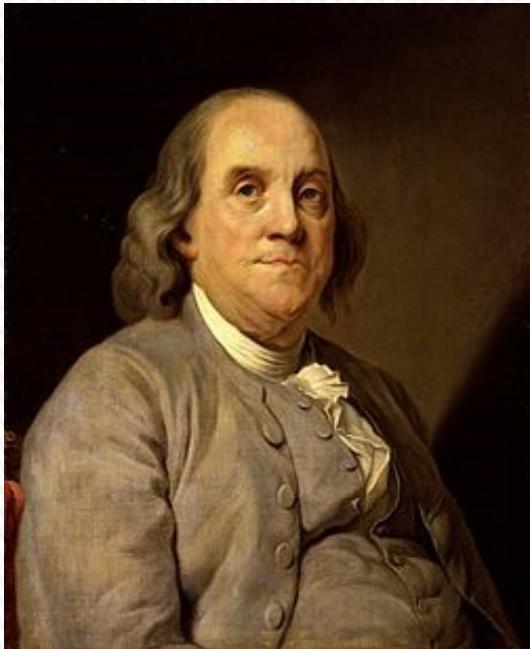


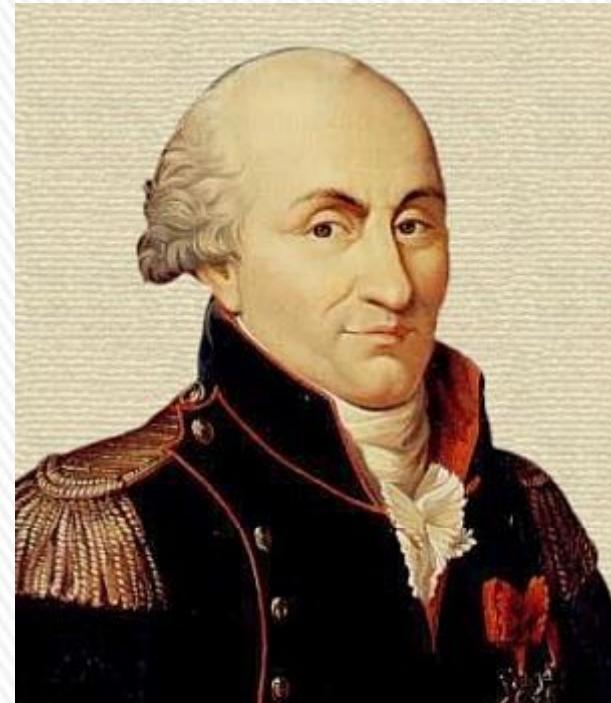
# 01-CARGAS, FUERZAS Y CAMPO ELÉCTRICO



**Benjamin Franklin**  
(1706-1790)



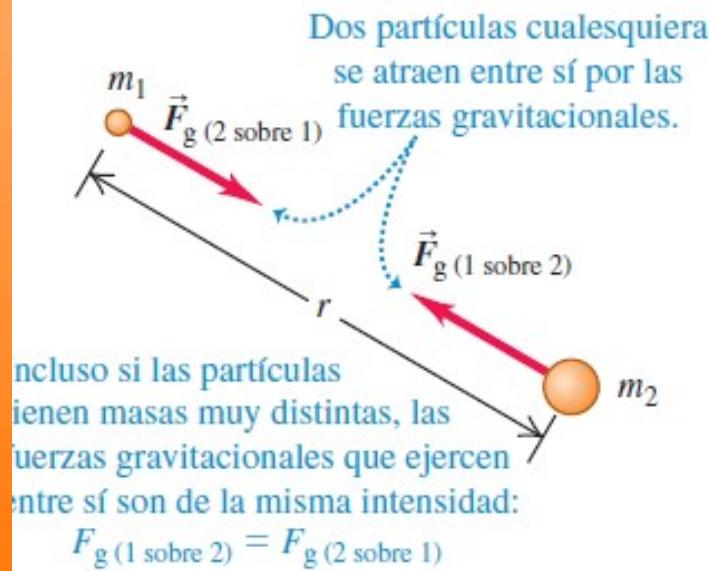
**Henry Cavendish**  
(1731-1810)



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



# CARGAS ELÉCTRICAS: FUERZAS FUNDAMENTALES



Interacciones fundamentales de la naturaleza.

**Fuerza gravitatoria:** movimiento planetario y la caída de los cuerpos.

( $G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ )

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

**Fuerzas eléctricas** similares a las gravitacionales en algunos aspectos y diferente en otros: son tanto de atracción como de repulsión.

