

Aula 9

TERCEIRA LEI DE NEWTON

META

Conceituar a força peso; e apresentar a terceira Lei de Newton.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
distinguir a massa dos objetos de seus pesos;
calcular o peso de objetos em diferentes cenários; e
utilizar a 3ª Lei de Newton para resolver problemas simples de dinâmica vetorial.

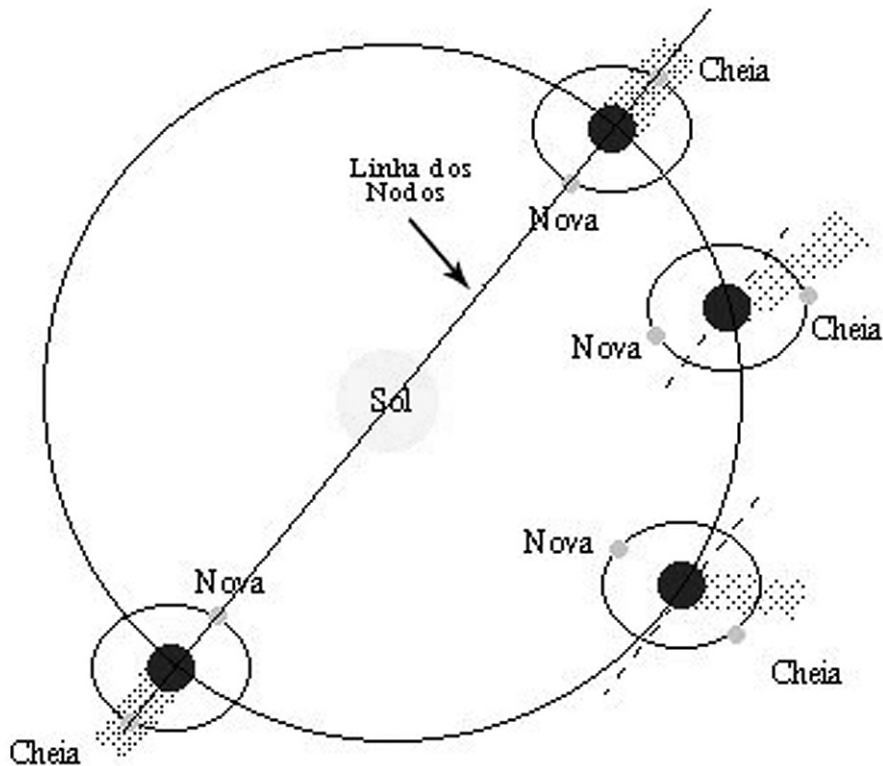
PRÉ-REQUISITOS

Conhecimento sobre álgebra, trigonometria, primeira e segunda leis de Newton e vetores.

INTRODUÇÃO

Bem vindos à penúltima aula deste primeiro módulo. Hoje apresentamos a terceira e última lei de Newton, conhecida como a lei da ação e reação. Sua formulação esclarece a necessidade de, pelo menos, dois corpos para que haja uma força: não existe uma força aplicada apenas a um corpo. O exemplo mais cabal desta afirmação pode ser detectado no movimento de planetas. O movimento da Lua, por exemplo, quando observado em um referencial inercial fora do sistema solar corresponde a uma composição de dois movimentos (muitos na realidade, mas principalmente dois): o de translação em torno da Terra e o de translação em torno do Sol. Trata-se de um movimento quase circular, o que exige uma força, que claramente só existe porque existem mais corpos para interagir (gravitacionalmente) com a Lua.

De acordo com esta lei, quando aplicamos uma força a um corpo (ação), o corpo aplica uma força de igual intensidade, mas em sentido oposto sobre nós (reação). Estudaremos como diferenciar a segunda da terceira lei que, muitas vezes, são confundidas na resolução de exercícios. Grande parte desta aula será utilizada para a resolução de problemas de dinâmica e estática.



A terceira Lei de Newton é, de certo modo, mais interessante que suas antecessoras, pois introduz um conceito muito importante: a necessidade da existência de dois corpos para que exista uma força. Parece muito simples, e de fato é, mas precisa ser discutida em detalhe para que toda a idéia seja adequadamente compreendida. Vamos então enunciá-la:

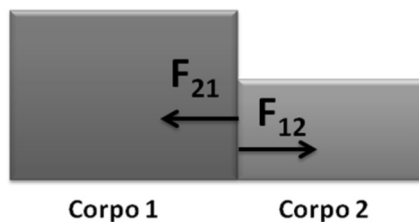
Se dois corpos interagem, a força \vec{F}_{12} exercida pelo corpo 1 no corpo 2 é igual em magnitude e tem direção oposta à força \vec{F}_{21} exercida pelo corpo 2 sobre o corpo 1.

