

Física

Licenciatura em Engenharia Informática

Susana Sério

Aula 13

Sumário

- ✓ Lei de Coulomb
- ✓ Campo eléctrico
- ✓ Linhas de força do campo eléctrico
- ✓ Propriedades de um condutor em equilíbrio electrostático

Lei de Coulomb: Introdução histórica

- ✓ Na Natureza existem **cargas eléctricas positivas e negativas** isoladas
- ✓ Em 1580 **Gilbert** descobriu que a electrização era uma propriedade geral da matéria
- ✓ Por volta de 1730, **Stephen Gray** demonstrou que a electricidade é uma propriedade inerente à matéria e não é originada por fricção.
- ✓ Por volta de 1780 **Franklin** demonstrou a existência de dois tipos de carga eléctrica isolada na Natureza, a que chamou positiva e negativa
- ✓ Por volta de 1800 **Coulomb** formulou a **lei que expressa a força entre as cargas eléctricas**

Lei de Coulomb

Coulomb formalizou a força entre cargas eléctricas pontuais

- ✓ Tem a direcção da linha que une as duas cargas
- ✓ É inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa
- ✓ É proporcional ao produto das duas cargas $|q_1|$ e $|q_2|$
- ✓ É atractiva se as cargas têm sinais opostos
- ✓ É repulsiva se têm o mesmo sinal

Lei de Coulomb

Sejam duas partículas carregadas, que designaremos por partículas pontuais, com carga q_1 e q_2 , separadas por uma distância r .

- A intensidade da força eletrostática é descrita pela seguinte expressão (**Lei de Coulomb**)

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

No sistema SI:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2 \rightarrow \text{Permitividade elétrica}$$

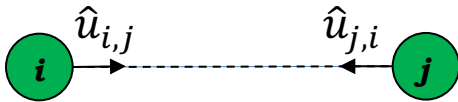
Força de Coulomb entre duas Cargas Forma Vetorial

Força exercida em i por j

$$\vec{F}_{qi,qj} = -k \frac{q_i q_j}{r^2} \hat{u}_{i,j}$$

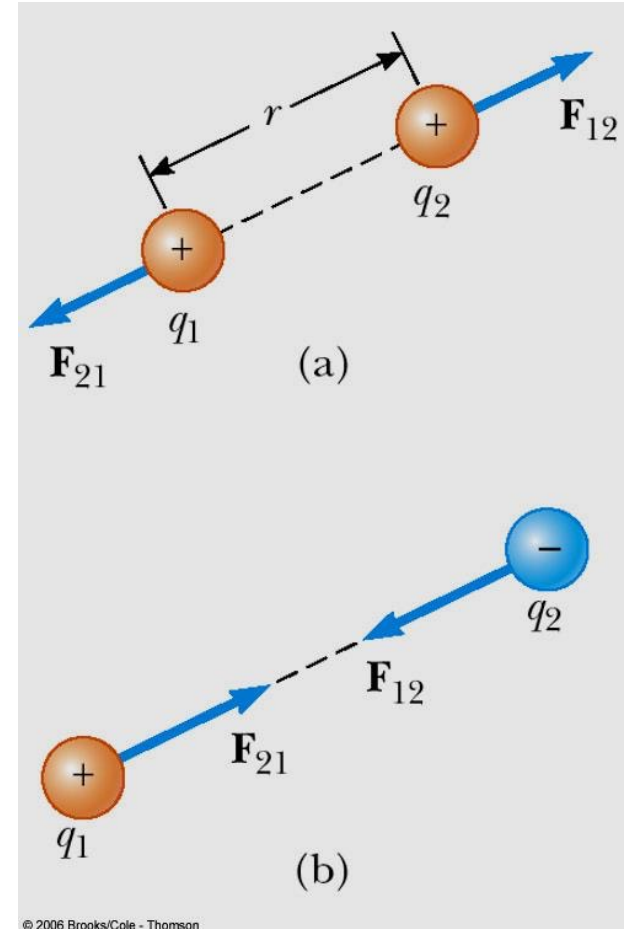
Força exercida em j por i

$$\vec{F}_{qj,qi} = -k \frac{q_j q_i}{r^2} \hat{u}_{j,i}$$



Lei de Coulomb

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$



Características das Forças eléctricas

- ✓ A força eléctrica é do mesmo tipo que a força de interacção gravitacional
- ✓ É inversamente proporcional ao quadrado da distância
- ✓ É uma força de interacção à distância
- ✓ A fórmula matemática é a mesma, desde que as massas sejam substituídas pelas cargas e a constante seja a adequada
- ✓ A força electrostática pode ser atractiva ou repulsiva.
- ✓ A força gravitacional é sempre atractiva. (Ex. Comparar as duas)

