

Conductores Eléctricos en equilibrio electrostático

- 1 Introducción: Conductores y aislantes.
- 2 Conductores en equilibrio electrostático.
- 3 Casos de interés de conductores en equilibrio electrostático.
- 4 Ruptura dieléctrica

BIBLIOGRAFÍA:

- Tipler-Mosca. "Física". Cap. 23-24, vol 2 5ª ed.
- Serway-Jewett. "Física". Cap.20 . Vol 2. 2ª ed.

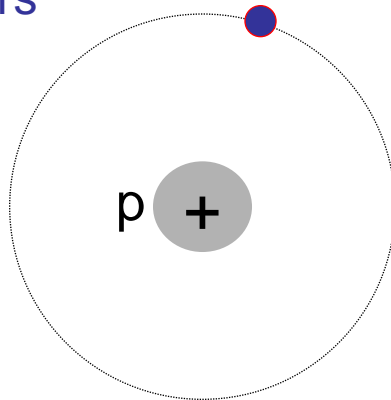


Introducción: Conductores y aislantes

En los átomos los electrones se encuentran en órbitas que ocupan *Estados o niveles de energía permitidos* en torno al núcleo.

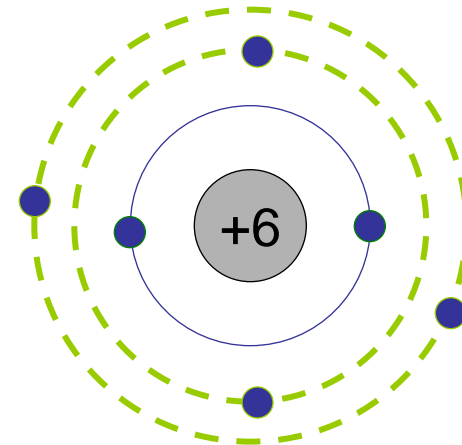
Hidrógeno

$1s^2$



Carbono

$1s^2 2s^2 2p^2$

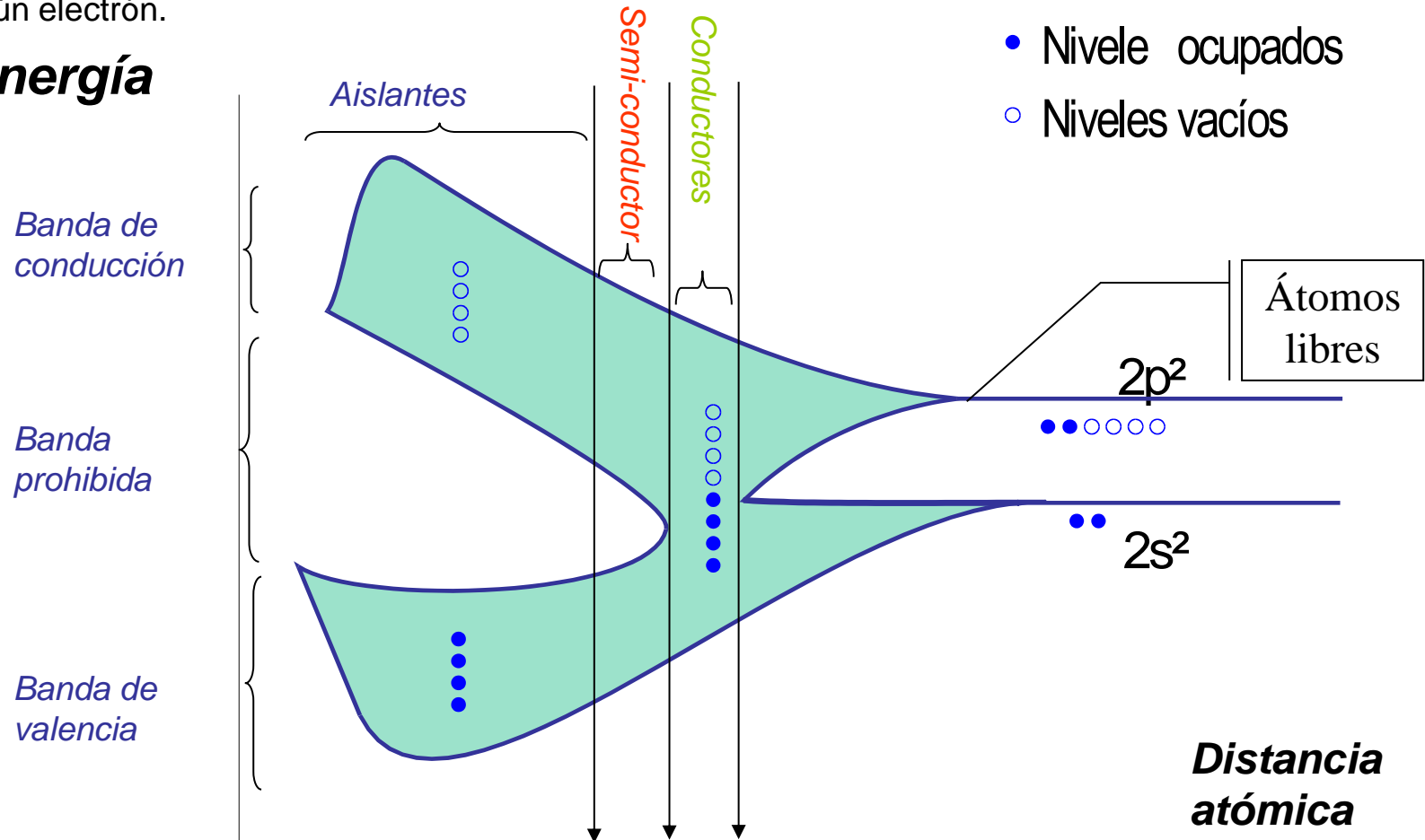


Los electrones de átomos distintos se encuentran en los orbitales permitidos. Los orbitales se ocupan de los niveles de energía más bajas a los más altos según aumenta el número de electrones en los átomos.

