

01.01. Ley de Coulomb

Damián Gulich^{1,2}

¹Departamento de Ciencias Básicas,
Facultad de Ingeniería, UNLP

²Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp)

Índice

1 La caga eléctrica

2 La Ley de Coulomb

© Damián Gulich
www.damiangulich.com.ar

Electrostática



Lo neutro y lo cargado

Cuando se produce un rayo o en un día seco salta una chispa cuando tocamos un objeto metálico, se pone de manifiesto que los objetos que nos rodean almacenan una gran cantidad de carga eléctrica.

La carga eléctrica

- Al igual que la masa, la carga eléctrica es una de las propiedades fundamentales de la materia.
 - Masa \Rightarrow desarrollo de la mecánica de Newton y Gravitación
 - Carga eléctrica \Rightarrow desarrollo del Electromagnetismo
- Los fenómenos eléctricos son conocidos desde la época de la civilización griega (600 AC), al frotar ámbar (resina vegetal solidificada) con un trozo de lana, aquel podía atraer objetos livianos (pequeños trozos de papiro).
- *Enfoque fenomenológico:* la carga eléctrica es una propiedad de la materia que tomamos como dada y estudiamos sus características e interacciones.

Historia y signos



- En el año 1600, el médico inglés William Gilbert se dio cuenta de que la electrificación es un fenómeno general y que no se limita tan solo al ámbar.
- Benjamin Franklin (~1748) determinó que las interacciones eléctricas responden a la existencia de una propiedad de la materia que denominó carga eléctrica; además, luego de sucesivos experimentos constató que hay dos tipos (variedades) de carga eléctrica. Para diferenciarlos, Franklin les dio el nombre de estados de
 - carga positiva (+)
 - carga negativa (-)

Lo neutro y lo cargado

- Al frotar vidrio con seda, aparece en éste una carga positiva, mientras que en la seda aparece una carga negativa.
- La neutralidad de la mayoría de los objetos a nuestro alcance oculta el contenido de enormes cantidades de carga eléctrica positiva y negativa, que –si son de iguales cantidades- cancelan entre sí sus efectos externos. Cuando este balance se rompe (aunque sea muy poco) se dice que el objeto está “cargado”.
- En el caso de la varilla de vidrio y la seda, el frotamiento no crea cargas, sino que las transfiere de un cuerpo al otro, alterando la neutralidad eléctrica. Este hecho se denomina conservación de la carga.
- Los cuerpos cargados ejercen fuerzas entre sí:
 - **Las cargas de igual signo se repelen**
 - **Las cargas de signos opuestos se atraen**

Conductores y aislantes

Si sujetamos con la mano y frotamos una varilla de cobre no podemos hacer que queda cargada. Sin embargo, si tomamos la varilla con un mango de plástico podremos acumular una carga. Para interpretar esto debemos clasificar los materiales según:

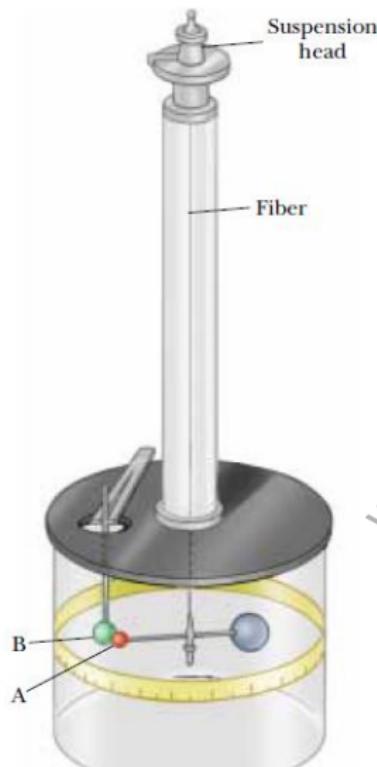
- **Conductores:** son materiales por los cuales la carga eléctrica puede fluir fácilmente. En general toda carga que deposite en ellos se queda donde está.
 - Ejemplos: el cobre, los metales en general, el agua de la canilla, el cuerpo humano, etc.
- **Aislantes:** son materiales por los cuales la carga eléctrica no fluye con facilidad (no hay aislantes perfectos, pero sí muy buenos). En general toda carga que deposite en ellos se queda donde está.
 - Ejemplos: vidrio, agua pura, plásticos, cuarzo fundido, etc.
- Los *semiconductores* son sustancias con propiedades intermedias.

Charles Coulomb



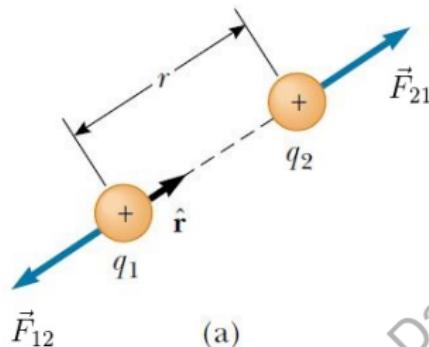
- En 1785, Charles Agustín de Coulomb realizó cuidadosos experimentos para investigar las relaciones cuantitativas de las interacciones de atracción y repulsión de cargas eléctricas.
- Para estudiar la dependencia de estas interacciones con distintos parámetros, tomó la hipótesis de trabajar con esferas muy pequeñas cargadas, de modo que la “distribución de cargas” tuviese un volumen “infinitesimal” comparado con cualquier dimensión típica del experimento, es decir **“cargas puntuales”**.