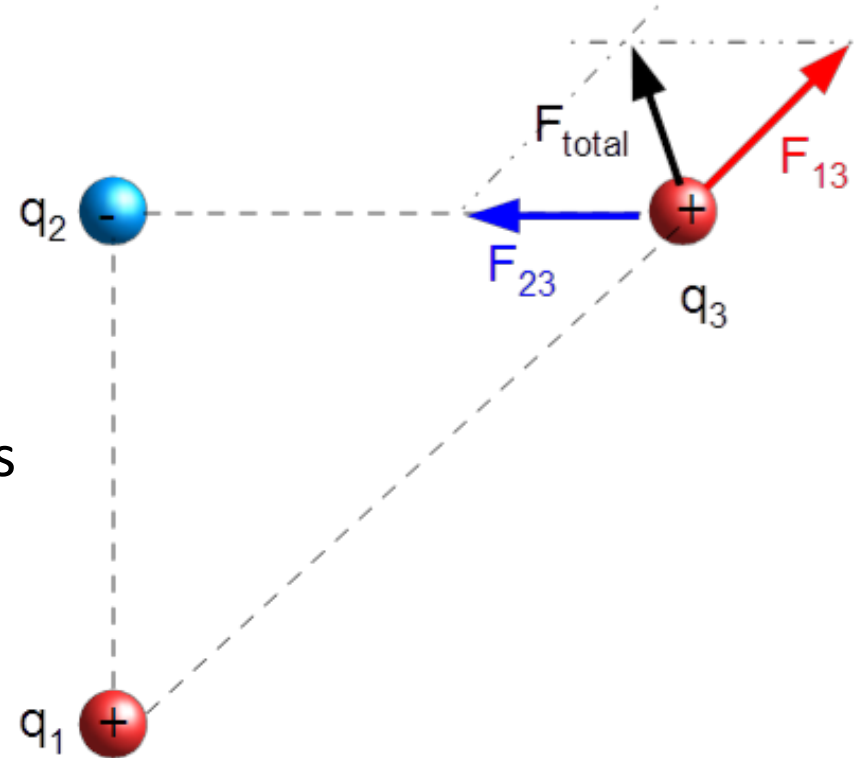
Força Elétrica e Força Gravitacional

- Esta lei (Coulomb) é semelhante à equação de Newton que descreve a força gravitacional:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

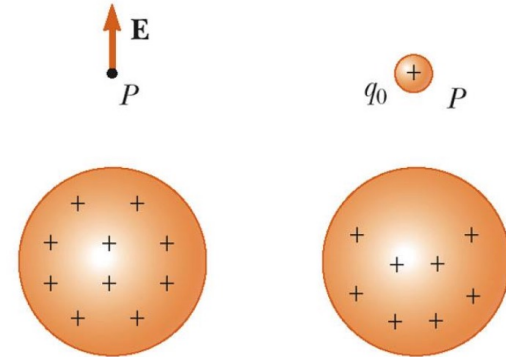
Princípio da sobreposição

Se uma carga é actuada por várias cargas, a acção de cada uma delas é independente da das outras, sendo, **a força resultante é a soma vectorial das várias forças**, calculadas como se cada uma delas estivesse a actuar isoladamente



Campo eléctrico

- Toda a carga eléctrica cria um campo eléctrico, tal como toda a massa cria um campo gravítico



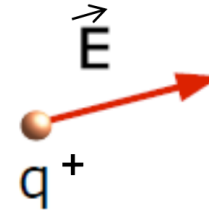
- O campo eléctrico \vec{E} criado por uma carga eléctrica num ponto, é a força que actua uma carga pontual unitária positiva colocada nesse ponto

Campo eléctrico

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k_e \frac{Q}{r^2} \vec{u} \quad \text{N/C}$$



