

Energia potencial e conservação de energia

TEORIA - AULA A11

Física I

Competências que você irá desenvolver nesta aula

- Analisar os diversos tipos de movimento sob o ponto de vista de energia mecânica do sistema.
- Modelar matematicamente o balanço energético num sistema conservativo e não conservativo.

Energia potencial

Uma partícula perde ou ganha energia cinética devido a interação com outras partículas que exercem força sobre ela, como indica o Teorema Trabalho-Energia.

$$W_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

Em alguns casos, a variação de energia cinética está associada a uma quantidade de energia armazenada no sistema físico, denominada de energia potencial.

EXEMPLOS

- 1. Energia potencial gravitacional, cuja variação está associada com o trabalho da força gravitacional (força peso).*
- 2. Energia potencial elástica, cuja variação está associada ao trabalho da força elástica.*

Energia potencial gravitacional

(a) Um corpo se move de cima para baixo.

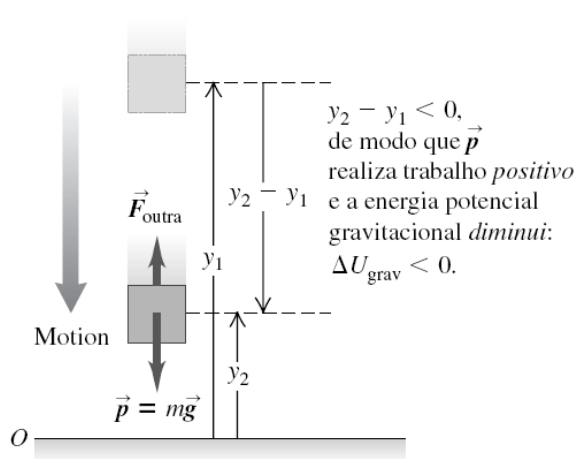


Figura 7.2 a pg. 214

O trabalho realizado pela força peso para deslocar o corpo da posição y_1 à posição y_2 é positivo, aumentando a energia cinética da partícula. Assim, a energia potencial gravitacional diminui na mesma quantidade.

$$\Delta U_{\text{GRAV}} < 0$$

(b) Um corpo se move de baixo para cima.

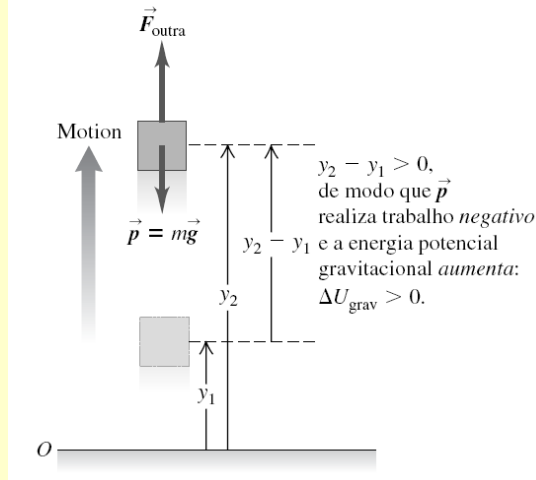


Figura 7.2 B pg. 214

O trabalho realizado pela força peso para deslocar o corpo da posição y_1 à posição y_2 é negativo, diminuindo a energia cinética da partícula. Assim, a energia potencial gravitacional aumenta na mesma quantidade.

$$\Delta U_{\text{GRAV}} > 0$$

Energia potencial gravitacional

Define-se a energia potencial gravitacional no ponto y pela expressão:

$$U_G(y) = m g y$$

A variação da energia potencial entre os pontos y_1 e y_2 é dada por:

$$\Delta U_G = m g y_2 - m g y_1 = m g (y_2 - y_1)$$

Note que se:

- a) $\Delta y > 0$, a variação da energia potencial é positiva e o trabalho da força peso é negativo, pois a energia cinética da partícula diminui.*
- b) $\Delta y < 0$, a variação da energia potencial é negativa e o trabalho da força peso é positivo, pois a energia cinética da partícula aumenta.*

CONCLUSÃO:

$$W_{P,1 \rightarrow 2} = -\Delta U_G$$

Conservação de energia para o caso gravitacional

A partir do teorema trabalho-energia

$$W_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

e da definição da variação da energia potencial , tem-se:

$$W_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = -(mgy_B - mgy_A)$$

Reescrevendo:

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B}_{E_B} = \underbrace{\frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A}_{E_A}$$

A energia mecânica é definida com a soma da energia cinética com a energia potencial:

$$E = U + K$$

observa-se que:

$$E_A = E_B$$

Conservação de energia par o caso gravitacional

CONCLUSÃO: PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

Quando somente a força da gravidade realiza trabalho, a energia mecânica total é constante em relação ao tempo e à posição, ou seja, ela é conservada.

