

FÍSICA III

AULAS 6 E 7

PROFESSORA MAUREN POMALIS

mauren.pomalis@unir.br

ENG. ELÉTRICA - 3º PERÍODO

UNIR/Porto Velho

2017/1

SUMÁRIO

- Revisão Analogias
- Energia Potencial Elétrica
- Potencial Elétrico
- Superfícies Equipotenciais
- Potencial Elétrico devido ao campo
- Potencial elétrico – Carga puntiforme e múltiplas cargas
- Potencial elétrico – Dipolo
- Potencial elétrico – Anel e Disco carregado
- Campo Elétrico devido ao potencial



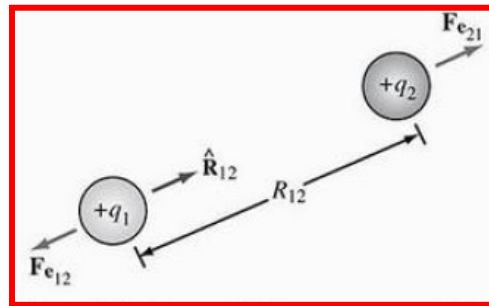
The image features a dark gray background with a decorative graphic on the left side. This graphic consists of several vertical lines of varying widths and colors, including shades of brown, gray, and white. Overlaid on these lines are five orange circles of different sizes, arranged in a cluster. The largest circle is at the top left, with smaller circles positioned below and to its right. The text "FORÇA ELETROSTÁTICA" is written in white, uppercase letters to the right of the circles.

FORÇA ELETROSTÁTICA

REVISÃO

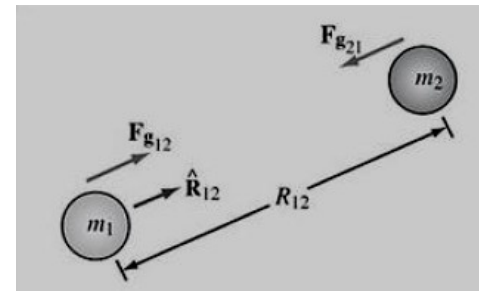
○ Lei de Coulomb

- Calcula a força eletrostática
- Análoga à Lei de Newton, que calcula força gravitacional



Lei de Coulomb

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Lei de Newton

$$F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

- q1= carga da partícula 1
- q2=carga da partícula 2
- k= constante eletrostática ($8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)
- m1 e m2=massas das partículas 1 e 2
- G=gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)
- r= distância entre as partículas

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

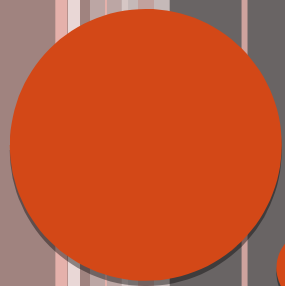


REVISÃO

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (\text{lei de Coulomb})$$



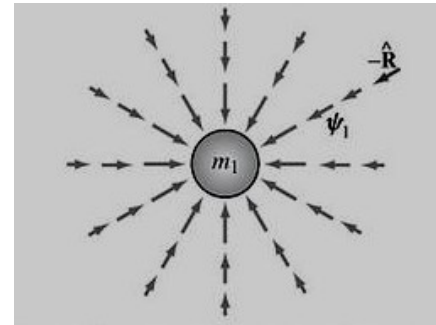
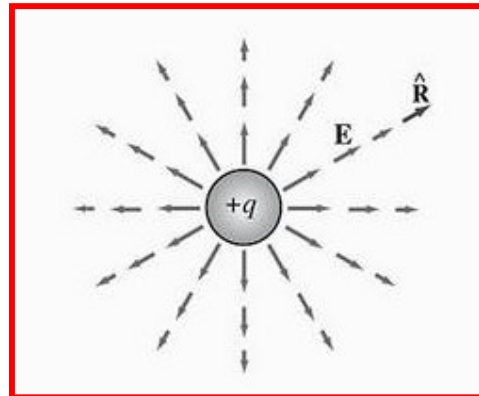


CAMPO ELÉTRICO

CAMPO ELÉTRICO (CARGA PUNTIFORME)

- O campo elétrico \mathbf{E} no ponto P devido a um corpo carregado q .
- A fonte de um campo elétrico é a carga elétrica, analogamente ao campo gravitacional, onde a fonte é a massa.

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}_E / q$$



$$\mathbf{g} = \mathbf{F}_g / m$$

- \mathbf{E} =campo elétrico
- \mathbf{g} =campo gravitacional
- \mathbf{F}_E =força elétrica
- \mathbf{F}_g =força gravitacional
- q =carga
- m =massa



CAMPO ELÉTRICO

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (\text{carga pontual}).$$



CARGA DEVIDO A UM CAMPO ELÉTRICO

- Campo externo E sobre uma carga q :

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

- Campo gravitacional g sobre uma massa m :

$$F_g = mg$$

Lembrando que a força gravitacional também é denominada peso (P)

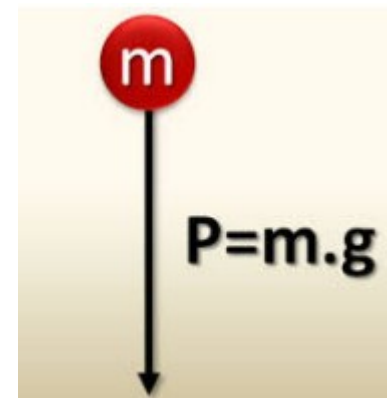
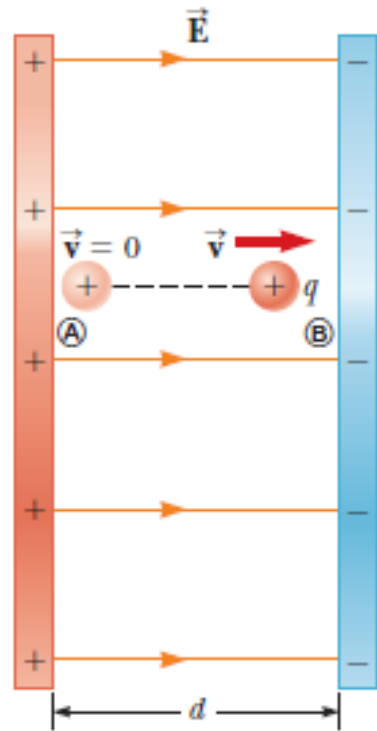


The image features a dark gray background with a decorative graphic on the left side. This graphic consists of several vertical lines of varying widths and colors, including shades of brown, gray, and white. Overlaid on these lines are five orange circles of different sizes, arranged in a cluster. The largest circle is at the top left, with others of varying sizes scattered below and to its right.

