

Forças

1- Força e interação

Imagine um objeto em movimento com uma certa velocidade constante. O que devemos fazer para alterar a sua velocidade? Na Física dizemos que basta aplicar ao objeto uma força. Do ponto de vista físico, as forças são os agentes responsáveis pela mudança da velocidade de um objeto.

Ao chutarmos uma bola em repouso, vamos colocá-la em movimento. Esse movimento resulta da força aplicada (sobre ela) pelo nosso pé direito (ou o pé esquerdo). Forças são muito comuns no nosso cotidiano: ao segurarmos uma pedra, ao caminharmos ou no exercício de várias atividades humanas.

As forças resultam da capacidade das várias partes do Universo (e da matéria) de interagirem entre si.

Forças resultam da interação da matéria.

O que acarreta as mudanças na velocidade dos objetos é os agentes denominados Forças.

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.

A Dinâmica é a parte da Mecânica que se dedica ao estudo dos movimentos levando em conta as suas causas: as forças. Ela tem como fundamento três leis de Newton: a lei da inércia, a lei que estabelece uma relação muito simples entre força e aceleração e, finalmente, a lei da ação e reação. Essas três leis formam a base da dinâmica e foram propostas por Newton no século XVII.

2- Identificando as forças

Para que o aluno tenha pleno êxito no entendimento da dinâmica, ele deve, ao se deparar com problemas que envolvem o movimento de um corpo, identificar todas as forças que atuam sobre ele. Esse passo deve ser o primeiro e ele é fundamental. Por isso, vamos analisar, neste e nos próximos capítulos, as principais forças com que o estudante poderá se defrontar ao longo deste curso de Mecânica. Analisaremos também as suas características.

As forças são divididas em duas categorias: as inerentes às interações fundamentais e às interações que destas derivam. Existem quatro interações fundamentais (gravitacional, eletromagnética, forte e fraca). Todas elas são de ação à distância. Todas as demais forças da natureza são derivadas delas. De fundamental importância para entender as forças que surgem no cotidiano são as forças interatômicas, isto é, forças que surgem entre os átomos que compõem a matéria. A força interatômica é um exemplo de força não-fundamental.

3- Forças fundamentais e noção de campo

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 à distância. Nesta categoria estão as forças fundamentais da natureza. Nós dizemos fundamentais porque, na realidade, todas as demais forças podem ser explicadas como resultado da atuação destas forças.

É como se existisse algo que faz a ligação entre os objetos: é um campo de forças. A noção de campo traz a possibilidade de tratar, teoricamente, de forma adequada as interações fundamentais. Por exemplo, para descrever a ação da atração gravitacional, diz-se que existe um campo gravitacional. A força gravitacional está relacionada teoricamente a esse campo.

Um outro exemplo é o campo magnético. Todos já viram o efeito do campo magnético da Terra sobre bússolas. É como se a Terra fosse um enorme ímã, cujo campo magnético age sobre outros ímãs existentes.

Forças são grandezas vetoriais e, portanto, são definidas por módulo, direção e sentido.

Campos, como o elétrico e o magnético, também são grandezas vetoriais.

Forças gravitacionais

O exemplo mais simples de força fundamental, uma vez que faz parte do nosso cotidiano, é a força gravitacional. A queda dos objetos em direção à superfície terrestre é devida à força gravitacional. Outro exemplo é o movimento de translação da Terra. A Terra mantém-se numa órbita elíptica em torno do Sol como resultado da força gravitacional exercida pelo Sol sobre ela. A lei que rege o comportamento da interação gravitacional foi proposta por Newton. A interação gravitacional ocorre devido às massas dos objetos. Se dois objetos de massa m_1 e m_2 estiverem a uma distância d , então surge entre eles uma força de atração (a força gravitacional) de tal forma que seu módulo é dado pela expressão

$$F = \frac{m_1 m_2}{d^2} G$$

ou seja, a força gravitacional é diretamente proporcional às massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. A constante G é conhecida como constante da gravitação universal e seu valor é:

$$G = 6,71 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

Força eletromagnética

As forças elétricas e magnéticas são igualmente forças fundamentais. Conquanto não estejamos em condições ainda de nos darmos conta, o fato é que essas forças estão também presentes no cotidiano das pessoas. Isso porque forças de atrito e reações normais às superfícies são forças que derivam destas. Isso ocorre porque as forças entre os átomos (forças interatômicas) é que dão origem a algumas forças com as quais já estamos bastante familiarizados. No entanto, as forças entre os átomos são forças

elétricas. Dizemos que as forças interatômicas derivam das forças eletromagnéticas.

