/\boldsymbol{s}^2$$

Lembrando que a aceleração é na direção contrária ao movimento por estar parando o engradado. $\boldsymbol{a} = -10{,}4\vec{\boldsymbol{i}}$

A força aplicada será dada por $\vec{F} = m.\vec{a}$, assim $\vec{\boldsymbol{F}} = 12 \times (-10{,}4)\vec{\boldsymbol{i}} = -125N\vec{\boldsymbol{i}}$

Resposta: b)

Massa X Força Peso

Frequentemente, há muita confusão entre o **peso** de um corpo e sua **massa**. Enquanto a massa está a associada à quantidade de matéria de um corpo, o peso, ou a força peso, é a medida da atração gravitacional exercida pela Terra sobre um objeto.

Na verdade, a atração gravitacional existe entre quaisquer dois corpos ou entes físicos com massa, isto quer dizer que um objeto na Lua ou em Marte sofrerá a atração gravitacional no satélite terrestre ou no planeta.

Para Newton, a massa era a propriedade de um objeto permanecer num estado de movimento, chamado de **inércia** e quanto maior a inércia de um corpo, mais difícil vai ser freá-lo ou acelerá-lo.

Já o peso de um corpo é a medida de quão fácil é levantá-lo ou colocá-lo em órbita, como um satélite de telecomunicações.

A **força Peso**, ou simplesmente o **peso**, é uma grandeza vetorial, isto é, tem intensidade, direção e sentido.

A direção é a linha que passa pelos centros do objeto e da Terra, e o sentido é o que aponta para o centro da Terra, ou corpo celeste, responsável pela atração.

É expresso mediante o uso da Segunda Lei de Newton como:

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

Mas, para diferenciar a força peso de uma força qualquer, escreveremos que $\vec{F} = \vec{P}$, e considerando que na Terra a aceleração da gravidade é a mesma em todos os pontos, temos que $\vec{a} = \vec{g} = -9{,}8\,\vec{j}\,m/s^2$. O sinal negativo está aí para indicar que a força (aceleração) é sempre para baixo, na vertical, apontando para o centro da Terra.

Assim, a equação acima:

$$\vec{P} = m.\vec{g}$$

Exemplo

Uma moeda é atirada para cima até atingir uma altura h. A partir daí, ela começa a cair até atingir o solo. Na queda, podemos dizer que a força resultante e a aceleração são:

a) variável e variável.

b) variável e constante.

c) constante e variável.

d) constante e constante.

e) nula e variável.

Solução

Na queda livre, a aceleração $\vec{a}$ é igual a $\vec{g}$. E, pela segunda lei de Newton, a somatória das forças é igual $\sum \vec{F} = m.\vec{a} = m.\vec{g}$, que é o peso da moeda.

Resposta: d)

O valor de *g* com a localidade

A aceleração da gravidade na realidade varia dependendo de em que localidade se está presente no globo terrestre e/ou acima dele.

Isso por que a massa do planeta não está uniformemente distribuída e devido ao fato do planeta não ser uma esfera perfeita.

Além disso, a rotação da Terra tem efeito sobre o valor da aceleração da gravidade.

Isso significa que a massa de um objeto permance a mesma, mas o valor da força peso varia de local para local.

Algumas medidas apontam que o valor de **g** na cidade de São Paulo é de 9,786475 m/s².

Exemplo

Uma carga de 75 kg é embarcada na Cidade do México para São Paulo. Sabe-se que a aceleração da gravidade na cidade mexicana é $\mathbf{g_{MC}}$ = 9,7799 m/s², enquanto que em São Paulo é $\mathbf{g_{SP}}$ = 9,7865 m/s². A diferença percentual entre as forças peso nas duas localidades vai ser de aproximadamente:

a) 0,01 %

b) 0,02 %

c) 0,03 %

d) 0,05 %

e) 0,07 %

Solução

$$\vec{P} = m.\vec{g}$$

Assim,

$$\left|\vec{P}_{SP}\right| = 75 \times 9,7865 = 733,988\,\text{N}$$

$$\left|\vec{P}_{MC}\right| = 75 \times 9,7799 = 733,493\ \text{N}$$

A diferença percentual vai ser:

$$\Delta P = \frac{\left|\vec{P}_{SP}\right| - \left|\vec{P}_{MC}\right|}{\left|\vec{P}_{SP}\right|} \times 100\% = \frac{733,988 - 733,493}{733,988} \times 100\% = 0,0674398 \approx 0,07\%$$

