Unidad I - Electroestática

Introducción

- Fuerzas de interacción: acciones a distancia
- Fuerzas Electromagnéticas

  → Fuerzas Eléctricas

Un poco de historia

- El término eléctrico, tiene su origen en las experiencias realizadas en la antigüedad donde se observo que cuando se frotada con un paño de lana una barra de ámbar o elektron adquiría la propiedad de atraer hacia sí pequeños cuerpos ligeros
- Los fenómenos análogos a los producidos con el ámbar se denominaron fenómenos eléctricos y más recientemente fenómenos electrostáticos

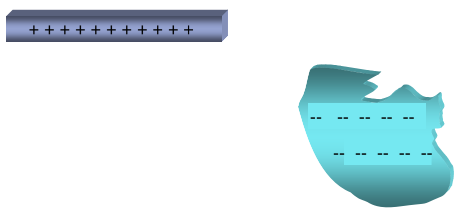
---

- Constituye una propiedad fundamental de la materia. Se manifiesta a través de ciertas fuerzas, denominadas electrostáticas, que son las responsables de los fenómenos eléctricos.
- Su influencia en el espacio puede describirse con el auxilio de la noción física de campo de fuerzas.
- El concepto de potencial hace posible una descripción alternativa de dicha influencia en términos de energías.

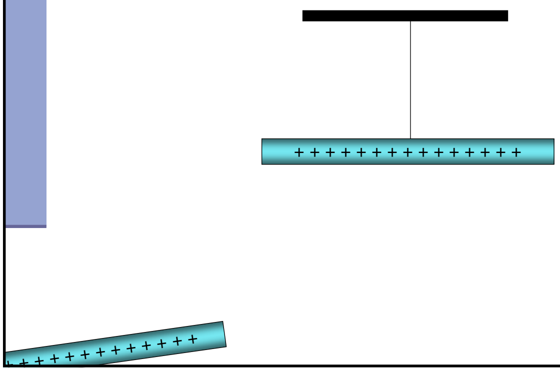
- La electrostática es la parte de la física que estudia este tipo de comportamiento de la materia.
- Se preocupa de la medida de la carga eléctrica o cantidad de electricidad presente en los cuerpos y de los fenómenos asociados a las cargas eléctricas en reposo.

Algunos experimentos

- Electricidad por frotación:

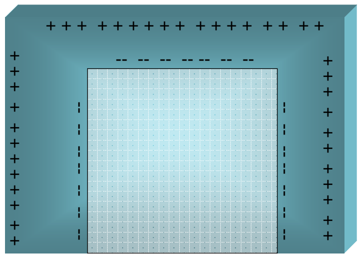


Algunos experimentos:



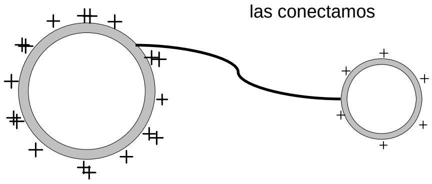
Algunos experimentos:

- Electricidad por inducción



Algunos experimentos:

- Electrificación por conducción



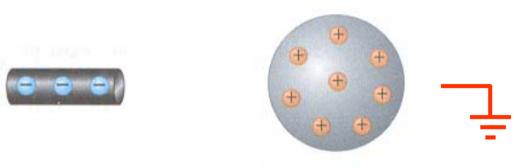
Esfera conductora aislada con carga

La segunda esfera se carga por conducción, ambas esferas quedan cargadas. La carga total queda distribuida entre ambas esferas

Esfera conductora aislada sin carga

Algunos experimentos:

- Electrificación por conducción: otro ejemplo



Aislantes y conductores

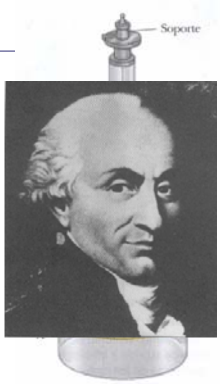
- Un conductor es un material en que la carga puede moverse de manera relativamente libre
- Un aislante es un material en que la carga no puede moverse libremente