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

CARGA PUNTIFORME NUM CAMPO ELÉTRICO

- Campo uniforme

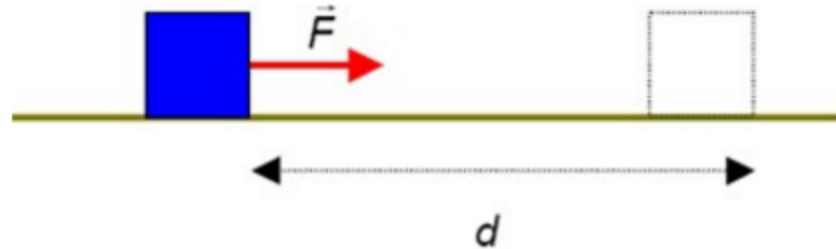


- Uma carga positiva se move com uma velocidade, v , numa campo elétrico E , de + para -.



TRABALHO

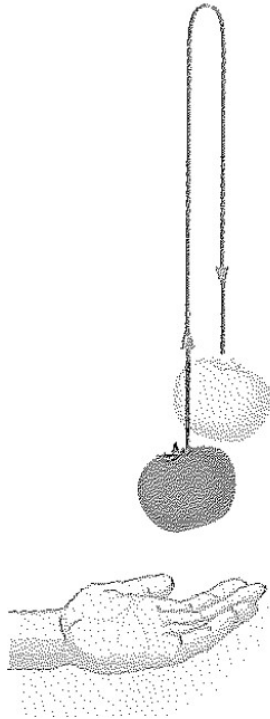
CONSIDERANDO UM MOVIMENTO EM UMA DIREÇÃO:



O TRABALHO NECESSÁRIO PARA DESLOCAR A CAIXA SERÁ DADO POR: $W = F \cdot d \cdot \cos \theta$



ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

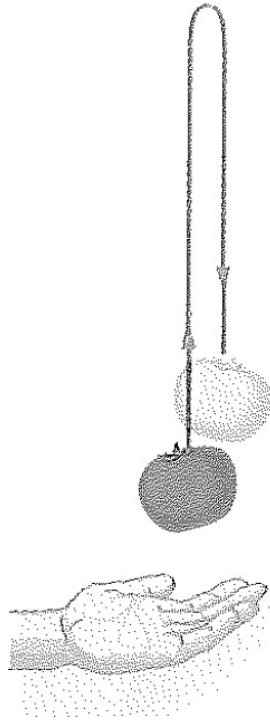


- Ao lançar uma maçã para cima, o trabalho realizado pela força gravitacional é negativo, pois força (peso) e deslocamento possuem um ângulo de 180° entre si.

→ Como a energia potencial gravitacional final é maior que a energia potencial gravitacional inicial, a variação é positiva.



ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL



- Na queda da maçã, o trabalho realizado pela força gravitacional é positivo, pois força (peso) e deslocamento possuem um ângulo de 0° entre si.

→ Como a energia potencial gravitacional final é menor que a energia potencial gravitacional inicial, a variação é negativa.



ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

A energia potencial gravitacional acumulada por uma partícula de massa m que está a uma altura h em relação ao solo é dada por:

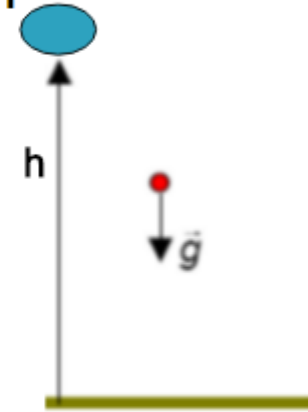
$$U = h \cdot m \cdot g$$

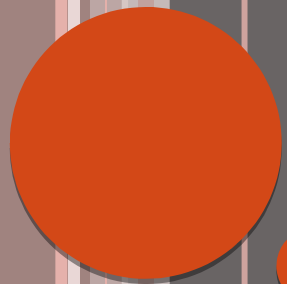
$m \Rightarrow$ massa (kg)

$g \Rightarrow$ aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/ s}^2$)

$h \Rightarrow$ altura (m= metro)

$U \Rightarrow$ energia potencial gravitacional (J =Joule)

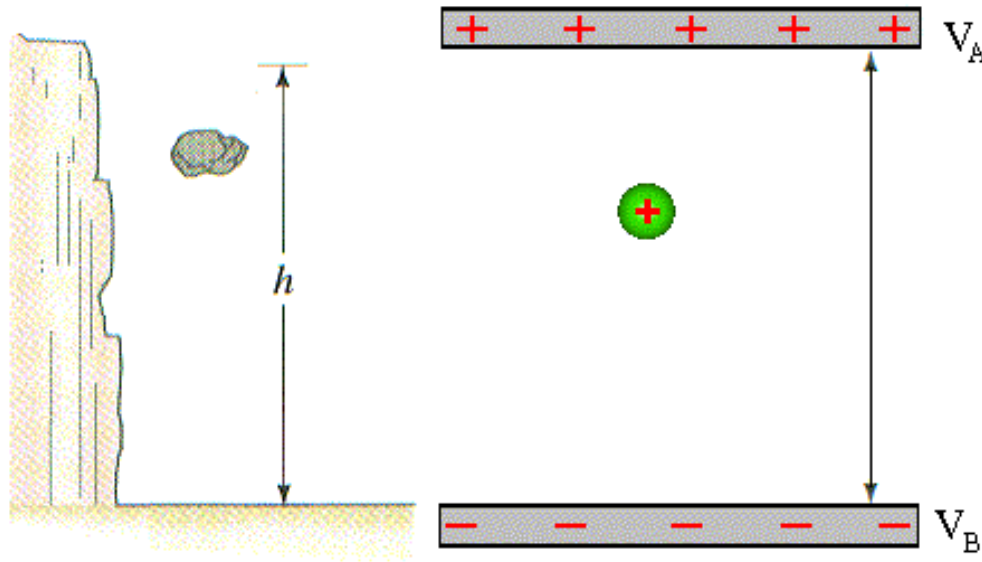




POTENCIAL ELÉTRICO

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

- Da mesma forma que um corpo a uma determinada altura h do solo possui energia potencial gravitacional, uma carga elétrica em um campo elétrico, possui energia potencial elétrica.



ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

- A variação da energia potencial elétrica é igual ao negativo do trabalho realizado sobre a partícula.

$$\Delta U = U_f - U_i = -W$$

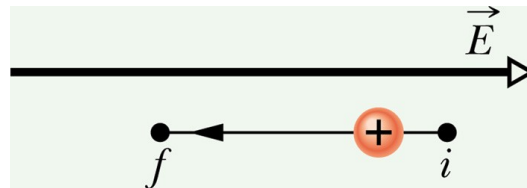
- Como a força eletrostática é conservativa, o trabalho realizado por essa força independe da trajetória.



ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

- O trabalho pode ser reescrito em função do módulo da carga elétrica.

$$W = q \cdot E \cdot dl$$

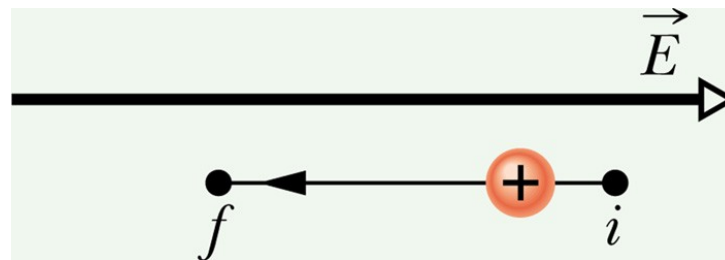


EXEMPLO*



ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

TESTE 1 Na figura, um próton se desloca do ponto i para o ponto f na presença de um campo elétrico com a direção indicada. (a) O campo elétrico executa um trabalho positivo ou negativo sobre o elétron? (b) A energia potencial elétrica do próton aumenta ou diminui?



TESTE*

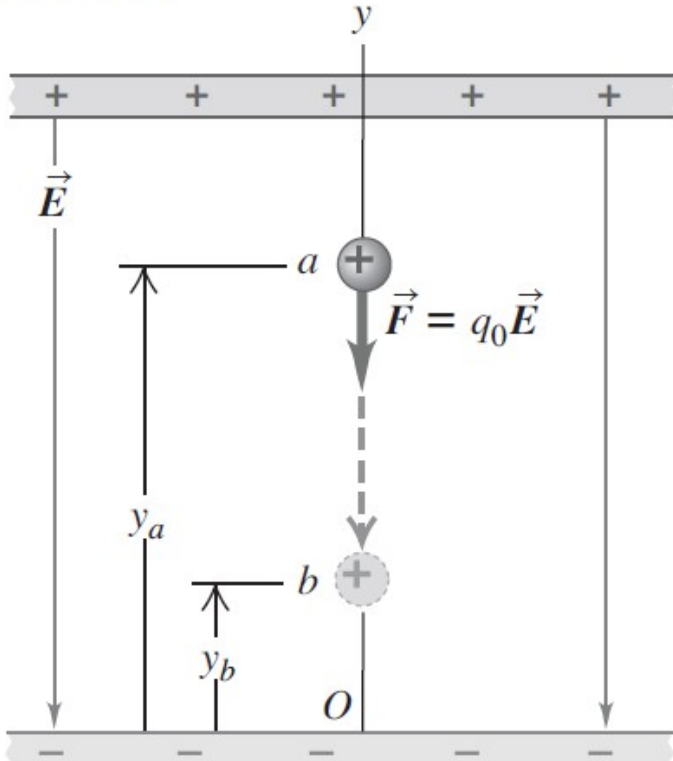


ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Resposta teste:

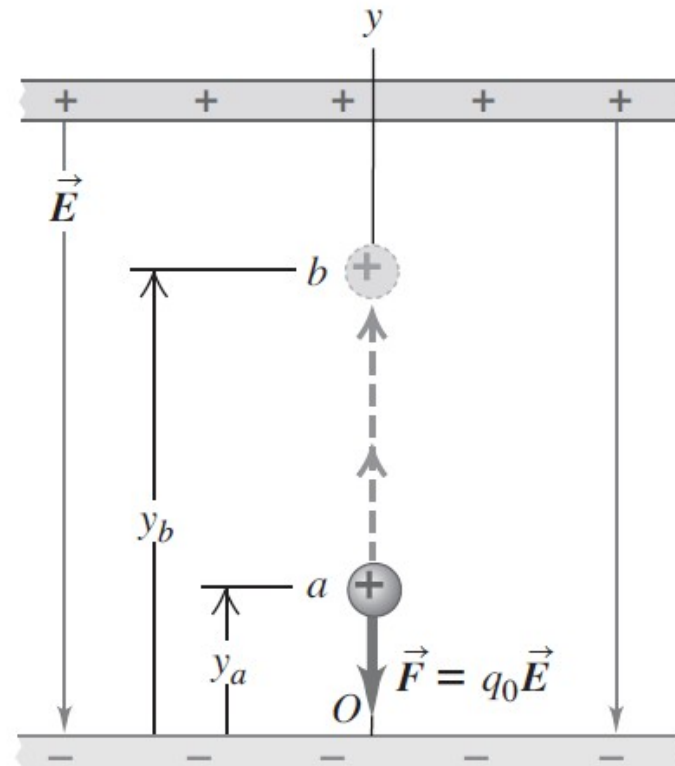
(a) A carga positiva se move no sentido de \vec{E} :

- O campo realiza trabalho *positivo* sobre a carga.
- U *diminui*.



(b) A carga positiva se move no sentido contrário ao de \vec{E} :

- O campo realiza trabalho *negativo* sobre a carga..
- U *aumenta*.



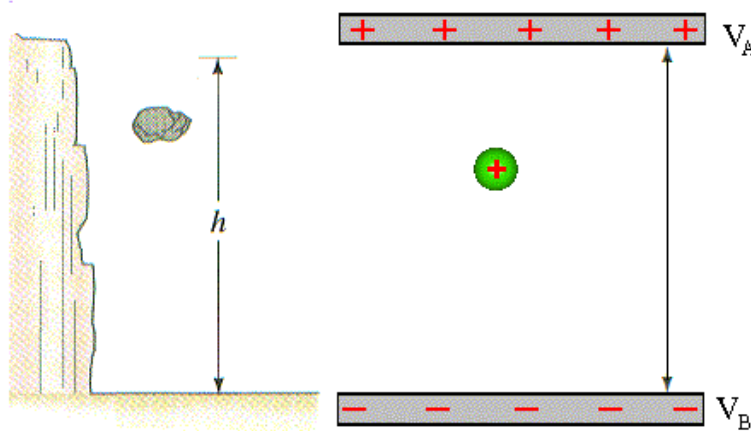
POTENCIAL ELÉTRICO E ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

➡ *Energia potencial elétrica* é a energia de um objeto carregado na presença de um campo elétrico externo (ou, mais precisamente, a energia do sistema formado por um objeto e um campo elétrico externo); é medida em joules.

➡ *Potencial elétrico* é uma propriedade do campo elétrico, que não depende da presença de um corpo carregado; é medida em volts (joules por coulomb).

