

Física II-Física B-Electromagnetismo

F. Prado – UNS-2020

Antecedentes del Electromagnetismo

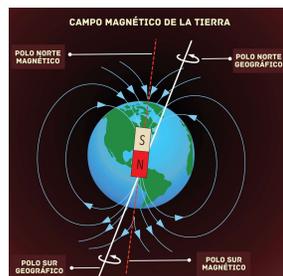
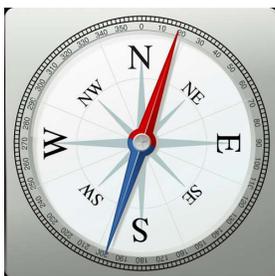
La electricidad tiene su origen en la observación de que al frotar una barra de plástico (ambar) , esta atrae otros objetos como papel y metal. De la misma manera si se utiliza una barra de vidrio, se observa que también atrae objetos. Esta propiedad se denominó:

Electricidad

Por otro lado se conocían ciertas piedras , la magnetita (Fe_3O_4) que podía atraer partículas de Fe, esta propiedad da lugar al

Magnetismo

Luego aparecen los imanes y como primera aplicación de estos materiales se obtiene la brújula:



(1820) Hans C. Oersted observa que una corriente de electricidad afecta a la brújula y,

(1821) M. Faraday encuentra que un imán en determinadas condiciones genera una corriente de electricidad, es decir ambas propiedades están relacionadas y dan lugar a lo que se denomina:

Electromagnetismo

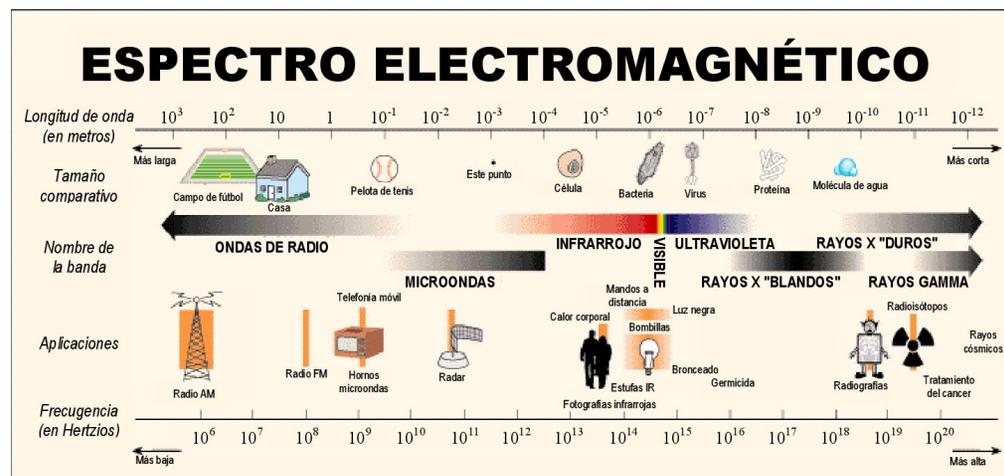
(1873) La teoría del electromagnetismo fue descrita de manera notable por Maxwell,

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

que demuestran que la electricidad y el magnetismo están completamente interrelacionados.

(1888) Hertz demuestra la teoría del electromagnetismo de Maxwell al descubrir las ondas de radio. Posteriormente se determina que la luz es un fenómeno electromagnético, es decir la óptica es considerada un fenómeno electromagnético!! Mas tarde se ve que la luz es sólo una pequeña parte de las ondas electromagnéticas,

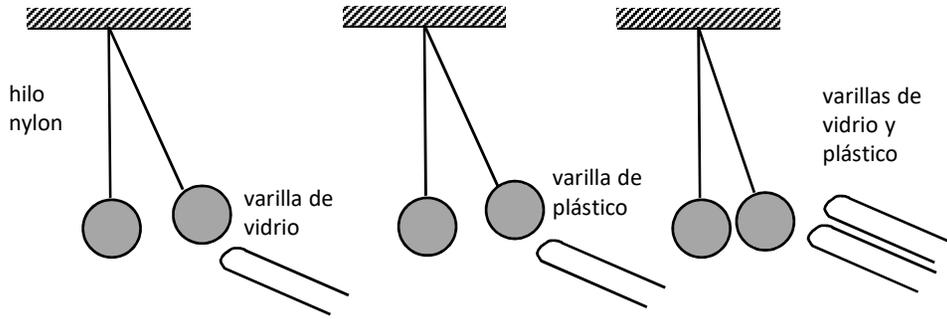


Dispositivos electromagnéticos
Motores eléctricos –radio-TV-celular
Radares- internet- wifi

Dispositivos ópticos
Telescopios-microscopios-etc

Electr stica. Interacci3n eléctrica

Observaci3n Experimental I.