El experimento de Coulomb

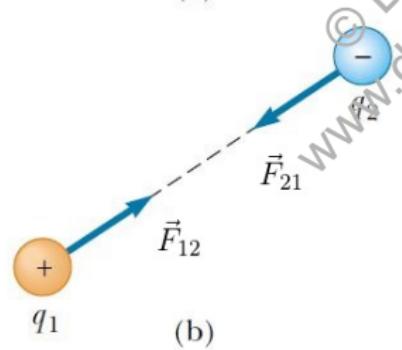


- Instrumento: balanza de torsión
- Parámetros a medir:
 - dirección y sentido de la fuerza eléctrica (\vec{F}_e medida en newtons - N);
 - dependencia con la distancia r que las separa
 - dependencia con el valor de las cargas q_1 y q_2

Resultados del experimento de Coulomb



(a)



(b)

Propiedades observadas para cargas puntuales estáticas

- \vec{r}_e : dirección de la recta que une a las cargas q_1 y q_2
- \vec{F}_e : atractiva signos opuestos F_e : repulsiva mismo signo
- \vec{F}_e es proporcional a q_1 y q_2
- \vec{F}_e es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r que separa las cargas

Ley de Coulomb (magnitud de la fuerza)

Ley de Coulomb (magnitud de la fuerza)

$$\|\vec{F}_e\| = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (1)$$

donde k_e es una constante de proporcionalidad y r es la distancia que separa las cargas.

La unidad de carga

Definimos *arbitrariamente* la constante de proporcionalidad k_e como

$$k_e = 8,99 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Así, las unidades de las cargas son los ‘coulomb’ (C):

$$[q] = \text{C}$$

Otra forma muy conveniente de expresar k_e que usaremos con frecuencia es

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

Donde ϵ_0 se llama “permitividad del vacío” y está totalmente determinada por la velocidad de la luz en el vacío como se verá más tarde en el curso. Su valor es:

$$\epsilon_0 = 8,8541... \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

La carga eléctrica está cuantificada

Los modelos iniciales sobre la electrificación de la materia supusieron a la carga como un fluido infinitamente divisible. Esto no es cierto.

Una carga neta de un cuerpo está formada por múltiplos de cierta carga elemental, es decir que cualquier carga q puede expresarse como:

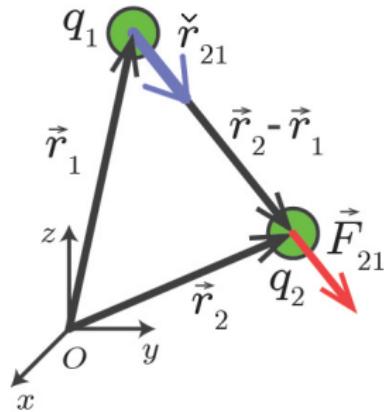
$$q = ne \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

donde e es la unidad de carga elemental, que tiene un valor determinado experimentalmente como:

$$e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

En un curso más avanzado puede demostrarse que la forma vista de la Ley de Coulomb exige que los portadores de cargas elementales sean partículas puntuales.

Ley de Coulomb, forma vectorial



Ley de Coulomb

Definido un sistema de referencia, y dadas dos cargas puntuales q_1 y q_2 (con el signo que les corresponda) con vectores de posición \vec{r}_1 y \vec{r}_2 , la fuerza eléctrica (vector!) que la carga 2 (carga muestra) experimenta debido a la presencia de la carga 1 (carga fuente) es:

$$\vec{F}_{21} = k_e \frac{q_1 q_2}{\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\|^2} \cdot \check{r}_{21} \quad (2)$$

Donde \check{r}_{21} es el versor que va de q_1 a q_2 :

$$\check{r}_{21} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\|} = \frac{\vec{r}_{21}}{\|\vec{r}_{21}\|} = \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

(donde se ha usado que $\|\vec{A}\| = A$).

Otras formas de escribir la Ley de Coulomb

Entre muchas otras posibilidades podemos escribir de nuevo la fuerza de la Ley de Coulomb (Ec. (2)) como:

$$\vec{F}_{21} = k_e \frac{q_1 q_2}{\|\vec{r}_{21}\|^2} \cdot \check{r}_{21} = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \cdot \check{r}_{21} = \dots \quad (3)$$

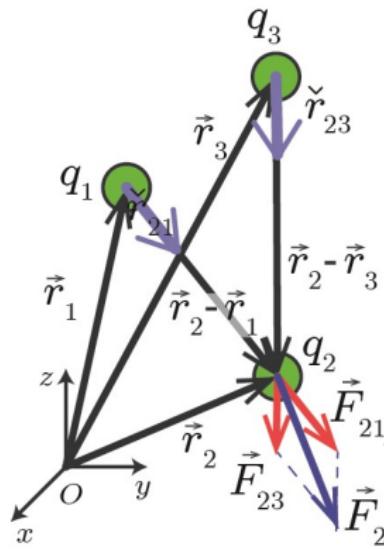
Las cargas deben escribirse con el signo que les corresponda.

Podemos interpretar los hechos experimentales antes expuestos considerando todas las combinaciones posibles de signos:

- Ambas positivas o ambas negativas: \vec{F}_{21} apunta en el sentido de $\vec{r}_{21} \Rightarrow$ Fuerza repulsiva
- Signos opuestos: \vec{F}_{21} apunta en el sentido de $-(\vec{r}_{21}) \Rightarrow$ Fuerza atractiva

Es fácil demostrar que $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$.

Principio de superposición



Principio de superposición

Si tenemos un sistema de N cargas puntuales estáticas, la fuerza total que las demás ejercen sobre una dada carga j es la suma de cada una de las fuerzas individuales sobre ella:

$$\vec{F}_j = \vec{F}_{j1} + \vec{F}_{j2} + \dots = k_e \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \frac{q_j q_i}{\|\vec{r}_j - \vec{r}_i\|^2} \cdot \check{r}_{ji} \quad (4)$$

Preguntas

Preguntas

© Damián Gulich
www.damiangulich.com.ar