POTENCIAL ELÉTRICO

- O potencial elétrico é definido como a energia potencial por unidade de carga elétrica ou o trabalho por unidade de carga elétrica.



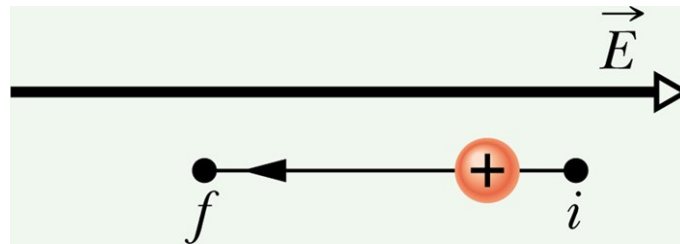
$$\Delta V = V_B - V_A = -\frac{W_{AB}}{q_o}$$

- O sinal negativo indica que o campo realiza trabalho sobre a carga.

EXEMPLO*

POTENCIAL ELÉTRICO

TESTE 2 Na figura do Teste 1 uma força é usada para deslocar o próton do ponto i para o ponto f na presença de um campo elétrico uniforme com o sentido indicado. (a) A força exerce um trabalho positivo ou negativo sobre o próton? (b) O potencial do próton aumenta ou diminui?



TESTE*



POTENCIAL ELÉTRICO E ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

- Relação entre o potencial e a energia potencial elétrica:
- Analisando as definições se pode observar a seguinte relação: $U = V \cdot q$, ou seja, a energia potencial entre duas cargas é o potencial elétrico do ponto multiplicado pela carga.



FÓRMULAS: ENERGIA POTENCIAL E POTENCIAL ELÉTRICO

$$dU = -dW_E = -q_0 E \cdot ds$$

$$\Delta U = U_B - U_A = -\int_A^B dW_E = -\int_A^B q_0 \vec{E} \cdot \vec{ds} = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

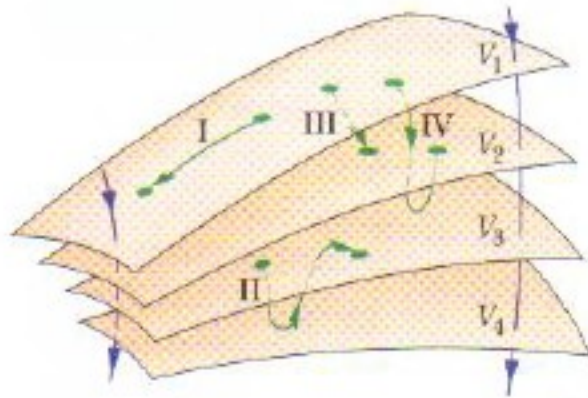
$$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q_0} \Rightarrow \Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

$$\Delta U = q_0 \Delta V$$



POTENCIAL ELÉTRICO

- Superfícies Equipotenciais

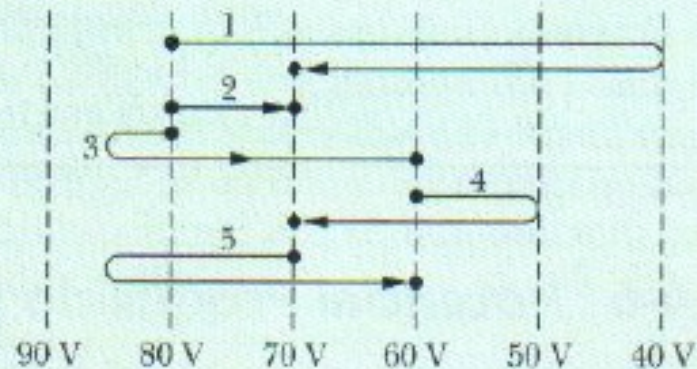


- Se o potencial é constante, a diferença de potencial é nula, não há trabalho!



POTENCIAL ELÉTRICO

TESTE 3 A figura mostra uma família de superfícies paralelas eqüipotenciais (vistas de perfil) e cinco trajetórias ao longo das quais um elétron pode ser deslocado de uma superfície para outra. (a) Qual é a orientação do campo elétrico associado às superfícies? (b) Para cada trajetória, o trabalho realizado para deslocar o elétron é positivo, negativo ou nulo? (c) Coloque os caminhos na ordem do trabalho realizado, começando pelo maior.



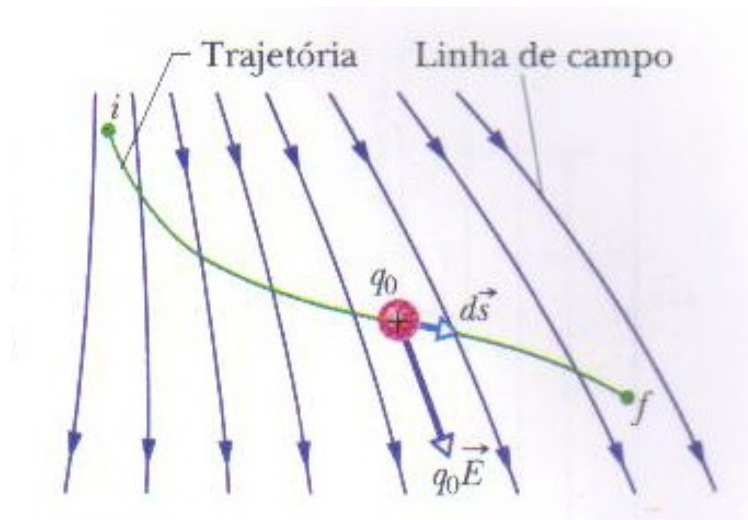
Importante*: A partir de agora utilizaremos uma nova unidade para o campo elétrico

1 volt = 1 joule por coulomb.

$$\begin{aligned} 1 \text{ N/C} &= \left(1 \frac{\text{N}}{\text{C}}\right) \left(\frac{1 \text{ V} \cdot \text{C}}{1 \text{ J}}\right) \left(\frac{1 \text{ J}}{1 \text{ N} \cdot \text{m}}\right) \\ &= 1 \text{ V/m.} \end{aligned}$$



