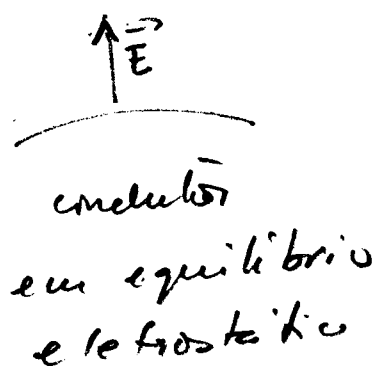
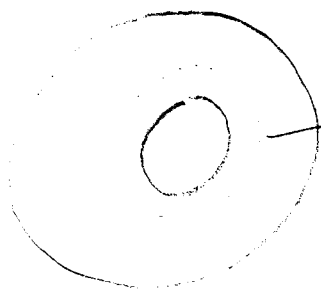


Em particular a superfície do condutor é uma superfície equipotencial. Não pode haver componente de $\vec{E}$ tangente à superfície.

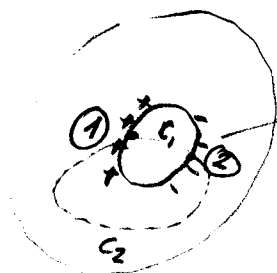


$\vec{E}_{||}$ à superfície deve ser nula.
 $\vec{E}$ deve ser $\perp$ à superfície próxima a ela.

Se o condutor estiver carregado, e não houver carga no interior da cavidade $\Rightarrow$ a carga deve estar distribuída na superfície externa do condutor.



carga total envolvida por qq superfície Gaussiana envolvendo a cavidade e contida no condutor deve ser nula.



Essa distribuição satisfaz isso, mas é inaceitável pq se saísse do pto 1 e voltasse ao ponto 1 $\Delta V = 0$

$$\int_{\text{ao longo de } C_1} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} + \int_{\text{ao longo de } C_2} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

Como $\int_{\text{ao longo de } C_2} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$ pois C_2 está dentro do condutor

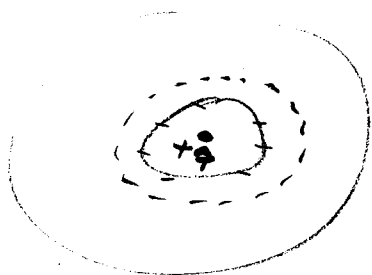
Temos $\int_{\textcircled{1}}^{\textcircled{2}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$

① ao longo de ζ

Porém se as linhas de campo iniciarem em ① e terminam em ②, como ilustra a fig. isto deveria dar $\neq 0$!

Ou seja, isto não pode acontecer em equilíbrio eletrostático.

A situação muda de figura se houver uma carga na cavidade. Nesse caso, ele será blindado de modo que o campo no interior do condutor seja nulo no equilíbrio eletrostático.



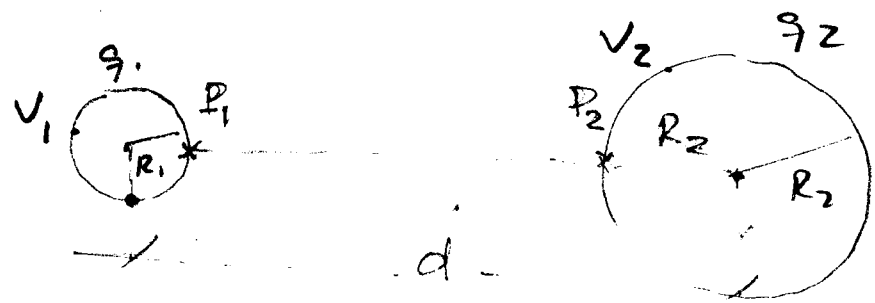
A carga induzida na superfície interna $(-q)$

Se o condutor estiver neutro aparecerá uma carga $(+q)$ na

sua superfície externa. Note que, nesse caso, o campo fora não será nulo.

Contato entre dois condutores: efeito das pontas condutores

Considere duas esferas de raios R_1 e R_2 , com cargas q_1 e q_2 , respectivamente, separadas por uma distância $d \gg R_1$ e R_2 .



