Capítulo 4 - TRABALHO e ENERGIA

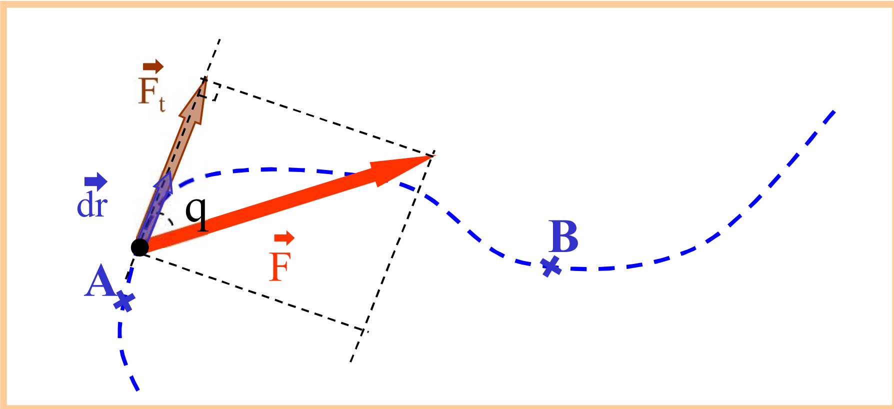
Trabalho

- Vida quotidiana
  - Sentido muito geral.
  - Qualquer forma de actividade que exija esforço
- Física
  - Sentido muito restrito.
  - É definido a partir de força e deslocamento.

O conceito de **trabalho** está associado ao de **energia:** quando um sistema realiza trabalho sobre outro, há uma transferência de energia de um para outro sistema.

Trabalho realizado por uma força

Uma partícula move-se ao longo de uma trajetória sob a ação de uma força $\vec{F}$.
Num intervalo de tempo muito curto, Δt, a partícula efetua um deslocamento $\Delta\vec{r}$.



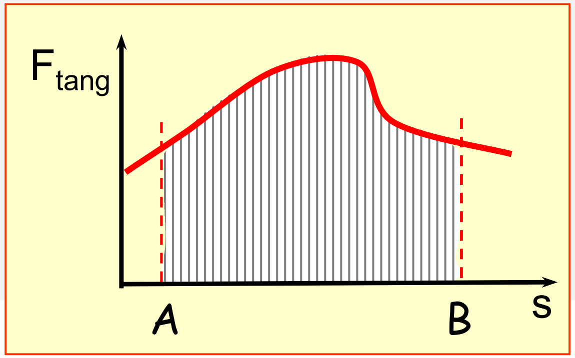
O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ quando o seu ponto de aplicação efetua um deslocamento $d\vec{r}$ é definido pelo produto escalar:

$$\boxed{dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F.ds.cos\theta = F_t.ds}$$

O **trabalho total** realizado sobre a partícula no trajeto **AB**, é a soma de todos os trabalhos infinitesimais realizados durante os sucessivos deslocamentos infinitesimais:

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B F_t \cdot ds$$

$\Leftrightarrow$



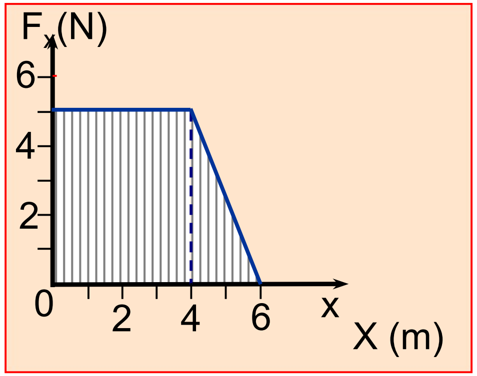
Acaba por ser igual à área debaixo da curva!

Unidade SI de trabalho: Newton × metro = Joule (J)

Trabalho realizado por uma força variável

Exercício 1

Uma força $\mathbf{F_x}$ varia com a posição como se mostra na figura. Calcule o trabalho realizado pela força sobre uma partícula quando esta se move desde x = 0 até x = 6 m.



A força, $\vec{F}$, é dada por:

$$\begin{cases} 0<x<4 \Rightarrow F=5\ N & \rightarrow \textbf{constante} \\ 4<x<6 \Rightarrow F=15-2{,}5x\ (N) & \rightarrow \textbf{variável} \end{cases}$$

O trabalho é então:

$$\begin{cases} W_{0\to4} = \int_0^4 5dx = 5\times4 = 20\ J \\ W_{4\to6} = \int_4^6 (15-2{,}5x)dx = \left[15x-1{,}25x^2\right]_4^6 = 5\ J \end{cases}$$

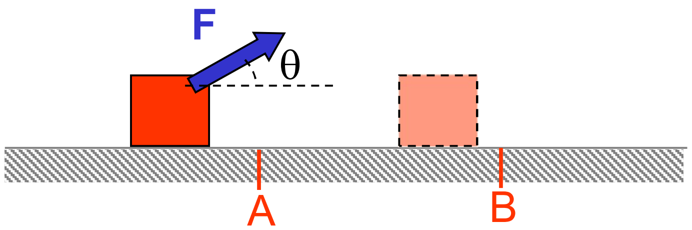
$$W_{Total} = W_{0\to6} = 25\ J$$

O trabalho pode também ser calculado pela área limitada pelos valores de F e os eixos x e y.

$$\begin{cases} \mathrm{W}_{0\to4} = 5\times4 = 20\ \mathrm{J} \\ \mathrm{W}_{4\to6} = 5.(6-4)/2 = 5\ \mathrm{J} \end{cases}$$

$$W_{Total} = W_{0\to6} = 25\ J$$

Trabalho realizado por uma força constante



$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B F_t \cdot ds = F \times \cos\theta \times \Delta s \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{W_{AB} = F \times \Delta s \times \cos\theta}$$

Se em vez de uma só força a atuar, várias forças (F_1, F_2..., F_n) estiverem a atuar, o **trabalho total** é a soma dos trabalhos parciais:

