

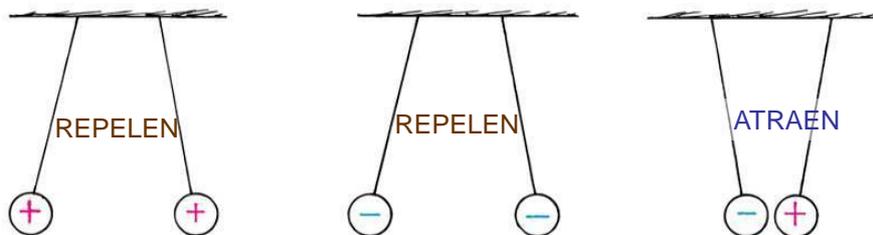
# Módulo 1: Electrostatica

## Fuerza eléctrica

1

## Cargas eléctricas y fuerzas

Hay dos tipos de cargas  
cargas **positivas** y cargas **negativas**



**Fuerzas del mismo signo se repelen,  
mientras que si son de distinto signo se atraen**

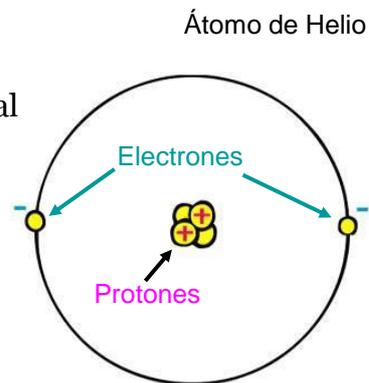
2

## Electrones, protones y átomos

Los electrones llevan carga negativa  
Los protones llevan carga positiva

Los electrones están unidos débilmente al átomo

Mientras que los protones están fuertemente ligados en el núcleo del átomo junto con los neutrones (sin carga)



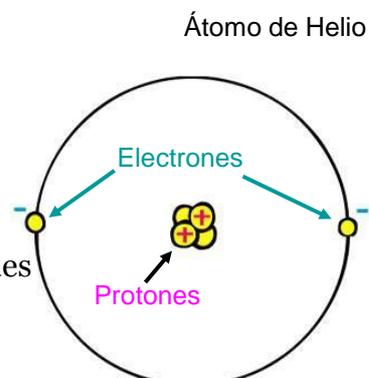
3

## Electrones, protones y átomos

Los electrones llevan carga negativa  
Los protones llevan carga positiva

El número de protones en el núcleo es el número atómico  $Z$  del elemento

El número de electrones es el mismo (pues el elemento es neutro)



4

## Electrones, protones y átomos

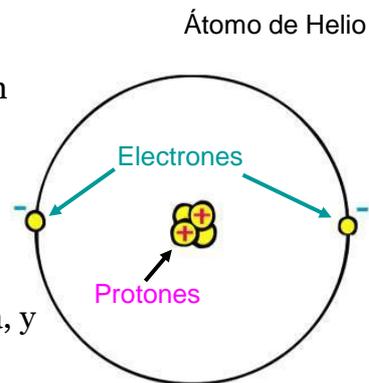
La masa del electrón es unas 2000 veces menor que la del protón

Pero sus cargas son iguales y opuestas en signo

- Carga del electrón:  $-e$
- Carga del protón:  $+e$

Siendo  $e$  la unidad fundamental de carga, y de valor  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

La unidad es el culombio (C)



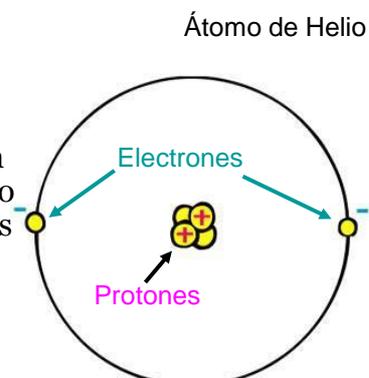
5

## Electrones, protones y átomos

Los objetos son casi siempre eléctricamente neutros, pero pueden ganar o perder fácilmente electrones para volverse cargados

Y en los procesos en los que se destruyen cargas, siempre se destruirán el mismo número de cargas negativas y positivas

Y ésta es una ley fundamental de la naturaleza



6

## Carga por fricción / contacto

Los electrones se mueven fácilmente por lo que un objeto puede cargarse eléctricamente si se le pegan electrones en su superficie.

