

Aula 3

Professor:

Mauricio Kischinhevsky

Matéria, Força e Energia (Parte 3)

Conteúdo:

Leis de Newton

Leis de Newton

Conceituação inicial: A mecânica clássica analisa as forças que os corpos exercem entre si e relaciona as variações ocorridas no movimento de um objeto (corpo) às forças que atuam sobre ele. Utilizam-se as três Leis de Newton do movimento, que permitem uma visão sistematizada das forças e suas consequências.

Primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

Um corpo em repouso permanece em repouso, ou em velocidade constante, *a menos que* sobre ele atue uma força externa.

A intuição acerca do caso de objeto parado assim permanecer faz parte de nosso cotidiano. A nossa intuição acerca desta Lei, no caso de objeto em movimento, é obscurecida pela ocorrência do atrito. Reduzindo os efeitos deste, através da observação por tempo curto de fenômenos com pouco atrito percebemos a tendência de o objeto manter seu estado de movimento.

Referenciais:

Se um objeto está se movendo ou parado depende de onde você o observa. Se um carro se move com velocidade constante e você está a bordo, a velocidade do carro é nula em relação a você. Mas para o observador dentro de outro veículo à beira da estrada, a velocidade é não-nula. Se este veículo estiver parado e o copo de refrigerante estiver apoiado no painel à sua frente, se o veículo for acelerado, mesmo que a pessoa seja acelerada junto, o copo se encarregará de mostrar que você não está em um **referencial inercial**. A Lei da Inércia permite estipular que: se não existem forças atuando sobre um corpo, qualquer referencial em relação ao qual a aceleração do corpo permanece nula é um **referencial inercial**. Pode-se dizer que todos os referenciais inerciais são equivalentes ou, de modo informal, a Física observada a partir de qualquer observador em referencial inercial é a mesma.

Força, massa e a Segunda Lei de Newton

Conceito de massa:

A massa é a razão entre a força aplicada a um objeto e a aceleração produzida. Assim, estipulada uma força específica, quanto maior a massa, menos aceleração o objeto terá. A massa de um objeto relativamente à de um outro pode ser obtida aplicando-se uma mesma força a ambos os objetos e medindo-se as acelerações resultantes para o primeiro e para o segundo. Efetivamente, têm-se as massas a partir de que $m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2$. Utiliza-se, então, um padrão para estipular a unidade de massa. A força aplicada corresponde ao produto **$F = m \cdot a$** .

Força, massa e a Segunda Lei de Newton

Exemplo:

Uma força de 3N (ou seja 3 kg.m/s^2) produz uma aceleração de 2 m/s^2 em um corpo de massa desconhecida.

- (a) Qual é a massa do corpo?
- (b) Se a força é aumentada para 4N, qual passa a ser a aceleração do corpo?

Força, massa e a Segunda Lei de Newton

Exemplo (continuação):

Resposta:

- (a) A massa decorre do cálculo da razão F/a , ou seja, $1,5 \text{ kg}$.
- (b) Sendo a força aumentada para 4N , a aceleração resultante aumentaria da mesma razão $(4/3)$, ou seja, $(4/3) \cdot 2\text{m/s}^2 = 2,67 \text{ m/s}^2$.
Observe que, neste caso, sequer é preciso encontrar a massa.
- Observação: se um objeto sofre a ação de mais de uma força simultaneamente, a aceleração produzida corresponde à resultante da aplicação da soma vetorial das forças aplicadas. Assim, escreve-se

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_{result} = m \cdot \vec{a}$$

A Força da gravidade: o Peso

Ao deixarmos cair um objeto nas proximidades da superfície terrestre, ele é acelerado rumo ao centro da Terra. Se esta for a única força atuando sobre o objeto, diz-se que o corpo se move em queda livre. Dependendo da altitude, a aceleração a que o objeto estaria sujeito, decorrente da força peso, de origem gravitacional, varia. Ou seja, diferentemente da massa, o peso de um corpo não é uma propriedade intrínseca do mesmo.

