Física III 2023 (IF) – Aula 15

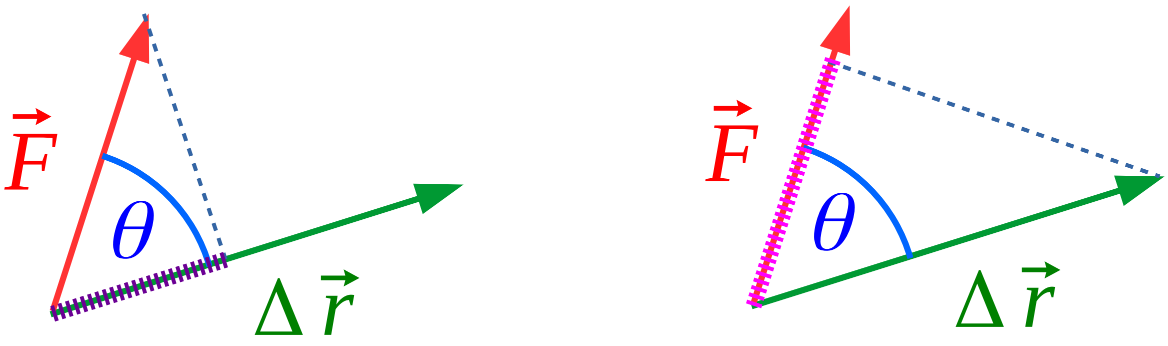
Objetivos de aprendizagem

- Determinar o trabalho de uma força a partir da sua integral de linha ao longo de um caminho definido.
- Reconhecer se uma força é conservativa ou não-conservativa.
- Definir uma energia potencial para um sistema em que age uma força de interação conservativa.
- Determinar a energia potencial eletrostática de um sistema de duas cargas elétricas puntiformes a uma certa distância relativa

Trabalho de uma força constante em um deslocamento retilíneo

- Produto escalar da força pelo deslocamento

$$W = \vec{F} . \Delta \vec{r} = |\vec{F}||\Delta \vec{r}| \cos \theta$$



Produto do deslocamento pela projeção da força na direção do deslocamento = Produto da força pela projeção do deslocamento na direção da força

Trabalho de uma força

Uma pessoa empurra um carrinho de supermercado do ponto A ao ponto B da rampa de acesso ao estacionamento, exercendo sobre ele uma força horizontal constante.

1) Qual é o trabalho realizado **pela força da pessoa** sobre o carrinho?

A) Nulo

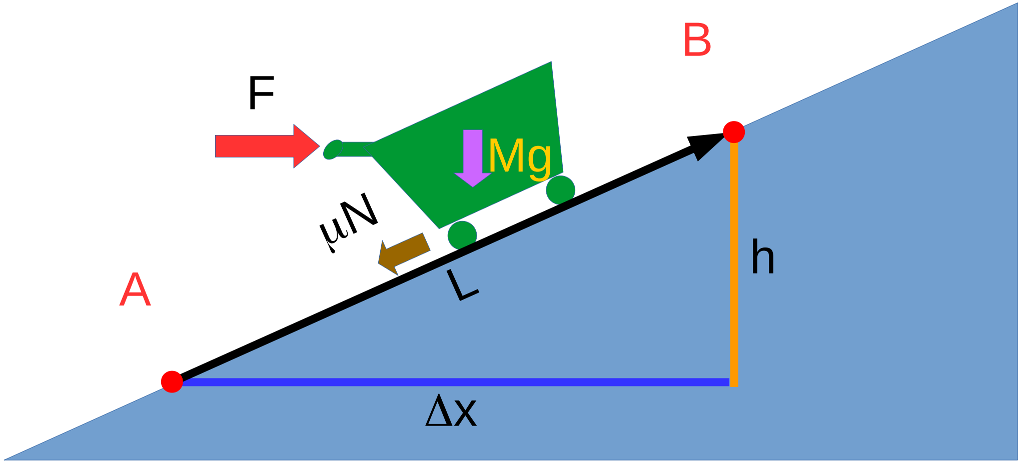
B) Mgh

C) Fh

D) $-\mu NL$

E) $F\Delta x$

F) N.D.A.



Trabalho de uma força

Uma pessoa empurra um carrinho de supermercado do ponto A ao ponto B da rampa de acesso ao estacionamento, exercendo sobre ele uma força horizontal constante.

1) Qual é o trabalho realizado **pela força peso** do carrinho?

