

Física II

Primera parte: Electricidad

Dr. Mario Enrique Álvarez Ramos(Responsable)

Dr. Roberto Pedro Duarte Zamorano

Dr. Ezequiel Rodríguez Jáuregui

Dr. Santos Jesús Castillo

Webpage: <http://paginas.fisica.uson.mx/qb>

©2017 Departamento de Física

Universidad de Sonora

Temario de Física II

A. Electricidad

1. Cargas eléctricas y la Ley de Coulomb. (3horas)
 1. Concepto de carga eléctrica.
 2. Carga eléctrica y la estructura de la materia.
 3. Cuantización y conservación de la carga.
 4. Conductores y aislantes.
 5. Redistribución de carga.
 6. Carga por inducción.
 7. Carga por contacto.
 8. Carga por frotamiento.
 9. La ley de Coulomb.
 10. Problemas de la ley de Coulomb.

Temario de Física II

2. Campo eléctrico y Ley de Gauss. (4 horas)

1. Concepto de campo eléctrico.
2. Calculo de la intensidad de campo eléctrico.
3. Líneas de campo eléctrico.
4. Dipolos eléctricos.
5. Carga y flujo eléctrico.
6. Ley de Gauss.
7. Aplicaciones de la ley de Gauss.

3. Potencial eléctrico. (3horas)

1. Energía Potencial eléctrica.
2. Energía Potencial eléctrica en un campo uniforme.
3. Energía Potencial eléctrica de cargas puntuales.
4. Potencial eléctrico.
5. Calculo del potencial eléctrico.
6. Superficies equipotenciales.
7. El electrón-volt.

Temario de Física II

4. Capacitancia. (3horas)

1. Limitaciones al cargar un capacitor.
2. El capacitor.
3. Calculo de la capacitancia.
4. Constante dieléctrica; permisividad.
5. Capacitores en serie y en paralelo.
6. Energía de un capacitor cargado.

5. Corriente eléctrica y Resistencia. (3horas)

1. El movimiento de la carga eléctrica.
2. La dirección de la corriente eléctrica.
3. Ley de Ohm; resistencia.

Tema 1: Cargas eléctricas y la Ley de Coulomb.

- i. Concepto de carga eléctrica.
- ii. Carga eléctrica y la estructura de la materia.
- iii. Cuantización y conservación de la carga.
- iv. Conductores y aislantes.
- v. Redistribución de carga.
- vi. Carga por inducción.
- vii. Carga por contacto.
- viii. Carga por frotamiento.
- ix. La ley de Coulomb.
- x. Problemas de la ley de Coulomb.

Objetivos: Después de terminar esta unidad deberá

1. Escribir y aplicar la ley de Coulomb y aplicarla a problemas que involucran fuerzas eléctricas
2. Resolver problemas de Fuerzas entre cargas eléctricas fijas

Concepto de carga eléctrica

Desde la antigua Grecia, los filósofos de la época ya conocían la existencia del ámbar y que al frotarlo este atraía trocitos de ámbar.

En 1820, Hans Christian Oersted encontró que al pasar una corriente eléctrica por un alambre este desviaba la aguja magnética de una brújula.

1831-1879 Se introducen los conceptos de carga eléctrica, fuerza electromagnética, campo, corriente, energía potencial electrostática, etc. James Clerk Maxwell puso las ideas de Faraday en lo que se conoce como las ecuaciones de Maxwell.

1950 se conoce ya la existencia de cuatro fuerzas de la naturaleza: la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil y la fuerza gravitacional.

1967 Glashow, Salam y Weinberg enuncian la teoría electro débil.

Concepto de carga eléctrica



Fuentes y tipos de carga eléctrica

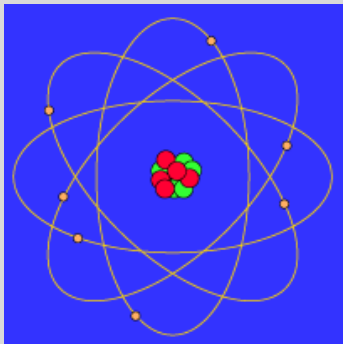
Existen dos tipos de carga eléctrica:

positiva

protones

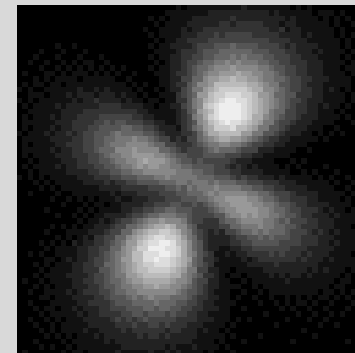
negativa

electrones



Modelo atómico de Bohr

<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/light/bohr.html>



Modelo de la mecánica cuántica

<http://www.physics.ucla.edu/~dauger/orbitals/>

Los materiales con carga positiva y negativa igual se llaman
eléctricamente neutros.

En la naturaleza los objetos son eléctricamente neutros

Concepto de carga eléctrica

Propiedades de la Carga Eléctrica

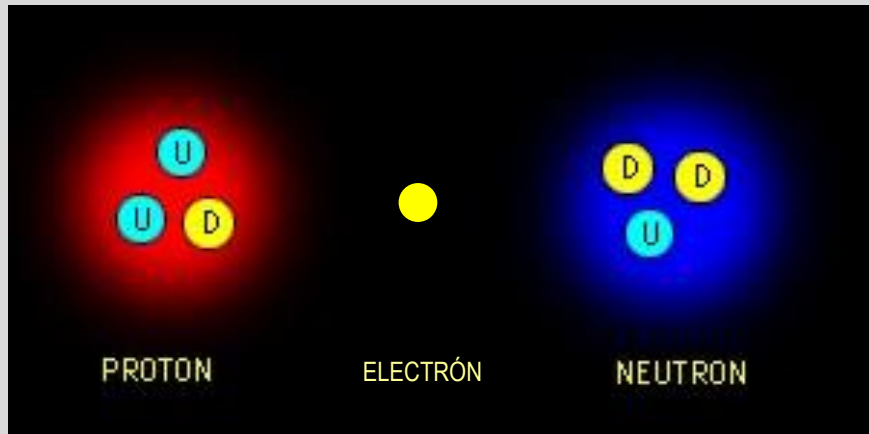
- La carga eléctrica se conserva.
- En un átomo neutro, las cargas positiva y negativa tienen la misma magnitud.
- La carga está cuantizada y su unidad fundamental es $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$
- En el sistema SI la unidad de carga es el Coulomb



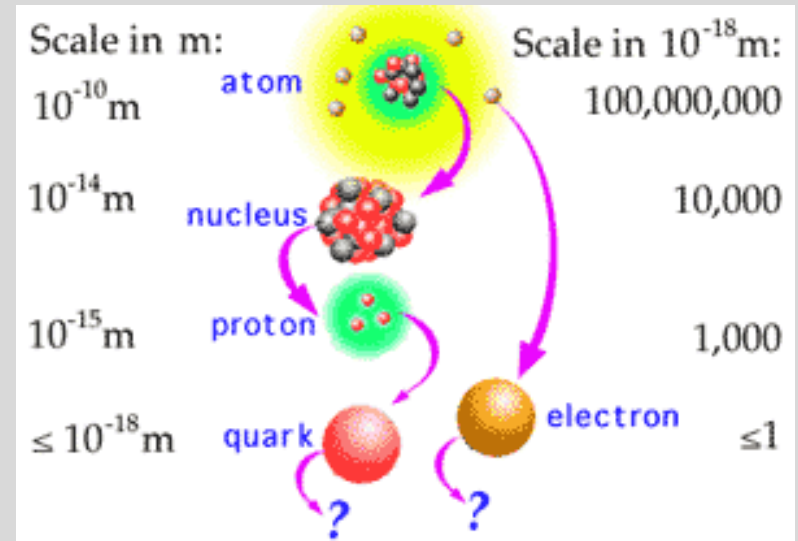
Carga eléctrica y la estructura de la materia

Constituyentes de la materia

Partícula	Masa (kg)	Carga (C)
electrón	9.1×10^{-31}	-1.6×10^{-19}
protón	1.67×10^{-27}	$+1.6 \times 10^{-19}$
neutrón	1.67×10^{-27}	0



$$q_U = \frac{2}{3}e \quad q_D = -\frac{1}{3}e$$

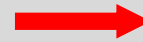


Carga eléctrica y la estructura de la materia

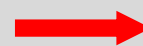
Constituyentes de la materia

Z = número electrones = número protones

A = número protones + neutrones



Elemento



Isótopo

- Un átomo tiene el mismo número de electrones que de protones → es **neutro**

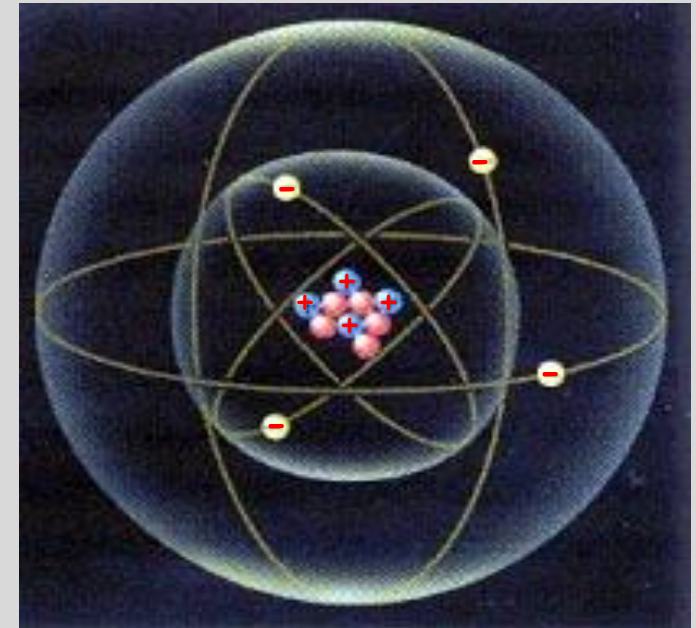
$$Q = Z \cdot q_p - Z \cdot q_e = 0$$

- Ión positivo : le faltan electrones

$$Q = +n_e \cdot q_e$$

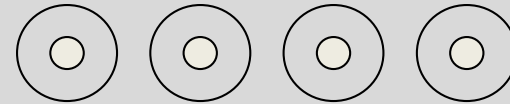
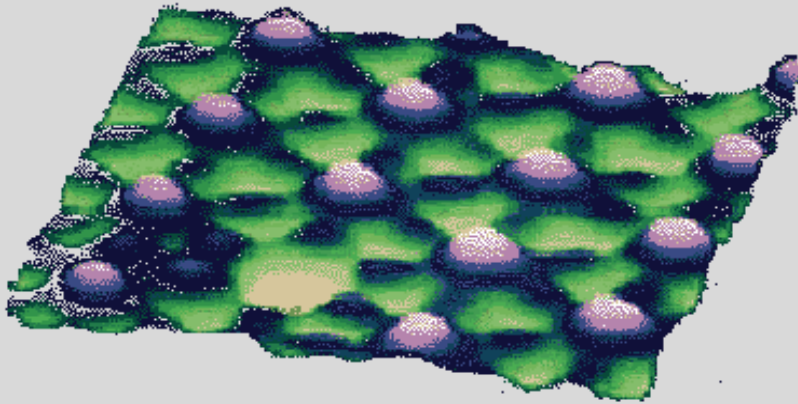
- Ión negativo: tiene electrones añadidos

$$Q = -n_e \cdot q_e$$



Carga eléctrica y la estructura de la materia

Átomos y Materiales



Elementos diferentes tienen diferentes tipos de ligaduras – diferentes fuerzas.

Cuantización y conservación de la carga eléctrica

Cuantización de la carga eléctrica

Existe una carga fundamental: la del electrón, cuyo valor es $e=1.6021892 \times 10^{-19} \text{C}$.

“La carga de un cuerpo siempre se puede expresar como un múltiplo entero de la carga fundamental”, es decir

$$Q = Ne$$

Unidades de carga

- Se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica
- El coulomb (que se selecciona para usar con corrientes eléctricas) en realidad es una unidad muy grande para electricidad estática. Por ende, con frecuencia es necesario usar los prefijos métricos.

$$1 \text{ mC} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$1 \text{ pC} = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$$

Cuantización y conservación de la carga eléctrica

Conservación de la carga eléctrica

La carga ni se crea ni se destruye sólo se transfiere

- **entre átomos**
- **entre moléculas**
- **entre cuerpos**

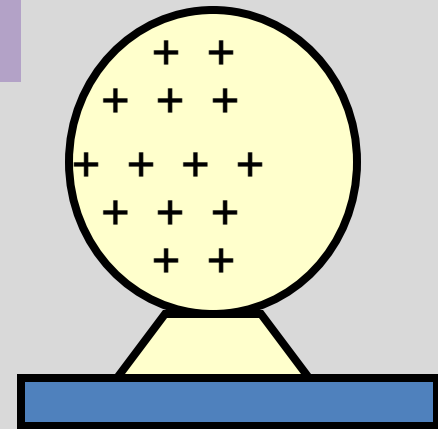
“La suma de todas las cargas de un sistema cerrado es constante”

Ejemplo 1. Si 16 millones de electrones se remueven de una esfera neutral, ¿cuál es la carga en coulombs sobre la esfera?

