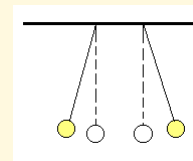
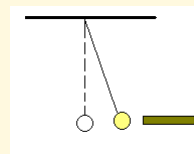


Electrostática en el vacío

1

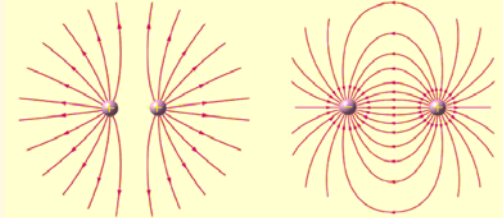
Triboelectricidad

- Al frotar una varilla de ámbar con una gamuza o una piel de gato, al aproximarla a un péndulo eléctrico, se observa que la esfera del péndulo es atraída por la varilla; otro tanto ocurre si la varilla electrizada por frotamiento es de vidrio.
- Si permitimos que la esfera del péndulo entre en contacto con la varilla desaparece la atracción.
- Tras tocar con la mano los péndulos los descargamos.
- Si ponemos a ambos en contacto con la misma varilla electrizada, veremos que los dos péndulos se repelerán.
- Al contrario de lo que ocurre si cada péndulo se pone en contacto con un tipo de varilla.



2

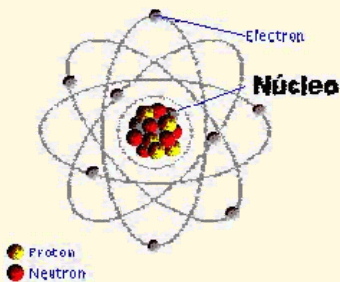
Carga eléctrica



- Hoy sabemos que la explicación es sencilla, al frotar la varilla de vidrio con un paño, la varilla pierde electrones (que comunica al paño), quedando cargada positivamente, ocurriendo al contrario con el ámbar, la carga que se adquiere por la varilla se traslada parcialmente al péndulo, produciéndose entonces los fenómenos de atracción y repulsión que hemos descrito.
- La existencia de dos tipos distintos de interacción eléctrica, que recibieron los nombres de electricidad resinosa y vítrea según quien la produjera, permite explicar fenómenos de atracción y repulsión que no pueden entenderse con la teoría gravitatoria.

3

La carga eléctrica



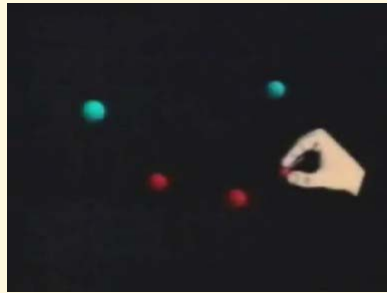
- Todos tenemos la imagen de un átomo como una carga positiva alrededor de la cual giran cargas negativas (en igual número que el de los protones del núcleo) que son los electrones de la corteza, siendo el conjunto neutro (sin carga neta). Esa imagen encierra tres características de la carga eléctrica:
- En primer lugar, la **existencia de “dos tipos de carga”**, la positiva y la negativa.
- Después, entendemos que **la carga está “cuantizada”** en el sentido de existir una unidad de carga y que la carga total de un sistema es la suma de diversas unidades de carga.
- Por último, estamos diciendo que **“la unidad de carga es única”** con independencia del signo de la misma.
- Por otra parte, se admite como ley fundamental de la naturaleza **“la conservación de la carga”** a la que hoy día no se conoce ninguna excepción..

