

## SEQUÊNCIA DE APRENDIZAGEM

### META

Introduzir os conceitos fundamentais sobre força, massa e aceleração.

### OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:  
descrever o que significa uma força,  
identificar conceitos fundamentais sobre as Leis de Newton;  
correlacionar força, massa e aceleração;  
definir as forças fundamentais;  
identificar as forças fundamentais no cotidiano; e  
utilizar unidades de intensidade de força.

### PRÉ-REQUISITOS

O aluno deverá revisar os conceitos sobre vetores.

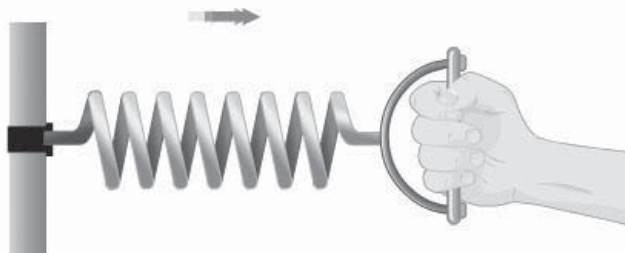


Carro de boi (Fonte: <http://www.irga.rs.gov.br>).

## INTRODUÇÃO

Caro aluno, o primeiro e mais importante passo para que você tenha pleno êxito no entendimento da dinâmica, que é a parte da Mecânica que analisa os movimentos fazendo as relações entre causas e efeitos, é identificar todas as forças que atuam sobre o corpo que estiver sob estudo. Mas você sabe exatamente o que é uma força? Quais são os tipos de força que existem? Ou, por exemplo, como se relacionam as forças com a massa?

Será que você sabe responder essas questões? Provavelmente irão surgir muitas dúvidas. Por isso, analisaremos, nesta aula e na próxima, as principais forças com que você irá se deparar durante o curso de Física. Também vamos relacioná-las com massa e torque.

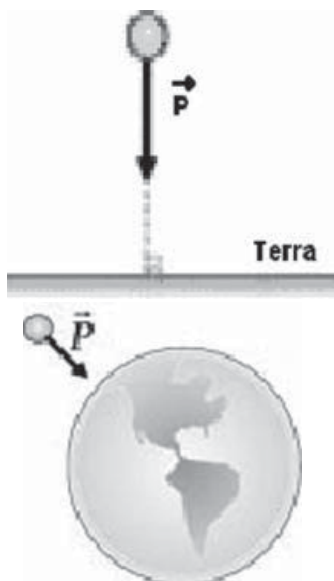


Mola (Fonte: <http://www.colegioweb.com.br>).

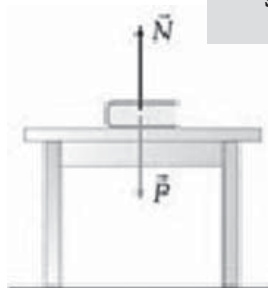
## DEFINIÇÃO DE FORÇA

Você já se perguntou por que se jogamos uma pedra para o alto ela sempre volta em direção ao solo? Ah, já? Claro que você sabe que a pedra é atraída para o solo pela força da gravidade, não é mesmo?

Esse é um tipo de força com a qual estamos todos familiarizados: é a força peso.



A força normal  $\vec{N}$  tem direção perpendicular às superfícies de contato e sentido de empurrar.



Peso nada mais é do que a força que a Terra exerce sobre a pedra ou sobre você.

Há dois pontos interessantes sobre essa força:

- ela o puxa para baixo, ou, mais precisamente, em direção ao centro da Terra;
- ela é proporcional à sua massa. Se você tem mais massa, a Terra exerce uma força maior sobre você. Afinal, quando você sobe naquelas balanças de banheiro, você exerce uma força sobre ela. A força que você aplica comprime uma mola que move uma agulha, e então você pode medir seu peso, ou mais corretamente falando, sua massa, já que a balança “sabe” a relação entre força e massa.

Mas então por que não afundamos na Terra? Ora, a Terra aplica sobre nós uma força contrária à força peso. A força de reação normal de apoio, ou simplesmente força normal, é a força de empurrão que uma superfície exerce sobre um corpo nela apoiado.

Agora imagine que você esteja aprendendo a dirigir. Você, então, sai em um carro em movimento com certa velocidade. Quando se aproxima de um grande cruzamento sabe que deve parar, mas se confunde com os pedais (acelerador, freio, embreagem, ihhhh!), e sem identificar corretamente o freio, pisa no acelerador. Aiii!

O que o instrutor deve fazer para impedir um acidente? Ou seja, parar o carro?

Claro, ele deve puxar o freio de mão, não é? E será que o carro vai parar? Espero que sim!!

O instrutor fez surgir uma resistência ao movimento do carro. Essa resistência altera a velocidade do carro e, portanto, é também uma força que o faz parar. Ao acionar o freio ele faz com que os pneus parem de girar. Assim, eles exercem uma força sobre o chão, contrária ao movimento, que faz com que o carro pare seu deslocamento. Essa força de contato motivada por asperezas superficiais recebe o nome de força de atrito.

Então, nossos exemplos foram: a força da gravidade que puxa a pedra e que também é responsável pelo movimento dos corpos celestes, força normal e a força de atrito. Ué, fenômenos aparentemente diferentes são designados pelo mesmo termo força. Confuso? Qual sua conexão?

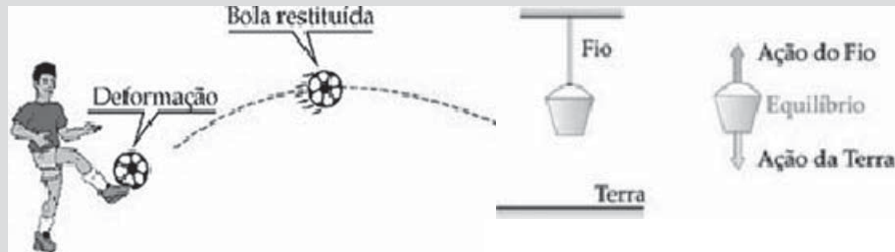
Do ponto de vista físico, essas forças formam os agentes responsáveis pela mudança da velocidade dos objetos. Quando a velocidade de um objeto muda é porque sobre ele está agindo uma força (ou mais forças).