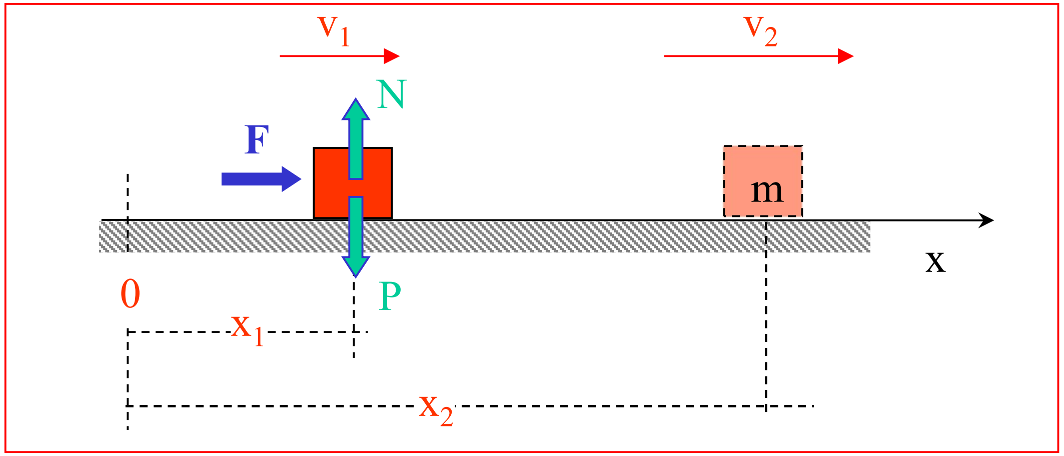
$$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots\ldots\ldots \vec{F}_n$$

$$W_{\text{total}} = \int_A^B \vec{F}_1 \cdot d\vec{s} + \int_A^B \vec{F}_2 \cdot d\vec{s} + \ldots + \int_A^B \vec{F}_n \cdot d\vec{s} = \int_A^B \vec{F}_{\text{resultante}} \cdot d\vec{s}$$

$$\mathrm{W}_{\text{total}} = \mathrm{W}_{\vec{\mathrm{F}}_1} + \mathrm{W}_{\vec{\mathrm{F}}_2} + \ldots + \mathrm{W}_{\vec{\mathrm{F}}_n} = \mathrm{W}_{\vec{\mathrm{F}}_{\text{resultante}}}$$

Energia cinética. Teorema do Trabalho/Energia

A figura mostra um objeto que se move sem atrito numa superfície horizontal, sob a ação de uma força **F.**



Se a força **F** atua no objeto, este vai adquirir aceleração (2ª lei de Newton), ou seja a sua velocidade vai ser alterada.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F = ma \\ N - P = 0 \end{cases}$$

Trabalho total realizado entre x_1 e x_2:

$$W_{1\to 2} = \int_{x_1}^{x_2} F dx = m\int_{x_1}^{x_2} a dx = m\int_{x_1}^{x_2} \frac{dv}{dt}dx = m\int_{v_1}^{v_2} v dv =$$

$$= m\left[\frac{v^2}{2}\right]_{v_1}^{v_2} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = E_{c2} - E_{c1} = \Delta E_c$$

Energia cinética (2)

Energia cinética (1)

Teorema do trabalho/energia:

O trabalho total (de todas as forças) exercido sobre um objeto é igual à variação de energia cinética do objeto.

$$\boxed{W_{A\to B}^{total}} = E_B^{cinética} - E_A^{cinética} = \Delta E_c$$

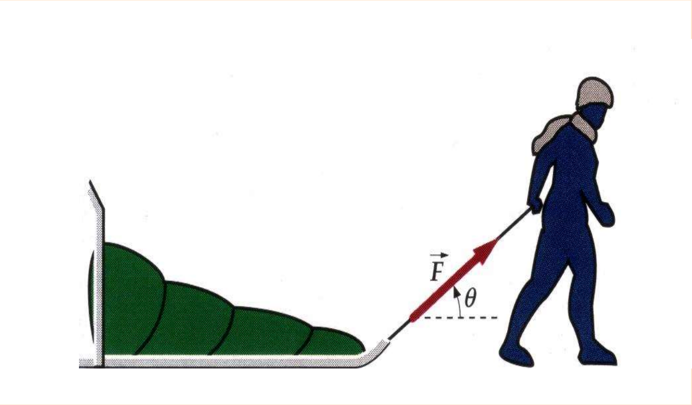
Trabalho realizado pela resultante das forças que atuam no corpo.

Exercício 2:

Um esquimó puxa um trenó de massa 80 kg ao longo de 5 m com uma força de 180 N, numa direção de 20º com a horizontal.

a) Qual o trabalho realizado pelo esquimó?

b) Qual a velocidade que o trenó terá ao fim de se deslocar 5 m a partir do repouso?



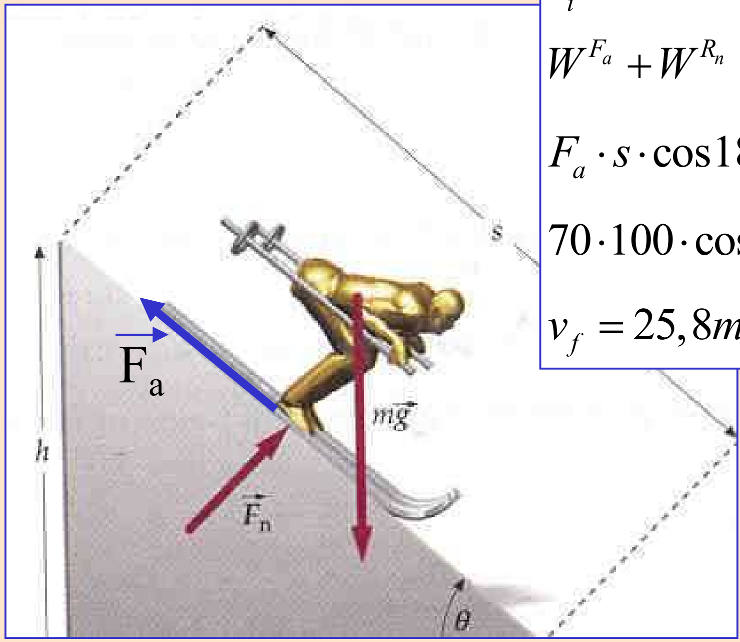
a) $W_F = 180 . 5 . \cos 20º = 845{,}7 \text{ J}$

b) $W^{total} = \Delta E_c = E_{cf} - E_{ci}$

$$845{,}7 \text{ J} = \frac{1}{2} mv^2 - 0 \quad \rightarrow \quad v = 4{,}6\ m/s$$

Exercício 3:

Uma esquiadora com massa de 58 kg desce uma pista de esqui (inclinação 25º). Uma força de atrito cinético com o módulo de 70 N opõe-se ao seu movimento. Desprezando a resistência do ar, e sabendo que no cimo da pista a velocidade da esquiadora é 3,6 m/s, calcule a velocidade da esquiadora depois de percorrer 100 m.