Q



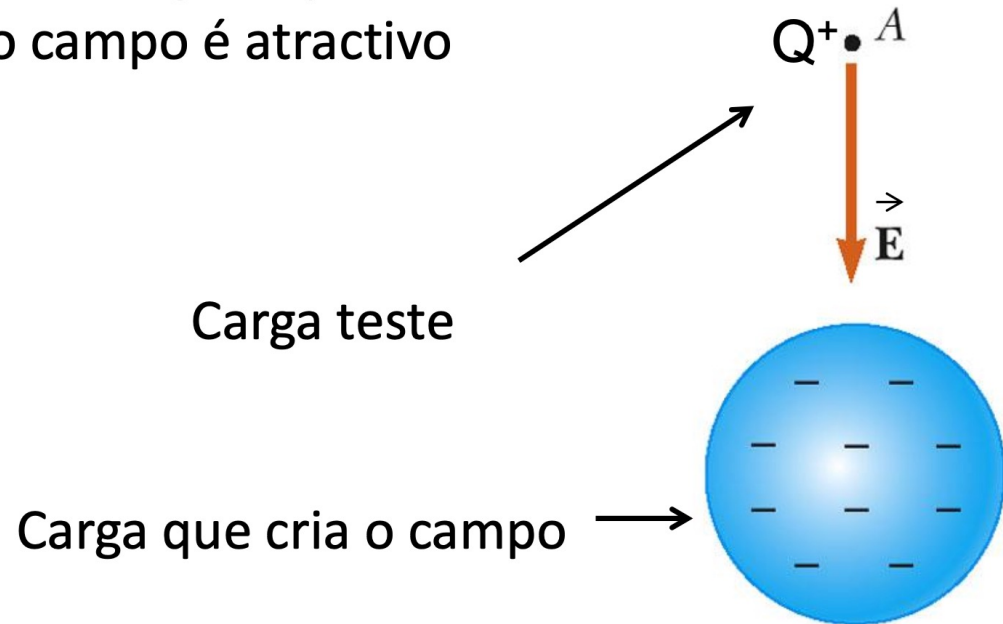
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

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

O campo \vec{E} criado por uma carga Q num ponto, é atrativo se a carga for negativa e é repulsivo se a carga for positiva

Campo eléctrico

- Do mesmo modo, se a carga Q que cria o campo é negativa, o campo é atractivo



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Campo eléctrico e princípio da sobreposição

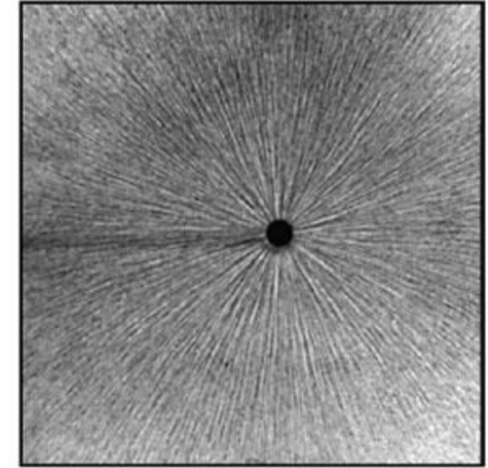
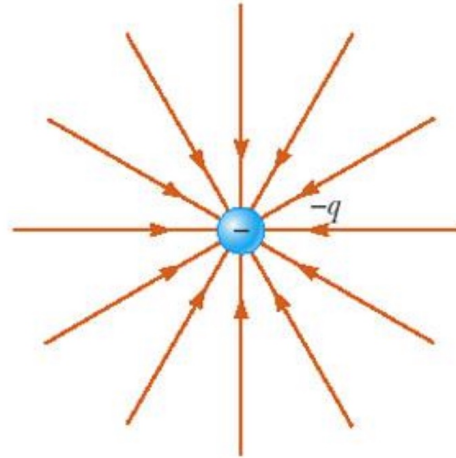
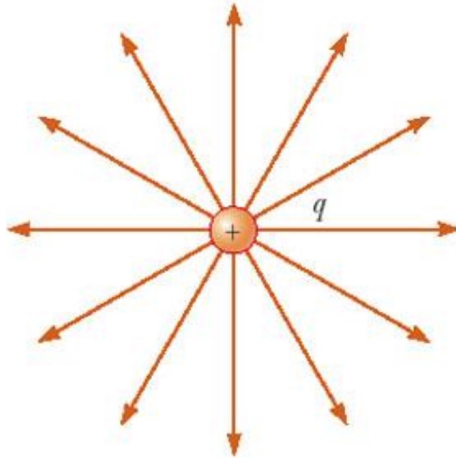
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