Os potenciais nas superfícies das esferas são dados, respectivamente por

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R_1} + \frac{q_2}{d-R_1} \right)$$

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_2}{R_2} + \frac{q_1}{d-R_2} \right)$$

Se $d \gg R_1$ e $R_2 \Rightarrow$

$$V_1 \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R_1} \quad V_2 \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{R_2}$$

como se elas fossem isoladas.

Se as esferas forem conectadas por um fio condutor, irá fluir carga de um condutor para outro através do fio.

Se $\Delta V \neq 0 \Rightarrow$ existe campo elétrico

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V$$

Vamos supor que esse fio seja muito fino, de tal modo que ele apenas funcione como um meio para possibilitar a redistribuição de carga entre as esferas. (15)

A carga total inicial $Q = q_1 + q_2$ é conservada. Assim, chamando q'_1 e q'_2 as cargas finais (depois da redistribuição) nas esferas ① e ②, respectivamente, temos:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$$

A redistribuição cessa quando as potenciais finais

$$\frac{q'_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{q'_2}{4\pi\epsilon_0 R_2} \Rightarrow \boxed{\frac{q'_1}{q'_2} = \frac{R_1}{R_2}}$$

$$Q = q'_1 + q'_2 = q'_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$q'_2 = \frac{R_2}{R_1} q'_1$$

$$\boxed{q'_1 = \frac{Q R_1}{R_1 + R_2}} \quad \boxed{q'_2 = \frac{Q R_2}{R_1 + R_2}}$$

↑
Mais carga na esfera de maior raio.

As densidades superficiais de carga

$$\sigma'_1 = \frac{q'_1}{4\pi R_1^2} = \frac{Q}{4\pi R_1 (R_1 + R_2)}$$

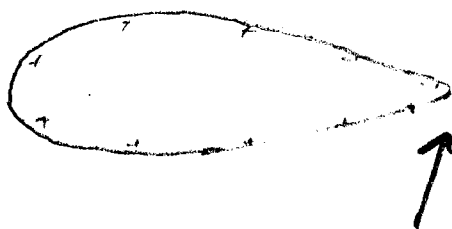
$$\sigma'_2 = \frac{Q}{4\pi R_2 (R_1 + R_2)}$$

Ou seja,

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_2'} = \frac{R_2}{R_1}$$

maior densidade
de carga na
esfera de menor raio

A densidade de carga será maior na
esfera de raio menor. Ela é inversamente
proporcional ao raio de curvatura



densidade de carga
na ponta é maior

O campo elétrico próximo a um condutor
é dado por $\vec{E} = \sigma / \epsilon_0 \hat{n}$ ($\hat{n}$ é superfície
do condutor)

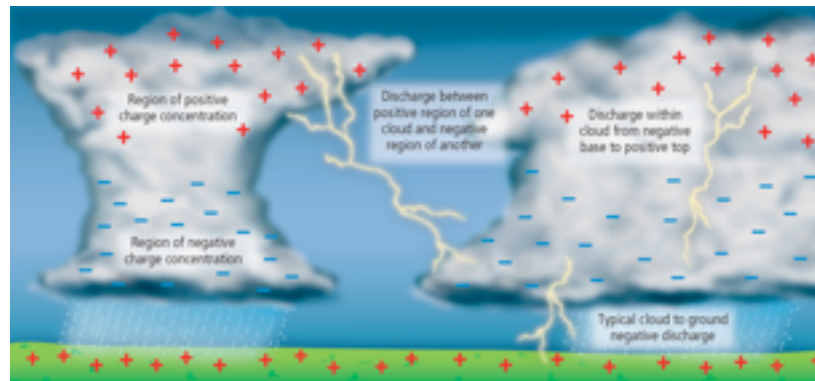
Quanto maior σ maior o campo naquele
ponto. elétrico

Os para-raios usam essa propriedade.

Funcionamento dos geradores van de Graaff.

