



Aula 11

Carga eléctrica

Carga eléctrica.

Formas de electrização

Lei de Coulomb

Campo eléctrico

Linhas de força do campo eléctrico

Propriedades dum condutor em equilíbrio electrostático

Condutores, isoladores, semi-condutores

Carga eléctrica-propriedades

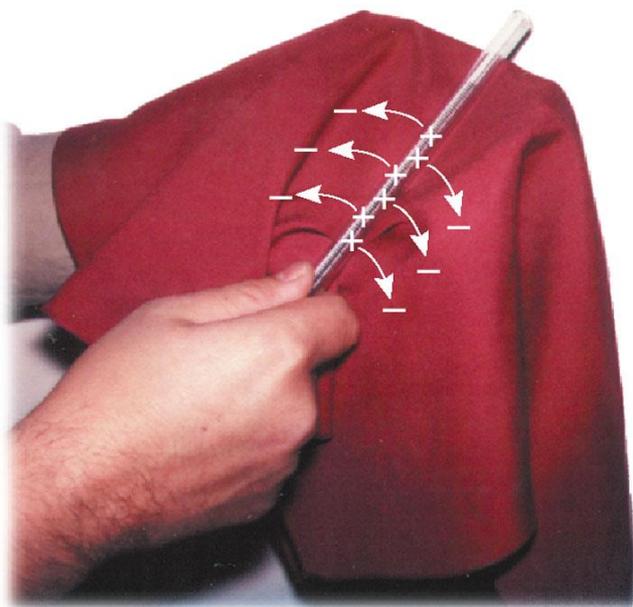
- Na Natureza existem cargas eléctricas positivas e negativas
- Cargas de sinal contrário atraem-se e cargas do mesmo de sinal repelem-se
- A partícula elementar de carga negativa é o electrão. Na Natureza só existem cargas de valor múltiplo ($n=1, 2, 3\dots$) da carga do electrão
- A partícula elementar de carga eléctrica positiva é o positrão (anti-partícula do electrão).
- Os prótons (não são partículas elementares). São as cargas positivas constituintes do núcleo atómico
- Os prótons têm carga eléctrica positiva igual à do electrão.

Carga eléctrica-propriedades

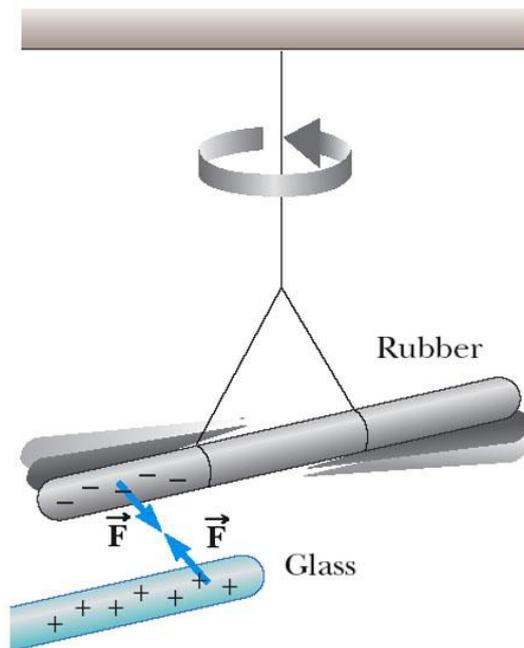
- Na Natureza a matéria é electricamente neutra. Significa que há tantas cargas positivas como negativas.
- Na Natureza os materiais podem ficar electricamente carregados ganhando ou perdendo electrões
- Na Natureza a carga eléctrica total é sempre conservada. Quando criamos ou destruímos uma partícula com uma dada carga eléctrica, temos que em simultâneo criar ou destruir uma carga eléctrica igual, mas de sinal contrário
- A carga eléctrica do electrão vale $1,6 \times 10^{-19}$ C e é a carga elementar
- **A unidade de carga eléctrica é o Coulomb (C)**

Formas de electrização dos materiais

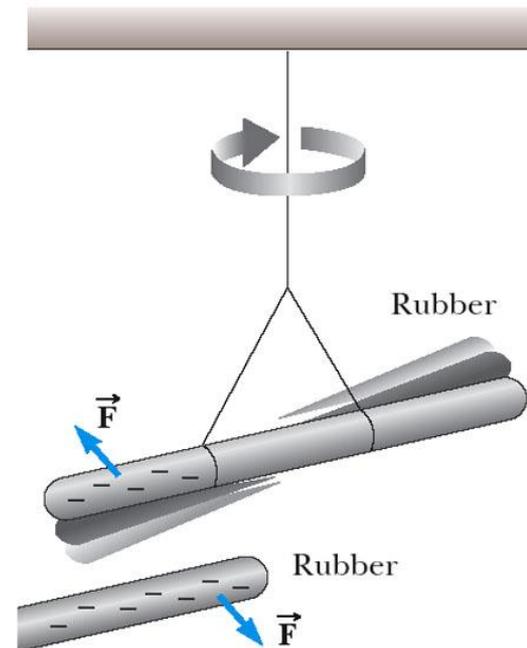
1. Fricção



© 2006 Brooks/Cole - Thomson



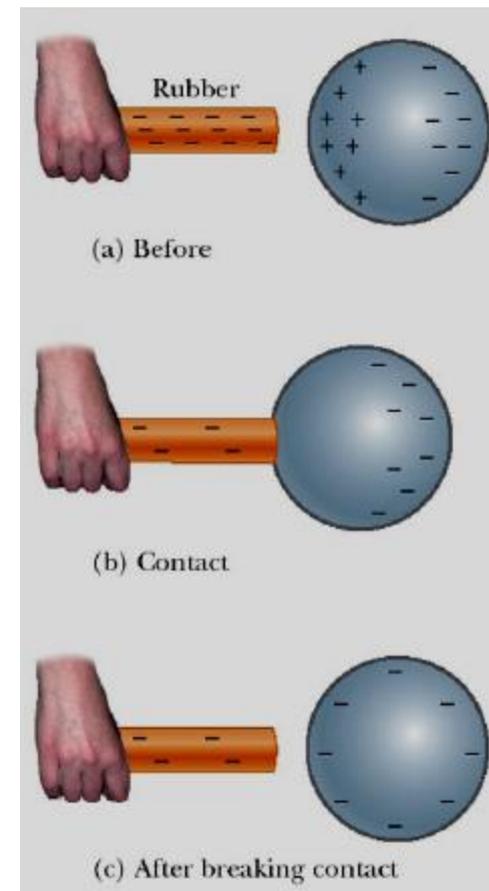
© 2006 Brooks/Cole - Thomson



Formas de electrização dos materiais

2. Condução

- Um corpo previamente carregado é colocado em contacto com o objecto que queremos carregar (a esfera).
- Alguns electrões passam da barra para a esfera
- Quando a barra é retirada alguma carga eléctrica permanece na esfera
- O objecto que é carregado fica com carga de igual sinal ao que efectua a carga
- Em todo o processo são sempre os electrões que se deslocam e não as cargas positivas. Porquê?