Los electrones dejan el guante de piel y se van a la barra de plástico

Si hago lo mismo con otra barra, se repelerán



7

## Conservación de la carga

La carga no puede crearse ni destruirse

Los objetos se cargan por transferencia de carga

Cuando la barra de plástico se carga,

¿Queda también el guante cargado?

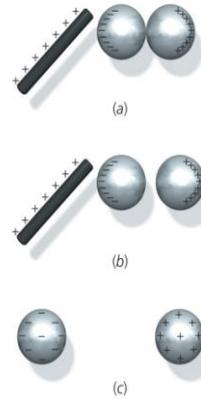
¿Positivo o negativo?



8

## Carga por inducción

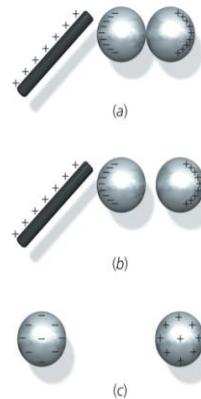
- a) Los dos conductores esféricos en contacto adquieren cargas opuestas cuando la barra cargada positivamente atrae a los electrones hacia la esfera de la izquierda.



9

## Carga por inducción

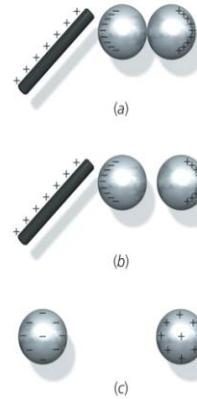
- b) Si las esferas se separan sin mover la barra de su posición, éstas retienen sus cargas iguales y opuestas.
- Cuando un conductor tiene cargas separadas iguales y opuestas se dice que está **polarizado**.



10

## Carga por inducción

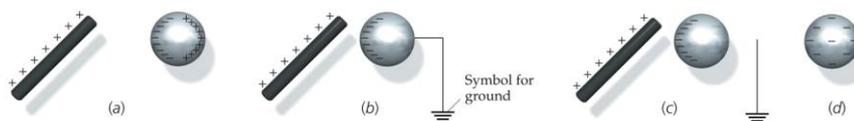
- c) Si la barra se retira y las esferas se separan, éstas quedan uniformemente cargadas con cargas iguales y opuestas



11

## Inducción por conexión a tierra

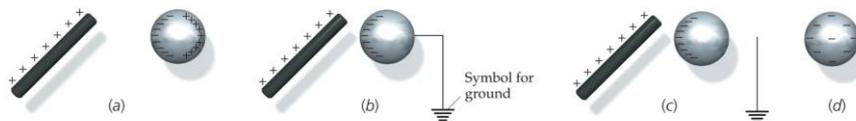
- a) La carga libre sobre una esfera conductora se polariza mediante la barra cargada positivamente, que atrae las cargas negativas de la esfera.



12

## Inducción por conexión a tierra

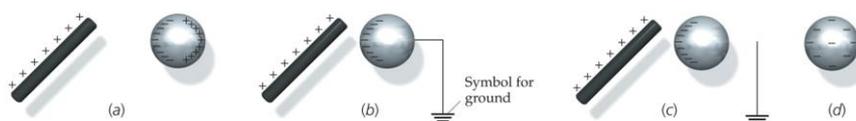
- b) Si la esfera se conecta a un conductor muy grande, tal como la Tierra por medio de un alambre, los electrones del suelo neutralizan la carga positiva del lado más alejado de la barra y la esfera queda negativamente cargada.



13

## Inducción por conexión a tierra

- c) La carga negativa permanece si el cable se desconecta antes de separar la barra.
- d) Al quitar la barra, la esfera queda cargada negativamente de forma uniforme.



14

## Ejemplo: carga por inducción

- Dos esferas conductoras idénticas, una de carga inicial  $+Q$  y otra inicialmente descargada, se ponen en contacto.
- ¿Cuál es la nueva carga de cada esfera?
  - Sol:  $\frac{1}{2}Q$ . Como las esferas son idénticas, deben compartir la carga por igual.
- Mientras las esferas están en contacto, una barra cargada negativamente se aproxima a una de ellas, de tal modo que ésta última pasa a tener una carga  $+2Q$ . ¿Cuál es la carga sobre la otra esfera?
  - Sol:  $-Q$ , para satisfacer la conservación de la carga.