Introducción: Conductores y aislantes

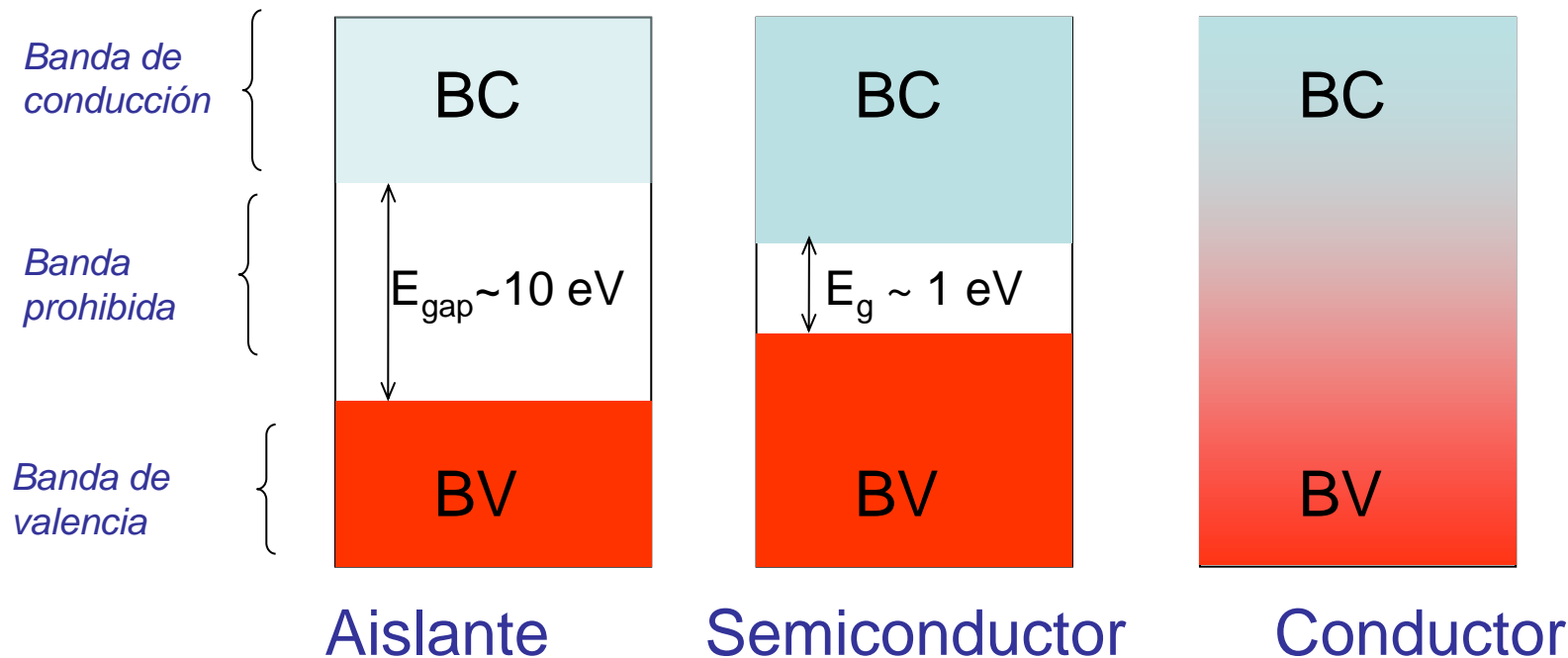
Los sólidos están formados por átomos que interactúan entre sí. En esta interacción los orbitales electrónicos más externos (los de mayor energía) se pueden mezclar con los orbitales de los átomos vecinos, dando lugar a las bandas de energía **continuas** en las que se pueden mover los electrones, **bandas de conducción**, y regiones de energía prohibidas, **banda prohibida**, donde no puede haber ningún electrón.

