

Energia & Trabalho



Ignez Caracelli
ignez@df.ufscar.br



São Carlos, 19 de agosto de 2019.



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignez
Caracelli*

1

Trabalho



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignez
Caracelli*

2

Introdução

Um dos mais importantes da física é o de **energia**.

Universo → combinação de **matéria** e **energia**.

matéria → formada de átomos (tabela periódica)

→ constitui 5% do universo!!!!

→ desconhecemos 95% do universo!!!!



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

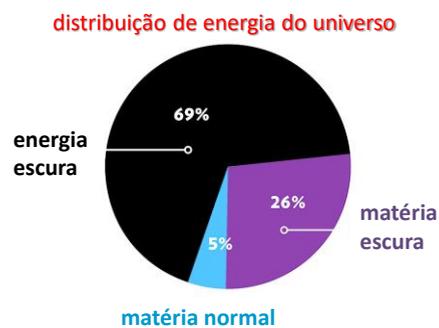
3

Introdução

matéria → formada de átomos (tabela periódica)

→ constitui 5% do universo!!!!

→ desconhecemos 95% do universo!!!!



[What the Universe is Made of](#)



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

4

Introdução

Um dos mais importantes da física é o de **energia**.

Universo → combinação de **matéria** e **energia**.

A **energia** funciona como uma espécie de moeda para realizarmos processos.



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

5

Trabalho

a aplicação de uma **força** \vec{F} sobre um corpo:

⇒ provoca **deslocamento** ⇒ realizamos **trabalho**
 provoca $\Delta\vec{S}$ → realizamos **W**

⇒ não provoca **deslocamento** ⇒ não realizamos **trabalho**
não provoca $\Delta\vec{S}$ → não realizamos **W**



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

6

Trabalho

Para realização de trabalho, precisamos:

1a. condição: uma **força aplicada \vec{F}** sobre o corpo;

2a. condição: o **movimento do corpo** produzido pela **força aplicada**.



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

7

Trabalho

do ponto de vista da física, o rapaz realizou trabalho mecânico?

barra massa m
 atração gravitacional
força peso P

Para que haja trabalho:

1a. condição: \vec{F} (P) está satisfeita,

2a. condição: aplicação de \vec{F} não
 resulta em **deslocamento**



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

8

Trabalho

o rapaz pode realizar trabalho?

1a. condição: F (P) está satisfeita,

2a. condição: aplicação de F não
resulta em **deslocamento**

se o rapaz estivesse

levantando ou abaixando a barra



Trabalho

→ se há uma força constante aplicada \vec{F} sobre um corpo

→ a aplicação da **força \vec{F}** resulta em um **deslocamento $\Delta\vec{S}$**

→ **trabalho = força \times deslocamento**

$$W = \vec{F} \times \Delta\vec{S}$$

Trabalho

caso 1:

a força \vec{F} → deslocamento x_1 ,



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

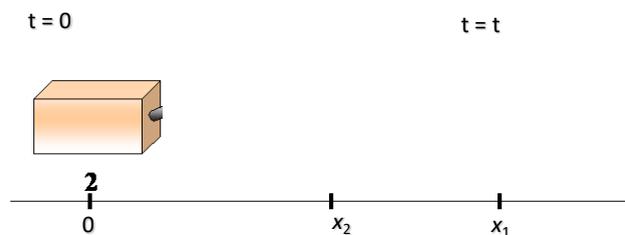
Íguez
Caracelli

11

Trabalho

caso 2:

a mesma \vec{F} → deslocamento x_2



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

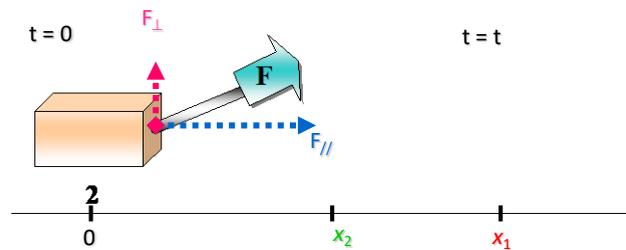
Íguez
Caracelli

12

Trabalho

caso 2:

a mesma \vec{F} → deslocamento x_2



Trabalho

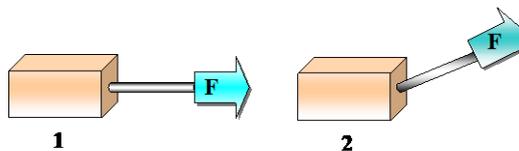
caso 2:

$x_2 < x_1$,

somente uma parte da força \vec{F} será aproveitada

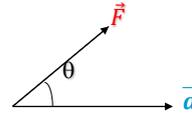
$\vec{F} = \text{componente } // + \text{componente } \perp = F_{//} + F_{\perp}$

somente $F_{//}$ será útil para provocar o x_2 .



Trabalho

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \text{ (produto escalar)}$$



produto escalar = **vetor** × **vetor** × cos θ

θ (ângulo entre os vetores)

trabalho → grandeza escalar

força e **deslocamento** → grandezas vetoriais

$$W = F \times d \times \cos \theta$$



Física

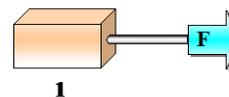
096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

15

Trabalho

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \text{ (produto escalar)}$$



$$W = F \times d \times \cos \theta$$

- Se **F** // deslocamento → $\theta = 0^\circ$,
- $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$
- **W** = **F** × **d** (retornamos à equação anterior).



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

16

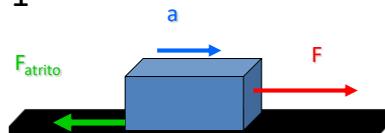
Trabalho

força aplicada antiparalela

(direção oposta ao deslocamento) $\rightarrow \theta = 180^\circ$

$$\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$$

$$W = -F \times d$$



caso da força de atrito, que se opõe ao movimento

trabalho negativo \rightarrow trabalho de resistência



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

17

Unidade de Trabalho

A unidade de **trabalho** é igual à unidade de **força** (N) \times unidade de **deslocamento** (m).

$$[W] = [N] \times [m] = \text{joule}, \text{ e representa-se J.}$$

Quando se exerce **força de 1 N**
ao longo de uma **distância de 1 m**,
realiza-se **1 J de trabalho**.



Física

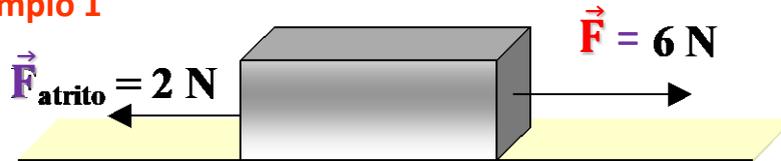
096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

18

Trabalho

Exemplo 1



que forças atuam sobre o corpo ?

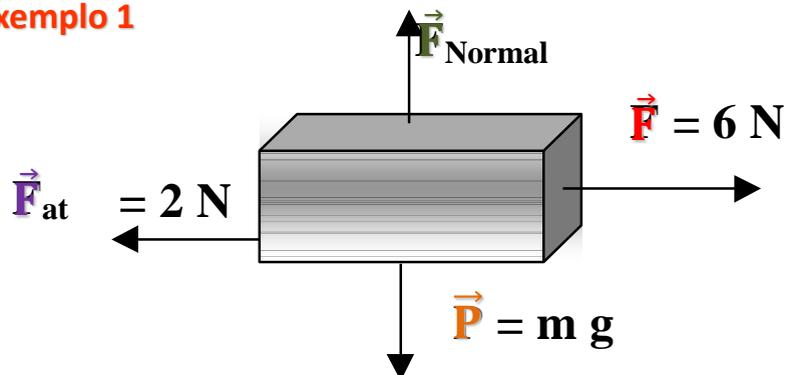
para um deslocamento de 1 m,

qual o trabalho realizado por cada uma das forças ?