15

## Ejemplo: carga por inducción

- Dos esferas conductoras idénticas se cargan por inducción: la esfera 1 con carga  $+Q$  y la esfera 2 con  $-Q$ . Una tercera esfera idéntica está inicialmente descargada. Si la esfera 3 toca la esfera 1 y luego se separa, para después tocar la esfera 2, y separarse de nuevo,
- ¿Cuál es la carga final sobre cada una de las tres esferas?
  - Sol:  $Q_1=Q/2$ ;  $Q_2=-Q/4$ ;  $Q_3=-Q/4$

16

## Conductores y aislantes

Los materiales, como los metales, en los que los electrones pueden moverse libremente, se llaman *conductores* eléctricos.

Los materiales, como el plástico o la madera, en los cuales los electrones no se pueden mover fácilmente, se llaman *aislantes* eléctricos.

Los materiales, como el silicio, que pueden comportarse como conductores o aislantes bajo condiciones diferentes, se llaman *semiconductores*.

17

## El aire

El aire es un aislante pero a altos voltajes, puede conducir la electricidad, como ocurre con los rayos.

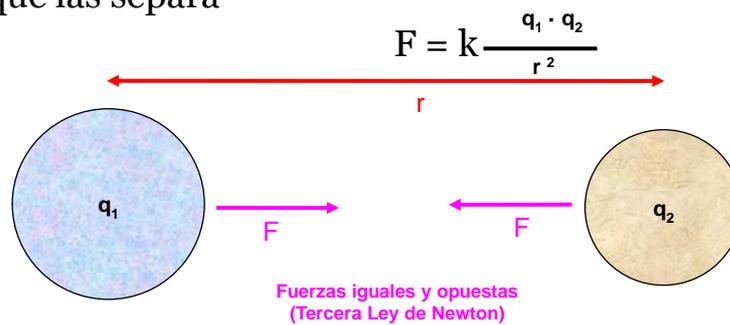


18

## Ley de Coulomb

La fuerza ejercida por una carga puntual  $q_1$  sobre otra  $q_2$  está dirigida a lo largo de la línea que las une.

Y es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa

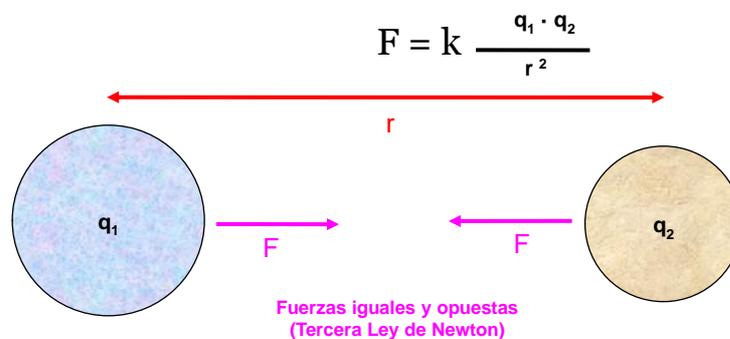


19

## Ley de Coulomb

$k$  es la constante de Coulomb, cuyo valor es

$$k = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$



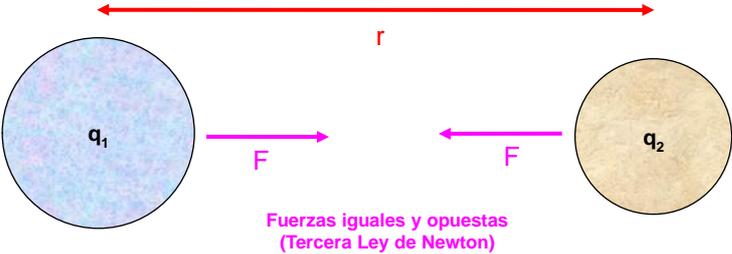
20

# Ley de Coulomb

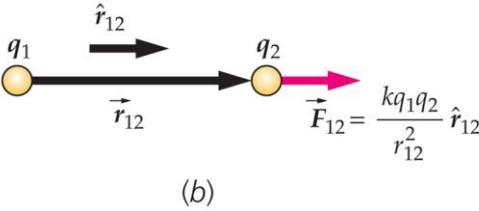
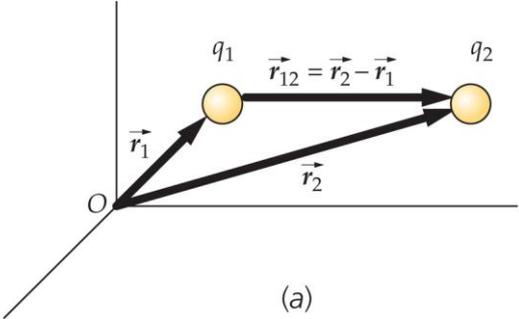
Es repulsiva si las cargas tienen el mismo signo y atractiva si las cargas tienen sentidos opuestos

