

Campos Electromagnéticos

“Cargas Eléctricas, Aisladores y Conductores,
Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico”



Profesor: Pedro Labraña
Departamento de Física,
Universidad del Bío-Bío

Campos Eléctricos

Cargas Eléctricas, Aisladores y conductores, Ley de Coulomb, Campo Eléctrico.
Movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos uniformes. Campo eléctrico de distribuciones continuas. Líneas de Campo Eléctrico.

HISTORIA

La electricidad a través de los fenómenos de la electrostática se conoce desde tiempos muy antiguos. Teofrasto (372 AC) y probablemente Tales (600 AC) sabían que el ámbar al ser frotado con otras sustancias secas adquirirían la habilidad de atraer cuerpos livianos como plumas o trozos de paja. Cerca de 2000 años después el médico de la Reina Isabel I de Inglaterra, William Gilbert (1544-1603) usó la palabra griega para ámbar, *elektron*, para describir estas fuerzas que llamó *vis electrica*. También se observó que existen dos tipos de electricidad.



THEOPHRASTUS (372-287).—(Photo furnished by Brooklyn Botanic Garden.)

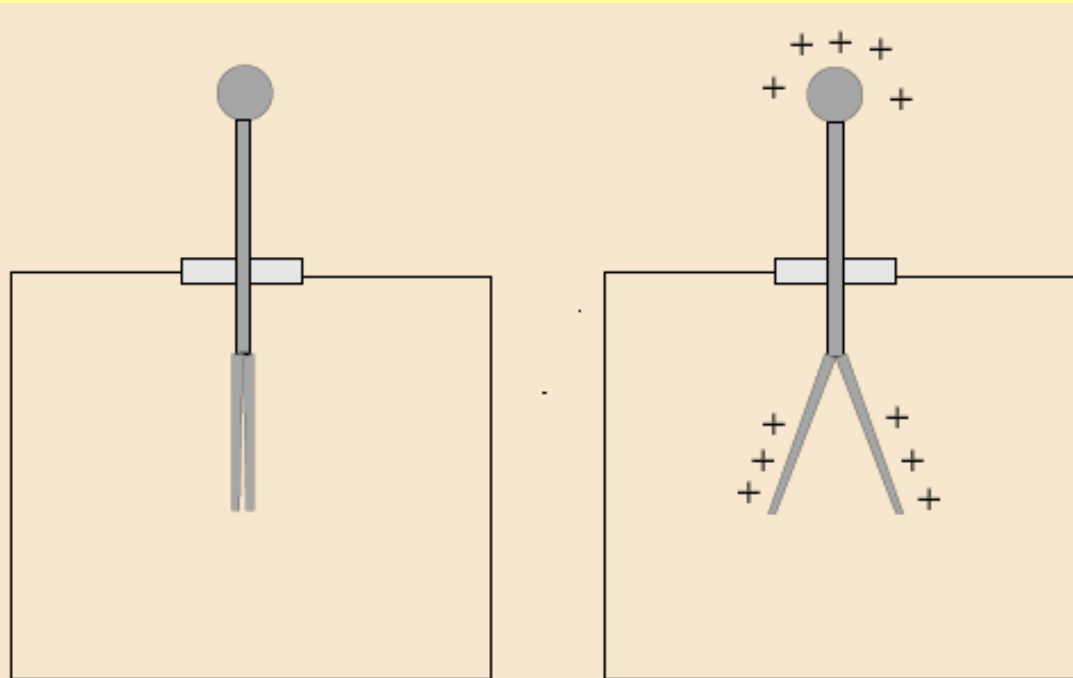
Cargas Eléctricas

Por ejemplo si una barra de vidrio se frota con seda, estos dos cuerpos quedan cargados con dos tipos distintos de electricidad.

Así, dos barras frotadas con seda se repelen. Benjamin Franklin (1706-1790) le dio el nombre de positiva a la electricidad con que queda la barra de vidrio y negativa a la de la seda. Ahora se sabe que en este experimento electrones son traspasados de la barra a la seda. Así, por esta convención, decimos que los electrones tienen carga negativa.