Resolução

$$\sum_i W^{F_i} = \Delta E_c$$

$$W^{F_a} + W^{R_n} + W^{P} = \tfrac{1}{2} m \left(v_f^2 - v_i^2 \right)$$

$$F_a \cdot s \cdot \cos 180^\circ + R_n \cdot s \cdot \cos 90^\circ + P \cdot s \cdot \cos\left(90^\circ - 25^\circ\right) = \tfrac{1}{2} 58 \left(v_f^2 - 3{,}6^2 \right)$$

$$70 \cdot 100 \cdot \cos 180^\circ + 0 + 58 \cdot 9{,}8 \cdot 100 \cdot \cos\left(65^\circ\right) = \tfrac{1}{2} 58 \left(v_f^2 - 3{,}6^2 \right)$$

$$v_f = 25{,}8 m/s$$

$$W = F \cdot d \cdot \cos\left(F, d\right)$$

Potência e rendimento

A potência traduz o trabalho que é realizado por unidade de tempo.

- Se a quantidade de trabalho, **W,** é realizado no intervalo de tempo, Δ**t**, a **potência média**, **P$_{med}$**, é definida como:

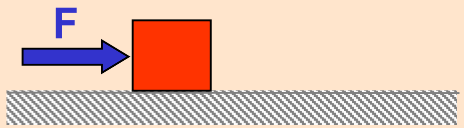
$$\boxed{P_{med} = \frac{W}{\Delta t}}$$

- Se o trabalho **W** é expresso como função do tempo, a **potência instantânea**, **P**, desenvolvida em qualquer instante é definida como:

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

Unidade SI de potência: Watt (W)

Se o trabalho for realizado por uma força constante:



$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} \Rightarrow P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\boxed{\boldsymbol{P = \vec{F} \cdot \vec{v}}}$$

Potência Instantânea

• Eficiência mecânica ou rendimento

Chama-se eficiência ou rendimento (h) à razão entre o trabalho realizado por uma máquina e a energia que é necessário fornecer à máquina para que ela realize esse trabalho.

$$\boxed{\eta = \frac{\text{Trabalho realizado pela máquina}}{\text{Energia fornecida à máquina}}}$$

$\boxed{\eta < 1}$, porque no funcionamento da máquina há sempre dissipação de energia. As forças de atrito realizam trabalho que é dissipado sob a forma de energia térmica.

Exercício 4

Um automóvel de 1500 kg acelera de 0 a 96 km/h em 6,5 s.

a) Qual é a potência mínima do motor ?

b) Quanto tempo demorará a acelerar desde 80 km/h até 112 km/h ?

96 km/h = 26,67 m/s; 80 km/h = 22,22 m/s; 112 km/h = 31,11 m/s

a)
$$W = E_c^{final} - E_c^{inicial} = \frac{1}{2}\times 1500\times\left(26{,}67^2 - 0\right) = 5{,}33\times 10^5 \ J$$

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{5{,}33\times 10^5 \quad J}{6{,}5 \quad s} \Leftrightarrow P = 82{,}1 \quad kW = 110 \quad CV$$

Nota: 1 CV=0,75 kW

b)
$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{E_c^{final} - E_c^{inicial}}{\Delta t} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \Delta t = \frac{1/2\times 1500\times\left(31{,}11^2 - 22{,}22^2\right)}{82{,}1\times 10^3} = 4{,}33 \quad s$$

• Energia Potencial

•Vimos que o trabalho total realizado sobre uma partícula é igual à variação da energia cinética da partícula.

•Mas muitas vezes estamos interessados, não numa partícula, mas no que sucede quando se realiza trabalho sobre um sistema de partículas.

•Por vezes o trabalho realizado pelas forças sobre um sistema não aumenta a energia cinética do sistema, mas a energia fornecida é armazenada na forma de **energia potencial.**

•A energia potencial de um sistema representa a capacidade de esse sistema realizar trabalho por causa da sua configuração.

• Energia Potencial Gravítica

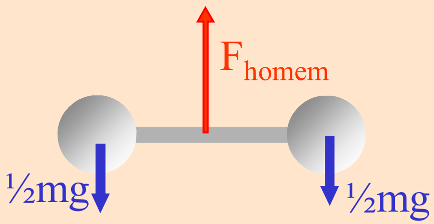
Exemplo:

Um homem de massa M levanta um haltere de massa m, mantendo a velocidade constante, durante o levantamento.

Observação:

O homem realiza trabalho, mas a energia cinética do haltere não aumenta. Porém, se o homem largar o haltere, este "ganha" energia cinética.

• Considerando apenas as forças aplicadas no haltere:



$$\text{Se } v = \text{c}^{\text{te}} \Rightarrow \vec{a} = 0 \Leftrightarrow \sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_{\text{homem}} + \vec{P}_{\text{haltere}} = 0,$$

$$\text{Se } \sum \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow W_{total} = 0 \Rightarrow \Delta E_{Cinética} = 0$$

.....está tudo bem!