Mas exatamente o que é uma força?

Em física clássica, força é o único agente do Universo capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, ou de deformá-lo.

Ah, então a força peso muda o movimento da pedra jogada para o alto e o atrito faz o carro parar. Portanto uma força provoca aceleração. Se você aplicar força em um carrinho de brinquedo (empurrando-o com a mão), ele se movimentará. Sairá do repouso e ganhará velocidade, ou seja, será acelerado.

**Aceleração:** efeito dinâmico da força, em que o corpo altera a sua velocidade vetorial, isto é, varia pelo menos umas das seguintes características da velocidade: direção, sentido e módulo, quando sujeito à ação da força.



Porém algumas vezes o objeto não se move, mas tem alterada sua forma. Numa batida de um carro contra um outro parado, por exemplo. Talvez aquele que estava parado não se movimenta, porém fica todo amassado. Isso é resultado da aplicação da força de um carro sobre o outro.

**Deformação:** efeito estático da força; o corpo sofre uma modificação em seu formato sob a ação da força.

O equilíbrio também pode ser causado pela força. Por exemplo, se você prender um vaso através de um fio num suporte, a força que o fio exerce sobre o vaso produz um equilíbrio, evitando que ele caia pela ação da gravidade terrestre.

Forças são muito comuns no nosso cotidiano. Ao segurarmos uma bola, ao subirmos uma escada, quando empurramos um carrinho de supermercado, quando pulamos uma corda e em tantos outros exemplos são forças que estamos realizando.

Apesar de o termo “força” abrigar uma noção quase intuitiva, é importante entender que, do ponto de vista da Física, a noção de força está intimamente relacionada com a alteração do estado de movimento de uma partícula, isto é, a presença de forças entre as partes da matéria se faz sentir através de um movimento de afastamento (forças repulsivas) ou de aproximação (forças atrativas) das mesmas.

Portanto: as forças resultam da capacidade das várias partes do Universo (e da matéria) de interagirem.

**Forças resultam da interação da matéria.**

Observe que apesar de em alguns casos parecer que aplicamos uma força somente quando entramos em contato com um objeto, na realidade não é isso que ocorre. Pelo contrário, não existem forças de contato. Todas as forças são aplicadas a uma determinada distância. Mesmo no caso de uma força mecânica, como quando batemos numa bolinha, as moléculas das nossas mãos interagem a distância com as moléculas da bolinha sobre a qual estamos a atuar. Mas visualmente esta é uma força de contato, enquanto que uma força, como a eletromagnética que surge entre um ímã e a geladeira, são chamadas de forças de campo. As moléculas de um corpo só ficam “coladas”, se ocorrer uma reação química ou uma fusão nuclear.

A Terra está interagindo com a pedra, fazendo com que ela caia no chão. O pneu do carro está interagindo com o solo para fazer o carro parar. Curiosamente, as mesmas leis que regem o movimento dos corpos sobre o nosso planeta também conseguem descrever o movimento dos corpos celestes. Estas leis básicas do movimento, na verdade apenas três leis, foram descobertas por Isaac Newton.

## PRIMEIRA LEI DE NEWTON

### 1ª. Lei de Newton

**“Um corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme a menos que haja uma influência externa, ou seja uma força, atuando sobre ele.”**

Esta lei, também chamada de Lei da Inércia, nos fala sobre a ação que deve ser feita para manter um corpo em movimento ou em repouso.

Tomemos um corpo inicialmente em repouso. Esse corpo jamais conseguirá sair do estado de repouso, a menos que receba a ação de uma força resultante não-nula.

Um corpo sozinho não exerce força sobre si mesmo. Logo, força é fruto da interação entre dois corpos.

Se não há nenhuma força agindo:

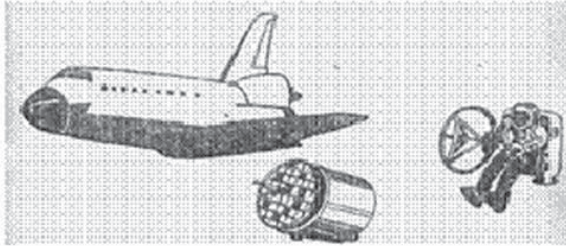
- um corpo em repouso permanecerá em repouso;
- um corpo que se move continuará se movendo com a mesma velocidade e na mesma direção.

Então por que quando você empurra um carrinho ele anda um pouco e para?

Isto ocorre devido à presença de outras forças, também externas, que atuam sobre o carro no sentido contrário ao seu movimento. Estas forças, chamadas de forças de atrito, são as responsáveis pelo fato do carro parar. Se as forças de atrito não existissem, ao aplicarmos uma força sobre um corpo ele iniciaria um movimento que duraria para sempre.

Observações:

- Veja que a primeira lei de Newton fala de “*movimento retilíneo uniforme*”. A palavra “uniforme” chama a atenção para o fato de que a velocidade do corpo é constante. A palavra “retilíneo” significa obviamente que o corpo não está realizando qualquer curva, uma vez que o corpo que segue uma trajetória curva está acelerado.



**Felizmente para nós  
existe a força de atrito.  
Você consegue imagi-  
nar por quê?**

- Não confunda velocidade com aceleração. Aceleração é uma variação da velocidade de um corpo em um intervalo de tempo. No entanto, esta variação que dá origem à aceleração tanto pode se dar na intensidade da velocidade quanto na direção e/ou no sentido da velocidade.