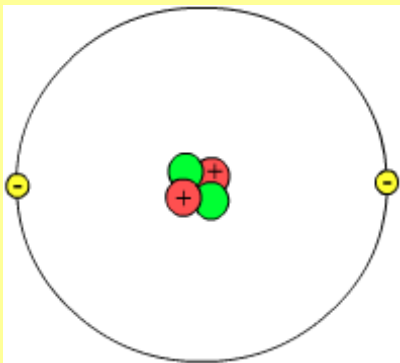


Para detectar la carga eléctrica podemos usar un instrumento llamado **electroscopio**. Este instrumento consiste de una barra metálica aislada que tiene conectada a uno de sus extremos dos láminas metálicas muy livianas, como se muestra en la figura de la izquierda, en la página siguiente. Al tocar la barra con otro cuerpo cargado, parte de esta carga pasará a la barra lo que produce la separación de las láminas, como consecuencia de la repulsión de cargas del mismo signo. En la figura de la derecha se muestra el caso en que el cuerpo cargado tiene carga positiva.



Electrones y Protones

Toda la materia está compuesta de átomos. Un átomo tiene una partícula central llamada núcleo que está formado de dos tipos de partículas: protones y neutrones. Los protones tienen carga **positiva** mientras que los neutrones no tienen carga. Un núcleo típico tiene un tamaño del orden de 10^{-15} m. El núcleo está rodeado de una nube formada de pequeñas partículas llamadas electrones, descubiertas por Thomson (1897). Los electrones tienen carga **negativa**. Esta nube tiene un tamaño de aprox. 10^{-10} m.

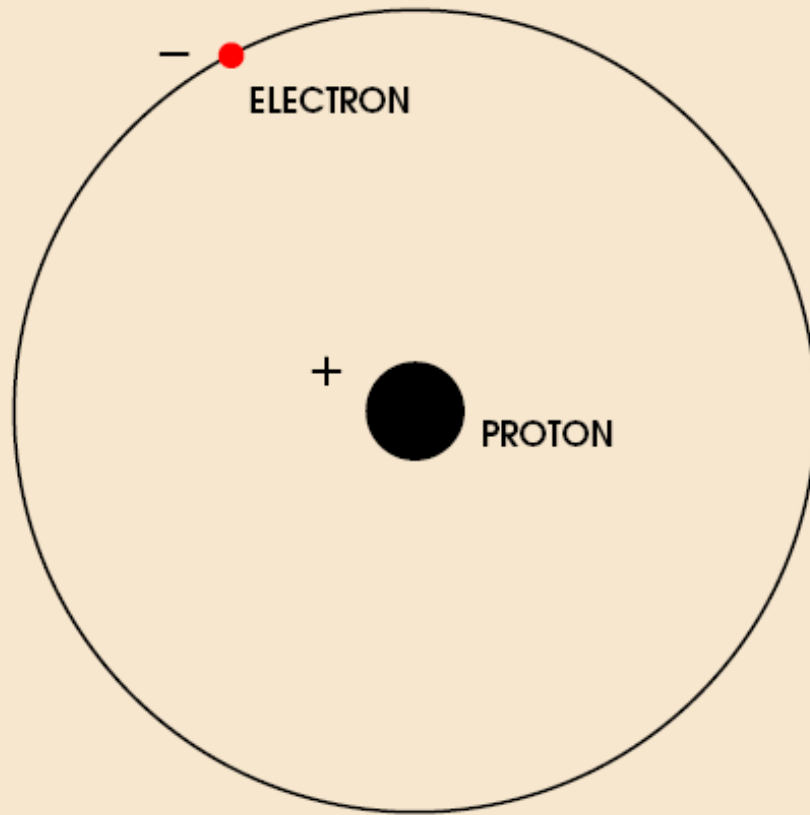


Núcleo del átomo tiene A partículas
= Z protones + N neutrones

Átomo neutro = Z protones, Z electrones

Ojo con las escalas
(Ver pizarra)