Energía



Introducción: Conductores y aislantes

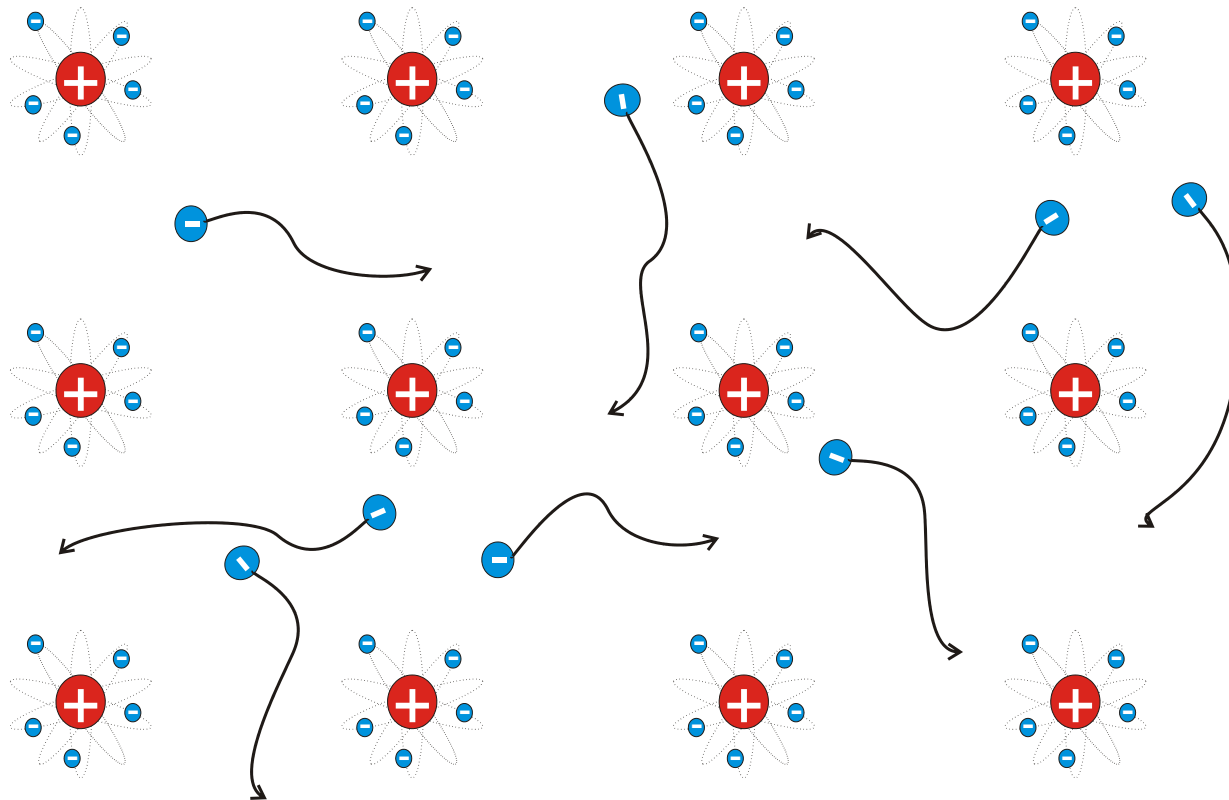
El modelo descrito anteriormente se llama, modelo de las bandas de energía. Hay regiones continuas permitidas (banda de conducción) y regiones prohibidas de energía para los electrones del material. En la banda de conducción los electrones se mueven libremente.



En un conductor hay electrones en la banda de conducción que se pueden mover libremente. Un aislante no tiene electrones en dicha banda.

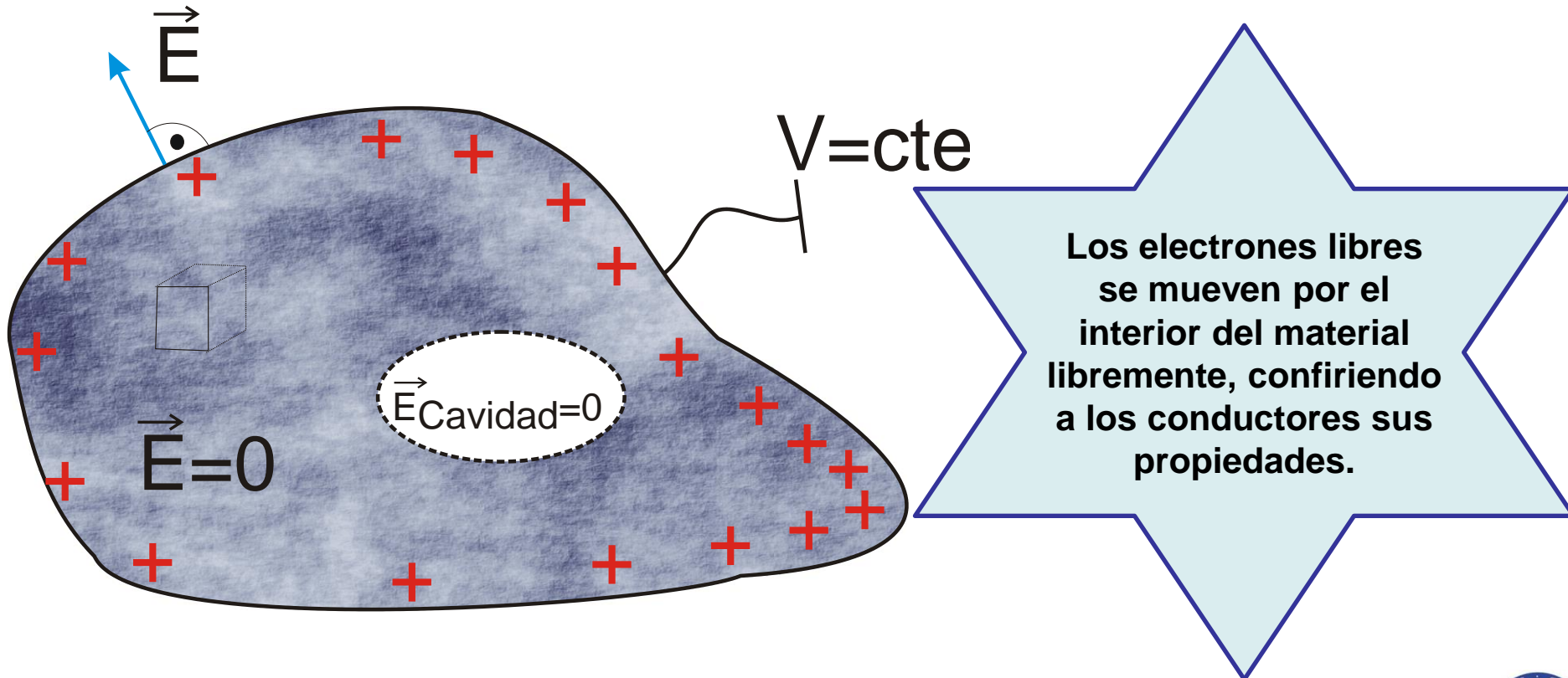
Conductores en equilibrio electrostático