Asociamos: **fuerza gravitatoria- masa**, y **fuerza eléctrica -carga eléctrica**. Experimentalmente se probó (Franklin) que: existen **dos tipos de carga eléctrica: la positiva y la negativa**.

## CARGAS ELÉCTRICAS: FUERZAS FUNDAMENTALES

Las cargas eléctricas en general producen **fuerzas electromagnéticas**. Si las cargas están en reposo sólo ejercen entre sí **fuerzas eléctricas**, pero si están en movimiento producen otra fuerza que denominamos **fuerza magnética**.

La **interacción o fuerza electromagnética** no sólo es responsable de que los electrones se mantengan en sus órbitas en los átomos... todas las interacciones macroscópicas (químicas, biológicas, o físicas como el rozamiento, la tensión) son en definitiva interacciones del tipo electromagnético.

La estructura general de la materia: de átomos, moléculas, formación de cristales se basa en interacciones electromagnéticas más fenómenos cuánticos.

# CARGA ELÉCTRICA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

**CARGA ELÉCTRICA:** dos clases de carga eléctrica (q): **positiva** y **negativa**.

Unidad de la magnitud carga eléctrica en el S.I.: **coulomb (C)**.

**Cuantización:** la carga eléctrica está cuantizada, siempre se presenta por múltiplos enteros de la **unidad fundamental de carga eléctrica e**.

La carga del electrón es:  $-e$ , y la del protón es  $+e$ .

Magnitud de e:  $e = 1,602176487 \times 10^{-19} \text{ C}$  ( $e \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

Para cualquier cuerpo cargado su carga q:  $q = N \cdot e$  (N un nro. entero)

**Principio de conservación de la carga eléctrica:** la carga se conserva, ni se crea ni se destruye.

En general átomos y moléculas son eléctricamente neutros, pero si se ionizan se cargan con  $\pm N \cdot e$ .

Los nucleones (protones y neutrones) no son partículas elementales como los electrones, están constituidos por quarks.

Los quarks tienen carga fraccionaria de e ( $-e/3$  y  $+2e/3$ ),  
Pero no se encuentran como partículas libres!

# CONDUCTORES Y AISLANTES

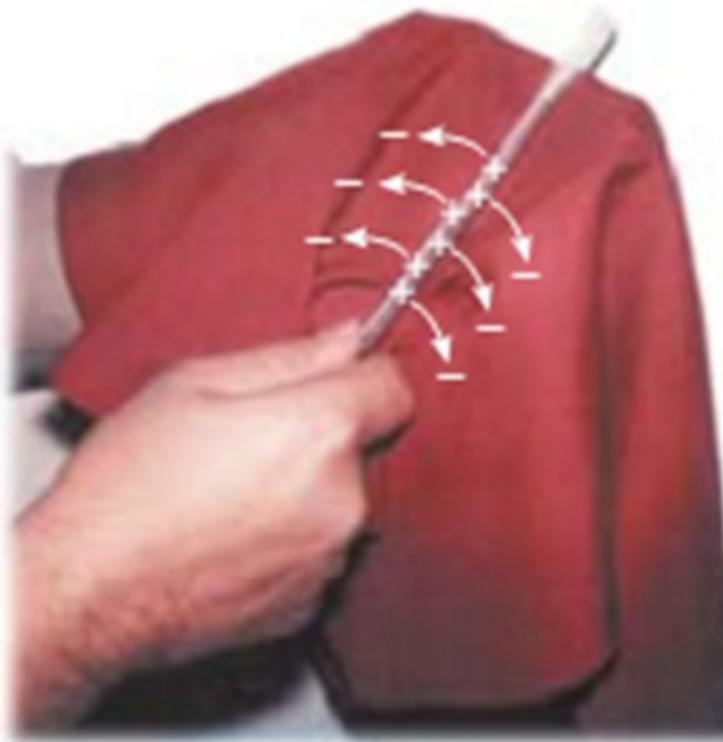
## Conductores y aislantes:

Modelamos materiales como **conductores**, en los que aproximadamente un electrón por átomo posee libertad de movimiento en todo el material, y en **aislantes (dieléctricos)** en los que todos los electrones están ligados a los átomos próximos.

**Como modelo ideal, un conductor tiene un número infinito de portadores de carga que se pueden mover muy fácilmente.**

Vidrio, goma, y madera se incluyen en la categoría de aislantes eléctricos. Cuando estos materiales son frotados sólo la zona frotada se carga, y las partículas con carga no pueden moverse hacia otras zonas del material. Los metales (plata, cobre, aluminio) son buenos conductores eléctricos. Cuando están con carga en alguna pequeña zona, la carga se distribuye de inmediato en toda la superficie del material.