(vamos provocar deslocamento na direção dos $x > 0$)

Trabalho

Exemplo 1



Trabalho

Exemplo 1

força peso \vec{P}

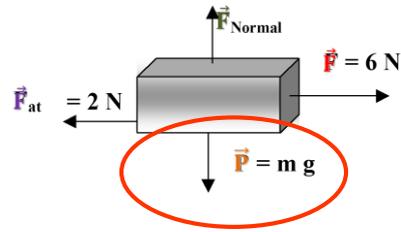
perpendicular ao deslocamento,

$$\theta = 90^\circ$$

$$\cos \theta = \cos 90^\circ = 0$$

$$W_{\text{Peso}} = P \times d \times \cos \theta$$

$$W_{\text{Peso}} = P \times d \times \cos 90^\circ = 0$$



Trabalho

Exemplo 1

força normal \vec{N}

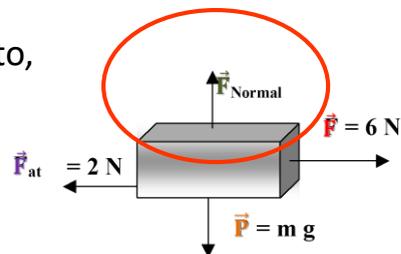
perpendicular ao deslocamento,

$$\theta = 90^\circ$$

$$\cos \theta = \cos 90^\circ = 0$$

$$W_{\text{normal}} = N \times d \times \cos \theta$$

$$W_{\text{normal}} = N \times d \times \cos 90^\circ = 0$$



Trabalho

Exemplo 1

$$\vec{F} = 6 \text{ N},$$

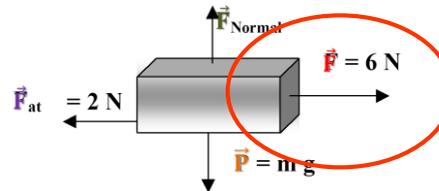
$$\theta = 0^\circ$$

$$\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$$

$$W_F = F \times d \times \cos \theta$$

$$W_F = 6 \text{ N} \times 1 \text{ m} \times 1$$

$$W_F = 6 \text{ J}$$



Trabalho

Exemplo 1

força de atrito \vec{F}_{at}

$$\vec{F}_{\text{at}} = 2 \text{ N}$$

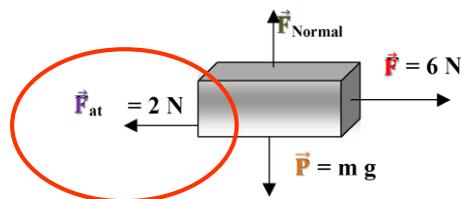
$$\theta = 180^\circ$$

$$\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$$

$$W_{\text{atrito}} = F_{\text{at}} \times d \times \cos \theta$$

$$W_{\text{atrito}} = 2 \text{ N} \times 1 \text{ m} \times (-1)$$

$$W_{\text{atrito}} = -2 \text{ J}$$



Trabalho

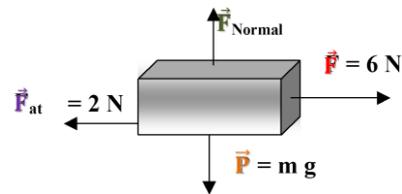
Exemplo 1

O trabalho total realizado sobre o bloco será

$$W_{\text{total}} = W_{\text{peso}} + W_{\text{normal}} + W_{\text{F}} + W_{\text{atrito}}$$

$$W_{\text{total}} = 0 + 0 + 6 \text{ J} + (-2 \text{ J})$$

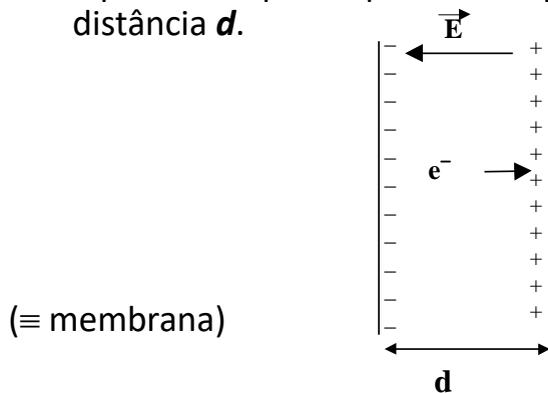
$$W_{\text{total}} = 4 \text{ J}$$



Trabalho

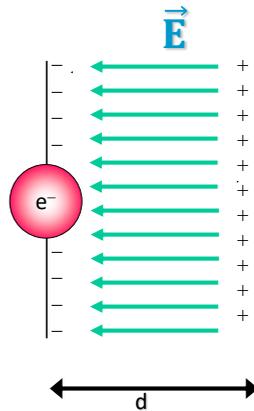
Exemplo 2

um capacitor de placas paralelas separadas por uma distância d .



Trabalho

Exemplo 2



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

27

Trabalho

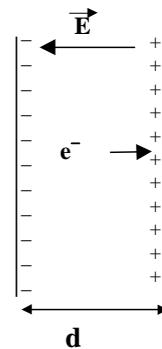
Exemplo 2

Qual o W realizado pela $F_{\text{elétrica}}$ que age sobre o e^- ?

$$\vec{F}_{\text{elétrica}} = q \vec{E}$$

q carga do elétron

\vec{E} campo elétrico que aparece entre as placas.



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

28

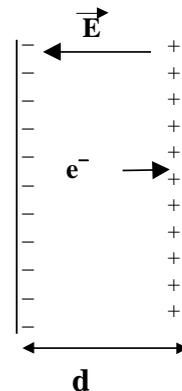
Trabalho

Exemplo 2

$$\vec{F}_{\text{elétrica}} = q \vec{E} \rightarrow \vec{F} = (-e) \vec{E} \rightarrow F < 0$$

$F < 0$ *força de atração*

o elétron (carga negativa)
é atraído pela placa positiva



Trabalho

Exemplo 2

Se a partícula fosse um próton

$$\vec{F}_{\text{elétrica}} = q \vec{E} \rightarrow \vec{F} = (+e) \vec{E} \rightarrow F > 0$$

o próton (carga positiva)
é repelido pela placa positiva

$F > 0$ *força de repulsão*

Trabalho

Exemplo 2

Qual o trabalho realizado pela $F_{\text{elétrica}}$ que age sobre o e^- ?

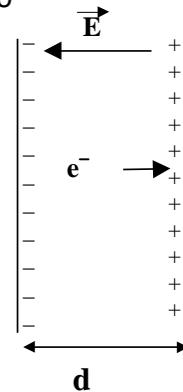
$$W_{F_{\text{elétrica}}} = F_{\text{elétrica}} \times d$$

$$W_{F_{\text{elétrica}}} = -eE \times d = -eEd$$

$$W_{F_{\text{elétrica}}} = -eEd$$

$W < 0 \rightarrow$ trabalho realizado **pelo** sistema
(não há interferências externas)

$W > 0 \rightarrow$ trabalho realizado **sobre** sistema
(há interferências externas)



Potência

A definição de **trabalho** não considera o **tempo** em que a **força foi aplicada**

Calculando o **trabalho realizado** em um dado intervalo de tempo Δt podemos comparar capacidades de trabalho.

Potência

Exemplo: em dois processos,



qual consegue realizar **mais trabalho** em menos tempo,



ou em um **dado intervalo de tempo**, qual processo realiza **mais trabalho**.

grandeza **potência** → relaciona o **W** realizado em um dado Δt



Potência

$$P = \text{potência} = \frac{\text{trabalho realizado}}{\text{intervalo de tempo}}$$

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

A unidade de **potência** é

$$[P] = \frac{[W]}{[\Delta t]} = \frac{[J]}{[s]} = 1 \text{ watt} = 1 \text{ W}$$



Energia Cinética

Consideremos um corpo submetido a um **MRUV**:

velocidade inicial v_i ,

aceleração constante = a ,

velocidade final v_f

distância percorrida = Δs



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

35

Energia Cinética

Escrevendo a **equação de Torricelli**, obtemos:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a \Delta S$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a \Delta S$$

$$\frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} = \Delta S$$

$$\frac{1}{2a} (v_f^2 - v_i^2) = \Delta S$$

$$\Delta S = \frac{1}{2a} (v_f^2 - v_i^2)$$



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

36

Energia Cinética

Para calcular **o trabalho realizado** por esse corpo

consideramos a **força resultante** a que está submetido (se está acelerado, é por que a força resultante que atua sobre o corpo é diferente de zero, ou seja, $F_{res} \neq 0$)

$$\vec{F}_{res} = m \vec{a}$$



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Íguez
Caracelli

37

Energia Cinética

$W = F \times$ distância percorrida pelo corpo

$$W = F \times \Delta S \quad \Delta S = \frac{1}{2a} (v_f^2 - v_i^2)$$

$$W =$$

$$W = \frac{m}{2} (v_f^2 - v_i^2) \quad W = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2}$$



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Íguez
Caracelli

38

Energia Cinética

$$W = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2}$$

energia cinética do corpo

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

$$W = K_f - K_i$$

$$W = \Delta K$$

Energia Cinética

$$W = K_f - K_i$$

$$W = \Delta K$$

*Teorema do Trabalho-
Energia*

trabalho realizado = variação de energia cinética

Energia Cinética

$$W = \Delta K$$

Teorema do Trabalho-Energia

se $W > 0 \rightarrow \Delta K > 0$,
 ocorreu **aumento** de energia

se $W < 0, \Delta K < 0$,
 ocorreu **diminuição** de energia

Energia Cinética

$$W = \Delta K$$

Teorema do Trabalho-Energia

De um modo geral podemos dizer que a

energia é a capacidade que um corpo tem de realizar **trabalho**

K pode ser considerada como a capacidade de realizar **W** devido ao **movimento do corpo**.