Força elétrica

A força elétrica surge entre objetos dotados de carga elétrica. Se um corpo possui carga Q_1 e outro possui carga Q_2 , então surge uma força entre eles, cujo módulo é dado pela lei de Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

isto é, a força é diretamente proporcional às cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. A constante de proporcionalidade é dada por:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

A força elétrica tanto pode ser atrativa (se as cargas forem de sinais opostos) quanto repulsiva (cargas de mesmo sinal). A direção da força é a da reta que une as duas cargas.

No caso em que a partícula se move numa região na qual existe um campo elétrico \vec{E} , a força elétrica sobre uma partícula de carga Q é:

$$\vec{F}_{el} = Q\vec{E}$$

Força magnética

Uma partícula de carga q e dotada de velocidade v , quando numa região onde existe um campo magnético \vec{B} , experimenta uma força, dita magnética, cuja expressão é:

$$\vec{F}_{mag} = q\vec{v}\vec{B}\sin\theta$$

onde θ é o ângulo formado entre \vec{v} e \vec{B} . A direção de \vec{F}_{mag} é perpendicular ao plano. O sentido definido por \vec{v} e \vec{B} depende da carga. Se a carga q for positiva, o sentido é o mostrado na figura que ilustra a regra do saca-rolha. Se q for negativo, então, a direção da força é a mesma e o sentido, oposto ao caso anterior.

Se uma partícula estiver sujeita à ação de campos elétricos e magnéticos, podemos escrever:

$$F = q(E + vB\text{sen}\theta).$$

Força forte

A força forte atua no nível subatômico. Ela é responsável pela coesão do núcleo atômico. Em última análise, proporciona a atração entre prótons e nêutrons dentro do núcleo atômico. Assim, a força forte é responsável pela estabilidade da matéria e a forma com que a conhecemos.

Naturalmente, ela se faz presente nas interações entre as partículas elementares. Isso é válido especialmente em relação aos quarks, que são os constituintes dos prótons e nêutrons.

Além da estabilidade dos núcleos e da matéria, essa força não se exhibe no cotidiano e, por isso, a descoberta dessa força só ocorreu em meados deste século.

Em determinados estágios do processo de evolução estelar, essa força é de fundamental importância para entender o destino das estrelas, especialmente as mais velhas.

Força fraca

A força fraca ocorre no nível das partículas elementares.

Novamente aqui cabe o comentário sobre a pouca relevância desse tipo de força na compreensão dos fenômenos que ocorrem no cotidiano.

No entanto, no Universo no qual vivemos, essa força se manifesta com muita frequência. No interior das estrelas (qualquer estrela), essa força é responsável por vários fenômenos, dentre os quais a geração da energia que chega até nós.

4- Outras forças

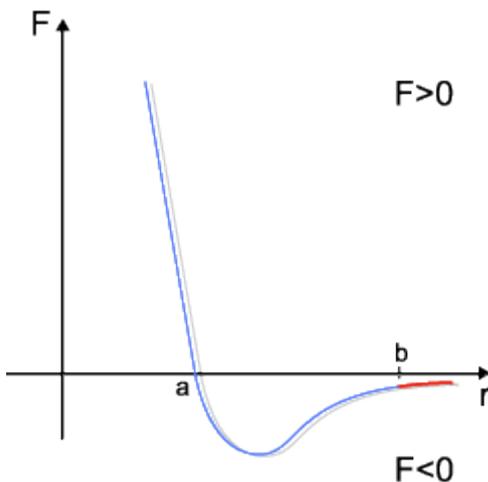
Força interatômica

A maior parte das forças com que nos defrontamos no dia-a-dia pode ser entendida a partir da compreensão da estrutura da matéria. Como a matéria é composta por átomos (ou aglomerados deles - as moléculas), essas forças

(como a força normal, a força de atrito e a força elástica) têm origem na interação entre os átomos que compõem os materiais.

A força entre dois átomos ou moléculas pode ser entendida a partir do gráfico ao lado, no qual apresentamos a variação da força entre os átomos em função da distância entre eles. Esse é um comportamento típico.

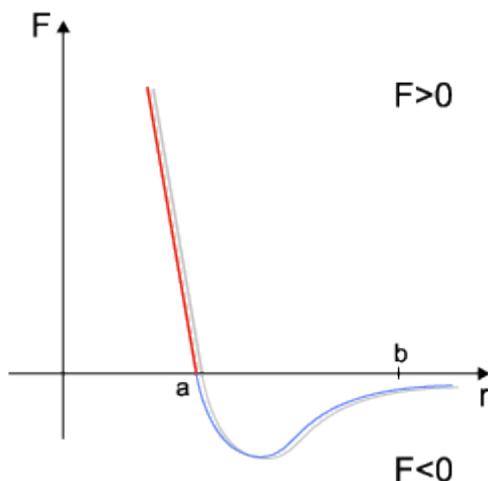
A força interatômica é uma força, ela mesma, derivada da força eletrostática.