$$\vec{F}_{21} = - \vec{F}_{12}$$

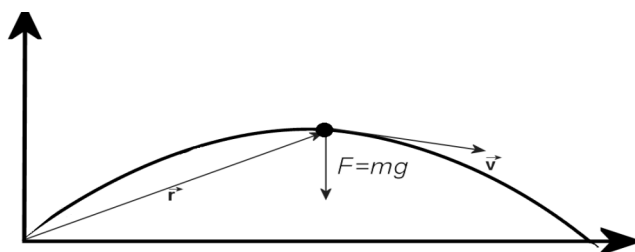
Vamos relembrar agora as outras leis de Newton:

1. Todo corpo permanece em estado de repouso ou em movimento retilíneo uniforme se nenhuma força resultante atuar sobre ele;
2. A variação do estado de movimento de um corpo é proporcional à força aplicada sobre ele, e o fator de proporcionalidade é a sua massa, ou sua inércia.

As duas primeiras leis explicam como uma força externa pode alterar o estado de movimento de um corpo. A terceira se refere a dois corpos. Observando a equação que colocamos acima, notamos que cada força mostra dois índices: 12 ou 21. A presença de dois índices indica que temos dois corpos e também indica quem aplica força em quem: o primeiro índice serve para indicar quem exerce a força e o segundo indica quem sofre esta força. A figura abaixo ilustra a situação.



Enquanto o corpo 1 aplica uma força F_{12} no corpo 2, o corpo 2 aplica uma força F_{21} no corpo 1. As setas aparecem indicando a direção, o sentido e a intensidade da força. Quando um corpo exerce uma força sobre o outro, e sofre uma reação a partir do outro, dizemos que existe uma interação entre estes corpos. Esta interação pode ser através do contato entre estes corpos, mas também pode ser através de corpos distantes uns dos outros. Estas duas forças costumam ser chamadas de par ação-reação. Não se pode dizer quem é ação e quem é reação, e isto também não é relevante. O que é muito relevante agora é reconhecer esta lei nos problemas que apresentamos nas aulas anteriores. Veja, por exemplo, o movimento de um projétil na figura abaixo:



A única força que aparece neste diagrama é a força da gravidade. A partir da primeira lei de Newton, sabemos que, como existe esta força atuando sobre o corpo de massa m , o mesmo não poderá manter uma trajetória retilínea. A partir da segunda lei de Newton, sabemos que, devido a esta força, o corpo de massa m estará sujeito a uma aceleração cujo módulo é dado por F/m . Mas a terceira lei de Newton nos afirma que não existe ação sem reação. Então, onde está a outra força? Será que ela se somará com a força gravitacional e anulará a primeira? Afinal de contas, elas têm mesmo módulo, mas sentidos opostos. Na terceira lei de Newton, as forças são aplicadas em *corpos diferentes*. Então quem é o outro corpo? A própria Terra! Sim, a Terra.

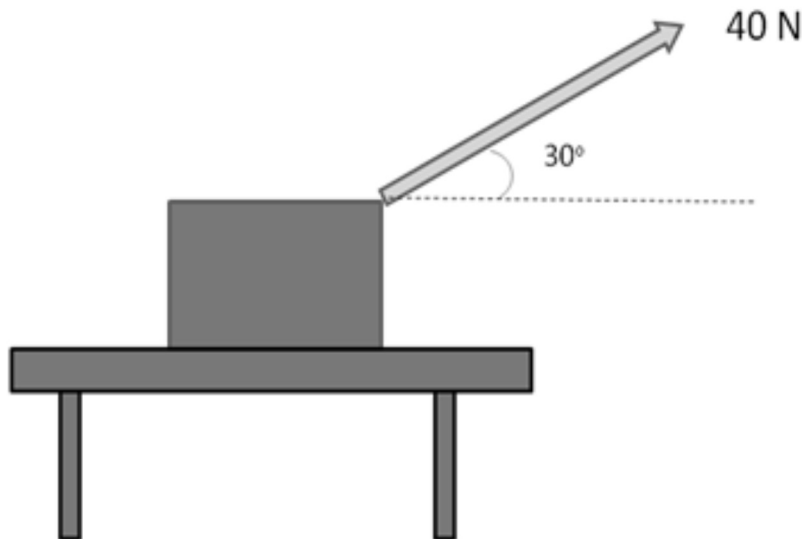
A terceira lei de Newton nos diz que este corpo de massa m exerce uma força sobre a Terra cujo módulo é F , o que se traduz em uma aceleração cujo módulo é dado por F/M , onde M é a massa da terra. Pode parecer um absurdo, mas de fato nós aceleramos a Terra. Só não sentimos nada porque nossa massa é muito pequena. Vamos fazer um cálculo simples para saber que aceleração uma bolinha causa sobre a Terra. Suponha que aquele corpo da figura acima tem uma massa igual a 1 kg. Sendo a aceleração gravitacional aproximadamente igual a 10 m/s^2 , a força gravitacional (ou a força peso, ou a força que a Terra aplica no corpo) é igual a 10 N. A reação a esta força, em sentido oposto à primeira também tem módulo igual a 10 N. Sendo a massa da terra igual a $5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, obtemos que a aceleração que a Terra sofre é da ordem de $10/5,97 \times 10^{24}$, ou $1,68 \times 10^{-24} \text{ m/s}^2$. Parece muito pouco e realmente é muito pouco. Lembre-se que este cálculo só faz sentido se o corpo se encontra muito próximo da superfície da Terra.