• Considerando o sistema Terra - haltere:

O homem realiza trabalho sobre o sistema, então o trabalho realizado pelo homem tem que ser igual à variação de energia do sistema. Neste caso o sistema não "ganha" energia cinética "ganha" energia potencial.

$$\Delta E_{\text{sistema}} = W_{\text{forças exteriores}}$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = F_{\text{homem}} \times \Delta s$$

$$\text{mas como } \vec{a}_{\text{haltere}} = 0,\ \sum \vec{F}_{\text{haltere}} = 0 \Rightarrow -\frac{1}{2}mg - \frac{1}{2}mg + F_{\text{homem}} = 0$$

$$\begin{cases} F_{\text{homem}} = mg \\ \Delta s = h \end{cases} \Rightarrow \Delta E_{\text{sistema}} = \boxed{mgh}$$

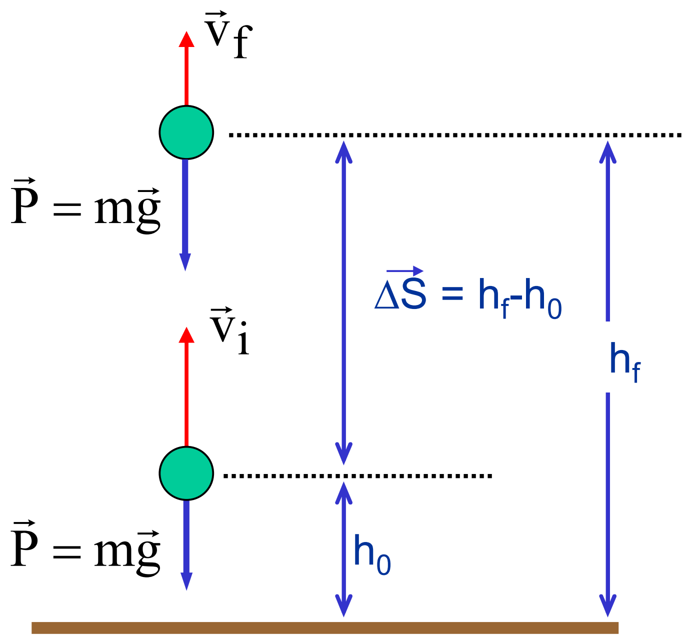
$$\boxed{E_{pg} = mgh}$$

Energia potencial gravítica ⇔ Energia "armazenada" no sistema

A energia potencial gravítica (E_{pg}= mgh) de uma partícula com massa **m** é a energia que o objeto possui devido à sua posição em relação à Terra. A definição de energia potencial gravítica implica que se escolha um posição de referência para a qual a energia potencial é nula.

Exemplo:

Consideremos o movimento de um objeto de massa **m** muito próximo da superfície terrestre, onde a aceleração gravítica, **g**, é aproximadamente constante. Qual será o trabalho realizado pela força gravítica quando o objeto sobe ?



$$W_{peso} = -m\,g\,(h_f - h_o)$$

$$W_{peso} = -mg \times \Delta h \;\Leftrightarrow\; W_{peso} = -\Delta E_{potencial}$$

Quando o corpo sobe:

⇒ A força gravítica realiza um trabalho negativo

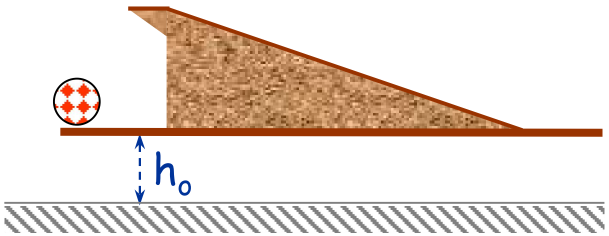
⇒ O sistema "ganha" energia potencial

⇒ para que o sistema ganhe energia, tem que haver uma força exterior a realizar trabalho sobre o sistema

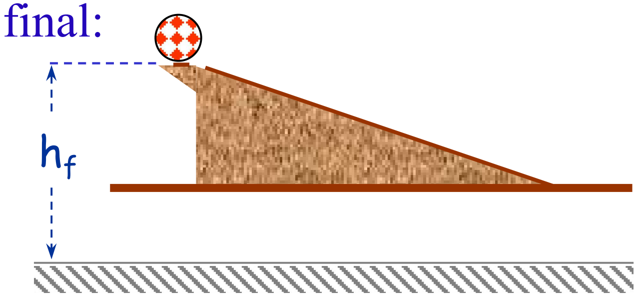
Exemplo

Consideremos o movimento de um objeto de massa m que se move ao longo de diferentes trajetórias. Qual será o trabalho realizado pela força gravítica nos diferentes casos ?

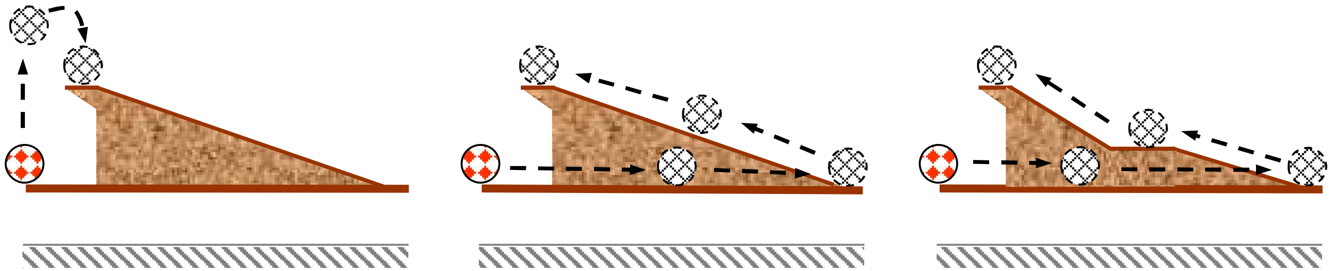
Situação inicial:



Situação final:



Três percursos diferentes:



(1) (2) (3)

Em todos os trajectos o trabalho realizado pela força gravítica é igual.

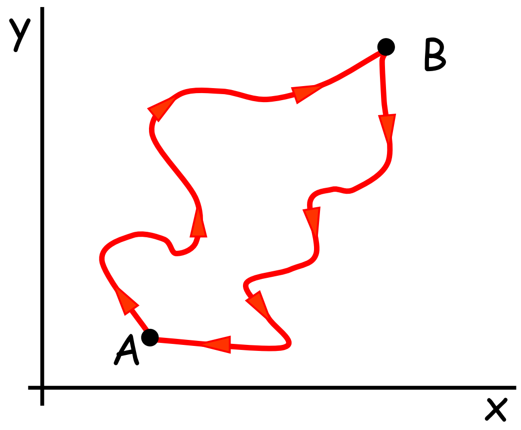
O trabalho realizado pela força gravítica é independente do percurso.