Modelo simple del atomo de hidrogeno

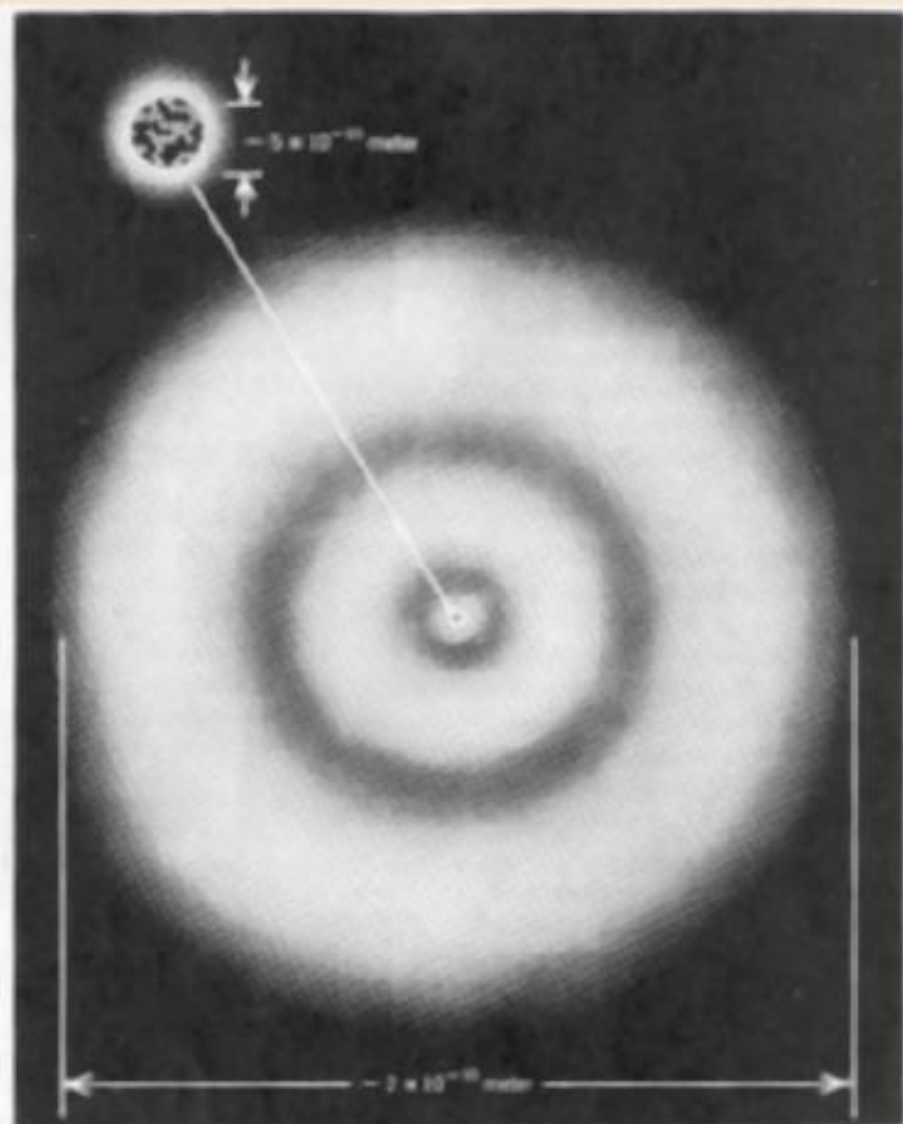


Niels Bohr 1913

MODELO MAS REALISTA DE UN ATOMO

Diámetro del átomo=
 2×10^{-10} metros

Diámetro de núcleo=
 5×10^{-15} metros



The distance r between the electron and the proton in the hydrogen atom is about 5.3×10^{-11} m. What are the magnitudes of (a) the electrical force and (b) the gravitational force between these two particles?
From Coulomb's law.

Unidades

La carga eléctrica, al igual que cualquier propiedad física, requiere de una unidad para ser cuantificada. La unidad de carga en el Sistema Internacional de Unidades es el Coulomb (que se abrevia [C]), cantidad que se establece midiendo la cantidad de iones (cantidad de partículas de carga positiva) que se producen en una determinada reacción química para un mol de un cierto material. También se puede definir un Coulomb a partir de la definición de la unidad de corriente eléctrica (ampere).

Carga del electrón: En términos del Coulomb, es posible establecer la carga eléctrica q_e del electrón:

$$q_e = -1.6021 \times 10^{-19} \text{ [C]}$$

Quanto de carga. La cantidad

$$e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ [C]}$$

se conoce como “quanto de carga” pues en la naturaleza no se encuentran partículas libres con carga menor que dicho quanto. Con esta notación la carga q_e del electrón se abrevia:

$$q_e = -e$$

Cuantización de la Carga Eléctrica

En 1909, Robert Millikan mostró experimentalmente que la carga eléctrica q de un objeto es *siempre* un múltiplo entero de la unidad fundamental de carga e . Es decir la carga eléctrica viene en múltiplos $q = \pm Ne$ del cuanto fundamental de carga e (N entero).

Ya vimos que la carga del electrón es $q_e = -e$. Un protón tiene precisamente una unidad de esta carga, pero de signo opuesto, es decir su carga es $q_p = e$. Otra partícula de interés es el neutrón, de carga nula, $q_n = 0$.