A Força da gravidade: o Peso

Exemplo:

Uma bola de boliche tem um certo peso sobre a superfície da Terra. Na Lua, tal bola terá um peso de aproximadamente $1/6$ deste peso. Mas observe que a força peso "puxa" o objeto para a Terra (ou Lua), sendo então representável como um vetor que aponta para o centro da Terra (ou Lua). Assim, para produzir aceleração horizontal (paralela à superfície), que nada tem a ver com a força gravitacional peso, a mesma força produzirá a mesma aceleração (horizontal / angular). Isto porque esta aceleração decorre da resistência da mesma massa à mesma força.

As Forças da Natureza

Todas as forças observadas na Natureza podem ser explicadas em função das quatro interações básicas:

1. **Força gravitacional** - a de atração mútua entre os corpos;
2. **Força eletromagnética** - aquela entre as cargas elétricas;
3. **Força nuclear forte** - a força entre partículas subatômicas;
4. **Força nuclear fraca** - ocorre entre partículas subatômicas durante um certo processo de decaimento radioativo;

Note que as forças que observamos entre objetos macroscópicos são gravitacionais ou eletromagnéticas.

Forças da Natureza (continuação)

Ação à distância: a interação de dois objetos sem que eles se tocassem sempre pareceu filosoficamente pouco claro. Atualmente, a dificuldade conceitual é contornada pela noção de campo. Um objeto produz, em lugar de simplesmente uma força especificamente sobre o outro objeto, um campo em todo o espaço. A presença de um objeto em um campo é que dá origem à força observada.

Forças de contato: quando dois objetos estão em contato, há dois tipos de força que podem ser gerados. Um, quando os objetos são comprimidos um contra o outro é denominado força normal, ou seja, perpendicular à superfície (exemplo: copo repousando sobre uma mesa), e decorre de um efeito coletivo das moléculas dos objetos, que funcionam como um "colchão de molas" ; o outro tipo, a força de atrito, surge quando se desliza um objeto sobre o outro, sendo exercida em toda a região de contato, paralelamente à superfície.

Força restauradora

Molas: quando uma mola é comprimida por uma força, observa-se que a compressão gera uma resposta que objetiva restaurar a situação anterior. Quando a mola não é deformada irreversivelmente, ela continua produzindo a força restauradora, na forma

$$F_x = -k(X_{final} - X_{inicial})$$

O sinal negativo na expressão acima nos informa que a força gerada é contrária ao deslocamento imposto. A expressão acima é conhecida como Lei de Hooke, e tem validade experimental em muitas situações.

Força restauradora

Exemplo:

Um cacho de bananas com 4kg é suspenso por uma balança de mola com constante elástica $k = 30 \text{ N/m}$ (observe que as unidades decorrem facilmente da fórmula anterior - Lei de Hooke). Tendo o cacho atingido a situação de equilíbrio, qual o deslocamento do prato da balança?

Resposta:

Basta aplicar diretamente a Lei de Hooke e obter

$$F / k = (4 / 30) \text{ m} = 13,1 \text{ cm.}$$

Terceira Lei de Newton

Quando dois corpos interagem, eles exercem forças entre si. A terceira Lei de Newton estipula que essas forças são iguais em módulo e direção, e de sentidos opostos. Esta Lei é chamada de Lei da Ação e Reação. Esta denominação tem que ser usada com cuidado, porque pode sugerir que uma das forças acontece antes e a outra surge depois, como resposta a ela. Isto não se verifica, na realidade pode-se denominar indistintamente uma de ação e a outra de reação, pois elas são simultâneas.

Exemplo:

Parado(a) em pé você está aplicando uma força (a força peso) sobre o piso, que está provendo uma reação igual e contrária que a equilibra.

Aplicações das Leis de Newton: Atrito

Motivação.