O movimento de uma partícula é controlado pela Segunda Lei de Isaac Newton, que forma a base da mecânica clássica.

## SEGUNDA LEI DE NEWTON

Estes três conceitos são fundamentais para a física:

Massa: é uma medida da inércia de um corpo. Ela está relacionada com a dificuldade que temos para colocar um corpo em movimento. A massa de um corpo é representada pela letra  $m$ .

Força: é a influência externa sobre um corpo. Ela é representada pela letra  $F$ .

**Esta lei estabelece uma relação entre os conceitos de força,  
massa e aceleração.**

Aceleração: é uma variação no movimento. Esta variação pode ser de aumento ou diminuição na velocidade de um corpo e/ou de mudança na direção ou sentido de deslocamento do corpo. Ela é representada pela letra  $a$ .

Obs: Lembre-se que tanto a força ( $\vec{F}$ ), a velocidade ( $\vec{v}$ ) quanto a aceleração ( $\vec{a}$ ) são vetores, pois todas, além de sua intensidade (ou módulo), têm direção e sentido.

A Segunda Lei de Newton estabelece que:



*“A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força aplicada, e inversamente proporcional à massa do objeto.”*

Isto é, quanto maior a força que você aplicar a um objeto, maior será o seu grau de aceleração, e quanto mais massa tiver o objeto, menor o grau de aceleração.

Se considerarmos corpos que se movem com velocidades muito menores que a velocidade da luz, a massa do corpo é constante e a segunda lei de Newton pode então ser escrita como:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{ou} \quad \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

É importante lembrar que a grandeza física força é uma grandeza vetorial, isto é, para caracterizá-la precisamos definir sua intensidade (módulo), sua direção de atuação e seu sentido:

Módulo:  $F = m \cdot a$

Direção:  $\vec{F}$  e  $\vec{a}$ , tem a mesma direção

Direção:  $\vec{F}$  e  $\vec{a}$ , tem o mesmo sentido

Como você pode perceber, a massa é importante para o cálculo da aceleração de um objeto quando lhe aplicamos uma força. Por exemplo, a aceleração de um carro será menor se dentro dele estiverem cinco adultos, ao invés de somente você. Se você dirigir, já deve ter percebido isso!

Ao puxarmos um balde por um fio, estamos provocando uma força nele que tem direção vertical e seu sentido como mostra a figura.



Outro exemplo comum que já foi citado é a aceleração da gravidade. A Terra exerce uma força que acelera objetos cerca de  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Nas equações, esta aceleração é referida como.

Já vimos em aulas passadas que massa e peso têm definições diferentes. Mas vamos reforçar: geralmente, massa é definida como a quantidade de matéria contida em um objeto ou corpo, a massa total de partículas subatômicas (elétrons, prótons e nêutrons) de um objeto. Se você multiplicar sua massa pela força da gravidade da Terra vai obter seu peso. Assim, se seu peso corporal está variando por causa de sua alimentação ou prática de exercícios, na verdade, é o número de átomos que está mudando.

Se você soltar algo da beira de um penhasco, em cada segundo de queda o objeto vai ser acelerado em  $9,8 \text{ m/s}$ . Assim, se cair durante cinco segundos, vai atingir a velocidade de  $49 \text{ m/s}$ . É um grau de aceleração bastante rápido. Compare: se um carro acelerar dessa forma, ele atingirá cerca de  $100 \text{ km/h}$  em menos de três segundos.



### ATIVIDADES

Se um objeto que é largado na beira de um penhasco é atraído pela Terra, a Terra também não é atraída pelo objeto? Caso afirmativo, explique por que é que a Terra não se move em direção ao objeto também?



### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Sim, é verdade. A Terra também é atraída pelo objeto. No caso da força gravitacional, uma massa irá atrair a outra. Porém como a massa da Terra é gigantesca se comparada a massa do objeto, o movimento realizado pela Terra em direção ao objeto é ínfimo. Assim, só podemos observar o movimento do objeto em direção à Terra.

Já no caso de massas proporcionais, seria possível observar ambos os objetos se movimentando um em direção ao outro.

Então por que não vemos isso no nosso cotidiano, uma cadeira se movendo em direção à outra?

Isso não ocorre porque a força de atração entre as cadeiras é muito pequena e não é capaz de “vencer” outras forças contrárias ao movimento, como o atrito com o chão.



## TERCEIRA LEI DE NEWTON

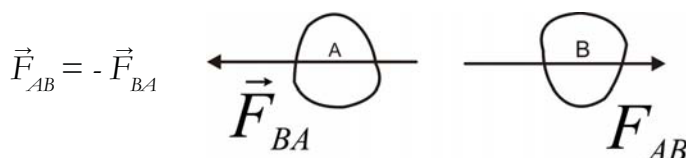
Também é conhecida como Lei da Ação e Reação.

Se chamarmos de  $\vec{F}_{AB}$  a força que um corpo A exerce sobre um corpo B, então a terceira lei de Newton nos assegura que o corpo B exercerá uma força de mesmo valor e de sentido contrário sobre o corpo A, que representamos por  $-\vec{F}_{BA}$ . É importante ressaltar que ação e reação nunca se anulam, pois atuam sempre em corpos diferentes.

O sinal negativo caracteriza o sentido contrário que esta força tem em relação à primeira força. A Terceira Lei de Newton, pode então ser escrita como:

## 3ª. Lei de Newton

**“Quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, o corpo B exercerá uma força igual e em sentido oposto sobre o corpo A”**



Esta terceira lei, na verdade, nos revela como é conservado o momento de um corpo. Momentum (também chamado de “momento linear”) é definido como o produto da massa do corpo pela sua velocidade.

É com base na Terceira Lei de Newton que explicamos porque um foguete consegue voar (tente imaginar como).