A) Nulo

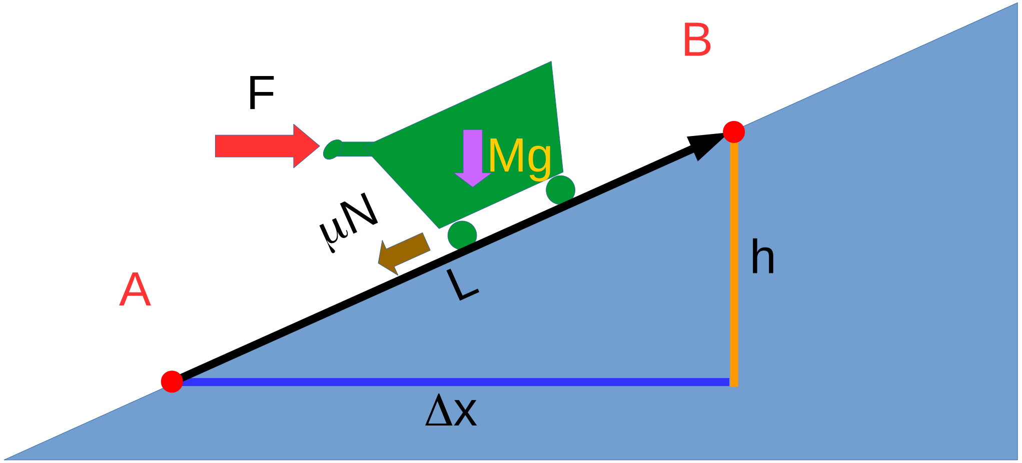
B) Mgh

C) Fh

D) $-\mu NL$

E) $F\Delta x$

F) N.D.A.



Trabalho de uma força

Uma pessoa empurra um carrinho de supermercado do ponto A ao ponto B da rampa de acesso ao estacionamento, exercendo sobre ele uma força horizontal constante.

1) Qual é a expressão que pode ser usada para qualquer uma das forças que age sobre o carrinho para determinar o trabalho W realizado por ela?

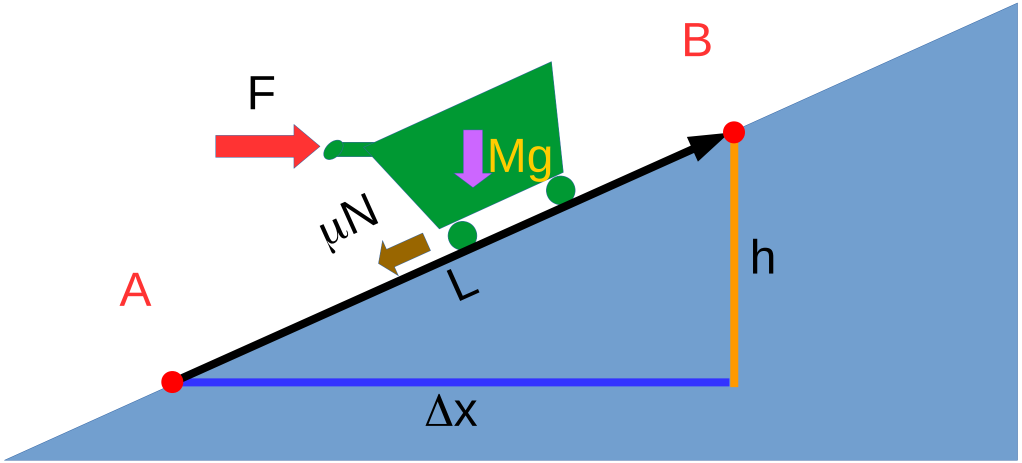
   A) $W_{AB}=\vec{f}\,.\,\Delta\vec{r}=\vec{f}\,.\,\vec{L}$