# TRIBOELECTRICIDAD



Electricidad por frotamiento: **triboelectricidad**

**Carga triboeléctrica:** por contacto que involucra el intercambio de electrones.

Prácticamente todos los materiales son triboeléctricos: en determinadas situaciones, las personas se cargan por roce con la ropa, con los materiales que manipula y/o por contacto con objetos cargados.

Valor de carga depositada: entre  $10^{-11}$  y  $10^{-9}$  C/mm<sup>2</sup> (aprox. un electrón libre por cada 1000 átomos)

Una varilla de vidrio se frota con seda: el vidrio pierde electrones que pasan a la seda. Vidrio: +q y seda: -q

Similarmente si frotamos: regla de plástico con el cabello:  
regla: - q      pelo: +q

Froto un globo de goma en piel o cabello: el globo se carga negativamente y el cabello o piel positivamente.

Se tabula una serie triboeléctrica:

# TRIBOELECTRICIDAD

**Serie triboeléctrica:** permite determinar como se carga una material cuando entra en contacto con otro: si dos materiales de la tabla se ponen en contacto, el más alto en la serie cederá electrones al otro, cargándose positivamente (mientras que el otro material adquirirá una carga negativa).

Cuanto más separados se hallen los materiales mayor es la transferencia de carga.

Los materiales tienden a ceder electrones	0
<b>MAYOR CARGA POSITIVA</b>	
+	
Aire	Acero (sin carga)
Piel humana	Madera (pequeña carga negativa)
Cuero	Polimetilmetacrilato
Piel de conejo	Ámbar
<b>Vidrio</b>	Lacre
Cuarzo	Acrílico (polímero)
Mica	Poliestireno
<b>Cabello humano</b>	Globo de goma
Nylon	Resinas
Lana	Goma dura
Plomo	Níquel, Cobre
Piel de gato	Azufre
Seda	Bronce, Plata
Aluminio	Oro, Platino
<b>Papel (pequeña carga positiva)</b>	Acetato, Rayón
Algodón (sin carga)	Goma sintética
0	Poliéster (tela)
	Espuma de poliestireno
	Orlon
	Papel film para embalar (plástico)

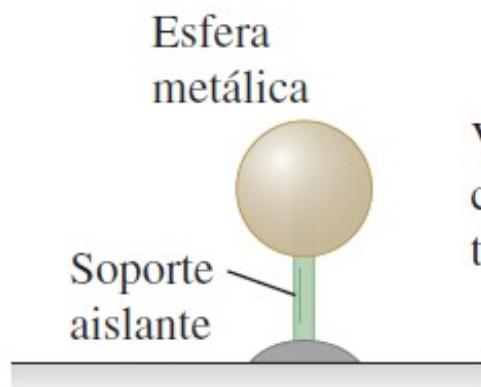
Froto un globo de goma en piel o cabello:

Globo carga negativamente;

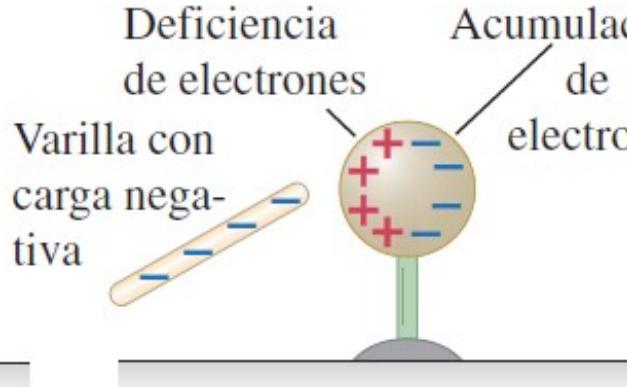
Cabello o piel positivamente



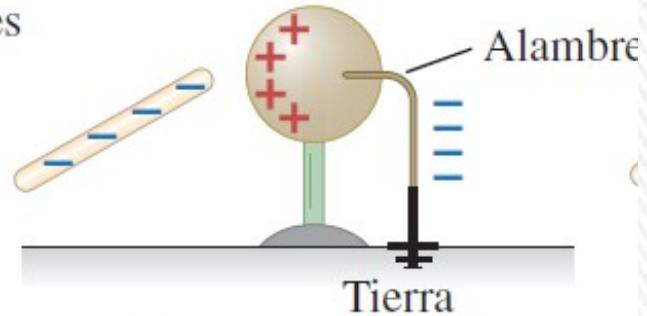
# CARGA POR INDUCCIÓN



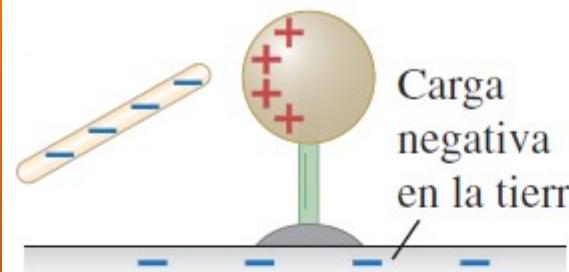
a) Esfera metálica sin carga.