A unidade do campo eléctrico é o N/C

Se numa região existirem várias cargas, o campo eléctrico num ponto é a soma dos campos criados pelas várias cargas

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

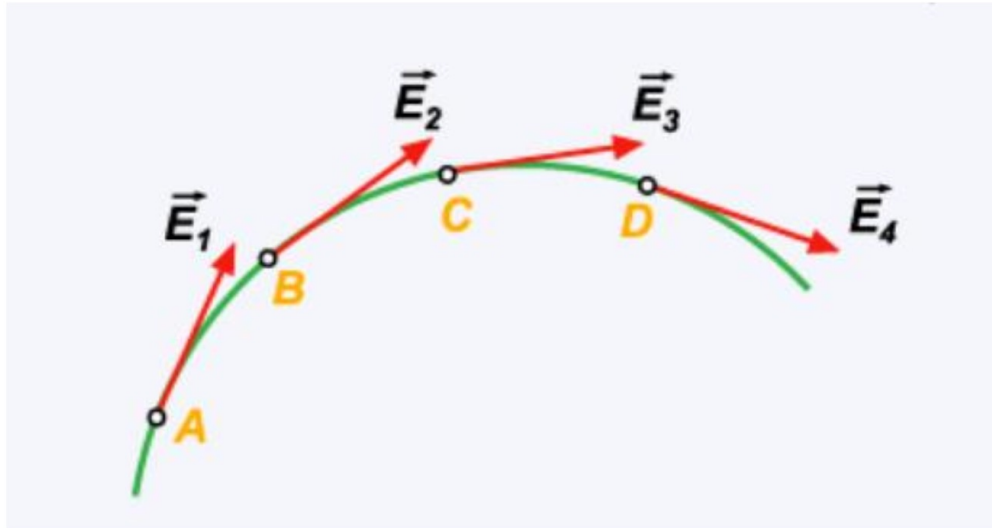
Linhas de Força do Campo Eléctrico



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

- As linhas de força do campo eléctrico são em cada ponto tangentes ao vector campo eléctrico \vec{E} que passa por esse ponto
- As linhas de força do campo eléctrico “saem” das cargas positivas e “entram” nas cargas negativas.

Linhas de Força do Campo Eléctrico



- As linhas de força do campo eléctrico são em cada ponto tangentes ao vector campo eléctrico \vec{E} que passa por esse ponto

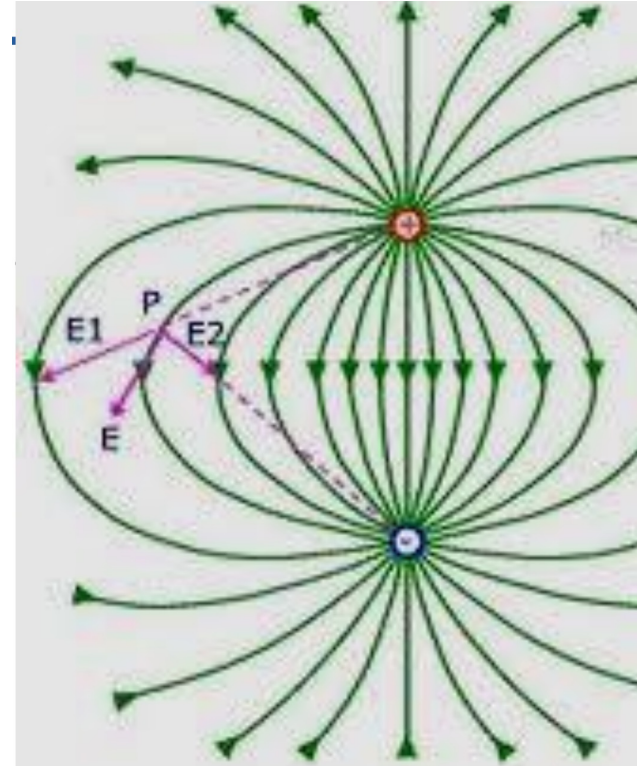
Propriedades das Linhas de Força do Campo Eléctrico

- O número de linhas por unidade de área é proporcional à intensidade do campo eléctrico nessa zona
- Duas linhas de força do \vec{E} não se podem cruzar (se se cruzassem significaria que haveria duas possibilidades para o \vec{E} nessa zona, o que não é possível. O campo \vec{E} tem um único valor em cada ponto.
- As linhas de força do campo eléctrico não são linhas fechadas. Têm início em cargas eléctricas + e terminam nas cargas – mas não se podem fechar.