   B) $W_{AB}=|\vec{f}||\Delta\vec{r}|$

   C) $W_{AB}=Mgh$

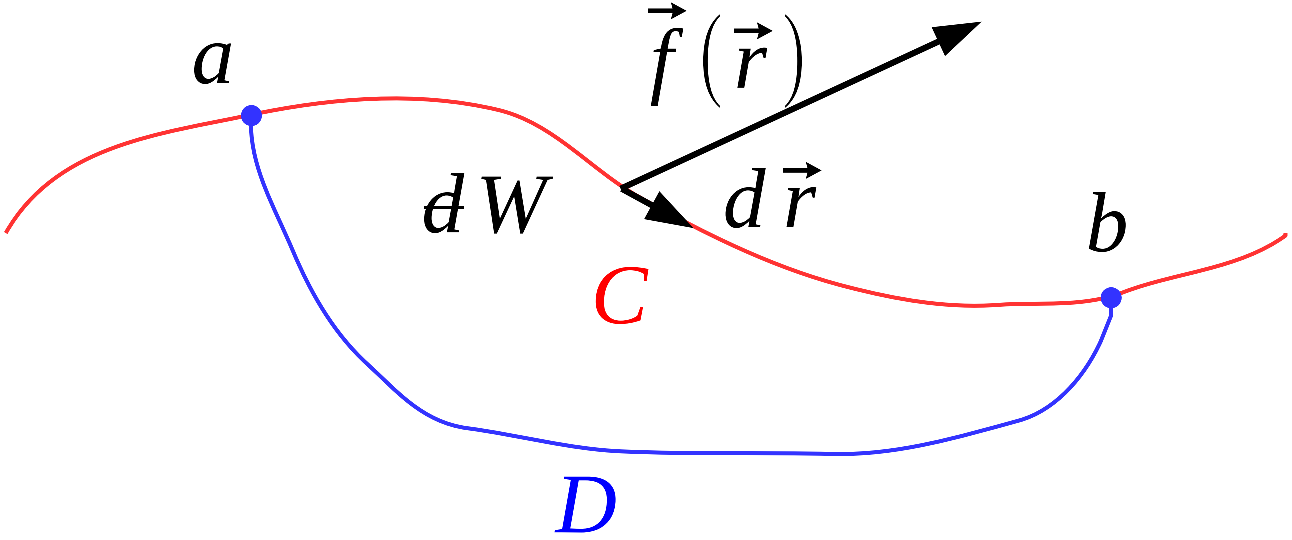
   D) $W_{AB}=\vec{f}\,.\,\Delta x\,\hat{i}$

   E) N.D.A.



Trabalho infinitesimal e integral de linha

$$\text{đ}W = \vec{f}\,.\,d\vec{r} \qquad\qquad W_{C(a\rightarrow b)} = \int_{C(a\rightarrow b)} \vec{f}\,.\,d\vec{r}$$



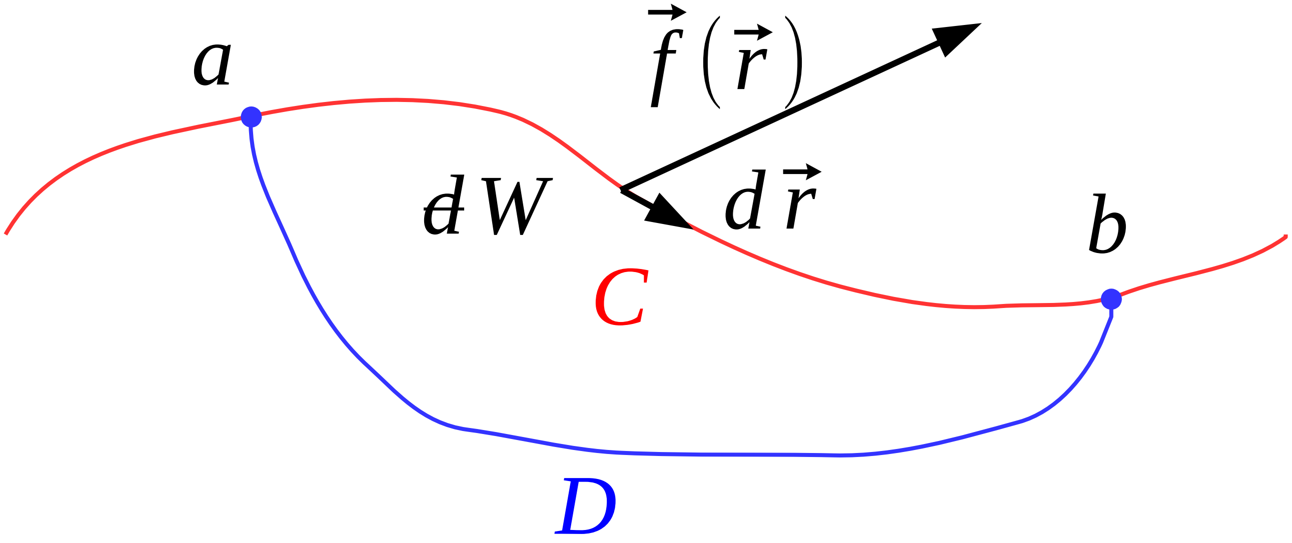
Trabalho infinitesimal e integral de linha