La siguiente tabla resume algunas propiedades de estas partículas

Partícula	Carga [C]	Masa [Kg]
Electrón (e)	-1.6022×10^{-19}	9.1095×10^{-31}
Protón (p)	$+1.6022 \times 10^{-19}$	1.6726×10^{-27}
Neutrón (n)	0	1.6749×10^{-27}

Algunos ejemplos

¿A qué número de ‘quantos’ de carga e equivale 1 [C]?

$$[C] = \frac{1}{1.6021 \times 10^{-19}} e = 6.24 \times 10^{18} e$$

esto es, 6.24 trillones de partículas.

Ej.2

La moneda de 1 centavo de USA (1 penny) esta acuñada en cobre ($Z=29$) y tiene una masa de 3 g. ¿Cuál es carga total de todos los electrones de esta moneda?

(Ver Halliday-Resnick)

Resultado: $Q_- = -1.3 \times 10^5 [C]$

Notar que para una ampolleta de 100 W y a un voltaje de 110 V se requerirán 40 hrs. para que pase por la ampolleta una carga de esa magnitud

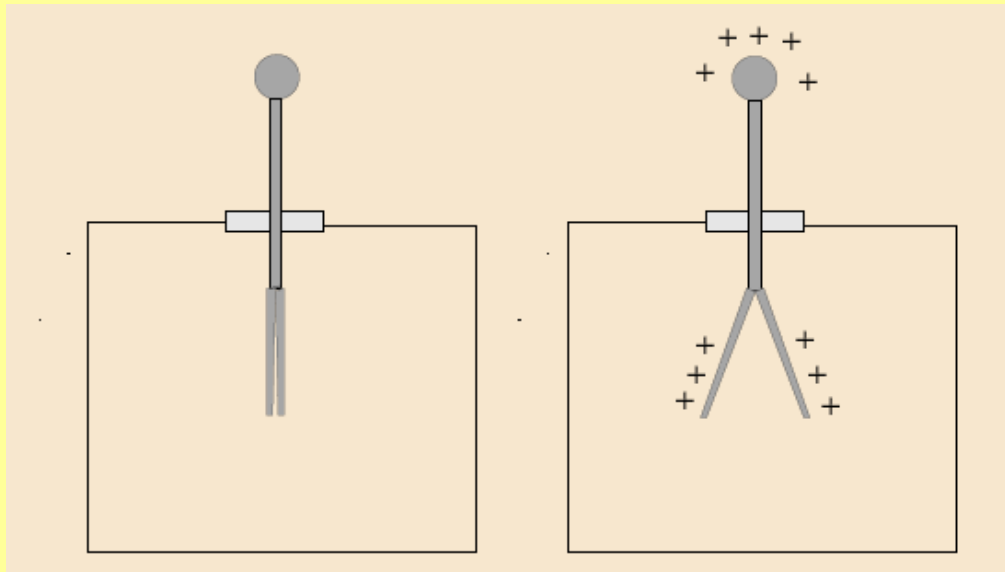
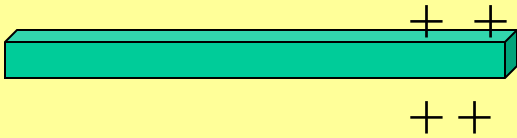
Conservación de la Carga Eléctrica

Conservación de la carga eléctrica. Los cuerpos en general tienen igual carga positiva que negativa (cuerpo neutro), pero al frotarlos, una cantidad de electrones pasan del uno al otro, dejando cargado uno positivo y el otro negativo. La carga total se mantiene constante, es decir *la carga eléctrica se conserva*. Esto se expresa por la

Ley de conservación de la carga eléctrica

Como cargar eléctricamente a un objeto

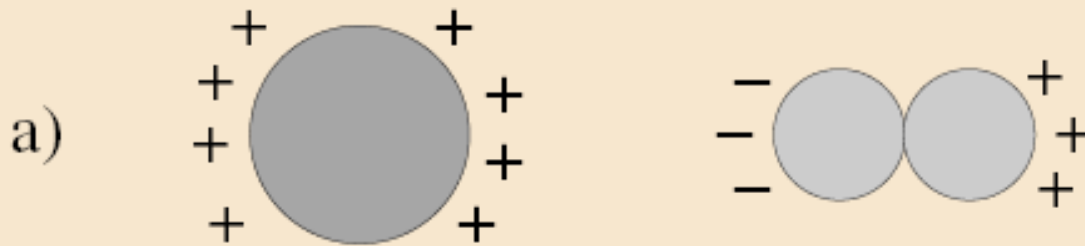
1) Entregándole directamente la carga



2) Inducción de carga eléctrica en un metal.