Unidades de Energia

unidade de **trabalho** no SI: **J** (joule)

$$W = \Delta K$$

Teorema do Trabalho-Energia

unidade de **energia** no SI: **J** (joule)



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignez
Caracelli*

43

Outras unidades de Energia

unidade de **energia** no SI: **J** (joule)

caloria (cal) 1 cal \approx 4,186 J

kcal = 1000 cal

Cal = 1 **kcal** (usado por setor de alimentos)

Nutritional information

Per 100 g – Energy 1663 kJ (391 kcal), Protein 0.1 g, Carbohydrate 97.5 g, Fat 0.4 g.

Per Tic Tac – Energy 8 kJ (2 kcal), Protein 0 g, Carbohydrate 0.5 g, Fat 0 g.



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignez
Caracelli*

44

Outras unidades de Energia

unidade de energia no SI: **J** (joule)

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ cal} = 4,1840 \text{ J} ; 1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1054,35 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ elétron-volt}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

* em azul conversões exatas



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

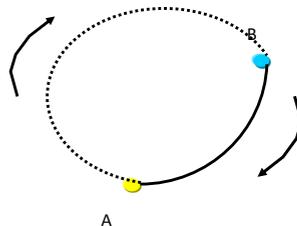
Ignez
Caracelli

47

Forças Conservativas

A a B → uma trajetória → W_{AB}

retorna de B a A por outra trajetória → W_{BA}



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

48

Forças Conservativas

o trabalho realizado por esse corpo será igual a:

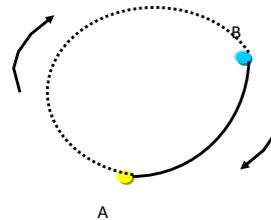
$$W_{\text{total}} = W_{AB} + W_{BA}$$

Podemos obter:

$$W_{\text{total}} = 0$$

ou

$$W_{\text{total}} \neq 0$$

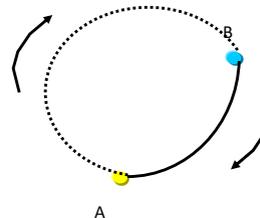


Forças Conservativas

o trabalho realizado por esse corpo será igual a:

$$W_{\text{total}} = W_{AB} + W_{BA}$$

$$W_{\text{total}} = 0$$

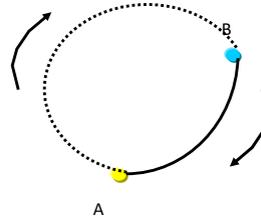


as forças que atuam sobre o corpo e que realizam o trabalho W são **forças conservativas**, isto é, independem da trajetória, dependem apenas das **posições inicial e final** do corpo.

Forças Conservativas

o **trabalho realizado** por esse corpo será:

$$W_{\text{total}} = W_{AB} + W_{BA}$$



se $W_{\text{total}} \neq 0 \rightarrow$ **força não-conservativa**
depende da trajetória que o corpo realiza.

Energia Potencial

Se uma força **F conservativa** atua sobre um corpo,

ΔK em uma **trajetória fechada** será nula $\Rightarrow W = 0$

Energia Potencial

Se uma força **F conservativa** atua sobre um corpo

o corpo retorna à sua posição inicial com sua energia cinética igual à original.

Nos trechos em que

$W > 0$, \uparrow energia cinética ($\Delta K > 0$)

$W < 0$, \downarrow energia cinética ($\Delta K < 0$)



Energia Potencial

energia potencial U

ΔU é a variação de energia potencial

qualquer variação de energia cinética do corpo é compensada pela variação de energia potencial, de forma que

$$K + U = \text{constante}$$

Essa constante é a **energia mecânica**.



Energia Potencial

forças conservativas → **energia mecânica** se conserva

forças não-conservativas, como o atrito → a **energia mecânica** não se conserva

(pois há uma perda, por exemplo, por calor.)



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

55

Energia Potencial

MUNDO MACROSCÓPICO:

energia potencial é a energia armazenada devido à posição do corpo.

um corpo m

altura h

energia potencial gravitacional $U = mgh$.

A **energia potencial** depende da posição e do nível que consideramos como referencial zero, para calcular a sua posição.



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

56

Energia Potencial

no mundo microscópico:

é a **energia** armazenada devido às posições de seu átomos nas moléculas.

Esse é o caso da energia química.



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

57

Energia Potencial

no mundo microscópico:

Energias desse tipo caracterizam os combustíveis fósseis, baterias elétricas e a comida que comemos.

Essa energia estará disponível quando os átomos forem rearranjados, ou seja, quando ocorrem transformações químicas.

Qualquer substância capaz de realizar trabalho através de reações químicas possui energia potencial.



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

58

Conservação de Energia

Analisemos um corpo caindo de uma altura h , supondo que não há forças dissipativas atuando sobre ele.



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Íguez
Caracelli*

59

Conservação de Energia

há conservação da **energia mecânica E**
 \equiv seu valor é constante **E**

a energia, durante a queda
 vai se **transformando**
 passando de **U armazenada** devido à posição h ,
 e se convertendo em **energia cinética (movimento)**,
 até que ao final toda a energia potencial se transformou
 em energia cinética (**mantendo E constante**)



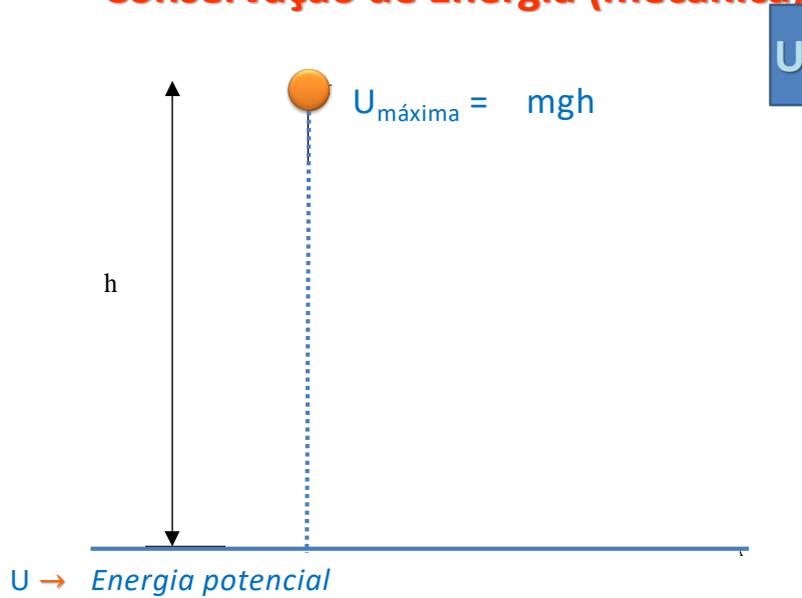
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Íguez
Caracelli*

60

Conservação de Energia (mecânica)