Dependendo da distância de separação entre os átomos, podemos prever três situações:

Distância muito curtas

Para distâncias menores do que a na figura, a força entre os átomos é repulsiva.



Quando tentamos aproximar partes da matéria a distâncias extremamente curtas, essas partes se repelirão.

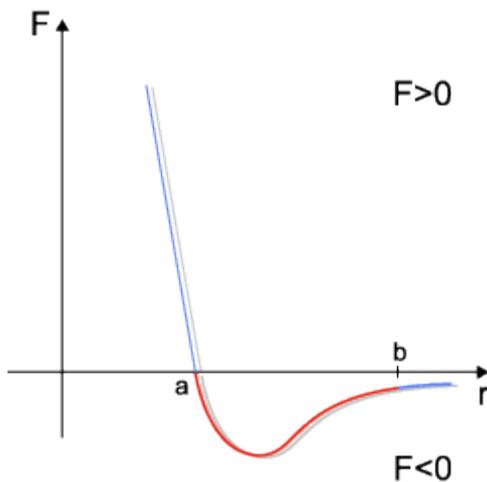
A força normal surge como resultado dessas forças repulsivas da matéria. Essas forças repulsivas são responsáveis pela não-interpenetrabilidade da matéria. Devido a elas torna-se difícil fazer um corpo sólido penetrar em outro corpo sólido.

Numa colisão envolvendo duas bolas de bilhar, o efeito dessas forças se faz sentir claramente. As bolas se aproximam só até um certo ponto; a partir daí elas se repelem violentamente, fazendo com que cada uma saia numa direção diferente.

Distâncias médias

Neste caso, a força é estritamente atrativa. Isso explica, por exemplo, a formação dos líquidos. Ao comprimirmos um gás forçamos suas moléculas a se aproximarem. Quando o fazemos, as forças de atração procuram estabelecer um "bloco coeso. Essa matéria mais coesa é o líquido.

Ao tentarmos separar superfícies sólidas vamos testemunhar o efeito da parte atrativa das mesmas. Finalmente, uma outra consequência dessa força é o atrito. Ela surge como resultado da atração entre as partes da matéria que ficam em contato.

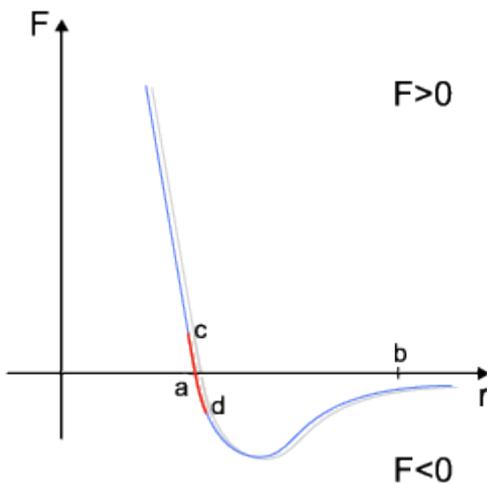


Distância grandes

Em distâncias muito grandes ($r \gg b$), as interações são desprezíveis.

Distâncias próximas da posição de equilíbrio - a força elástica

Para uma certa distância, a força entre dois átomos se anula. Essa distância indica a posição de equilíbrio (ponto a). Como se vê no gráfico, próximo da posição de equilíbrio (mais precisamente entre os pontos c e d), os átomos exercem forças entre si muito parecidas com as forças elásticas da mola. Na realidade, essas forças de natureza elástica acabam se refletindo no comportamento da matéria como um todo.



Isso explica o fato de que, ao aproximarmos o nosso pé da bola em alta velocidade, algum tempo depois a bola sai em disparada. O que se observa na prática é que a bola se achata e, como o efeito de uma mola, ao se descomprimir, sai com velocidade, deixando o pé para trás. A "mola" existe por causa das forças interatômicas.

Força sobre objeto imerso num fluido viscoso

Um objeto, ao se movimentar num líquido viscoso, experimenta a ação de uma força que se opõe ao movimento. Essa força tem a característica de depender da velocidade da partícula. Quanto maior a velocidade da partícula tanto maior será a intensidade da força exercida pelo fluido viscoso.

No caso de uma esfera de raio a , Stokes demonstrou que, dentro de uma boa aproximação, podemos escrever em módulo:

$$F = -6\Pi\eta av$$

onde η é o coeficiente de viscosidade do líquido e v , a velocidade da partícula. O sinal negativo indica que o sentido da força é oposto ao sentido da velocidade. A direção da força é a mesma que a da velocidade.

Para objetos com outras formas geométricas, a expressão não é tão simples. Ainda assim, dentro de uma boa aproximação, podemos escrever:

$$F = -bv$$

onde b depende da geometria do objeto, da área em contato e do coeficiente de viscosidade do fluido.