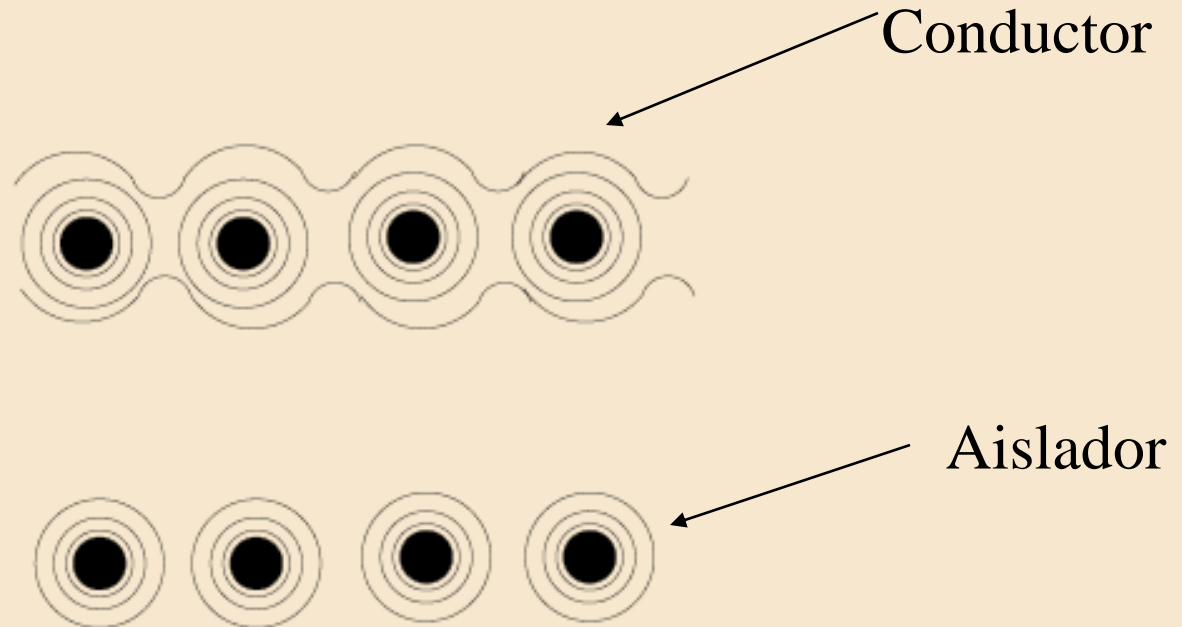
a) Esfera grande con carga positiva se acerca a esferas pequeñas en contacto. Sobre las esferas pequeñas se induce una distribución de cargas.

b) Se separan las pequeñas y se aleja la esfera grande.



CONDUCTORES Y AISLADORES

La materia se puede clasificar a grosso modo entre conductores y aisladores.



En un extremo ideal hablamos de conductores perfectos, en los cuales no existe ninguna resistencia al movimiento de las cargas. En el caso opuesto la carga eléctrica se encuentra localizada impedida de movimiento, estos son los aisladores o dieléctricos.

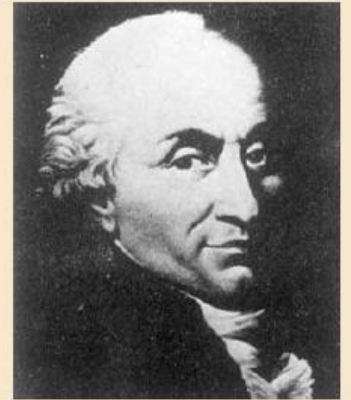
Campos Eléctricos

Cargas Eléctricas, Aisladores y conductores, Ley de Coulomb, Campo Eléctrico. Movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos uniformes. Campo eléctrico de distribuciones continuas. Líneas de Campo Eléctrico.

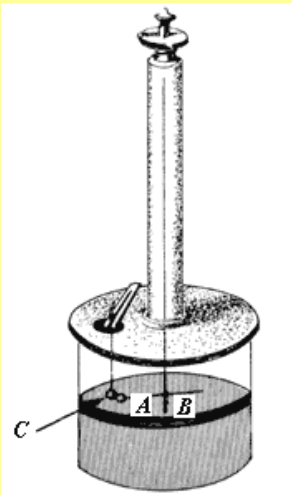
Ley de Coulomb

En 1785 Charles Augustín Coulomb (1736-1806) descubrió que la fuerza entre dos cargas puntuales q_1, q_2 es:

- (a) inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y dirigida a lo largo de la recta que une los centros.
- (b) proporcional al producto $q_1 q_2$ de las cargas
- (c) atractiva si las cargas tienen signos opuestos y repulsiva si tienen signos iguales.