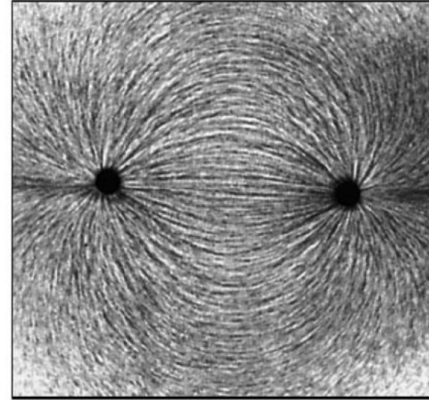
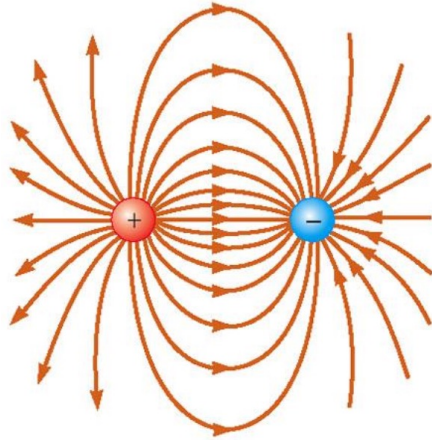
Linhas de Força do Campo Eléctrico

- As linhas de força do campo eléctrico não são linhas fechadas. Têm início em cargas eléctricas + e terminam nas cargas – mas não se podem fechar.

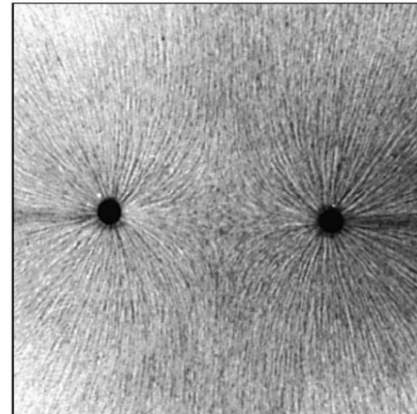
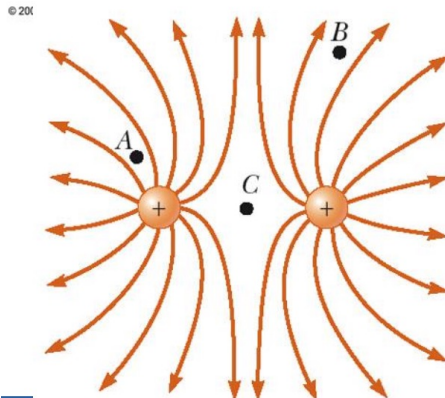
Na Fig. Vê-se que o \vec{E} é tangente em cada é ponto à linha que passa por esse ponto