Semiconductores

- Son un tercer tipos de materiales, sus propiedades son un termino medio entre aislantes y conductores
- Las cargas pueden moverse con cierta libertad, pero en un semiconductor son muchas menos cargas las que se mueven

Ley de Coulomb

- Charles Coulomb (1736-1806) midió las fuerzas entre objetos cargados.
- Invento la balanza de torsión. que permitió medir fuerzas pequeñas



Ley de Coulomb

$$\boxed{|\vec{F}| \propto \frac{q_1 * q_2}{d^2}}$$

La fuerza eléctrica que surge entre dos cargas en es proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional a la distancia que las separa

Ley de Coulomb

- Para poder plantear la igualdad, introducimos una constante, dependiente del medio

$$|\vec{F}| \not\propto k_e \frac{q_1 * q_2}{d^2}$$

k_e Constante de Coulomb

Ley de Coulomb

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 * q_2}{d^2}$$

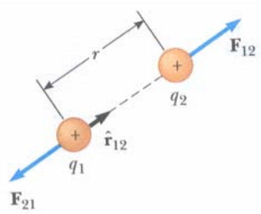
ε_0 permitividad del vacio

$$\varepsilon_0 = 8{,}8542 * 10^{-12} \frac{C^2}{N * m^2}$$

Ley de Coulomb

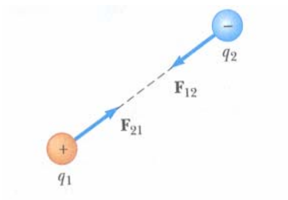
- La ley de Coulomb solo es exacta para partículas, carga puntual.
- Como toda fuerza, la fuerza eléctrica es una magnitud vectorial

Ley de Coulomb



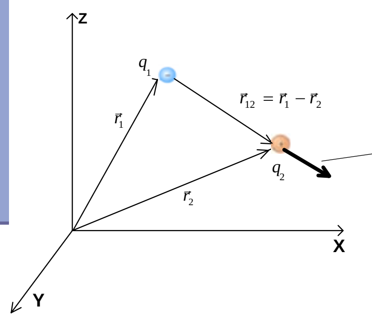
$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 * q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

Ley de Coulomb



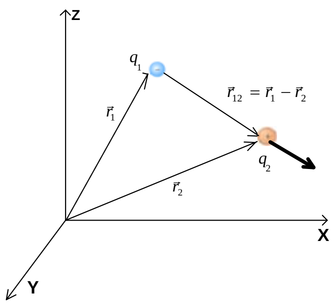
$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 * q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

Ley de Coulomb



$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 * q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

Ley de Coulomb



Escribiendo en forma vectorial

$$r_{12} = |\vec{r}_{12}| = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$$

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 * q_2}{r_{12}^{\ 3}} \vec{r}_{12}$$

Ley de Coulomb

- Principio de superposición

La fuerza resultante sobre cada partícula es la suma vectorial de cada fuerza individual ejercida por cada una de las demás partículas

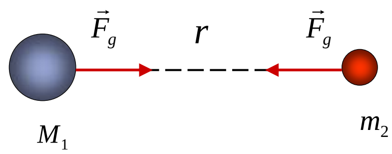
Ley de Coulomb

- Principio de superposición

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots\ldots.. + \vec{F}_n$$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$$

La ley de Coulomb y la ley de Gravitación Universal de Newton



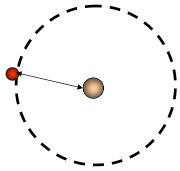
$$\vec{F}_g = -G \frac{M_1 * m_2}{r_{12}^{\ 3}} \vec{r}_{12}$$

Aplicaciones de la Ley de Coulomb

1 - Cálculo de radio del átomo de hidrogeno:

$e = 1{,}6 * 10^{-19}\, coul$ $\qquad F_e = 8{,}2 * 10^{-18}\, coul$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 * q_2}{r^2}$$



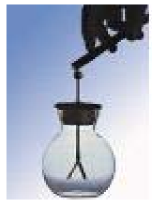
$$r = \sqrt{\frac{K q_1 q_2}{F_e}}$$

$$r = \sqrt{\frac{9*10^9 \frac{Nm^2}{Coul^2} * 1{,}60*10^{-19}\, coul * 1{,}60*10^{-19}\, coul}{8{,}2*10^{-18}\, N}}$$

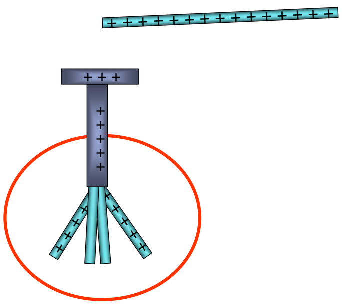
$r = 2{,}8 * 10^{-11}\, m$

Aplicaciones de la Ley de Coulomb

- 2 - El electroscopio



Aplicaciones de la Ley de Coulomb

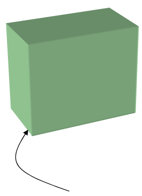


Distribuciones de Carga

¿puedo aplicar la Ley de Coulomb?

NO

, solo se la puede aplicar para cargas puntuales



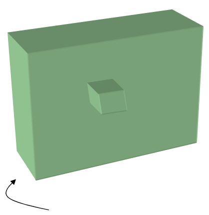
Carga puntual negativa q

Cuerpo con carga positiva Q

Distribuciones de Carga

- ***Distribución volumétrica de carga***

¿Cómo hacemos?



$$V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \dots + \Delta V_n$$

$$Q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + \dots + \Delta q_n$$

$$\Delta q_i \rightarrow \Delta F_i$$

Q $\qquad \Delta q$

$$\vec{F} \approx \sum_{i=1}^{n} \Delta F_i \vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

Si $\quad n \rightarrow \infty \Rightarrow \Delta V \rightarrow 0$

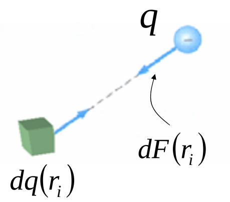
Definimos la densidad volumétrica de carga en el punto r_i como:

$$\rho(r_i) = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q_i(r_i)}{\Delta V} = \frac{dq(r_i)}{dV}$$

$$\rho(r_i) = \frac{dq(r_i)}{dV} \Rightarrow dq(r_i) = \rho(r_i) * dV$$

$$dq(r_i) \Rightarrow dF(r_i)$$

Distribuciones de Carga



Aplicamos ahora la Ley de Coulomb

$$d\vec{F}(r_i) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q * dq(r_i)}{r_i^2}\vec{r}_i$$

Si conocemos ρ será

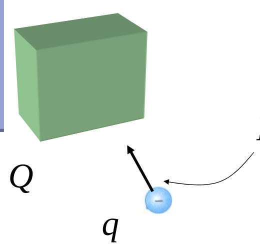
$$d\vec{F}(r_i) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\rho(r_i) * dV}{r_i^2}\vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

- ***Distribución volumétrica de carga***

Para obtener la fuerza eléctrica total integramos en todo el volumen del cuerpo

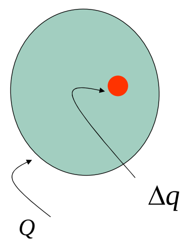
$$\vec{F}_T = \int_V d\vec{F}(r_i)$$



$$\vec{F}_T = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \frac{\rho(r_i)}{r_i^2} * dV\vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