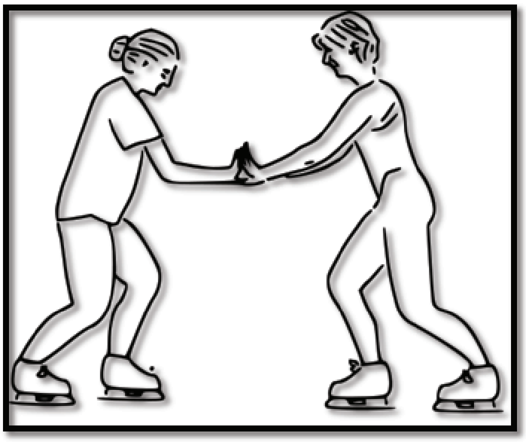
Resposta: *e)*

Terceira Lei de Newton – Lei da Ação e Reação

Talvez, a Lei de Ação e Reação seja a mais fácil de enunciar, mas certamente é a que provoca mais confusão.

A razão é que se precisa entender que as forças que atuam em pares o fazem em corpos diferentes.

Além disso, é preciso ter o conceito que quando um corpo "age" sobre outro por meio de uma força, a "reação" exercida pelo outro corpo terá a mesma direção e intensidade, mas **sentido** contrário; sem isso não poderíamos sequer andar.

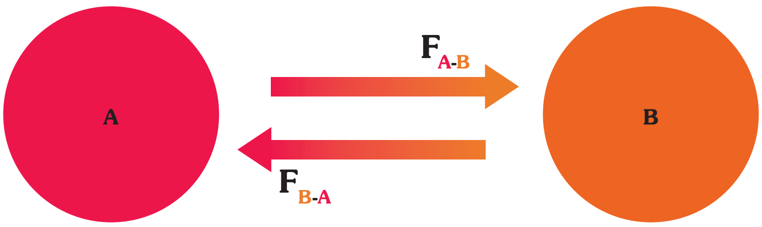


Fonte:Wikimedia Commons

"Lei III: A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade: ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos."

Assim, podemos matematicamente enunciar a terceira lei como:

$$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$$



Como na ilustração dos patinadores do gelo acima, como o diagrama acima, as duas forças tem o mesmo módulo e direção, mas sentidos contrário, daí o sinal negativo em um dos termos.

O diagrama de forças agora passa a ser mais completo e uma análise cuidadosa é necessária para avaliar corretamente.