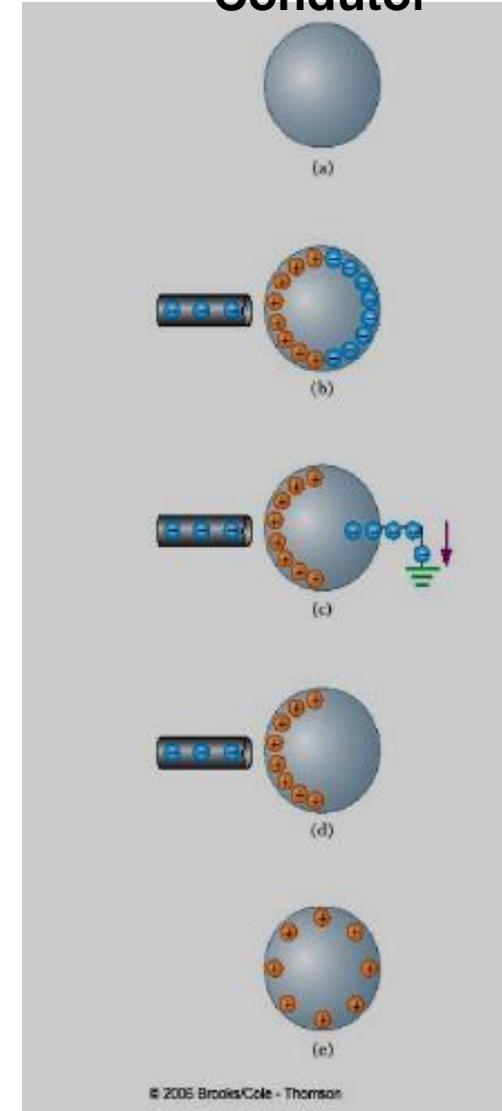


Formas de electrização dos materiais:

3. Indução

- Um corpo carregado (-) é colocado na proximidade daquele que queremos carregar com carga de sinal contrário (a esfera)
- Os electrões da esfera, que estava electricamente neutra (nº de cargas + igual ao nº de cargas -), são repelidos pela barra carregada
- A esfera é ligada à terra havendo escoamento dos e^- para a terra
- Retira-se a barra e o objecto fica carregado com carga +, que rapidamente se distribui uniformemente por toda a esfera

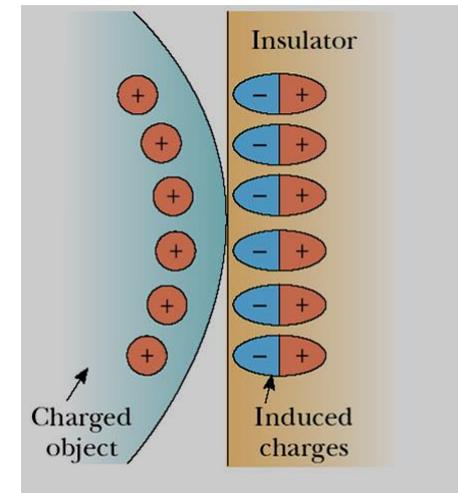
Condutor



Formas de electrização dos materiais:

4. Polarização

- No estado neutro, os átomos e moléculas têm igual nº de cargas positivas e negativas. Em muitos casos esta distribuição tem simetria esférica, ou seja é como se toda a carga estivesse concentrada no centro da esfera. O centro das cargas + e – coincide.
- Na presença de cargas eléctricas exteriores estes centros podem afastar-se ligeiramente. Daqui resulta a existência de uma carga efectiva positiva de um dos lados e negativa no lado oposto
- Este fenómeno é conhecido como polarização. A esfera é ligada à terra havendo escoamento das cargas positivas (são os e^- da terra que neutralizam as cargas +)
- Retira-se a barra e o objecto fica carregado com carga contrária



Características dos materiais

1. Condutores

- Materiais condutores são todos os materiais em que as cargas eléctricas se podem movimentar de forma praticamente livre.
- A maior parte dos metais são bons condutores
- A carga eléctrica não se conserva numa dada zona. Quando uma região do condutor se encontra carregada electricamente a carga distribui-se uniformemente por todo o volume do condutor. Esta distribuição é muito rápida.

Características dos materiais

2. Isoladores

- Materiais isoladores são todos os materiais em que as cargas eléctricas não se podem deslocar livremente.
- Exemplos de materiais isoladores são: o plástico, a borracha, o vidro, a lã
- A carga eléctrica conserva-se numa dada zona. Quando uma região do material se encontra carregada electricamente a carga não se distribui pelo material, mas conserva-se nessa zona.

Características dos materiais

2. Semicondutores

- Os materiais semicondutores são todos os materiais com características que se situam, do ponto de vista de condução da carga eléctrica, entre os condutores e os isoladores.
- Exemplos de materiais semicondutores são: o silício e o germânio
- Esta característica confere aos semicondutores particularidades próprias, o que os torna muito especiais e com aplicações práticas muito relevantes.

Condutores isoladores e semicondutores

□ Nos gases os átomos estão livres – os níveis de energia encontram-se bem separados uns dos outros, níveis discretos, correspondendo aos níveis de energia atómicos



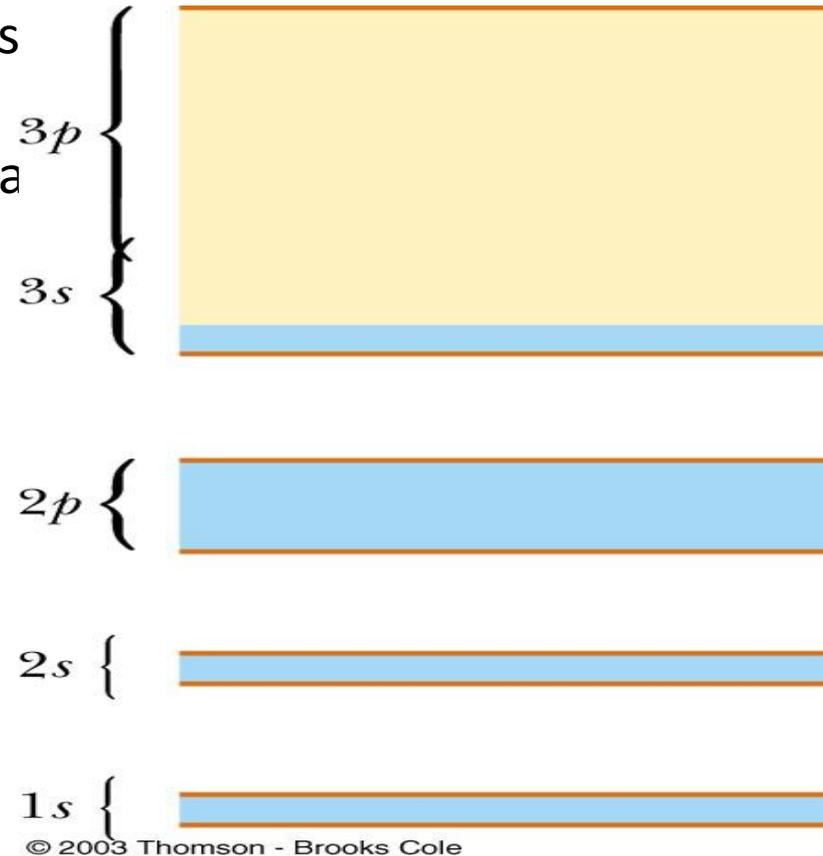
□ Em condições normais os átomos estão no estado fundamental, o que corresponde aos electrões ocuparem os níveis de energia mais baixa.



Bandas de energia nos sólidos

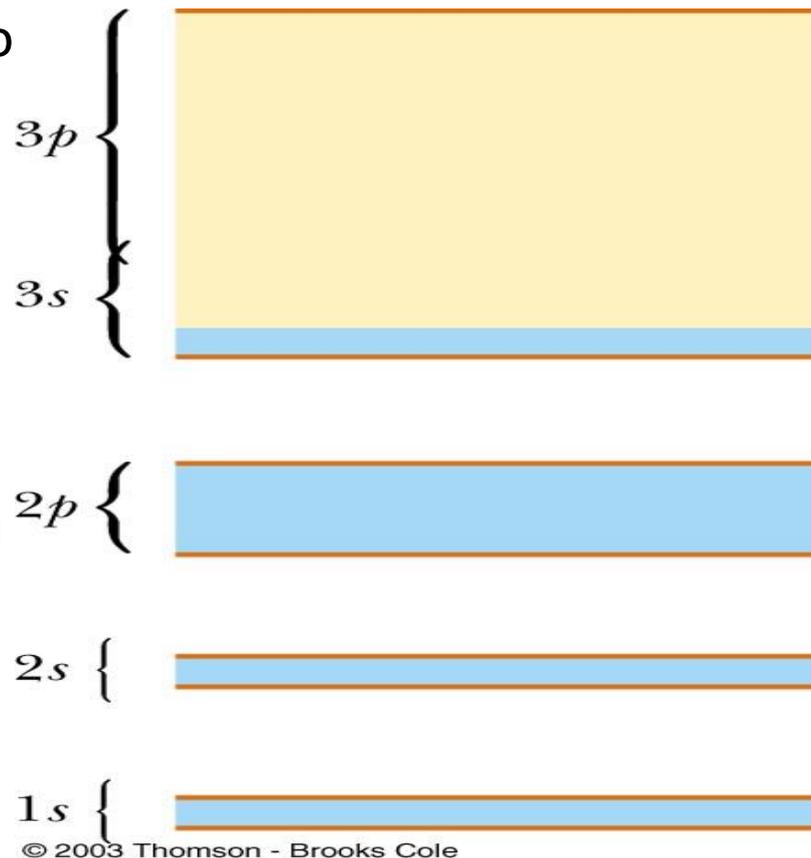
□ Nos sólidos – os níveis de energia discretos que existiam nos átomos isolados ficam alargados devido à interacção entre os átomos e constituem bandas de energia separadas umas das outras por “gaps”

