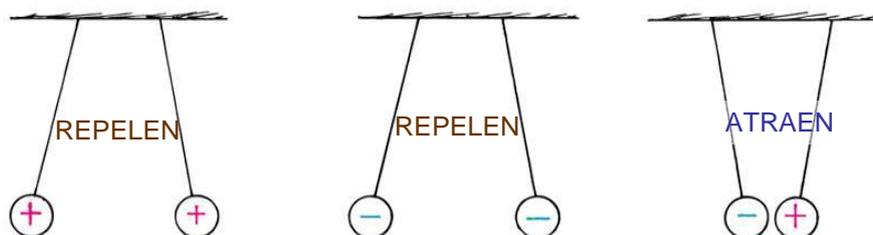


# Módulo 6: Electricidad y Magnetismo. Electrostática

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**

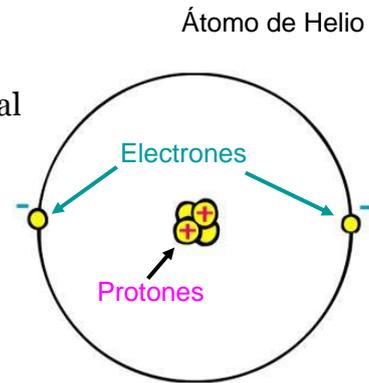
2

## 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)



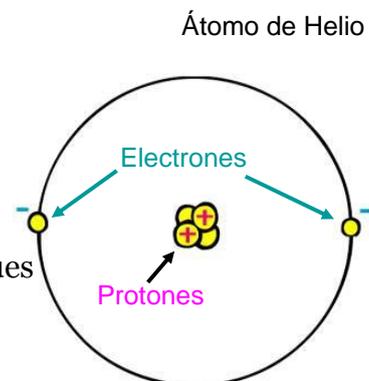
3

## 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

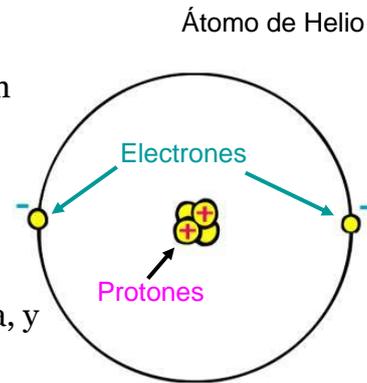
La masa del electrón es unas 2000 veces menor que la del protón

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)