Electrostatic discharge

Electricity in the Atmosphere: capítulo 9 volume 2
The Feynman Lectures on Physics



http://ffden-2.phys.uaf.edu/211_fall2010.web.dir/Levi_Cowan/lightning.html

<http://www.youtube.com/watch?v=Jjubgrl0T0g>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>

<http://www.sciencemadesimple.co.uk/activities/lightning>

<http://www.youtube.com/watch?v=jM8h60SI GsM>

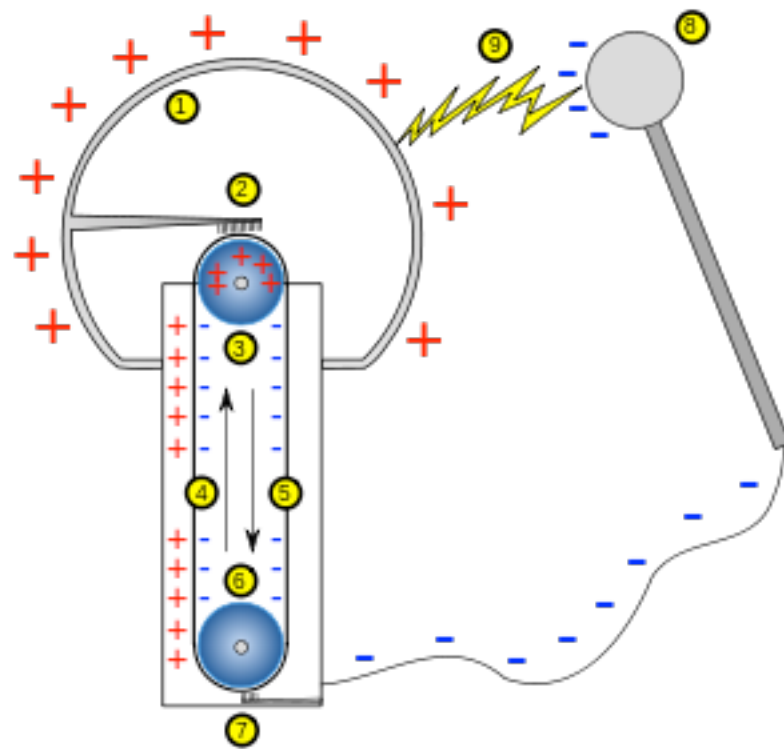
<http://www.youtube.com/watch?v=RLVIBrweSU8>

Fotos de pontas usadas para evitar acúmulo de cargas nas
asas e corpo das aeronaves

http://en.wikipedia.org/wiki/Static_discharger



Gerador van der Graaf



Infinitesimalmente, para força conservativa,

$$dU = - \vec{F} \cdot d\vec{\ell}$$



$$F d\ell \cos \theta$$

$F \cos \theta \equiv$ componente de F ao longo de $d\vec{\ell}$.
 $\underbrace{F \cos \theta}_{F_{\ell}}$

$$dU = - F_{\ell} d\ell$$

$$F_{\ell} = - \frac{dU}{d\ell}$$

Isso é uma derivada "direcional"

A derivada de U na direção $d\vec{\ell}$ nos dá $-F_{\ell}$:

(-) componente de $\vec{F}$ na direção $d\vec{\ell}$.

O nome dessa "derivada direcional" é "gradiente".

Em coordenadas Cartesianas

$$dU = - \vec{F} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\vec{F} = F_x \hat{x} + F_y \hat{y} + F_z \hat{z} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

$$d\vec{\ell} = dx \hat{x} + dy \hat{y} + dz \hat{z}$$

$$U = U(x, y, z) \Rightarrow dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz$$

$$dU = - \vec{F} \cdot d\vec{\ell} \Rightarrow \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz = - \left(F_x dx + F_y dy + F_z dz \right)$$

Isso vale para todo deslocamento arbitrário $d\vec{l}$. ^(5.2)

Nesse caso, $F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}$; $F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}$; $F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$

O gradiente de uma função escalar U em coordenadas Cartesianas é definido

por
$$\vec{\nabla} U = \frac{\partial U}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial U}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial U}{\partial z} \hat{z}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F} = -\vec{\nabla} U}$$

Analogamente, $\boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla} V}$

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad ; \quad \Delta U = q \Delta V$$

(5.3)

Ente símbolo $\frac{\partial U}{\partial x} \equiv \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{U(x+\Delta x, y, z) - U(x, y, z)}{\Delta x}$