1 electrón: $e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$q = (16 \times 10^6 e^-) \left(\frac{-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{1 e^-} \right)$$

$$q = -2.56 \times 10^{-12} \text{ C}$$



Dado que se remueven electrones, la carga que permanece sobre la esfera será positiva.

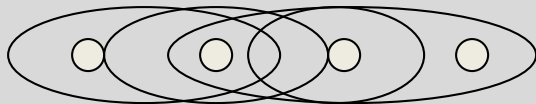
Carga final sobre la esfera:

$$q = +2.56 \text{ pC}$$

Conductores y aislantes

Dependiendo de los mecanismos de transporte de cargas, los materiales se clasifican en tres categorías: Conductores, Aislantes (o no conductores) y Semiconductores

Conductores



Los electrones son libres de moverse en el material

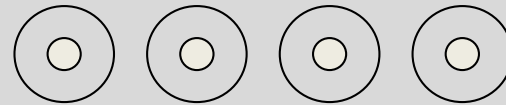
Ejemplos de conductores son los metales, ya que en ellos los electrones tienen libertad de movimiento al encontrarse débilmente ligados al núcleo.

Conductores y aislantes

Dependiendo de los mecanismos de transporte de cargas, los materiales se clasifican en tres categorías: Conductores, Aislantes (o no conductores) y Semiconductores

Ejemplos de no conductores o aislantes son, por ejemplo, la madera, el plástico, el vidrio, etc.

Aislantes



Los electrones están ligados a los átomos por lo que no se mueven (no conducen).

Conductores y aislantes

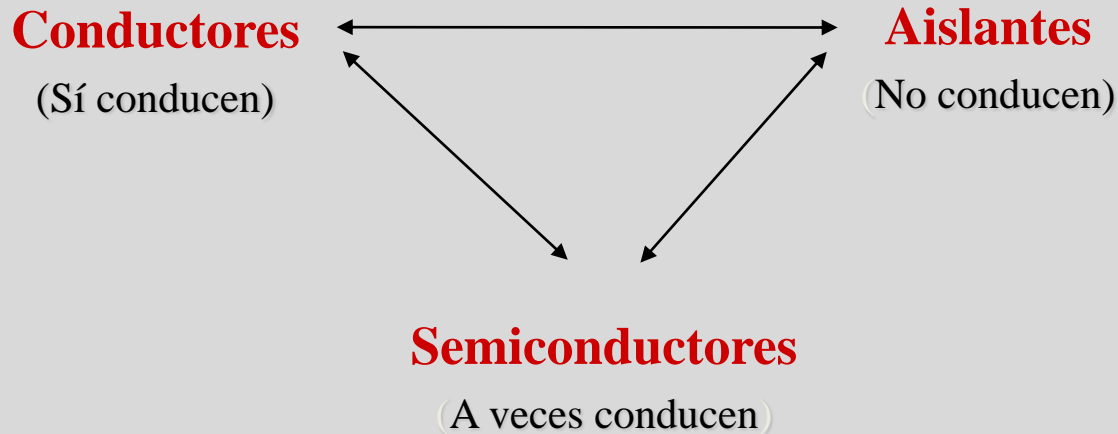
Dependiendo de los mecanismos de transporte de cargas, los materiales se clasifican en tres categorías: Conductores, Aislantes (o no conductores) y Semiconductores

Semiconductores

Los semiconductores son un tipo especial de materiales debido a que presentan la característica de que se pueden comportar como conductores o como aislantes, dependiendo de las condiciones en que se utilicen.

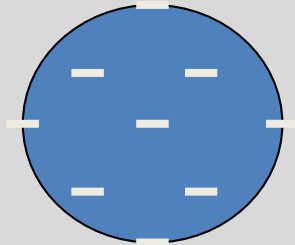
Conductores y aislantes

Dependiendo de los mecanismos de transporte de cargas, los materiales se clasifican en tres categorías: Conductores, Aislantes (o no conductores) y Semiconductores

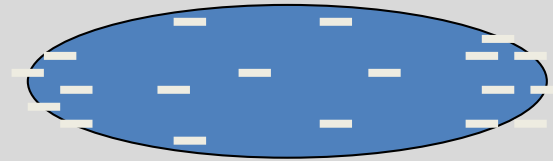


Redistribución de la carga

En los conductores la carga se distribuirá alrededor de la superficie hasta que se logra el equilibrio. Lo anterior, implica que la carga solo reside en la superficie, no dentro.

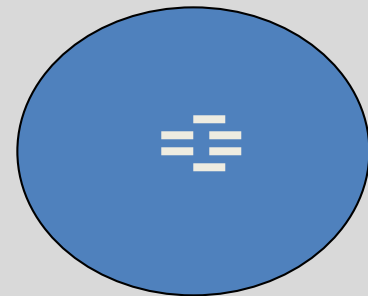


En objetos simétricos, la carga se distribuye uniformemente



En objetos no simétricos, la carga se acumula en las puntas afiladas

En cambio, en los materiales aislantes la carga no se mueve, es decir, permanece localizada alrededor de la región de contacto.



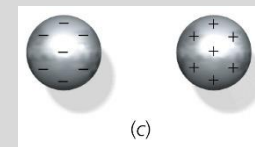
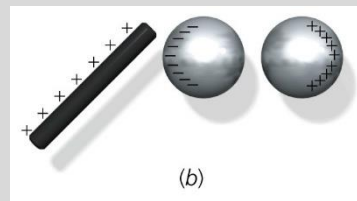
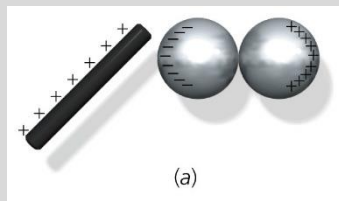
Carga por inducción

¿Cómo cargamos eléctricamente un objeto?

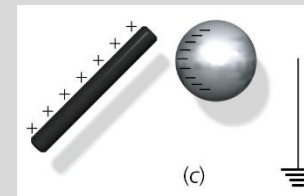
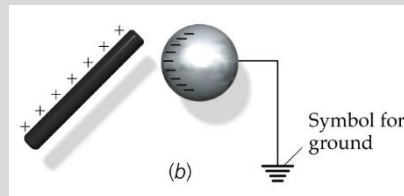
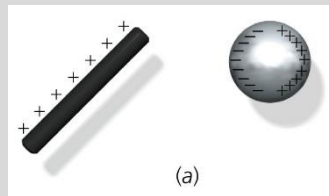
Por inducción – En este caso se induce una carga sin tocar.

Este proceso aplica (principalmente) para materiales conductores

1. Cargando por inducción (dos conductores aislados)



2. Cargando por inducción (1 conductor a tierra)



Este mecanismo se fundamenta en que en los materiales conductores es factible que la carga se mueva físicamente de un lugar a otro.

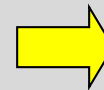
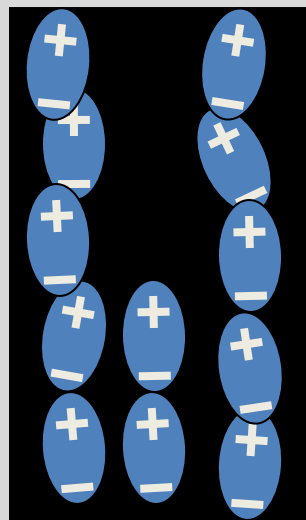
Carga por inducción

¿Cómo cargamos eléctricamente un objeto?

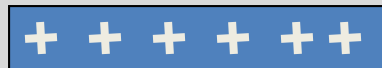
Por inducción – En este caso se induce una carga sin tocar.

Un proceso similar aplica para materiales aislantes

3. Cargando por inducción a un no conductor.



Al principio los átomos libres están orientados al azar en el “bulto” del material



Al acercar un objeto cargado, las cargas atómicas se alinean, consiguiendo un efecto de carga sobre las superficies.

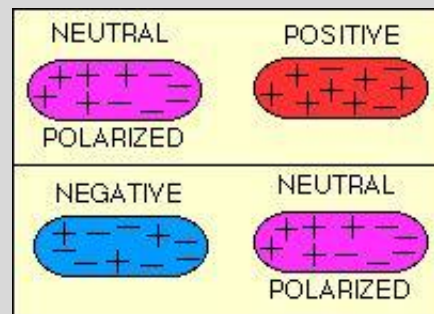
Carga por inducción

¿Cómo cargamos eléctricamente un objeto?

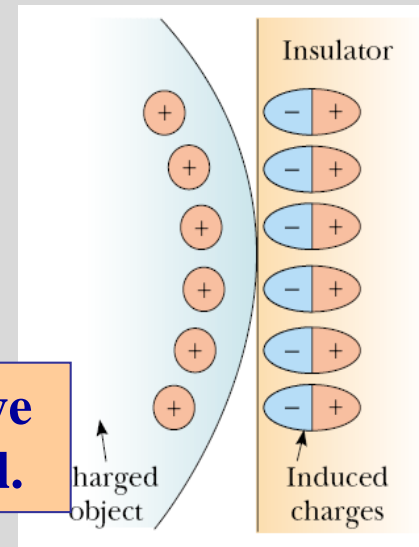
Por inducción – En este caso se induce una carga sin tocar.

Un proceso similar aplica para materiales aislantes

3. Cargando por inducción a un no conductor.



La carga se redistribuye
polarizando al material.

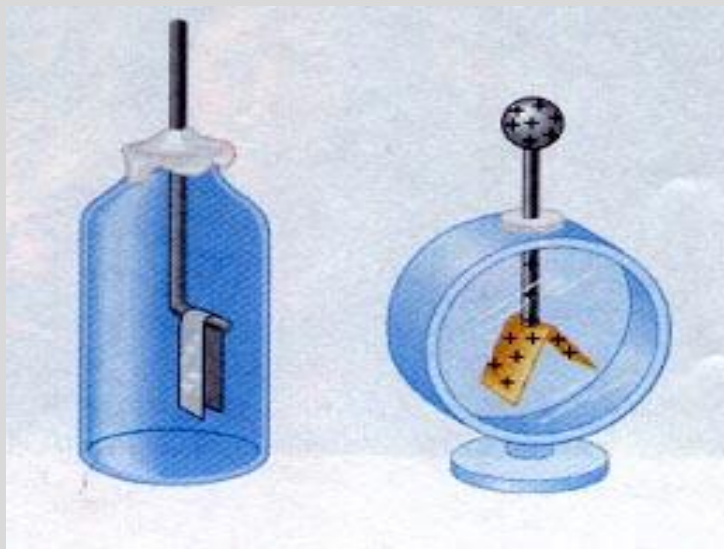


En este caso no hay movimiento de cargas de un lugar a otro, sino sólo un reacomodo alrededor de la posición de equilibrio, lográndose una carga efectiva en las capas superficiales del aislante, lo que se conoce como polarización.

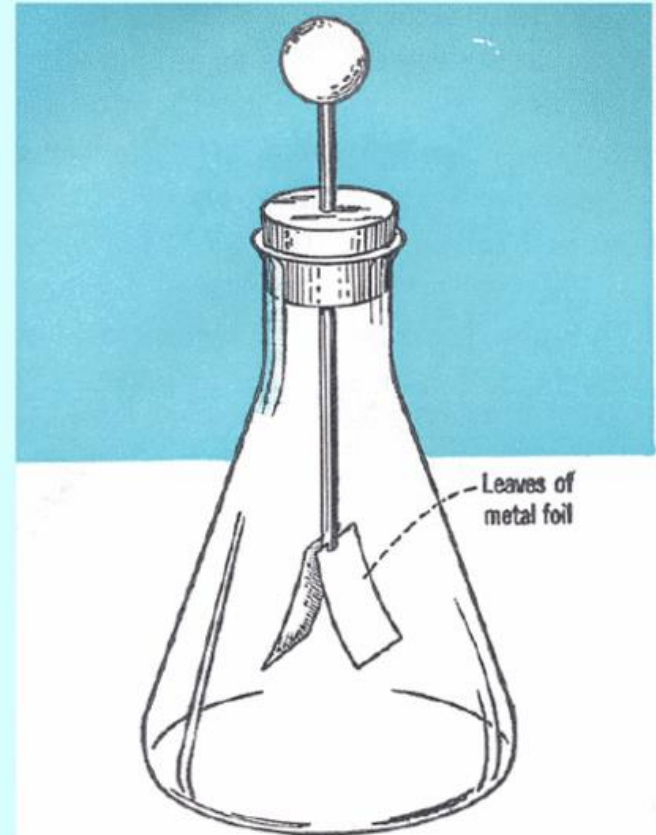
Carga por inducción

El electroscopio es un dispositivo empleado para detectar la existencia de carga eléctrica en un cuerpo.