Si se frota la varilla de vidrio y la acercamos a una esfera de corcho, se observa que la varilla atrae al corcho.

Si acercamos la varilla de plástico a la esfera de corcho sucede lo mismo.

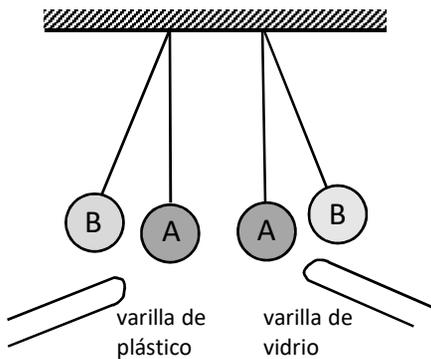
Sin embargo, si se acercan ambas varillas el efecto **disminuye**.

Se concluye que el efecto de cada una de las varillas sobre la esfera se debe a procesos opuestos, luego,

La electricidad de la varilla de vidrio se denomina positivo

La electricidad de la varilla de plástico se denomina negativo

Observaci3n Experimental II.



Si tocamos c/u de las esferas con una varilla,

Las esferas se repelen

Si tocamos c/u de las esferas con una varilla distinta,

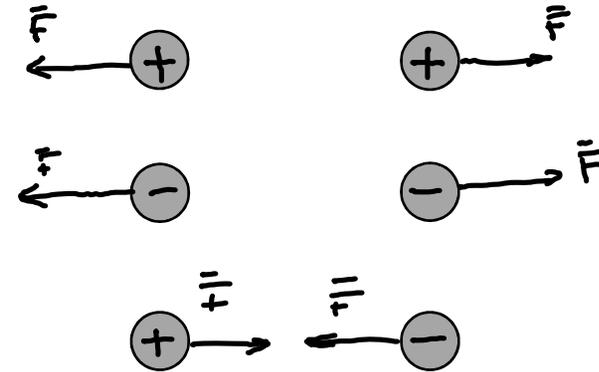
Las esferas se atraen

Podemos concluir,

dos cuerpos con la misma electricidad → se repelen,

dos cuerpos con distinta electricidad → se atraen

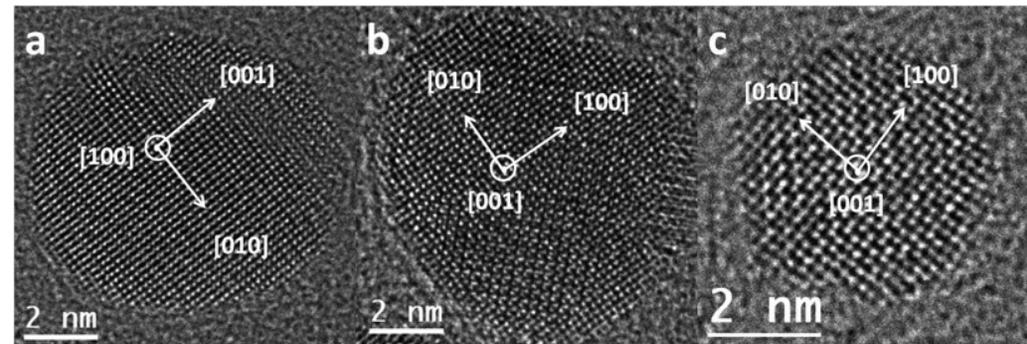
Este resultado lo representamos esquemáticamente como:



Nos preguntamos cual es el origen de la electricidad en los cuerpos. Para eso tenemos que mirar como se compone la materia.

La carga eléctrica y la materia

Si tomamos cualquier trozo de materia (Au, Cu, etc) y comenzamos a mirarlo con un microscopio, cada vez con más aumento, vamos a ver que la misma es formada por átomos.