Forças conservativas

Se o trabalho realizado por uma força para mover um objeto entre duas posições é independente da trajetória do movimento, a força é chamada conservativa.

exemplos:

- força gravítica,
- força elástica
- força elétrica

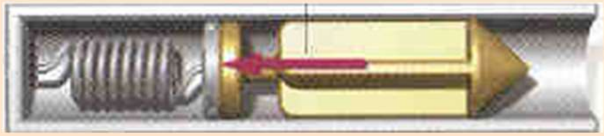


Se a força é conservativa:

$$W = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F} \cdot d\vec{r} = -\int_{E_p(A)}^{E_p(B)} dE_p = -[E_p(B) - E_p(A)] = -\Delta E_p$$

Energia Potencial Elástica

A figura mostra um sistema que consiste numa pistola de dardos e um dardo:



A **mola** é comprimida quando o dardo é empurrado para dentro do cano da pistola. O trabalho realizado pelo utilizador na deformação de uma mola é transformado em energia potencial elástica. Quando a mola é libertada e regressa à sua posição de equilíbrio, tem a capacidade de realizar trabalho.

Geralmente as molas obedecem à lei de Hooke

$$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$$

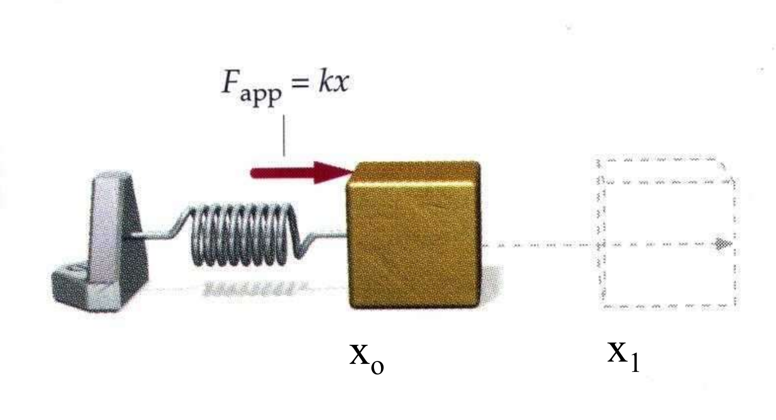
força que dá origem á deformação

constante da mola

deslocamento da mola em relação à sua posição de equilíbrio

Exemplo:

Qual o trabalho realizado pela mola quando faz deslocar o bloco da posição de equilíbrio x_0 para a posição x_1 ?



O trabalho da força elástica será igual a:

$$W_{mola} = \int_{x_o}^{x_1} \vec{F}_{mola} \cdot dx = \int_{x_o}^{x_1} -k \cdot x \; dx \Leftrightarrow$$

$$W_{mola} = -k\left[\frac{1}{2}\cdot x^2\right]_{x_o}^{x_1}$$

$$W_{mola} = \frac{1}{2}k x_0^2 - \frac{1}{2}kx_1^2$$

Se $x_0 = 0$ então $\frac{1}{2}kx_o^2 = 0$

Energia Potencial Elástica

A energia potencial elástica de uma mola é igual ao trabalho que essa mola realizaria regressando à sua posição de equilíbrio:

$$\boxed{E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2}$$

onde k é a constante da mola e x a sua deformação.

• Conservação de Energia Mecânica

Se num sistema, estiver uma partícula e sobre ela atuar só uma força conservativa:

trabalho realizado por uma força conservativa interna ⟺ - variação da $(E_{potencial})_{sistema}$

(pela definição de $E_{potencial}$)

⟺ (Teorema Trabalho/Energia)

variação da $(E_{cinética})_{sistema}$

$$\begin{cases} W_{f_{conservativa}} = -\Delta E_{potencial} \\ W_{f_{conservativa}} = \Delta E_{cinética} \end{cases} \Rightarrow -\Delta E_p = \Delta E_c$$

$$\Delta E_p + \Delta E_c = 0 \Leftrightarrow \Delta\left(E_p + E_c\right) = 0$$

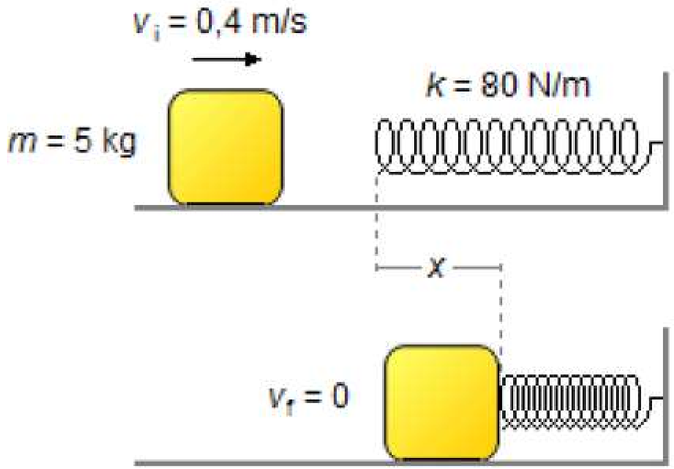
$$\Delta E_{mecânica} = 0 \Rightarrow E_{mecânica} = \text{constante}$$

$$E_{mecânica_{inicial}} = E_{mecânica_{final}}$$

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

Exercício 5

Um bloco de massa igual a 5 kg é lançado com velocidade constante de 0,4 m/s e choca com uma mola de constante elástica 80 N/m. Desprezando o atrito entre o bloco e a superfície determine a máxima compressão sofrida pela mola.