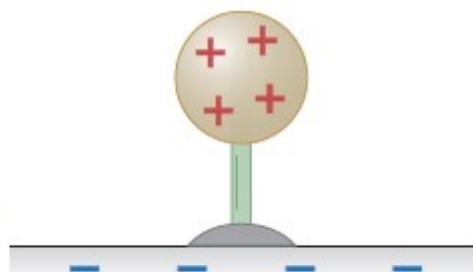
b) La carga negativa en la varilla repele a los electrones, lo que crea zonas de **carga inducida** negativa y positiva.



c) El alambre permite que los electrones acumulados (carga negativa inducida) fluyan hacia la tierra.



d) Se quita el conductor; ahora, la esfera tiene sólo una región con deficiencia de electrones, con carga positiva.

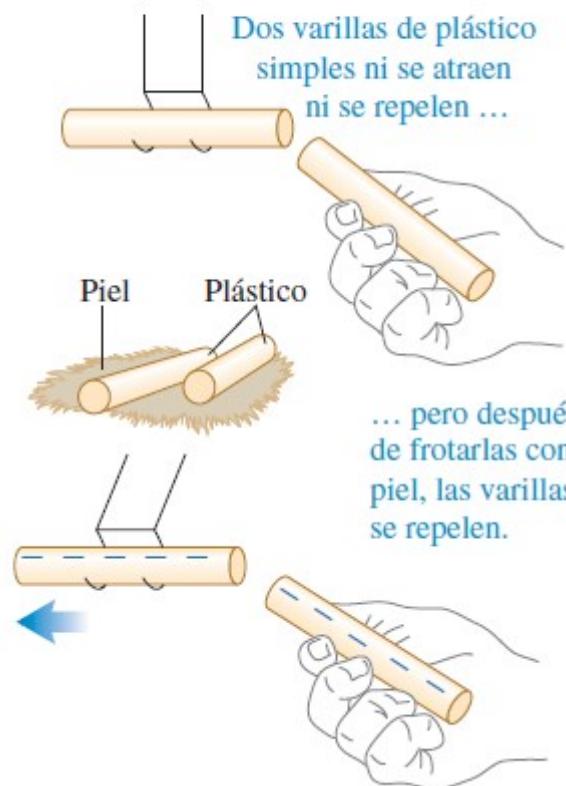


e) Se quita la varilla; los electrones se reacomodan por sí solos, y toda la esfera tiene una deficiencia de electrones (carga neta positiva).