Al acercarse un cuerpo cargado, por inducción, las láminas adquieren carga y se separan.

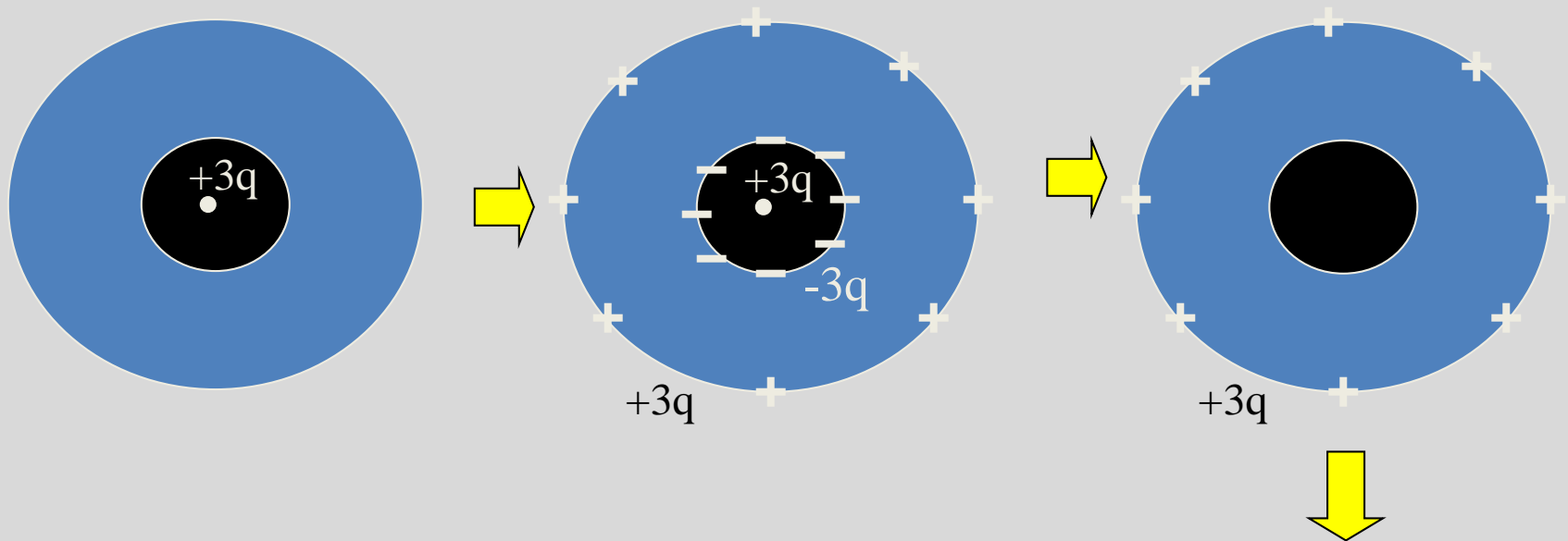


The Electroscope Detects Electric Charge



Carga por inducción

Un ejemplo: Cascarón esférico hueco con una carga puntual en el centro del mismo.



- › Fuera del conductor, la carga neta es $+3q$
- › La esfera es equivalente a una carga puntual
- › La carga positiva no se mueve, la carga negativa es la que se mueve.

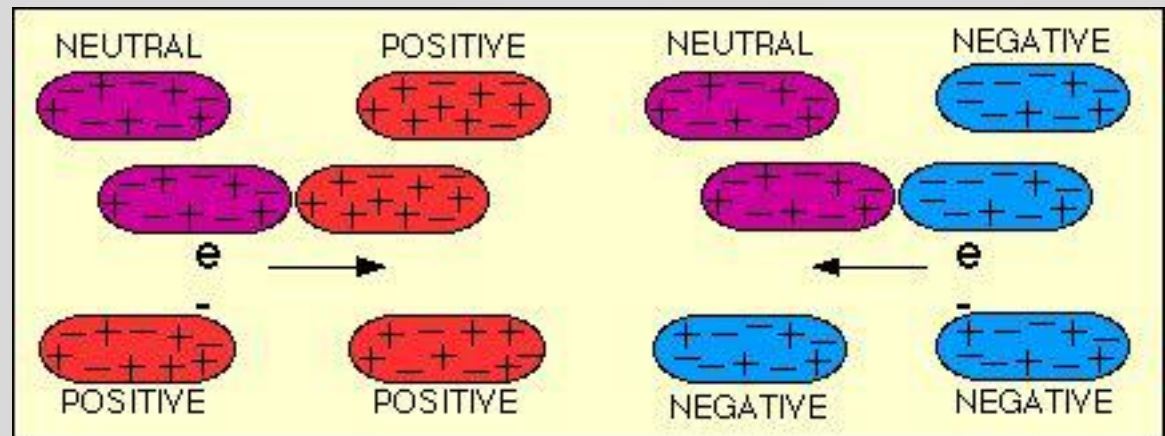
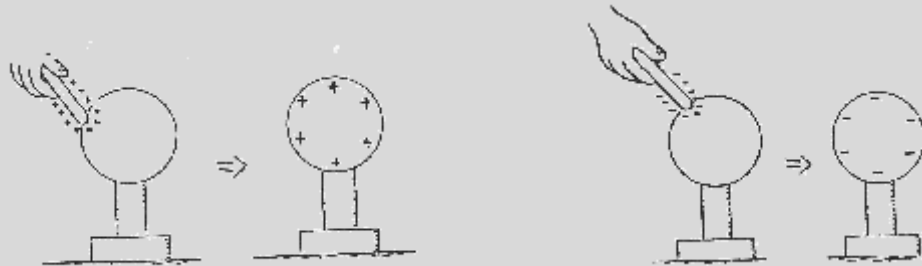
$+3q$

Carga por contacto

¿Cómo cargamos eléctricamente un objeto?

Por contacto – En este caso se transfiere carga de un cuerpo a otro.

En todo momento, la suma algebraica de carga antes y después DEBE ser la misma, como consecuencia de la conservación de carga.

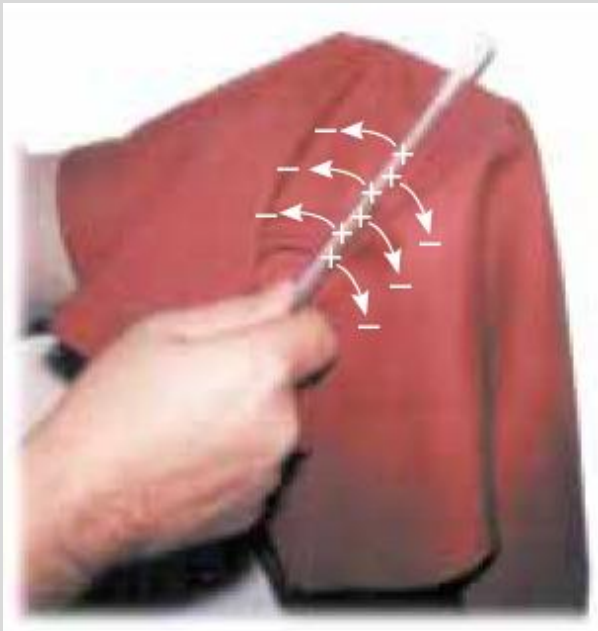


En este caso hay transferencia de carga de un objeto cargado a uno inicialmente neutro, obteniendo al final dos cuerpos cargados con el mismo tipo de carga, ya que el exceso de carga se distribuye en ambos cuerpos.

Carga por frotamiento

¿Cómo cargamos eléctricamente un objeto?

Por frotamiento – En este caso se transfiere carga entre dos cuerpos inicialmente neutros, pero que terminan cargados.



La conservación de la carga nos permite escribir, antes

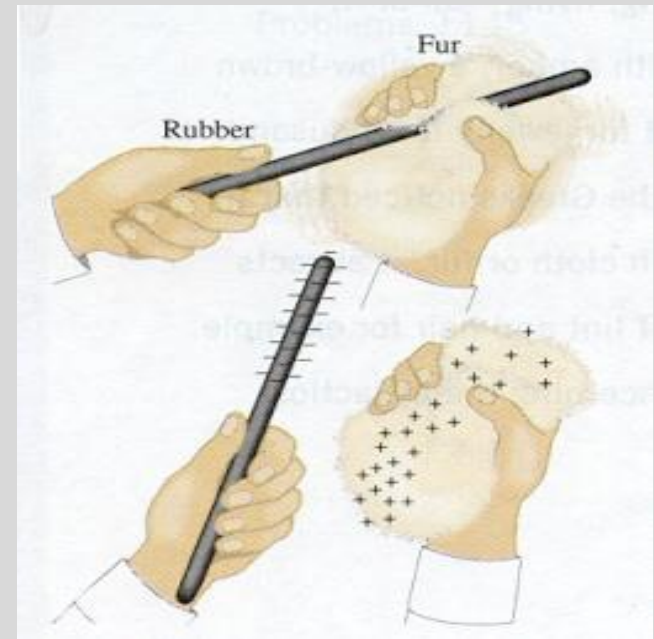
$$Q_i = Q_{1i} + Q_{2i} = 0$$

y después

$$Q_f = Q_{1f} + Q_{2f} = 0$$

De donde

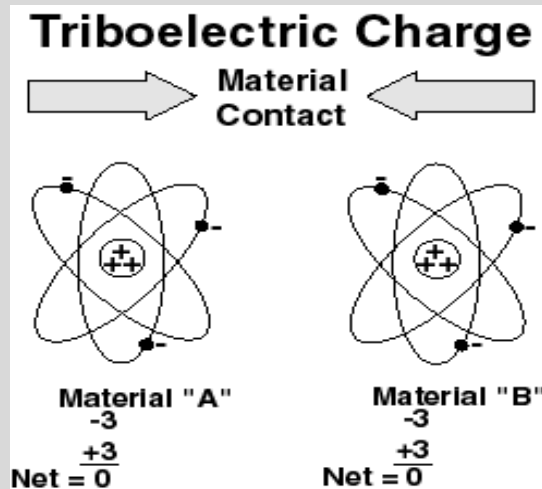
$$Q_{1f} = -Q_{2f}$$



Como en este caso hay transferencia de carga entre dos cuerpos inicialmente neutros (la carga total es cero), al final los cuerpos terminan cargados con la misma cantidad de carga, pero de signos opuestos.

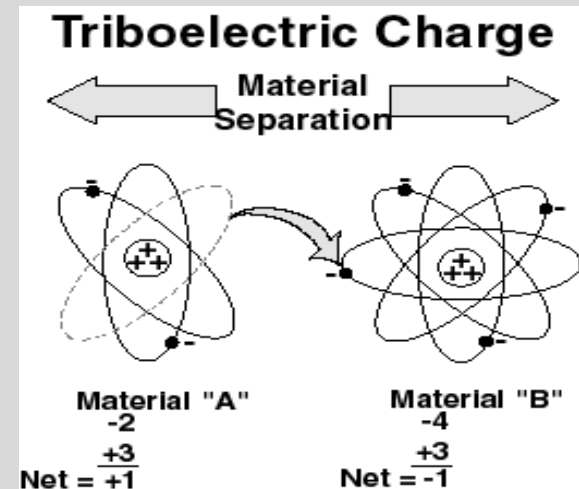
Carga por frotamiento

Un mecanismo similar al frotamiento es el conocido como triboeléctrico, en el cual los cuerpos entran en contacto, se presionan y finalmente se separan de nuevo.



De nuevo, aquí la conservación de la carga nos permite establecer que

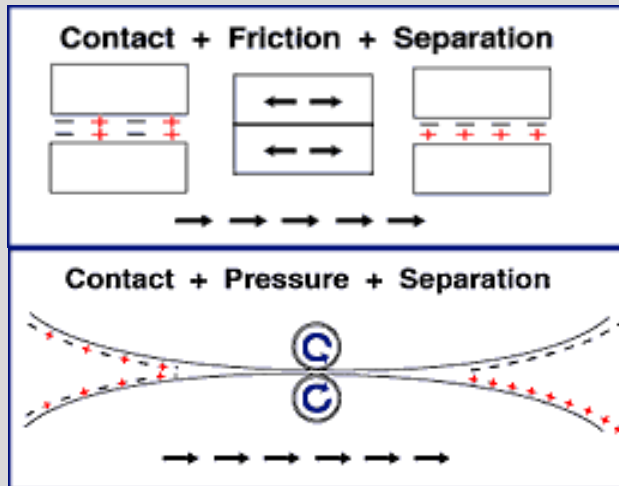
$$Q_{Af} = -Q_{Bf}$$



Como en este caso hay transferencia de carga entre dos cuerpos inicialmente neutros (la carga total es cero), al final los cuerpos terminan cargados con la misma cantidad de carga, pero de signos opuestos.

Carga por frotamiento

A continuación se presentan algunos valores típicos de carga obtenida por el mecanismo triboeléctrico, muy común en nuestra vida diaria.

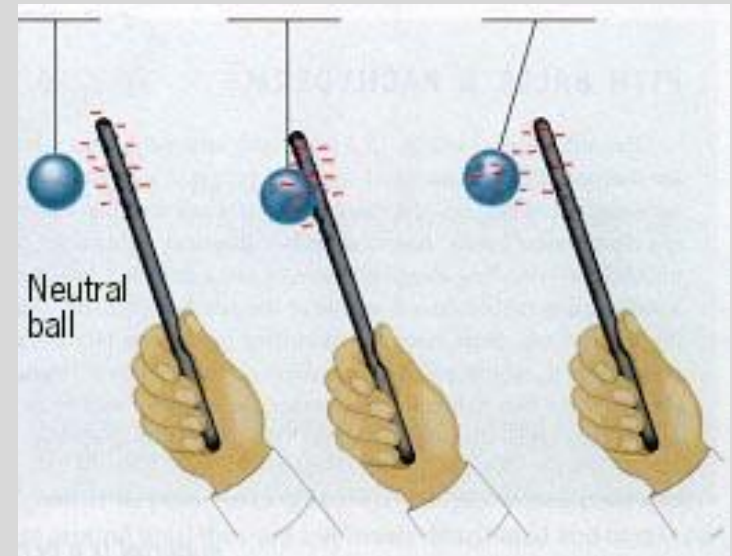
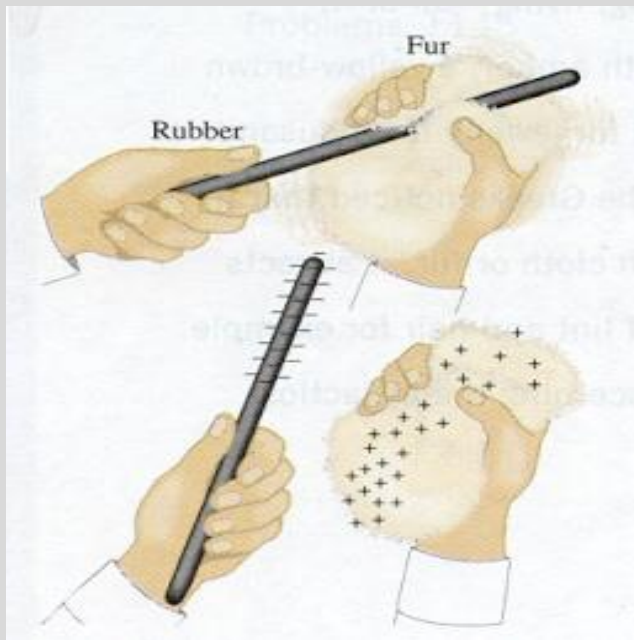


Medios de generación estática triboeléctrica	Voltajes electrostáticos típicos	
	10%-20% humedad	65%-90% humedad
Caminar sobre un tapete.	35,000V	1,500V
Caminar sobre un piso vinílico.	12,000V	250V
Una persona sentada en un banco.	6,000V	100V
Bolsas de polietileno tomadas de un escritorio.	20,000V	1,200V
Sentarse en una silla con espuma de poliuretano	18,000V	1,500V

**Para más información puede consultar la dirección en Internet:
<http://esda.org/esdbasics1.htm>**

Interacción entre cargas

Para cargar una varilla se debe frotar con un material adecuado, para transferir cargas entre ellos. Sin embargo, para saber si está cargado es necesario que interactúe con otro cuerpo y ver el efecto de dicha interacción.



En la figura se muestra una bola, inicialmente neutra, al ser tocada se carga por contacto e inmediatamente hay una repulsión entre los cuerpos. Lo anterior permite establecer que **"cargas de igual signo se repelen"**, de manera similar se puede mostrar que **"cargas de signos opuestos se atraen"**.

Electrostática

La electrostática se encarga del estudio de las cargas eléctricas en reposo y de las distribuciones de carga estáticas, las fuerzas que se ejercen entre ellas y su comportamiento en los materiales.

Las fuerzas eléctricas provienen de las partículas que componen los átomos, esto es: los protones (con carga positiva), los electrones (con carga negativa) y los neutrones (con carga neutra, por lo que no atrae ni rechaza a los electrones ó a los protones).

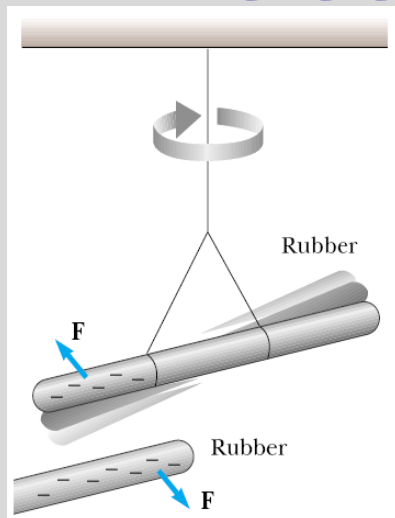
La carga es una propiedad fundamental de la materia responsable de la existencia de las interacciones electromagnéticas, cuya unidad en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el Coulomb (C).

Electrostática

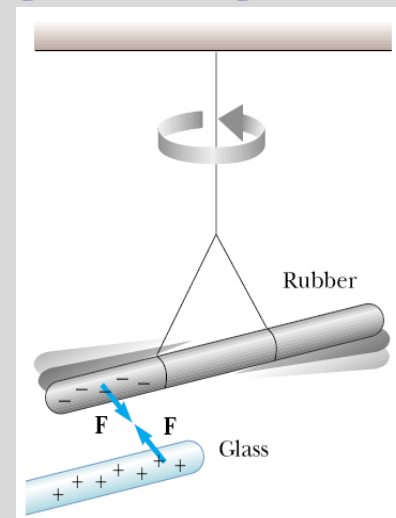
La existencia de las cargas eléctricas permite que exista el comportamiento de atracción y repulsión. En este punto, vale la pena mencionar que en el caso de la fuerza gravitacional, solamente se presenta el fenómeno de atracción, en ese caso, entre las masas.

La regla fundamental y básica que subyace a todo fenómeno eléctrico nos dice:

"LAS CARGAS ELÉCTRICAS DE IGUAL SIGNO SE REPELEN"



"LAS CARGAS DE SIGNOS OPUESTOS SE ATRAEN"

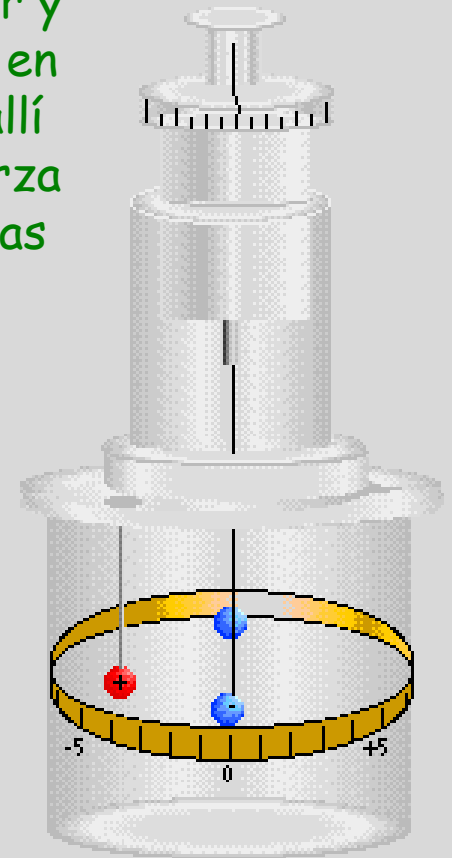
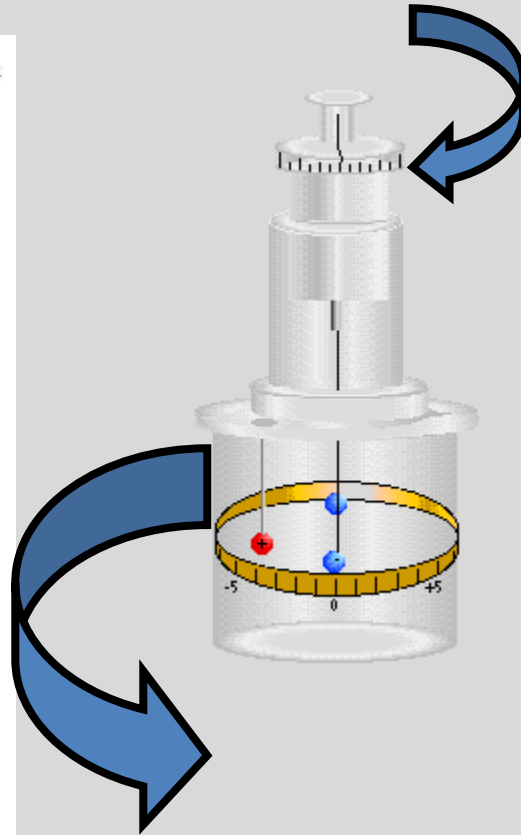
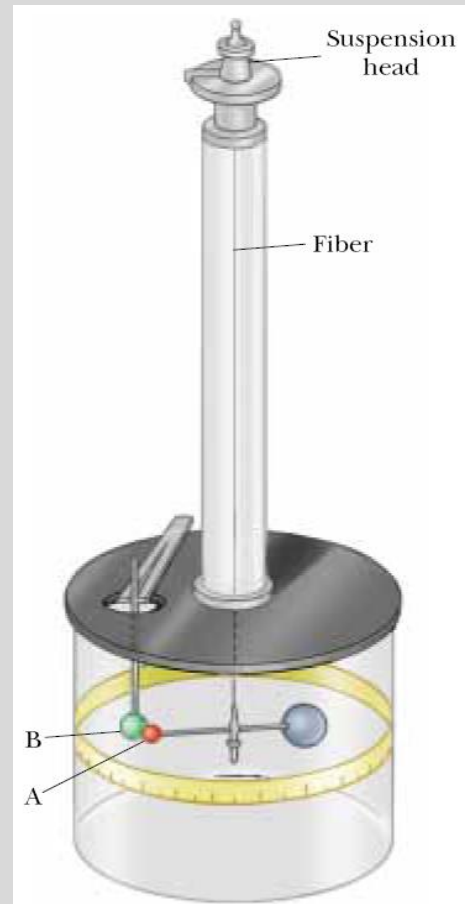


Ley de Coulomb

El Experimento: Balanza de Torsión de Coulomb

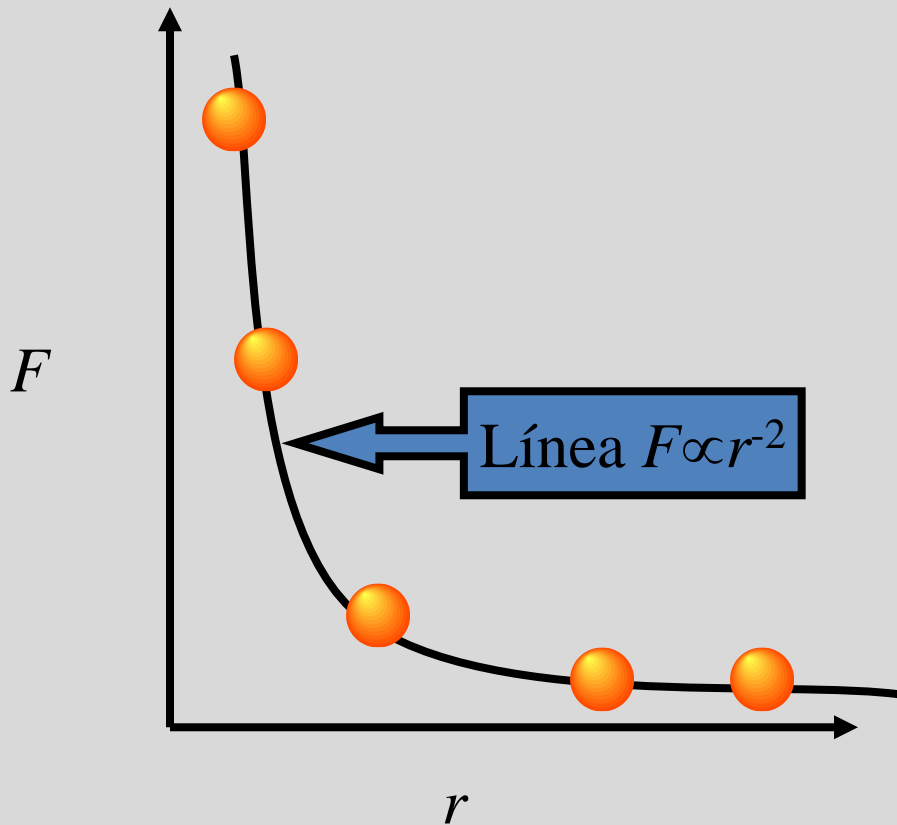
Esta escala
permite ajustar y
medir la torca en
la fibra y de allí
calcular la fuerza
entre las cargas

Esta escala permite leer la
separación entre las cargas



Ley de Coulomb

Resultados del Experimento de Coulomb



La fuerza (F) varía inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia (r) que los separa y es directamente proporcional al producto de las cargas.

Ley de Coulomb

Conclusiones del Experimento de Coulomb

A partir del experimento de Coulomb se puede concluir que la fuerza ejercida por una carga puntual sobre otra

- está dirigida a lo largo de la línea que las une;
- es repulsiva si las cargas tienen el mismo signo y atractiva si tienen signos opuestos;
- varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa las cargas; y
- es proporcional al valor de cada una de ellas.

Ley de Coulomb

Enunciado de la Ley de Coulomb



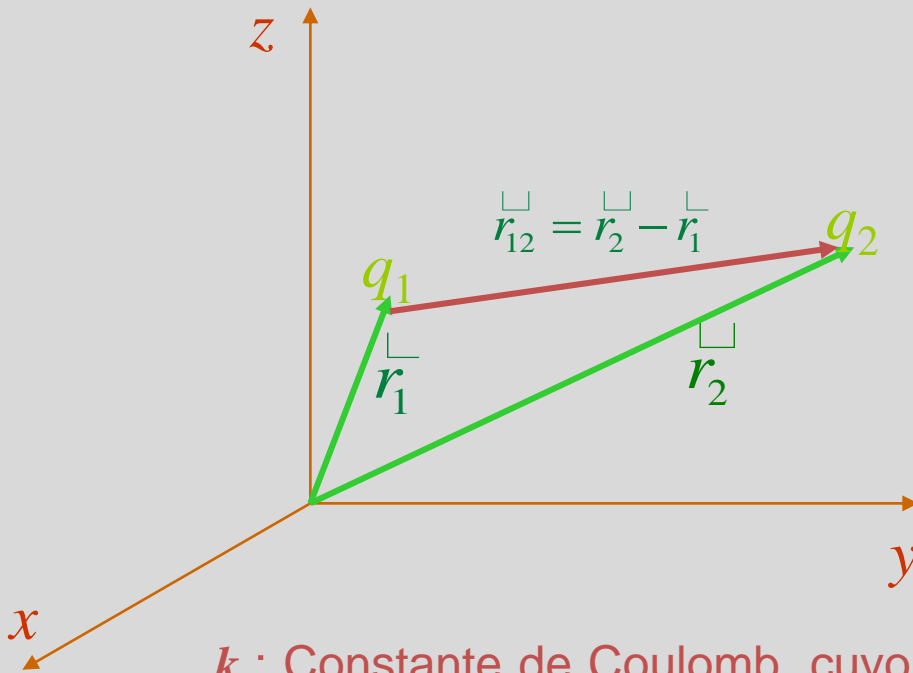
**Charles-Augustin de Coulomb
(1736-1806).**

Físico e ingeniero militar francés

“La fuerza existente entre dos cargas puntuales está dirigida a lo largo de la línea que las une, es proporcional al producto de ellas y varía inversamente con el cuadrado de la separación entre ellas, siendo de carácter repulsivo si las cargas tienen el mismo signo y atractivo si tienen signos opuestos”

Ley de Coulomb

Expresión vectorial de la Ley de Coulomb



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

k_e : Constante de Coulomb, cuyo valor depende del sistema de unidades y del medio en el que trabajemos.

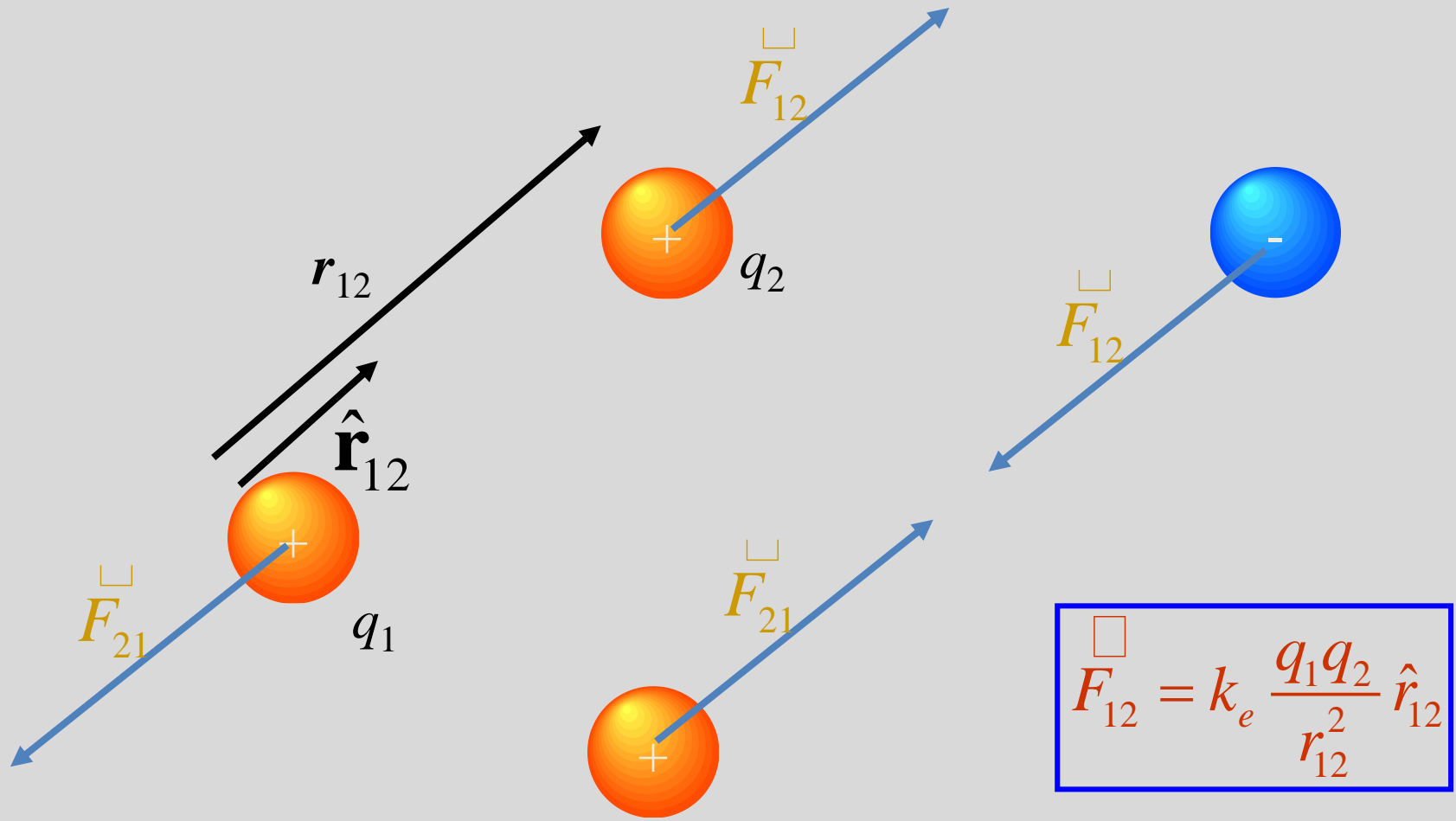
En el vacío

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{S.I.} & \Rightarrow k_e = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \\ \text{C.G.S.} & \Rightarrow k_e = 1 \text{ dina} \cdot \text{cm}^2 / \text{uee}^2 \end{array} \right.$$

uee: unidad electrostática
 $1 \text{ C} = 3 \cdot 10^9 \text{ uee}$

Ley de Coulomb

Expresión vectorial de la Ley de Coulomb



Ley de Coulomb

Constantes auxiliares

Permitividad del Vacío (ϵ_0): Se define de forma que

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

donde

$$\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

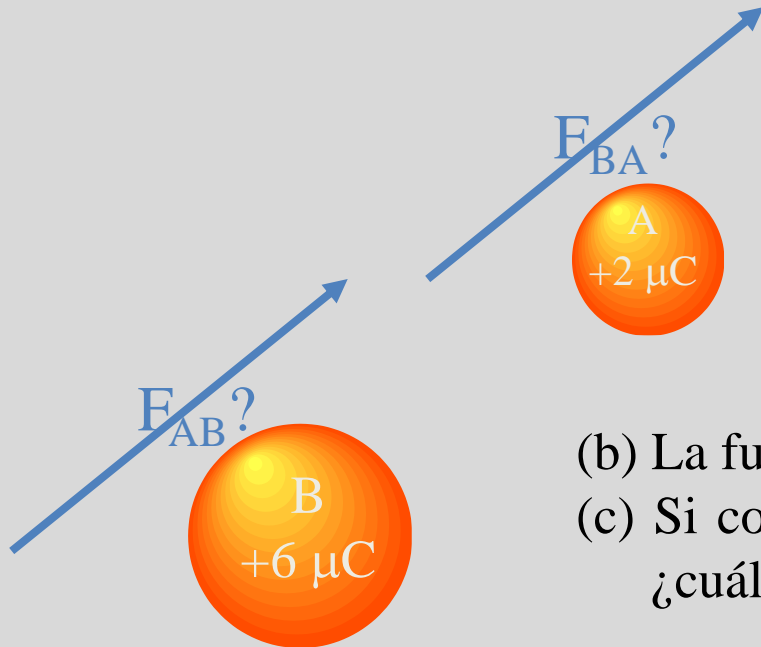
Si el medio en el que se encuentran las cargas es distinto al vacío, se comprueba que la fuerza eléctrica es κ veces menor, de esta forma se define la **Permitividad del Medio** como $\epsilon = \kappa\epsilon_0$. Siendo κ la Constante Dieléctrica del Medio Así,

$$k_e' = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

Ley de Coulomb. Un ejercicio rápido

El objeto A tiene una carga $+2 \mu\text{C}$ y el objeto B tiene una carga de $+6 \mu\text{C}$.

(a) ¿Cuál relación entre F_{AB} y F_{BA} es correcta?



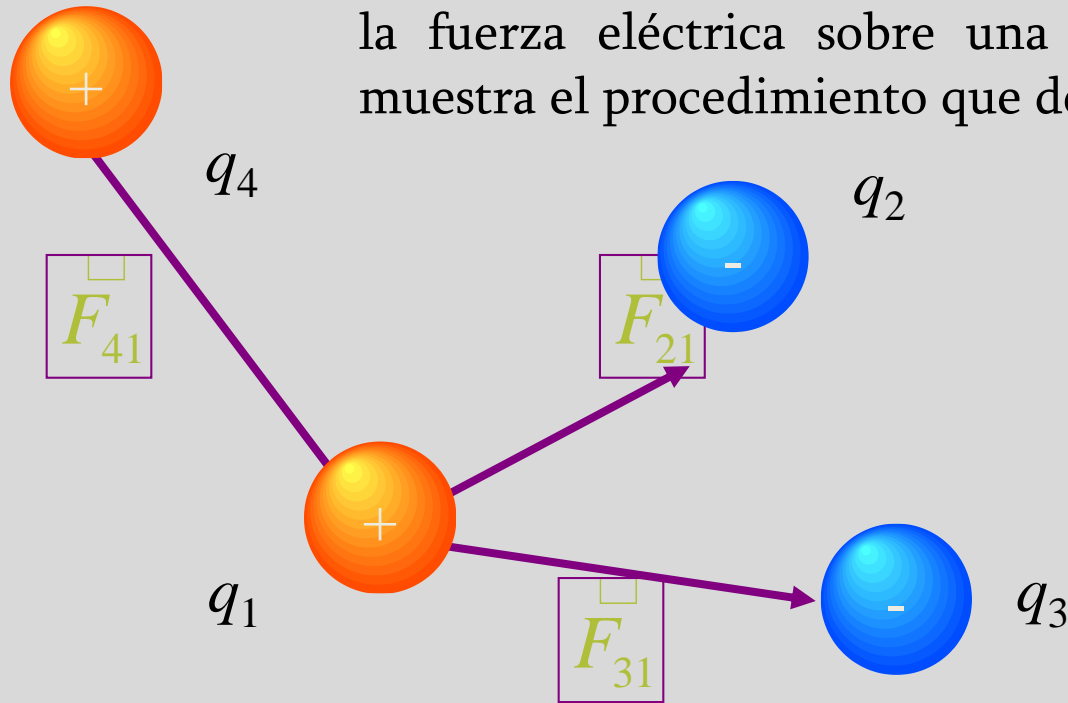
- **A:** $F_{AB} = -3F_{BA}$
- **B:** $F_{AB} = -F_{BA}$
- **C:** $3F_{AB} = -F_{BA}$
- **D:** $F_{AB} = 12F_{BA}$

(b) La fuerza, ¿Es repulsiva o atractiva?

(c) Si consideras que la separación es de 75cm, ¿cuál es la magnitud de F_{AB} ?

Ley de Coulomb. Sistemas de cargas

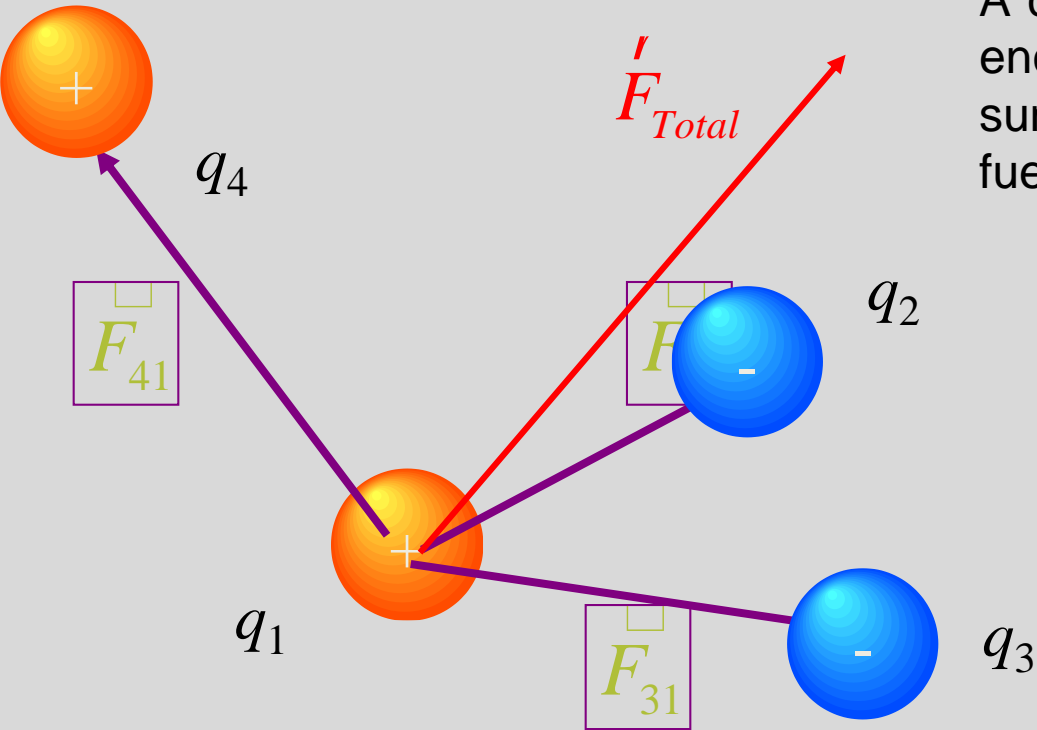
Consideremos un arreglo de varias cargas: ¿cómo calculamos la fuerza eléctrica sobre una de ellas? A continuación se muestra el procedimiento que debemos seguir.



Principio de superposición

Primero calculamos las fuerzas eléctricas producidas por todas las cargas sobre la carga de interés, en este caso q_1 .

Ley de Coulomb. Sistemas de cargas



A continuación, y con la finalidad de encontrar la fuerza total sobre q_1 , sumamos vectorialmente todas las fuerzas calculadas previamente.

Principio de superposición

Ley de Coulomb. Sistemas de cargas

El procedimiento recién desarrollado se conoce como **Principio de superposición de fuerzas** y establece que “la fuerza neta ejercida sobre una carga q_0 es la suma vectorial de las fuerzas individuales ejercidas sobre dicha carga por cada una de las cargas del sistema”.

Matemáticamente, se puede escribir como

$$\vec{F}_{Total} = \sum_i \vec{F}_i = \sum_i k \frac{q_i q_0}{r_i^3} \vec{r}_i$$

Cargas discretas

$$\vec{F}_{Total} = \int d\vec{F} = \int k \frac{q_i q_0}{r^3} \vec{r} dq$$

Distribución continua de carga

Ley de Coulomb vs. Ley de Newton.

$$\square F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

- atractiva o repulsiva
- $1/r^2$
- muy intensa
- solamente en escalas relativamente locales

$$\square F_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

- siempre atractiva
- $1/r^2$
- muy débil
- importante en escalas muy grandes

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \gg -Gm^2$$

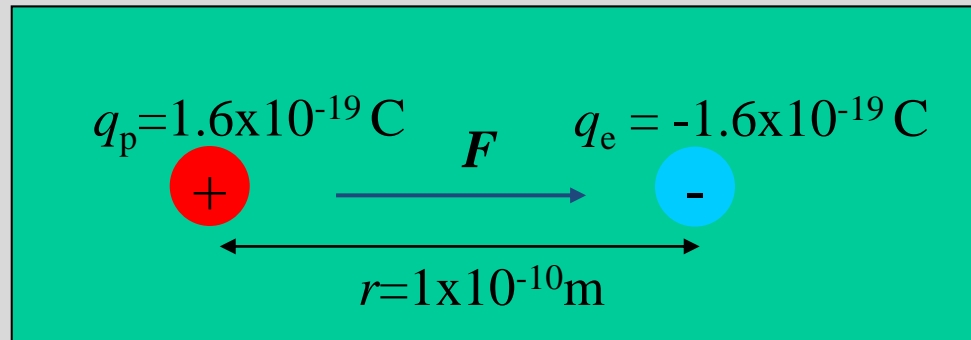
En ambas leyes, se puede considerar a los objetos involucrados (cargas o masas) como puntuales, separados una distancia r .

Estrategias para resolución de problemas

1. Lea, dibuje y etiquete un bosquejo que muestre toda la información dada en unidades SI apropiadas.
2. No confunda el signo de la carga con el signo de las fuerzas. Atracción/repulsión determina la dirección (o signo) de la fuerza.
3. La fuerza resultante se encuentra al considerar la fuerza debida a cada carga independientemente. Revise el módulo acerca de *vectores*, de ser necesario.
4. Para fuerzas en equilibrio: $\Sigma F_x = 0 = \Sigma F_y = 0$.

Ley de Coulomb. Ejercicios

Ejemplo 1: Consideremos un átomo de Hidrógeno. ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza entre el núcleo (formado por un protón) y el electrón que lo orbita? Considere el siguiente esquema.



De acuerdo a la Ley de Coulomb, la magnitud de la fuerza está dada por

$$F = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) / (10^{-10} \text{ m})^2$$

$$F = 2.3 \times 10^{-8} \text{ N}$$

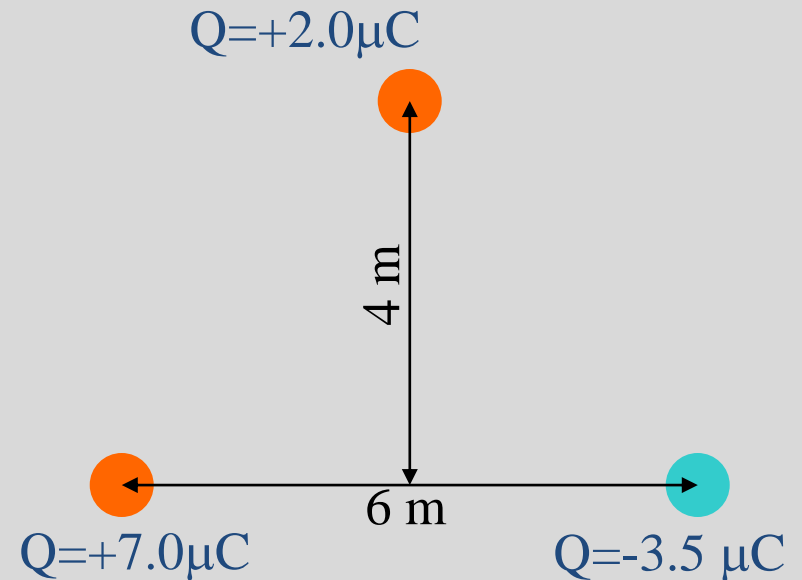
De igual manera, acorde a la Ley de Coulomb, la dirección de la fuerza es a la derecha, tal como se muestra.

Ley de Coulomb. Ejercicios

Ejemplo 2 Tres cargas puntuales se localizan en un plano, tal como se muestra en la figura anexa. Acorde a los datos presentados en el esquema, ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza sobre la carga de $+2\mu\text{C}$?

El procedimiento que debemos seguir es el siguiente:

1. Calcular la fuerza producida por la carga de $+7\mu\text{C}$ sobre la carga de $+2\mu\text{C}$.
2. Calcular la fuerza producida por la carga $-3.5\mu\text{C}$ sobre la carga de $+2\mu\text{C}$.
3. Sumar vectorialmente ambas fuerzas para encontrar la fuerza resultante.



Ley de Coulomb. Ejercicios

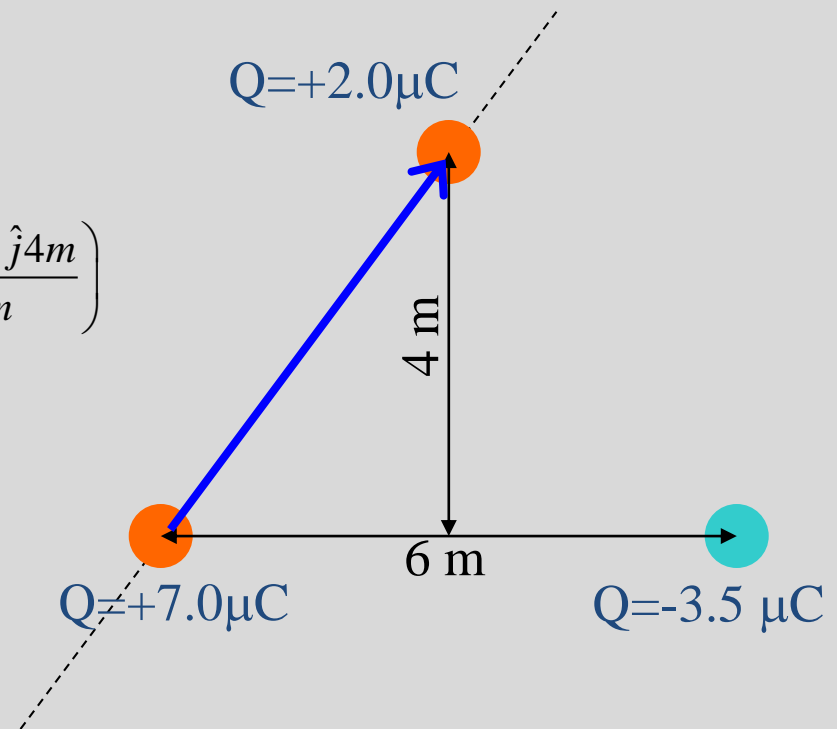
Ejemplo 2 (cont) Tres cargas puntuales se localizan en un plano, tal como se muestra en la figura anexa. Acorde a los datos presentados en el esquema, ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza sobre la carga de $+2\mu\text{C}$?

La fuerza F_1 debido a la carga de $+7\mu\text{C}$, está dada por

$$\vec{F}_1 = (9 \times 10^9 \text{ N/m}^2\text{C}^2) \frac{(7 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(5 \text{ m})^2} \left(\frac{\hat{i}3\text{m} + \hat{j}4\text{m}}{5\text{m}} \right)$$

es decir

$$\vec{F}_1 = (5.04 \times 10^{-3} \text{ N})(0.6\hat{i} + 0.8\hat{j})$$



Ley de Coulomb. Ejercicios

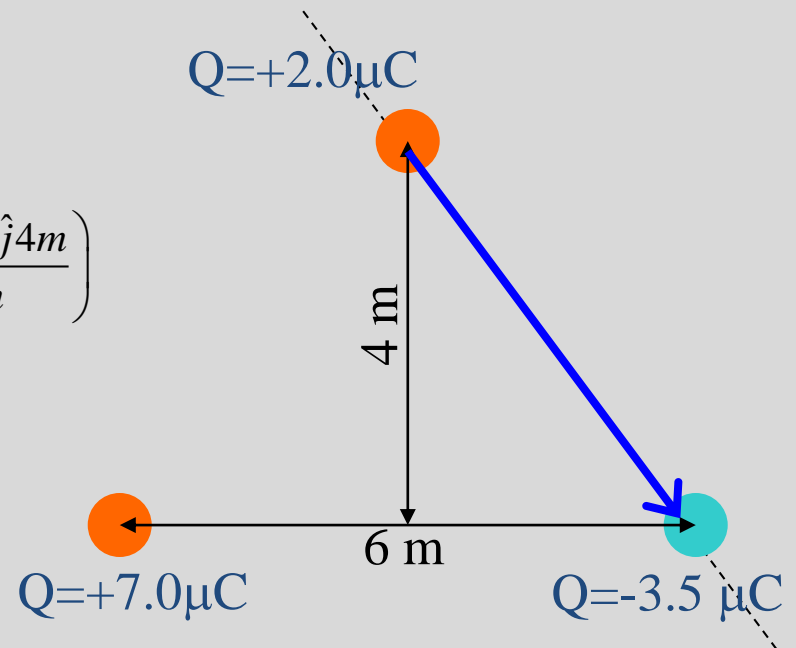
Ejemplo 2 cont. Tres cargas puntuales se localizan en un plano, tal como se muestra en la figura anexa. Acorde a los datos presentados en el esquema, ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza sobre la carga de $+2\text{mC}$?

De manera similar, la fuerza F_2 debido a la carga de $-3.5\mu\text{C}$, está dada por

$$\vec{F}_2 = (9 \times 10^9 \text{ N/m}^2\text{C}^2) \frac{(7 \times 10^{-6} \text{ C})(3.5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(5\text{m})^2} \left(\frac{\hat{i}3\text{m} - \hat{j}4\text{m}}{5\text{m}} \right)$$

es decir

$$\vec{F}_2 = (2.52 \times 10^{-3} \text{ N})(0.6\hat{i} - 0.8\hat{j})$$



Ley de Coulomb. Ejercicios

Ejemplo 2 cont. Tres cargas puntuales se localizan en un plano, tal como se muestra en la figura anexa. Acorde a los datos presentados en el esquema, ¿Cuál es la magnitud y dirección de la fuerza sobre la carga de $+2\text{mC}$?

Por lo que la fuerza total es la suma vectorial de ambas fuerzas, a saber

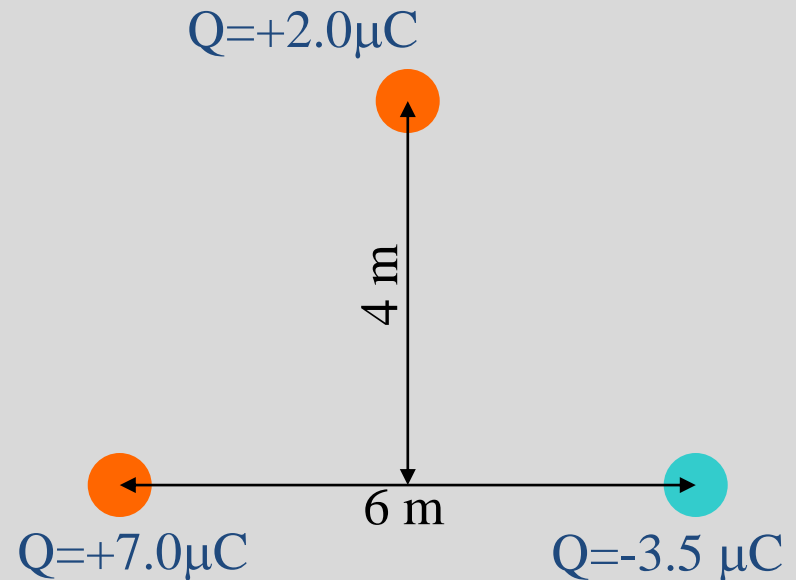
$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

es decir

$$\begin{aligned}\vec{F}_T &= (5.04 \times 10^{-3} \text{ N})(0.6\hat{i} + 0.8\hat{j}) \\ &+ (2.52 \times 10^{-3} \text{ N})(0.6\hat{i} - 0.8\hat{j})\end{aligned}$$

de donde

$$\vec{F}_T = (4.536\hat{i} + 2.016\hat{j}) \times 10^{-3} \text{ N}$$



Ley de Coulomb. Ejercicios

Ejemplo 3 Tres cargas puntuales se localizan en los vértices de un triángulo equilátero, como se muestra en la figura. Calcule la fuerza eléctrica resultante sobre la carga de 7.00mC.

La magnitud de la fuerza F_{21} debido a la carga de $+2.00\mu\text{C}$, está dada por

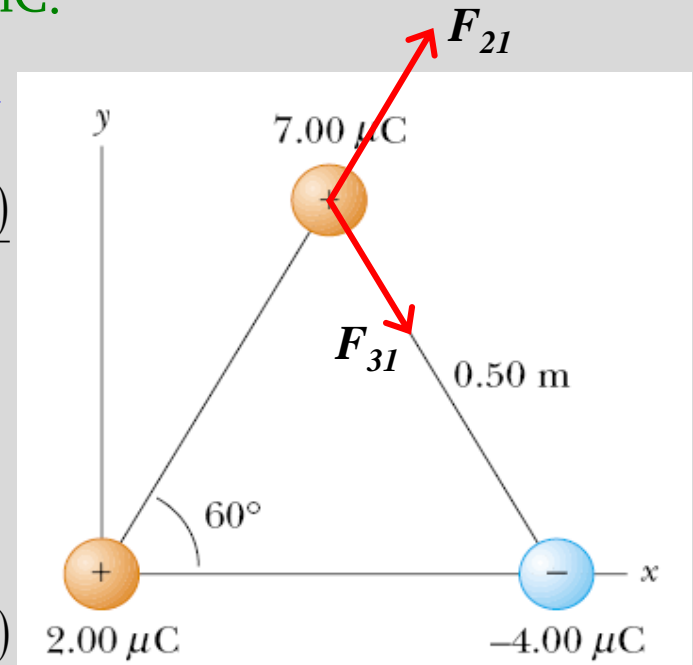
$$F_{21} = k_e \frac{q_2 q_1}{r_{21}^2} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(7.00 \times 10^{-6} \text{ C})(2.00 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.500 \text{ m})^2}$$

$$F_{21} = 0.504 \text{ N}$$

mientras que la magnitud de la fuerza F_{31} debido a la carga de $-4.00\mu\text{C}$, está dada por

$$F_{31} = k_e \frac{q_3 q_1}{r_{31}^2} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(7.00 \times 10^{-6} \text{ C})(4.00 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.500 \text{ m})^2}$$

$$F_{31} = 1.008 \text{ N}$$



Ley de Coulomb. Ejercicios

Ejemplo 3 cont. Tres cargas puntuales se localizan en los vértices de un triángulo equilátero, como se muestra en la figura. Calcule la fuerza eléctrica resultante sobre la carga de 7.00mC.

Finalmente, realizamos la suma de componentes

$$F_x = 0.504N \cos 60.0^\circ + 1.008N \cos 60.0^\circ = 0.756N$$

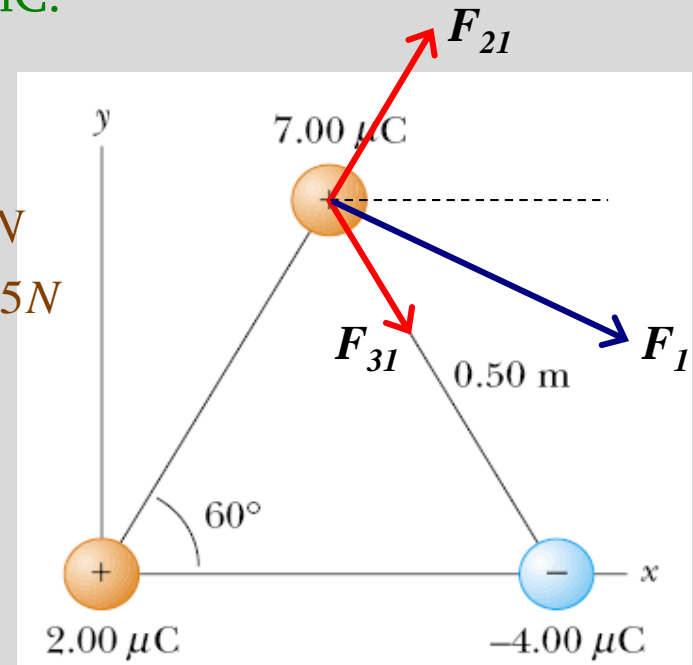
$$F_y = 0.504N \sin 60.0^\circ - 1.008N \sin 60.0^\circ = -0.4365N$$

con lo que la fuerza eléctrica resultante sobre la carga es

$$\vec{F}_1 = (0.756\hat{i} - 0.4365\hat{j})N$$

cuya magnitud y ángulo resultan ser

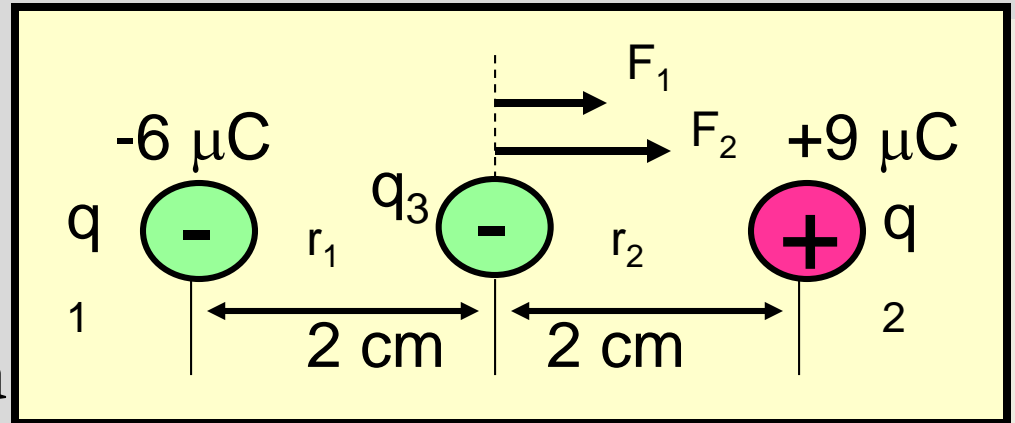
$$\|\vec{F}_1\| = 0.87297N \quad \text{a } -30.00^\circ \text{ ó } 330.00^\circ.$$



Ejemplo 4. Una carga de -6 mC se coloca a 4 cm de una carga de $+9 \text{ mC}$. ¿Cuál es la fuerza resultante sobre una carga de -5 mC que se ubica a medio camino entre las primeras cargas?

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

1. Dibuje y etiquete.
2. Dibuje fuerzas.
3. Encuentre resultante; derecha es positivo.



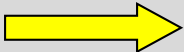

$$F_1 = \frac{kq_1q_3}{r_1^2} = \frac{(9 \times 10^9)(6 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(0.02 \text{ m})^2};$$

$$F_1 = 675 \text{ N}$$

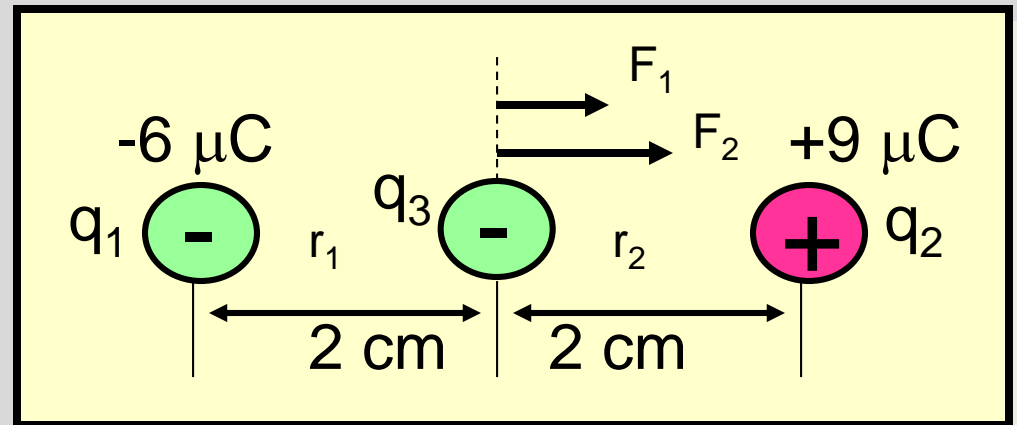
$$F_2 = \frac{kq_2q_3}{r_2^2} = \frac{(9 \times 10^9)(9 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(0.02 \text{ m})^2};$$

$$F_2 = 1013 \text{ N}$$

Ejemplo 4. (Cont.) Note que la dirección (signo) de las fuerzas se encuentra de atracción-repulsión, no de + o - de la carga.

$$F_1 = 675 \text{ N}$$
$$F_2 = 1013 \text{ N}$$

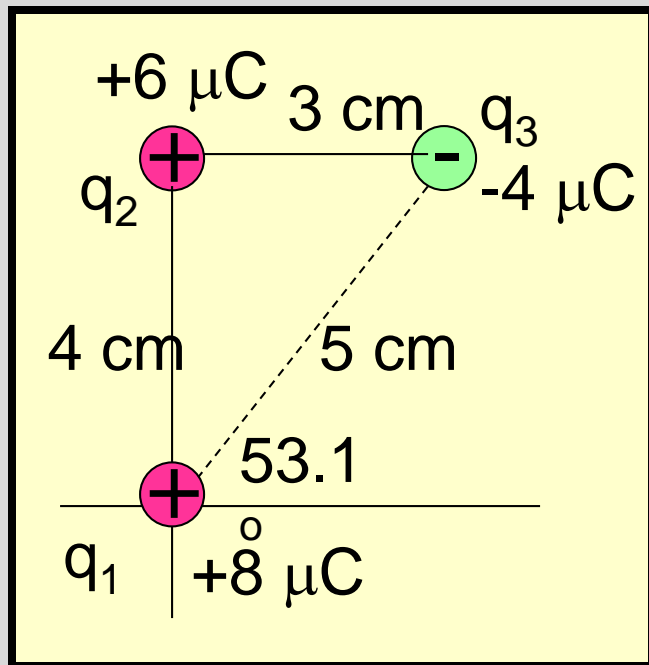


La fuerza resultante es la suma de cada fuerza independiente:

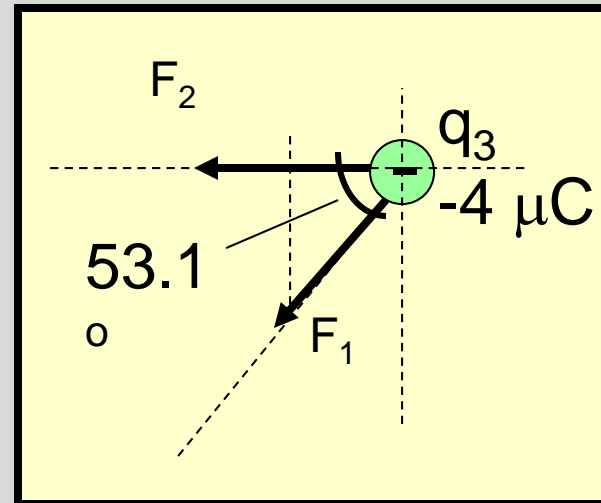
$$F_R = F_1 + F_2 = 675 \text{ N} + 1013 \text{ N};$$

$$F_R = +1690 \text{ N}$$

Ejemplo 5. Tres cargas, $q_1 = +8 \mu\text{C}$, $q_2 = +6 \mu\text{C}$ y $q_3 = -4 \mu\text{C}$ se ordenan como se muestra abajo. Encuentre la fuerza resultante sobre la carga de $-4 \mu\text{C}$ debida a las otras.



Dibuje diagrama de cuerpo libre.



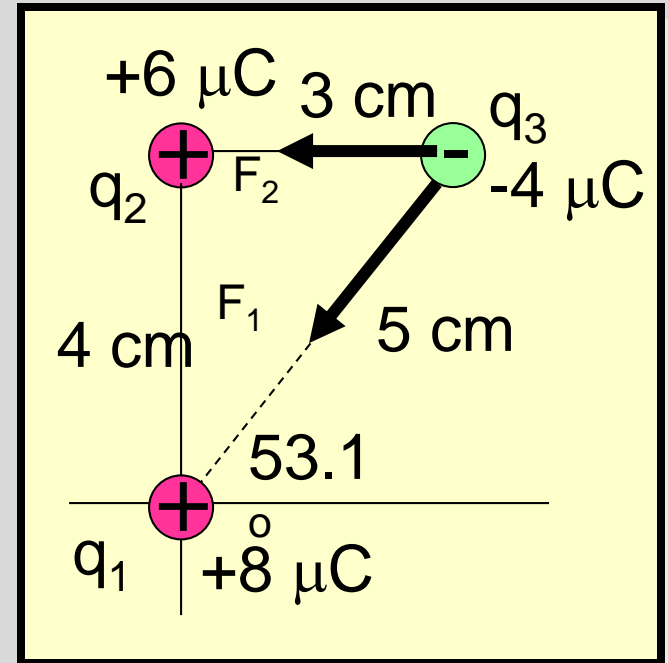
Note que las direcciones de las fuerzas F_1 y F_2 sobre q_3 se basan en atracción/repulsión de q_1 y q_2 .

Ejemplo 5 (Cont.) A continuación encuentre las fuerzas F_1 y F_2 a partir de la ley de Coulomb. Tome los datos de la figura y use unidades SI.

$$F_1 = \frac{kq_1q_3}{r_1^2}; \quad F_2 = \frac{kq_2q_3}{r_2^2}$$

$$F_1 = \frac{(9 \times 10^9)(8 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.05 \text{ m})^2}$$

$$F_2 = \frac{(9 \times 10^9)(6 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.03 \text{ m})^2}$$



Por tanto, se necesita encontrar la resultante de dos fuerzas:

$$F_1 = 115 \text{ N}, 53.1^\circ \text{ S del O}$$

$$F_2 = 240 \text{ N}, \text{ oeste}$$

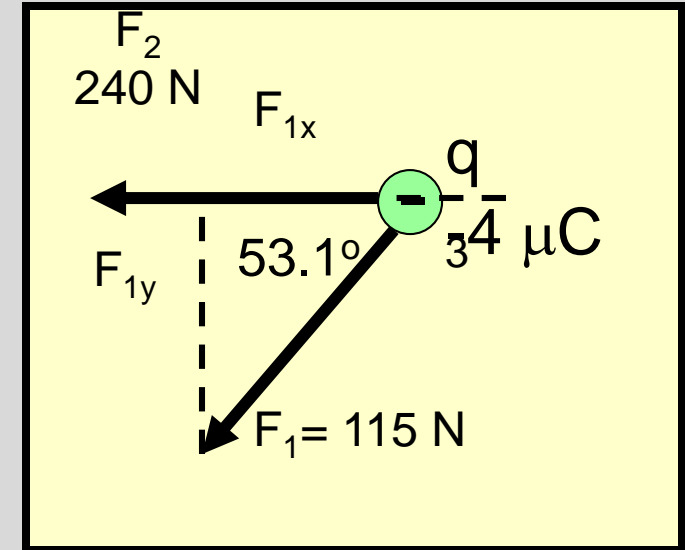
Ejemplo 4 (Cont.) Encuentre los componentes de las fuerzas F_1 y F_2 (revise vectores).

$$F_{1x} = -(115 \text{ N}) \cos 53.1^\circ = -69.2 \text{ N}$$

$$F_{1y} = -(115 \text{ N}) \sin 53.1^\circ = -92.1 \text{ N}$$

Ahora observe la fuerza F_2 :

$$F_{2x} = -240 \text{ N}; F_{2y} = 0$$



$$R_x = \sum F_x; R_y = \sum F_y$$

$$R_x = -69.2 \text{ N} - 240 \text{ N} = -309 \text{ N}$$

$$R_x = -92.1 \text{ N}$$

$$R_y = -69.2 \text{ N} - 0 = -69.2 \text{ N}$$

$$R_y = -240 \text{ N}$$

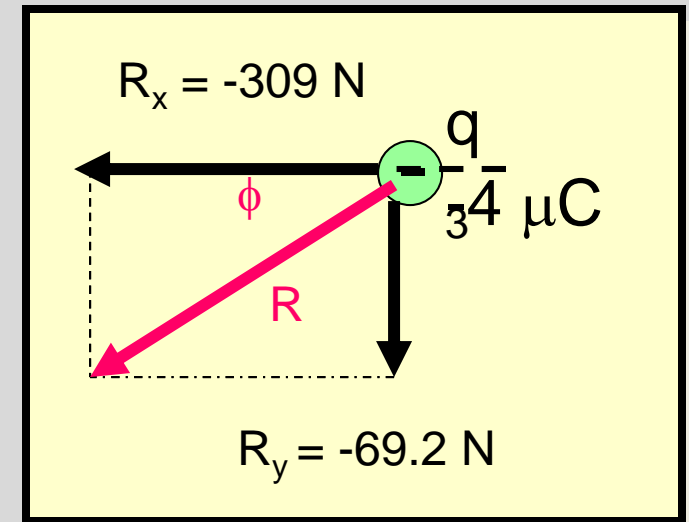
Ejemplo 5 (Cont.) Ahora encuentre la resultante R de los componentes F_x y F_y . (revise vectores).

$$R_x = -309 \text{ N}$$

$$R_y = -69.2 \text{ N}$$

Ahora se encuentra la resultante R .

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad \tan \phi = \frac{R_y}{R_x}$$



$$R = \sqrt{(309 \text{ N})^2 + (69.2 \text{ N})^2} = 317 \text{ N}$$

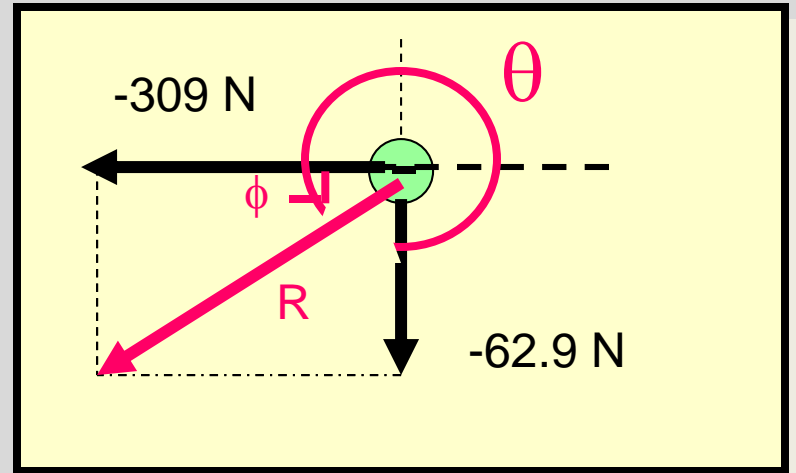
Por tanto, la magnitud de la fuerza eléctrica es:

$$R = 317 \text{ N}$$

Ejemplo 5(Cont.) La fuerza resultante es 317 N.
Ahora es necesario determinar el ángulo o dirección de esta fuerza.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 317 \text{ N}$$

$$\tan \phi = \frac{R_y}{R_x} = \frac{-309 \text{ N}}{-69.2 \text{ N}}$$



El ángulo de referencia es: $\phi = 77.4^\circ \text{ S del O}$

O, el ángulo polar q es: $\theta = 180^\circ + 77.4^\circ = 257.4^\circ$

Fuerza resultante: $R = 317 \text{ N}, \theta = 257.4^\circ$

Resumen de fórmulas:

Cargas iguales se repelen;
cargas iguales se atraen.

$$F = \frac{kqq'}{r^2}$$

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$1 \mu\text{C} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$1 \text{ pC} = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$$

$$1 \text{ electrón: } e^- = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$