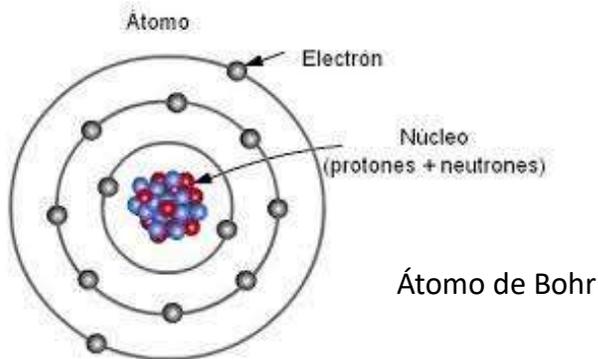


Nanopartículas de AuPd

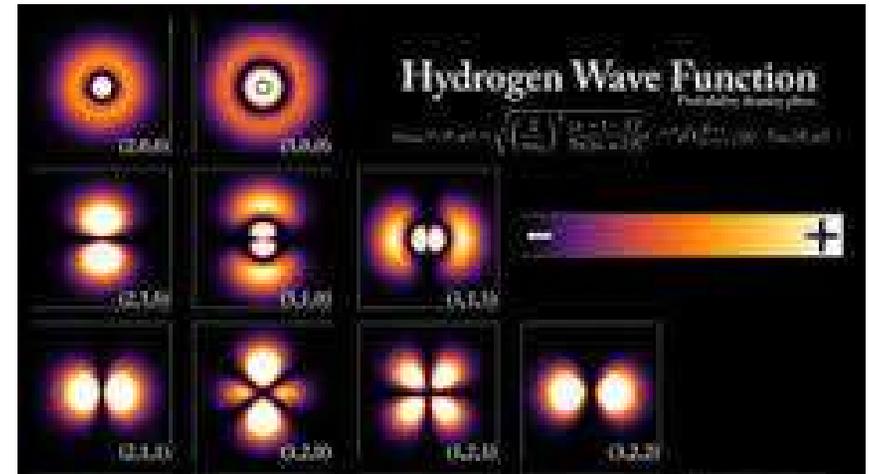
Ahora bien, los átomos están formados de manera básica por tres partículas elementales:

Núcleo	$\left\{ \begin{array}{l} \text{protón} \\ \text{neutrón} \end{array} \right.$	protón	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
		neutrón	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
		electrón	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Dos de ellos el protón y el neutrón forman el núcleo mientras que los electrones están alrededor del núcleo.



Orbitales atómicos del átomo de hidrogeno



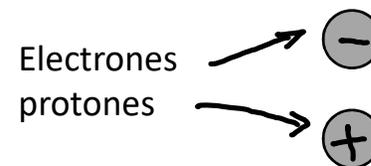
Para un dado átomo el número Z , es el número atómico e indica el número de protones que es igual al número de electrones.

$$Z = \# \text{ protones} = \# \text{ electrones}$$

Por ejemplo, el Carbono tiene 6 electrones, el oxígeno 8 electrones, el Cu 29 electrones, etc

Volviendo a la electricidad, cuando frotamos un material, los electrones que son las partículas más externas son transferidos de un material a otro, generando un desequilibrio en el número de electrones.

Lo que sucede, es que estas partículas son las que tienen carga eléctrica,



Carga eléctrica

1) Ya vimos que

existen dos tipos de electricidad

2) La carga eléctrica no se destruye, ante cualquier proceso que pudiera suceder. Es decir,

La carga eléctrica se conserva

eventualmente la carga eléctrica se puede cancelar.

3) Al considerar a los electrones como partículas (también los protones),

La carga eléctrica está cuantizada

Consideramos la carga eléctrica del electrón como $-e$ y la del protón $+e$, siendo el valor de e ,

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

C : Coulomb

en el sistema internacional de unidades (S.I),

$$C = A \times s$$

A: Ampere y s: segundo

Ejemplo:

1 mol de Cu tiene $N_{av} = 6.022 \times 10^{23}$ átomos de Cu

La masa de 1 mol de Cu es $M = 64$ gr

En 1 gr de Cu tenemos $1/64 \times 6.022 \times 10^{23}$ átomos de Cu

ó $1/64 \times 6.022 \times 10^{23} \times Z$ electrones ($Z_{Cu}=29$)

La carga eléctrica en 1 gr de Cu debido a los electrones resulta,

$$q = 1/64 \times 6.022 \times 10^{23} \times 29 \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} = - 1.16 \times 10^4 \text{ C}$$

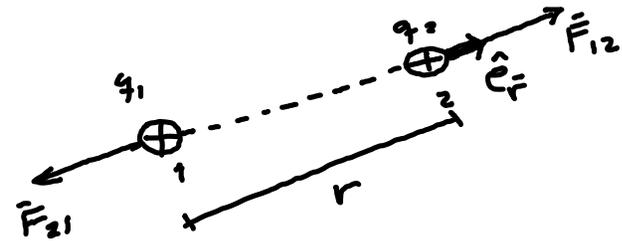
Ley de Coulomb

Volvemos a la fuerza entre cargas eléctricas. Como vimos en el caso del acercamiento de una varilla frotada a la esfera de corcho, aparece una fuerza que mueve la esfera.