Só forças conservativas ➡ $\Delta E_{\text{mecânica}} = 0$

$E_{\text{mec inicial}} = E_{\text{mec final}}$ $E_{\text{c bloco}} = E_{\text{p mola}}$

$$\frac{1}{2} m v_i^{\,2} = \frac{1}{2} k x^2$$

$$\frac{1}{2} 5.0{,}4^2 = \frac{1}{2} 80 x^2$$

$x = 0{,}1$ m

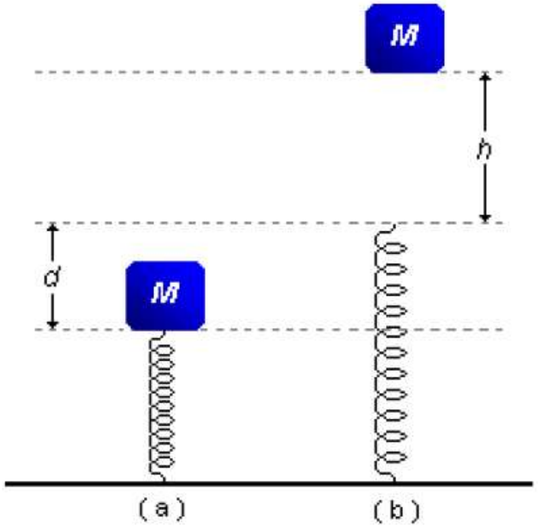
Exercício 6

Na figura ao lado, a mola é ideal; a situação (a) é de equilíbrio estável do sistema massa-mola, onde M=0,5 kg e d= 0,049 m e a situação (b) é a da mola em repouso (h= 0,5 m). Abandonando-se o bloco M como indica a situação (b); determinar:

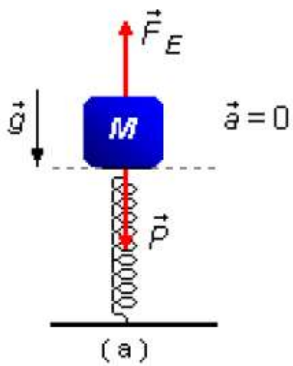
a) a constante elástica da mola;

b) a velocidade do bloco quando atinge a mola;

c) a velocidade máxima atingida pelo bloco M.



a)



$$\sum \vec{F} = 0$$

$$F_{el} - F_g = 0$$

$$kx = Mg$$

$$k.0{,}049 = 0{,}5.9{,}8$$

$$k = 100\ N/m$$

b)

velocidade do bloco quando atinge a mola

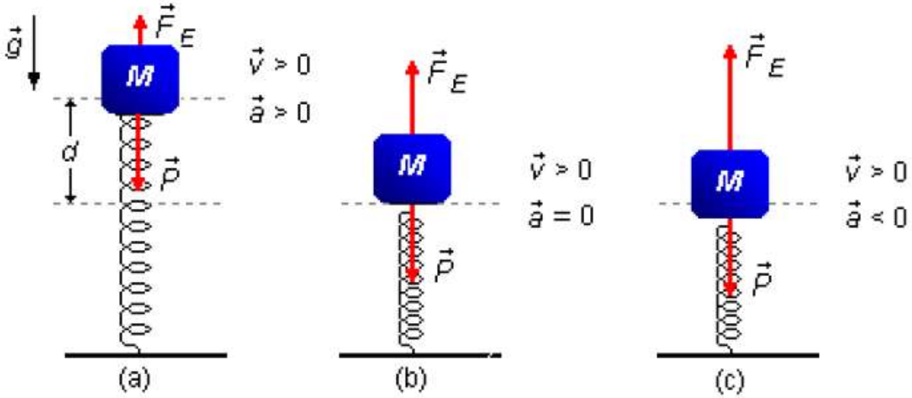
$$E_{mec\ final} = E_{mec\ inicial}$$

$$E_{c\ bloco} = E_{p\ i}$$

$$\frac{1}{2}Mv^2 = Mgh$$

$$v = \sqrt{2gh} = 3{,}13\ m/s$$

c)



(a) De início, F_g é maior do que F_{el} e a aceleração é para baixo.
(b) A F_{el} continua a aumentar até igualar a F_g (a=0).
(c) O bloco continua descer e a partir daí a F_{el} é já superior à F_g e o bloco passa a ter um movimento retardado (aceleração para cima).
A velocidade será máxima quando a aceleração é nula, ou seja quando a força resultante sobre o bloco for 0 (em x=d).

$$E_{mec\,(x=0)} = E_{mec\,(x=d)}$$

$$E_{pg\,i} + E_{c\,i} = E_{p\,mola} + E_{c\,f}$$

$$Mgd + \frac{1}{2}Mv_i^{\,2} = \frac{1}{2}kd^2 + \frac{1}{2}Mv_{max}^{\,2}$$

$$0{,}5.9{,}8.0{,}049 + \frac{1}{2}0{,}5.3{,}13^2 = \frac{1}{2}100.0{,}049^2 + \frac{1}{2}0{,}5.v_{max}^{\,2}$$

$$v_{max} = 3{,}21\,m/s$$

Forças não conservativas

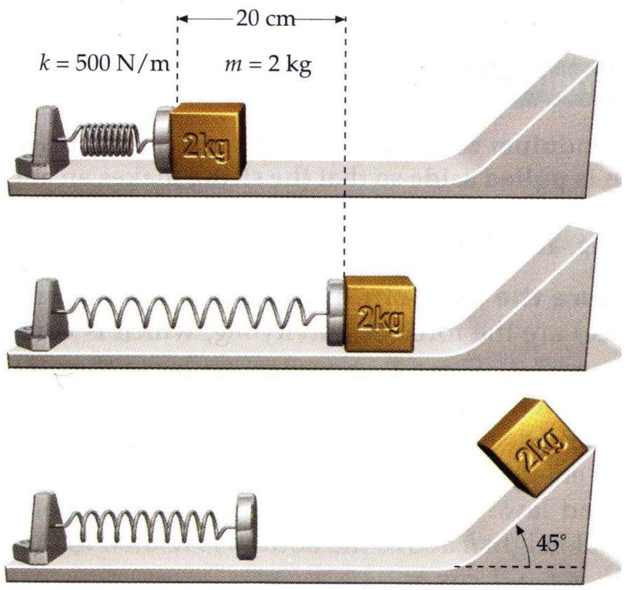
Uma força é não conservativa quando o trabalho realizado depende da trajetória do movimento.

Exemplo: força de atrito cinético

O sistema da figura é utilizado para lançar blocos ao longo de um superfície com atrito.

Relacione o trabalho realizado pelo atrito com a variação da energia mecânica.

