

OBS: Esta nota de aula foi elaborada com intuito de auxiliar os alunos com o conteúdo da disciplina. Entretanto, sua utilização não substitui o livro¹ texto adotado.

CAPÍTULO 7 – ENERGIA CINÉTICA E TRABALHO

ENERGIA CINÉTICA (K)

A energia cinética é a energia associada ao estado de movimento de um objeto. Quanto mais rapidamente um objeto estiver se movendo, maior será sua energia cinética. Quando o objeto está em repouso, sua energia cinética é nula.

Para um objeto de massa m cuja velocidade v é bem inferior à velocidade da luz, definimos a sua energia cinética como

$$K = \frac{1}{2} mv^2$$

A unidade de SI para a energia cinética (e todos os outros tipos de energia) é o joule (J), em homenagem a James Prescott Joule, um cientista inglês do século XIX.

TRABALHO

Na linguagem comum, a palavra trabalho é aplicada a qualquer forma de atividade que requeira um esforço muscular ou mental. Em física, entretanto, este termo é usado num sentido mais específico, que envolve a aplicação de uma força a um corpo e o deslocamento deste corpo.

O trabalho é a energia transferida para um objeto, ou extraída dele, através de uma força que atua sobre o objeto. A energia transferida para o objeto é trabalho positivo, e a

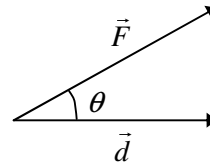
¹ HALLYDAY, D; RESNICK, R; e WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC. V.1.

energia extraída do objeto é trabalho negativo. O trabalho possui a mesma unidade que energia e é uma grandeza escalar.

TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE SOBRE UM OBJETO QUE SE MOVE EM UMA DIMENSÃO

Na figura abaixo está representado um objeto que sofre um deslocamento \vec{d} , sob a ação de uma força constante \vec{F} . O trabalho realizado pela força \vec{F} durante o deslocamento \vec{d} é

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \Rightarrow W = Fd \cos \theta$$



O trabalho é uma grandeza algébrica, que pode ser positivo ou negativo. Quando a força possui uma componente na mesma direção e sentido que o deslocamento, o trabalho realizado por ela é positivo. Se o sentido da componente da força for oposto ao deslocamento, o trabalho será negativo. Se a força for perpendicular ao deslocamento, ela não terá componente na direção do deslocamento e o trabalho será nulo.

Quando duas ou mais forças atuam sobre um objeto, o trabalho resultante realizado sobre o objeto pode ser calculado pela soma algébrica dos trabalhos individuais realizados pelas forças ou pelo trabalho realizado pela força resultante que atua no objeto.

TEOREMA DO TRABALHO-ENERGIA CINÉTICA

O trabalho realizado pela força resultante sobre uma partícula é igual à variação da energia cinética da partícula

$$W = \Delta K \Rightarrow W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

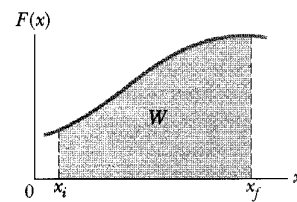
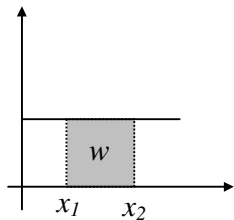
Se o trabalho resultante realizado sobre uma partícula for positivo, então a energia cinética da partícula aumenta de uma quantidade igual ao trabalho. Se o trabalho resultante for negativo, então a energia cinética da partícula diminui de uma quantidade igual ao trabalho.

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág.113 até 121, resolvendo os pontos de verificação (1,2,3), os problemas resolvidos (7.1;7.2;7.3;7.4;7.5;7.6) e os exercícios (1 até 18) da lista 03.