$$\text{đ}W = \vec{f} \,.\, d\vec{r}$$

$$d\vec{r} = d\vec{l}$$

$$W_{C(a\rightarrow b)} = \int_{C(a\rightarrow b)} \vec{f} \,.\, d\vec{r}$$

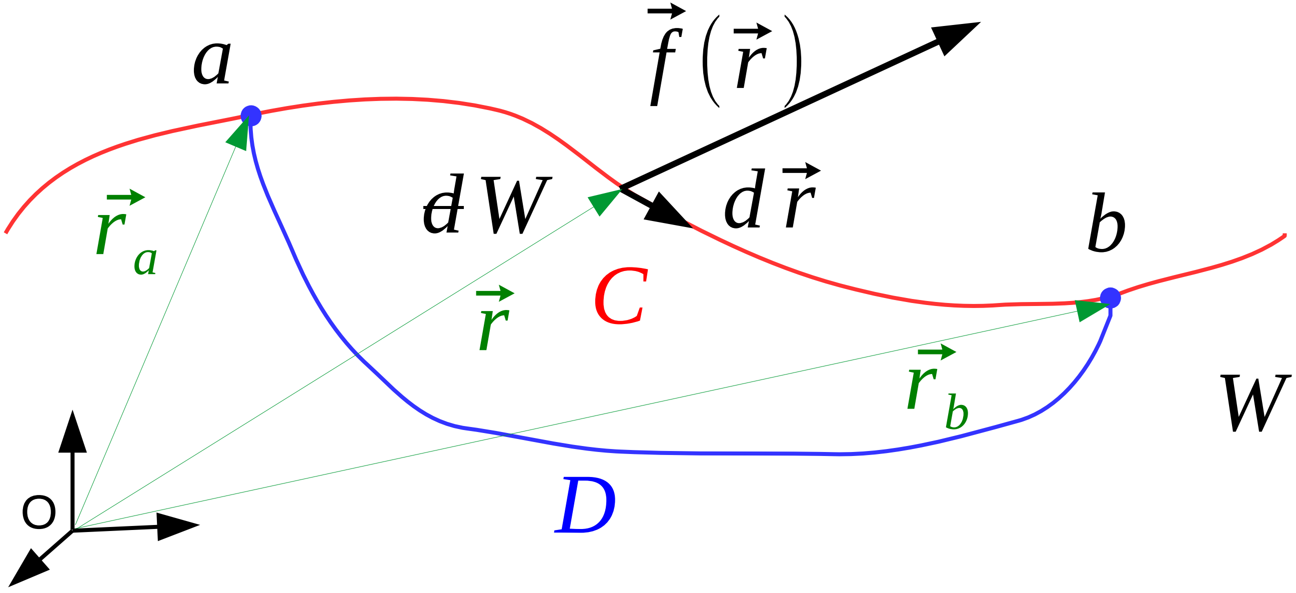
Apostila: $d\tau = \vec{F} \cdot \vec{dl}$



Trabalho infinitesimal e integral de linha

$$\text{đ}W = \vec{f} \,.\, d\vec{r}$$

$$W_{\color{red}{C}(a \to b)} = \int_{\color{red}{C}(a \to b)} \vec{f} \,.\, d\vec{r}$$



$$W_{(a \to b)} = \int_{\vec{r}_a}^{\vec{r}_b} \vec{f} \,.\, d\vec{r}$$

***C* ou *D* ???**

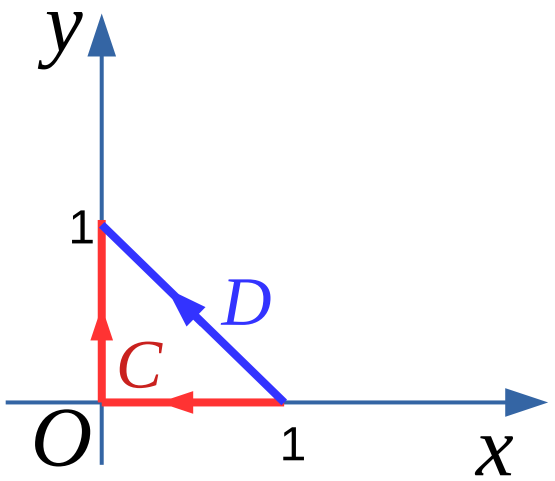
Podem ou não ser diferentes

Exemplo

- Suponhamos que a força (dependente da posição) é dada por:

$$\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z) = ay\,\hat{i} - ax\,\hat{j} + b\,\hat{k}$$

e queremos saber a integral de linha (trabalho) para ir do ponto (1,0,0) até o ponto (0,1,0) no plano xy (z=0) por dois caminhos diferentes: um com dois segmentos, passando por *O* (caminho *C*), e outro direto (atalho – caminho *D*).