CÁLCULO DO POTENCIAL A PARTIR DO CAMPO



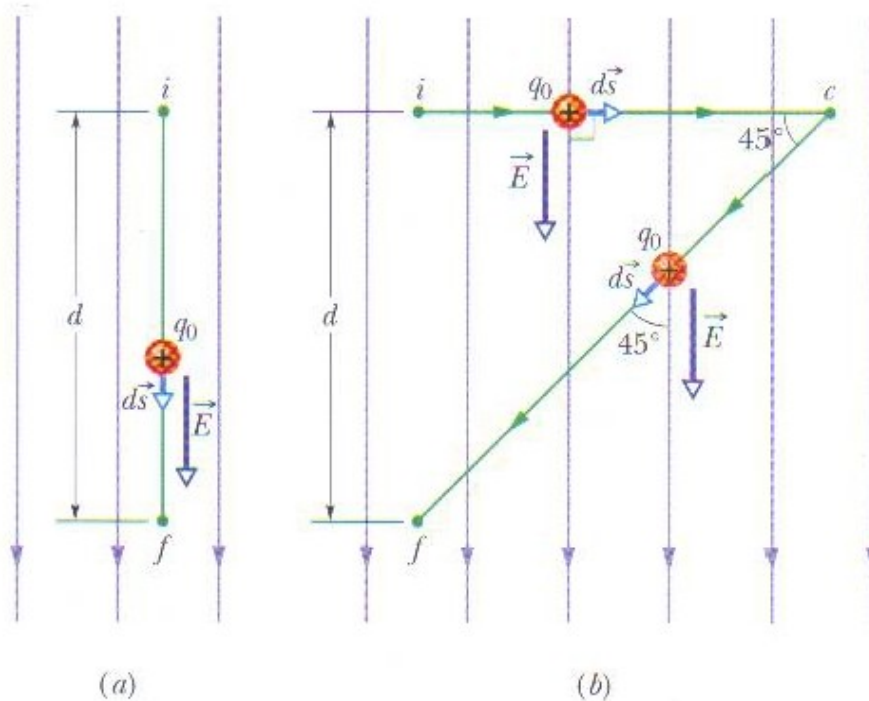
$$dW = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}.$$

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

- Uma carga de prova se desloca ao longo de i para f , na presença de um campo elétrico. Uma força $q_0 \cdot E$ age sobre a carga, a força aponta na direção da linha de campo que passa pela carga de prova.



CÁLCULO DO POTENCIAL A PARTIR DO CAMPO



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

Exemplo

a) – $E \cdot d$

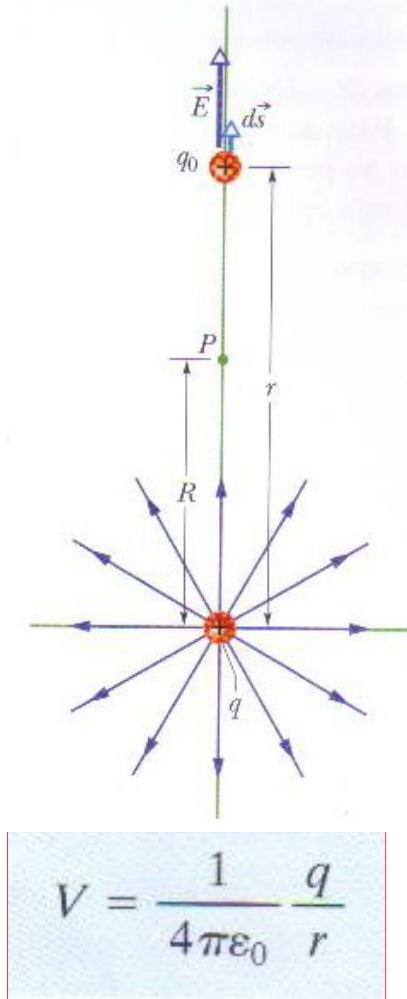
b) – $E \cdot d$

Porque?

A diferença de potencial não depende da trajetória.

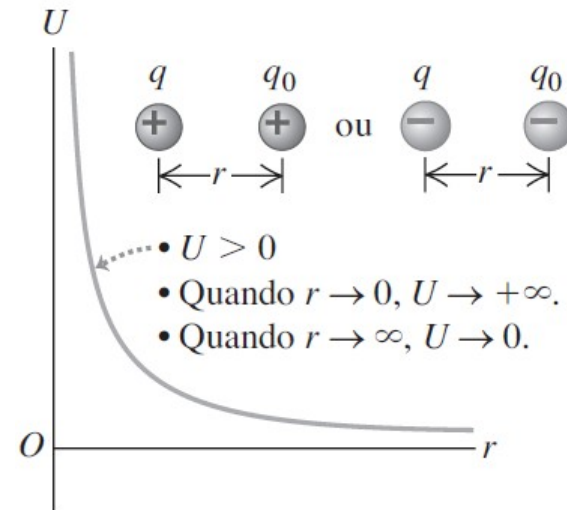


POTENCIAL CARGA PUNTIFORME

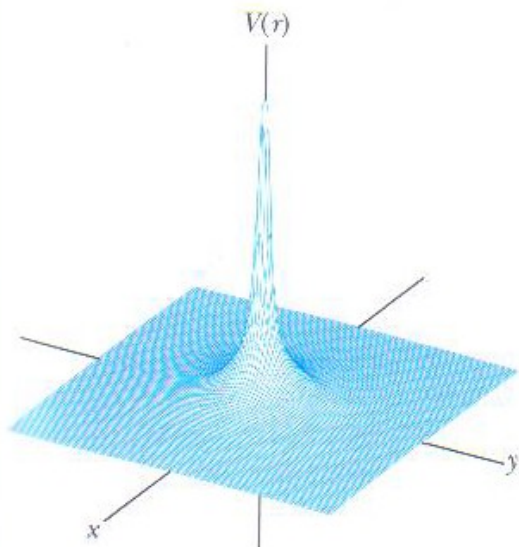


- Para obter uma expressão pra o potencial elétrico V criado por uma carga pontual utiliza-se como referência um potencial 0 no infinito.