□ Esta separação e a distribuição dos electrões nas bandas mais elevadas determina se um sólido é um isolador, condutor ou semiconductor



Bandas de energia nos sólidos

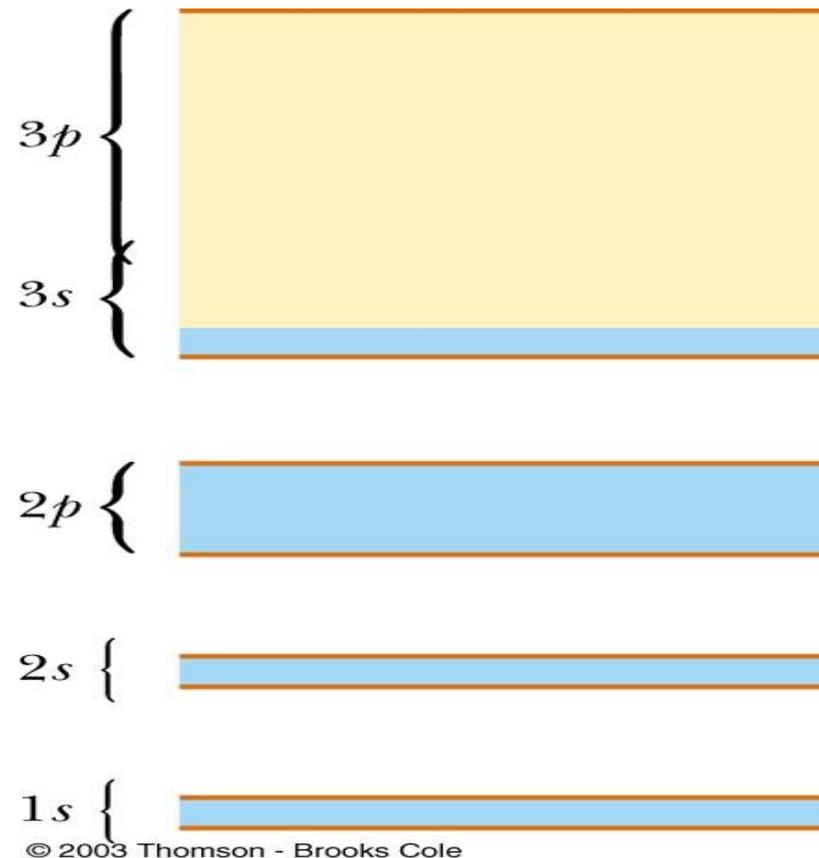
- ❑ O azul representa as bandas de energia ocupadas pelos electrões quando os átomos estão no estado fundamental
- ❑ O amarelo as bandas de energias que estão vazias
- ❑ O branco representa os gaps de energia os electrões só podem ter energia correspondente às bandas. Não podem ocupar estados entre os gaps.



© 2003 Thomson - Brooks Cole

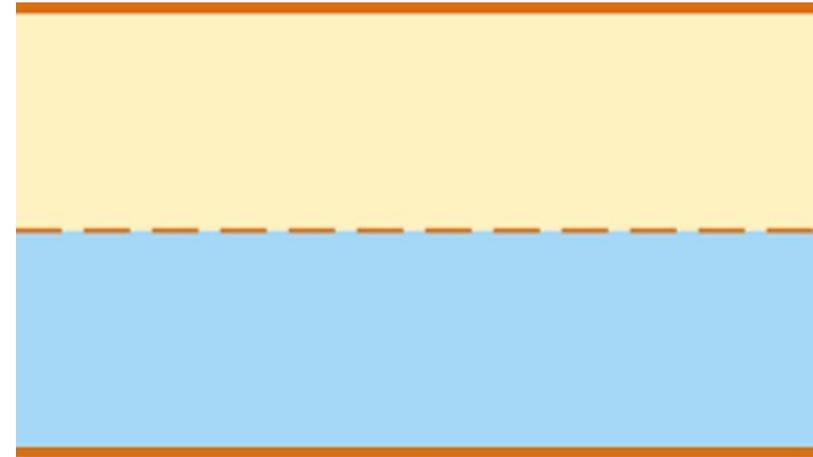
Bandas de energia nos sólidos

- ❑ A banda de valência é a banda preenchida de energia mais elevada
- ❑ A banda de condução é a banda vazia imediatamente a seguir



Condutores

- Sempre que uma energia é transferida para o condutor, pode ser uma ddp, os electrões ganham energia e saltam para as bandas não ocupadas. Esta energia é muito pequena < 0.1 eV



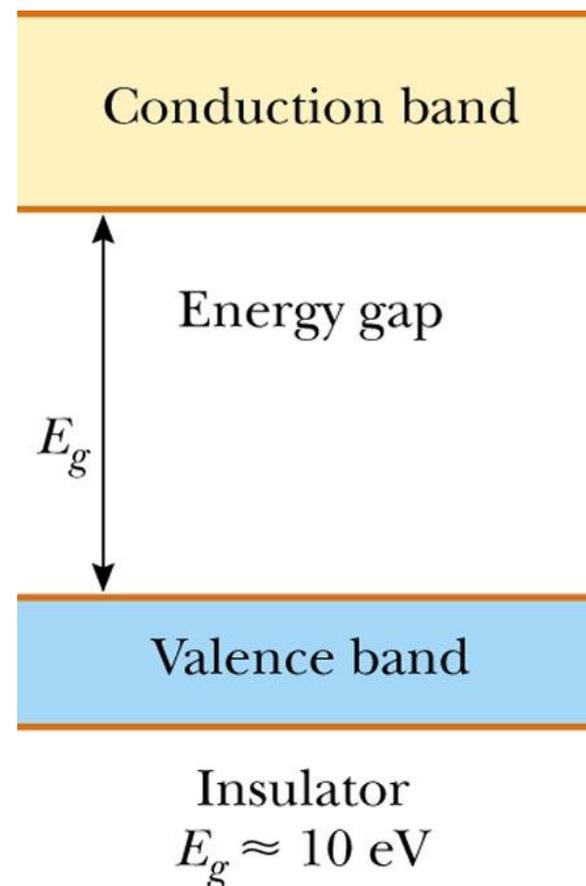
Metal

(a)