Uno se puede imaginar un conductor como una esponja mojada. La parte sólida de la esponja la forman los cationes, y confieren rigidez al sólido. Los electrones en la banda de conducción son como el líquido que se mueve libremente por el interior de la esponja. A los electrones que se mueven libremente se les llama electrones **libres** o de **conducción**.



Conductores en equilibrio electrostático

Las propiedades descritas de un conductor en equilibrio se explican de forma sencilla teniendo en cuenta la ingente cantidad de electrones libres que tiene cualquier pedazo macroscópico de un metal (del orden del número de Avogadro) $\sim 6.02 \times 10^{23}$.

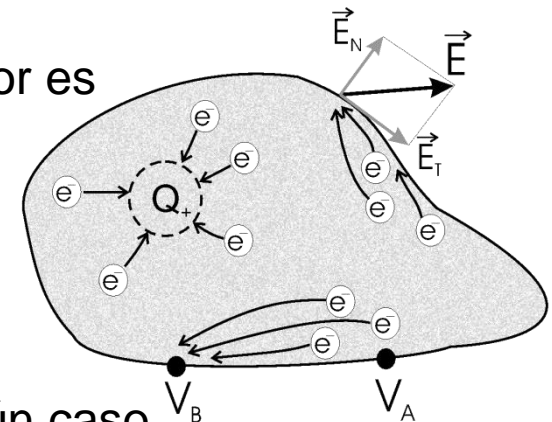


Conductores en equilibrio electrostático

El campo eléctrico y las distribuciones netas de carga en un conductor eléctrico en condiciones de equilibrio electrostático cumplen:

1. El campo eléctrico es nulo en el interior del conductor. La densidad volumétrica de carga es nula.
2. Toda la carga eléctrica neta está en la superficie.
3. Al ser nulo el campo eléctrico, el potencial electrostático es constante en el conductor.
4. El campo eléctrico en puntos próximos al conductor es perpendicular a la superficie.
5. El campo eléctrico en la superficie de un conductor es

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{u}_n$$



Es sencillo demostrar estos resultados. Estudiemos algún caso.

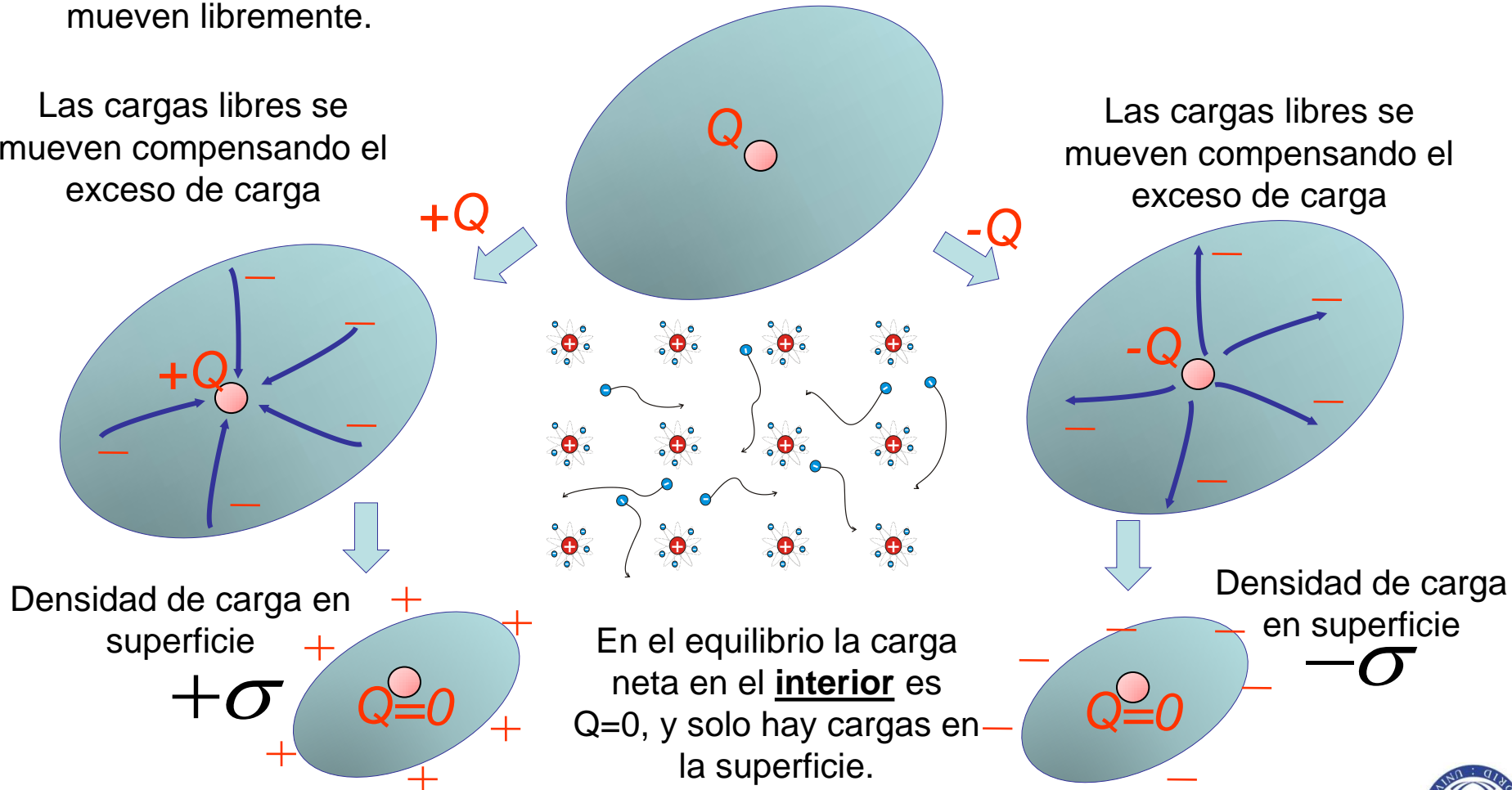
Hay que recordar que estamos en condiciones ELECTROSTÁTICAS.