## ATIVIDADES

Um burrinho, muito inteligente, recusa-se a puxar uma carroça e argumenta: “Com base na Terceira Lei de Newton, a todo esforço que eu fizer para deslocar a carroça corresponderá uma ação igual e contrária. Deste modo, por mais que eu queira, o meu esforço sempre será anulado, pois as forças são iguais e em sentido contrário, o que dará um resultado nulo.

Eu não vou puxar esta &%\$\*#@ carroça de modo algum porque eu posso ser um burro malcriado, mas não sou estúpido.

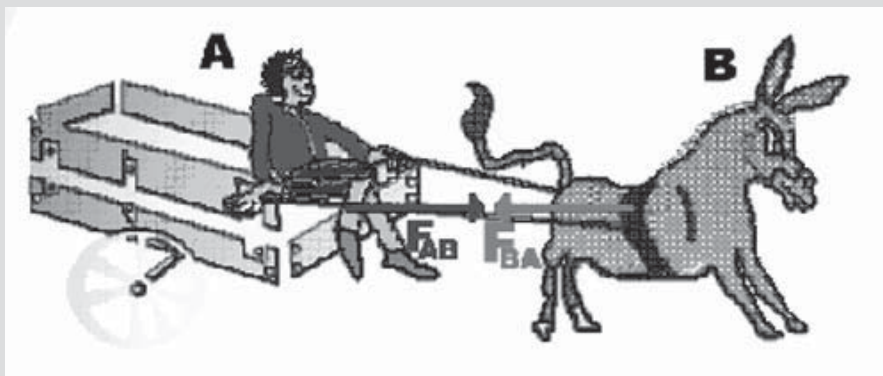
Eu exijo a presença de um defensor dos animais para defender os meus direitos!

Então, você estava lá perto e viu o que se passava. Como você argumentaria com o burrinho para que ele puxasse a carroça, e que ela iria se mover com certeza?



### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Bem, nosso burrinho é bem esperto, mas não está completamente correto com sua física de “preguiçoso”. Está certo que a cada ação corresponde uma reação de mesma intensidade e sentido contrário, mas o que o burrinho esqueceu é que a ação e a reação ocorrem em corpos diferentes. Quando o burrinho puxa a carroça, ele exerce uma força sobre a carroça enquanto que a carroça exerce uma força de mesma intensidade e sentido contrário sobre o burrinho. É por esta razão que o burrinho consegue deslocar a carroça.



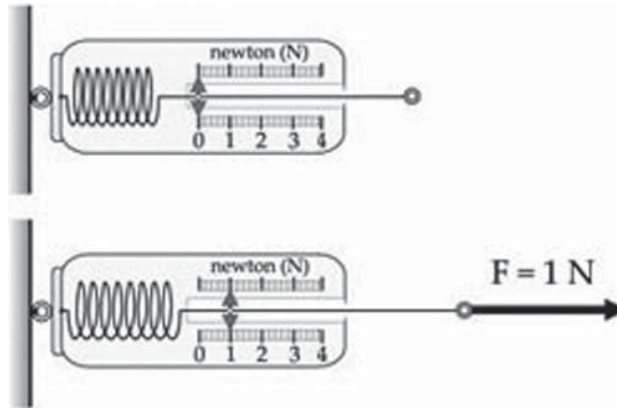
(Fonte <http://efisica.if.usp.br>).

### UNIDADES DE INTENSIDADE DE FORÇA

Quando você for estudar dinâmica irá usar exclusivamente o Sistema Internacional de Unidade (SI), que tem, para unidade de intensidade de força, o newton, cujo símbolo é N. Um newton (N) de força é suficiente para acelerar 1 quilograma (kg) de massa na taxa de 1 metro por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). Observe que, de acordo com as regras de escrita do SI, a unidade “newton” se escreve com letra minúscula, embora venha do nome próprio “Newton”.

A intensidade de uma força pode ser medida através de um aparelho denominado dinamômetro, que é um instrumento constituído com uma mola que se deforma quando recebe a ação de uma força. Logo, para cada deformação produzida, temos o dispositivo indicando a intensidade da força aplicada.

Por razões históricas, às vezes aparece uma outra unidade de força, que não pertence ao SI: é o quilograma-força, cujo símbolo é kgf e tal que:  $1 \text{ kgf} \simeq 9,81 \text{ N}$



## ATIVIDADES

Leia essa tirinha do Garfield:



Comente se ele está usando corretamente o conceito de peso?

## COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Se  $\vec{F} = m\vec{a}$ , então,  $\vec{P} = m\vec{g}$ , em que  $\vec{p}$  é a força peso e  $\vec{g}$  é a aceleração da gravidade.

Então para diminuir a força sem alterar a massa deve-se diminuir a aceleração.

Portanto, Garfield utiliza corretamente o conceito de força peso. Se ele for para um planeta de menor massa que a Terra, esse planeta terá menor aceleração da gravidade, o que irá diminuir seu peso, sem que ele tenha que emagrecer (diminuir sua *massa* corporal).

Vejamos, se Garfield tiver na Terra massa de 4,0 kg, ele terá o peso de cerca de 40,0 N. Se ele for para a Lua onde  $\vec{g} = 1,6 \text{ m/s}^2$ , seu peso seria somente de 6,4 N.



Como o peso é uma grandeza vetorial devemos apresentar sua intensidade, que foi o que calculamos, mas também sua direção e sentido. Analisando o problema, vemos que a direção é a linha que passa pelo objeto e pelo centro do planeta e o sentido é o que aponta para o centro do planeta (Terra ou Lua).

### FORÇAS FUNDAMENTAIS

A partir das definições das três leis de Newton poderíamos facilmente ser levados a pensar que elas descrevem todos os fenômenos que ocorrem na natureza envolvendo forças.