© 2003 Thomson - Brooks Cole

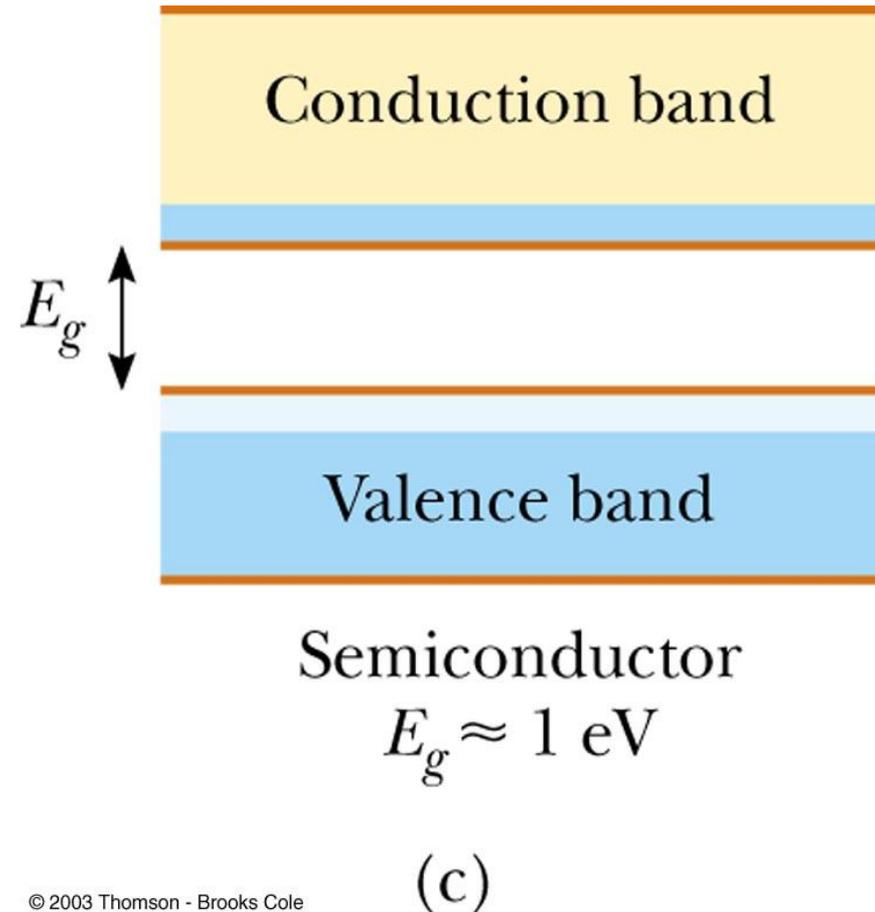
Isoladores

- ❑ A banda de valência está completamente cheia de electrões.
- ❑ O gap de energia entre as bandas é muito elevado nestes materiais ≈ 10 eV.
- ❑ É necessária uma energia superior a este valor (> 10 eV) para que os electrões possam transitar para essa banda.



Semicondutores

- Um semicondutor tem um pequeno gap entre as duas bandas, ≈ 1 eV .
Os electrões excitados termicamente têm energia suficiente para saltarem a barreira de energia

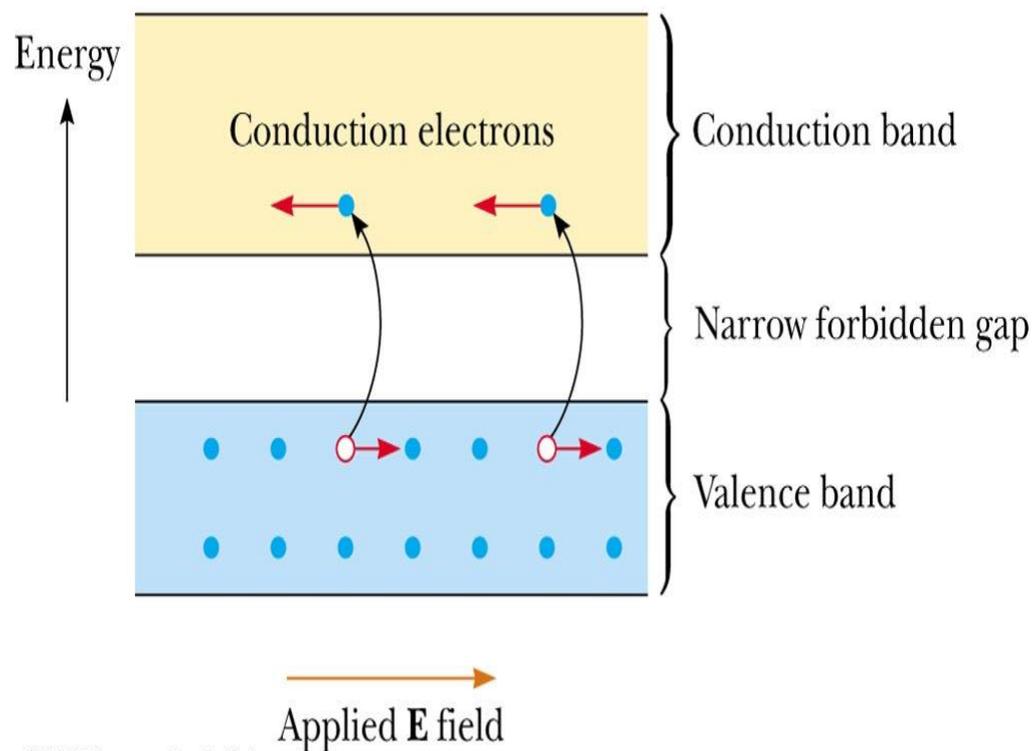


© 2003 Thomson - Brooks Cole

Movimentos das cargas num semiconductor

● electrons

○ holes



© 2003 Thomson - Brooks Cole

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

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

Lei de Coulomb

$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

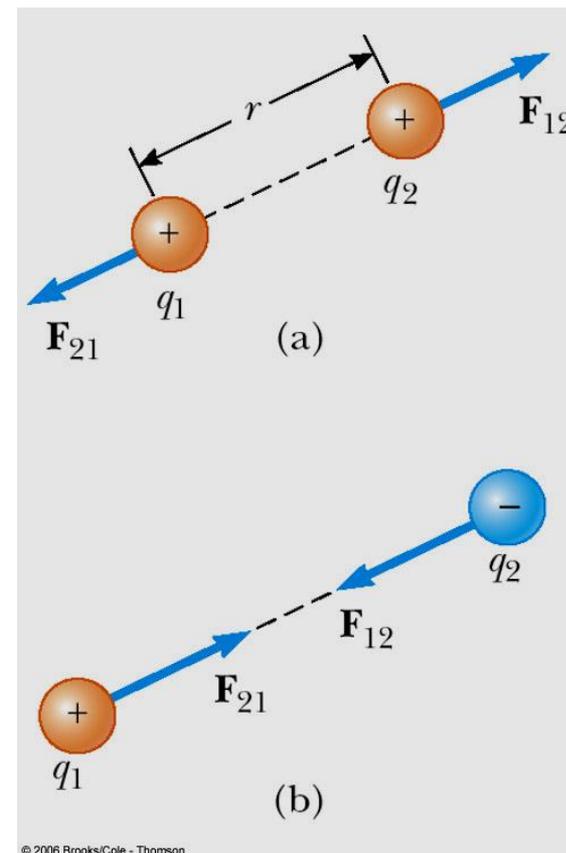
$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

- k_e é a constante de Coulomb
 - $k_e = 8.9875 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$
 - $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ é a permeabilidade eléctrica do vazio

- Carga do electrão $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

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

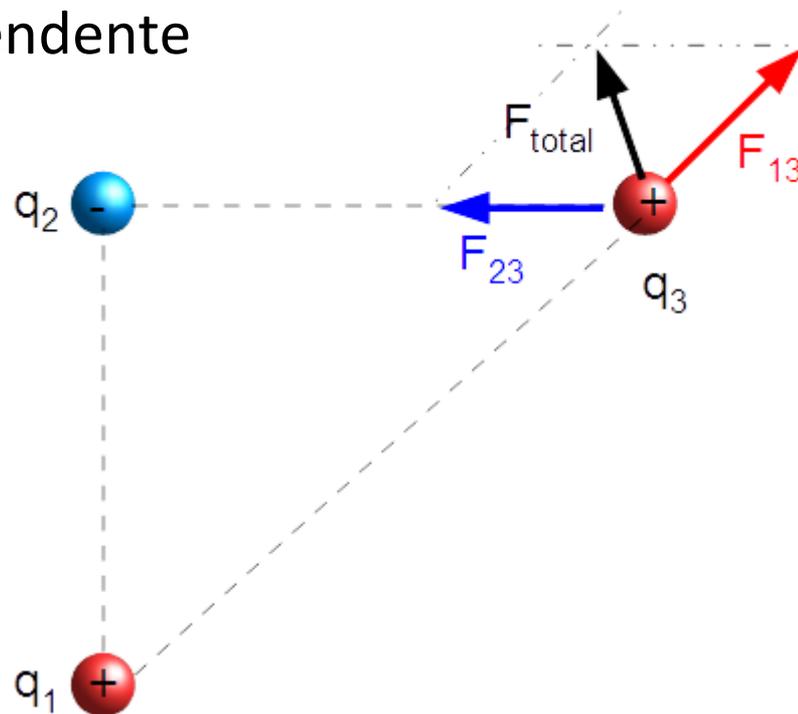
- A força eléctrica é do mesmo tipo que a força de interacção gravitacional

- 1. É inversamente proporcional ao quadrado da distância
- 2. É uma força de interacção à distância
- 3. A fórmula matemática é a mesma, desde que as massas sejam substituídas pelas cargas e a constante seja a adequada