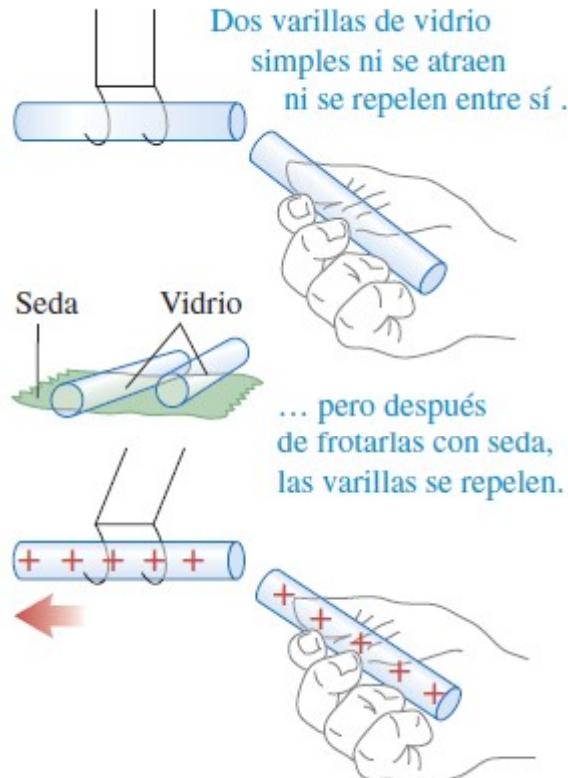


# EXPERIMENTOS DE ELECTROSTÁTICA

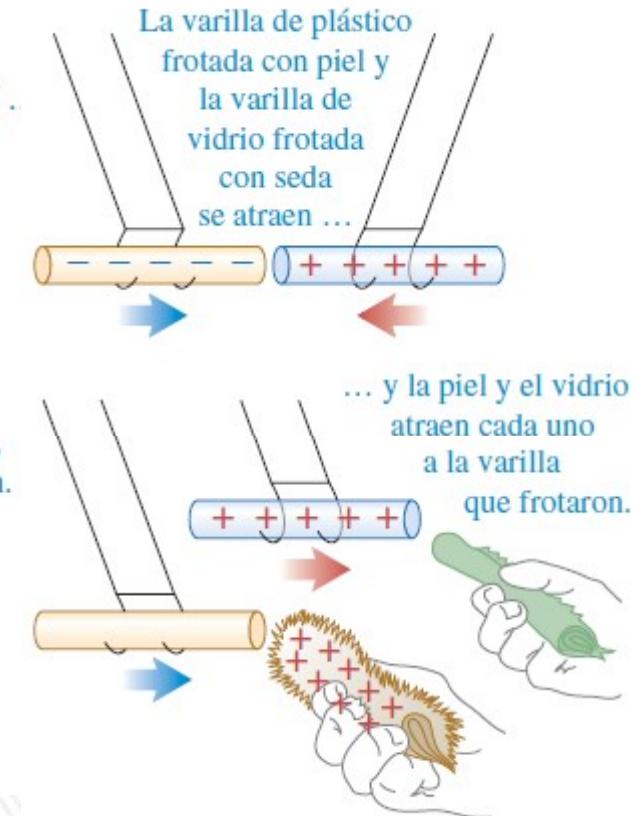
a) Interacción entre varillas de plástico cuando se frotan con piel



b) Interacción entre varillas de vidrio cuando se frotan con seda



c) Interacción entre objetos con cargas opuestas



1

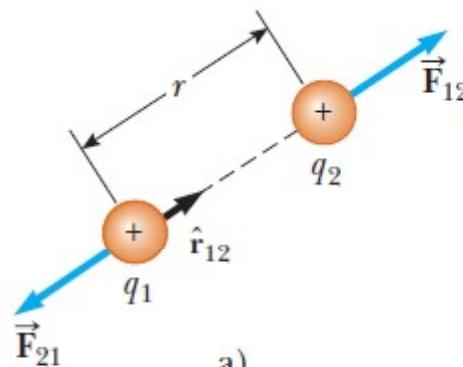
2

3

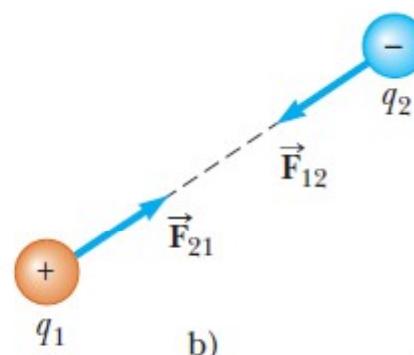
- 1) Los objetos cargados negativamente se repelen entre sí.
- 2) Los objetos cargados positivamente se repelen entre sí.
- 3) Los objetos con carga positiva se atraen con los objetos que tienen carga negativa.

# LEY DE COULOMB

1784- Charles Agustín de Coulomb: magnitud de fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales estacionarias es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.  
La fuerza es de atracción si las cargas son de distinto signo, y de repulsión si son del mismo signo.



a)



b)

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

$\hat{r}$  vector unitario que apunta de  $q_1$  a  $q_2$ .  
 $k_E$  – constante de Coulomb.

$$k_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987551787 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

$$k_E \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

¿Cuál es la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas de 1 C, separadas 1 m?