Neste exemplos temos três tipos de forças: elástica, gravítica, atrito



O trabalho realizado será:

$$W_{total} = W_{fg} + W_{fe} + W_{fa} = -\left(mgh_f - mgh_i\right) - \left(\frac{1}{2}kx_f^2 - \frac{1}{2}kx_i^2\right) + W_{fa}$$

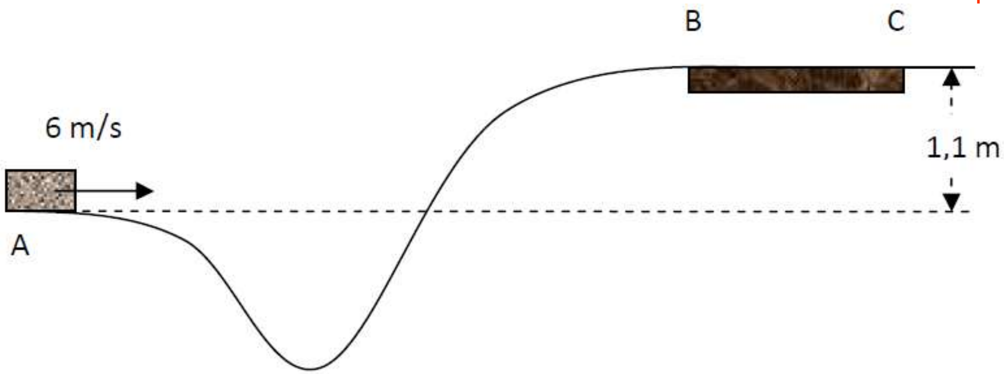
Usando o teorema do Trabalho / Energia podemos escrever:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = -\left(mgh_f - mgh_i\right) - \frac{1}{2}k\left(x_f^2 - x_i^2\right) + W_{fa}$$

Ou seja: $W_{Fa} = \left(E_c^f + E_{pg}^f + E_{pe}^f\right) - \left(E_c^i + E_{pg}^i + E_{pe}^i\right) = E_{mecânica}^f - E_{mecânica}^i$

Exercício 7

Um bloco, com uma velocidade inicial de 6 m/s, desliza ao longo da pista da figura abaixo, sem atrito até ao ponto mais alto, B. A partir desse ponto a pista passa a horizontal, com atrito de coeficiente cinético 0,6. O bloco imobiliza-se no ponto C. Calcule a distância entre B e C.



$$W_{Fa} = \Delta E_{mec} = E^{f}_{mec} - E^{i}_{mec}$$

$$E^{i}_{mec} = \frac{1}{2} m v_0^{\,2}$$

$$W_{Fa} = F_a d \cos 180^{o} = -\mu R_N d = -\mu \, mg \, d$$

$$E^{f}_{mec} = mgh$$

$$-0{,}6\,.m\,.9{,}8d = m.9{,}8.1{,}1 - \frac{1}{2} m.6^{2}$$

$$d = 1{,}23 \text{ m}$$

Se não existirem outro tipo de forças para além da gravítica e da elástica, teremos que:

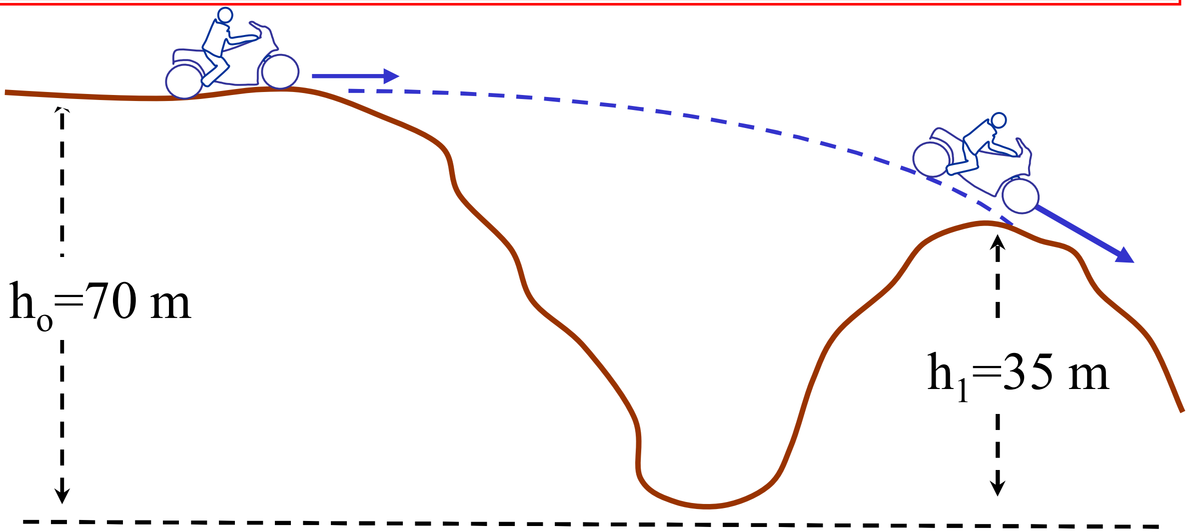
$$\Delta E = 0 \Rightarrow \quad E_{mec} = \text{constante}$$

Princípio da conservação da energia mecânica:

Quando um objeto se desloca a sua energia mecânica total permanece constante desde que não haja trabalho realizado pelas outras forças que atuam no objeto, para além das forças gravítica e elástica.

Exercício 8

Um motociclista com uma velocidade de 100 km/h salta um vale descrevendo a trajetória mostrada. Desprezando a resistência do ar, calcule o módulo da velocidade da moto quando esta atinge o solo em h_1. (R: 38,2 m/s)

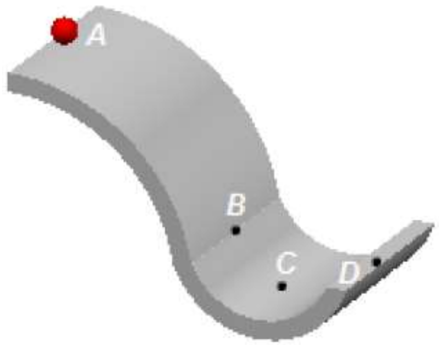


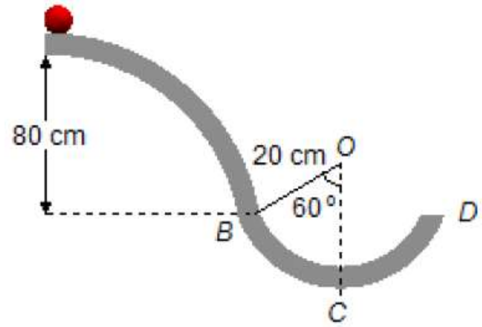
$$E_{mec\,(0)} = E_{mec\,(1)} \quad \Leftrightarrow \quad E_{pg\,0} + E_{c\,0} = E_{pg\,1} + E_{c\,1}$$