Sem atrito, o sistema de transportes terrestres, desde o simples caminhar até os mais potentes veículos, não poderia funcionar. O início do caminhar sobre uma superfície horizontal exige atrito para proporcionar variação de módulo ou direção da velocidade (basta recordar a cinematográfica dificuldade de iniciar uma caminhada ou corrida com sapatos lisos sobre gelo);

O atrito mantém porcas presas aos parafusos, pregos fixos em tábuas, etc.;

Em alguns casos buscam-se tecnologias para reduzir o atrito indesejado, como é o caso de lubrificantes utilizados nos motores. Note que o coeficiente de atrito é adimensional pois ambos os lados da igualdade têm que ter unidades coerentes.

Aplicações das Leis de Newton: Atrito

Atrito Estático.

Quando você aplica uma pequena força horizontal a uma mesa em repouso ela pode não se deslocar. Isto ocorre porque a força de atrito estático, \vec{f}_e exercida pela mesa sobre você, equilibra a força que você está aplicando. Aumentando a força gradativamente, em alguma intensidade ocorrerá de a mesa se mover: isto significa que a força de atrito estático máxima, que os experimentos mostram ser proporcional à força da mesa sobre o piso, se expressa por $f_{e,\text{máx}} = \mu_e \cdot F_n$, sendo μ_e denominado o coeficiente de atrito estático.

Aplicações das Leis de Newton: Atrito

Atrito Dinâmico.

Ao empurrar a mesa, conforme discutido acima, e após ela se movimentar, para manter uma velocidade constante é necessária a aplicação contínua de uma força de módulo igual e sentido contrário ao da força de atrito dinâmico exercida pelo piso sobre a mesa, f_d .

O coeficiente de atrito dinâmico, μ_d , é igual à relação entre os módulos da força de atrito dinâmico e da força normal, ou seja, $f_d = \mu_d \cdot F_n$. Experimentalmente se sabe que $\mu_d < \mu_e$, e é aproximadamente constante para velocidades de cerca de 1 m/s até vários metros por segundo.

O atrito é um fenômeno complexo que resulta da atração das moléculas das duas superfícies que entram em contato. A natureza desta atração é eletromagnética e se torna desprezível para distâncias de apenas alguns diâmetros atômicos.

Aplicações das Leis de Newton: Atrito

Exemplo:

Um livro repousa sobre a superfície horizontal de uma mesa, com a capa para cima. Colocando uma moeda sobre a capa e abrindo lentamente o livro, mantendo bem plana a capa, em certo momento a moeda começa a deslizar. O ângulo $\theta_{\text{máx}}$ é o ângulo da capa em relação à superfície horizontal a partir do qual a moeda começou a deslizar. Determine o coeficiente de atrito estático μ_e entre a capa e a moeda em função de $\theta_{\text{máx}}$.

Aplicações das Leis de Newton: Atrito

Resposta:

As forças atuantes sobre a moeda são seu peso, $m.g$, e a normal que o equilibra, quando a capa está fechada. Quando o livro vai sendo aberto, ganha importância a força de atrito, pois se esta não estivesse presente aconteceria imediatamente de a moeda deslizar. Com a inclinação da capa, a força normal à capa equilibra a parte (componente) do peso que está ao longo da direção perpendicular à capa. Ou seja, $F_n = m.g.\cos\theta$. Ademais, ao longo da superfície da capa do livro atuam a parte (componente) do peso projetada nessa direção e a força de atrito estático (antes de a moeda se deslocar). Ou seja, $m.g.\sen\theta$ é o módulo (intensidade) da força que tenta deslocar a moeda e da força de atrito estático que a impede de deslizar. Efetivamente, observe que esta força é zero para $\theta = 0$ (livro fechado). No limiar a partir do qual a moeda desliza ($\theta_{máx}$) pode-se escrever $m.g.\sen\theta_{máx} = f_{e, máx} = \mu_e \cdot m.g.\cos\theta_{máx}$.

19 Portanto, $\mu_e = \tan\theta_{máx}$.