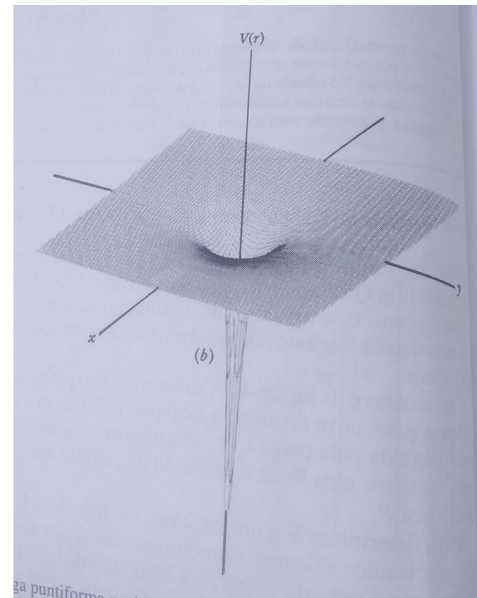
(a) q e q_0 têm sinais iguais



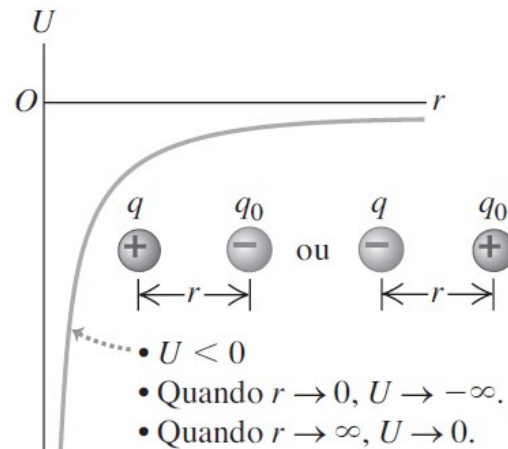
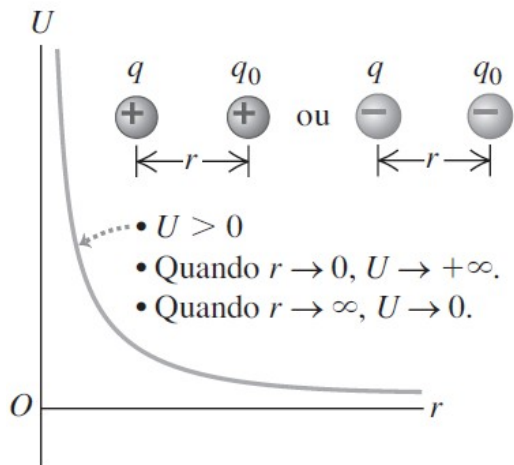
POTENCIAL CARGA PUNTIFORME



(a) q e q_0 têm sinais iguais



(b) q e q_0 têm sinais contrários



POTENCIAL POR GRUPO DE CARGAS PONTUAIS

- Princípio da superposição.
- Somatório do cálculo de cada potencial produzido pela carga no ponto de análise.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} \quad (n \text{ cargas pontuais}).$$



EXEMPLO

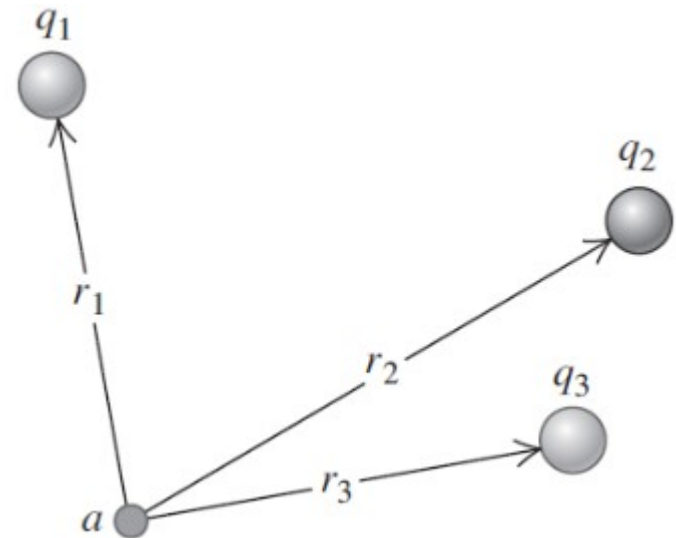
- Qual o potencial elétrico no ponto a?

Dados:

- $r_1 = r_2 = r_3 = 50 \text{ cm}$.
- $q_1 = 9 \mu\text{C}$; $q_2 = -7 \mu\text{C}$; $q_3 = 8 \mu\text{C}$
- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

$$\Sigma V_i = 162 \cdot 10^3 - 126 \cdot 10^3 + 144 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{V_r = 180 \times 10^3 \text{ Volts}}$$



ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA PARA SISTEMAS DE CARGAS PUNTIFORMES

- A energia potencial elétrica de um sistema de cargas é igual ao trabalho que deve ser realizado para reunir o sistema, trazendo cada carga de uma distância infinita.

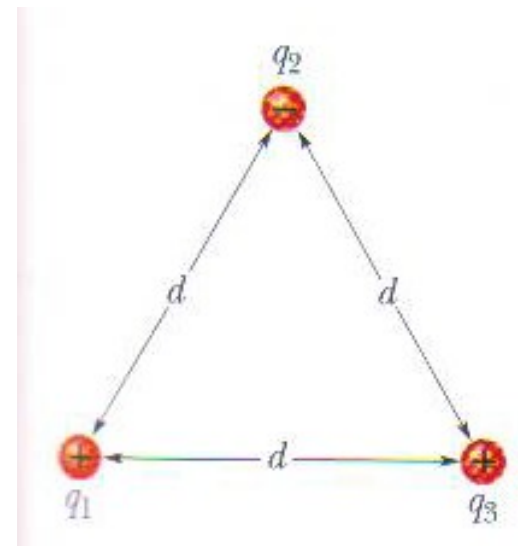
$$U = W = q_2 V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$$

Exemplo:

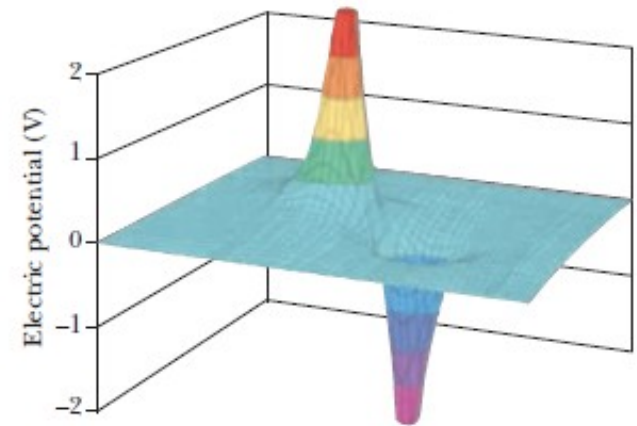
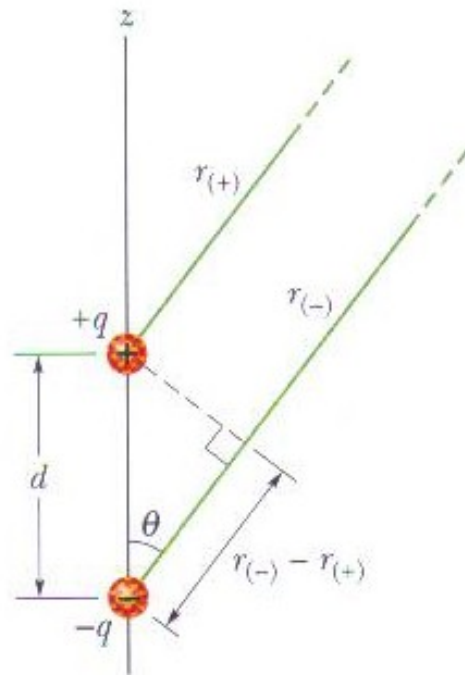
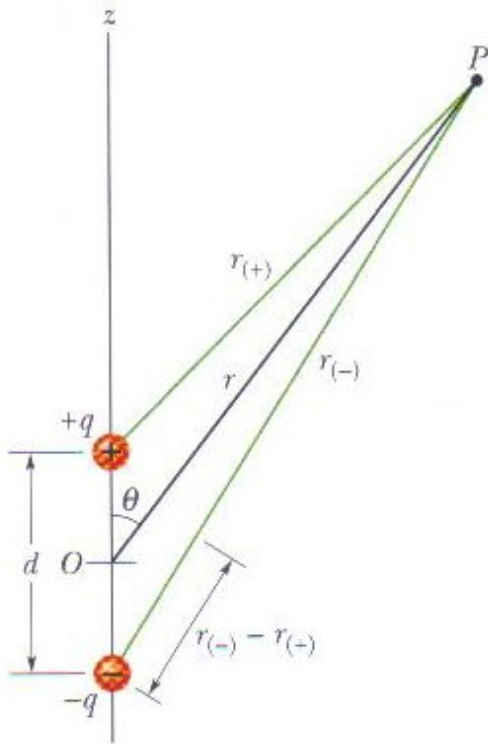
- $d_1 = d_2 = d_3 = 12 \text{ cm}$.
- $q_1 = +q$; $q_2 = -4q$; $q_3 = +2q$
- $q = 150 \text{ nC}$
- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

