Aula 4

Professor:

Mauricio Kischinhevsky

Matéria, Força e Energia (Parte 4)

Conteúdo:

Trabalho e energia, Conservação de energia

Fundação CECIERJ
Consórcio cederj

Trabalho e Energia

Em Física, uma força realiza trabalho quando seu ponto de aplicação se desloca por uma certa distância e há uma componente da força ao longo da direção da velocidade do ponto de aplicação.

A energia está associada ao trabalho: quando um sistema realiza trabalho sobre outro sistema, a energia é transferida entre os dois sistemas.

Exemplo (trabalho com força constante):

Uma caixa localizada num piso horizontal sofre uma força de 12N, inclinada 30^o em relação à horizontal e se desloca por 3m. Qual o trabalho realizado pela força sobre a caixa?

Fundação CECIERJ Consórcio cederj

Exemplo (continuação):

Resposta:

Duas forças estão em atuação: o peso e a de 12N. Ocorre que as forças combinadas na direção perpendicular ao movimento não realizaram trabalho. Efetivamente, o peso, acrescido de $12.\text{sen}30^{o}$ N, é equilibrado pela normal e não produz deslocamento; já a parte (projeção) da força de 12N ao longo da direção do movimento propicia um trabalho de $12N.\cos30^{o}.3m = 10{,}4\ N.m$ = 10,4 J(Joule).

Trabalho e energia cinética:

A partir da segunda Lei de Newton, no caso de aceleração constante, obtém-se a expressão que identifica uma expressão para a energia associada ao movimento, da forma $K = (1/2).m.v^2$, que se denomina energia cinética. Portanto, se uma força atua e altera o estado cinemático de uma partícula, o trabalho realizado por essa força é correspondente à variação de sua energia cinética.

Exemplo (energia cinética):

Uma pessoa, de massa 70kg, corre a 4 m/s. Qual a sua energia cinética?

Trabalho e energia cinética:

Exemplo (continuação):

Resposta:

Basta calcular $(1/2).m.v^2$, obtendo

$(1/2).70kg.(4m/s)^2 = 560\ kg.m^2/s^2 = 560\ N.m = 560J$.

- Observação: Se você permanecer parado em pé segurando uma mala pesada a uma distância constante do solo, você não estará realizando trabalho sobre a mala, pois ela não está se movendo. O seu esforço físico, com o consequente desgaste corporal, estará refletindo a conversão de energia química em térmica.

Trabalho de uma força variável:

Assim como a conta realizada para obter o trabalho para uma força constante se refere ao produto da força correspondente pelo deslocamento, para cada porção infinitesimal, somadas todas estas parcelas infinitesimais. Ou seja, trata-se da integral de F relativamente à distância, ao longo do deslocamento.

Exemplo:

Se uma partícula de massa 3kg parte do repouso e é submetida a uma força que se inicia com 5N entre $x = 0$ e $x = 4$ e, entre $x = 4$ e $x = 5$ tem valor $-(5/2).(x - 4) + 5$, em Newtons, determine o trabalho realizado por esta força sobre a partícula e calcule a velocidade da partícula ao atingir $x = 6m$.

Trabalho de uma força variável:

Exemplo (continuação):

Resposta:

Trata-se de, inicialmente, calcular a integral sob a curva de F(x) fornecida. Ou seja,

$$W = \int_0^6 F(x)dx = \int_0^4 5N dx + \int_4^6 \left(\frac{-5}{2} N.x + 5N\right) dx = 20N.m + 5N.m = 25J.$$

Sendo essa a única força em atuação sobre a partícula, ela partirá do repouso (energia de movimento nula) para uma situação em que toda sua energia de movimento se expressa através de $K = (1/2).m.v^2$. Assim, a velocidade vem de $K = (1/2).m.v^2 = 25$ J ou, finalmente, $v = 4{,}08$ m/s.

Exemplo (trabalho e produto escalar):

A uma partícula é imposto um deslocamento

$$\vec{s} = 2m\vec{i} - 5m\vec{j}$$

ao longo de uma linha reta. Durante esse deslocamento, uma força constante

$$\vec{F} = 3N\vec{i} + 4N\vec{j}$$

atua sobre a partícula. Determine o trabalho realizado pela força e a componente da força na direção do deslocamento.

Exemplo (continuação):

Resposta:

O trabalho é calculado por meio de $\vec{F}.\,\vec{s}$

W = 2.3 N.m + (–5.4) N.m = –14 N.m.

Observe que o tamanho do deslocamento pode ser obtido como

$$\sqrt{\vec{s}\cdot\vec{s}} = \sqrt{2^2+5^2} = \sqrt{2\cdot 2+5\cdot 5} = \sqrt{29}$$

Portanto, a força ao longo do caminho é

$$F_s = \frac{(\vec{F}.\,\vec{s}\,)}{|\vec{s}\,|} = \frac{(-14\ N.m)}{(\sqrt{29}\ m)} = -2,60\ N$$

Forças conservativas:

Alguns sistemas armazenam energia que pode ser convertida em cinética. É o caso da elevação de um objeto até uma certa altura, quando então o objeto terá recebido energia correspondente ao trabalho realizado para elevá-lo até lá, ou seja, **m.g.h**. Outro caso usual é o da compressão de uma mola, que acumula energia total (puramente elástica) de $(1/2).k.(\Delta x)^2$.