Linhas de Força do Campo Eléctrico



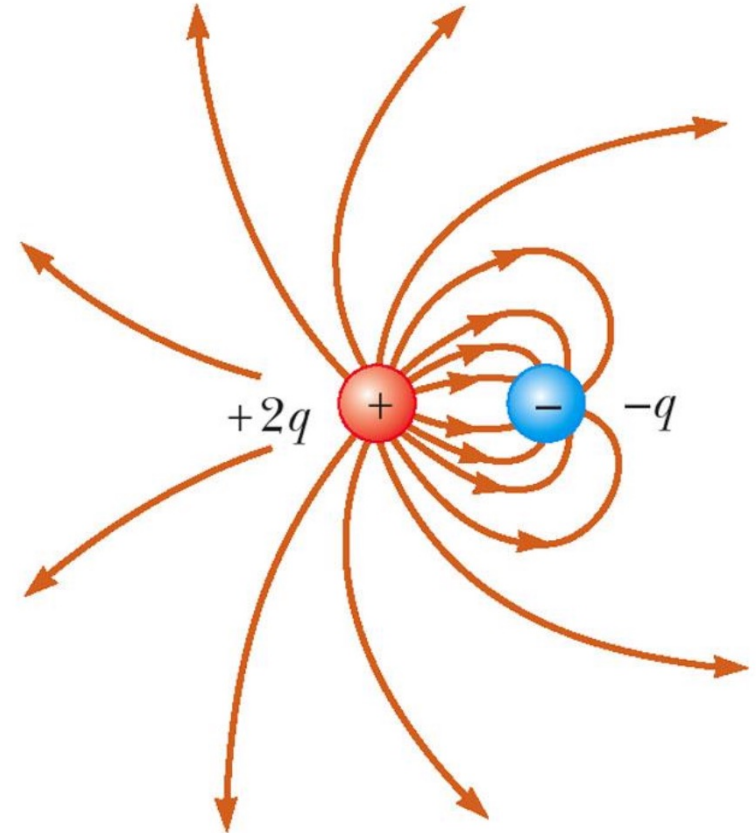
Cargas unitárias de sinal contrário



Cargas unitárias do mesmo sinal

Linhas de Força do Campo Eléctrico

Cargas unitárias de sinal contrário
Regiões onde a densidade de
cargas é maior, indicam E mais
intenso



Condutores em Equilíbrio Electrostático

Diz-se que um condutor está em equilíbrio electrostático quando não existe um movimento efectivo de cargas eléctricas no condutor.

Num condutor isolado verificam-se as seguintes propriedades:

1. O campo eléctrico é nulo em todos os pontos do interior do condutor.
2. Toda a carga em excesso encontra-se distribuída à superfície do condutor (O condutor tem cargas eléctricas + e -, mas em igual número, de modo que é electricamente neutro).
3. O campo eléctrico no exterior do condutor e próximo da superfície é perpendicular à superfície do condutor.
4. A densidade de carga é maior nas zonas de menor raio de curvatura

Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

1. O campo eléctrico E é nulo em todos os pontos do interior do condutor

Se existisse um campo E no interior, as cargas seriam actuadas por uma força qE , o que faria com que as cargas entrassem em movimento o que seria contra a hipótese formulada, de o condutor estar em equilíbrio electrostático.

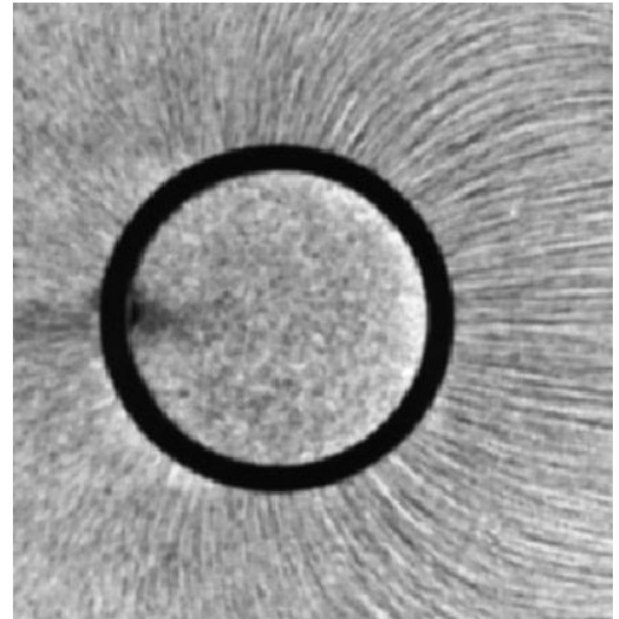
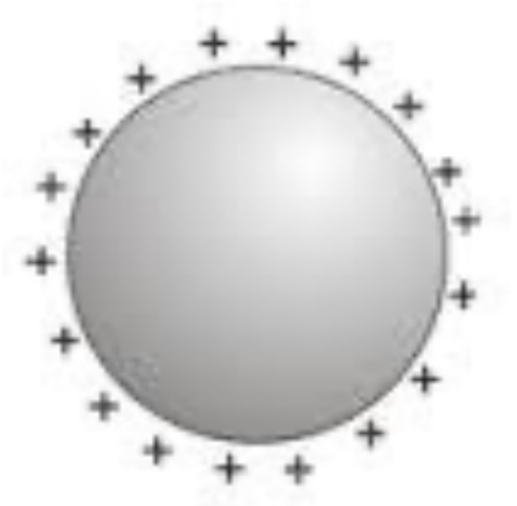