TRABALHO REALIZADO POR UMA FORÇA VARIÁVEL: EM UMA DIMENSÃO

Para uma força constante e de mesma direção e sentido do deslocamento é fácil verificar que o trabalho realizado por ela é igual a “área sob a curva” no gráfico $F \times x$, como está representado na figura abaixo. Mesmo quando o valor da força estiver variando esta propriedade é válida, sendo que o trabalho de uma força variável na direção x pode ser calculada por

$$w = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx$$



Para uma força tridimensional $\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k}$ onde F_x depende apenas da posição x , e F_y depende apenas de posição y , e F_z depende apenas a posição z , o trabalho é dado por

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z dz$$

TRABALHO REALIZADO POR UMA FORÇA DE MOLA

A seguir iremos examinar o trabalho realizado sobre um corpo pela força exercida por uma mola.

A força exercida por uma mola ideal é diretamente proporcional à distância através da qual ela é esticada ou comprimida. A força exercida pela mola pode, portanto, ser expressa em termos de distância x , através da qual ela é esticada ou comprimida, a partir do seu comprimento de equilíbrio, por

$$F = -kx \text{ (Lei de Hooke)}$$

O sinal negativo indica que a força da mola tem sempre sentido contrário ao deslocamento. A constante K é chamada de constante da mola e é uma medida da rigidez da mola.

Vamos calcular o trabalho realizado por uma mola sobre uma partícula deslocando-se horizontalmente de uma posição x_i até uma posição x_f . Como a força da mola é variável o trabalho pode ser calculado por

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx = \int_{x_i}^{x_f} -kx dx = -k \int_{x_i}^{x_f} x dx = -\frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2) = \frac{1}{2}k(x_i^2 - x_f^2)$$

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 121 até 125, resolvendo o ponto de verificação (4), os problemas resolvidos (7.7;7.8;7.9) e exercícios (19 até 25) da lista 03.

POTÊNCIA

A potência devido a uma força é a taxa com que essa força realiza um trabalho sobre um objeto. Se a força realiza um trabalho W durante um intervalo de tempo é Δt , a potência média é

$$P_m = \frac{W}{\Delta t}$$

A potência instantânea P é a taxa instantânea de realização de trabalho, que pode ser escrita como

$$P = \frac{dW}{dt}$$

A unidade SI de potência é o joule por segundo, chamado de watt (W), em homenagem a James Watt, que aperfeiçoou consideravelmente a taxa com que as máquinas a vapor conseguiam realizar trabalho.

$$1 \frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = 1 \text{ watt} = 1W$$

Também podemos expressar a taxa com que uma força realiza trabalho sobre uma superfície em termos dessa força e da velocidade da partícula. Para uma partícula que esteja se movendo em linha reta (por exemplo o eixo x) e sofra ação de uma força constante \vec{F} na direção que faz um ângulo θ com esta linha, temos que

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cos \theta dx}{dt} = F \cos \theta \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

$$\Rightarrow P = Fv \cos \theta \quad \Rightarrow \quad P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 125 até 127, resolvendo o ponto de verificação (5), o problema resolvido (7.10) e o exercício (27) da lista 03.

CAPÍTULO 8 – ENERGIA POTENCIAL E CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Antes de discutirmos o conceito de Energia Potencial vamos introduzir o conceito de Forças Conservativas.

Forças Conservativas

Uma força é conservativa se o trabalho resultante que ela realiza sobre uma partícula se movendo ao longo de qualquer percurso fechado, partindo de um ponto inicial e depois voltando a esse mesmo ponto, for nulo. De modo equivalente, ela é conservativa se o trabalho resultante que ela realiza sobre uma partícula se movendo entre dois pontos não depender do percurso seguido pela partícula.

A força gravitacional e a força elástica de mola são exemplos de forças conservativas. A força de atrito cinético é uma força não-conservativa.