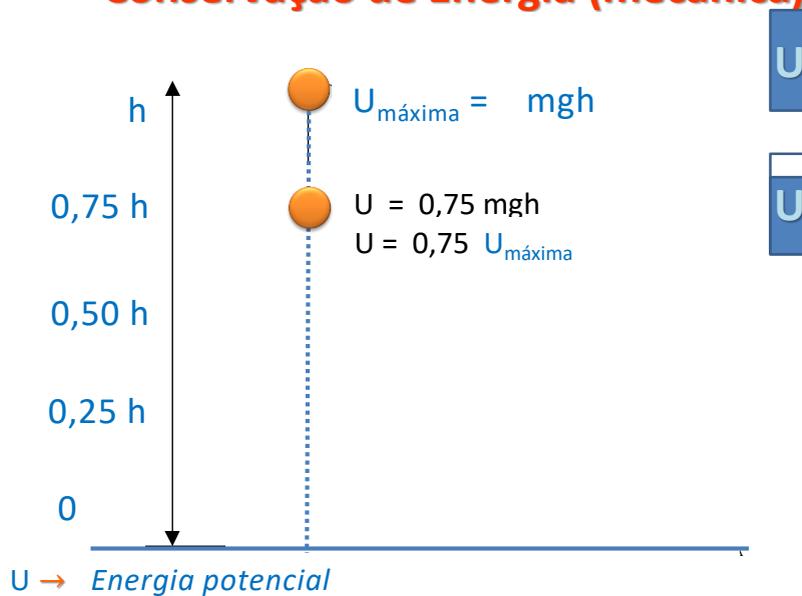
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

61

Conservação de Energia (mecânica)



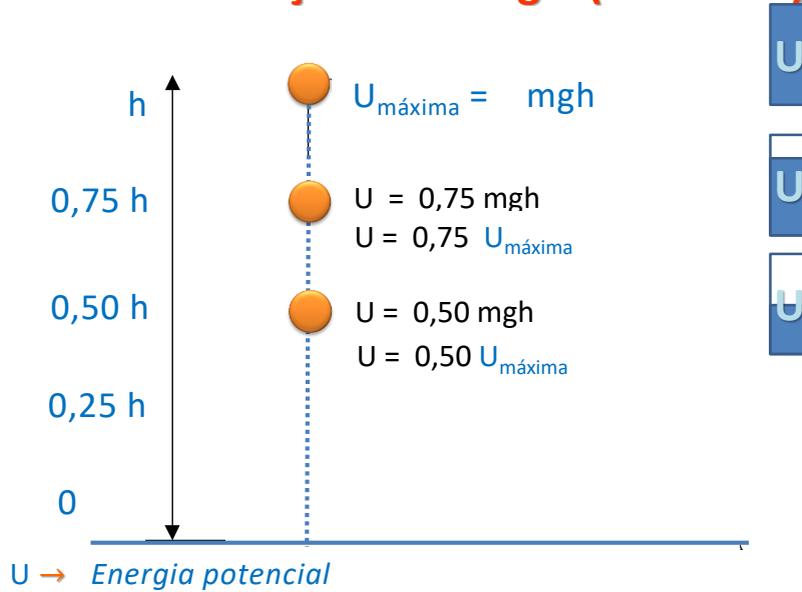
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

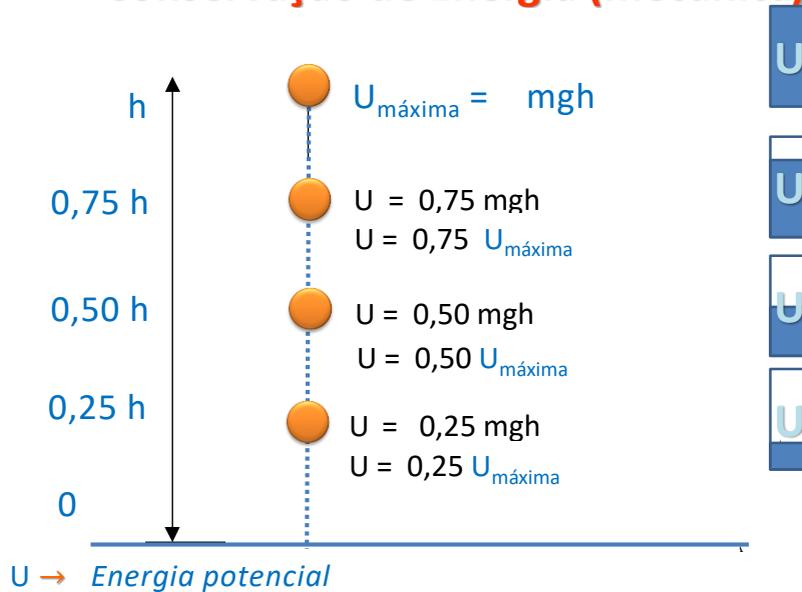
Ignez
Caracelli

62

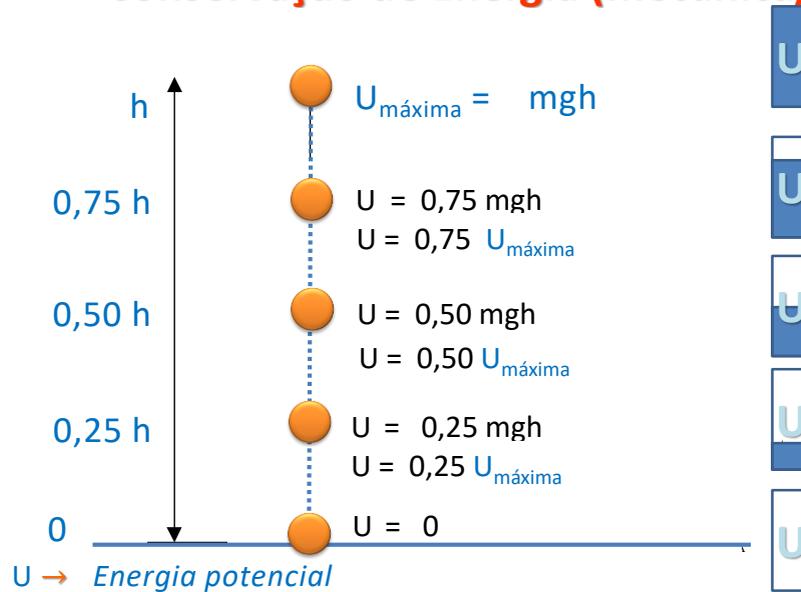
Conservação de Energia (mecânica)



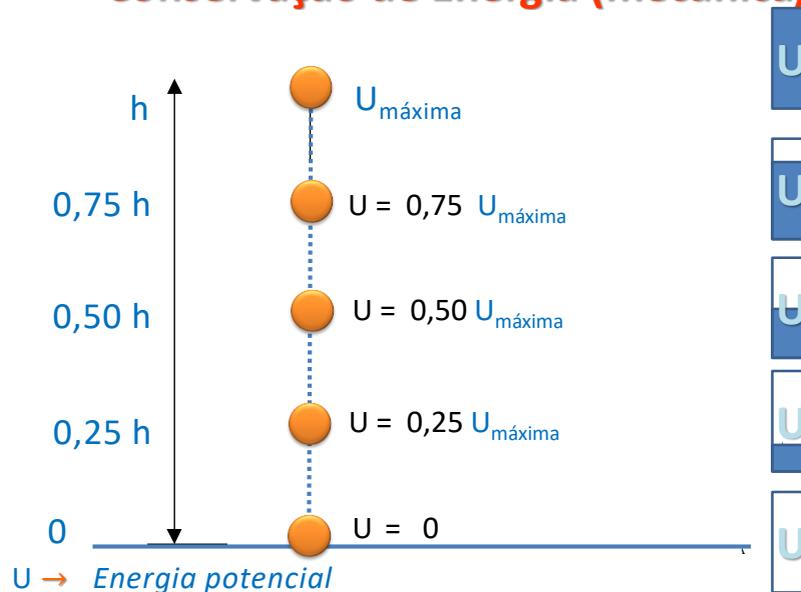
Conservação de Energia (mecânica)