Si estudiamos esta fuerza de origen electrostático considerando dos cargas puntuales que denominamos q_1 y q_2 se encuentra que la fuerza de q_1 sobre q_2 resulta:

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_{\vec{r}} \quad \text{Ley de Coulomb}$$

Si las cargas tienen el mismo signo, las partículas se repelen:



\vec{F}_{12} : Es la fuerza que ejerce la partícula 1 sobre la 2, tiene la

dirección de la recta que une ambas partículas

r : es la distancia que separa las partículas

$\hat{e}_{\vec{r}}$: En el caso de \vec{F}_{12} , $\hat{e}_{\vec{r}}$ es un versor dirigido de 1 hacia 2.

\vec{F}_{21} : Fuerza que ejerce la partícula 2 sobre 1.

$$\vec{F}_{21} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} (-\hat{e}_{\vec{r}}) = -k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_{\vec{r}}$$

k_e : es una constante, en el S.I. resulta:

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

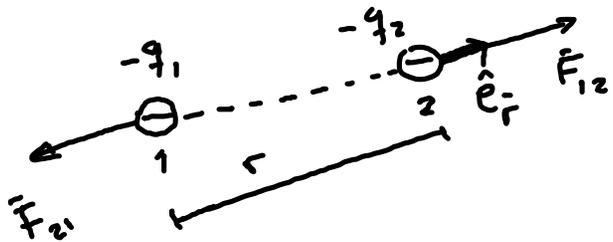
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

Observaciones

1) La ley de Coulomb es válida cuando el tamaño de los objetos es mucho menor que la distancia que los separa, es decir es válida cuando podemos considerar a las partículas con carga eléctrica como puntuales:

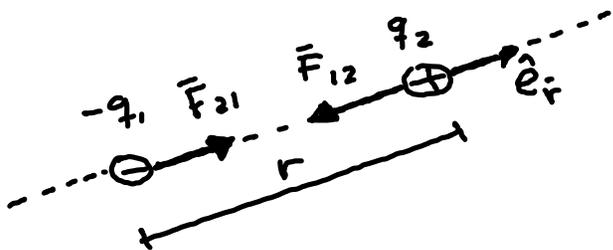


2) ¿Qué sucede si las partículas tienen carga negativa?



$$\bar{F}_{12} = k_e \frac{(-q_1)(-q_2)}{r^2} \hat{e}_r = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_r$$

3) ¿Qué sucede si las partículas tienen carga opuesta?



$$\bar{F}_{12} = k_e \frac{(-q_1) q_2}{r^2} \hat{e}_r = -k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_r$$

$$\bar{F}_{12} = k_e \frac{(-q_1) q_2}{r^2} (-\hat{e}_r) = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_r$$

Observar que de manera consistente con la Tercera Ley de Newton:

$$\bar{F}_{12} + \bar{F}_{21} = 0$$

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{21}$$

4) Vamos a comparar la fuerza de origen electrostático y la fuerza gravitatoria.

Para el átomo de hidrógeno donde el electrón y el protón están separados una distancia,

$$a_0 = 0.52 \times 10^{-10} \text{ m}$$

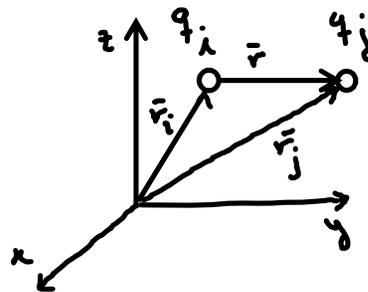
$$|\bar{F}_e| = \left| -k_e \frac{e^2}{r^2} \right| \approx 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

Mientras que la fuerza de origen gravitatoria,

$$|\bar{F}_g| = \left| \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \right| \approx 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

$$|\bar{F}_e| \gg |\bar{F}_g|$$

5) De manera general, podemos escribir,



$$\bar{F}_{ij} = k_e \frac{q_i q_j}{|\bar{r}_j - \bar{r}_i|^2} \hat{e}_{\bar{r}_j - \bar{r}_i}$$