Isto não é verdade. As leis de Newton descrevem a ação das forças sobre os corpos de grande tamanho, os chamados corpos macroscópicos. No entanto elas não nos dizem quais são as forças fundamentais, também chamadas de interações fundamentais, que ocorrem em todas as escalas de tamanho do Universo, sejam elas microscópicas ou macroscópicas.

Quando estudamos o interior da matéria, como os átomos e as moléculas, vemos fenômenos muito diferentes daqueles que acontecem no nosso mundo diário. Para descrever estes fenômenos foi necessário introduzir diversos outros conceitos de forças na física.

As forças são divididas em duas categorias: as interações fundamentais e as forças que derivam delas.

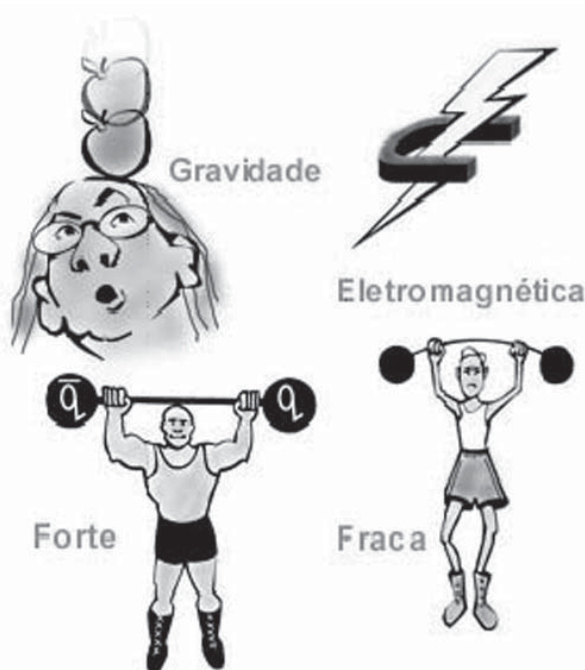
O universo que conhecemos existe porque as partículas que o compõe interagem. Lembra-se do átomo? Lá temos os elétrons, que têm carga negativa, que são atraídos pelo núcleo, composto de prótons, com carga positiva, e de nêutrons sem carga elétrica. Se os elétrons não fossem atraídos pelo núcleo, não existiriam os átomos e, portanto, não existiriam todas as coisas que conhecemos, inclusive nós mesmos.

Ah essa força aí eu já conheço: é a eletromagnética!

Isso mesmo! Mas existem mais três, ou seja, são quatro as interações fundamentais. Essas interações incluem forças atrativas e repulsivas, decaimento e **aniquilação**. Elas são conhecidas por interação: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca.

Todas as demais forças da natureza são derivadas dessas.

O conceito de “força” não está associado apenas a algo externo a um corpo. Também existem forças atuando no interior de todos os corpos.



(Fonte <http://efisica.if.usp.br>).

Todas as outras forças no mundo podem ser atribuídas as quatro interações fundamentais!

**É isso aí: qualquer força que você possa pensar - atrito, magnetismo, gravidade, decaimento nuclear, e assim por diante - é causada por uma dessas quatro interações fundamentais.**

## FORÇA X INTERAÇÃO

Você pode dizer agora: “Eu pensei, por exemplo, que gravidade fosse uma força, mas você usou agora outro termo: interação gravitacional. Não entendi!”

Qual a diferença entre uma “força” e uma “interação”?

Essa é uma distinção difícil de ser feita.

Vamos tentar:

Uma força é um efeito sobre uma partícula devido a presença de outras partículas.

As interações de uma partícula incluem todas as forças que a afetam, mas também incluem decaimentos e aniquilações\* pelos quais a partícula pode passar. Quando falarmos da interação fraca você irá saber o que é um decaimento.

A razão pela qual isso fica confuso é que a maioria das pessoas, até mesmo os físicos, usa as palavras “força” e “interação” indistintamente, embora “interação” seja mais correto no caso da atração gravitacional, por exemplo. Normalmente você pode usar os termos indistintamente, mas deve saber que eles são diferentes.

## A INTERAÇÃO GRAVITACIONAL

Ao observarmos o movimento dos corpos celestes, vemos que eles não são objetos errantes que seguem trajetórias quaisquer no espaço. Todos eles, sem exceção, percorrem órbitas bem determinadas obedecendo a leis gerais que são válidas em todo o Universo. Isto é importante por nos indicar que os corpos celestes estão sob a ação de forças que os mantêm em suas órbitas. Melhor ainda, sabemos que os objetos na Terra interagem e conhecemos as leis que regem essas interações, que são as mesmas dos corpos celestes.

Ao aplicarmos uma força sobre um corpo qualquer, uma pedra, por exemplo, atirando-a para cima ela retorna à Terra.

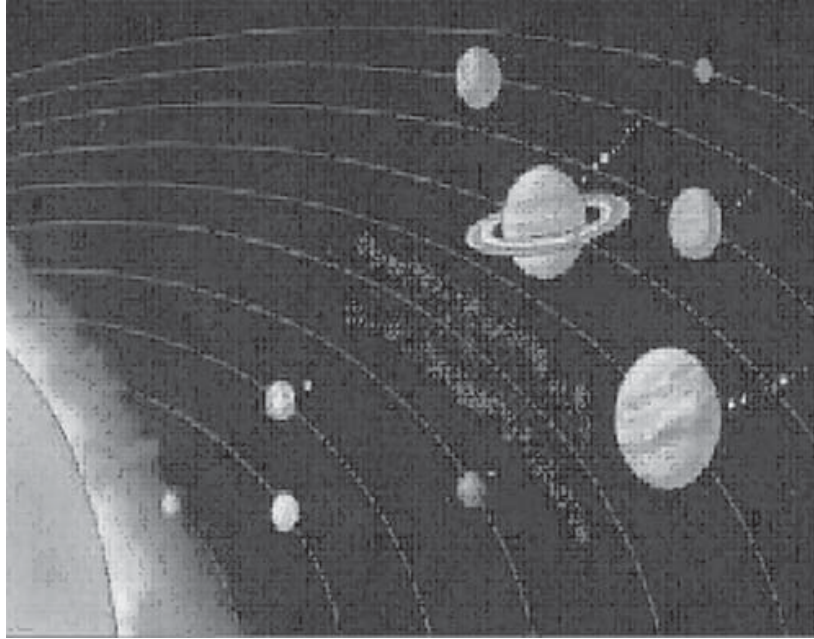
Por que isso acontece?