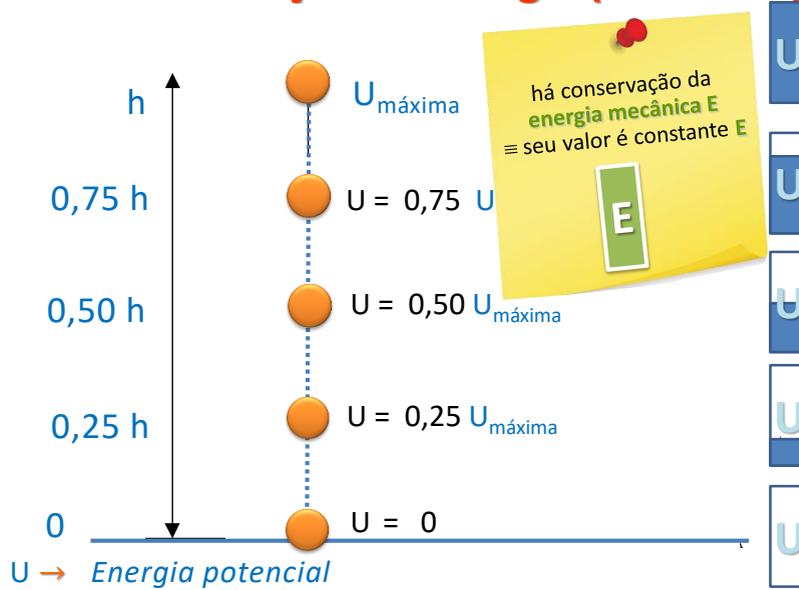
Conservação de Energia (mecânica)



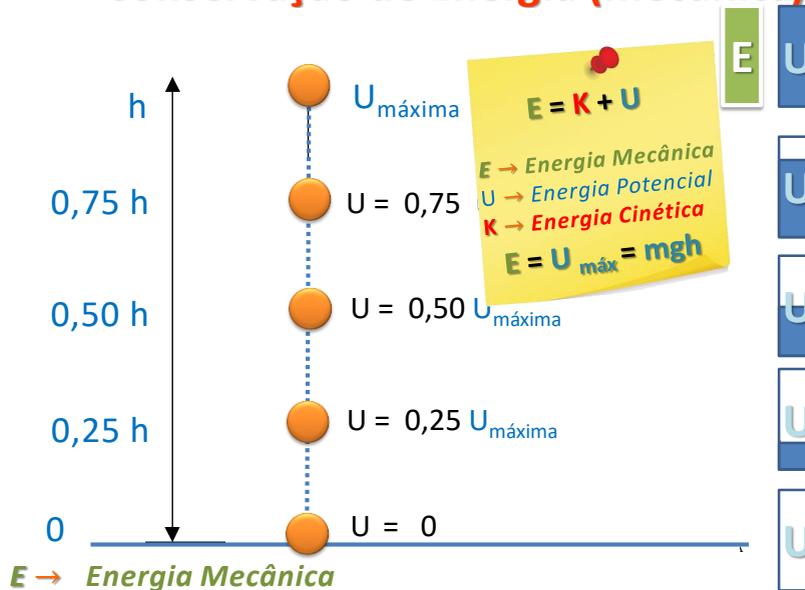
Conservação de Energia (mecânica)



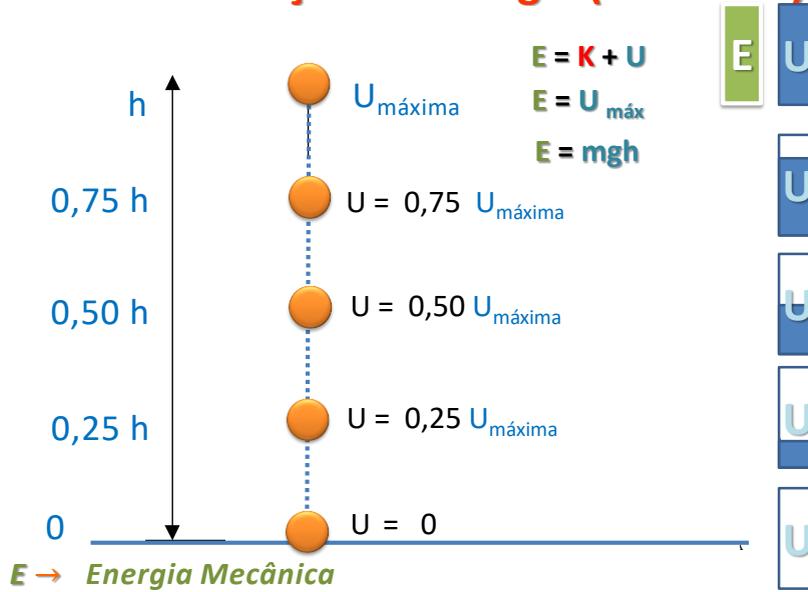
Conservação de Energia (mecânica)



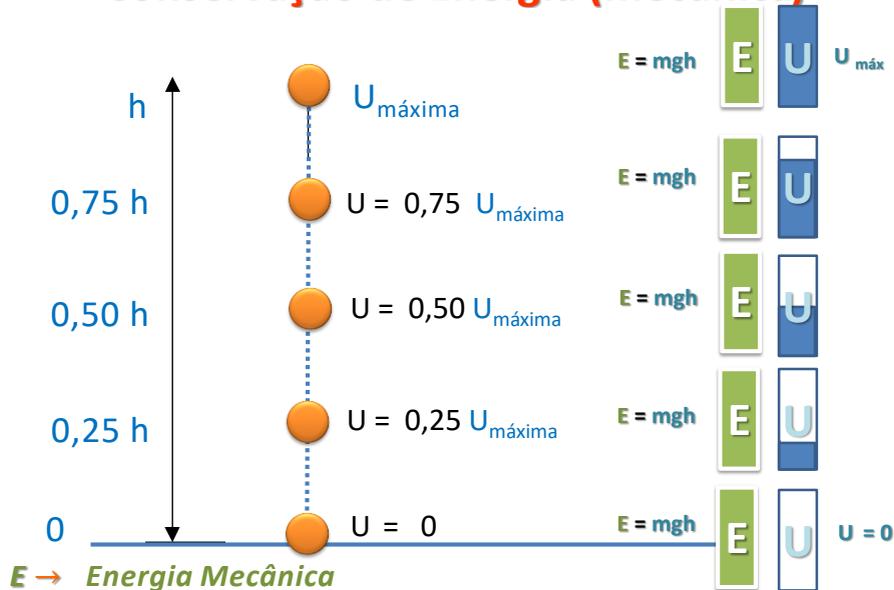
Conservação de Energia (mecânica)



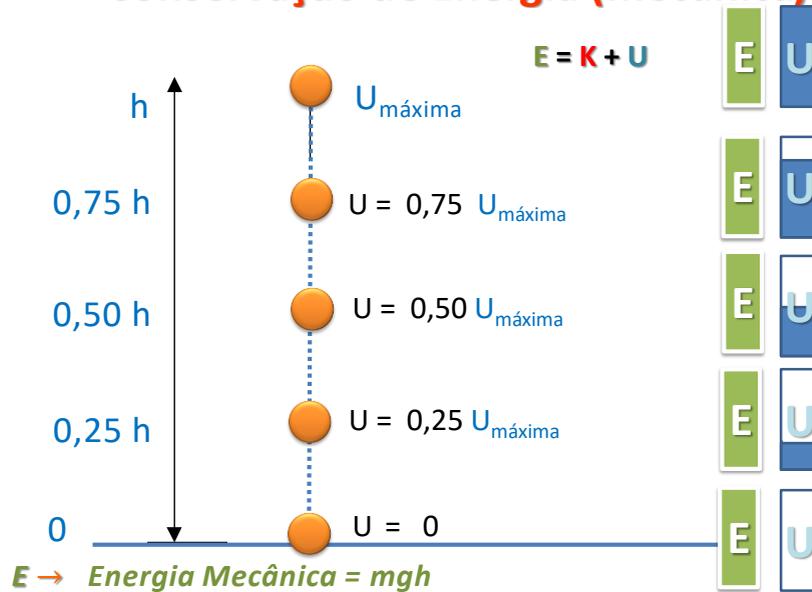
Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