Energia potencial gravitacional

Movimento ao longo de trajetória curva

Em qualquer ponto de uma trajetória curvilínea, o trabalho realizado pela força peso para deslocar uma partícula de uma quantidade $\Delta \vec{r} = \Delta x \hat{i} + \Delta y \hat{j}$ é:

$$W_p = \vec{P} \cdot \Delta \vec{r} = \vec{P} \cdot (\Delta x \hat{i} + \Delta y \hat{j}) = -mg \Delta y$$

O trabalho realizado pela força gravitacional é igual ao que seria obtido no caso de um deslocamento vertical Δy , sem deslocamento horizontal.

CONCLUSÃO:

Podemos usar a mesma expressão para a variação da energia potencial gravitacional tanto para trajetórias retilíneas quanto para trajetórias curvilíneas.

Skatista



http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-skate-park-basics

Estudo da energia mecânica para o caso da força de atrito

A variação da energia mecânica total é igual ao trabalho da força de atrito:

$$W_{FAT} = E_B - E_A = \left(\frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B \right) - \left(\frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A \right)$$

Observações:

- a) A energia mecânica final é sempre menor que a inicial, tal que $\Delta E < 0$.*
- b) Estes sistemas físicos são denominados de não conservativos.*
- c) Sistemas conservativos são aqueles nos quais somente as forças conservativas realizam trabalho.*

Exemplo 7.6 p. 221

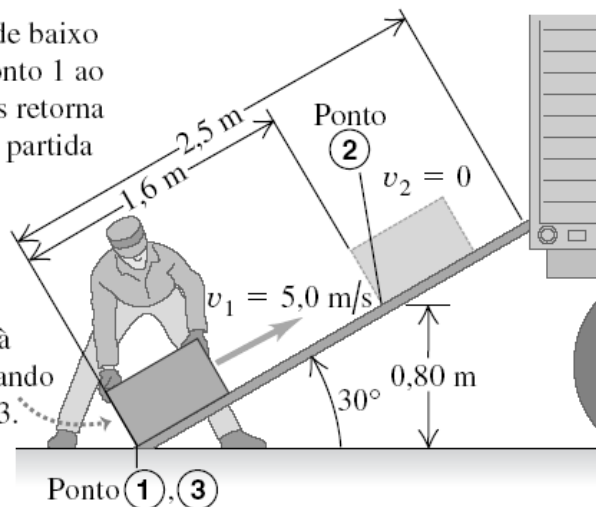
Exemplo 7.6, p. 221

Plano inclinado com atrito

(a)

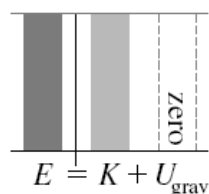
A caixa desliza de baixo para cima, do ponto 1 ao ponto 2, e depois retorna à sua posição de partida (ponto 3).

A caixa se move à velocidade v_3 quando retorna ao ponto 3.

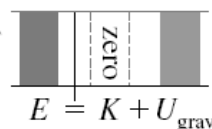


(b)

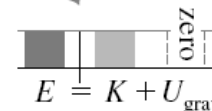
A força de atrito realiza trabalho negativo sobre a caixa enquanto ela se move, de modo que a energia mecânica total $E = K + U_{\text{grav}}$ diminui.