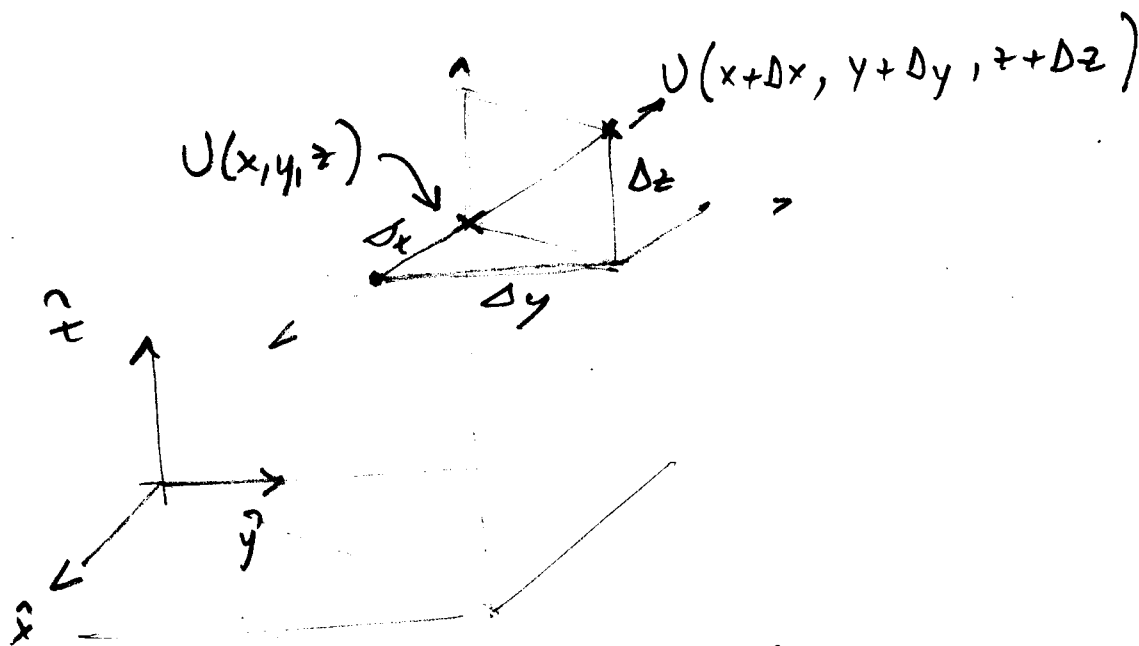
variação infinitesimal ao longo
de direção $\hat{x}$ apenas.

Analogamente

$$\frac{\partial U}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{U(x, y+\Delta y, z) - U(x, y, z)}{\Delta y}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{U(x, y, t+\Delta t) - U(x, y, t)}{\Delta t}$$

seu derivadas parciais em relação a x, y e z ,
respectivamente.



@@@PS! Faltou etc!

6'

Distribuição de carga pontuais

Energia potencial

$$U = \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} = \frac{1}{2} \sum_i q_i V_i$$

$$\text{and } V_i = \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} = \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ji}}$$

Potencial devido a todas as cargas q_j ^{calculado} numa posição r_i .

A generalização para distribuições contínuas

$$q_i = \rho(r) d^3r \Rightarrow \boxed{U = \frac{1}{2} \int d^3r \rho(r) V(r)}$$

Ex: Uma esfera uniformemente carregada

Cargas sucessivas.

$$dU = V dq \quad V(r) = \frac{q(r)}{4\pi\epsilon_0 r} \quad q(r) = \rho \frac{4\pi r^3}{3} \\ dq = 4\pi r^2 dr \rho$$

$$dU = 4\pi r^2 \rho dr \cdot \rho \frac{4\pi r^3}{3} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{4\pi}{3} \rho^2 r^4 dr$$

$$U = \int_0^R dU(r) = \frac{4\pi}{3} \rho^2 \int_0^R r^4 dr = \frac{4\pi}{3} \frac{\rho^2}{\epsilon_0} \frac{R^5}{5}$$

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4\pi}{3} R^3} \Rightarrow \boxed{U = \frac{3}{5} \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 R}}$$