

## TÍTULO: *Ley de Coulomb.*

### OBJETIVOS:

- Explicar el origen y naturaleza de la interacción electrostática.
- Establecer una comparación entre las intensidades de las fuerzas electrostática y gravitatoria.

### DESARROLLO CONCEPTUAL

#### DEFINICIONES:

**LEY DE COULOMB:** Dadas dos cargas eléctricas puntuales  $Q_1$  y  $Q_2$  separadas una distancia  $r$ , sobre cada una de ellas actúa una fuerza dirigida a lo largo de la recta que las une y cuyo valor es proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Es decir

$$\vec{F}_e = K_e \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{u}_r$$

siendo  $\hat{u}_r$  un vector unitario dirigido a lo largo de la recta que las une. La fuerza es repulsiva si  $Q_1$  y  $Q_2$  tienen el mismo signo, y atractiva si tienen distinto signo.

### FORMULACIÓN SIMPLE DEL PROBLEMA

Algunas partículas elementales de las que está compuesta la materia tienen una propiedad denominada **carga eléctrica**. Dicha propiedad se manifiesta en una fuerza que una partícula cargada ejerce sobre otra. La expresión que da el valor de la fuerza es muy parecida a la que da la fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas puntuales (ahora las cargas desempeñan el papel de las masas), pero hay algunas diferencias importantes:

- a) todas las partículas materiales tienen masa gravitatoria, pero no todas tienen carga eléctrica.
- b) todas las masas gravitatorias son positivas (y las fuerzas gravitatorias son siempre atractivas), mientras que las cargas eléctricas pueden ser positivas o negativas (y, por lo tanto, las fuerzas electrostáticas pueden ser repulsivas o atractivas).
- c) existe una unidad natural de carga eléctrica; en otras palabras, la carga eléctrica de cualquier partícula es un múltiplo entero de una carga fundamental. Sin embargo, no existe ninguna unidad natural de masa gravitatoria
- d) la intensidad de la fuerza de interacción electrostática es inmensamente mayor que la de la fuerza gravitatoria.

La carga eléctrica es una magnitud aditiva; es decir, la carga eléctrica total de un cuerpo es la suma de las cargas eléctricas de las partículas que lo constituyen. Puesto que la carga eléctrica de cualquier partícula es un múltiplo entero (positivo o negativo) de una carga fundamental, la carga eléctrica total de un cuerpo macroscópico es una cantidad discreta y está también cuantificada en múltiplos enteros de dicha carga fundamental. No obstante, la carga eléctrica de un cuerpo macroscópico es normalmente muy grande comparada con la carga fundamental, por lo que en la práctica podemos considerar la carga eléctrica como una magnitud continua. Por la misma razón, es mucho más práctico utilizar una unidad de carga mucho mayor que esta unidad natural.

Una vez escogida la unidad de carga, la constante  $K_e$  que aparece en la expresión de la fuerza eléctrica se determina experimentalmente. La unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional es el **culombio**, cuyo símbolo es C. Si en la ley de Coulomb hacemos  $Q_1 = Q_2 = 1$  C, la fuerza entre dos cargas separadas una distancia  $r = 1$  m sería

$$F_e = K_e \frac{1 \text{ C} \times 1 \text{ C}}{1 \text{ m}^2}$$

Experimentalmente esta fuerza es muy aproximadamente igual a  $9 \times 10^9$  newtons, de modo que la constante  $K_e$  vale aproximadamente  $K_e = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ . Recíprocamente, podemos definir el culombio como la carga eléctrica de dos partículas sobre las que actúa una fuerza de  $9 \times 10^9$  newtons cuando entre ellas hay una distancia de 1 metro.

La carga eléctrica fundamental es la [carga del electrón](#), que es negativa y vale  $e = -1,6 \times 10^{-19}$  C. (La elección del signo negativo es convencional.) Es decir, un culombio es aproximadamente la carga total que corresponde a unos  $6 \times 10^{18}$  electrones. La carga eléctrica del [protón](#) tiene el mismo valor pero signo contrario. Por lo tanto, la fuerza electrostática entre un protón y un electrón a un metro de distancia tendrá un valor del orden de  $10^{10} \times (10^{-19})^2 = 10^{-28}$  N. Sin embargo, la fuerza gravitatoria entre estas mismas partículas vale aproximadamente  $10^{-67}$  N. Así, la fuerza electrostática entre protón y electrón es unas  $10^{39}$  veces más intensa que la fuerza gravitatoria entre esas mismas partículas (y este cociente es independiente de la distancia pues ambas fuerzas varían con la distancia de la misma manera).

Otro ejemplo de la gran intensidad de la fuerza electrostática frente a la gravitatoria es el siguiente. Aunque en un átomo aislado hay tantos protones como electrones, y en consecuencia su carga eléctrica total es nula, un cuerpo macroscópico puede adquirir o perder electrones por frotamiento o contacto con otros cuerpos, y con ello adquirir una carga eléctrica neta distinta de cero. En un cuerpo de 1 Kg hay aproximadamente  $10^{27}$  protones y aproximadamente otros tantos electrones. Pero basta que por cada billón ( $10^{12}$ ) de protones haya un billón más 1 electrones para que en el cuerpo haya  $10^{27}/10^{12} = 10^{15}$  electrones en exceso, y con ello una carga total negativa del orden de  $10^{15} \times 10^{-19} = 10^{-4}$  C. Entonces, entre dos cuerpos semejantes situados a un metro de distancia habrá una fuerza eléctrica repulsiva de unos  $10^2$  newtons, mientras que la fuerza gravitatoria solo será de unos  $10^{-11}$  newtons (es decir, 10 billones de veces menor).

## EJEMPLO

### ENUNCIADO

En un átomo de hidrógeno, un electrón gira alrededor de un protón a una distancia de  $0,52 \times 10^{-10}$  m. Cuál es la velocidad del electrón en dicha órbita? (La masa del electrón es  $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  Kg.)

### RESOLUCIÓN

Sabemos que un movimiento circular uniforme de radio  $r$  tiene una [aceleración normal o centrípeta](#)  $a_c = v^2 / r$ . Esta aceleración la proporciona la fuerza eléctrica entre protón y electrón, de modo que sustituyendo las expresiones para  $\vec{F}_e$  y  $\vec{a}_c$  en la segunda ley de Newton  $\vec{F}_e = m\vec{a}_c$  tenemos

$$K_e \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

Despejando y sustituyendo valores

$$v^2 = K_e \frac{e^2}{m_e r} \approx 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2 \text{ C}^2}{(9,1 \times 10^{-31}) \text{ Kg} \times (0,52 \times 10^{-10}) \text{ m}} = 4,87 \times 10^{12} (\text{m/s})^2$$

y finalmente

$$v = 2,21 \times 10^6 \text{ m/s}$$

## EJERCICIO DE AUTOCOMPROBACIÓN

### ENUNCIADO

Consideremos un triángulo rectángulo isósceles imaginario situado en un plano vertical y cuya hipotenusa descansa sobre un plano horizontal. El vértice superior está a 1 metro de altura y en él hay un cuerpo de masa 1 Kg y carga  $10^{-6}$  C. ¿Qué cargas eléctricas (iguales) tendría que haber en los extremos de la hipotenusa para que la fuerza eléctrica que siente el cuerpo superior equilibre su peso?

### RESULTADO

$$Q = 1,44 \times 10^{-3} \text{ C}$$

### REFERENCIAS:

- P. A. Tipler y G. Mosca, *Física para la Ciencia y la Tecnología*, 5ª Edición, Editorial Reverté, 2005.

### AUTOR:

- Javier García Sanz