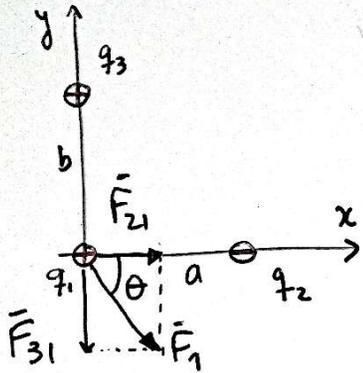
Principio de Superposición

La ley de Coulomb se aplica a cualquier par de cargas eléctricas, si existe más de un par de cargas, la fuerza sobre una de ellas es la suma de las fuerzas ejercidas por el resto de las cargas.

En general para un sistema de N cargas puntuales, la fuerza experimentada por la partícula j -ésima resulta:

$$\vec{F}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \vec{F}_{ij} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N k_e \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^2} \hat{e}_{\vec{r}_j - \vec{r}_i}$$

Ejemplo 1: ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre q_1 ?



$$q_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$\vec{r}_1 = \vec{0} \quad \vec{r}_2 = a \hat{e}_x$$

$$\vec{r}_3 = b \hat{e}_y$$

$$\vec{F}_{21} = k_e \frac{q_1 q_2}{\left| \frac{a \hat{e}_x - \vec{0}}{\vec{r}_2 - \vec{r}_1} \right|^2} (-\hat{e}_x) = -\frac{k_e q_1 q_2}{|a|^2} \hat{e}_x$$

$$\vec{F}_{31} = k_e \frac{q_1 q_3}{|b \hat{e}_y - \vec{0}|} (-\hat{e}_y) = -\frac{k_e q_1 q_3}{|b|^2} \hat{e}_y$$

Si $a = 15 \text{ cm}$ y $b = 10 \text{ cm}$ reemplazando los valores de a y b se obtiene:

$$\vec{F}_{21} = 1.2 \hat{e}_x \text{ (N)}$$

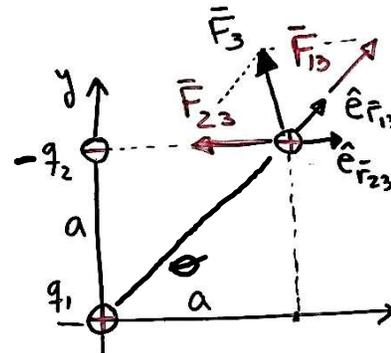
$$\vec{F}_{31} = -1.79 \hat{e}_y \text{ (N)}$$

$$|\vec{F}| = (1.2^2 + (-1.79)^2)^{1/2} = 2.16 \text{ N}$$

$$\cos \theta = \frac{|\vec{F}_{21}|}{|\vec{F}|} = \frac{1.2}{2.16} = 0.55$$

$$\Rightarrow \theta \approx 56^\circ$$

Ejemplo 2: ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre q_3 ?



$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

$$\vec{F}_{13} = k_e \frac{q_1 q_3}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_1|^2} \hat{e}_{\vec{r}_3 - \vec{r}_1}$$

$$\vec{F}_{23} = k_e \frac{q_2 q_3}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_2|^2} \hat{e}_{\vec{r}_3 - \vec{r}_2}$$

$$\vec{r}_1 = 0 \quad \vec{r}_2 = a \hat{e}_y \quad \vec{r}_3 = a \hat{e}_x + a \hat{e}_y$$

$$|\vec{r}_3 - \vec{r}_1| = |\vec{r}_3| = \sqrt{2} a$$

$$|\vec{r}_3 - \vec{r}_2| = |a \hat{e}_x| = a$$

$$\hat{e}_{\vec{r}_{13}} = \cos \theta \hat{e}_x + \sin \theta \hat{e}_y = \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{e}_x + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{e}_y$$

$$\hat{e}_{\vec{r}_{23}} = \hat{e}_x \quad \theta = 45^\circ$$

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = k_e \frac{q_1 q_3}{2a^2} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \hat{e}_x + \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{e}_y \right) - k_e \frac{q_2 q_3}{a^2} \hat{e}_x$$

$$\vec{F}_3 = k_e \left[\frac{\sqrt{2} q_1 q_3}{4a^2} - \frac{q_2 q_3}{a^2} \right] \hat{e}_x + k_e \frac{\sqrt{2} q_1 q_3}{4a^2} \hat{e}_y$$