Fig. Mostrando $E=0$ no interior do condutor

Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

2. Toda a carga em excesso encontra-se distribuída à superfície.

As cargas do mesmo sinal repelem-se entre si, fazendo com que se desloquem para a máxima distância possível, que é a superfície do condutor

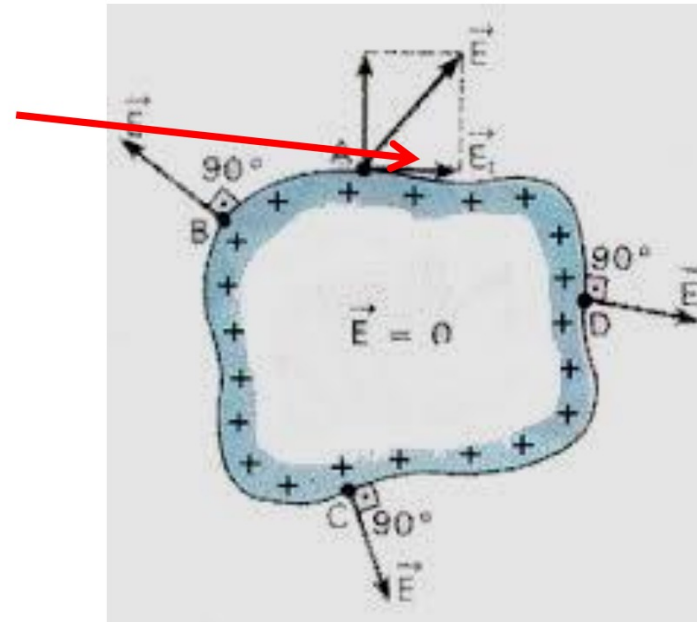


Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

3. O campo eléctrico à superfície do condutor é perpendicular à superfície

- Se o campo não fosse perpendicular existiria uma componente tangencial E_t que dava origem a uma força F_t que faria com que as cargas se deslocassem ao longo da superfície, o que é contra a nossa hipótese.

O campo \vec{E} tem portanto que ser perpendicular à superfície



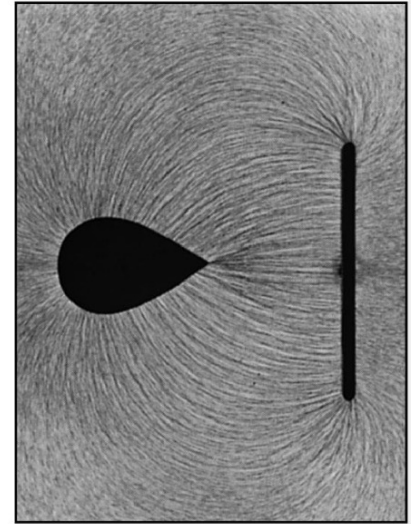
Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

4. A densidade de carga é maior nas zonas de menor raio de curvatura

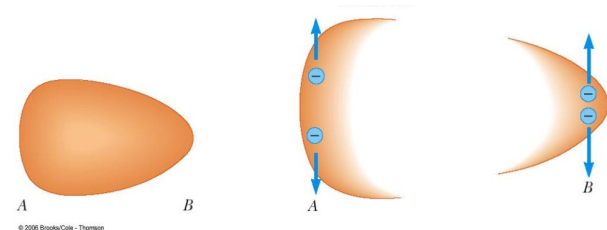
Na zona plana as forças entre as cargas são paralelas à superfície e afastam as cargas umas das outras

Nas pontas as forças estão dirigidas para a superfície originando uma menor mobilidade

O que faz com que a densidade das Cargas seja maior



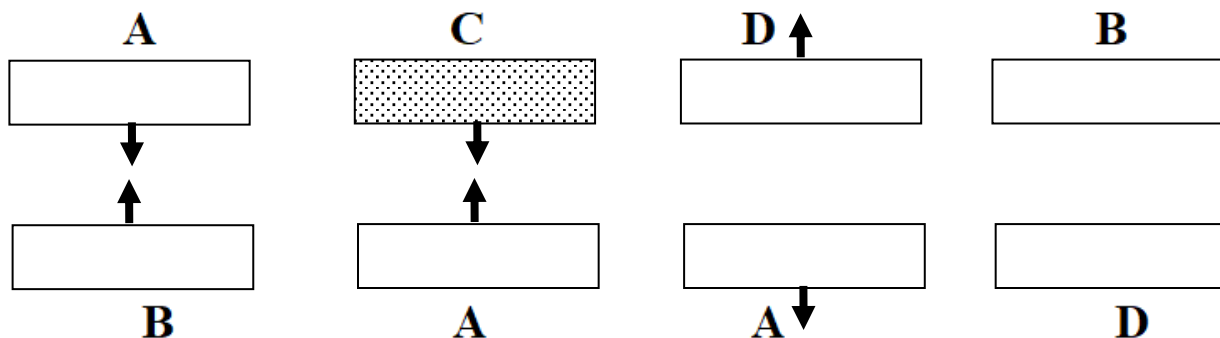
© 2009 Brooks/Cole - Thomson



© 2009 Brooks/Cole - Thomson


Questões

Considere 4 placas (A, B, C, D). A, B e D são de plástico e carregadas eletricamente, C é de cobre e é eletricamente neutra. A figura indica as forças eletrostáticas entre quatro pares de placas.



Pergunta: Entre as placas B e D, existe uma força

A e D tem o mesmo sinal
A e B tem sinais opostos
LOGO B e D tem sinais opostos o que resulta
numa força de atração

de atração ☐;  de repulsão ☐;
nula ☐; faltam dados para responder ☐

Questões

Considere um cubo metálico, carregado negativamente, e uma esfera metálica inicialmente neutra. Estes dois objectos são postos em contato e de novo afastados. Depois deste procedimento:

Os dois objectos ficam carregados negativamente ☐ 

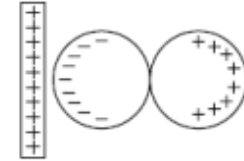
O cubo fica carregado positivamente, a esfera negativamente ☐

O cubo fica carregado negativamente, a esfera positivamente ☐

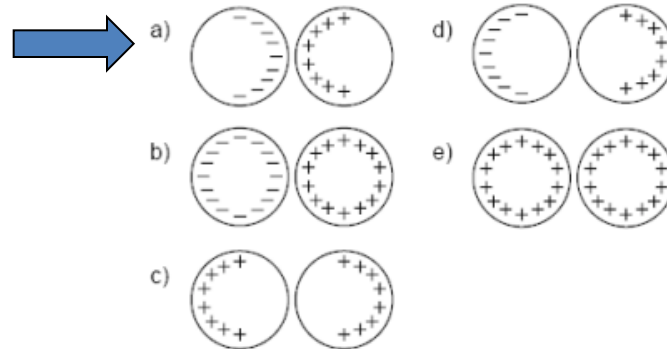
O cubo fica carregado positivamente, a esfera neutra ☐.

Questões

Aproximando-se uma barra eletrizada de duas esferas condutoras, inicialmente descarregadas e encostadas uma na outra, observa-se a distribuição de cargas esquematizada na figura ao lado. Em seguida, sem tirar do lugar a barra eletrizada, afasta-se um pouco uma esfera da outra.



Finalmente, sem mexer mais nas esferas, move-se a barra, levando-a para muito longe das esferas. Nessa situação final, a alternativa que melhor representa a distribuição de cargas nas duas esferas é:



Questões

carga inicial nula quer dizer que tem o mesmo número de cargas negativas e de cargas positivas, para dar um balanço nulo de carga

Um objecto carregado negativamente está colocado perto de um condutor de carga total inicial nula.

$Q=0$

$-Q$

tem mais cargas negativas que positivas

- A: Há força de repulsão entre os 2 objectos,
- B: O objeto inicialmente com $Q=0$ vai ficar carregado positivamente,
- C: Há força elétrica de atração entre os dois objectos,
- D: Há uma força de atração elétrica unicamente no objecto carregado negativamente.

Resposta C

B -> F - energia total do sistema é negativa

D -> F - impossível haver uma força de atração num único objeto, qual é o segundo objeto a atraí-lo???

C -> V