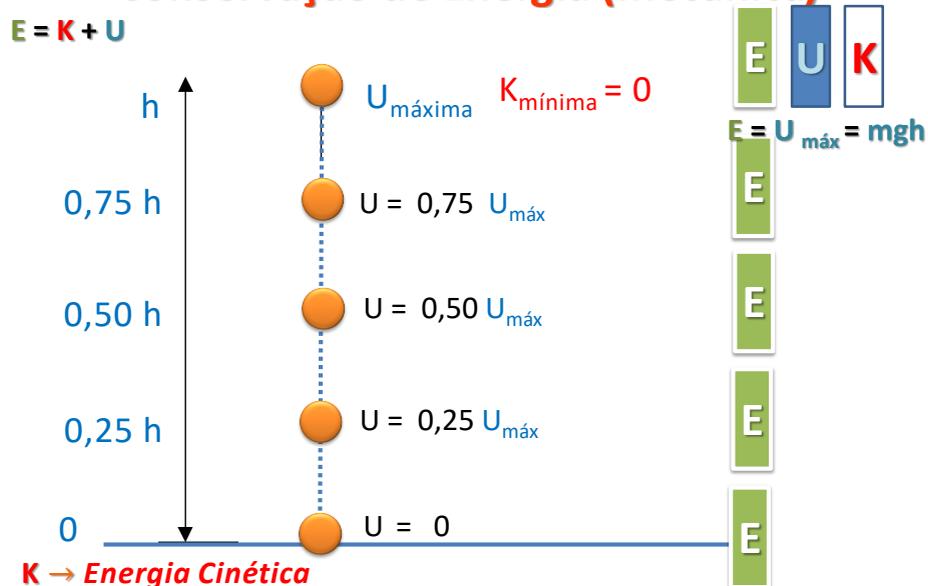
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ígnez
Caracelli

71

Conservação de Energia (mecânica)



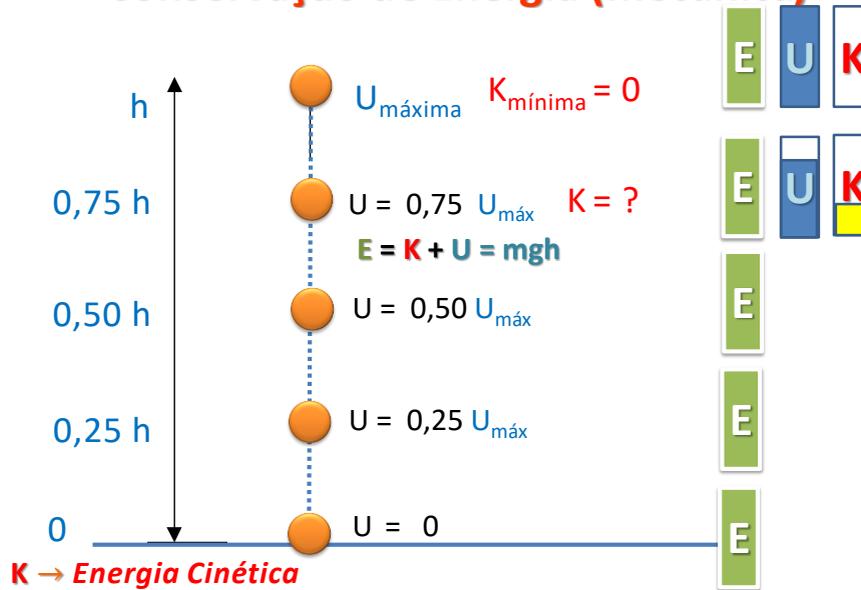
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

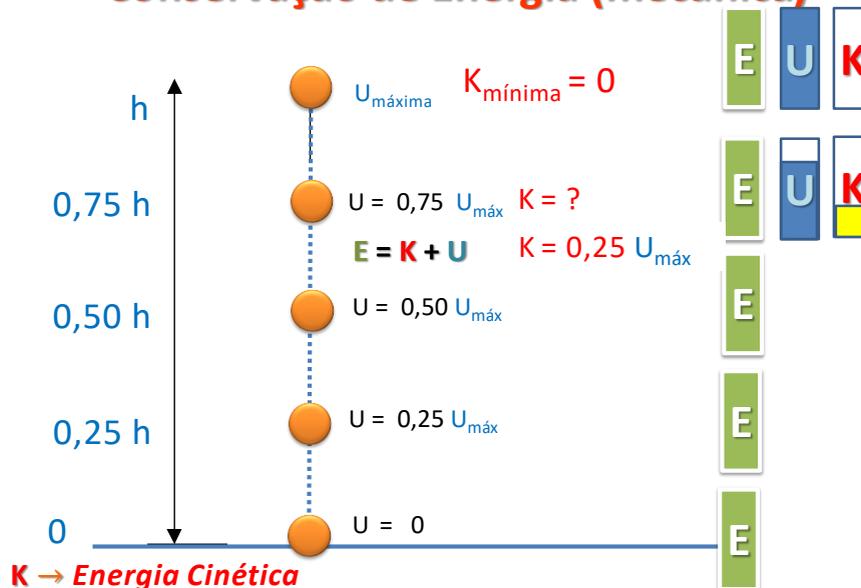
Ígnez
Caracelli

72

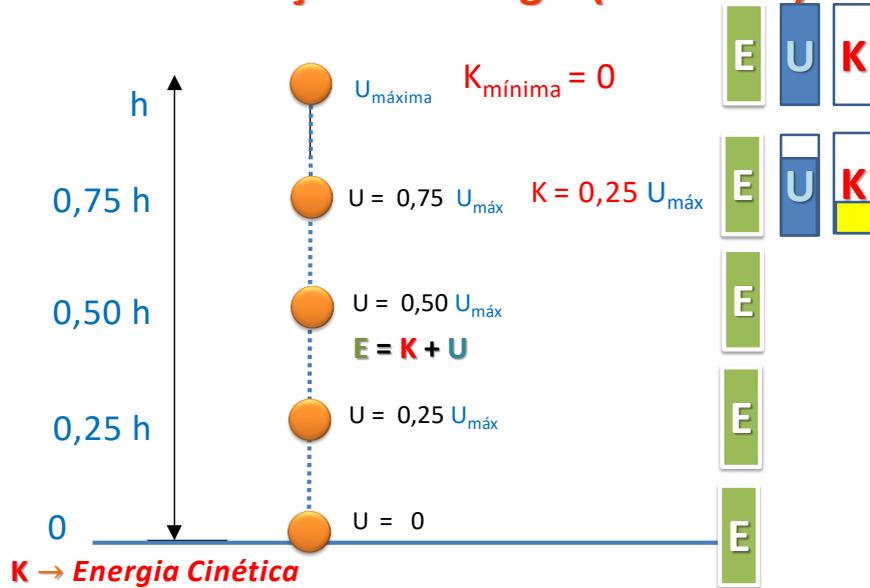
Conservação de Energia (mecânica)



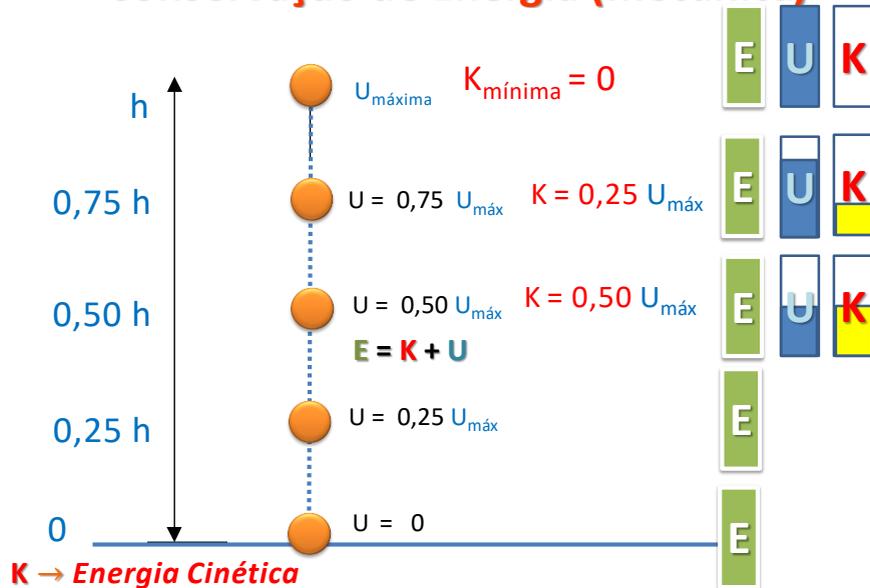
Conservação de Energia (mecânica)