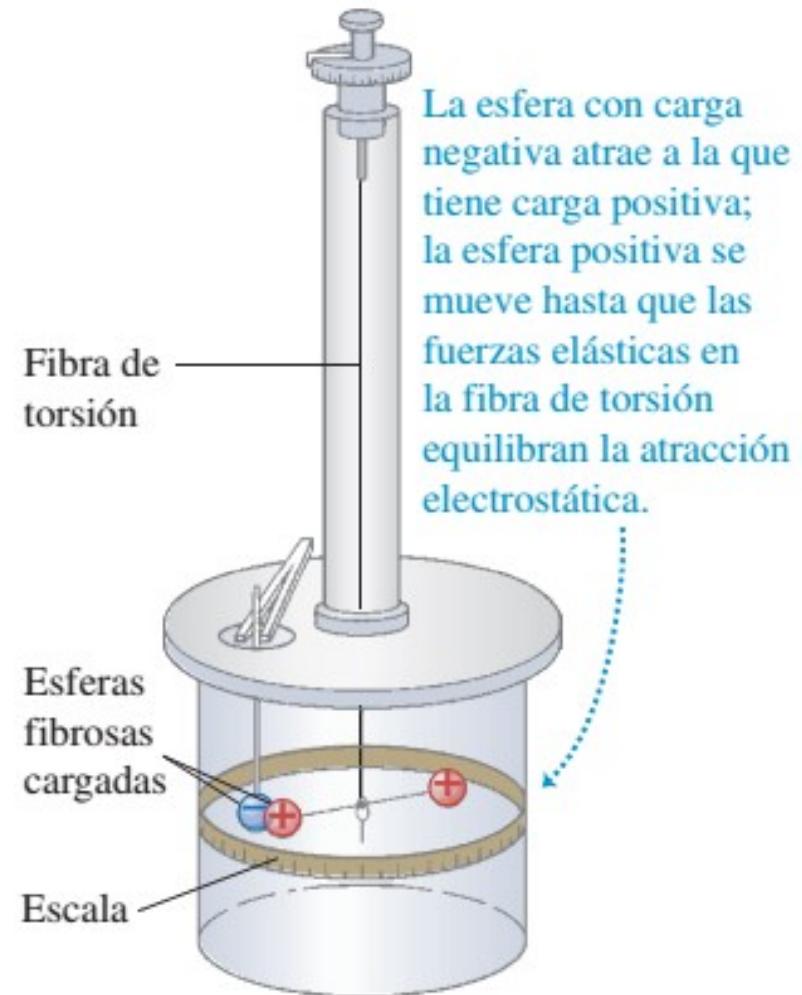
10<sup>9</sup> N !!! Algo así como el peso equivalente de cien mil toneladas!

# LEY DE COULOMB

## Balanza de torsión

### •FUERZA COULOMBIANA:

- Es una **fuerza central** y depende del **inverso del cuadrado de la distancia**.
- Se aplica a cargas puntuales y en el vacío; si el medio no es el vacío, la intensidad de la fuerza disminuye; aparece en el denominador un factor mayor a 1 (constante dieléctrica).
- Es una fuerza **conservativa**.
- Obviamente cumple con el **Principio de Acción y Reacción**.
- Cumple con el **Principio de Superposición**.



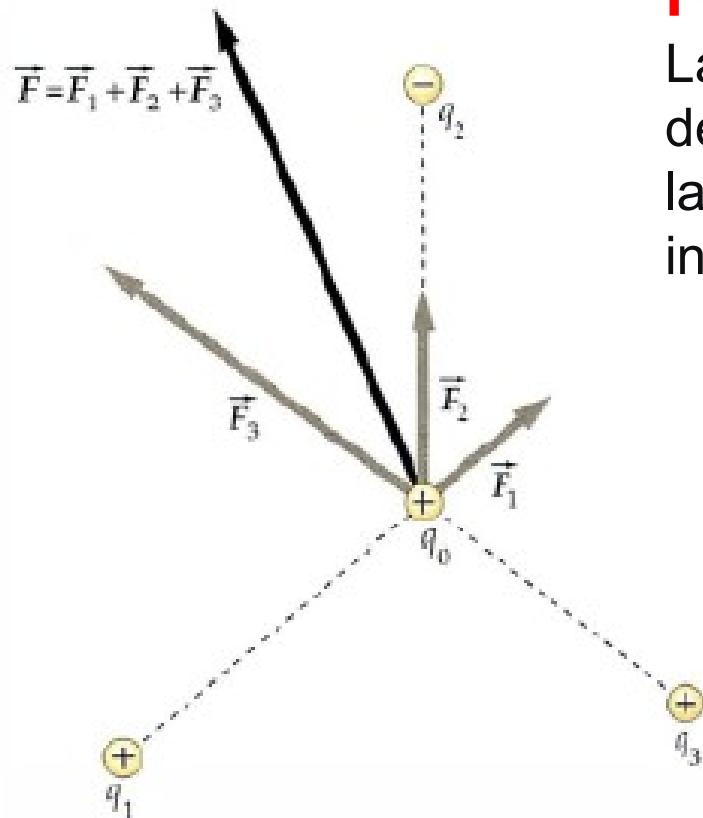
¿Qué implicará que la fuerza sea conservativa?

# FUERZAS ELÉCTRICAS

## PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN:

La fuerza que se ejerce sobre una carga debido a un conjunto de cargas, es igual a la suma vectorial de las fuerzas individuales

$$\bar{F}_1 = \bar{F}_{2,1} + \bar{F}_{3,1} + \dots + \bar{F}_{N,1}$$



## Ejemplo 1.1: relación entre las fuerzas eléctrica y gravitatoria en el átomo de hidrógeno

El electrón y el protón de un átomo de hidrógeno están separados (en promedio) por una distancia de aproximadamente  $5,3 \times 10^{-11}$  m.

Encuentre las magnitudes de la fuerza eléctrica y la fuerza gravitacional entre las dos partículas, y la relación entre ellas.

Datos: magnitudes de la carga del electrón y del protón.  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C

Constante de Coulomb:  $k_e = 8,988 \times 10^9$  N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>

Masa del protón:  $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  kg; masa del electrón:  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg

Constante de gravitación universal:  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>

De acuerdo a la ley de Coulomb:

$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

De acuerdo a la ley de gravitación universal:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2} = (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

La relación  $F_e/F_g \approx 2 \times 10^{39}$ .

## Pregunta rápida 1

Dos cargas puntuales, A y B, están separadas una distancia  $d$ .

A tiene una **carga  $2Q$**  y una **masa  $2m$** ,

mientras que B tiene una **carga  $Q$**  y una **masa  $m$** .

Respecto a la relación entre las magnitudes de las fuerzas que se ejercen entre sí, y las magnitudes de las aceleraciones que experimentan, podemos decir que:

- A) Tanto las fuerzas como las aceleraciones son iguales.
- B) Las fuerzas son iguales, pero la aceleración que experimenta A es mayor que la de B.
- C) Las fuerzas son iguales, pero la aceleración que experimenta B es mayor que la de A.
- D) Las aceleraciones son iguales, pero la fuerza que se ejerce sobre A es mayor que la que se ejerce sobre B.
- E) Las aceleraciones son iguales, pero la fuerza que se ejerce sobre B es mayor que la que se ejerce sobre A.
- F) Tanto las fuerzas como las aceleraciones son distintas.

### Opción correcta: C.

Por el principio de acción y reacción las fuerzas deben tener la misma magnitud, como la masa de B es menor que la de A, tendrá mayor aceleración.

## Pregunta rápida 2

Dos cargas puntuales se atraen mutuamente con una fuerza eléctrica de magnitud  $F$ .

Si una carga se reduce a la mitad de su valor original y la distancia entre las cargas se triplica, ¿cuál es la magnitud resultante de la fuerza eléctrica entre ellas?

- A)  $3F/4$    B)  $F/6$    C)  $F/6$    D)  $F/12$    E)  $4F/3$    F)  $F/18$

$$F = k_E \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

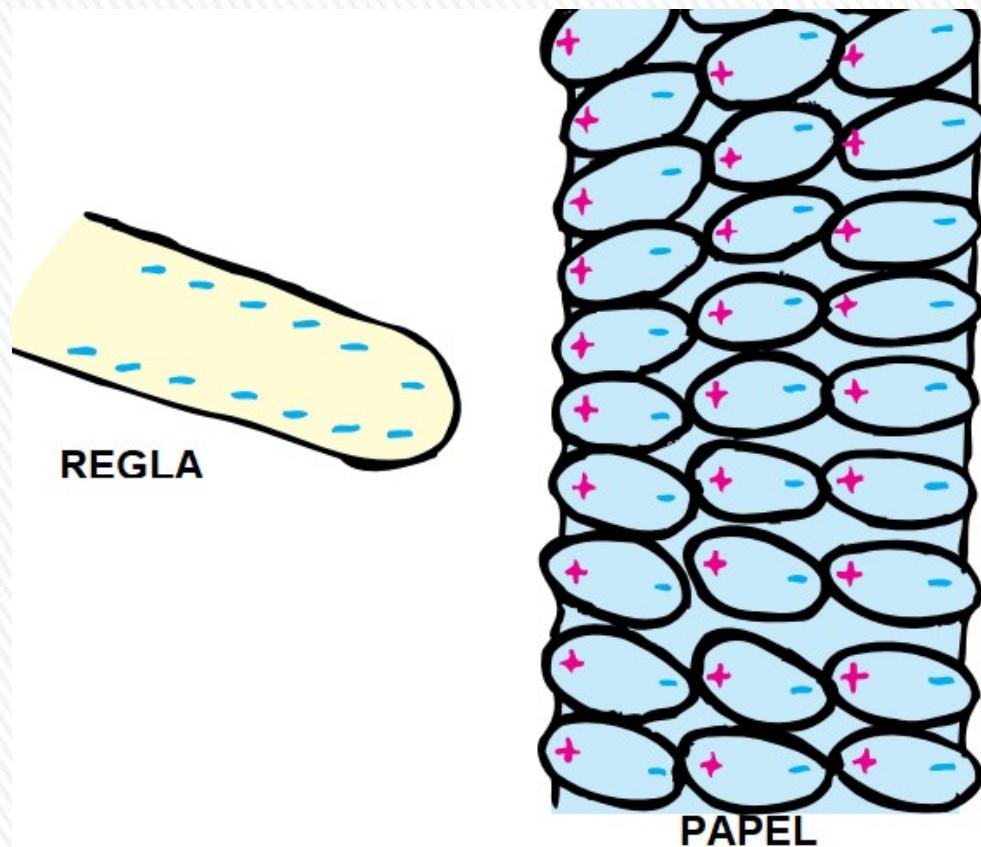
$$F' = k_E \frac{q' q_2}{d'^2} = k_E \frac{(q_1/2) q_2}{(3d)^2} = k_E \frac{(q_1) q_2}{(2)(9)(d)^2} = \frac{1}{18} k_E \frac{q_1 q_2}{d^2} = \frac{F}{18}$$



## Ejercicio 1.1.12

En un día con poca humedad, con una regla de plástico cargada por frotamiento, por ejemplo en el cabello o en un paño de lana, es posible levantar pequeños trocitos de papel que tienen carga neta nula.

¿Cómo es posible que aparezca una fuerza hacia arriba que equilibre a la gravedad si los trozos de papel tienen carga neta cero?  
¿Esta fuerza variaría si los trocitos de papel fueran conductores?



La regla (PVC) queda cargada negativamente, el cabello positivamente.

Al acercar la regla al papel, éste se polariza parcialmente. Cargas superficiales de igual magnitud y signo opuesto se inducen sobre las superficies opuestas del papel.

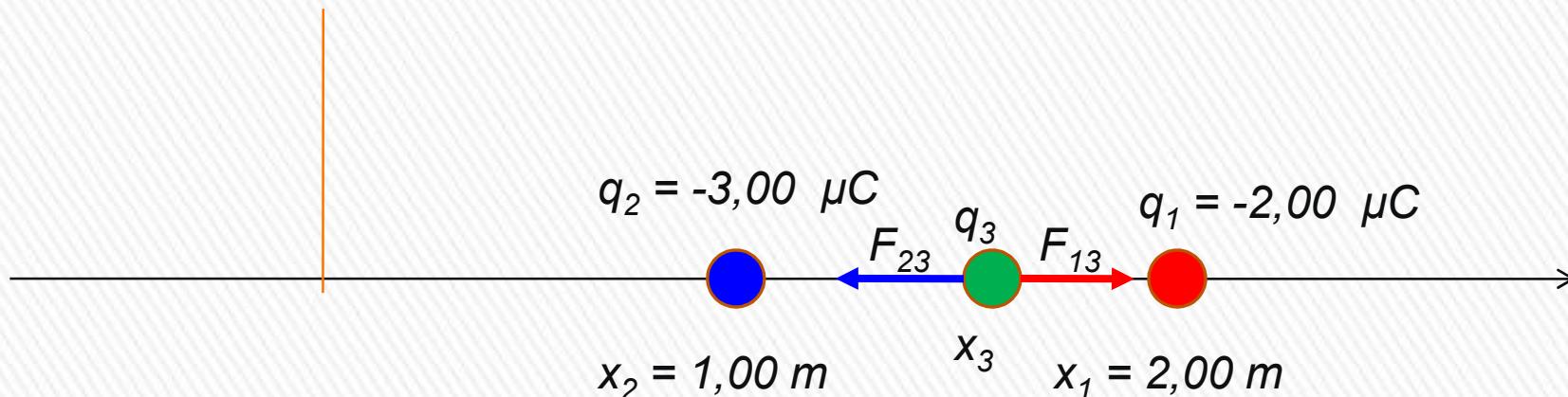
La parte próxima a la regla queda con carga positiva..



## Ejercicio 1.1.1

Tres cargas puntuales están a lo largo del eje x. Una carga  $q_1 = -2,00 \mu C$  está en  $x = 2,00 m$  y una carga  $q_2 = -3,00 \mu C$  está en  $x = 1,00 m$ .

¿En dónde debe colocarse una tercera carga positiva  $q_3$ , de modo que la fuerza resultante sobre ella sea cero?



¿En qué parte debo ubicar a  $q_3$ , a la izquierda de  $q_2$ , entre  $q_2$  y  $q_1$  o a la derecha de  $q_1$ ?

¿Podría no estar sobre el eje x?

¿Estará más cerca de  $q_2$  o  $q_1$ ?

Para que la fuerza resultante sobre  $q_3$  sea nula:  $F_{13} = F_{23}$



$$k_E \frac{q_1 q_3}{(x_1 - x_3)^2} = k_E \frac{q_2 q_3}{(x_3 - x_2)^2} \frac{q_1}{(x_1 - x_3)^2} = \frac{q_2}{(x_3 - x_2)^2} \quad q_1 (x_3 - x_2)^2 = q_2 (x_1 - x_3)^2$$