4

Distribuciones de carga

- Cargas puntuales

Si las cargas se pueden considerar de una en una diremos que son **cargas puntuales**



- Distribuciones continuas de carga

Si las cargas se distribuyen en volúmenes, superficies o líneas. Definimos la **densidad de carga**:

$$\rho(\vec{r}) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta\tau} = \frac{dq}{d\tau}$$



5

Problema de electrostática

- **Problema 1.-** El radio medio del núcleo de azufre (número atómico 16) es aproximadamente 1.37×10^{-13} cm. Suponiendo que la carga eléctrica este uniformemente distribuida en el núcleo, calcular la densidad de carga en $C \times m^{-3}$

6

Problema de electrostática

Problema 2.- La densidad de carga de una nube electrónica en el estado fundamental del átomo de hidrógeno viene dado por la función

$$\rho(\vec{r}) = \frac{q_e}{\pi a_0^3} e^{\frac{-2r}{a_0}}$$

siendo q_e la carga del electrón y a_0 el radio de la primera órbita de Bohr. Calcular la carga total.

7

Ley de Coulomb



8

Ley de Coulomb

La fuerza que actúa entre dos cargas puntuales es

- Tiene la dirección de la línea que une las cargas.
- El módulo es proporcional al valor de ambas cargas.
- Puede ser atractiva o repulsiva según el signo de las cargas. Siendo atractiva para cargas de distinto signo y de repulsión para cargas del mismo signo.
- Es del tipo acción-reacción
- Varía con la distancia de forma inversamente proporcional a su cuadrado.

Ley de Coulomb

La ley de Coulomb cumple el principio de superposición

$$\vec{F}_e = K_e q \sum_{i=0}^n \frac{q'_i}{r_i^2} \vec{u}_i \quad \vec{F} = K_e q \int_{\tau} \frac{\rho(\vec{r}) d\tau}{r^2} \vec{u}_r$$

Problema de electrostática

- **Problema 3.-** En los vértices de un triángulo equilátero de lado " r " se colocan cargas " $-e$ " y en el centro se coloca la carga " $Q > 0$ ". ¿Cuál debe ser el valor de Q para que la fuerza sobre cualquiera de las cargas negativas sea nula?

11

Concepto de campo

- Estamos acostumbrados a la existencia del campo gravitatorio debido a la Tierra, que se pone de manifiesto por la fuerza (en este caso siempre de atracción) que la Tierra ejerce sobre cualquier objeto con masa situado cerca de ella.
- La representación del fenómeno se hace mediante un campo vectorial. **El campo**, aunque **siempre existe**, sólo **se observa** por el movimiento originado del cuerpo, con masa, **por la acción de la fuerza**.

12

Concepto de campo

- El campo que empleamos para modelizar el fenómeno gravitatorio es un campo vectorial cuyas dimensiones son las de una fuerza por unidad de masa, (escalar sobre el que se detecta su existencia).
- **La fuerza se calcula como el producto del vector campo en el punto por el valor del escalar sobre el que vemos los efectos del campo**, (la masa del objeto por la masa del objeto) y escribimos:

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$$

13

Campo eléctrico

- En el caso eléctrico, la fuerza se ejerce entre cargas, para poder escribir

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

- Tenemos que definir el campo eléctrico

como
$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_e}{q} \quad \text{con } q > 0$$

14

Campo eléctrico

- El campo creado por una carga puntual será $\vec{E} = K_e \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$

Si es por una distribución discreta de cargas $\vec{E} = K_e \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$

Si es distribución continua $\vec{E} = K_e \int_{\tau} \frac{\rho d\tau}{r^2} \vec{u}_r$

15

Problema de electrostática

- **Problema 4.-** Tres cargas puntuales de $3 \times 10^{-9} \text{ C}$, se sitúan en los vértices de un cuadrado de 20 cm de lado. Hallar el módulo, la dirección y el sentido del campo eléctrico en el vértice vacante del cuadrado.

16

Problema de electrostática

- **Problema 5.-** Calcular el campo creado por una línea recta infinita uniformemente cargada con una densidad lineal de carga λ , en un punto que dista "a" de ella.