- 4. A força electrostática pode ser atractiva ou repulsiva.
A força gravitacional é sempre atractiva. (Ex. Comparar as duas)

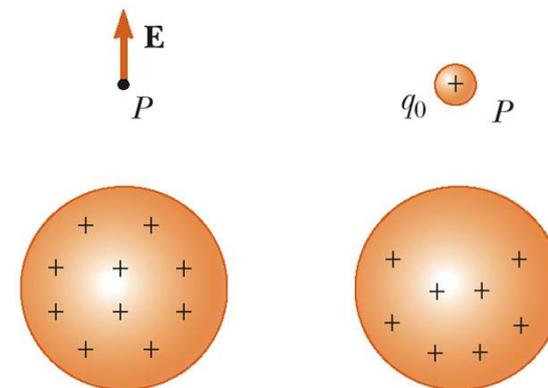
Princípio da sobreposição

- Se uma carga é actuada por várias cargas, a acção de cada uma delas é independente da das outras, sendo, a força resultante 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



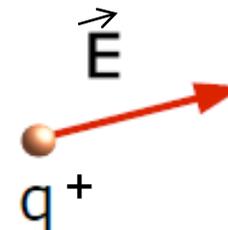
- O campo eléctrico \vec{E} criado por uma carga eléctrica num ponto, é a força que actua uma carga pontual unitária positiva colocada nesse ponto

Campo eléctrico

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



Q



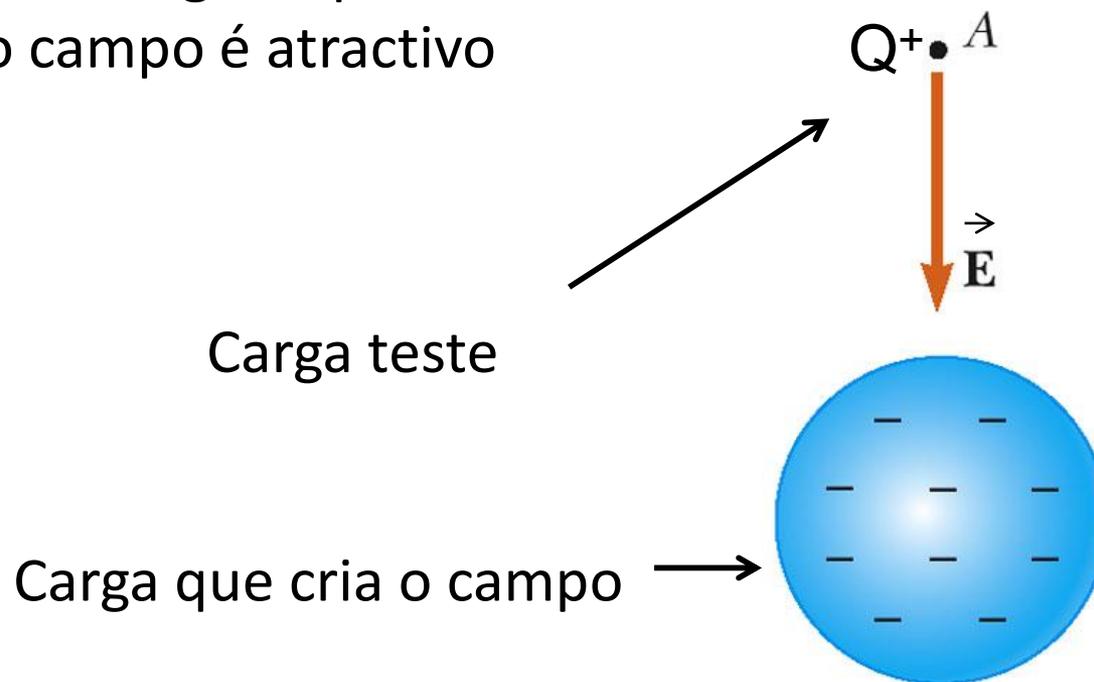
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

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

O campo \vec{E} criado por uma carga Q num ponto, é atractivo 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

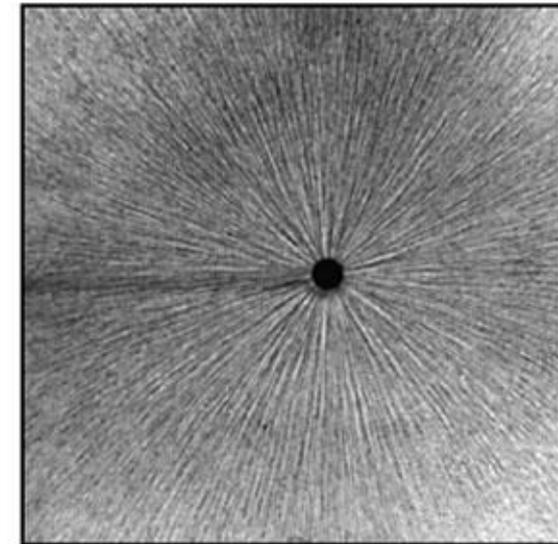
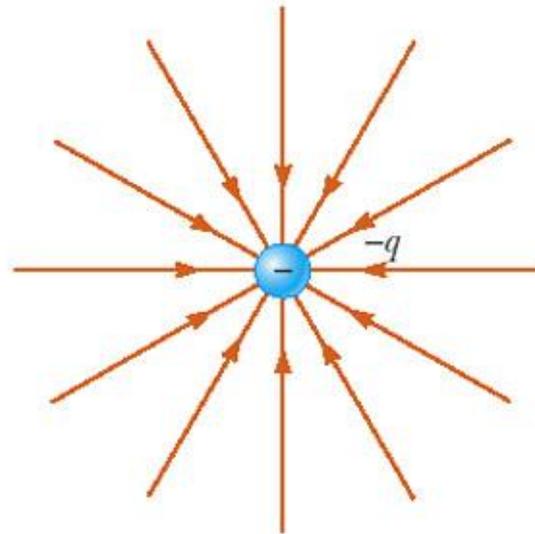
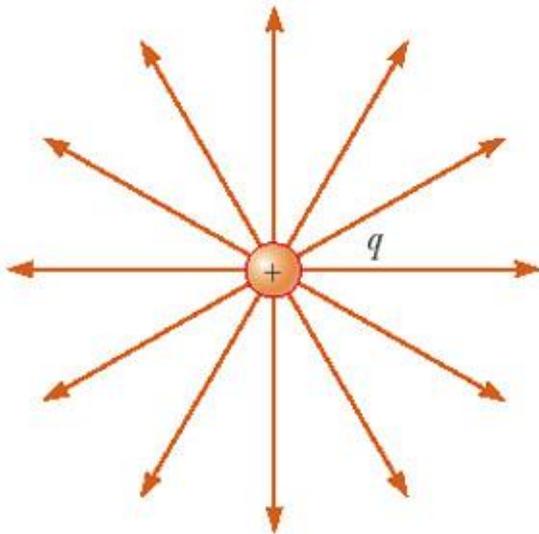
- A unidade do campo eléctrico é o N/C