Charles A. Coulomb
(1736 - 1806)



Esto es:

Magnitud de la fuerza entre dos cargas puntuales q_1 y q_2 , i.e. la fuerza producida por q_2 sobre q_1 o vice-versa.

Magnitud

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R_{12}^2} \quad [\text{N}]$$

donde R_{12} es la distancia entre las cargas.

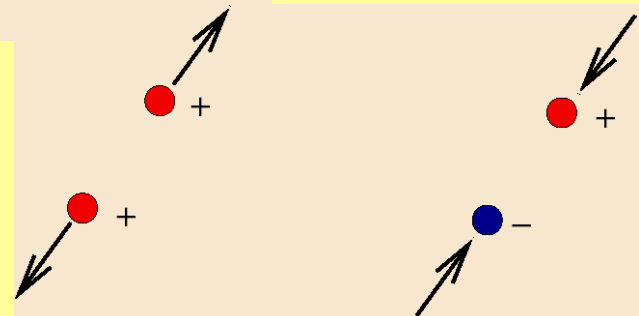
En el sistema MKS las cargas se miden en unidades llamadas coulomb (C) y la constante vale:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9874 \times 10^9 \simeq 9.0 \times 10^9 \quad [\text{Nm}^2/\text{C}^2]$$

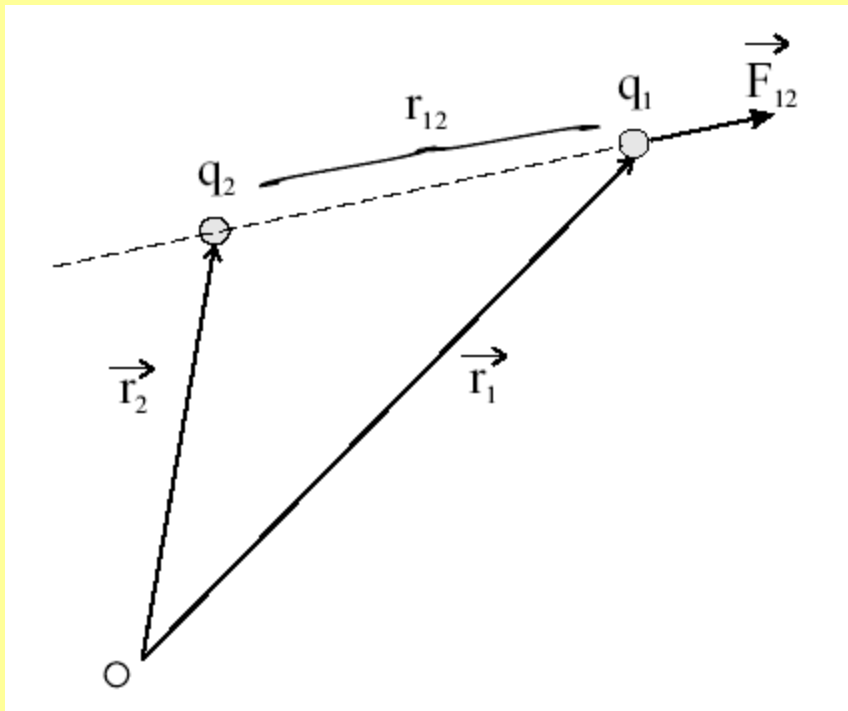
La constante ϵ_0 se llama la permitividad del vacío.

Dirección y sentido

La dirección de la fuerza es la dirección de la línea que une las dos cargas y la fuerza es atractiva si las cargas son de signos distintos y repulsiva si son iguales.



La Ley de Coulomb en forma vectorial.
Fuerza sobre la carga q_1 :



$$\vec{F}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

Notemos que la fuerza que siente q_2 debido a la presencia de q_1 es:

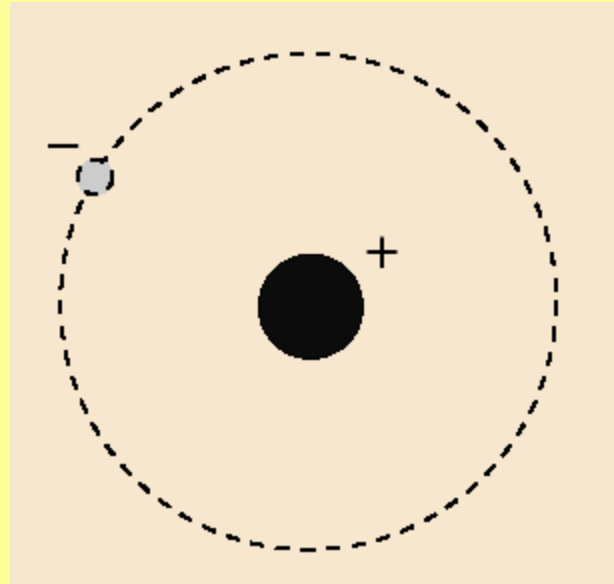
$$\vec{F}_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