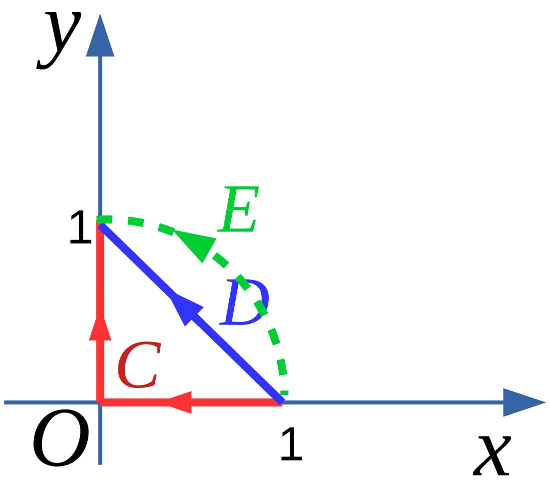


Outro exemplo

- Suponhamos que **outra** força (dependente da posição) seja dada por:

$$\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z) = b\,\hat{i} + ay\,\hat{j} + b\,\hat{k}$$

e queremos saber a integral de linha (trabalho) para ir do ponto (1,0,0) até o ponto (0,1,0) no plano xy (z=0) por dois caminhos diferentes: um com dois segmentos, passando por *O* (caminho *C*), e outro direto (atalho – caminho *D*).



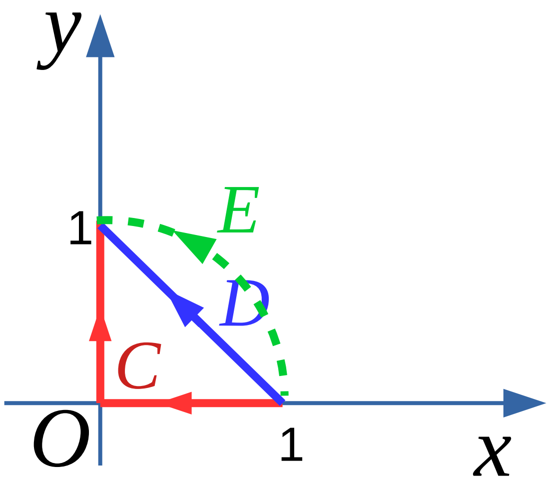
… e pelo arco de círculo *E* de raio R=1

Mesmo exemplo

- Suponhamos que **outra** força (dependente da posição) seja dada por:

$$\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z) = b\,\hat{i} + ay\,\hat{j} + b\,\hat{k}$$

e queremos saber a integral de linha (trabalho) para ir do ponto (1,0,0) até o ponto (0,1,0) no plano xy (z=0) por dois caminhos diferentes: um com dois segmentos, passando por *O* (caminho *C*), e outro direto (atalho – caminho *D*).



… e pelo arco de círculo *E* de raio R=1

Resp.:

$$W_C = W_D = W_E = \frac{a}{2} - b$$

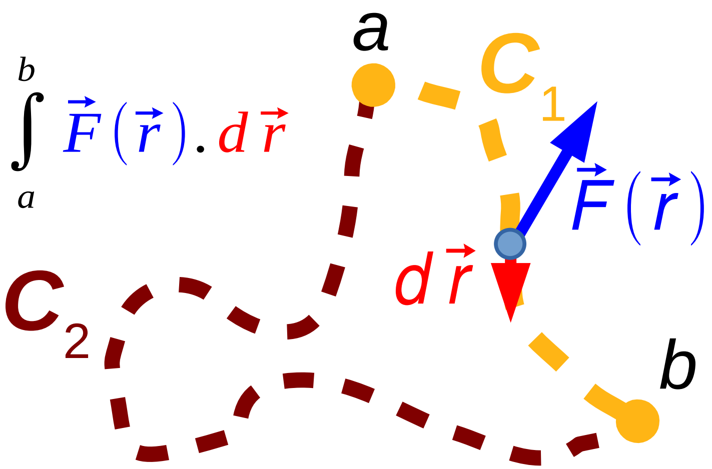
Forças conservativas

Seja $\vec{F}$ uma força *local*

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z)$$

(uma força que depende somente da **posição** da partícula sobre a qual ela age)

$$W_{ab} = \int_a^b \vec{F}(\vec{r}) \, . \, d\vec{r}$$



Essa força é dita *<u>conservativa</u>* se qualquer uma das condições equivalentes abaixo for verificada:

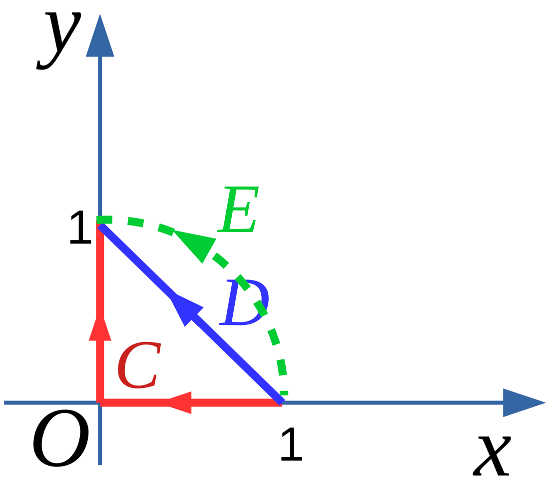
- O trabalho realizado pela força independe do caminho. $W_{ab}(C_1) = W_{ab}(C_2)$
- O trabalho total em uma curva fechada qualquer é zero. $W_{ab}(C_1) + W_{ba}(C_2) = 0$
- For possível definir uma função energia potencial tal que: $W_{ab} = -[U(\vec{r}_b) - U(\vec{r}_a)]$

Para quaisquer dois pontos *a* e *b*

Caso contrário, é “não-conservativa”

(Leitura complementar no moodle)

Contra exemplo

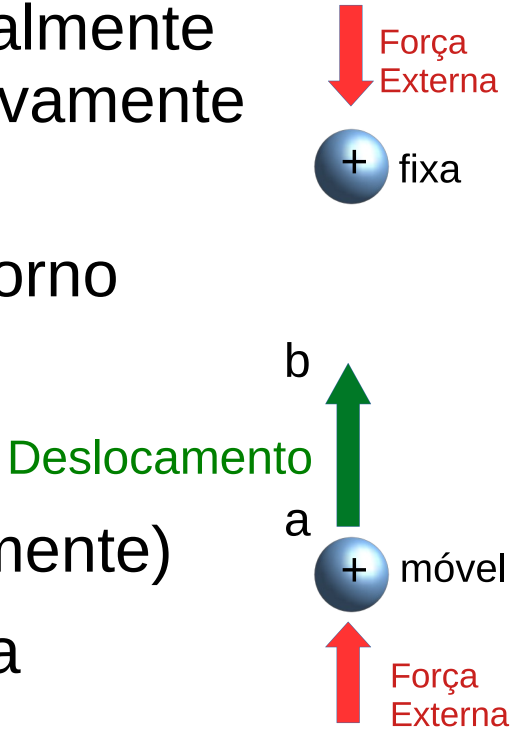


1) Atrito

2) $\vec{F} = \alpha\, y\, \hat{x} - \alpha\, x\, \hat{y}$

Conservação da energia e energia potencial

- Exemplo: duas cargas puntiformes positivas inicialmente em repouso são aproximadas e abandonadas novamente em repouso
- É necessário realizar um trabalho positivo do entorno sobre o sistema para aproximar as duas cargas
- A energia do sistema aumenta
- A energia cinética se mantém nula (pressupostamente)
- O sistema acumula energia potencial eletrostática



O trabalho da força elétrica

- No exemplo, o trabalho da força elétrica de interação (interna) do sistema é negativo
- O trabalho da força <u>interna</u> é igual a MENOS a variação da energia potencial
- A integral de linha (= trabalho da força interna) é:

$$W_{ab} = \int_a^b \vec{F}_{\text{int}} . d\vec{r} = -\Delta U_{ab} = -\left(U_b - U_a\right) \qquad \vec{F}_{\text{int}} = \frac{q_1 q_2 \vec{r}_{12}}{4\pi\varepsilon_0 |\vec{r}_{12}|^3}$$