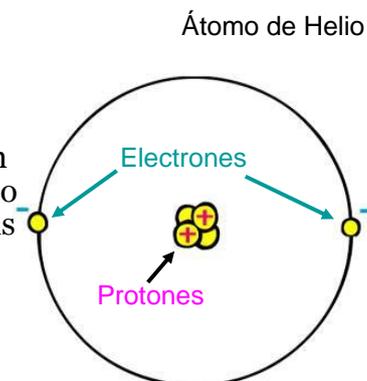
5

## 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

## 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.

9

## 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:  $Q_1 = Q/2$ ;  $Q_2 = -Q/4$ ;  $Q_3 = -Q/4$

10

## 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*.

11

## El aire

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

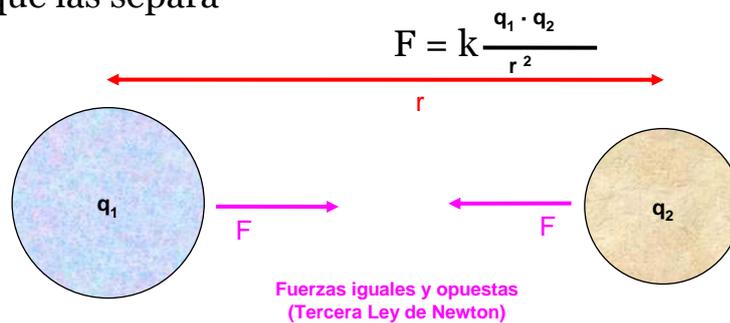


12

## 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

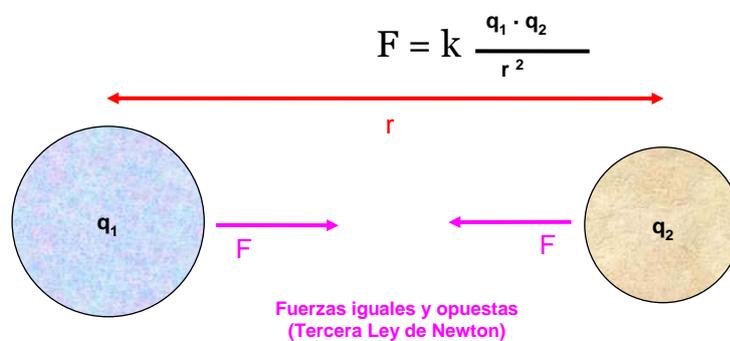


13

## Ley de Coulomb

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

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



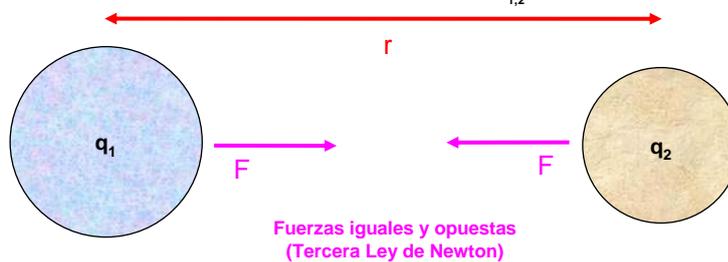
14

## Ley de Coulomb

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

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

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



15

## Ejemplo: Módulo de la fuerza

Dos cargas puntuales de  $0.05 \mu\text{C}$  cada una están separadas por una distancia de  $10 \text{ cm}$ . Determinar el módulo de la fuerza ejercida por una carga sobre la otra.

- Sol:  $2.25 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

16

## 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  $x=2$  m y  $q_0$  en  $x = 3.5$  m. Encontrar la fuerza (módulo y vector) sobre  $q_0$  ejercida por  $q_1$  y  $q_2$  si  $q_1=25$  nC,  $q_2=-10$  nC y  $q_0=-20$  nC.

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

17

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

La carga  $q_1 = 25$  nC está en el origen,  $q_2 = -15$  nC está sobre el eje  $x$  en  $x=2$  m, y la carga  $q_0 = 20$  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  $q_2$

- Sol:  $F=4.84 \cdot 10^{-7}$  N
- $F=3,97 \cdot 10^{-7} \mathbf{i} - 2,77 \cdot 10^{-7} \mathbf{j}$
- $\theta = -34.9^\circ$

18

## Campo eléctrico

¿Cómo puede ejercerse una fuerza a distancia?

Para explicarlo se introduce el concepto de campo eléctrico

Una carga crea un campo eléctrico  $E$  en todo el espacio, y este campo ejerce una fuerza sobre la otra carga

Es decir, la fuerza la ejerce el campo eléctrico  $E$  existente en la posición de la segunda carga, más que por la propia primera carga que está a cierta distancia

19

## Campo eléctrico

Supongamos que tenemos 3 cargas dispuestas arbitrariamente en el espacio.

Si colocamos una carga  $+q_0$  en las cercanías, se verá sometida a una fuerza neta resultante debida a las tres cargas

Como cada una de estas fuerzas es proporcional a  $q_0$ , la fuerza neta será proporcional a  $q_0$

20

## Campo eléctrico

El campo eléctrico  $E$  en un punto se define por esta fuerza dividida por  $q_0$

$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / q_0$$

¡Ojo que es un vector!

21

## Ejemplo

¿Cuál es la fuerza que actúa sobre un electrón situado en un punto donde hay un campo eléctrico

$$E = (4 \cdot 10^4 \text{ N/C}) \mathbf{i}?$$

- Sol:  $-6.4 \cdot 10^{-15} \text{ N } \mathbf{i}$

22

## Ley de Coulomb

La ley de Coulomb para el campo E creado por una carga puntual  $q_i$  es

$$\vec{E}_i = k \frac{q_i}{r_{i,0}^2} \vec{r}_{i,0}$$

Siendo  $\vec{r}_{i,0}$  un vector unitario que apunta desde el punto de la fuente I al punto de observación del campo eléctrico o punto del campo P

Si hubiese varios campos se sumarían todos ellos por separado.

23

## Ley de Coulomb

Método para calcular el campo eléctrico en un punto:

1. Suponer que en ese punto hay una carga positiva  $q_0$
2. Calcular el campo debido  $E_i$  a todas las cargas  $q_i$  de alrededor (cada una de ellas ejerce una fuerza  $F_i$ )
3. Sumar todos los campos  $E_i$  debidos a todas las fuerzas

24

## Ejemplo

Una carga positiva  $q_1=8 \text{ nC}$  se encuentra en el origen y una segunda carga positiva  $q_2=12 \text{ nC}$  está sobre el eje x a una distancia  $a=4 \text{ m}$ .

Determinar el campo eléctrico resultante sobre el punto P1, que está sobre el eje x en  $x=7 \text{ m}$ .

