

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Campus Blumenau

## Física Geral III

**Aula Teórica 07 (Cap. 26 parte 1/3):**

- 1) Energia potencial elétrica de uma carga.
- 2) Potencial em um ponto.
- 3) Diferença de potencial entre dois pontos.
- 4) Superfície equipotencial.
- 5) Cálculo do potencial a partir do campo

**Prof. Marcio R. Loos**

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trabalho realizado por uma força constante

- A fig. mostra quatro situações nas quais uma força é aplicada a um objeto. Nos quatro casos, a força tem o mesmo módulo e o deslocamento do objeto é para a direita e de mesma magnitude. Ordene as situações em ordem de trabalho realizado pela força no objeto, do mais positivo para o mais negativo.

A. I, IV, III, II

B. II, I, IV, III

C. III, II, IV, I

D. I, IV, II, III

E. III, IV, I, II

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 2

---

---

---

---

---

---

---

---

### Trabalho realizado por uma força constante

- O trabalho  $W$  realizado num sistema por um agente exercendo uma força constante no sistema é dado por:

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

$W_I = 0$

$W_{II} = -Fd$

$W_{III} = Fd$

$W_{IV} = Fd \cos \theta$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 3

---

---

---

---

---

---

---

---

**Trabalho?**



**Trabalho Positivo**



**Trabalho Negativo**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 4

---

---

---

---

---

---

---

---

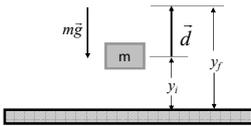
---

---

**Energia potencial, trabalho e força conservativa**  
**Ação da força gravitacional sobre uma massa**

- O trabalho realizado vale:
 
$$W_g = \vec{F} \cdot \vec{d} = -mg \cdot (y_f - y_i) = mgy_i - mgy_f$$
- A energia potencial gravitacional do objeto valerá:
 
$$U_g \equiv mgy$$
- Assim:
 
$$W_g = U_i - U_f = -(U_f - U_i) = -\Delta U_g$$

$$\Delta U_g = U_f - U_i = -W_g$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 5

---

---

---

---

---

---

---

---

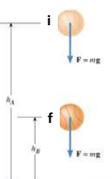
---

---

**Força gravitacional atuando sobre uma partícula**

- Definimos a **diferença de energia potencial gravitacional** para o movimento da massa  $m$  de  $i$  até  $f$  como:
 
$$\Delta U = U_f - U_i = W_{fi} = -W_{if}$$

Trabalho realizado pela força grav. sobre o corpo
- A força gravitacional é uma **força conservativa**.
- Uma força é conservativa se o **trabalho** realizado por ela sobre uma partícula que se move de um ponto para o outro **é o mesmo para todos os caminhos** que ligam os dois pontos!
- O trabalho realizado por uma força conservativa em uma partícula movendo-se através de qualquer **caminho fechado** é zero.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 6

---

---

---

---

---

---

---

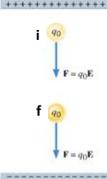
---

---

---

### Força eletrostática atuando sobre uma partícula

- Considere que uma carga teste é deslocada de  $i$  até  $f$ .
- A diferença de energia potencial elétrica da carga  $q_0$  entre esses pontos é o negativo do trabalho realizado pela força eletrostática sobre esta carga durante seu movimento.
 
$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{ef}$$
- A força eletrostática realiza trabalho através do campo elétrico.
- Podemos dizer que o campo realiza trabalho sobre a carga.
- A diferença de energia potencial elétrica entre dois pontos independe da trajetória (a força eletrostática é conservativa!)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 7

---

---

---

---

---

---

---

---

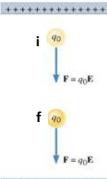
### Força eletrostática atuando sobre uma partícula

- Num determinado ponto, uma carga possui uma energia potencial elétrica ( $U$ ). Para definir  $U$ :
- Consideramos como referência um ponto inicial  $i$  no infinito (lembre que em FGE1001 escolhemos a sup. da terra como nível zero de energia!)
- Atribuímos um valor arbitrário para  $U_i$  naquele ponto:  $U_i = 0$
- Logo
 