Se a única força atuante sobre a pedra fosse o atrito com o ar que forma a nossa atmosfera, a pedra diminuiria a sua velocidade até parar e permaneceria flutuando no ar. No entanto, isso não ocorre. A pedra volta para a superfície da Terra.

### Aniquilação

Aniquilação é um termo que representa a total destruição de algo. No caso da física, quando falamos de aniquilação, estamos falando da destruição mútua de partículas elementares e de suas respectivas antipartículas resultante do encontro entre elas, e gerando desta forma uma liberação de energia (em geral na forma de radiação eletromagnética). Um exemplo comum é o do encontro de um elétron com sua antipartícula, o pósitron. Quando eles se encontram, ambos desaparecem dando origem a radiação eletromagnética.





**O simples fato de você permanecer de pé na superfície da Terra é resultado da existência da força gravitacional.**

Uma situação tão simples quanto essa nos mostra que a Terra está exercendo algum tipo de força que atrai a pedra de volta para ela. O mesmo tipo de interação deve ocorrer entre todos os corpos celestes

e a ela damos o nome de interação gravitacional.

Uma vez que a gravidade é uma força exercida por um corpo sobre outro, ela deve atuar de modo recíproco entre as duas massas envolvidas.

Comparando a gravidade com as demais interações fundamentais, ela é a mais fraca entre todas, porém a gravidade é uma força de longo alcance. Não há qualquer limite para a distância entre os corpos interagirem. Outro fato importante é que a gravidade é uma força somente atrativa. Não existe repulsão gravitacional.

É a ação da força gravitacional que determina as órbitas dos planetas, estrelas e galáxias, assim como os ciclos de vida das estrelas e a evolução do próprio Universo. Por exemplo, a ação gravitacional entre a Terra e a Lua é uma dessas ações: é ela que produz o conhecido fenômeno das marés.

## A INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

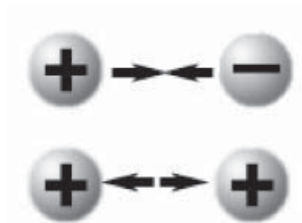
A interação eletromagnética é aquela que ocorre quando corpos possuidores de cargas elétricas e/ou corpos magnetizados interagem.

A força elétrica pode ser ou atrativa ou repulsiva – cargas elétricas com o mesmo sinal se repelem, cargas elétricas com sinais opostos se atraem. Sabemos que os elétrons têm carga negativa enquanto que os prótons têm cargas positivas. Desta forma, quando dois ou mais prótons, elétrons ou

uma mistura destas partículas são colocadas próximas, sempre age sobre eles uma força, denominada de força elétrica.

OBS: A interação elétrica não ocorre apenas entre elétrons e prótons, mas sim entre dois ou mais corpos quaisquer que possuam carga elétrica.

Cargas que se movem produzem e respondem à força magnética. Ocorre que as forças elétrica e magnética são manifestações diferentes de um mesmo fenômeno físico. Por esta razão, os físicos falam de uma “força eletromagnética” ou “interação eletromagnética”.



A força eletromagnética é também de longo alcance, novamente não há qualquer limite para a distância entre os corpos interagirem. Mas ela é muito mais intensa do que a força da gravidade. Então você pode estar se perguntando: “se ambas são forças de longo alcance, então por que motivo a gravitação, e não o eletromagnetismo, domina as interações entre os corpos celestes”?

A gravitação domina essas interações porque a maioria das regiões do espaço são eletricamente neutras e, portanto, não sentem a interação eletromagnética.

Vamos comparar essas duas forças em outro caso: se considerarmos a força gravitacional entre dois prótons, ela tem intensidade 1040 vezes menor, aproximadamente, do que a correspondente força de repulsão elétrica entre essas partículas.

A diferença de intensidade entre as forças gravitacional e eletromagnética não é aparente por causa da natureza dual (atrativa/repulsiva) dessa última. No entanto, no nosso dia-a-dia as forças que são exercidas quando você empurra um carrinho, como a fricção do solo sobre as rodas, ou quando você caminha, seu sapato empurrando e sendo empurrado pelo chão, são exemplos da força eletromagnética em ação.

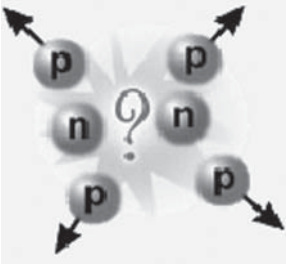


Muitas forças do cotidiano, como a força de atrito, são causadas pela força eletromagnética. Por exemplo, a força que impede você atravessar o chão é a força eletromagnética, pois ela faz com que os átomos da matéria do seu pé e do chão resistam ao deslocamento, se repelindo. Quando você anda, o atrito também é resultado dessa força repulsiva que surge entre os elétrons do seu sapato e do piso.