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

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

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

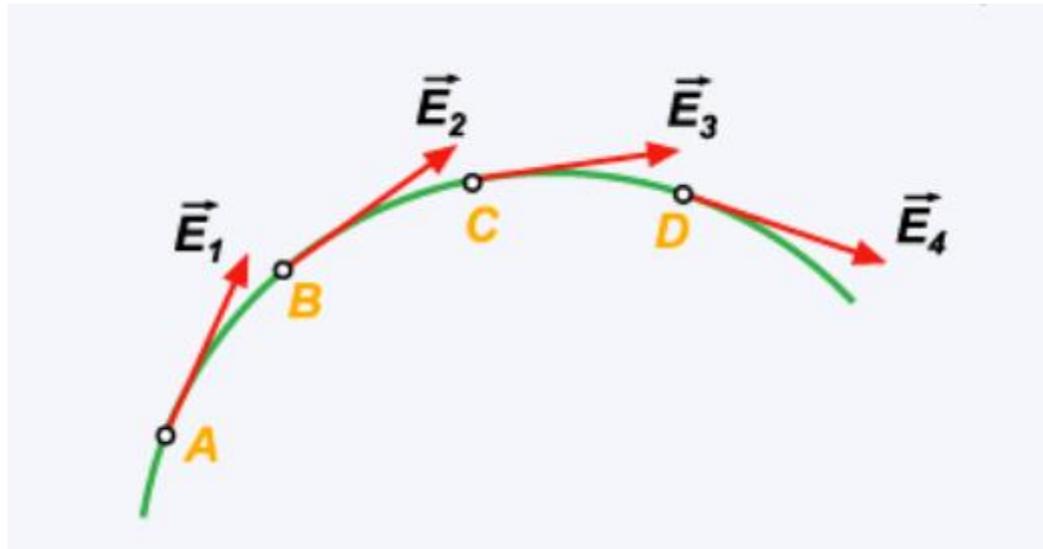
Linhas de força do campo eléctrico



© 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

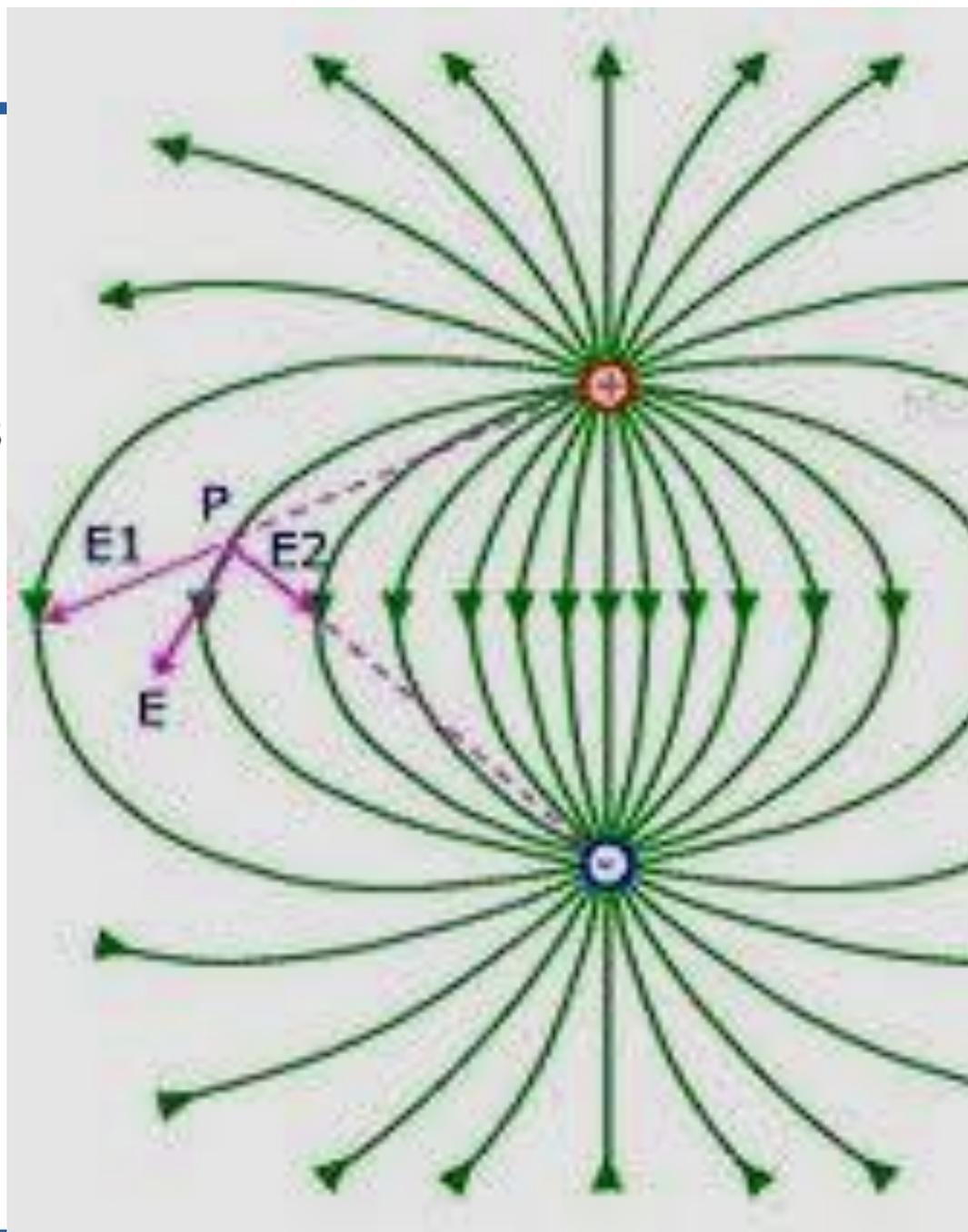
Propriedades das linhas de força do campo eléctrico

- 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.

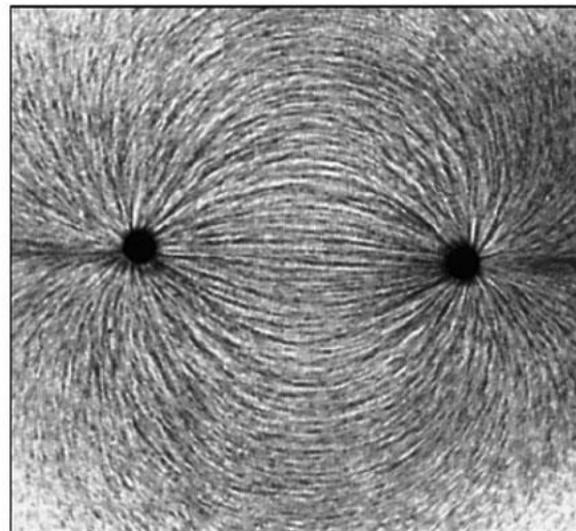
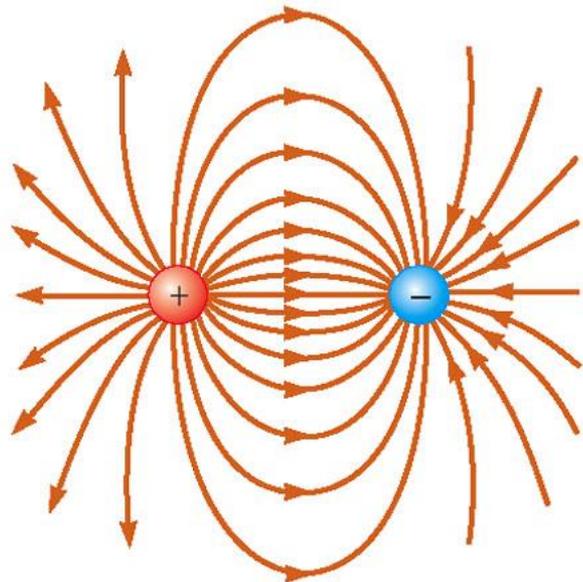
Linhas de força do campo eléctrico

- 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.

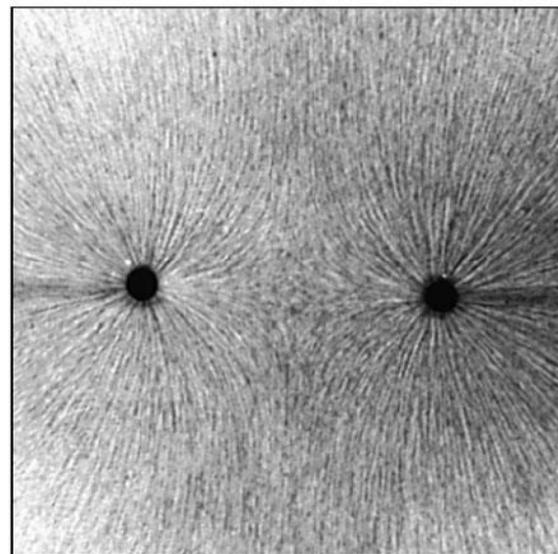
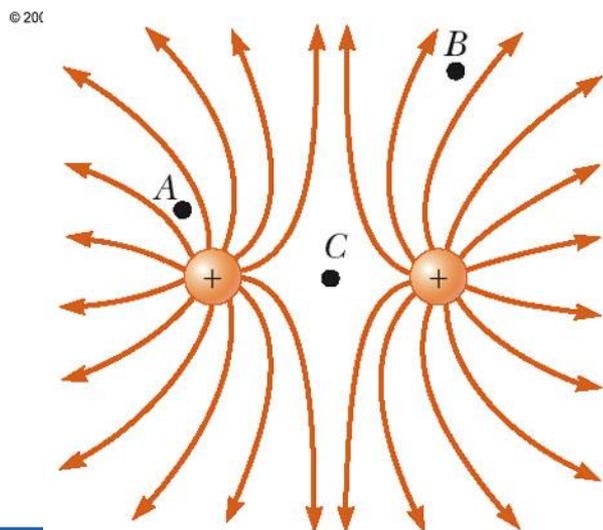
Na Fig. Vê-se que o \vec{E} é tangente em cada ponto à linha que passa por esse ponto