$$U = -10q^2/4\pi\epsilon_0 d$$

$$U = -17 \text{ mJ}$$



POTENCIAL POR UM DIPOLO



$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2} \quad (\text{dipolo el\u00e9trico})$$



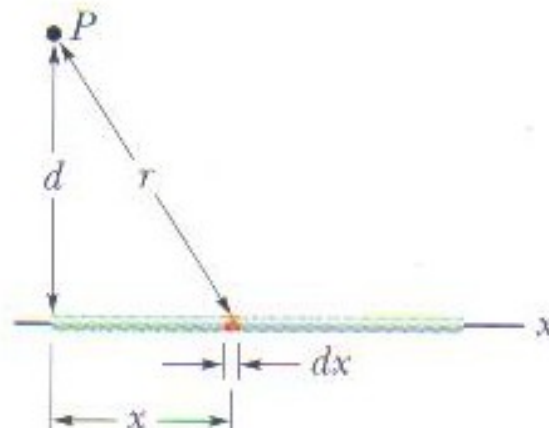
POTENCIAL POR DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS CONTÍNUAS

- Quando uma distribuição de cargas é contínua, e não várias cargas puntiformes separadas, para determinar o potencial V em algum ponto P , devemos escolher um elemento diferencial de carga dq , calcular o potencial criado por ele, e integrar sobre toda a distribuição contínua de carga.

$$V = \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$



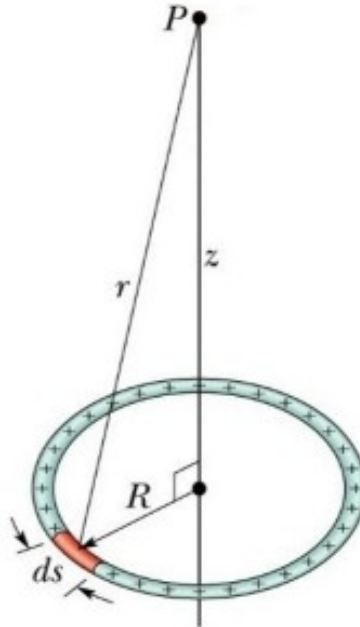
POTENCIAL POR LINHAS DE CARGAS



$$V = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{L + (L^2 + d^2)^{1/2}}{d} \right]$$



POTENCIAL POR ANEL DE CARGA

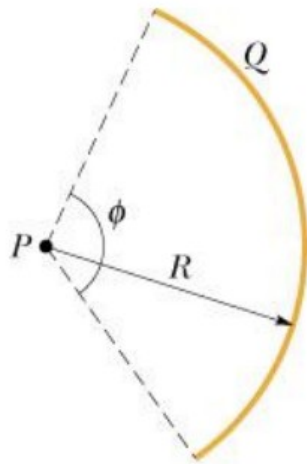


$$\begin{aligned} V &= \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\sqrt{z^2 + R^2}} \int dq \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0\sqrt{z^2 + R^2}} \end{aligned}$$



EXEMPLO

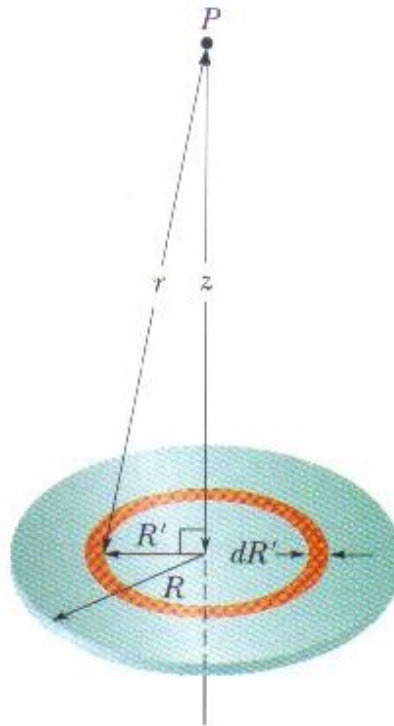
•24 Na Fig. 24-38, uma barra de plástico com uma carga uniformemente distribuída $Q = -25,6 \text{ pC}$ tem a forma de um arco de circunferência de raio $R = 3,71 \text{ cm}$ e ângulo central $\phi = 120^\circ$. Com $V = 0$ no infinito, qual é o potencial elétrico no ponto P , o centro de curvatura da barra? R: -6,20V



$$\begin{aligned} V &= \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\sqrt{z^2 + R^2}} \int dq \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0\sqrt{z^2 + R^2}} \end{aligned}$$



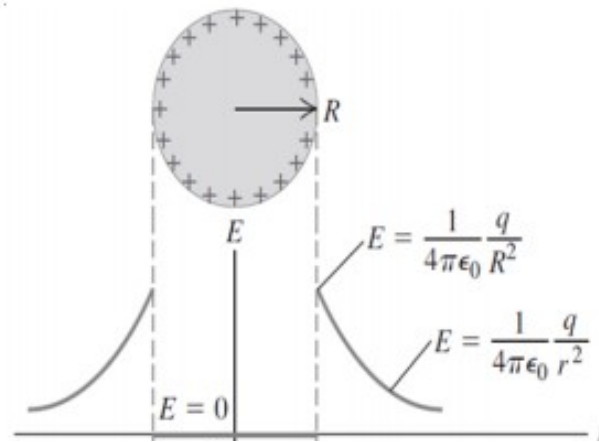
POTENCIAL POR DISCO CARREGADO



$$V = \int dV = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int_0^R \frac{R' dR'}{\sqrt{z^2 + R'^2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{z^2 + R^2} - z)$$

EXEMPLO*

POTENCIAL CASCA ESFÉRICA



$$dV = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 s}$$

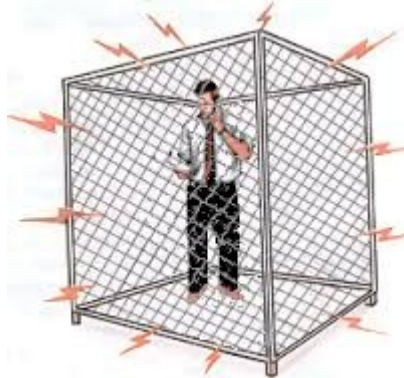
$$dq = \sigma(2\pi R \sin \theta)(Rd\theta)$$

$$V = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 s} = \frac{\sigma(2\pi R^2)}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sin \theta}{s} d\theta$$

$$V_i = V_f$$

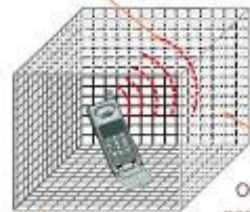


CAMPO E NULO EM CONDUTORES, CARGAS FICAM NA SUPERFÍCIE.

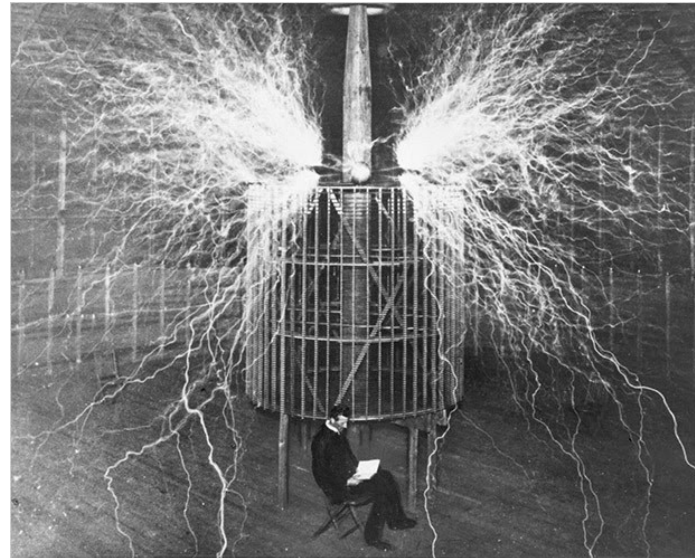


Sinal irradiado pelo telefone celular.

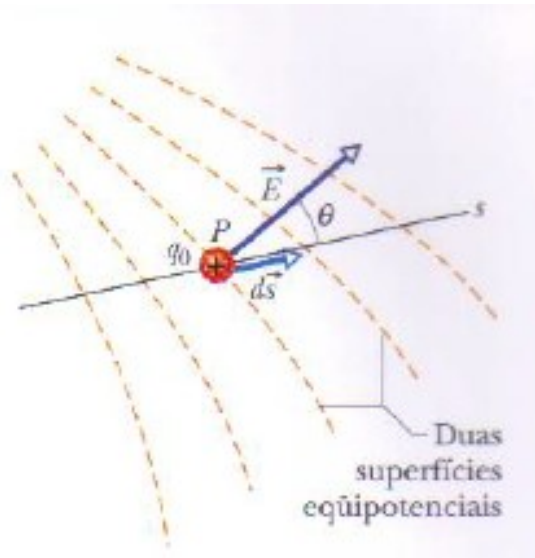
Sinal irradiado pela estação celular.



Os sinais emitidos dentro da gaiola não passam para o exterior. Os sinais emitidos fora da gaiola não passam para o interior. Há um isolamento eletromagnético.



CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO A PARTIR DO POTENCIAL



$$E_s = -\frac{\partial V}{\partial s}$$

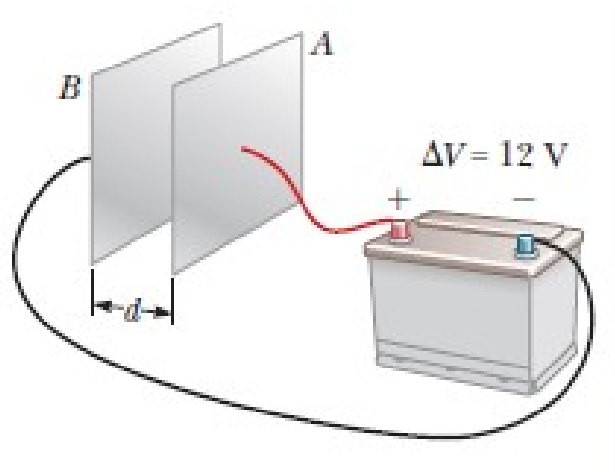
Conhecendo-se V , em todos os pontos próximos de um conjunto de cargas, é possível desenhar as superfícies equipotenciais, e assim a variação de \mathbf{E} .

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$



EXEMPLO

- Qual o campo elétrico entre as placas, sendo 0,30 cm a distância entre elas?



$$E = \frac{|V_B - V_A|}{d} = \frac{12 \text{ V}}{0.30 \times 10^{-2} \text{ m}} = 4.0 \times 10^3 \text{ V/m}$$



BIBLIOGRAFIA

- HALLIDAY, Resnick. Física 3. 4ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1996.
- TIPLER, Paul. Física Volume 2. 5ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- MICKELVEY, J. P. Física. São Paulo. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000, v.2.
- NUSSSENSWEIG, Moises. Curso de Física básica 3. São Paulo. Editora Blucher Ltda, 1997.
- SEARS E ZEMANSKY, Física 3. São Paulo. Addison Wesley, 2003, v3.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- CHAVES, Alaor. Física Básica – Eletromagnetismo. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2007.
- HALLIDAY, Resnick. Física 3. 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009.
- CROWELL, Benjamin. Electricity and Magnetism. California, USA. Ed. Light and Matter, 2002.
- SERWAY, R.A.& JEWETT, J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 8ª edição. Ed Brooks/Cole Cengage, 2010.
- ULABY, Fawwaz T. Eletromagnetismo para engenheiros. Porto Alegre/RS. Editora Bookman, 2007. (original da Universidade de Michigan).