É importante se manter atento a este importantíssimo detalhe. Quando duas forças atuam sobre o mesmo corpo e se cancelam (com aceleração nula), o equacionamento do problema fica, suspeitamente, parecido com o caso da terceira lei de Newton, mas este não é o caso, pois para a terceira lei o que vale são forças em corpos diferentes. Os problemas que trabalharemos a seguir ajudarão a trazer mais luz para este conceito, ao mesmo tempo que permitirão uma revisão das três leis de Newton.



ATIVIDADES

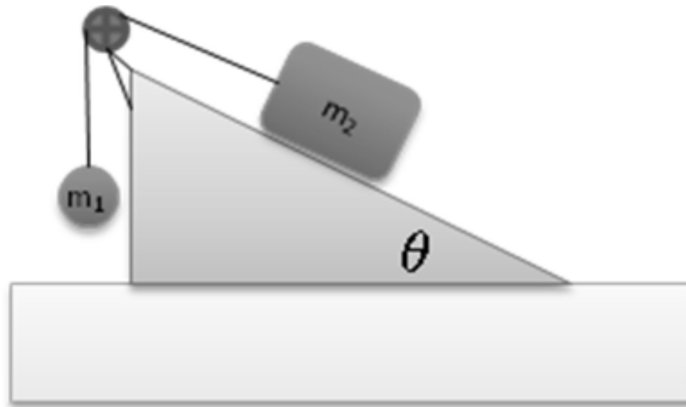
- I. Imagine que você possa acelerar um corpo de 1 kg com a aceleração que a Terra sofre pela atração com o mesmo. Quanto tempo demoraria a tirar este corpo do repouso e acelerá-lo a uma velocidade de 80 km/h?
- II. Uma massa de 10 kg é colocada sobre uma balança e a mesma é colocada dentro de um elevador. Faça um diagrama das forças presentes. Calcule a leitura da balança quando:
- O elevador está parado;
 - O elevador está descendo a uma velocidade de 300 km/h;
 - O elevador está sendo acelerado para cima a uma taxa de 10 m/s^2 .
- III. Um bloco de 10,0 Kg que descansa sobre uma mesa (sem atrito) é puxado por uma de suas extremidades superiores por uma força de 40 N direcionada como indicado abaixo.



Determine a aceleração da caixa e a força normal exercida pela mesa sobre a caixa.

- IV. Uma carga de 200 kg deve ser erguida a certa altura e dispomos de uma corda e duas polias. De que maneira você poderia minimizar o seu esforço? E qual seria esta força necessária para levantar esta carga?

V. Uma bola de massa m_1 e um bloco de massa m_2 são conectados por uma corda inextensível que passa por uma polia sem atrito e de massa desprezível como na figura abaixo. O bloco se encontra em um plano inclinado cuja inclinação é de q graus. Determine analiticamente o valor da aceleração e da tração aplicada sobre a corda. Se $m_1 = 10 \text{ Kg}$ e $m_2 = 15 \text{ Kg}$, qual o valor de q que manterá o sistema em equilíbrio?



COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. Para resolvermos esse problema, precisaremos converter esta velocidade para unidades do sistema SI: m/s. Isto é simples: consultando uma tabela de fatores de conversão, encontramos que $1 \text{ km/h} = 0,2778 \text{ m/s}$. Então, $80 \text{ km/h} = 80 \times 0,2778 \text{ m/s} = 22,224 \text{ m/s}$. Agora só precisamos utilizar uma das equações horárias para determinar o tempo:

$$v = v_0 + at \rightarrow 22,221 = 0 + 1,68 \times 10^{-24} t \rightarrow t = 1,32 \times 10^{24} \text{ s}$$

Não é um tempo assombroso? Para melhor apreciar este número, vamos fazer mais algumas conversões:

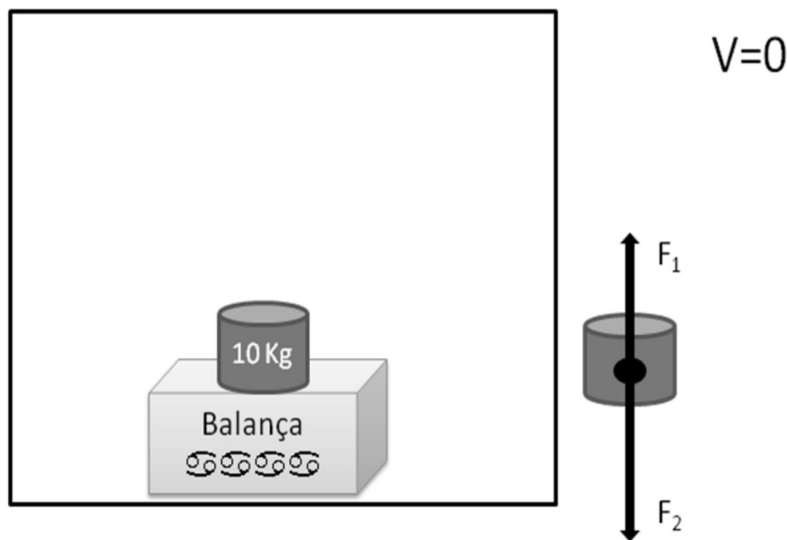
$1,32 \times 10^{24}$ segunda	$1,53 \times 10^{19}$ dias	$4,19 \times 10^{15}$ anos	4,19 peta anos
-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------

O universo iria derreter antes de ver esta bolinha andar... Esta é a nossa influência sobre a Terra.

I. Vamos começar a discutir este problema com bastante paciência para compreender todos os passos sob a luz das leis de Newton.

a. Vamos considerar o nosso sistema quando o elevador está parado. Isto significa que poderíamos assumir que a balança está em uma

farmácia de nosso bairro. Fazemos uma “perguntinha inocente” para nós mesmos: se eu subir na balança, ela sairá do lugar? Ela sairá voando? Se você for como a maioria dos mortais, nada disto ocorrerá. A balança permanecerá parada em seu lugar. Ela estava em repouso no chão e assim continuou. A sua presença sobre a balança não faz com que ela seja acelerada, e isto quer dizer que a força resultante na balança é igual a zero. Isto quem nos informou foi a primeira lei de Newton... Dê agora uma boa olhada na figura abaixo.



O bloco de 10 Kg também se encontra parado. A aceleração do bloco deve ser nula, uma vez que ele não está saindo do repouso. Podemos então utilizar a segunda lei de Newton para calcular quem são F_1 e F_2 .

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

Como a aceleração é nula,

$$\sum \vec{F} = 0 = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$

A força F_2 é simplesmente a força peso: $\vec{F}_2 = -10 \times 9,80\hat{j} = -98,0N\hat{j}$. Lembre-se que \hat{j} é simplesmente um versor indicando que a direção é vertical, e o sentido, para cima. Como existe um sinal negativo, a força é para baixo. A força que a balança aplica sobre o corpo é conhecida como força normal. A força normal então só pode ter o valor de $\vec{F}_1 = 98,0N\hat{j}$. Estas foram então as forças que atuaram sobre o bloco de 10 Kg. Não utilizamos ainda a terceira lei. A terceira lei nos informa sobre a fonte destas forças. Estas forças não podem existir apenas; elas precisam de seu par ação-reação. E quem são eles? Para começar, podemos lembrar que o bloco está aplicando uma força sobre a Terra tão intensa quanto

aquela que a Terra está aplicando sobre ele: a força peso. Esta reação, no entanto, não é de modo algum a força F_1 . Esta força de reação está sendo aplicada sobre o centro da Terra. As forças utilizadas na segunda lei de Newton sempre atuam no mesmo corpo. Então quem é F_1 ? Esta é a força que a balança exerce sobre o bloco para mantê-lo parado! É uma força de um corpo sobre outro. E aqui cabe a mesma pergunta: e quem é a reação a esta força aplicada pela balança? Simples, é a força aplicada pelo bloco sobre a balança, fazendo com que ela aponte uma massa de 10 Kg.

a. Neste segundo caso nós temos um elevador descendo à velocidade espantosa de 300 Km/h. Para resolver este problema precisamos passar pela primeira lei de Newton novamente. Ele está acelerado? Se a velocidade é constante, então não está acelerado. Se ele não está acelerado, então se encontra em um referencial inercial, que pode ser trocado por outro referencial inercial. Falando mais claramente: se estamos olhando para a frente do edifício onde este elevador panorâmico está se movendo, nós vemos um elevador descendo alucinadamente rápido. Mas, o que diria uma pessoa que acabou de acordar dentro deste elevador e que não pode ver nada à sua volta? Ele não saberia dizer se está andando ou se está parado. Isto corresponde a colocar o referencial dentro do elevador. Então estas duas situações são idênticas: parado ou se movendo a uma velocidade constante. Então esta segunda parte do problema já está resolvida pois é idêntica à primeira.

b. Esta última parte nos traz finalmente alguma emoção. Agora nosso sistema não está em repouso. A nossa segunda lei de Newton já pode ser usada para conhecer as forças que estão atuando sobre o bloco. Elas podem utilizar os mesmos índices que estão sendo usados na figura original.

