Clase 2

Carga eléctrica y ley de Coulomb

La unidad de carga en el SI

La ley de Coulomb podría ofrecer en principio un método para establecer una unidad con la cual cuantificar la carga eléctrica. Si se mide la fuerza con la cual las cargas se atraen o repelen a diferentes distancias se puede establecer una medida de la magnitud relativa de éstas y fijar un patrón para compararlas. La medición de las fuerzas electrostáticas no es, sin embargo, una empresa simple desde el punto de vista práctico y resulta mucho mas conveniente y así se hace al definir el Sistema Internacional de unidades definir la unidad de carga en términos de la unidad de corriente eléctrica. En situaciones en que las cargas están en movimiento, la corriente eléctrica es la medida de la carga total que atraviesa una superficie dada por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional la unidad de corriente es el Amperio (A). La intensidad de una corriente eléctrica puede establecerse como veremos en su momento por los efectos magnéticos que produce. La unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional se llama Coulomb (C) y se define como la carga que atraviesa un área de $1m^2$ en un segundo cuando circula una corriente de un ampere:

$$1\,C = \frac{Am^2}{s} \quad .$$

Las cargas de las partículas pueden determinarse con respecto al patrón de carga eléctrica definido arriba en forma independiente de la Ley de Coulomb. La constante ϵ_0 que aparece en la Ley de Coulomb se determina de forma que ésta se cumpla. Resulta ser,

$$\epsilon_0 = 8{,}85418 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N\,m^2}$$

y entonces

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{N\,m^2}{C^2} \quad .$$

Ejemplo 1: SZYF 21.4 Usted tiene un anillo de oro puro con masa de 17.7 g. El oro tiene una masa atómica de 197 g/mol y un numero atómico de 79. a)Cuantos protones hay en el anillo y cual es su carga total positiva. b)Si el anillo no tiene carga neta cuantos electrones hay en el.

La masa es $m = 17{,}7\ g$. El número de moles es $17{,}7\ g/197\ g/mol = 0,0898$. El numero de átomos es igual al número de moles por el número de Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23}$. El número de átomos es entonces $5,41\times10^{22}$. Como hay 79 protones en cada átomo el número de protones es $n_p = 4,27 \times 10^{24}$ con carga total $q = n_p \times e = 6,83 \times 10^5\ C$. Si no hay carga neta el número de electrones es igual al número de protones.

Si fuera posible separar toda la carga positiva del anillo de la negativa y las colocáramos a 1 m de distancia, la magnitud de la fuerza de atracción entre ellas sería de

$$F = 9 \times 10^9 \times (6,83 \times 10^5)^2 N = 4,2 \times 10^{21} N$$

Para comparar considere que el peso de la luna colocada sobre la superficie de la tierra sería de $7,2 \times 10^{23} N$.

Ejemplo 2: Consideremos el caso altamente idealizado en el cual tenemos una carga Q y una carga q colocadas en la posición $(0, a, 0)$ y en la posición $(b, 0, b)$ de un sistema de coordenadas. ¿Cuál es la fuerza que Q ejerce sobre q.

Tenemos $\vec{\mathbf{r}}_Q = a\hat{\mathbf{y}}$ y $\vec{\mathbf{r}}_q = b\hat{\mathbf{x}} + b\hat{\mathbf{z}}$. La fuerza es entonces

$$\vec{\mathbf{F}}_{Qq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Qq \frac{(\vec{\mathbf{r}}_q - \vec{\mathbf{r}}_Q)}{|\vec{\mathbf{r}}_q - \vec{\mathbf{r}}_Q|^3} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \frac{a\hat{\mathbf{x}} - a\hat{\mathbf{y}} + b\hat{\mathbf{z}}}{(\sqrt{a^2 + 2b^2})^3} \quad .$$

El principio de superposición

Es un hecho experimental que la fuerza que ejerce una partícula cargada sobre otra no se ve afectada por la presencia de otras cargas en el entorno. Esta observación se conoce como principio de Superposición. Si se tienen n cargas q_1, q_2,...,q_n en las posiciones $\vec{\mathbf{r_1}}$, $\vec{\mathbf{r_2}}$...$\vec{\mathbf{r_n}}$ la fuerza que la i-ésima partícula ejerce sobre la j-ésima partícula es según la ley de Coulomb,

$$\vec{\mathbf{F}}_{ij} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_i q_j \frac{(\vec{\mathbf{r_j}} - \vec{\mathbf{r_i}})}{|\vec{\mathbf{r_j}} - \vec{\mathbf{r_i}}|^3} \quad .$$

Entonces si llamamos $\vec{\mathbf{F}}_j$ a la fuerza que todas las otras partículas ejercen sobre la j-ésima partícula las consecuencias del principio de Superposición pueden ser condensadas en la fórmula,

$$\vec{\mathbf{F}}_j = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1, i\neq j}^{n} q_i q_j \frac{(\vec{\mathbf{r_j}} - \vec{\mathbf{r_i}})}{|\vec{\mathbf{r_j}} - \vec{\mathbf{r_i}}|^3} \quad .$$

En el caso particular de tres partículas cargadas q_1, q_2 y q_3 en las posiciones $\vec{\mathbf{r_1}}, \vec{\mathbf{r_2}}$ y $\vec{\mathbf{r_3}}$, tendremos las respectivas fuerzas netas sobre cada partícula dadas por,

$$\vec{\mathbf{F}}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_1 q_2 \frac{(\vec{\mathbf{r_1}} - \vec{\mathbf{r_2}})}{|\vec{\mathbf{r_1}} - \vec{\mathbf{r_2}}|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_1 q_3 \frac{(\vec{\mathbf{r_1}} - \vec{\mathbf{r_3}})}{|\vec{\mathbf{r_1}} - \vec{\mathbf{r_2}}|^3} \quad .$$

$$\vec{\mathbf{F}}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_2 q_1 \frac{(\vec{\mathbf{r_2}} - \vec{\mathbf{r_1}})}{|\vec{\mathbf{r_2}} - \vec{\mathbf{r_1}}|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_2 q_3 \frac{(\vec{\mathbf{r_2}} - \vec{\mathbf{r_3}})}{|\vec{\mathbf{r_2}} - \vec{\mathbf{r_2}}|^3} \quad .$$

$$\vec{\mathbf{F}}_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_3 q_1 \frac{(\vec{\mathbf{r_3}} - \vec{\mathbf{r_1}})}{|\vec{\mathbf{r_3}} - \vec{\mathbf{r_1}}|^3} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_3 q_2 \frac{(\vec{\mathbf{r_3}} - \vec{\mathbf{r_2}})}{|\vec{\mathbf{r_3}} - \vec{\mathbf{r_2}}|^2} \quad .$$