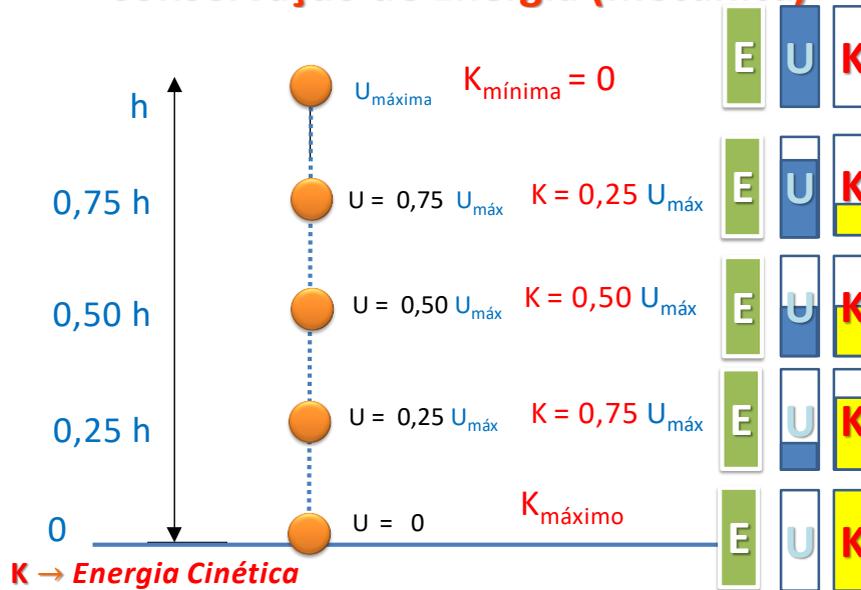
Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



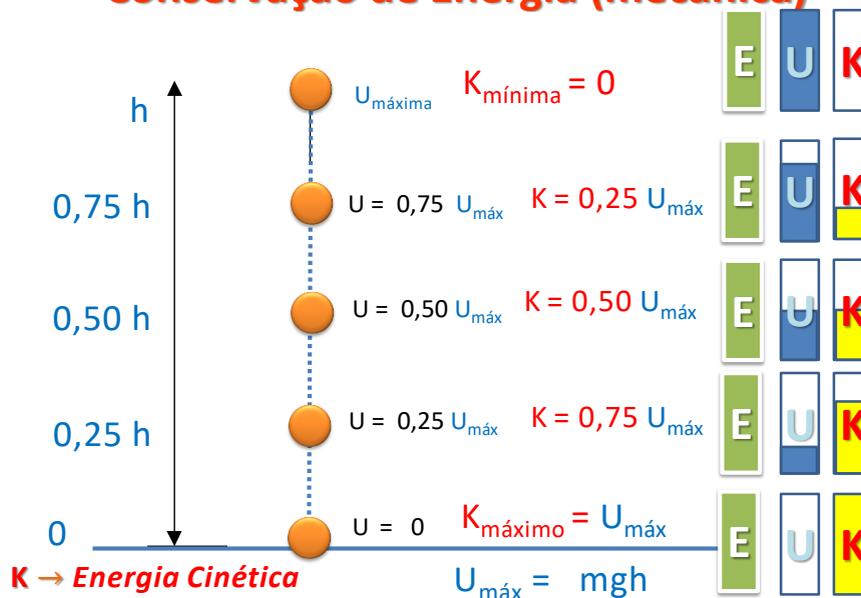
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ígnez
Caracelli

77

Conservação de Energia (mecânica)



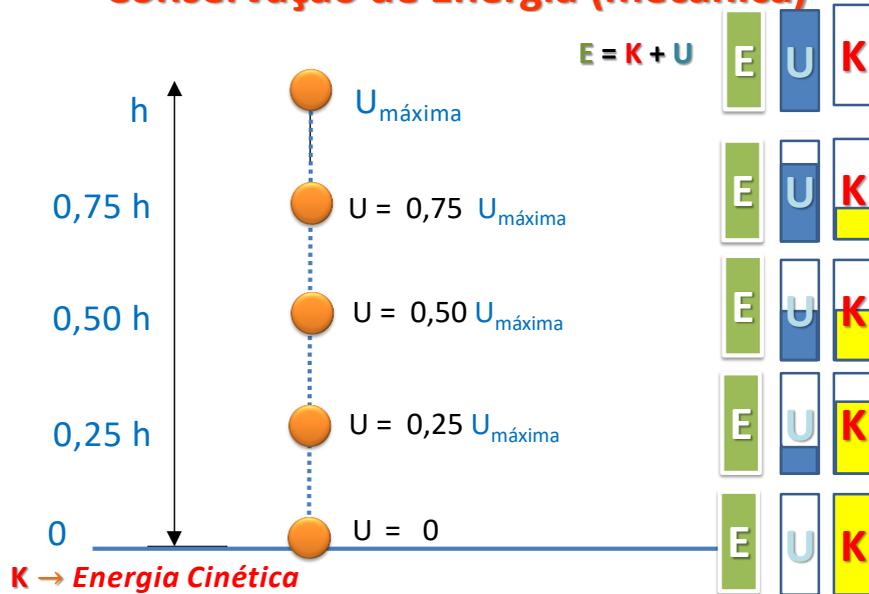
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

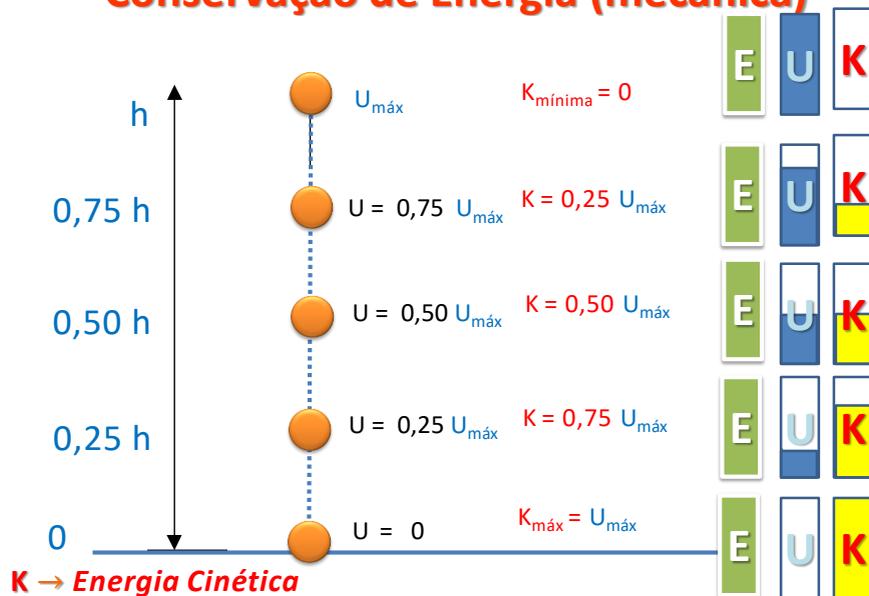
Ígnez
Caracelli

78

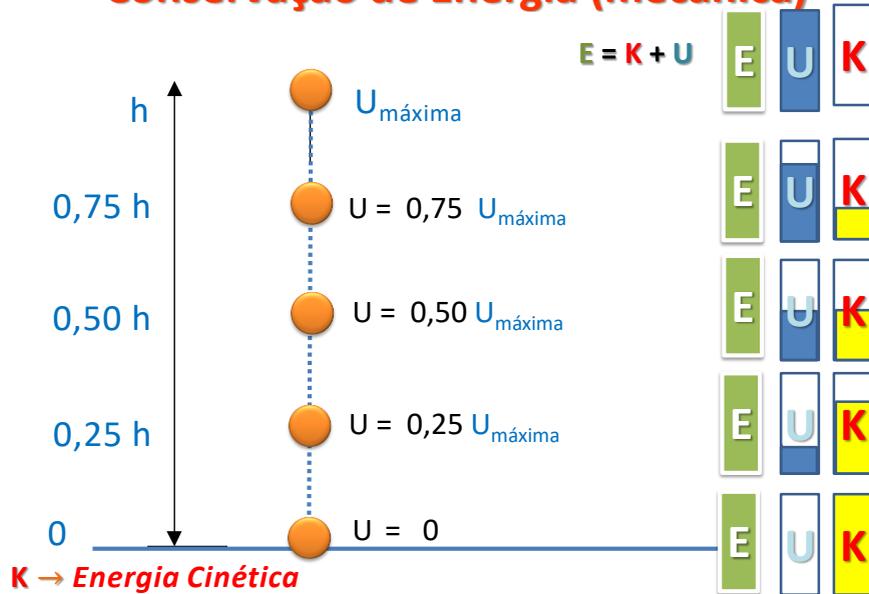
Conservação de Energia (mecânica)