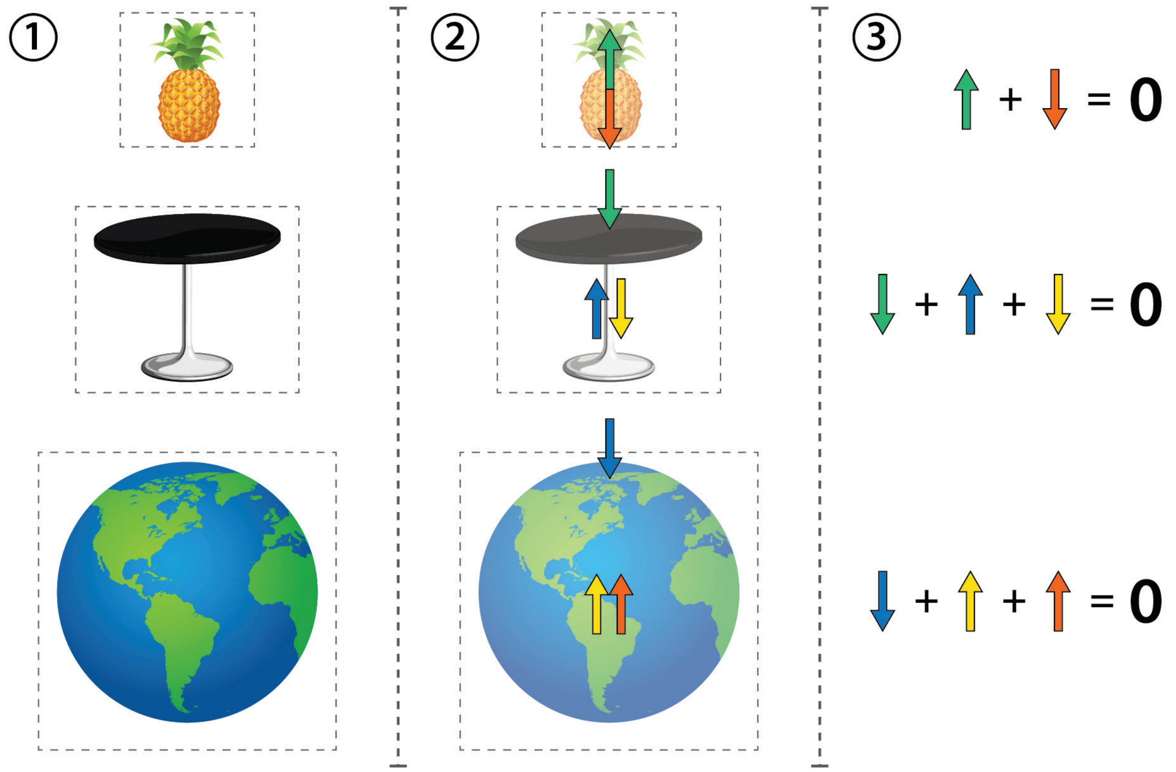
Vejamos uma situação como da figura ao lado. Quais seriam as forças de ação e reação de cada objeto, mesa e o abacaxi? E a Terra? Como os pares de forças estariam dispostos?

Thinkstock/Getty Images

Numa situação como essa, o primeiro passo é:

1) Separar cada corpo individualmente.

2) Atribuir as forças, atuantes em cada corpo



3) Atribuir as reações no corpos adequadamente com as ações afetadas.

Verificamos que no abacaxi atua a Força de contato da mesa (↑) , na mesa, a Força Peso do abacaxi (↓) e a força de contato entre a Terra e a mesa (↑), e na Terra, a Força Peso entre a mesa e a Terra (↓).

Matematicamente, como cada objeto está parado na vertical, a somatória da força em cada um dele será nula:

Para o abacaxi:

$$\sum \vec{F}_A = \vec{P}_A + \vec{N}_{M \to A} = 0$$

Para a mesa:

$$\sum \vec{F}_M = \vec{P}_M + \vec{N}_{A \to M} + \vec{N}_{T \to M} = 0$$

E para a Terra:

$$\sum \vec{F}_T = \vec{N}_{M \to T} + \vec{R}_{T \to A} + \vec{R}_{T \to M} \approx 0$$

Da primeira relação, temos que:

$$\vec{N}_{M\to A} = -\vec{P}_A$$

Da segunda:

$$\vec{N}_{T\to M} = -\left(\vec{P}_M + \vec{P}_A\right)$$

E consequentemente,

$$\vec{N}_{M\to T} = -\vec{N}_{T\to M}$$

e

$$\vec{N}_{A\to M} = -\vec{N}_{M\to A}$$

Veja que os pares de ação e reação são:

$$\vec{P}_A = -\vec{R}_{T\to A}$$

$$\vec{P}_M = -\vec{R}_{T\to M}$$

$$\vec{N}_{A\to M} = -\vec{N}_{M\to A}$$

$$\vec{N}_{M\to T} = -\vec{N}_{T\to M}$$

Exemplo

No Natal, o carro do Papai Noel é puxado por uma rena. Se a aceleração imposta pela rena é de 2,5 m/s^2, e a carga for de 1500 kg (Papai Noel mais os presentes), a força exercida pela rena vai ser de:

Thinkstock/Getty Images

a) $-3750\ \vec{i}$ N

b) $-14700\ \vec{i}$ N

c) $3750\ \vec{i}$ N

d) $14\,700\ \vec{i}$ N

e) $1500\vec{i}$ N

Solução

A força aplicada ao trenó vai ser, pela segunda lei:

F = m.**a**

F = 1500.2,5 $\vec{i}$ m/s^2 = 3750 $\vec{i}$ N

Resposta: c)

Exemplo

No mesmo problema, podemos afirmar que:

a) A força exercida pelo trenó na rena é igual a $3750\vec{i}\ N$ e, portanto, ela irá ficar parada;

b) A força exercida pelo trenó na rena é igual a $-3750\vec{i}\ N$ e, portanto, ela irá ficar parada;

c) A força exercida pelo trenó na rena é igual a $3750\vec{i}\ N$ e, portanto, ela irá acelerar com aceleração de módulo igual a 2,5 m/s^2;

d) A força exercida pelo trenó na rena é igual a $-3750\vec{i}\ N$ e, portanto, ela irá acelerar com aceleração de módulo igual a 2,5 m/s^2;

e) A força exercida pelo trenó na rena é igual a $3750\vec{i}\ N$ e, portanto, ela irá acelerar com aceleração de módulo diferente de 2,5 m/s^2.

Solução

A reação da força que atua no trenó será na rena, que é um corpo diferente, e ela irá se deslocar com o mesmo valor. Como não fornecemos o valor da massa da rena, não há dados para saber a força que ela exerce contra o chão para puxar o trenó e ela se deslocar, mas esta força será maior que 14700 N.

Resposta: d)

Exemplo

Duas caixas, uma com 4,00 kg e outra com 6,00 kg, são puxadas por um trabalhador com o auxílio de um cabo de aço. O trabalhador puxa a caixa de 6,00 kg que, por sua vez, está conectada à caixa de 4,00 kg e impõe uma aceleração horizontal de 3 m/s^2 às duas caixas. O módulo da forças executada pelo trabalhador e entre as duas caixas vai ser, respectivamente:

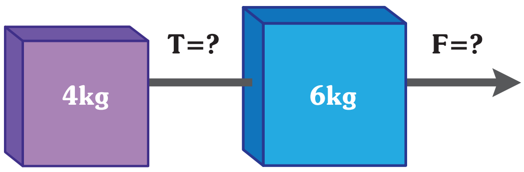
a) 12 N e 30 N

b) 30 N e 12 N

c) 18 N e 12 N

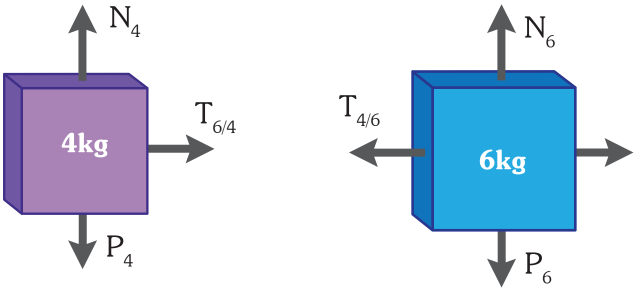
d) 12 N e 18 N

e) 12 N e 12 N



Solução

O primeiro passo, talvez o mais importante, é fazer um diagrama de forças para cada corpo individualmente.



No corpo de 6 kg temos, a força Peso P_6 e a força de contato N_6, a força de tração do corpo 4 para o corpo 6 $T_{4/6}$, e a força F. Assim, podemos escrever:

$$\vec{F} + \vec{T}_{4\to6} = m_6 \times \vec{a}$$

e

$$\vec{N}_6 + \vec{P}_6 = 0$$

Veja que na horizontal há aceleração $a_x = 3\ m/s^2$ e que na vertical, não há. Portanto, $a_y = 0$.

Para o corpo de 4 kg temos:

$$\vec{T}_{6\to4} = m_4 \times \vec{a}$$

e

$$\vec{N}_4 + \vec{P}_4 = 0$$

Para descobrirmos as incógnitas **F** e **T**, vamos precisar apenas das duas equações que lidam com o movimento na horizontal, assim substituindo os dados fornecidos:

$$\vec{F} + \vec{T}_{4\to6} = 6 \times 3 = 18\,N$$

e

$$\vec{T}_{6\to4} = 4 \times 3 = 12\,N$$

Sabemos que, pela lei de ação e reação, $T_{6/4} = -T_{4/6}$. Portanto:

F - 12=18 N

F= 12+18=30 N

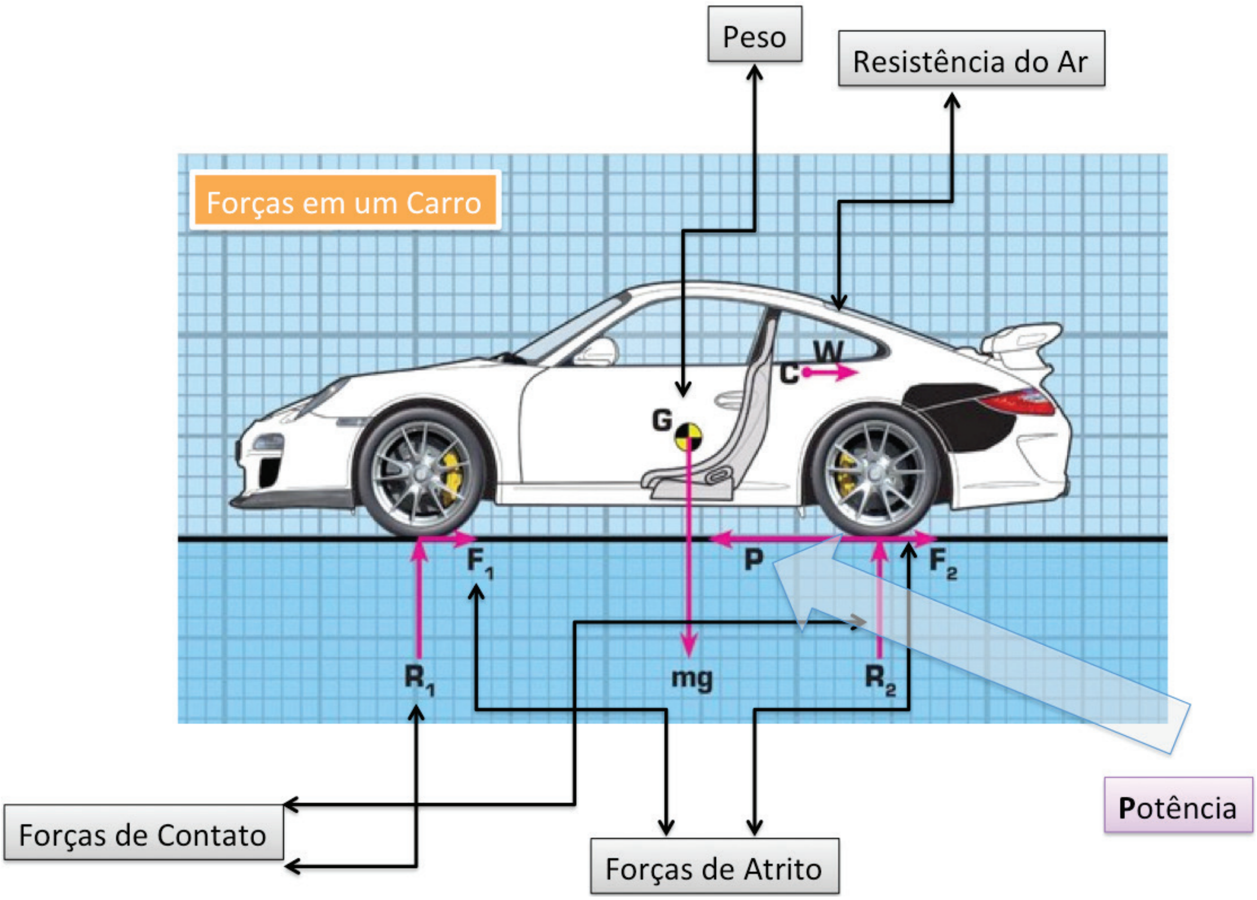
Resposta: b)

Forças de Atrito

Nos exemplos mostrados até o momento, vimos que os corpos deslizavam sobre as superfícies sem nenhuma resistência.

Na realidade, isto ocorre raramente e, se não houvesse uma resistência ou atrito entre as superfícies em contato dos objetos, seria impossível andar da maneira como fazemos normalmente.

O atrito e as forças de contato são, na realidade, forças moleculares ou atômicas entre os pontos mais salientes entre duas superfícies e, rigorosamente falando, são forças elétricas.



Fonte: http://carscience.net/wr-pdv/wp-content/uploads/blog-07

Atrito Estático e Atrito Cinético

Quando um objeto estiver parado, isto é, em repouso ao aplicarmos uma força que não for suficiente para colocá-lo em movimento, temos então uma força resistente que impede que ele entre em movimento, que denominamos força de atrito estático.

A força de atrito sempre vai ser contrária ao vetor que está atuando no corpo para fazer com que ele entrasse em movimento.

Como vimos no itens anteriores, a força de contato $\boldsymbol{N}$[1] é normal à superfície de contato entre o objeto e a superfície em que ele está em contato, e a força de atrito vai ser perpendicular à força de contato.

A força de atrito é dada pela expressão:

$$\vec{f}_{at} \equiv \vec{f}_e \leq \mu_e.\vec{n}$$

f_{at} : É a força de atrito, que também pode ser escrita como fe para força de atrito estático.

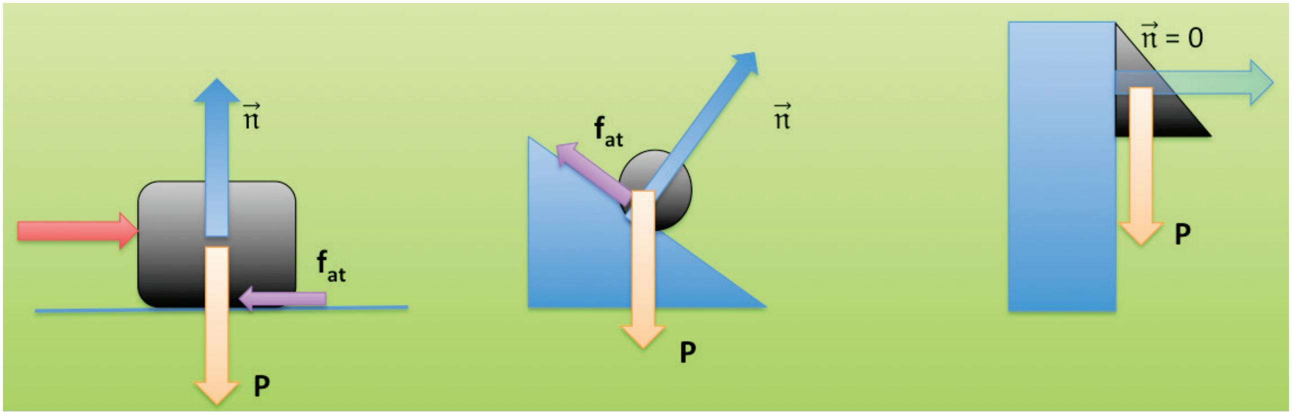
μ_e : É o coeficiente de atrito **estático**

$\vec{n}$: Vai ser a força normal ou de contato, a opção de grafia com uma fonte não usual é para diferenciar da letra "**N**", que representa a unidade Newton.

Quando um corpo já estiver deslizando sobre uma superfície, a força de atrito atuante será a força de atrito cinético $\vec{f}_c$:

$$\vec{f}_c = \mu_c.\vec{n}$$

Onde μ_c é o **coeficiente de atrito cinético**.



Fonte: Eduardo Landulfo

A prática nos diz que a força de atrito estático sempre vai ser maior que a força de atrito cinético máxima, isto quer dizer que no máximo valor da força de atrito estático, quando o corpo ainda estiver parado, o valor de $\mu_e > \mu_c$.

A força de atrito pode ser medida com um tribômetro – vídeo no link:

- https://www.youtube.com/watch?v=CeLjQvIVKUg

1 A força de contato também pode ser chamada de força Normal. Ela é assim chamada por estar perpendicular à superfície de contato, isto é, normal à superfície.

As irregularidades da superfícies podem ser medidas com perfilômetros, que são instrumentos de alta tecnologia que podem utilizar princípios ópticos de microscopia atômica ou de tunelamento.

Materiais	Coeficiente Estático, μ_e	Coeficiente Cinético, μ_c
Aço com Aço	0,74	0,57
Alumínio com Aço	0,61	0,47
Cobre com Aço	0,53	0,36
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Vidro com Vidro	0,94	0,40
Polietileno em Aço	0,2	-
Borracha com cimento seco	1,0	0,8
Articulações nos humanos	0,01	0,01

Fonte: Sears & Zemanski

A força de atrito pode atuar quando não existe movimento relativo. Nesta situação, a força de atrito estático equivale à força aplicada, e mesmo que aumentemos um pouco esta força, a força de atrito também aumenta.

Isso vai ocorrer até um valor limite, quando o objeto inicia o movimento e a força supera a força de atrito estático máxima. A partir deste valor, o objeto agora em movimento vai estar sujeito a uma força de atrito cinética, menor que a força de atrito estática.

Exemplo

Um engradado é colocado numa linha de montagem e fica emperrado. O engradado, de peso 500 N, para ser colocado em movimento necessita de uma força de horizontal de 230 N. Após entrar em movimento, esta força passa a ser 200 N e o movimento do engradado é com velocidade constante. Em posse destes dados, sabemos que os coeficientes de atrito estático e dinâmico são, respectivamente:

a) 0,46 e 2,17.

b) 0,46 e 0,40.

c) 0,40 e 0,40.

d) 0,46 e 0,46.

e) 2,50 e 2,17.

Solução

Quando o sistema não está em movimento, sabemos que:

$$\vec{F_1} + \vec{f_e} = 0$$

E como :

$$\vec{f_e} = \mu_e . \vec{n}$$

Assim, temos na primeira situação que, $\vec{F} = -\vec{f_e}$. Portanto, $\vec{f_e} = -230\vec{i}N$ e $\vec{n} = \vec{P}$, isto é, $\vec{n} = 500$. A equação acima passa a ser:

$$230 = \mu_e .500$$

$$\mu_e = {}^{230}\!/_{500} \approx 0,46$$

Na segunda situação, como a velocidade é constante, isto significa que a aceleração resultante é zero. Assim:

$$\vec{F_2} + \vec{f_c} = 0$$

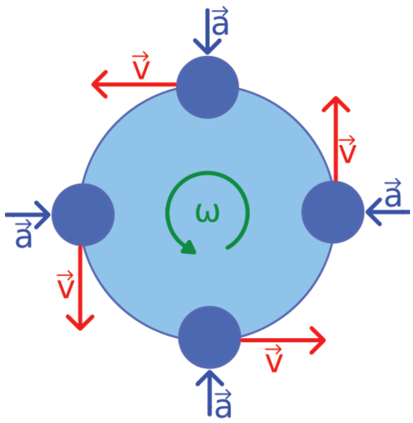
Neste caso, $\vec{f_c} = -200\vec{i}N$, e como no caso estático:

$$200 = \mu_c .500$$

$$\mu_C = {}^{200}\!/_{500} \approx 0,40$$

Resposta: b)

Movimento Circular



Fonte:Wikimedia Commons

Na unidade anterior, vimos o movimento circular uniforme, quando um objeto se move em uma circunferência com velocidade com módulo constante, mas direção variável. Portanto, há a presença de uma aceleração radial, constante, também chamada de aceleração centrípeta:

$$\vec{a}_{rad} \equiv \vec{a}_{cent} = \frac{v^2}{R}\hat{r}$$

A velocidade tangencial **v** e a aceleração $\mathbf{a}_{\mathbf{rad}}$ no movimento circular uniforme numa velocidade angular ω (ômega); a velocidade é constante, mas sempre tangente à circunferência, também chamada de órbita. A aceleração é constante e sempre aponta para o centro da rotação.

Aqui: $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

Onde T é o período, ou o tempo, para completar uma volta.