Veamos algunos ejemplos

Ejemplo. 1

La distancia entre el proton y el electron en el átomo de hidrogeno es de 5.3×10^{-11} m. Calcule las magnitudes de las fuerzas eléctrica y gravitacional y encuentre su razón.

$m_{\text{electron}} = 9.11 \times 10^{-31}$ Kg, $m_{\text{proton}} = 1.67 \times 10^{-27}$ Kg, $G = 6.67 \times 10^{-11}$
[MKS]



Modelo simple del atomo de hidrogeno

La fuerza electrostática vale:

Magnitud

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.609 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.28 \times 10^{-8} \text{N}$$

La fuerza gravitacional vale:

$$F_g = \frac{Gm_{\text{electron}}m_{\text{proton}}}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$
$$= 3.612 \times 10^{-47} \text{N}$$

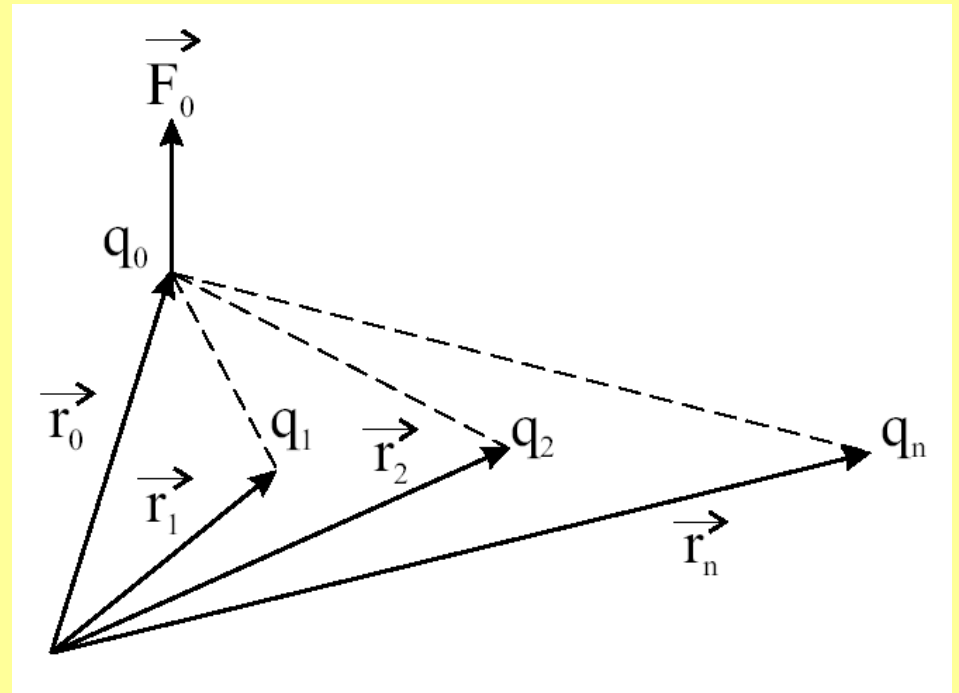
Luego la razón entre estas dos fuerzas es:

$$\frac{F_e}{F_G} = 2.3 \times 10^{39}$$

El principio de superposición

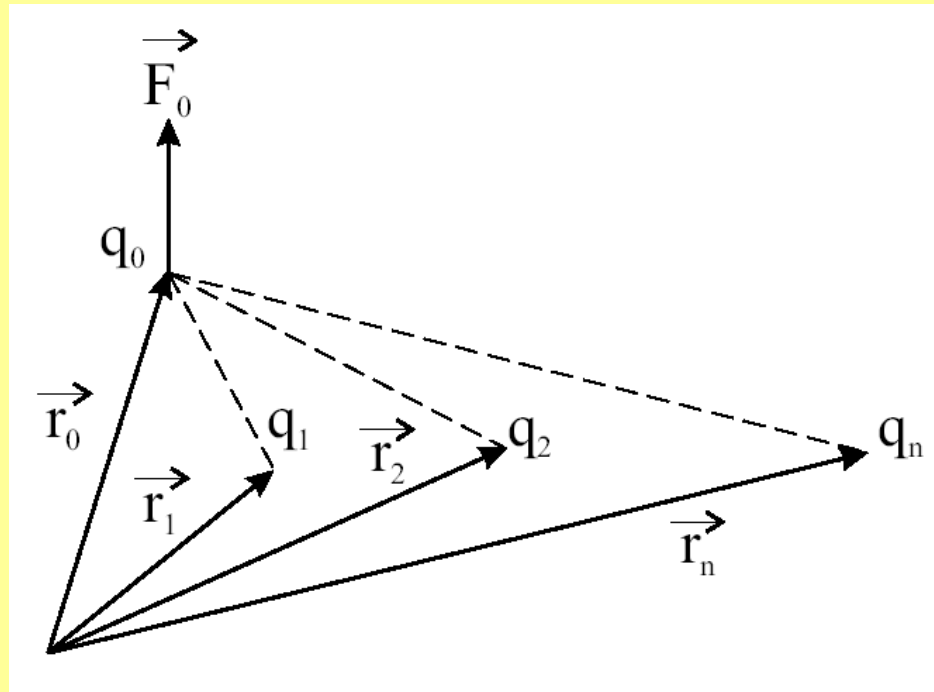
Como vimos en el curso de Mecánica de la partícula (*Física I*) cuando hay muchas fuerzas actuando sobre una partícula la acción neta sobre la partícula (fuerza neta) se reduce a la suma vectorial de cada una de las fuerzas que actúan sobre ella. De acuerdo a esto, en el caso de un sistema de cargas q_1, q_2, \dots, q_N que interactúan con otra carga q_0 , la fuerza eléctrica neta es igual a la suma vectorial de las fuerzas que cada carga ejerce individualmente sobre q_0 .

$$\vec{F}_0^{\text{elec}} = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \dots + \vec{F}_{0N}$$



Si llamamos \vec{r}_0 al vector de posición de la carga q_0 y $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$ a los vectores de posición de las demás cargas, la fuerza sobre q_0 se obtiene a partir de la suma vectorial

$$\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^N \frac{Kq_0q_i (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)}{\|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\|^3}$$



8-Dos cargas puntuales están colocadas sobre el eje x . $Q_1 = q$ en $x = a$ y $Q_2 = -4q$ en $x = -a$.

a) Encuentre una expresión vectorial en coordenadas cartesianas para la fuerza que actúa sobre una carga de prueba Q , ubicada en un punto arbitrario en el plano xy .

b) Encuentre las coordenadas (x, y) de todos los puntos donde la carga de prueba está en equilibrio.

Ver pizarra

El Campo Eléctrico

Se define el Campo Eléctrico \vec{E} creado por una distribución de cargas en un punto arbitrario P (posición \vec{r} en que se encuentra una carga de prueba q_0) como

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

En estricto rigor la carga q_0 debe ser tan débil que, al introducirla en un sistema de cargas, ella produzca fuerzas muy pequeñas sobre las otras partículas del sistema y por ese motivo no se altere las configuración de posiciones de ellas. A una carga con estas características se la llama *carga de prueba*. Matemáticamente esto se expresa indicando que la medición se hace en el límite $q_0 \rightarrow 0$.

Utilizando la Ley de Coulomb, la definición de campo eléctrico que acabamos de dar, y el Principio de Superposición, es posible escribir una expresión para el campo eléctrico creado por un conjunto discreto de cargas $q_1, \dots, q_i, \dots, q_N$ en un punto P con posición $\vec{r} = \vec{r}_P$

$$\vec{E}(\vec{r}) \equiv \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = K \sum_{i=1}^N \frac{q_i (\vec{r} - \vec{r}_i)}{\|\vec{r} - \vec{r}_i\|^3}$$

Por último las unidades de campo eléctrico son *Newtons/Coulomb*: [N/C].

La fuerza electrostática en función del Campo Eléctrico

Si conocemos el valor del campo eléctrico para todo punto del espacio
Entonces la fuerza que siente una carga q ubicada en \vec{r} está dada
por la siguiente expresión:

$$\vec{E}(\vec{r})$$

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$$

Una observación importante es que si $q > 0$ tanto \vec{F} como \vec{E} apuntan en la misma dirección, mientras que si $q < 0$ entonces \vec{F} apunta en dirección contraria a \vec{E} . Pero esto no tiene ninguna incidencia en la forma de calcular el campo eléctrico.

Fin