- Sol:  $13.5 \text{ N/C } \mathbf{i}$

25

## Ejemplo

Determinar el campo eléctrico resultante sobre el punto P1, que está sobre el eje x en  $x=7 \text{ m}$ .

- Sol:  $-100 \text{ N/C } \mathbf{i}$

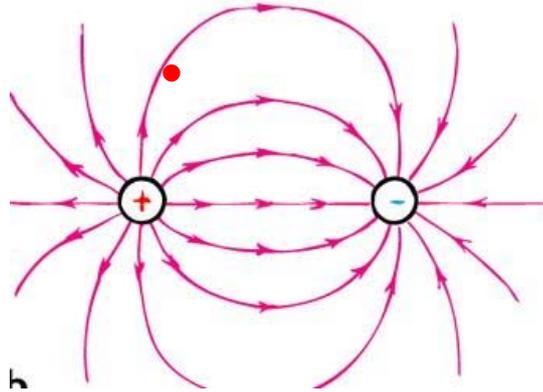
Determinar el punto del eje x donde el campo eléctrico es cero

- Sol:  $x=1.80 \text{ m}$ .

26

## Lineas de campo

Las líneas del campo eléctrico indican la dirección de la fuerza eléctrica si se sitúa una carga positiva en dicho campo eléctrico.



27

## Movimiento en campos electricos

Cuando una partícula con carga  $q_0$  se coloca en un campo eléctrico  $\mathbf{E}$ , experimenta la acción de una fuerza  $q\mathbf{E}$

Y por lo tanto sufrirá una aceleración dada por:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

28

## Movimiento en campos eléctricos

Si se conoce el campo eléctrico, la relación carga masa de la partícula puede determinarse midiendo su aceleración

Esto es lo que hizo J. J. Thompson en 1897 para demostrar la existencia de los electrones y medir su relación carga-masa



29

## Ejemplo

Un electrón se mueve en un campo eléctrico uniforme  $E = (1000 \text{ N/C})\mathbf{i}$  con una velocidad inicial

$\mathbf{v}_0 = (2 \cdot 10^6 \text{ m/s})\mathbf{i}$ , es decir, en la dirección del campo.

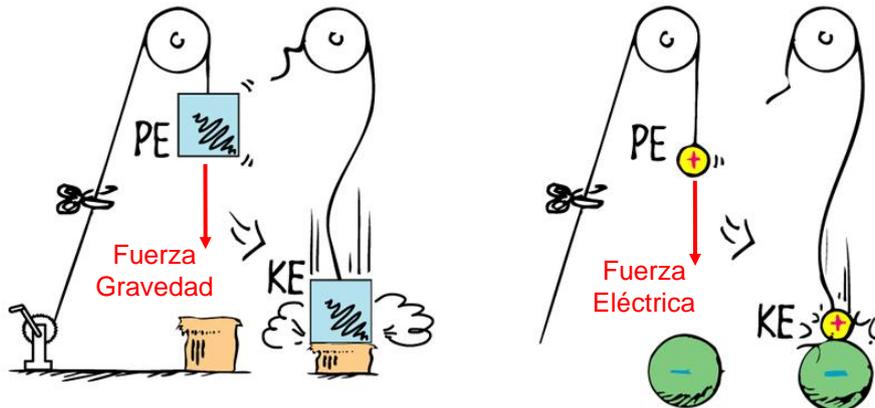
¿Qué distancia recorrerá el electrón antes de que momentáneamente quede en reposo?

- Sol: 1.14 cm

30

## Energía potencial electrostática

Se tiene una analogía entre la energía potencial gravitatoria (debida a la fuerza de la gravedad) y la energía potencial eléctrica (debida a la fuerza eléctrica entre cargas)



31

## Potencial eléctrico

El potencial eléctrico es la energía potencial electrostática por unidad de carga

$$V=U/q_0$$

siendo  $U$  la energía potencial electrostática

Sus unidades son voltios (V)

Y por definición,  $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$

Nota: se usa  $U$  y no la  $E$  para designar a la energía potencial electrostática por no confundirlo con el campo eléctrico

32

## Potencial eléctrico

De aquí viene la unidad para medir la energía, electrón voltio, que se define como:

$$[U]=[Energía]=e \cdot V$$

siendo  $e$  la carga del electron (en valor absoluto)

Es decir, es la energía que tiene un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 V.

Muy usada en ciertos campos de la física, como la física atómica o la física nuclear.

33

## Potencial eléctrico debido a cargas puntuales

Para calcular el potencial eléctrico debido a un sistema de cargas puntuales utilizaremos la siguiente fórmula:

$$V = k \frac{q}{r}$$

siendo  $r$  la distancia que hay entre la carga que origina el potencial y el punto donde se calcula

¡Notar que es un escalar!