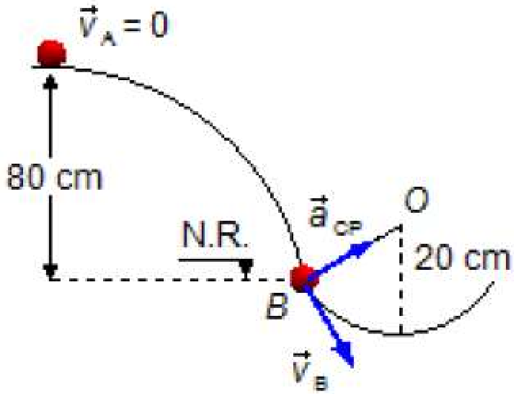
$$Mgh_0 + \frac{1}{2}Mv_0^{\,2} = Mgh_1 + \frac{1}{2}Mv_1^{\,2}$$

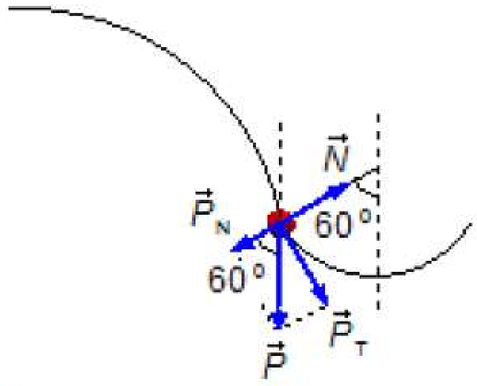
Exercício 9

Uma pequena esfera, com uma massa de 10 g, é posta a deslizar sobre uma superfície lisa e sem atrito e descreve a curva ABCD situada num plano vertical. O trecho BCD é um arco de circunferência de centro O e raio 0,20 m. A esfera é abandonada no ponto A a partir do repouso. Calcule a intensidade da reação normal à superfície que atua sobre a esfera ao passar pelo ponto B situado 80 cm abaixo de A e tal que o ângulo formado pelo segmento BO com a vertical seja 60º.









$$E_{mec\,A} = E_{mec\,B}$$

$$mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^{\,2}$$

$$v_B = \sqrt{2gh_A} = 3{,}96\ m/s$$

$$\sum F_n = ma_n$$

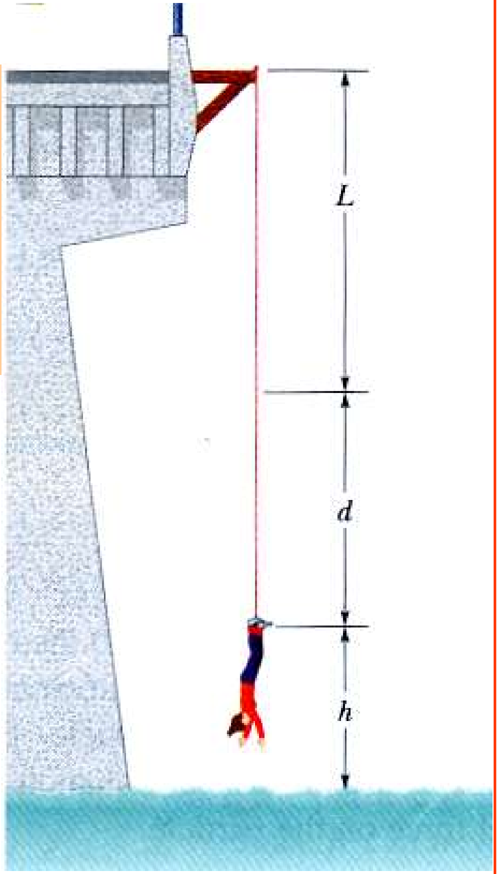
$$N - P_N = \frac{m v_B^{\,2}}{R}$$

$$P_N = mg\cos 60^{\circ}$$

$$N = 0{,}83\ \mathrm{N}$$

Exercício 10

Um jovem com 61 kg faz um bungee-jump com uma corda elástica que tem um comprimento L=25 m, quando em equilíbrio, de uma altura de 45 m acima da linha de água de um rio. Sabendo que a constante elástica da corda é de 160 N/m, calcule a altura ***h*** acima do nível da água que o jovem para.



Teorema Trabalho / Energia

$$\sum_i W^{F_i} = \Delta E_c$$

$$W^{F_k} + W^P = \tfrac{1}{2} m\left(v_f^2 - v_i^2\right)$$

$$-\tfrac{1}{2} k\left(x_f^2 - x_i^2\right) + P\cdot(L+d)\cdot\cos 0° = \tfrac{1}{2}\cdot 61\cdot(0-0)$$

$$-\tfrac{1}{2}160\left(d^2 - 0\right) + mg\,(L+d) = 0$$

$$-80d^2 + 61\cdot 9{,}8\,(25+d) = 0$$

$$d = 17{,}9 \text{ m} \quad\Rightarrow\quad h = 45-(L+d) = 45-(25+17{,}9) = 2{,}1 \text{ m}$$

Resolução ou

Conservação da Energia Mecânica

$$E_{mecânica_i} = E_{mecânica_f}$$

$$E_{c_i} + E_{pg_i} + E_{pk_i} = E_{c_f} + E_{pg_f} + E_{pk_f}$$

$$\tfrac{1}{2} m v_i^2 + mgh_i\,(L+d+h) + \tfrac{1}{2} k x_i^2 = \tfrac{1}{2} m v_f^2 + mgh_f + \tfrac{1}{2} k x_f^2$$

$$\tfrac{1}{2} m\cdot 0 + mg\,(L+d+h) + \tfrac{1}{2} k\cdot 0 = \tfrac{1}{2} m\cdot 0 + mgh + \tfrac{1}{2} k d^2$$

$$61\cdot 9{,}8\,(25+d) = \tfrac{1}{2}160\cdot d^2$$

$$d = 17{,}9 \text{ m} \quad\Rightarrow\quad h = 45-(L+d) = 45-(25+17{,}9) = 2{,}1 \text{ m}$$