Energia Potencial

A energia potencial está associada à configuração de um sistema no qual atua uma força conservativa. Quando a força conservativa realiza um trabalho W sobre uma partícula dentro de um sistema, a variação da energia potencial ΔU do sistema é igual a menos o trabalho realizado.

$$\Delta U = -W$$

Energia Potencial Gravitacional

A energia potencial associada a um sistema formado pela terra e por uma partícula próxima à superfície da terra é a energia potencial gravitacional. Se a partícula se move de uma altura inicial h_i para a altura final h_f , a variação da energia potencial gravitacional do sistema partícula-terra é

$$\Delta U = mg(h_f - h_i) = mg\Delta h$$

se considerarmos $U_i = 0$ como sendo a energia potencial gravitacional do sistema quando este se encontra em uma configuração de referência na qual a partícula está em um ponto de referência $h_i = 0$, a energia potencial gravitacional U quando a partícula está em qualquer altura h é

$$U = mgh.$$

Energia Potencial Elástica

A energia potencial elástica é a energia associada ao estado de compressão ou alongamento de um objeto elástico. Para uma mola, que exerce uma força $\vec{F} = -k\vec{x}$ quando sofre uma deformação x , a energia potencial elástica é

$$U = \frac{1}{2}kx^2$$

Para este caso a configuração de referência corresponde à mola na sua posição indeformada, na qual $x = 0$ e $U = 0$.

Energia Mecânica

A energia mecânica E de um sistema é a soma da sua energia cinética k com a sua energia potencial U .

$$E = k + U$$

Conservação da Energia Mecânica

Em um sistema isolado onde apenas forças conservativas realizam trabalho (causam variações de energia), a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas a sua soma, a energia mecânica, não se altera. Ou seja, a energia mecânica de um sistema isolado, onde atuam somente forças conservativas, se conserva.

$$E_i = E_f \Rightarrow K_i + U_i = K_f + U_f$$

* O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 134 até 142, resolvendo os pontos de verificação (1,2,3), os problemas resolvidos (8.1, 8.2, 8.3, 8.4) e os exercícios (28 até 46) da lista 03.

Curvas de Energia Potencial

Podemos aprender muito a respeito do movimento de uma partícula a partir de um gráfico da energia potencial do sistema.

Se conhecermos a função energia potencial $U(x)$ para um sistema no qual uma força unidimensional de intensidade F age sobre uma partícula, podemos encontrar esta força como

$$F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}.$$

Se tivermos o gráfico de $U(x)$, então para qualquer valor de x , a intensidade da força F é igual a menos o coeficiente angular da reta tangente à curva nesse ponto. Um ponto de reversão é um ponto x no qual a partícula inverte o sentido do seu movimento (nesse ponto a energia cinética da partícula é nula). A partícula está em equilíbrio nos pontos onde a inclinação de $U(x)$ é nula (nesse ponto, $F(x) = 0$).

Trabalho realizado por uma força externa sobre um sistema

O trabalho de uma força externa W é a energia transferida para um sistema ou retirada dele por meio de uma força externa atuando sobre o sistema. Quando mais de uma força externa atua sobre um sistema, o trabalho resultante delas é a energia transferida, para esse sistema. Quando não há atrito (força não-conservativa) envolvido, o trabalho realizado sobre o sistema, pelas forças externas, e a variação da energia mecânica do sistema são iguais:

$$W = \Delta E$$

Quando uma força de atrito cinético atua dentro do sistema, a energia térmica E_{te} do sistema sofre uma variação.

O trabalho realizado sobre o sistema neste caso é igual a soma da variação da energia mecânica com a variação da energia térmica do sistema:

$$W = \Delta E + \Delta E_{te}$$

A variação da energia térmica está relacionada com a intensidade da força de atrito f_k e com a intensidade do deslocamento d provocado pela força externa, da seguinte forma:

$$\Delta E_{te} = F_k \cdot d$$

Conservação da Energia

A energia total (soma de todas as energias) de um sistema isolado se conserva.

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 143 até 149, resolvendo os pontos de verificação (4,5), os problemas resolvidos (8.5, 8.6, 8.7, 8.8) e os exercícios (47 até 54) da lista 03.