

Clase 1

Carga eléctrica y la ley de Coulomb

Fuerzas e interacciones

En la descripción de la cinemática y dinámica de partículas y cuerpos rígidos las leyes de Newton determinan las trayectorias y otros aspectos del movimiento cuando se conocen las fuerzas con interaccionan los diferentes objetos. Los cambios en el estado de movimiento de un objeto ocurren bajo la acción de fuerzas ejercida por otros objetos. Para cuerpos macroscópicos estas fuerzas pueden ser por ejemplo fuerzas de contacto como el roce, sea éste estático o dinámico, las normales y las fuerzas impulsivas o de impacto. Pueden ser también fuerzas gravitacionales las cuales por observación sistemática se comprueba que existen entre cualquier par de partículas con masa y que satisfacen la Ley de Gravitación Universal de Newton. En este curso estudiaremos otro tipo de fuerzas, las fuerzas electromagnéticas, mucho más intensas que las gravitacionales y que aparecen en la interacción entre partículas que además de masa poseen otro atributo intrínseco el cual es la carga eléctrica.

La estructura de la materia

Para introducir el concepto de carga eléctrica conviene comenzar revisando cual es la visión que tenemos de la estructura de la materia. Esta naturalmente puede ser descrita en forma diferente según la escala en la cual la observamos. A nivel macroscópico la mayoría de los materiales aparece en forma continua sea sólida, gaseosa, líquida o granular. Con el auxilio de un microscopio óptico podemos ir hasta escalas del orden de $10^{-6} m$ y distinguiremos estructuras como las células de los seres vivos y aún subestructuras dentro de estas. A medida que se la analiza en escalas más y más pequeñas comienza a ser evidente que la estructura de la materia en esas escalas es de otra naturaleza. Con un microscopio de fuerza atómica se puede explorar la materia hasta la escala nanométrica. A la escala entre $10^{-10} m$ y $10^{-9} m$ (1-10 Å) la materia se manifiesta en forma de átomos y moléculas los cuales resultan ser las menores porciones de las diferentes sustancias que mantienen tanto sus propiedades físicas como químicas. Las moléculas son combinaciones de átomos de los diferentes elementos que pueden desagregarse durante las reaccio-

nes químicas. Los átomos a su vez están constituidos por núcleos atómicos con tamaños pocas veces mayores a $10^{-15} m$ (es decir, varios fermis) y electrones formando una nube alrededor de estos. La exploración detallada de los núcleos los muestra formados esencialmente por dos tipos de partículas, los protones y los neutrones.

Los átomos y moléculas se asocian por medio de enlaces químicos para constituir las diferentes sustancias que pueden ser observadas macroscópicamente. La naturaleza de estos enlaces determina las diferentes propiedades físicas de las sustancias, si son sólidas, líquidas o gaseosas, su dureza cuando son sólidas o su viscosidad cuando son líquidas etc.

La carga eléctrica

Los protones, neutrones y electrones son partículas muy diferentes entre si. Los protones y neutrones tienen un tamaño de aproximadamente $10^{-15} m$ (un fermi) mientras que los electrones se ha demostrado experimentalmente que son menores de $10^{-21} m$. Las masas de estas tres partículas son diferentes siendo la del electrón $m_e = 9,11 \times 10^{-31} Kg$, la del protón $m_p = 1,6725 \times 10^{-27} Kg$ y la del neutrón $m_n = 1,6748 \times 10^{-27} Kg$. Otras particularidades del comportamiento de estas tres partículas, en la forma como interactúan unas con otras permiten asignarle al electrón una carga $q_e = -e = -1,602 \times 10^{-19} C$, al protón una carga $q_p = e = 1,602 \times 10^{-19} C$ mientras que del neutrón hay que decir que es eléctricamente neutro. La definición del Coulomb (C), que es la unidad de carga será discutida en breve. La carga eléctrica se encuentra que aparece en la naturaleza únicamente en múltiplos enteros del valor e definido arriba mayormente asociada a protones o electrones aunque también en otras partículas elementales de existencia efímera que se encuentran en los rayos cósmicos o se producen en los laboratorios.

La ley de Coulomb

Para entender el significado de asignarle un valor a la carga eléctrica de una partícula es necesario discutir cuales son los comportamientos que distinguen a las partículas cargadas: como interactúan unas con otras y como afectan a la materia neutra. El estudio experimental sistemático permite establecer la ley que describe la interacción de las partículas cargadas en condiciones estáticas. Esta ley conocida como la ley de Coulomb en memoria del investigador francés

Charles-Augustin de Coulomb que la formuló por primera vez se enuncia en términos de partículas puntuales lo que constituye una idealización que a medida que sigamos con el desarrollo de la teoría veremos que no afecta su validez general.

Fuerza entre cargas

Dadas dos cargas q_1 y q_2 separadas por una distancia d , la ley de Coulomb establece que cada una ejerce una fuerza sobre la otra de manera que el par satisface el principio de acción y reacción. Cada una de las fuerzas apunta en la dirección de la línea que las une y su módulo es proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Además las fuerzas entre las cargas son repulsivas cuando tienen el mismo signo y atractivas cuando tienen signos opuestos. En forma vectorial el contenido de esta ley para cargas q_1 y q_2 en las posiciones \mathbf{r}_1 y \mathbf{r}_2 se expresa de la forma siguiente,

$$\vec{\mathbf{F}}_{q_1q_2} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3}, \quad \vec{\mathbf{F}}_{q_2q_1} = -\vec{\mathbf{F}}_{q_1q_2} .$$

siendo $\vec{\mathbf{F}}_{q_1q_2}$ la fuerza que q_1 ejerce sobre q_2 y $4\pi\epsilon_0$ una constante que definiremos a continuación. Para expresar esta ley en componentes notamos que si escogemos un sistema de coordenadas con ejes x, y, z , tendremos que $\mathbf{r}_1 = x_1\hat{\mathbf{x}} + y_1\hat{\mathbf{y}} + z_1\hat{\mathbf{z}}$ y $\mathbf{r}_2 = x_2\hat{\mathbf{x}} + y_2\hat{\mathbf{y}} + z_2\hat{\mathbf{z}}$. Entonces $(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1) = (x_2 - x_1)\hat{\mathbf{x}} + (y_2 - y_1)\hat{\mathbf{y}} + (z_2 - z_1)\hat{\mathbf{z}}$ con $|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$. La fuerza de Coulomb se escribe en componentes como

$$\vec{\mathbf{F}}_{q_1q_2} = F_{q_1q_2x}\hat{\mathbf{x}} + F_{q_1q_2y}\hat{\mathbf{y}} + F_{q_1q_2z}\hat{\mathbf{z}}$$

con

$$F_{q_1q_2x} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}^3},$$

$$F_{q_1q_2y} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{(y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}^3},$$

$$F_{q_1q_2z} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{(z_2 - z_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}^3} .$$