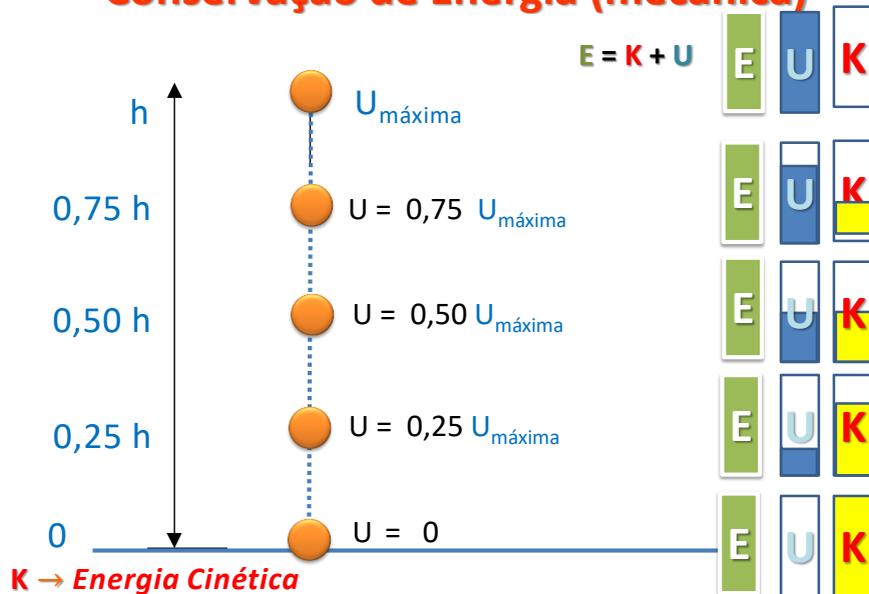
Conservação de Energia (mecânica)



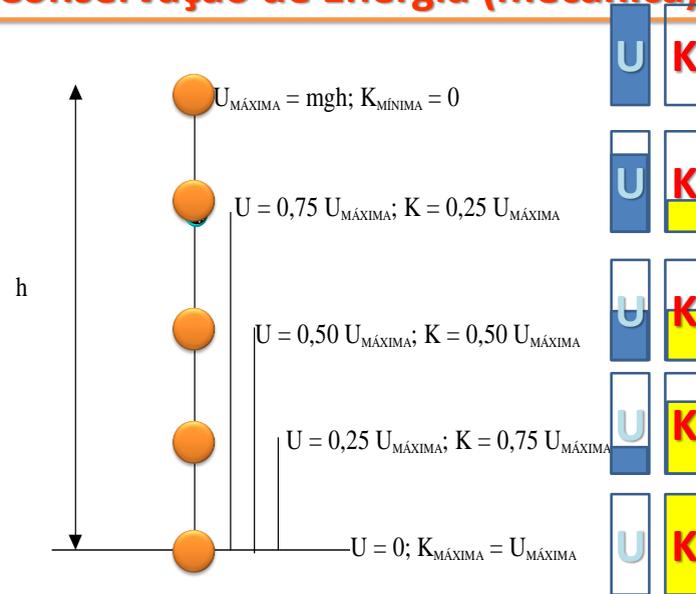
Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



Conservação de Energia (mecânica)



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ígnez
Caracelli

83

Conservação de Energia



<http://admiradoresdafisica.blogspot.com.br/2012/10/salto-com-varas.html>



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ígnez
Caracelli

84

Conservação de Energia

1. energia cinética (corrida)

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

2. energia elástica (vara)

$$E_{elástica} = \frac{1}{2} k x^2$$

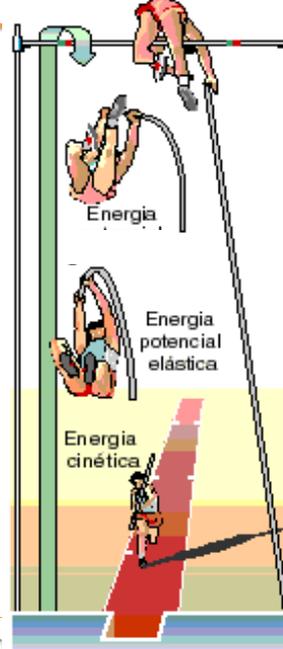
k - depende do material e capacidade de deformação

x - deformação (contração ou distensão)

3. energia potencial gravitacional

$$U = mgh$$

Energia potencial gravitacional



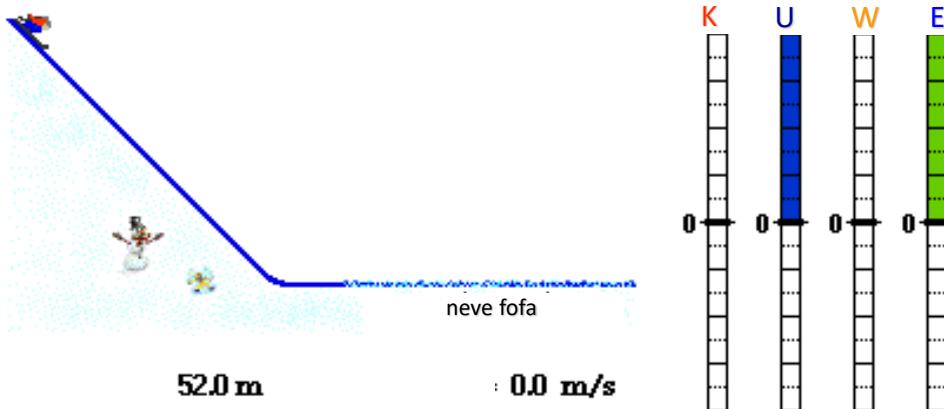
<http://megaarquivo.com/tag/energia-2/>



096059-A-FISICA PARA BIOT

85

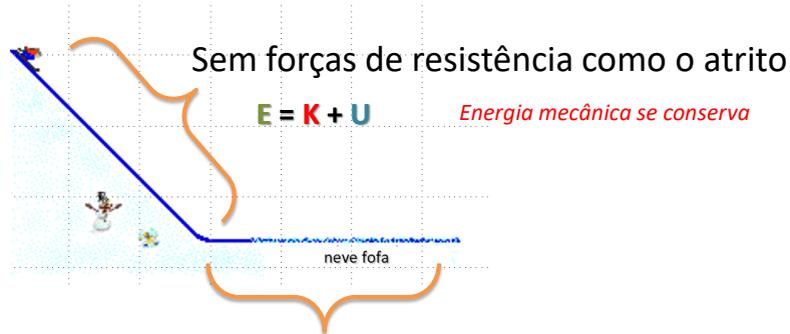
Conservação de Energia



096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês
Caracelli

86



Quando está presente a força de atrito:

$$E = K + U + W$$

Energia mecânica NÃO se conserva



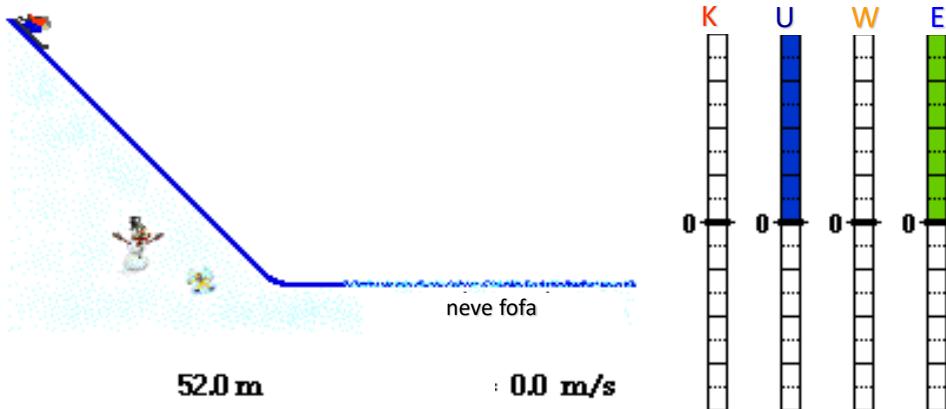
Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

87

Conservação de Energia



Física

096059-A-FISICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez
Caracelli

88