Conductores en equilibrio electrostático

Es fácil demostrar que la carga neta en el interior de un conductor es cero. Para ello solo hay que usar el modelo atómico de un conductor y aplicar que los electrones libres se mueven libremente.

Las cargas libres se mueven compensando el exceso de carga

Las cargas libres se mueven compensando el exceso de carga

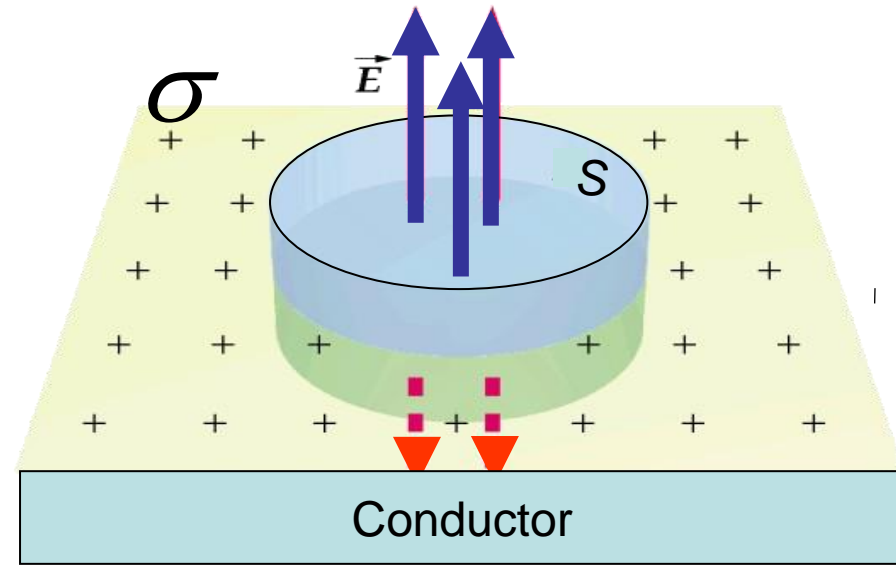


Conductores en equilibrio electrostático

Aplicando la ley de Gauss es fácil calcular el campo eléctrico justo en la superficie del conductor. Se demuestra que la carga está solo en la superficie del conductor:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_{\text{Total en el interior}}}{\epsilon_0}$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = |\vec{E}| S \\ Q_{\text{Total en el interior}} &= \sigma S \end{aligned} \right\} |\vec{E}| S = \frac{\sigma S}{\epsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

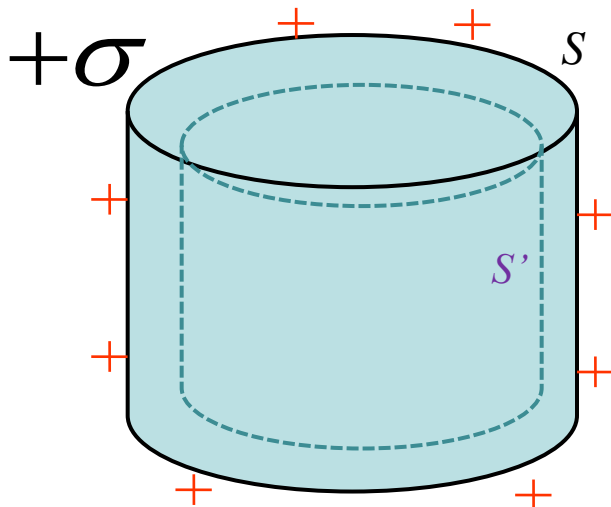


$$|\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Este es el valor del campo solo en la superficie del conductor.

Casos de interés de conductores en equilibrio

El resultado anterior implica que la carga neta en el interior de un conductor es cero. Si se aplica la ley de Gauss a una superficie interna S' muy próxima a la superficie S del conductor:



Conductor cargado en equilibrio. Toda la carga está en la superficie

$$\left. \begin{array}{l} \oint_{S' \rightarrow S} \vec{E} d\vec{r} = \frac{Q_{neta}}{\epsilon_0} \\ \vec{E} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow Q_{neta} = 0$$

Ya que en el interior del conductor el campo eléctrico es cero.

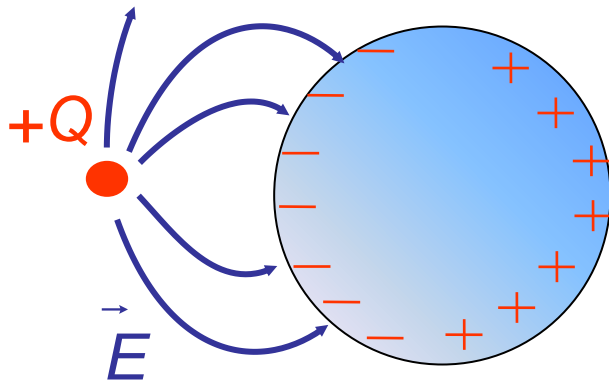
La carga eléctrica neta en el interior $Q_{neta} = 0 \Rightarrow$ ¡Toda la carga neta esta siempre en la superficie del conductor!

Conductores en equilibrio electrostático: Ejemplos

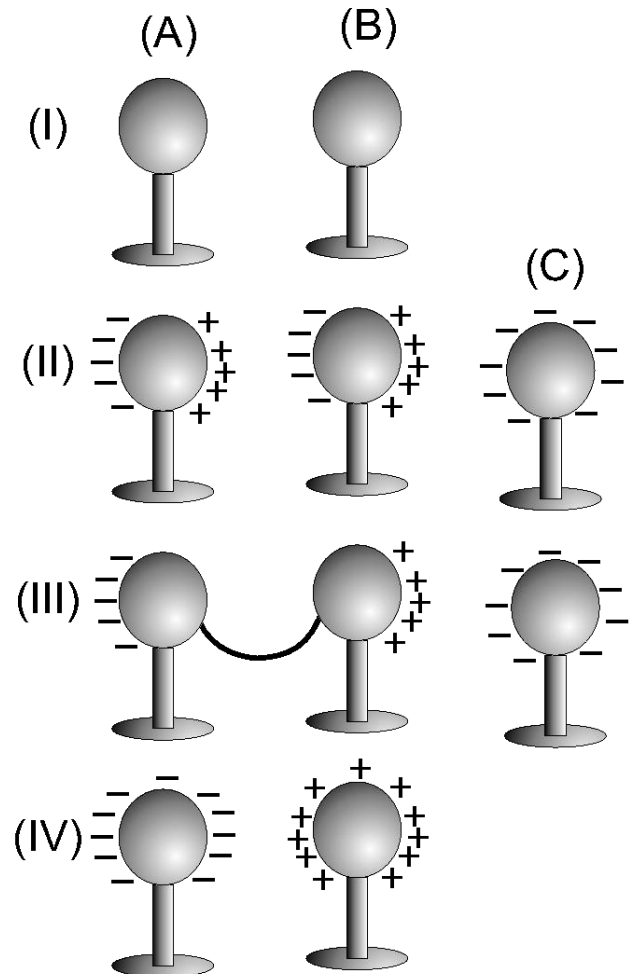
a) Carga por inducción de conductores.

La carga por inducción es uno de los métodos más antiguos que permitieron acumular cantidades especiales de carga eléctrica.

El esquema del proceso de carga por inducción se muestra en la figura. Mediante este método se pueden acumular cargas eléctricas en un conductor de forma sencilla que den lugar a campos electrostáticos en las cercanías del conductor del orden de millones de V/m.



La carga total del conductor es 0.

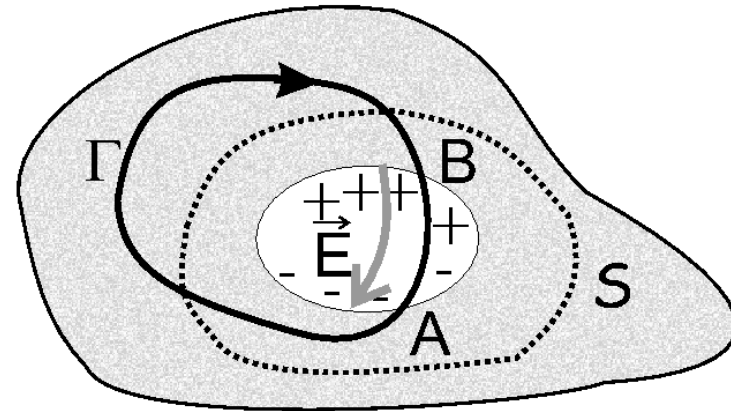


Casos de interés de conductores en equilibrio: Ejemplos

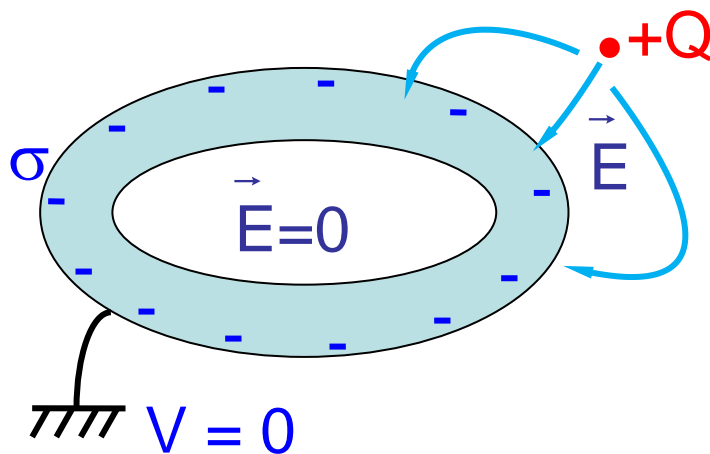
b) Blindaje electrostático.

El campo eléctrico en el interior de una cavidad metálica que no contiene cargas es cero.

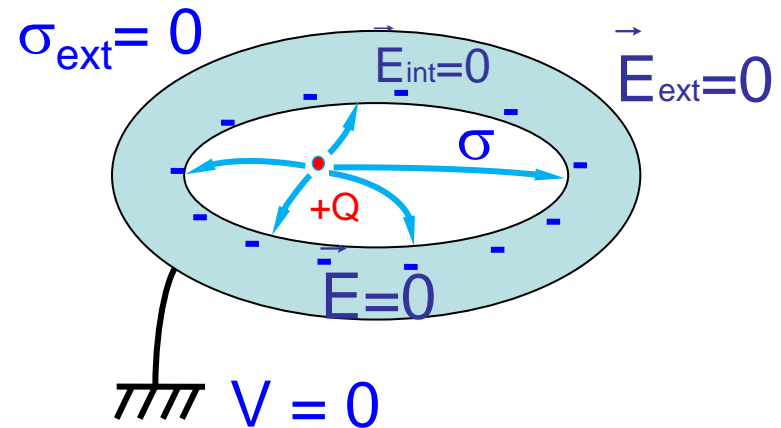
El blindaje electrostático es ampliamente usado para aislar componentes electrónicos sensibles de campos externos; tal y como sucede con las cajas metálicas de los ordenadores.



Blindaje de campos externos



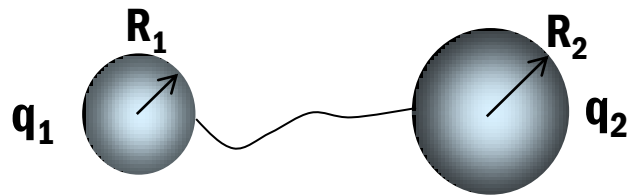
Blindaje de cargas eléctricas



Casos de interés de conductores en equilibrio: Ejemplos

c) Efecto punta: Campo de ruptura.

Desde la antigüedad se conocía que los rayos tendían a caer sobre los objetos más altos, especialmente si el objeto es puntiagudo. Este fenómeno se debe a que la superficie de los conductores son superficies equipotenciales, lo que origina que el campo eléctrico en las puntas (regiones de pequeño radio de curvatura) sean más intensos que en otras regiones de un objeto conductor.



$$V_1 = V_2 \Rightarrow \frac{\sigma_1 \pi R_1^2}{\sigma_2 \pi R_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$$

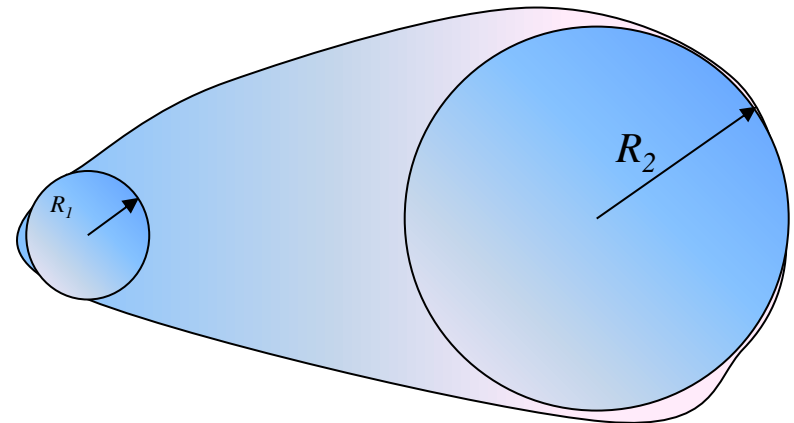
Por tanto

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\sigma_2 < \sigma_1$$

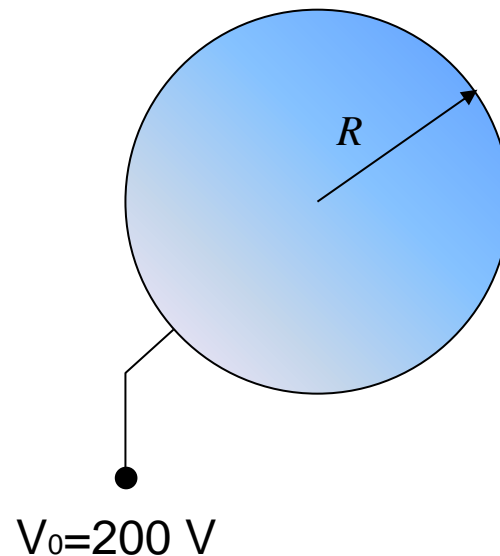
$$|\vec{E}_1| = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$$

Este modelo de dos esfera es una simplificación de una punta metálica



Ejemplo:

Se tiene una esfera maciza conductora de radio $R=10$ cm se conectada a una fuente de potencial de $V_0=200$ V. ¿Cuál es la carga eléctrica de la esfera? Calcula el campo eléctrico y el potencial eléctrico en todas las regiones del espacio.



Solución en los problemas planteados. Intenta solucionarlo sin mirar el resultado

Ruptura dieléctrica

Si el campo eléctrico en la superficie de un conductor es muy alto, llegará un momento que se produzca transporte de carga, una corriente eléctrica, entre el conductor y el medio que lo rodea. Cuando se llega a esta situación:

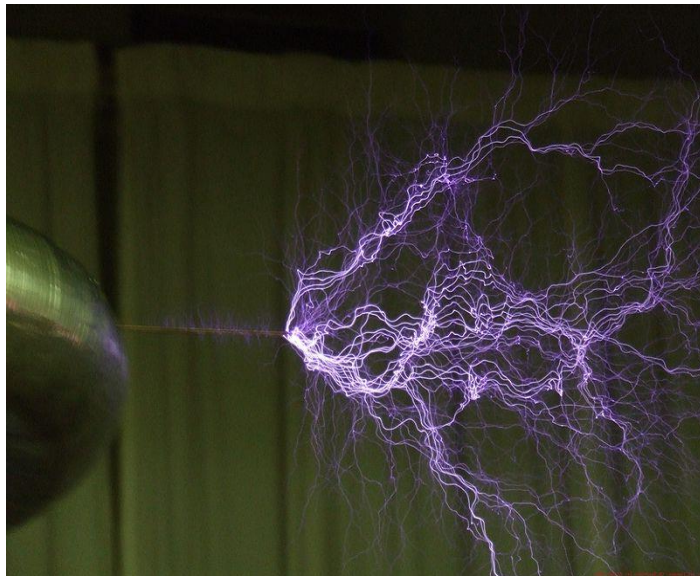
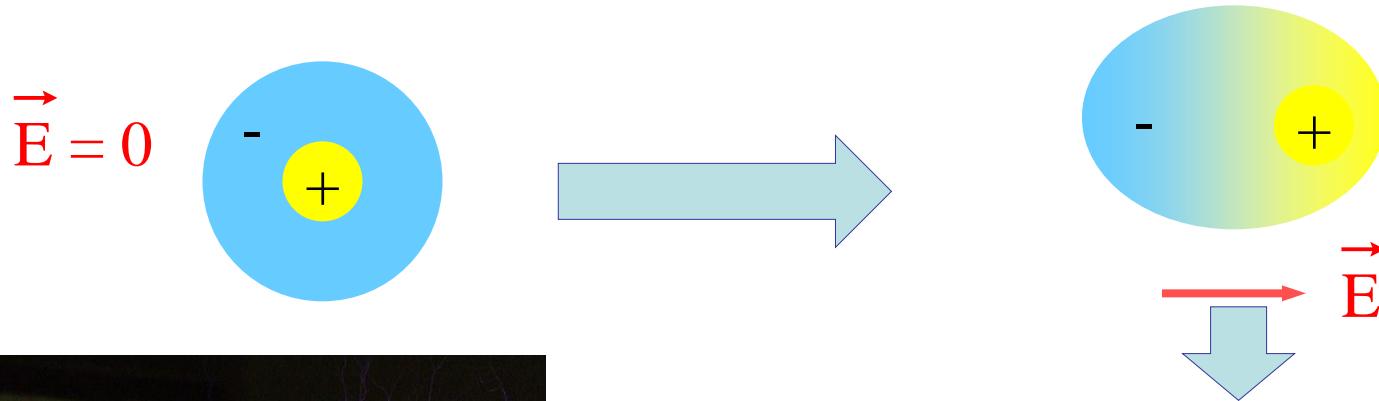


http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spark_from_4KVA_Tesla_Coil.JPG

- Se dice que se ha producido la **ruptura dieléctrica** del medio.
- El valor de E para el para producir el fenómeno se llama resistencia dieléctrica o campo de ruptura dieléctrica del medio, E_{rup}
- Para el aire en condiciones normales $E_{rup}=3 \times 10^6$ V/m
- La descarga eléctrica se inicia en los puntos donde el radio de curvatura de la superficie es menor, es decir en las puntas y vértices del conductor.

Ruptura dieléctrica

La ruptura dieléctrica se produce cuando los átomos o moléculas son ionizados produciendo la pérdida de electrones y creando una corriente eléctrica.



<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plasma-filaments.jpg>