17

Concepto de flujo

- Por flujo de un vector campo entendemos:

$$\phi = \int_{\Sigma} \vec{a} \cdot d\vec{s}$$

- Si la **superficie es abierta**:
 - El flujo es máximo, si el vector campo y el vector superficie son paralelos.
 - El flujo es nulo, si el vector campo y el vector superficie son perpendiculares
- Si la **superficie es cerrada**:
 - El flujo es nulo si en su interior no existen fuentes o sumideros del vector campo

18

Ley de Gauss

- La ley de Gauss nos da la relación entre el flujo del campo eléctrico y las cargas que encierra

$$\phi = \oint_{\Sigma} \vec{E} \cdot d\vec{s} = 4\pi K_e q$$

- Definimos $K_e = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$ con $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ uni}$

Permitividad dieléctrica del vacío

19

Ley de Gauss

- La ley de Gauss **sólo nos da el valor del flujo del campo eléctrico** si conocemos la carga que se encuentra en el interior de la superficie cerrada considerada.
- La ley de Gauss **no nos da el vector campo eléctrico** (módulo, dirección y sentido).
- **Si existe simetría** en la distribución de cargas, podemos saber dirección y sentido del campo eléctrico. Al aplicar el teorema de Gauss, **podemos calcular el módulo del campo** y conocer así el vector campo eléctrico

20

Potencial eléctrico

- Si el campo eléctrico es conservativo, podremos definir para él un potencial.
- Si es **conservativo** se cumplirá:

$$\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \text{ por un camino} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

por cualquier otro, o lo que es lo mismo:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{la integral del campo por el}$$

desplazamiento sufrido a lo largo de una curva cerrada cualquiera (su circulación) es cero.

21

Potencial eléctrico

Por diferencia de potencial entre dos puntos entenderemos:

$$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Que en el caso del campo creado por una carga valdrá

$$V_B - V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

La expresión obtenida no nos permite hablar de potencial en un punto, en general, **sólo podemos hablar de diferencia de potencial entre dos puntos del espacio.**

22

Potencial eléctrico

- Para el potencial creado por una carga puntual, podremos hablar de potencial en un punto si tomamos como origen de potencial un punto muy distante de la carga, en nuestro caso $r_A \rightarrow$ infinito.

$$V(\vec{r}) = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 r}$$

Esto sólo puede hacerse en el caso en que no existan cargas en el infinito.

- El campo eléctrico siempre se dirige hacia los potenciales decrecientes

23

Potencial eléctrico

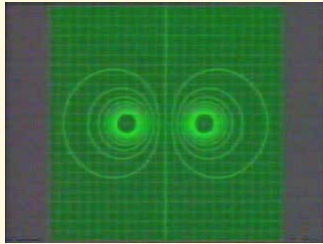
Al cumplir el campo eléctrico el principio de superposición, la expresión más genérica será:

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \int_{\tau} \frac{\rho d\tau'}{|\vec{r}|}$$

En general el potencial eléctrico no tiene porque variar con la inversa de la distancia a la carga

24

Campo y potencial eléctricos



- Relación entre el campo y el potencial
 - Las líneas de campo son siempre perpendiculares a las superficies equipotenciales.
 - El campo siempre se dirige hacia los potenciales decrecientes.
 - Los puntos con el mismo potencial se unen mediante superficies equipotenciales.

25

El dipolo eléctrico

- Por dipolo entendemos dos cargas iguales de distinto signo, separadas una pequeña distancia respecto a la de observación.

$$\begin{array}{ccc}
 \bigcirc & \xrightarrow{d} & \bigcirc \\
 -q & & +q
 \end{array}
 \qquad
 \vec{p} = q \vec{d}$$

- Se caracteriza por su **momento dipolar** que es un vector que tiene:
 - por módulo el producto de la carga por la distancia que separa las cargas.
 - dirección la de la recta que une las cargas.
 - sentido desde la carga negativa hacia la positiva.

26

Acción de un campo eléctrico sobre un dipolo

- Un campo eléctrico ejercerá una fuerza sobre cada carga y tratará de orientar el dipolo paralelo al campo.
- El momento será:

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