- ***Distribución superficial de cargas***



$$\Delta S \rightarrow \Delta q$$

$$S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + ... + \Delta S_n$$

$$Q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + ... + \Delta q_n$$

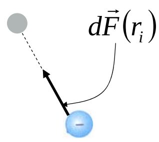
$$n \rightarrow \infty \Rightarrow \Delta S \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta q \rightarrow dq$$

Distribuciones de Carga

Definimos la densidad superficial de carga en el punto r_i como:

$$\sigma(r_i) = \lim_{\Delta S \to 0}\frac{\Delta q_i(r_i)}{\Delta S} = \frac{dq(r_i)}{dS}$$

$$\sigma(r_i) = \frac{dq(r_i)}{dS} \Rightarrow dq(r_i) = \sigma(r_i)dS$$



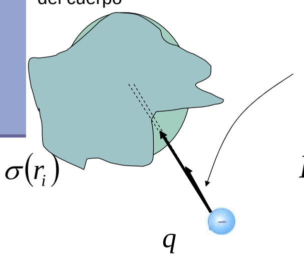
Si tenemos una carga puntual, aplicando la Ley de Coulomb, podemos calcular la fuerza como:

$$d\vec{F}(r_i) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q * dq(r_i)}{r_i^2}\vec{r}_i = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma(r_i)dS}{r_i^2}\vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

- ***Distribución superficial de cargas***

Para obtener la fuerza eléctrica total integramos en toda la superficie del cuerpo

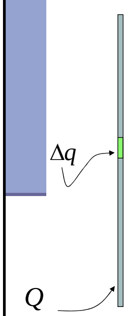


$$\vec{F}_T = \int_S d\vec{F}(r_i)$$

$$\vec{F}_T = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_S \frac{\sigma(r_i)}{r_i^2} * dS\vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

- ***Distribución lineal de cargas***



$$\Delta L \rightarrow \Delta q$$

$$L = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + ... + \Delta L_n$$

$$Q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + ... + \Delta q_n$$

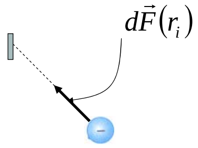
$$n \rightarrow \infty \Rightarrow \Delta L \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta q \rightarrow dq$$

Distribuciones de Carga

Definimos la densidad lineal de carga en el punto r_i como:

$$\lambda(r_i) = \lim_{\Delta L \to 0} \frac{\Delta q_i(r_i)}{\Delta L} = \frac{dq(r_i)}{dL}$$

$$\lambda(r_i) = \frac{dq(r_i)}{dL} \Rightarrow dq(r_i) = \lambda(r_i)dL$$



Si tenemos una carga puntual, aplicando la Ley de Coulomb, podemos calcular la fuerza como:

$$d\vec{F}(r_i) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q * dq(r_i)}{r_i^2}\vec{r}_i = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda(r_i)dL}{r_i^2}\vec{r}_i$$

Distribuciones de Carga

- ***Distribución lineal de cargas***

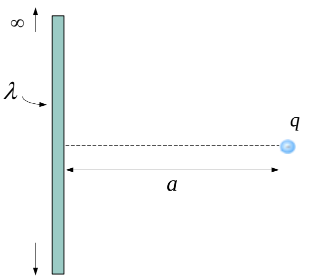
Para obtener la fuerza eléctrica total integramos en toda la longitud del cuerpo

$$\vec{F}_T = \int_L d\vec{F}(r_i)$$

$$\vec{F}_T = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_L \frac{\lambda(r_i)}{r_i^2} * dL\vec{r}_i$$

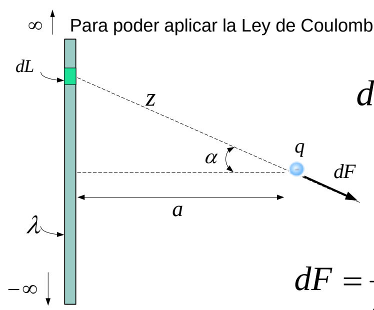
Distribuciones de Carga

- Ejemplo: calcular la fuerza ejercida por un varilla de longitud infinita cargada con una distribución lineal λ constante, sobre una carga puntual q situada en un punto P a una distancia a



Distribuciones de Carga

Para poder aplicar la Ley de Coulomb consideramos un dq

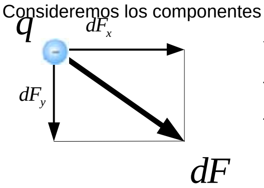


$$dq = \lambda dL$$

$$dF = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\vec{z}$$

Distribuciones de Carga

Consideremos los componentes cartesianos de la fuerza



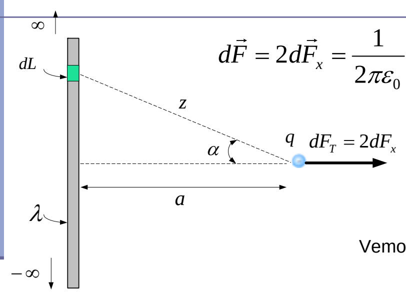
$$\vec{F}_T = \sum \vec{F}_{T_x} + \sum \vec{F}_{T_y}$$

$$\sum \vec{F}_{T_y} = \vec{F}_y - \vec{F}_y = 0$$

$$\sum \vec{F}_{T_x} = \vec{F}_x + \vec{F}_x = 2\vec{F}_x$$

$$d\vec{F} = 2d\vec{F}_x = 2 * \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha$$

Distribuciones de Carga



$$d\vec{F} = 2d\vec{F}_x = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha$$

$$\vec{F}_T = \int_L d\vec{F}$$

Vemos que $-\infty \leq L \leq \infty$

$$F_T = \int_L d\vec{F} = \int_{-\infty}^{\infty} 2d\vec{F}_x = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha$$

Distribuciones de Carga

$$\vec{F}_T = \int_L d\vec{F} = \int_{-\infty}^{\infty} 2d\vec{F}_x = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha$$

Teniendo en cuenta que: $dq = \lambda dL$

$$\vec{F}_T = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qdq}{z^2}\cos\alpha = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{q\lambda dL}{z^2}\cos\alpha = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dL}{z^2}\cos\alpha$$

$$tg\alpha = \frac{L}{a} \Rightarrow L = a * tg\alpha \Rightarrow dL = \frac{a}{\cos^2\alpha}d\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{a}{z} \Rightarrow z = \frac{a}{\cos\alpha} \Rightarrow z^2 = \frac{a^2}{\cos^2\alpha}$$

Distribuciones de Carga

Reemplazando las ecuaciones anteriores

$$\vec{F}_T = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dL}{z^2}\cos\alpha = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{a}{\cos^2\alpha}d\alpha\frac{\cos^2\alpha}{a^2}\cos\alpha =$$

$$\vec{F}_T = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{a}{\cos^2\alpha}d\alpha\frac{\cos^2\alpha}{a^2}\cos\alpha =$$

$$L \to \infty \Rightarrow \alpha \to \frac{\pi}{2} \qquad L \to -\infty \Rightarrow \alpha \to -\frac{\pi}{2}$$

$$\vec{F}_T = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\frac{a}{\cos^2\alpha}d\alpha\frac{\cos^2\alpha}{a^2}\cos\alpha = \frac{q\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos\alpha d\alpha$$

Distribuciones de Carga

$$\vec{F}_T = \frac{q\lambda}{2a\pi\varepsilon_0}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos\alpha d\alpha = \frac{q\lambda}{2a\pi\varepsilon_0}\left(sen\frac{\pi}{2} - sen\left(\frac{-\pi}{2}\right)\right) =$$

$$F_T = \frac{q\lambda}{2a\pi\varepsilon_0} * 2 = \frac{q\lambda}{a\pi\varepsilon_0}$$

$$F_T = \frac{q\lambda}{a\pi\varepsilon_0}$$