$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{ef}$$

$$U_f - 0 = -W_{ef}$$

$$U_f = -W_{ef} \quad U_f \equiv U$$

$$U = -W_{ef}$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 8

---

---

---

---

---

---

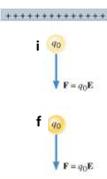
---

---

### Força eletrostática atuando sobre uma partícula

$$U = -W_{ef}$$

- “A energia potencial  $U$  de uma carga teste  $q_0$ , em qualquer ponto, é igual ao negativo do trabalho  $W_{ef}$  realizado sobre a carga pelo campo elétrico, quando a carga se move do infinito até o ponto em questão.”
- Note que  $U$  depende do referencial  $i$  e de  $U_i$ .
- A escolha de  $U_i$  não afetaria  $\Delta U$ .



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 9

---

---

---

---

---

---

---

---

### O potencial elétrico

- A energia potencial por unidade de carga ( $U/q_0$ ) é independente do módulo da carga teste  $q_0$ .
- A grandeza  $U/q_0$  é chamada de **potencial elétrico**  $V$  e **é uma característica exclusiva do campo elétrico** em estudo:
 
$$V = \frac{U}{q_0}$$
- A diferença de potencial elétrico entre dois pontos vale:
 
$$\Delta V = V_f - V_i$$

$$\Delta V = \frac{U_f - U_i}{q_0} \rightarrow \Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad \text{mas} \quad \Delta U = -W_{if}$$

$$\Delta V = -\frac{W_{if}}{q_0}$$

Definição de diferença de potencial

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### O potencial elétrico

$\Delta V = -\frac{W_{if}}{q_0}$

- O trabalho que devemos realizar para deslocar a carga  $q_0$ , com velocidade constante, do ponto  $i$  para o ponto  $f$  é igual a  $q_0 \Delta V$ .
- De forma similar a **energia potencial elétrica**, podemos definir o **potencial elétrico em um ponto** no campo elétrico.
- Consideramos nossa referência no infinito, logo  $U_\infty=0$ ,  $V_\infty=0$  e o potencial em qualquer ponto num campo elétrico vale:
 
$$\Delta V = V_f - V_i \rightarrow \Delta V = V_f - V_\infty = -\frac{W_{of}}{q_0} \rightarrow V_f = -\frac{W_{of}}{q_0}$$

$$V = -\frac{W_{of}}{q_0} \quad \text{Definição de potencial num ponto} \quad [V] = \frac{J}{C} = V$$
- $W_{of}$  é o trabalho realizado pelo campo elétrico sobre a carga teste durante seu movimento desde o **infinito** até o ponto  $f$ .

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Energia potencial vs. Potencial

- Energia potencial e potencial são grandezas diferentes!
- Cuidado para não confundi-las.

A **energia potencial elétrica** é uma energia de um objeto carregado num campo elétrico externo. [J]

O **potencial elétrico** é uma propriedade do campo propriamente dito, estando ou não presente um objeto carregado. [J/C=V]

- Passaremos a escrever o campo elétrico em **V/m** ao invés de **N/C**:
 
$$1 \frac{N}{C} = \left(1 \frac{N}{C}\right) \left(1 \frac{C}{J}\right) \left(1 \frac{J}{N \cdot m}\right) = 1 \frac{V}{m}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 12

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Uma nova unidade de energia

- Definiremos outra unidade de energia, conveniente para medidas de energia em domínio atômico: eV

Um **elétron-volt (eV)** é uma **energia igual ao trabalho necessário** para **deslocar** uma única carga elementar e (próton/elétron), através de uma diferença de potencial de **um volt**.

$$\Delta V = -\frac{W_f}{q_0} \quad |W_f| = q_0 \Delta V$$

$$1 \text{ eV} = e(1V)$$

$$1 \text{ eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(1J/C) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Superfícies Equipotenciais

$|W_f| = q_0 \Delta V$

- Uma **superfície equipotencial** é uma superfície na qual o potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos.
- Vimos que o **campo elétrico** numa determinada região pode ser representado por **linhas de campo**...
- ... o **campo** pode também ser representado por uma **família de superfícies equipotenciais**.
- Nenhum trabalho se realiza sobre uma carga pelo campo elétrico quando esta se move entre dois pontos sobre a mesma superfície equipotencial.
- Porém deve ser realizado trabalho para mover uma carga ao longo de uma linha de campo.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Superfícies Equipotenciais