O aparecimento dessas forças pode ser ilustrado por meio de dois exemplos muito simples. O primeiro é o caso de uma esfera em movimento num líquido viscoso. Nota-se que uma esfera em queda num líquido se acelera até um certo ponto. A partir de uma certa distância, a esfera tem velocidade constante porque a força viscosa se equilibra com a força peso.

O outro é o movimento de um paraquedas. O ar é também um fluido. O paraquedista, a partir de um certo tempo, cai com velocidade constante.

5- Forças na mecânica

Força peso

A força peso é o resultado da atração gravitacional exercida pela Terra não somente sobre os objetos localizados próximo à sua superfície, mas atuando também a distâncias relativamente longas.

Trata-se do exemplo mais simples de forças de ação à distância. O fato de os objetos caírem sobre a superfície terrestre é a consequência mais perceptível da força peso. Em geral, escreve-se a força peso sob a forma

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

onde g é a aceleração da gravidade.

Pode-se determinar que, experimentalmente, em São Paulo o valor aproximado de g é:

$$\vec{g} = 9,8m / s^2$$

O estudante deve sempre levar em conta a presença da força peso. Geralmente, representamos a superfície da Terra como sendo plana (o raio da Terra é tão grande que é assim que a percebemos). A força peso tem sempre o sentido apontado para a superfície terrestre.

Força de contato

Se dois objetos estiverem em contato, podemos prever forças resultantes desse contato. Como veremos depois, dois tipos de forças de contato serão de interesse neste curso. A primeira delas é a força normal, a qual resulta da força aplicada nos corpos devido ao seu contato com a superfície. A outra é a força de atrito, que também resulta do contato com a superfície, mas tem características muito diversas da primeira.

Força normal

Um livro repousa sobre uma mesa. Isso ocorre porque a mesa exerce uma força sobre o livro. Essa força é perpendicular à mesa (tem a direção da reta perpendicular à superfície) e equilibra a força da gravidade (impedindo que o livro caia no chão). Esse tipo de força, que impede o movimento na direção perpendicular às superfícies, tem sempre essa direção. Como perpendicular, neste caso, é sinônimo de normal, essa força tem o nome de Força Normal. Por isso, ela será indicada com a letra N. A força normal é a forma de a mesa (ou qualquer outra superfície) reagir (força de reação) a deformações ditas elásticas, provocadas por objetos colocados sobre ela. Sua origem são as forças interatômicas.

A FORÇA DE ATRITO

Força de tensão

Fios que interligam ou acoplam os objetos impõem restrições ao seu movimento. Disso resulta uma força chamada de tensora, ao longo do fio. Designaremos essa força tensora abreviadamente por tensão e utilizaremos a letra T para representá-la. A tensão T (a força tensora) tem a direção do fio.

6- Forças no cotidiano

A força gravitacional

O exemplo mais comum, no cotidiano, de forças aplicadas a um corpo é o de um corpo que cai sob a ação da força gravitacional.

Movimento dos planetas

Os planetas movem-se (como a Terra) em torno do Sol devido à força gravitacional.

Movimento dos satélites

Os satélites "flutuam" no espaço devido à mesma força gravitacional.

As marés

Você pode não perceber, mas o movimento das marés resulta da atração gravitacional do Sol e da Lua sobre a Terra. Nos pontos próximos da Terra, o mar se eleva, formando um "calombo", o qual se movimenta com a mesma, gerando as marés.

7- Unidades

Na Dinâmica usaremos exclusivamente o Sistema Internacional de Unidade (SI), que tem, para unidade de intensidade de força, o Newton, cujo símbolo é N. 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".

Por razões históricas, às vezes aparece uma outra unidade de força que não pertence ao SI: é o quilograma-força, cujo símbolo é kgf.

$$1\text{kgf} \cong 9,81\text{N}$$

No cotidiano costumamos trocar a unidade de força por unidade de massa. Por definição, o kgf (quilograma-força) é a força com que a Terra atrai uma massa de 1kg. Então, a unidade de força é o quilograma-força e a unidade de massa, 1 quilo. Entretanto, costuma-se dizer (erroneamente) "um peso de 1 quilo".

A aceleração da gravidade varia pouco ao nível do mar, em diferentes partes da Terra, de modo que, dentro de uma certa precisão, podemos aceitar essa definição como universal.

No sistema internacional de unidades, a unidade de força Newton (N) é definida como a força que comunica à massa de um quilograma (kg) a aceleração de um metro por segundo, por segundo ($1m/s^2$).

Uma outra unidade que é utilizada é a dina, a unidade de força no sistema cgs. A dina é a força que comunica à massa de um grama a aceleração de um centímetro por segundo, por segundo ($1dina = 1gcm/s^2 = 10^3 kg10^{-2}m/s^2 = 10^{-5}N$).