Linhas de força do campo eléctrico

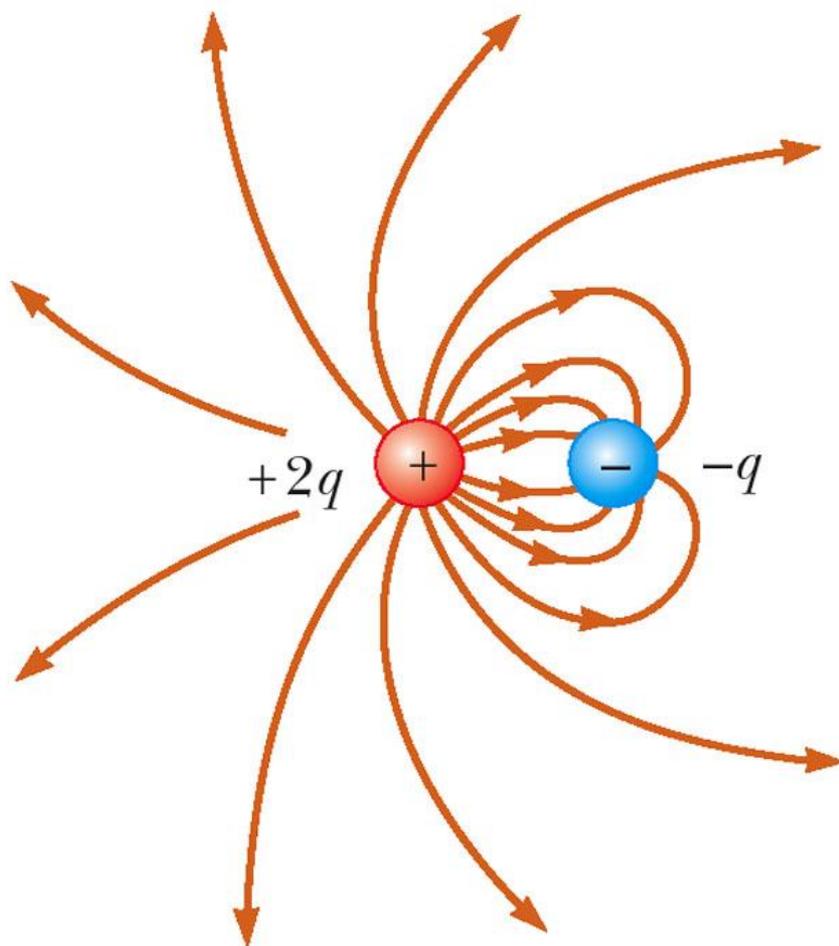


Cargas unitárias de sinal contrário



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

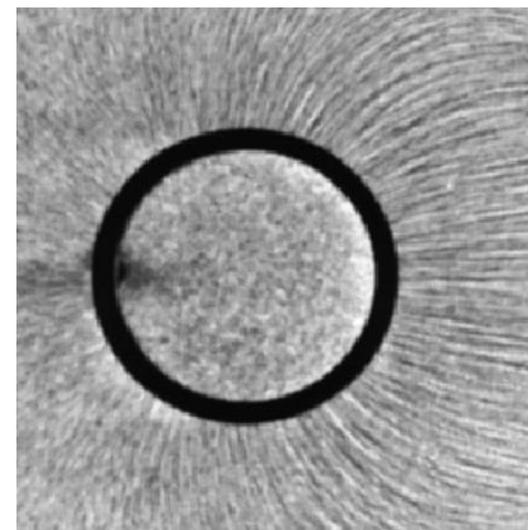
- Diz-se que um condutor está em equilíbrio electrostático quando não existe um movimento efectivo de cargas eléctricas no condutor.

- 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 (poder das pontas).

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.

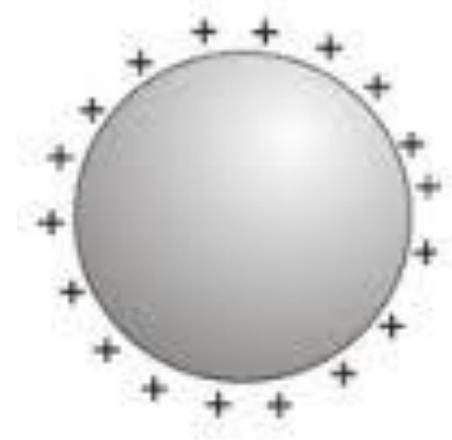
Fig. Mostrando $E=0$ no interior do condutor



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

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

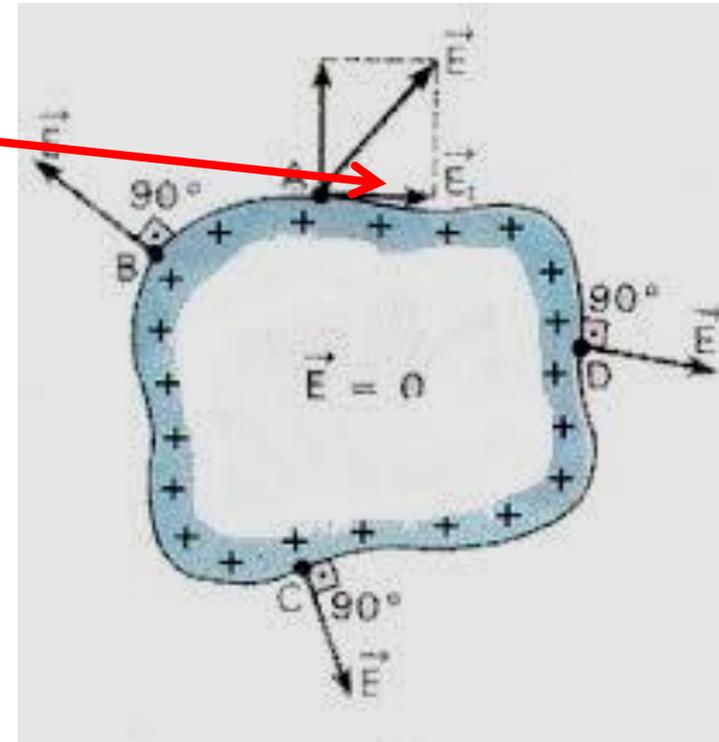
As cargas do mesmo sinal repelem-se entre si, fazendo com que se desloquem para a máxima distância possível, que é a superfície do condutor



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



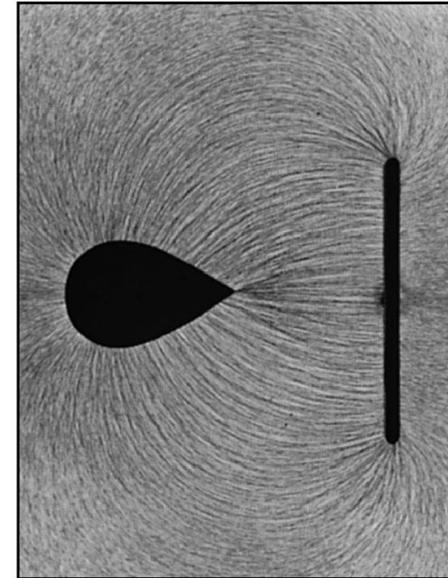
Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

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

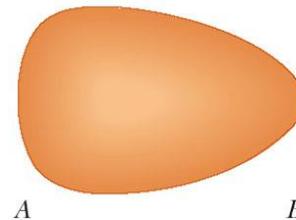
Na zona plana as forças entre as cargas são paralelas à superfície e afastam as cargas umas das outras

Nas pontas as forças estão dirigidas para a superfície originando uma maior mobilidade
O que faz com que a densidade das Cargas seja maior

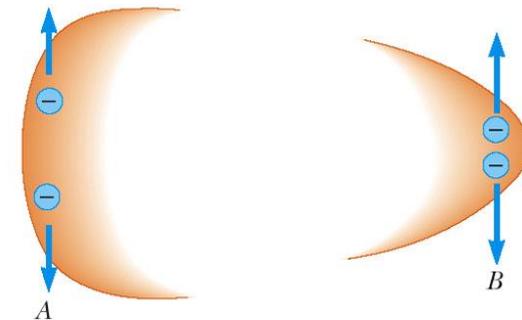
-



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

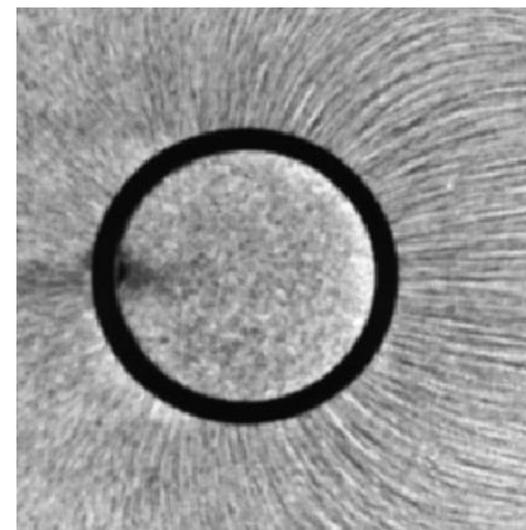


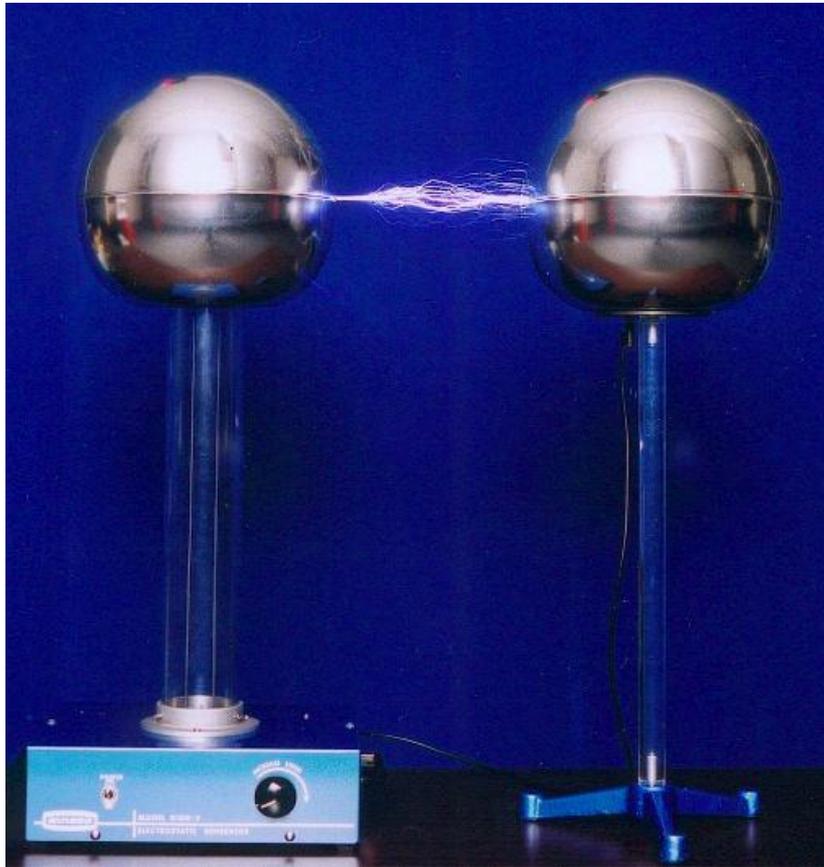
© 2006 Brooks/Cole - Thomson



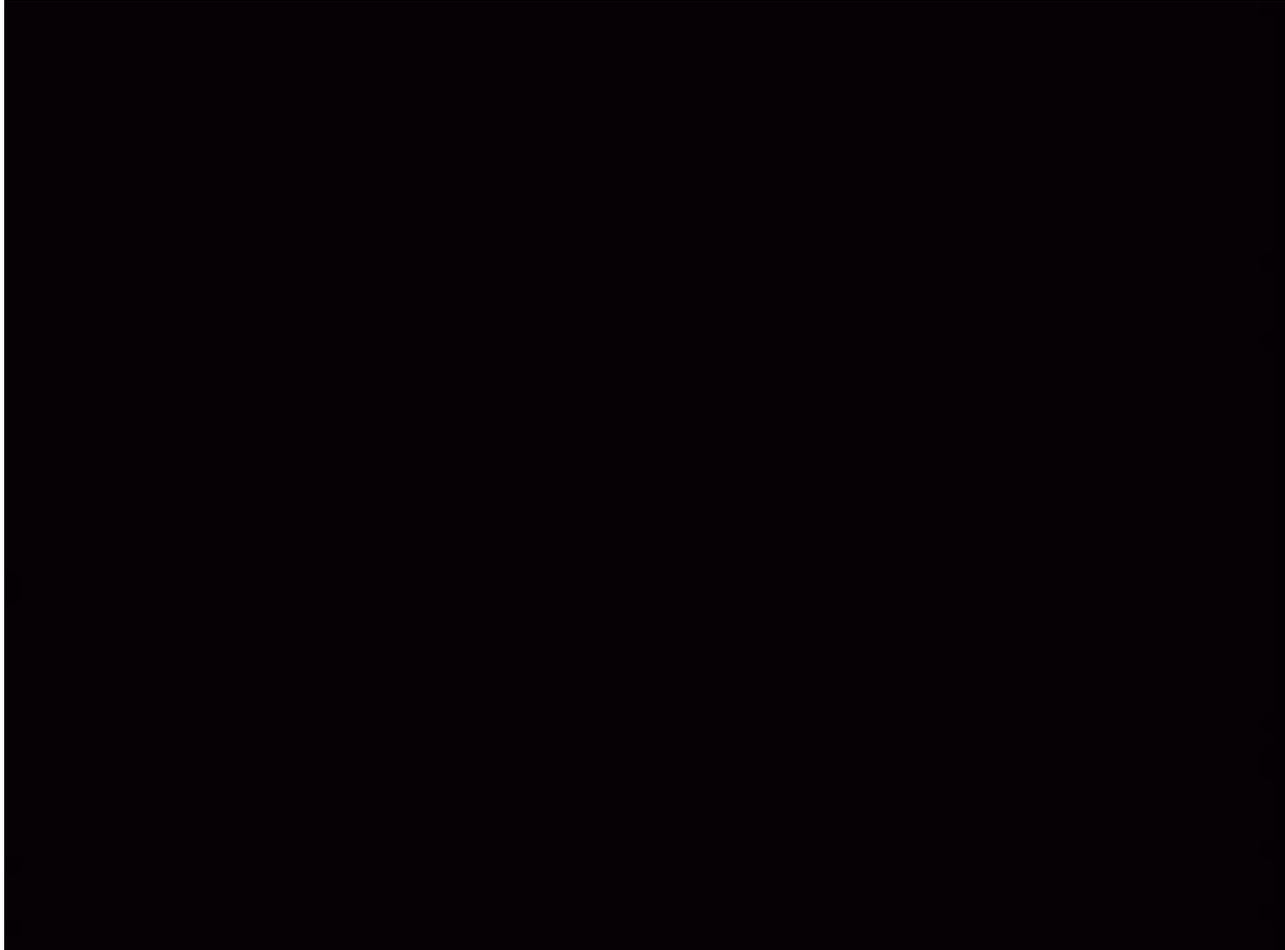
Propriedades do campo E no interior de um condutor em equilíbrio electrostático

1. O campo eléctrico E é nulo em todos os pontos do interior do condutor.
 - Se existisse um campo E então as cargas livres entrariam em movimento sob a acção da força qE
 - Logo o condutor não estaria em equilíbrio





Gerador Van de Graff







Gaiola de Faraday



<https://www.youtube.com/watch?v=vQsapHsSZI0>



Faradaykäfig