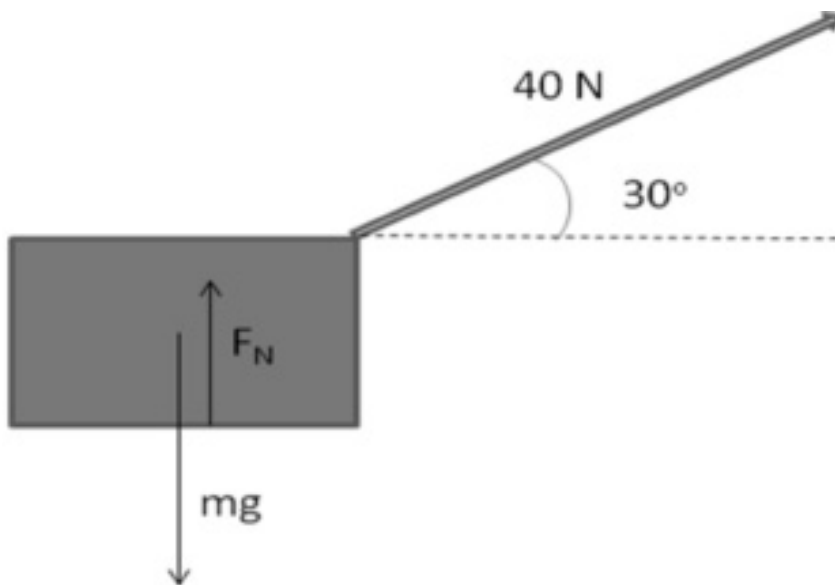
$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = m\vec{a}$$

Vamos agora analisar o movimento: todo ele ocorre na vertical. Então, podemos transformar este problema vetorial em um problema de uma dimensão, desde que tomemos cuidado com os sinais. O enunciado do problema nos diz que o elevador está sendo acelerado para cima, portanto, o sinal de a é positivo. Já vimos também que a força F_2 é a força peso do bloco. Esta força não depende do estado de movimento do bloco, esteja ele parado ou acelerado. Seu valor depende apenas de sua massa e tem o valor já calculado de 98,0 N. O que nós já podemos saber é que a força Normal F_1 não é igual à força peso. Vamos então obter o seu valor:

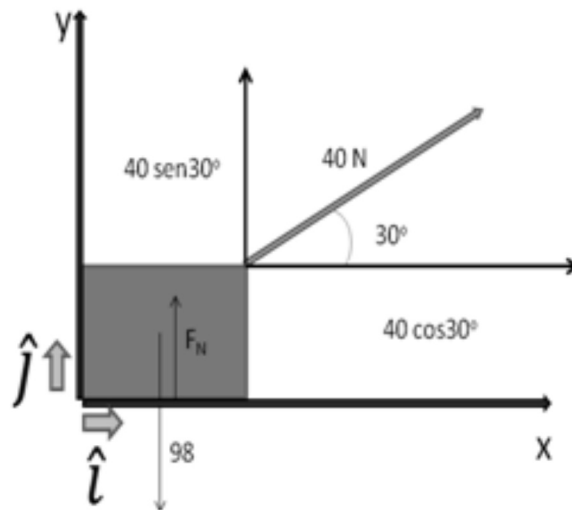
$$\vec{F}_1 - 98,0 = 10 \times 10 \rightarrow \vec{F}_1 = 198N$$

Como já discutimos, esta força é aquela aplicada pela balança no bloco para mantê-lo sobre a sua superfície (lembre-se ele não sai voando). Então, a esta ação, obtemos uma reação, que é a força que o bloco exerce sobre a balança. Já não é simplesmente a força peso. É uma força aplicada para baixo com uma intensidade de 198 N. Como a balança está calibrada para dividir a força a que ela é sujeita por 9,8 para dar $m' = \frac{198}{9,8} = 20,20kg$, tudo que temos que fazer é efetuar esta divisão: . A massa aparente, m' , que corresponde à leitura da balança, é aproximadamente 20 Kg.

Este problema nos traz um novo desafio que é o tratamento das leis de Newton em duas dimensões. Começaremos fazendo um diagrama das forças que atuam na caixa:



Como já vimos anteriormente, a força peso só depende da massa da aceleração da gravidade. O seu valor é facilmente calculado, multiplicando um pelo outro para obter um valor igual a 98N. A força aplicada externamente sobre o corpo é dividida entre a normal aplicada pela mesa e aquela exercida pela pessoa que a está puxando. Esta última tem seu valor conhecido, mas a outra não. Para responder às perguntas deste problema, precisaremos utilizar as leis de Newton. A segunda lei será utilizada agora. Para isto, precisaremos utilizar a linguagem vetorial. Vamos estabelecer um sistema de coordenadas cartesiano que nos ajudará a visualizar as componentes destas forças.