No ponto ①



No ponto ②



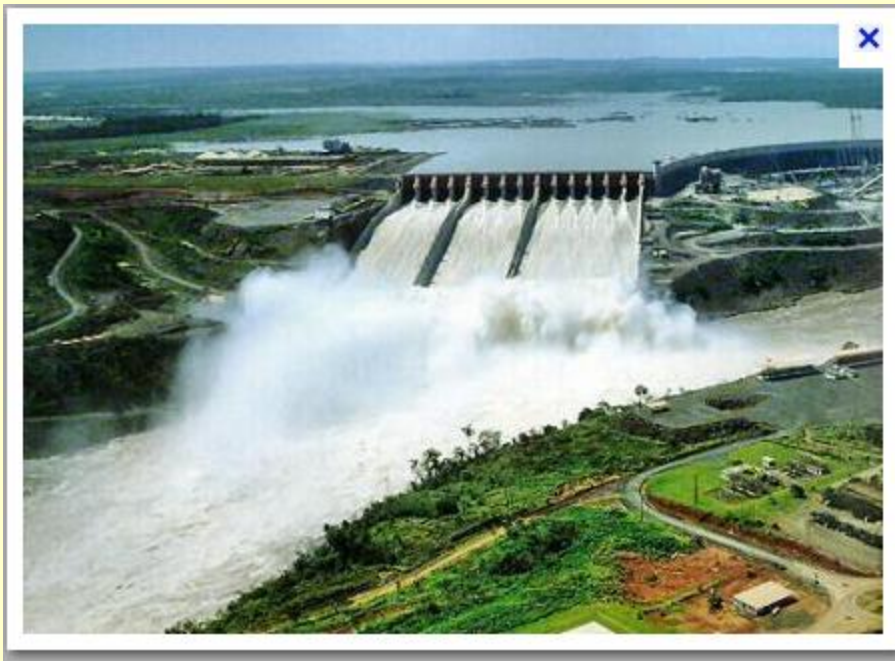
No ponto ③

Figura 7.11 (a) Uma caixa desliza de baixo para cima até certo trecho de uma rampa, pára e desliza de volta para baixo. (b) Gráficos de barras para a energia nos pontos 1, 2 e 3.

Aplicações

Energia potencial gravitacional

Usinas hidroelétricas: A energia que se transforma



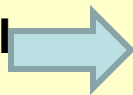
Curiosidade:

Tabela 1. Dez dos maiores produtores hidrelétricos como em 2009

País	Anual hidrelétrica produção (TWh)	Instalado capacidade (GWh)	% Do total capacidade
China	652	197	22
Canadá	370	89	61
Brasil	364	69	86
United States	251	80	6
Rússia	167	45	18
Noruega	141	28	98
Índia	116	34	16
Venezuela	86	15	69
Japão	69	27	7
Suécia	66	16	44

Fonte: Wikipedia: eletricidade

Energia potencial
gravitacional



Energia Cinética



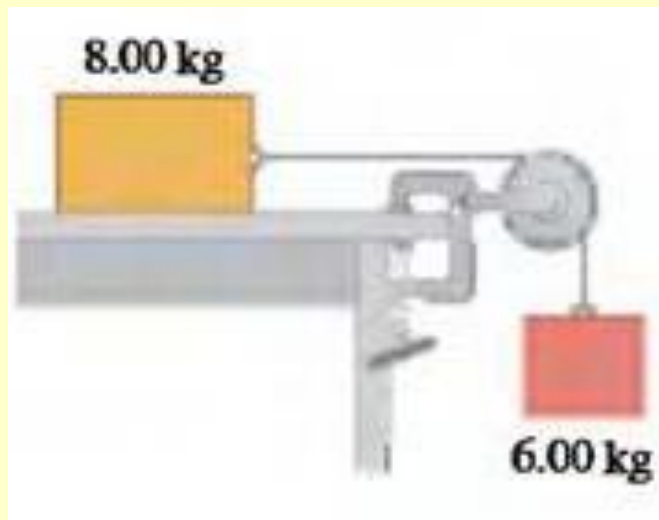
MOVIMENTA
AS TURBINAS



GERAÇÃO
DE
ENERGIA
ELÉTRICA

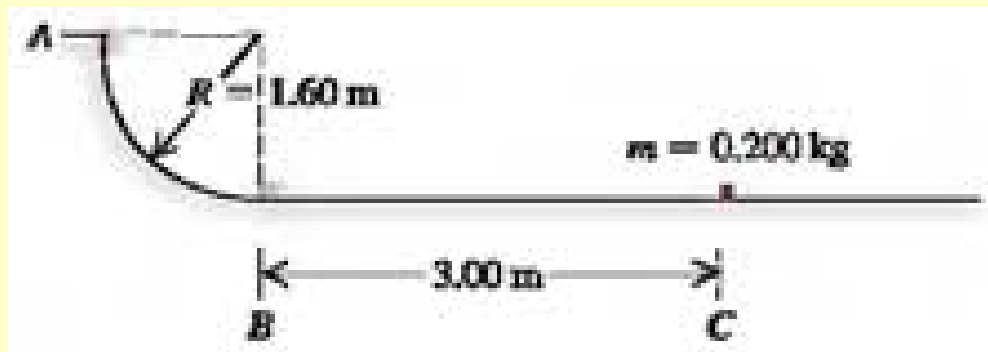
Exercício 6.82:

Considere o sistema indicado na figura. A corda e a polia possuem massas desprezíveis, e a polia não possui atrito. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco de 8,0 kg e o topo da mesa é dado por $\mu_c = 0,250$. Os blocos são liberados a partir do repouso. Use métodos de energia para calcular a velocidade do bloco de 6,0 kg no momento em que ele desceu 1,50 m.



Exercício 7.65:

Em um posto para carga de caminhões do correio, um pacote de $0,200 \text{ kg}$ é largado do repouso no ponto A sobre um trilho com forma de um quarto de circunferência de raio igual a $1,60 \text{ m}$. O tamanho do pacote é muito menor que $1,60 \text{ m}$, de modo que ele pode ser considerado como uma partícula. Ele desliza para baixo ao longo do trilho e atinge o ponto B com uma velocidade de $4,80 \text{ m/s}$. Depois de passar pelo ponto B, ele desliza uma distância de $3,0 \text{ m}$ sobre uma superfície horizontal até parar no ponto C. a) Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o pacote e a superfície horizontal? b) Qual é o trabalho realizado pela força de atrito ao longo do arco circular do ponto A ao ponto B?



Energia Potencial Elástica

TEORIA - Física I

Formas da Energia Mecânica

Corpo em movimento
(com velocidade)



Energia Cinética

Energia Armazenada



Energia Potencial



Gravitacional
(depende da altura em que o
corpo se encontra)

Elástica

(armazenada em molas,
elásticos, etc. Gerada pela
deformação do material)

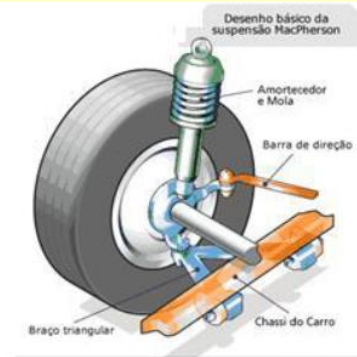
EXEMPLOS ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA



Figura 7.12 O tendão de Aquiles, que une a parte de trás do tornozelo ao osso do calcanhar, funciona como uma mola natural. Quando se estica e relaxa, armazena e liberta energia potencial elástica. A ação dessa mola faz reduzir o trabalho realizado pelos músculos de sua perna quando você corre.

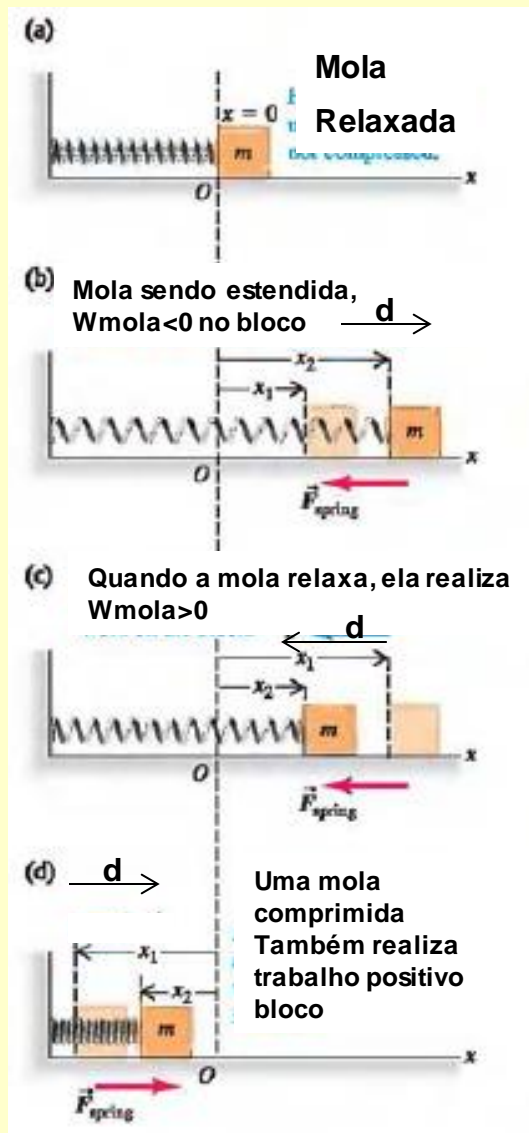


Figura 7.15 A queda de um saltador de *bungee jumping* envolve uma inter-relação entre a energia cinética, a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica. Devido à resistência do ar e às forças de atrito dentro da corda do *bungee*, a energia mecânica não é conservada. (Se a energia mecânica *fosse* conservada, o saltador permaneceria oscilando para cima e para baixo eternamente!)



http://www.claudio.sartori.nom.br/f2_capitulo2.pdf

Revisão - Trabalho Realizado no Sistema Massa Mola



Alguma força externa deve realizar trabalho na mola para causar sua elongação de x_0 para x_2 :

$$W = \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_0^2$$

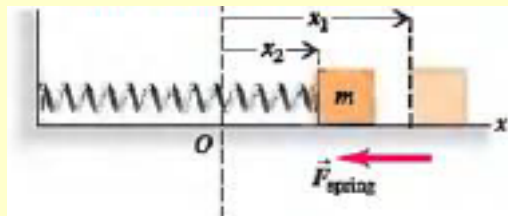
Trabalho realizado pela mola por uma força restauradora, onde a massa retorna a posição de equilíbrio: $F = -kx$.

$$W = \frac{1}{2} kx_1^2 - \frac{1}{2} kx_2^2 = -\left(\frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2 \right)$$

$$W = -\frac{1}{2} kx^2 \quad x_1 < x_2$$

(para $x_2 = x$ e $x_1 = 0$)

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA



posição de equilíbrio

$$U_E(x) = \frac{1}{2} k x^2$$

Cuidado! Energia
Potencial Elástica
Armazenada em uma
Mola!!!

A variação da energia potencial elástica, como no caso gravitacional, é igual a menos o trabalho realizado pela força elástica:

$$\Delta U_E = -W_{Fe|AB}$$

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

Define-se a energia potencial elástica no ponto x pela expressão:

$$U_{El}(x) = \frac{1}{2} kx^2$$

A variação da energia potencial entre os pontos x_1 e x_2 é dada por:

$$\Delta U_E = \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2 = -W_{mola}$$

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

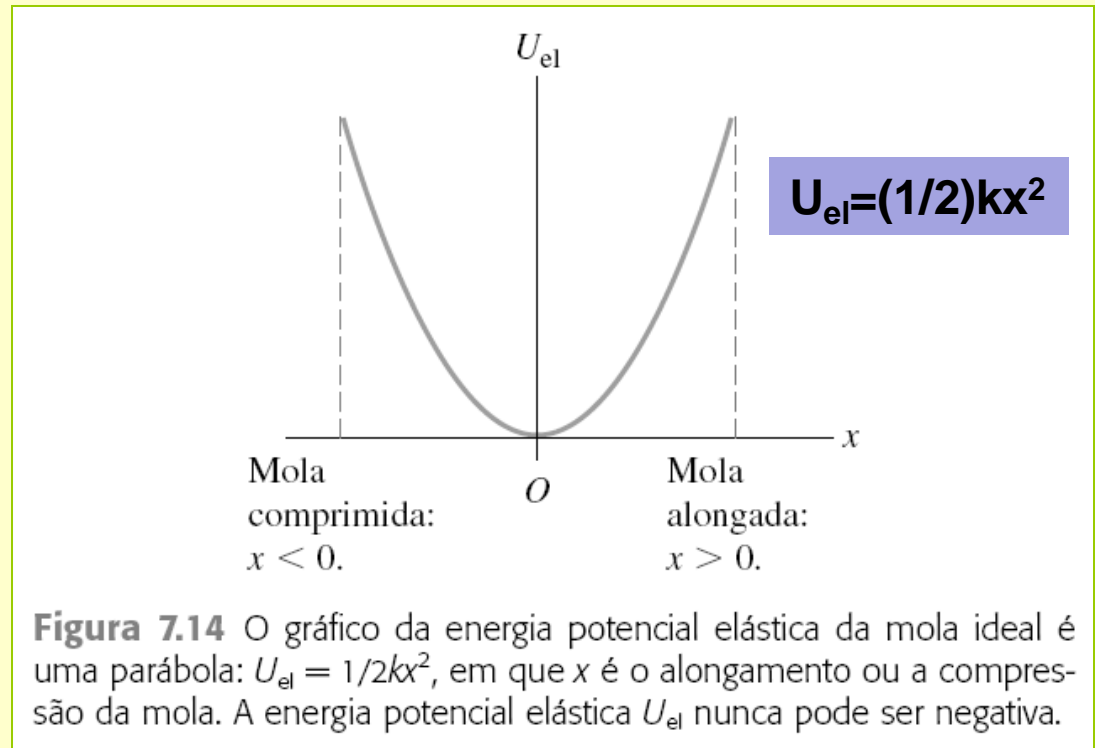
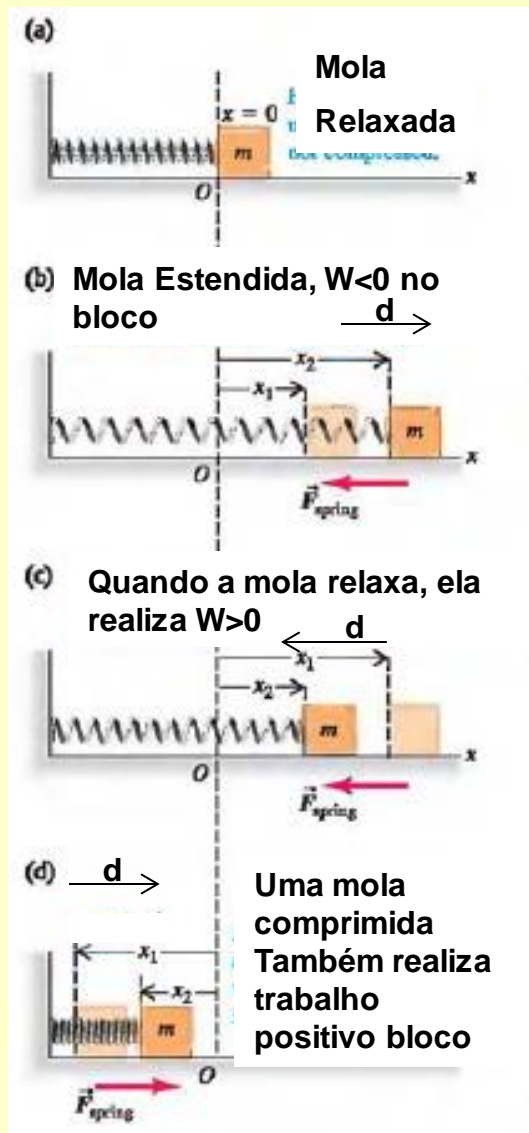


Figura 7.14 O gráfico da energia potencial elástica da mola ideal é uma parábola: $U_{el} = 1/2kx^2$, em que x é o alongamento ou a compressão da mola. A energia potencial elástica U_{el} nunca pode ser negativa.

Freedman e Young, 12 ed., p. 223

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA PARA O CASO ELÁSTICO

Para o caso em que **somente a força elástica realiza trabalho**, usando o TTE, teremos:

$$W_{Fel_{AB}} = \Delta K = -\Delta U_{El}$$

$$W_{Fel_{AB}} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = -\left(\frac{1}{2}kx_B^2 - \frac{1}{2}kx_A^2\right)$$

Como, $E = U + K$, teremos:

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv_B^2 + \frac{1}{2}kx_B^2}_{E_B} = \underbrace{\frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}kx_A^2}_{E_A}$$

Ou seja:

$$E_A = E_B$$

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA PARA O CASO ELASTICO

CONCLUSÃO: PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

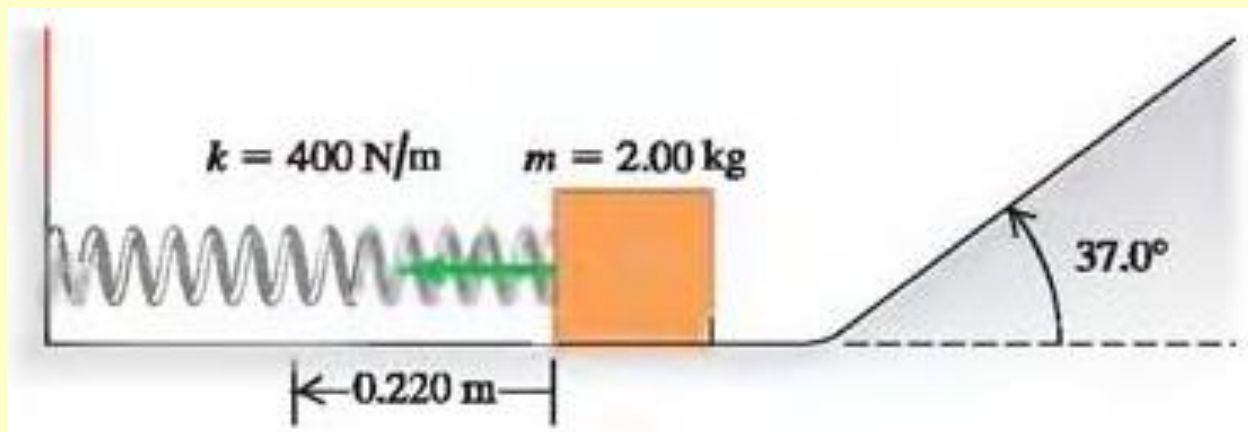
Se as forças não conservativas não realizam trabalho, a energia mecânica total do sistema é constante em relação ao tempo, ou seja, ela se conserva.

Exercício 7.69:

Um bloco de gelo de $0,150\text{ kg}$ é colocado contra uma mola horizontal comprimida no alto de uma mesa de altura $1,20\text{ m}$ acima do solo. A mola está inicialmente comprimida $0,045\text{ m}$ e a constante da mola é igual a 1900 N/m . A massa da mola é desprezível. A mola é libertada, e o bloco desliza sobre a mesa, se projeta para o ar e cai no solo. Considerando desprezível o atrito entre a mesa e o bloco, qual é a velocidade do bloco de gelo quando ele atinge o solo?

Exercício 7.42:

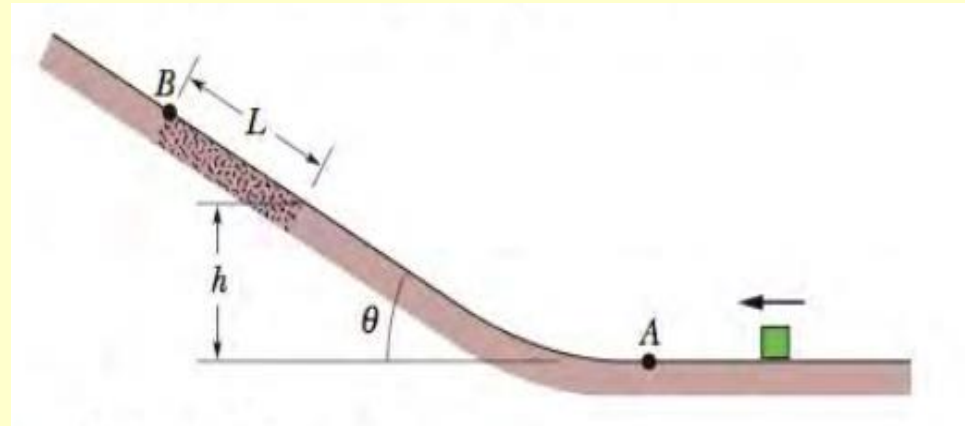
Um bloco de $2,0\text{ kg}$ é empurrado contra uma mola de massa desprezível e constante $k = 400\text{ N/m}$, comprimindo a mola até uma distância igual a $0,220\text{ m}$. Quando o bloco é libertado, ele se move ao longo de uma superfície horizontal sem atrito e sobe um plano inclinado de $37,0^\circ$. a) Qual a velocidade do bloco enquanto ele desliza ao longo da superfície horizontal depois de abandonar a mola? b) Qual a distância máxima que ele atinge ao subir o plano inclinado até parar antes de voltar para a base do plano?



Exercícios Adicionais

Prova 2016 Diurno

Um bloco desliza em uma pista sem atrito até chegar a um trecho de comprimento $L=0,50$ m, que começa a uma altura $h=2,20$ m em uma rampa de ângulo $\theta=37^\circ$. Nesse trecho, o coeficiente de atrito cinético é 0,50. O bloco passa de ponto A com uma velocidade de $8,0$ m/s. Adote $g=10,0$ m/s².

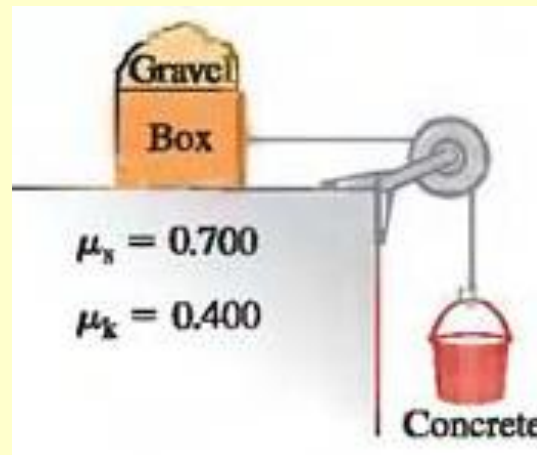


- a) Se o bloco pode chegar ao ponto B, onde o atrito acaba, qual a sua velocidade neste ponto?
- b) Qual deveria ser o comprimento L para que o bloco suba a rampa até parar na região onde há atrito?

Exercício 7.39:

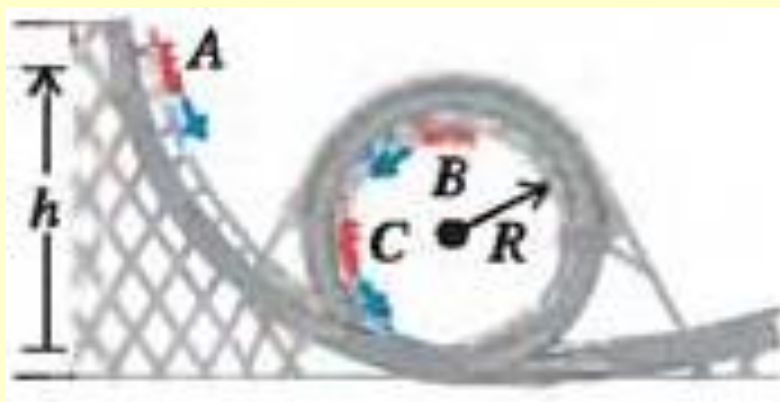
Em um canteiro de obras, um balde de concreto de 65 kg está suspenso por um cabo leve (porém forte), que passa sobre uma polia leve sem atrito e está conectado a uma caixa de 80,0 kg sobre um teto horizontal. O cabo puxa horizontalmente a caixa, e um saco de cascalho de 50,0 kg repousa sobre o topo da caixa. Os coeficientes de atrito entre a caixa e o teto são indicados.

- (a) Ache a força de atrito sobre o saco de cascalho e sobre a caixa.*
- (b) Subitamente, um operário apanha o saco de cascalho. Use a conservação de energia para determinar a velocidade do balde após ele ter descido 2,0 m partindo do repouso.*
- (Você pode conferir sua resposta solucionando este problema usando as leis de Newton.)*



Exercício 7.46:

Um carro em um parque de diversões se desloca sem atrito ao longo do trilho indicado na figura. Ele parte do repouso no ponto A situado a uma altura h acima da base do círculo. Considere o carro como uma partícula. a) Qual é o menor valor de h (em função de R) para que o carro atinja o topo do círculo (ponto B) sem cair? b) se $h = 3,50R$ e $R = 20,0\text{ m}$, calcule a velocidade, o componente radial da aceleração e o componente tangencial da aceleração dos passageiros quando o carro está no ponto C, que está na extremidade de um diâmetro horizontal. Use um diagrama aproximadamente em escala para mostrar esses componentes da aceleração.



Exercício 7.16:

Uma mola ideal de massa desprezível tem 12,0 cm de comprimento quando nada está preso a ela. Ao pendurarmos um peso de 3,15 kg nessa mola, seu comprimento passa a ser 13,40 cm. Para que armazene 10,0 J de energia potencial, qual deve ser o seu comprimento total? Suponha que a mola continue a obedecer a lei de Hooke.

Exercício 7.25:

Você foi solicitado para projetar uma mola que deve fornecer a um satélite de 1160 kg uma velocidade de 2,50 m/s em relação a uma estação espacial em órbita. Sua mola deve fornecer ao satélite uma aceleração máxima de 5,0 g. Você pode desprezar a massa da mola, a energia cinética do recuo da estação e variações da energia potencial gravitacional. a) Qual deve ser a constante da mola? b) Qual a distância que a mola deve ser comprimida?

Exercício 7.27:

Uma caixa de $10,0\text{ kg}$ é puxada por um cabo horizontal formando um círculo sobre uma superfície horizontal áspera, para a qual o coeficiente de atrito cinético é $0,250$. Calcule o trabalho realizado pelo o atrito durante uma volta circular completa, considerando o raio de (a) $2,0\text{ m}$ e (b) $4,0\text{ m}$. (c) Com base nos resultados obtidos, você afirmaria que o atrito é uma força conservativa ou não conservativa? Explique.