- As superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares às linhas de campo.
- Para um **campo uniforme**, as superfícies equipotenciais constituem uma família de planos perpendiculares às linhas de campo.
- As superfícies equipotenciais para uma **carga puntiforme** constituem uma família de esferas concêntricas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 15

---

---

---

---

---

---

---

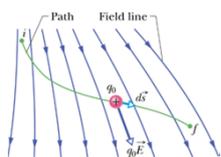
---

---

---

### Cálculo do potencial a partir do campo

- A diferença de potencial entre dois pontos  $i$  e  $f$  num campo elétrico pode ser calculada a partir de  $E$ .
- Para isso devemos:
  - Conhecer  $E$  ao longo de alguma trajetória unindo  $i$  e  $f$ .
  - Determinar o **trabalho** realizado pelo campo sobre uma carga teste positiva quando ela se move de  $i$  até  $f$ .
- Considere um campo  $E$  arbitrário (Fig.)



- Uma carga teste  $q_0$  se move de  $i$  até  $f$ .
- Uma força  $F = q_0 E$  atua sobre a carga, realizando um trabalho  $dW$  quando ela sofre um deslocamento  $ds$ .

---

---

---

---

---

---

---

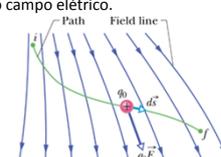
---

---

---

### Cálculo do potencial a partir do campo

- O trabalho  $dW$  vale:
 
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad dW = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}$$
- O trabalho total  $W_{if}$  realizado pelo campo vale:
 
$$W_{if} = q_0 \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \text{mas} \quad \Delta V = -\frac{W_{if}}{q_0} \quad \text{Logo:} \quad V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$



- A força elétrica é conservativa e todos os caminhos conduzem ao mesmo resultado.
- Definiremos o **potencial elétrico** em um ponto no campo elétrico.
- Consideramos  $V_i = 0$  e o potencial em qualquer ponto num campo elétrico vale:

$$V = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

---

---

---

---

---

---

---

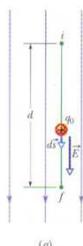
---

---

---

### Exercício 1/2

(a) A Fig. 24-5a mostra dois pontos  $i$  e  $f$  na presença de um campo elétrico uniforme  $\vec{E}$ . Os pontos estão sobre a mesma linha de campo elétrico (que não aparece na figura), separados por uma distância  $d$ . Determine a diferença de potencial  $V_f - V_i$  deslocando uma carga de prova positiva  $q_0$  do ponto  $i$  ao ponto  $f$  ao longo da trajetória indicada, que é paralela à direção do campo.



Resolução:

$$V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad V_f - V_i = -\int_i^f E \cos \theta ds$$

$$V_f - V_i = -E \cos \theta \int_i^f ds \quad V_f - V_i = -E d \quad V_f < V_i$$

---

---

---

---

---

---

---

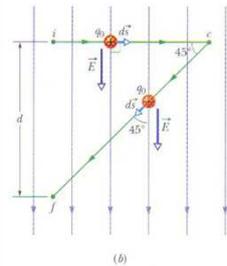
---

---

---

**Exercício 2/2**

(b) Determine a diferença de potencial  $V_f - V_i$  deslocando a carga de prova positiva  $q_0$  de  $i$  para  $f$  ao longo da trajetória  $icf$  mostrada na Fig. 24-5b.



Resolução:

$$V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$V_f - V_i = - \int_i^c E \cos \theta ds - \int_c^f E \cos \theta ds$$

$$V_f - V_i = - \int_i^c E \cos 90^\circ ds - \int_c^f E \cos 45^\circ ds$$

$$V_f - V_i = -E \cos 45^\circ \int_c^f ds$$

$$V_f - V_i = -E \cos 45^\circ \frac{d}{\sin 45^\circ} \quad V_f - V_i = -E d$$

---

---

---

---

---

---

---

---

Você já pode resolver os seguintes exercícios:

**Capítulo 26: 5, 6, 9, 11, 13, 14**

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.

Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):

web: [loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

---

---

---

---

---

---

---

---