### A INTERAÇÃO FORTE

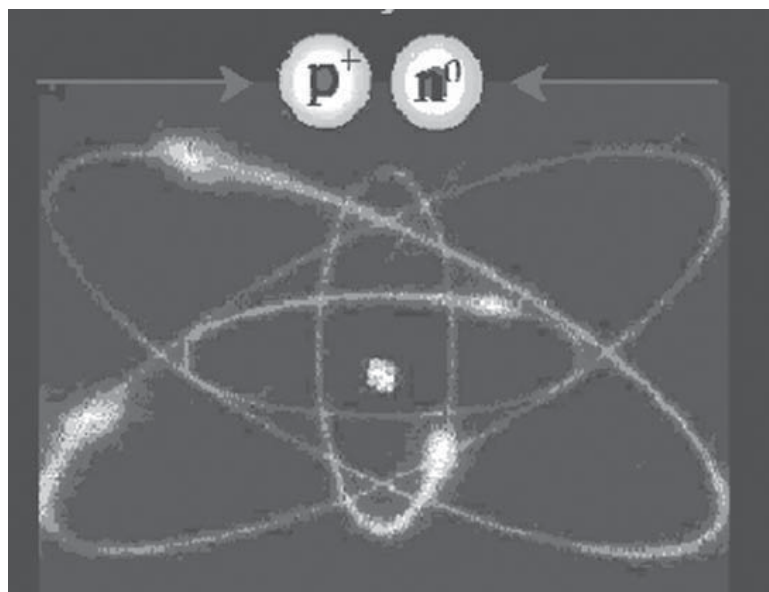
Penso que você já sabe que o núcleo atômico é formado por prótons e nêutrons. Os nêutrons não possuem carga elétrica, mas os prótons são partículas dotadas de carga positiva, certo?

Deste modo, existe uma intensa força de repulsão eletromagnética entre os prótons. Por que motivo, então, o núcleo de um átomo é estável? O que mantém o núcleo de um átomo unido?



Na verdade, os físicos notaram que a estabilidade nuclear é produzida pela presença de um novo tipo de interação entre partículas, a força nuclear forte, também chamada de força nuclear, de interação nuclear ou de força forte, que é independente da carga elétrica.

É esta interação que mantém o núcleo atômico unido. Se ela não existisse, os núcleos atômicos não existiriam. Na ausência da força forte, a força dominante no núcleo seria a interação eletromagnética. Como os prótons possuem a mesma carga positiva, eles sofreriam uma intensa repulsão que provocaria o seu rápido afastamento impedindo que eles se aglutinassem para, juntamente com os nêutrons, produzirem os núcleos.



Obviamente, se os núcleos atômicos não existissem, os átomos não existiriam, nem as moléculas (que são formadas por átomos). Deste modo, os seres humanos, que são formados por moléculas, também não existiriam. O Universo ainda poderia existir, só que ele seria formado por um enorme conjunto de partículas que se deslocariam através dele, eventualmente interagindo, mas não produzindo as formas de matéria que hoje conhecemos.

Já vimos que para manter as partículas nucleares agregadas à força forte deve-se superar a tremenda repulsão que surge quando os prótons positivamente carregados são “empacotados” no pequeno espaço do núcleo. Então ela deve ser muito “forte”. Embora a força nuclear seja a mais forte de todas as outras forças fundamentais, ela tem um alcance muito curto. Na verdade, a força forte só é efetiva na escala das dimensões do núcleo atômico, ou seja, seu alcance é de  $\sim 10^{-13}$  centímetros. Deste modo a força forte somente pode superar a repulsão elétrica quando os prótons estão suficientemente próximos para estarem quase se “tocando”.

## A INTERAÇÃO FRACA

A última das interações fundamentais é aquela cuja maioria das pessoas tem menor conhecimento. Denominada de força fraca, ou de força nuclear fraca, pois é também uma das forças que atuam no interior do núcleo atômico.

Do mesmo modo que a força nuclear forte, a força fraca também é uma força de curto alcance. Aliás, seu alcance é menor ainda! Ela atua somente em uma vizinhança de cerca de  $10^{-16}$  centímetros.

A força fraca comparada a força eletromagnética é, aproximadamente, 10-13 vezes menos intensa.

Mesmo com seu alcance e sua intensidade tão pequenos, existem fenômenos que ocorrem no interior do núcleo atômico que, embora também estejam relacionados com a estabilidade nuclear, não podem ser explicados sem que postulamos a existência de uma outra força, com características bastante diferentes da força nuclear forte.

Entre estes fenômenos nucleares que exigem a presença de um novo tipo de interação está a *radioatividade*.

A radioatividade é parte integrante da nossa vida. Alguns elementos químicos possuem a característica especial de emitir, espontaneamente, partículas de altas energias, cujo fenômeno dá-se o nome de radioatividade.

Um núcleo radioativo é instável por que ele contém ou prótons demais ou nêutrons demais. Como consequência disso, este núcleo ejeta espontaneamente partículas até se tornar estável. Ao fazer isto, este átomo pode se transformar em um outro elemento químico, processo esse que é chamado de *decaimento nuclear*.

### Decaimento nuclear

O decaimento nuclear ocorre quando um núcleo se transforma em um outro núcleo de um elemento diferente, mudando seu número de prótons e/ou nêutrons. A radiação emitida no decaimento é composta de partículas e/ou radiação eletromagnética e é característica do decaimento.

A tabela resume o alcance e a intensidade relativa de cada uma das interações fundamentais da natureza:

Introdução Fundamental	Magnitude relativa	Alcance (m)
forte	$10^{38}$	$\sim 10-15$
eletromagnética	$10^{36}$	$\infty$
fraca	$10^{25}$	$\sim 10-18$
gravitacional	$10^1$	$\infty$

$\infty$  infinito

Preste atenção: Para que haja interação entre os objetos, não há necessidade de eles estarem próximos. Podem surgir forças entre objetos mesmo que eles estejam muito longe uns dos outros. São forças cuja ação se dá a distância. Vamos dar alguns exemplos:

Força peso – Afinal, a pedra que você joga para o alto não está em contato direto com o solo, não é? Mesmo assim ela é atraída para ele.