Quando, independentemente de qual caminho se segue, o trabalho realizado sobre uma partícula de um ponto a outro tem o mesmo valor, a força é considerada conservativa.

Forças conservativas (continuação):

Definição. Uma ***força*** é ***conservativa*** se o trabalho total que ela realiza sobre uma partícula é nulo quando a partícula se move através de uma trajetória fechada qualquer, retornando à sua posição inicial.

Um exemplo imediato de força conservativa é a gravitacional. Efetivamente, a energia potencial acumulada por um objeto que vai do ponto P no chão até uma prateleira específica não depende do caminho usado para realizar tal tarefa.

A Energia Potencial:

Definição. Uma vez que o trabalho realizado por uma força conservativa não depende da trajetória, pode-se definir uma energia potencial, ***U***, que fica associada à diferença de energia produzida pelo deslocamento de uma partícula de um ponto inicial a um ponto final,

$$-\int_{P_1}^{P_2} \vec{F}.\,\vec{d}s = U_2 - U_1$$

Para a força da gravidade, –m.g.$\hat{j}$, onde $\hat{j}$ é o vetor unitário na direção vertical, tem-se, então, U = m.g.y + U_o . Observe que a energia potencial gravitacional é definida a menos de uma constante.

A Energia Potencial (continuação):

Para uma mola que se alonga ou comprime, pode-se também calcular a energia potencial associada por meio da expressão acima. Deste modo, como $dU = k.x.dx$, a determinação da integral provê $U = (1/2).k.x^2 + U_o$. Quando se puder considerar $U_o = 0$, a expressão compacta fica $U = (1/2).k.x^2$.

<u>Exemplo</u>:

Uma garrafa de 0,350kg cai do repouso de uma estante situada a 1,75m do piso. Qual a variação da energia potencial entre a estante e o chão. Qual a energia cinética imediatamente antes do impacto da garrafa com o chão?

A Energia Potencial (continuação):

A energia potencial relativamente ao chão, é de
$m.g.h = 0{,}350 \times 9{,}81 \times 1{,}75\ kg.m^2/s^2 = 6{,}01\ J$.

Imediatamente antes do impacto da garrafa com o chão, toda a energia potencial se foi, convertida em energia de movimento. Portanto, pode-se determinar a velocidade de impacto por meio da análise da conversão de energia. Ou seja, a velocidade de impacto decorre de
$K = (1/2).m.v^2 = U = 6{,}01\ J$, ou, simplesmente, $v = 5{,}86\ m/s$.

Forças não-conservativas:

Um exemplo ilustrativo a respeito é mover um objeto sobre o piso plano horizontal em presença do atrito. A força que desloca o objeto de P_1 para P_2 equilibra a força de atrito, de tal modo que, mesmo sem variação de energia potencial, você tem que realizar trabalho positivo sobre o objeto. Se você trouxer o objeto para P_1 novamente, o trabalho será positivo mais uma vez, de modo que esta força não é conservativa.

Conversão de Energia:

A energia global de um sistema se conserva. Com esta afirmação podemos inclusive perceber quando não estamos levando em conta todos os processos relevantes envolvidos na dinâmica do sistema. Muitos sistemas para conversão de energia são objeto de interesse contemporâneo. Entre estes, interessa a conversão de energia solar em química, ou em mecânica, despertam também grande interesse os conversores de energia eólica em energia elétrica, há também interesse no uso da energia das ondas do mar em elétrica.

Como vimos acima, a conversão de energia potencial em cinética permite descobrir propriedades do sistema cuja energia se converteu em energia de outro tipo, no todo ou em parte.

Conversão de Energia:

Uma forma de alterar a energia de um sistema cuja descrição não se quer ampliar é afirmar que a variação de energia de um sistema só varia quando algum agente realiza trabalho sobre ele. Se o agente externo for contabilizado dentro do sistema, a energia deste sistema ampliado não teria mudado.

Exemplo:

Uma criança de 40kg desce de um escorrega inclinado de $\theta = 30^o$ em relação ao solo. O escorrega tem s = 8m de comprimento. O coeficiente de atrito dinâmico entre a criança e o brinquedo é de 0,35. Se a criança inicia do repouso, qual sua velocidade ao chegar à base?

Conversão de Energia:

Exemplo (continuação):

Resposta:

Trata-se de uma aplicação bem adequada para o emprego da noção de conservação de energia. Efetivamente, a energia total inicial $E_p = m.g.h$, toda sob a forma de energia potencial, é convertida em energia cinética. É produzida, também, energia térmica devido ao atrito (esta corresponde ao trabalho realizado pela força de atrito dinâmico).

Ou seja, pode-se escrever $E_p = E_c + E_a$, onde E_c é a energia cinética final e E_a é a quantidade de energia dispendida devido ao atrito. Portanto, escreve-se $m.g.s.\text{sen}\theta = (1/2).m.v^2 + \mu_d.m.g.s.\cos\theta$.

E, portanto, $v^2 = 2.(9{,}81\ m/s^2).(8m)(\text{sen}\theta - 0{,}35.\cos\theta\ ) = 30{,}9\ m^2/s^2$, ou $v = 5{,}6\ m/s$.