Vimos também que : $\omega = \dfrac{2\pi R}{v}$

Como há uma aceleração num corpo, se esta aceleração for a única, temos que, da segunda lei, **F** = m.**a**. Portanto:

$$\vec{F} = m.\vec{a}_{cent} = m.\frac{v^2}{R}\hat{r}$$

Exemplo

Uma caixa de plástico de 300 g se desloca em movimento circular uniforme em um plano, sem atrito. A caixa está presa por um cabo de 0,140 m de comprimento. A caixa descreve 2 voltas por segundo. Assim, a força centrípeta que atua nela é igual:

a) 1,1 N.

b) 3,3 N.

c) 6,6 N.

d) 13,2 N.

e) 15,0 N.

Solução

A força resultante é F = m.**a**, por se tratar de movimento circular uniforme, temos:

$$\vec{a}_{cent} = \frac{v^2}{R}\hat{r}$$

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

T = ½ =0,5 s

$$v = \frac{2\pi.0,140}{0,5} = 1,76m/s$$

Então:

$$\vec{a}_{cent} = \frac{1,76^2}{0,14}\hat{r} = 22,1m/s^2$$

Portanto:

$$\vec{F} = 0,3 \times 22,1 = 6,63\,N$$

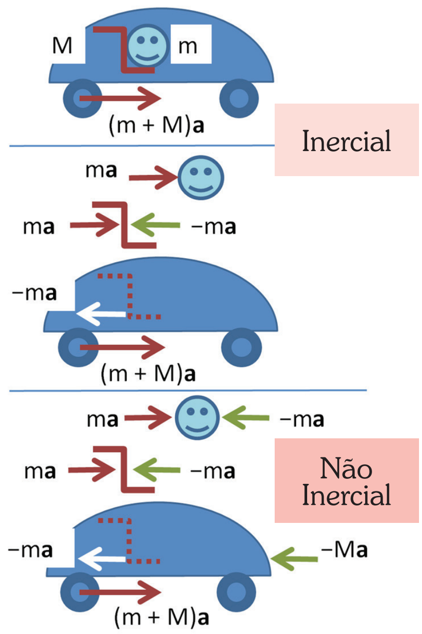
Resposta: c)

Sistema Inercial e Pseudoforças

Quando observamos no trânsito um ônibus que pára de repente, os passageiros são pegos de surpresa são como que arremessados para a frente, como que empurrados por uma "força". Esta força fictícia só aparece por que o ônibus que desacelerou deixou de ser um referencial inercial. Neste caso, temos dois referenciais na verdade:

a. O primeiro referencial (nós fora do ônibus) percebemos que o ônibus pára e os passageiros que não se seguraram continuam seu movimento e, portanto, sem nenhuma força;

b. O referencial do ônibus, não inercial, o passageiro no momento da freada é arremessado para frente e uma força fictícia **f** = m.**a**.



Fonte: http://efisica.if.usp.br/mecanica/basico/referenciais/intro/

Material Complementar

Para complementar os conhecimentos adquiridos nesta Unidade, veja os textos,sites e vídeos indicados e consulte a bibliografia.

Vídeo:

Movimento unidimensional – Fundação Lemann

Disponível em: http://goo.gl/629sCw

Site:

Leis de Newton

Disponível em: http://goo.gl/aWUGjP

Referências

ALONSO, M. **Física 1**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Física 1**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

LANDULFO, EDUARDO. **Meio Ambiente & Física.** São Paulo. Senac, 2005.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica.** 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002. V.

SEARS & ZEMANSKY. **Física I.** 10.ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003.

SERWAY JR., JEWETT. **Princípios de Física.** São Paulo: Thompson, 2004. V.1

TIPLER, P. A. **Física.** 4.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S. A.,2000.

Anotações

Educação a Distância
Cruzeiro do Sul Educacional
Campus Virtual

www.cruzeirodosulvirtual.com.br
Campus Liberdade
Rua Galvão Bueno, 868
CEP 01506-000
São Paulo SP Brasil
Tel: (55 11) 3385-3000

Universidade Cruzeiro do Sul

UNICID Universidade Cidade de S. Paulo

UNIFRAN Universidade de Franca

UDF Centro Universitário

Módulo Centro Universitário