Força magnética – Quando aproximamos um ímã da geladeira, mesmo antes de encostá-lo na porta, sentimos que ele está sendo atraído por ela.



### ATIVIDADES

1. Que interação fundamental é responsável por:
  - a) Atrito?
  - b) Ligação do núcleo?
  - c) Órbitas planetárias?

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

- a) O atrito é causado por interações residuais eletromagnéticas entre os átomos de dois materiais.
- b) A ligação do núcleo é causada por interações residuais fortes entre as várias partes do núcleo.
- c) As órbitas dos planetas devem-se à gravidade que os atrai para o Sol. Mesmo que a gravidade seja uma força relativamente fraca, ela ainda tem efeitos muito importantes no mundo.

2. As interações gravitacionais e eletromagnéticas são ditas de longo alcance. Contudo, apenas a interação gravitacional é relevante para avaliar fenômenos em escala cosmológica. Explique o porquê deste fato.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Como foi dito no texto, a gravitação domina essas interações porque a maioria das regiões do espaço são eletricamente neutras e, portanto, não sentem a interação eletromagnética, sentem apenas a interação gravitacional.

3. O dina é a unidade de força no sistema cgs (centímetro-grama-segundo). Dado que força deve ter dimensão de aceleração vezes massa, defina as unidades do dina e estabeleça sua relação com a unidade do SI, o newton.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Vamos fazer uma análise dimensional. Usaremos os símbolos  $[F]$ ,  $[m]$  e  $[a]$  para representar unidade de força, de massa e de aceleração, respectivamente.

então as unidades obedecem a:

$$[F] = [m] \cdot [a]$$

No SI a massa é dada por quilograma (kg) e a aceleração é dada por  $m/s^2$ . A unidade de força no SI é dada por:

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

Como a massa no cgs é dada por grama e a aceleração é dada com  $cm/s^2$ , então, a unidade de força no cgs é dada por:

$$1 \text{ g} \cdot cm/s^2 = 1 \text{ dina}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{m}{s^2} = 1000 \text{ g} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{s^2} = 1 \times 10^5 \text{ g} \cdot \frac{cm}{s^2}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dina}$$

## CONCLUSÃO

Uma força pode provocar a variação da velocidade de um corpo ou uma alteração na direção do movimento do corpo ou ainda pode deformar um corpo.

É fundamental que você identifique todas as forças que atuam sobre um corpo que estiver sob estudo, analisando os movimentos fazendo as relações entre causas e efeitos, para entender o mundo que o cerca. Portanto, é crucial que você compreenda os conceitos de força, massa e aceleração, para se tornar um bom físico.



## RESUMO

Na aula de hoje, vimos que a força é uma interação entre dois corpos, perceptível pelos seus efeitos; que é uma grandeza vetorial com módulo, direção e sentido; e pode causar vários efeitos diferentes em um corpo:

Deformação: o corpo sofre uma modificação em seu formato.

Aceleração: altera a velocidade do corpo, isto é, varia pelo menos umas das seguintes características da velocidade: direção, sentido e módulo.

1ª Lei de Newton (princípio da inércia): *Quando a resultante das forças que atuam sobre um corpo for nula, esse corpo permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.* ou seja, é impossível um corpo alterar seu movimento na ausência de forças;

2ª Lei de Newton *“A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força aplicada, e inversamente proporcional à massa do objeto.”*

- Módulo:  $F = m \cdot a$

- Direção:  $\vec{F}$  e  $\vec{a}$ , tem a mesma direção

- Sentido:  $\vec{F}$  e  $\vec{a}$ , tem o mesmo sentido;

3ª Lei de Newton: *“Quando dois corpos A e B interagem, se A aplica sobre B uma força, esse último corpo aplicará sobre A uma outra força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário”.*

É importante ressaltar que ação e reação nunca se anulam, pois atuam sempre em corpos diferentes.  $\vec{F}_{AB} = -F_{BA}$

As leis de Newton descrevem a ação das forças sobre os corpos macroscópicos. No entanto as forças fundamentais ou interações fundamentais ocorrem em todas as escalas de tamanho do Universo, microscópicas ou macroscópicas.

Existem apenas 4 forças, ou interações, fundamentais na natureza. São elas a *interação gravitacional*, a *interação eletromagnética*, a *interação forte* e a *interação fraca*. A tabela resume o alcance a *intensidade relativa* de cada uma delas:

Intenção Fundamental	Magnitude relativa	Alcance (m)
Forte	$10^{38}$	$\sim 10^{-15}$
Eletromagnética	$10^{36}$	$\infty$
Fraca	$10^{-25}$	$\sim 10^{18}$
Gravitacional	1	$\infty$

## PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, prosseguiremos com o conceito de força aplicada em um corpo. Vamos identificar as forças agentes em um ponto material e tentar compreender como essas forças interagem com o corpo.



## REFERÊNCIAS

ALONSO, M. S. e Finn, E. J. **Física**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

GIBILISCO, S. **Physics demystified**. New York: Mcgraw-Hill, 2002.

<<http://pt.wikipedia.org/>> consultado em 2/05/2008.

**Portal de ensino de Física da USP**. Disponível em <<http://efisica.if.usp.br/>> consultado em 02/05/2008.

**Portal do Observatório nacional**, disponível em

[http://www.on.br/site\\_edu\\_dist\\_2007/site/index.html](http://www.on.br/site_edu_dist_2007/site/index.html). consultado em 2/05/2008.

Sears, F. W. e ZEMANSKY, M. W. **Física I – Mecânica**. São Paulo: Addison Wesley, 10 ed. 2003.

Serway, R. A. & JEWETT JR, J. W. **Princípios de Física: Mecânica Clássica**. Vol. 1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.