Es positivo o negativo dependiendo de la carga que origine el potencial

34

## Ejemplo

La distancia media que hay de un protón a un electrón en el átomo de Hidrógeno es  $0.529 \cdot 10^{-10}$  m.

¿Cuál es el potencial eléctrico debido al protón al que se ve sometido el electrón?

- Sol: 27.2 V

35

## Ejemplo

Dos cargas puntuales de +5 nC se encuentran sobre el eje x. Una se encuentra en el origen, y la otra en  $x=8$  cm.

Determinar el potencial en el punto P1 situado sobre el eje x en  $x=4$  cm.

- Sol: 2.25 kV

Determinar el potencial en el punto P2 situado sobre el eje y en  $y=6$  cm.

- Sol: 1.2 kV

36

## Dipolos eléctricos

Un sistema de dos cargas iguales y opuestas  $q$  separadas por una pequeña distancia  $L$  se denomina **dipolo eléctrico**

Su intensidad y orientación se describen mediante el **momento dipolar eléctrico  $\mathbf{p}$**

Es un vector que apunta de la carga negativa a la positiva, y cuyo módulo es el producto  $qL$

$$\mathbf{p} = q\mathbf{L}$$

siendo  $\mathbf{L}$  es un vector cuyo origen está en la carga negativa y su extremo en la carga positiva

37

## Ejemplo

Una carga  $+q$  se encuentra en  $x=a$  y una segunda carga  $-q$  se encuentra en  $x=-a$ .

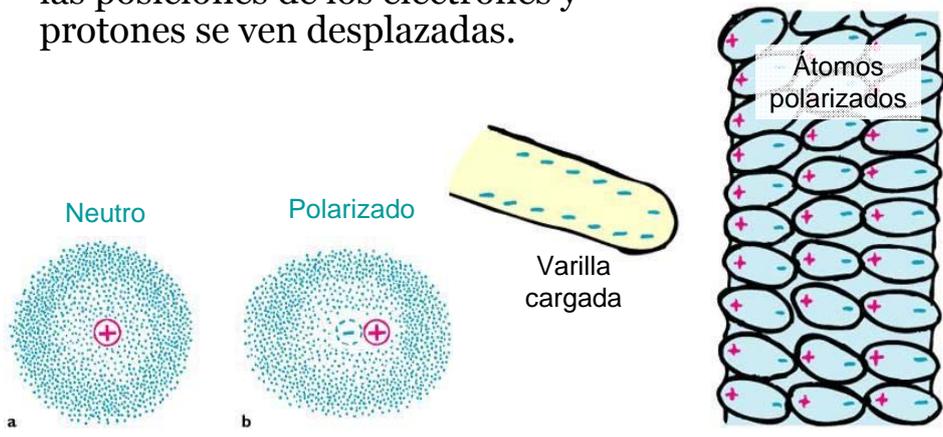
Determinar su momento dipolar eléctrico

- Sol:  $\mathbf{p} = 2aq\mathbf{i}$

38

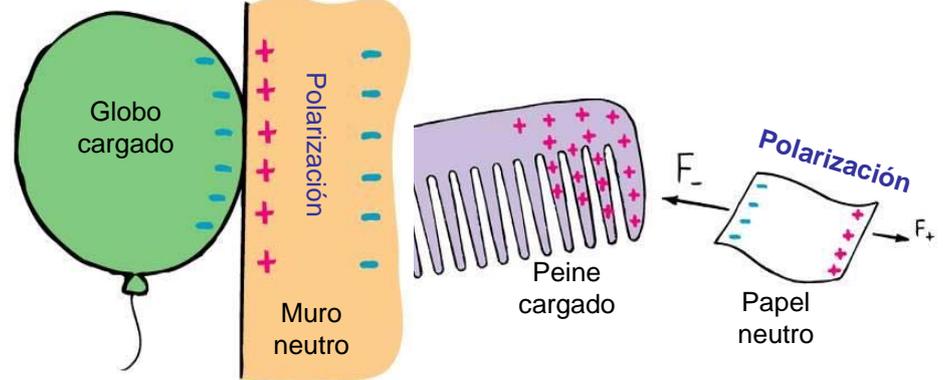
# Carga por polarización

La carga por polarización se da cuando las posiciones de los electrones y protones se ven desplazadas.



# Polarización inducida

Los objetos cargados atraen a aislantes eléctricamente neutros al inducir una polarización en el objeto neutro.



## Cuestiones sencillas

¿Qué provoca que un chorro de agua se desvie cuando se le acerca un objeto cargado eléctricamente?



41