Si  $\hat{r}_{1,2}$  es un vector unitario que apunta de  $q_1$  a  $q_2$ ,

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2}$$



# Ley de Coulomb



## Ejemplo: Módulo de la fuerza

- Dos cargas puntuales de  $0.05 \mu\text{C}$  cada una están separadas por una distancia de 10 cm. Determinar el módulo de la fuerza ejercida por una carga sobre la otra.
  - Sol:  $2.25 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

23

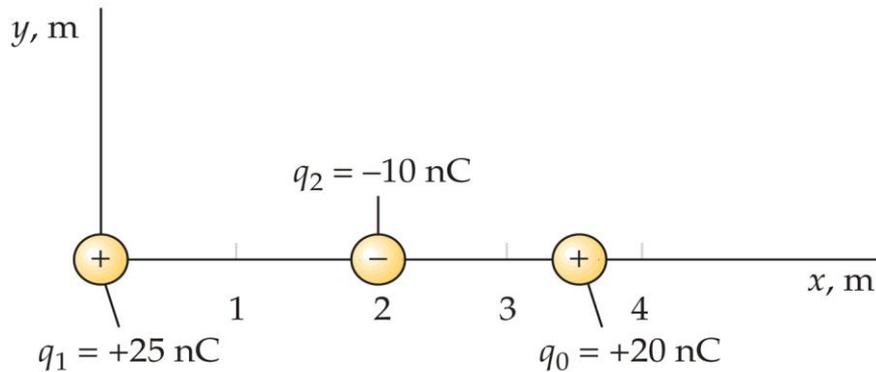
## Ejemplo: fuerza ejercida por un sistema de cargas

- Tres cargas puntuales se encuentran sobre el eje x;  $q_1$  está en el origen,  $q_2$  en  $x=2 \text{ m}$  y  $q_0$  en  $x = 3.5 \text{ m}$ . Encontrar la fuerza (módulo y vector) sobre  $q_0$  ejercida por  $q_1$  y  $q_2$  si  $q_1=25 \text{ nC}$ ,  $q_2=-10 \text{ nC}$  y  $q_0=+20 \text{ nC}$ .

24

## Ejemplo: fuerza ejercida por un sistema de cargas

- Sol:  $-(0.432 \mu\text{N}) \mathbf{i}$



25

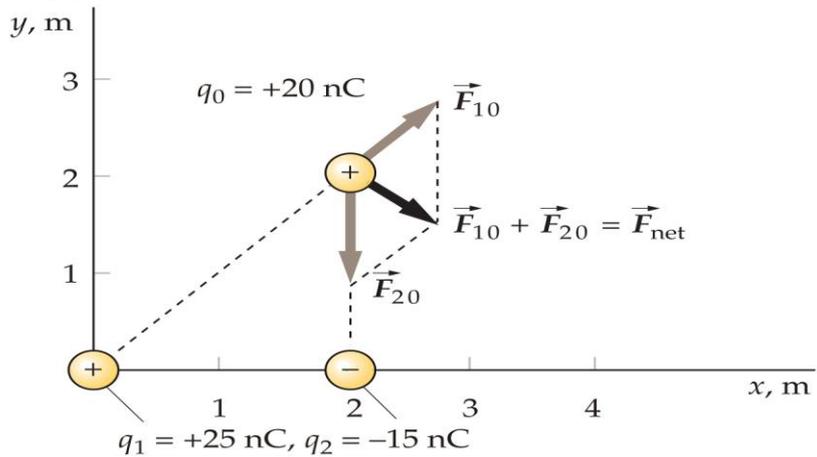
## Ejemplo: fuerza ejercida por un sistema de cargas bidimensional

- La carga  $q_1 = 25 \text{ nC}$  está en el origen,  $q_2 = -15 \text{ nC}$  está sobre el eje  $x$  en  $x=2 \text{ m}$ , y la carga  $q_0 = 20 \text{ nC}$  está en el punto  $(x=2, y=2)$ .
- Encontrar la fuerza neta (módulo, vector y ángulo que forma con el eje  $x$ ) sobre  $q_0$  ejercida por  $q_1$  y  $q_2$

26

## Ejemplo: fuerza ejercida por un sistema de cargas bidimensional

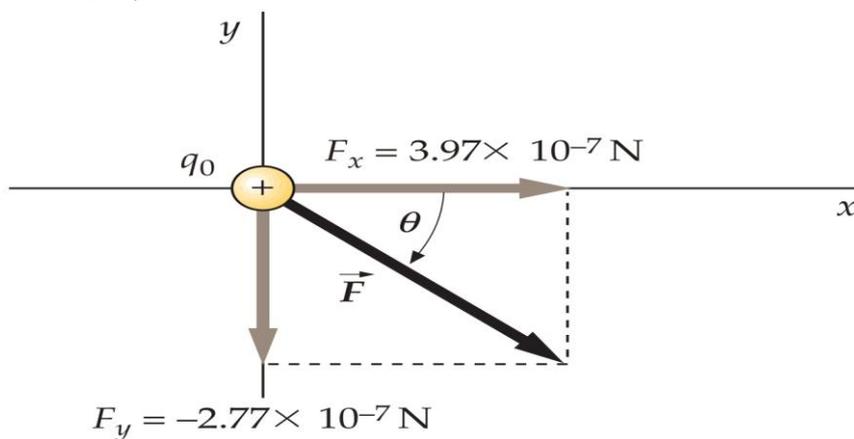
- Sol:  $F=4.84 \cdot 10^{-7} \text{ N}$
- $F=3.97 \cdot 10^{-7} \mathbf{i} - 2.77 \cdot 10^{-7} \mathbf{j}$
- $\theta = -34.9^\circ$



27

## Ejemplo: fuerza ejercida por un sistema de cargas bidimensional

- Sol:  $F=4.84 \cdot 10^{-7} \text{ N}$
- $F=3.97 \cdot 10^{-7} \mathbf{i} - 2.77 \cdot 10^{-7} \mathbf{j}$
- $\theta = -34.9^\circ$



28

## Fuerza eléctrica en distribuciones continuas de carga

- Densidad lineal de carga.
  - $\lambda = dq/dL \rightarrow \vec{dF} = kq(dq/r^2) \vec{r}_{1,2}$
- Densidad superficial de carga
  - $\sigma = dq/dL \rightarrow \vec{dF} = kq(dq/r^2) \vec{r}_{1,2}$
- Densidad volumétrica de carga
  - $\rho = dq/dL \rightarrow \vec{dF} = kq(dq/r^2) \vec{r}_{1,2}$

29

## Fuerza ejercida por una densidad lineal de cargas $\lambda$ sobre una carga puntual

- Hoja 1, ej. 6.
- Calcular la fuerza que ejerce una varilla de longitud  $L$  cargada con una densidad lineal de carga  $\lambda$ , sobre una partícula cargada con  $q$  situada en la misma línea de la varilla y a una distancia  $a$  de su extremo.

30

## Fuerza ejercida por un anillo con densidad lineal $\lambda$ sobre una carga puntual

- Hoja 1, ejercicio 7.
- Un anillo de radio  $a$  está cargado con una densidad lineal de carga uniforme  $\lambda$ . Colocamos en un punto de su eje, y a una distancia  $b$  una carga  $q$ . Calcular en función de estos datos la fuerza que actúa sobre esta carga.

31

## Fuerza ejercida por una varilla infinita con densidad lineal $\lambda$ sobre una carga puntual

- Hoja 1, ejercicio 9.
- Determinar, aplicando la ley de Coulomb, la fuerza que actúa sobre una carga  $q$ , que se encuentra a una distancia  $a$  perpendicular de un hilo que consideramos de longitud indefinida ( $L \gg a$ ), y que posee una carga positiva distribuida uniformemente; sabiendo que es  $\lambda$  su densidad lineal de carga.

32

## Fuerza ejercida por una densidad lineal de cargas sobre otra densidad lineal

- Hoja 1, ejercicio 8.
- En el gráfico de la figura, el anillo se encuentra en el plano XY y la varilla en el eje Z, ambos están contruidos con un hilo muy delgado y están cargados positiva y uniformemente con una densidad lineal de carga  $\lambda$ . Determinar la fuerza que actúa sobre la varilla.