Agora apliquemos a segunda lei de Newton:

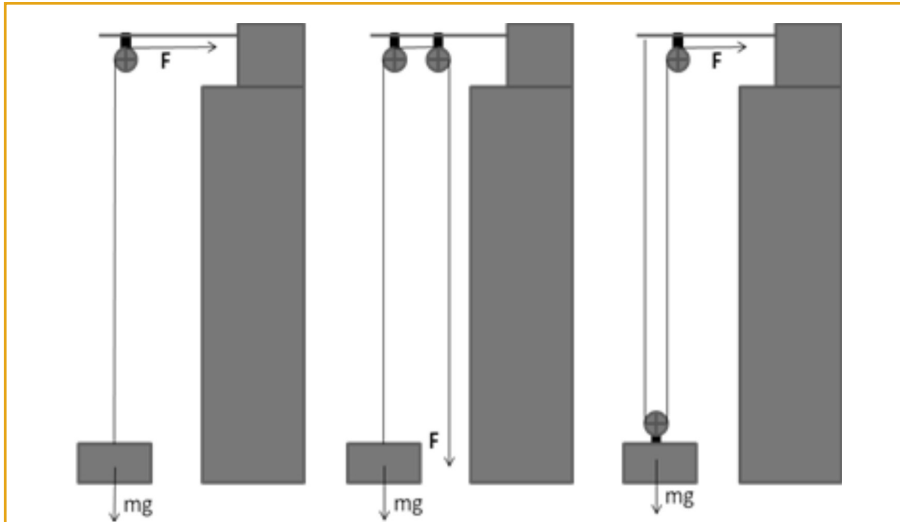
Todas as forças estão aqui equacionadas e o problema parece difícil, mas não é. O problema se torna muito mais fácil se dividirmos em componentes:

Componente X:
$$40 \cos 30 = 10 a_x$$

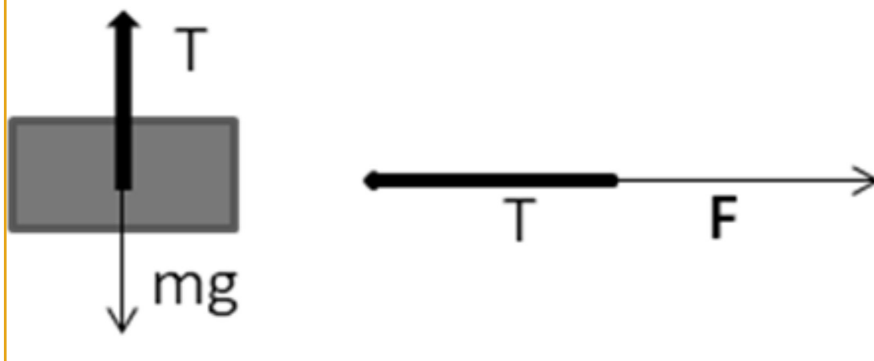
Componente Y:
$$F_N + 40 \sin 30 - 98 = a_y$$

Estamos, agora, com um problema mais fácil de resolver. Na componente X, temos uma conta trivial que nos diz que $a_x = 4,46 \frac{m}{s^2}$. Na segunda equação, precisamos tomar um certo cuidado. A força peso é maior ou menor que a componente vertical da força aplicada pela pessoa que puxa a caixa? Esta última é simplesmente $40 \sin 30 = 20 N$, ou seja, é menor que o peso. Sendo assim, a caixa não perderá contato com a mesa o que equivale a dizer que a aceleração vertical a_y é igual a zero. A força normal pode ser facilmente calculada agora: $F_N - 98 - 40 \sin 30 - 78 N$. Lembre-se de que esta força normal é igual e oposta à força que a caixa aplica sobre a mesa. Ela não é a força peso apenas: é a força peso menos parte da força exercida pela pessoa que puxa.

I. Existem infinitas maneiras de trabalhar com esta corda e estas polias, mas vamos nos concentrar em três configurações básicas que serão suficientes para ilustrar o problema. Considere a figura a seguir:

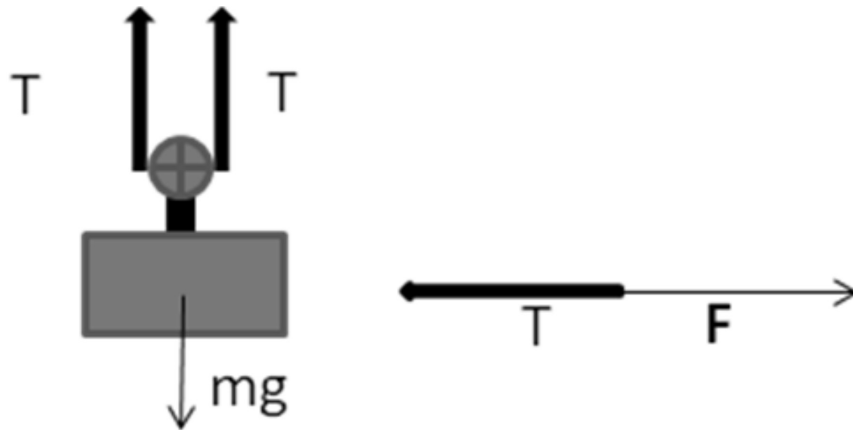


Nós estamos assumindo que a corda não é elástica. Sendo assim, podemos afirmar que a força aplicada em uma ponta da corda é igual àquela aplicada à sua outra ponta. Chamaremos esta força de Tração. Consideremos, então, a carga na primeira das configurações. A força peso é sempre a mesma e é dada pela massa multiplicada pela aceleração da gravidade. Vamos, agora, arredondar a aceleração da gravidade para 10 m/s^2 . Sendo assim, a força peso é sempre 2000 N . Se a carga está sendo suspensa a uma velocidade constante, sua aceleração é zero, o que indica que a força resultante sobre ela é nula. Se isto é verdade, então a tração é igual ao peso, ou 2000 N . Como na outra ponta da corda, temos uma pessoa equilibrando a tração ao aplicar uma força F , seu valor deve ser 2000 N . Esta polia não ajudou muito. Se puxássemos diretamente esta carga, daria no mesmo. Apesar de ser um sistema simples, faremos um diagrama de forças para que facilite a visualização.



A tração é, então, igual ao peso e igual à força aplicada. No segundo caso, utilizamos duas polias, mas o resultado não é bom. A força peso ainda é a mesma, 2000 N. A tração continua a mesma e, mudando a posição da pessoa, não ajuda em nada, pois a força que ele precisa usar para puxar a carga continua a mesma.

No terceiro caso, temos uma novidade que vale a pena apreciar utilizando novamente o diagrama de força:

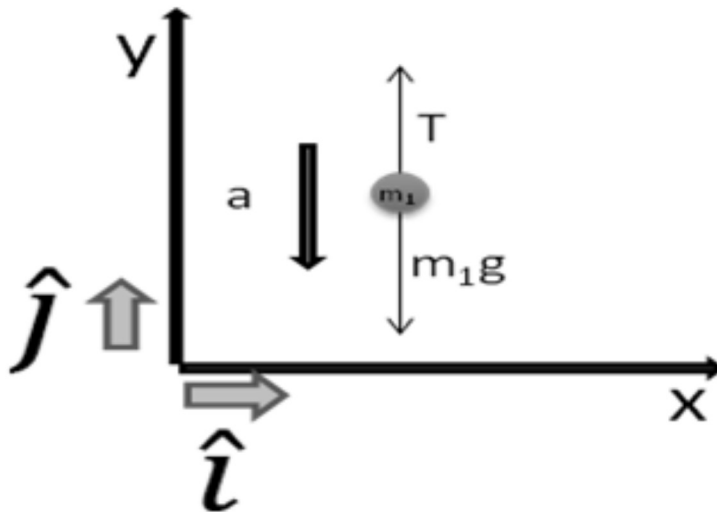


Ao prender uma das extremidades da corda no suporte de levantamento, foi possível dividir o esforço por dois! Veja como: o peso continua o mesmo, 2000 N, mas a segunda lei de Newton aplicada sobre a carga (com aceleração zero) nos diz que

$$\sum F = 0 = 2T - mg \rightarrow 2T - 2000 \rightarrow T = 1000N$$

O esforço foi, assim, dividido entre a pessoa, e o suporte e seu esforço caiu à metade. Por isso, é tão interessante o uso de polias para lidar com grandes massas.

I. Uma resolução analítica é aquela onde não usaremos números, teremos apenas as equações que serão posteriormente utilizadas para obter resultados numéricos. Aqui novamente precisaremos utilizar as três leis de Newton para resolver o problema. A primeira observação que temos a fazer é em relação ao equilíbrio do sistema: a bola está caindo e puxando o bloco; ou o bloco está escorregando e puxando a bola? Na verdade, isto depende de θ , mas podemos assumir qualquer uma das duas possibilidades uma vez que o resultado será o mesmo. Vamos, então, assumir que a bola está caindo acelerada. Precisamos agora desenhar o diagrama de forças em cada um dos corpos. Começemos pela bola:

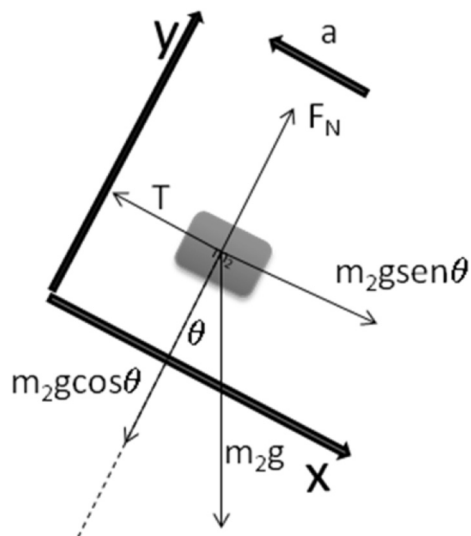


Como todos os vetores estão na direção y , podemos aplicar a segunda lei de Newton diretamente.

$$T - m_1g = -m_1a \rightarrow T = m_1(g-a)$$

Note que a tração aponta para cima, enquanto a gravidade e a aceleração apontam para baixo, e é esta a razão de usarmos estes sinais.

Para o bloco, precisamos de um novo diagrama de forças. Poderíamos utilizar o mesmo sistema cartesiano, mas isto não é necessário. Vamos colocar um novo sistema cartesiano inclinado em relação ao primeiro. Pode parecer uma complicação a mais, mas o desenho abaixo irá facilitar a visualização.



Esta pequena mudança de orientação dos eixos cartesianos e a divisão da força-peso em suas componentes facilitaram todo o nosso trabalho. Veja que a força peso aparece duas vezes no gráfico. Ela aparece em sua direção real e também aparece em suas componentes. Para aplicar a segunda lei de Newton, necessitamos apenas das componentes. No problema anterior, escrevemos a equação vetorial e depois utilizamos as suas componentes. Agora já podemos ir diretamente para as componentes:

Componente X:

$$m_2 g \sin \theta - T = -m_2 a$$

Componente Y:

$$F_N - m_2 g \cos \theta$$

Podemos agora inserir na equação da componente X a expressão de T obtida no diagrama da bola:

$$m_2 g \sin \theta - m_1 (g - a) = -m_2 a$$

E, simplificando esta equação, obtemos o valor da aceleração em função das massas e do ângulo de inclinação:

$$a = \frac{g(m_1 - m_2 \sin \theta)}{m_1 + m_2}$$

Para obter a tração, só precisamos agora substituir este valor de aceleração na primeira das equações:

$$T = m_1 (g - a) = m_1 \left(g - a = \frac{g(m_1 - m_2 \sin \theta)}{m_1 + m_2} \right)$$

Simplificando esta equação obtemos:

$$T = \frac{m_1 - m_2 (1 + \sin \theta) g}{m_1 + m_2}$$

As fórmulas podem parecer um pouco assustadoras, mas são apenas isto, fórmulas. Podemos fazer agora o cálculo numérico pedido, onde $m_1 = 10 \text{ Kg}$ e $m_2 = 15 \text{ Kg}$ e a aceleração é zero. Simplesmente substituímos os valores na equação da aceleração para obter a resposta.

$$a = \frac{g(m_1 - m_2 \sin \theta)}{m_1 + m_2} \rightarrow 0 = \frac{10(10 - 15 \sin \theta)}{10 + 15}$$

A resposta, portanto, é um ângulo de aproximadamente 41° .

CONCLUSÃO

Vimos, então, que a terceira lei de Newton, em seu aspecto filosófico, é uma ferramenta para a resolução de alguns problemas, inclusive os problemas clássicos que são propostos na maioria dos livros de Física para o curso superior.



RESUMO

A utilização criteriosa das três equações de Newton é suficiente para a resolução de uma série de problemas simples de mecânica vetorial. A terceira destas leis tem uma particular importância no que tange à interpretação física das interações. Com ou sem contato, nunca existe uma única força. A toda ação existe uma reação. O ponto mais importante desta lei é o entendimento de que estas forças sempre atuam em corpos diferentes. A utilização da segunda lei de Newton em um corpo onde a aceleração é nula propicia um sistema de equações que é semelhante à ação e reação, mas o espírito desta lei é o de que ela se aplica a um único corpo sujeito a várias forças.



PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, passaremos ao estudo dos sistemas dissipativos onde as forças de atrito precisam ser consideradas. A partir destes conceitos e considerações, serão desenvolvidos novos elementos de estudo, principalmente a velocidade terminal dos corpos que estão sujeitos ao atrito.

REFERÊNCIAS

- GIANCOLI, Douglas C. **Physics for Scientists and Engineers**. 3ed. New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.
- YOUNG, Hugh D. & FREEDMAN, Roger A. **Física I- Mecânica**. 10ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003. Tradução: Adir Moysés Luiz.
- KELLER, Frederick J.; GETTYS, Edward & SKOVE, Malcolm J. **Física**. São Paulo: Makron Books, 1997. Trad. Alfredo Alves de Farias. Vol. 1.
- RESNOCK, Robert; HALLIDAY, David & KRANE, Kenneth S. **Física** 1. 5ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003. Trad. Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva.