separaba a diferentes distancias, para medir luego las fuerzas de repulsión.

Coulomb llegó así, a la siguiente proporcionalidad: (Ley de Coulomb).

$$F \propto \frac{q_1\ q_2}{r^2}$$

Que establece: La fuerza F entre dos cargas q_1, q_2 separadas una distancia r, es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional, al cuadrado de la distancia que las separa.

Si el signo de la fuerza F es negativo, la fuerza será de atracción, y si el signo es positivo, la fuerza será de repulsión.

Las cargas a que se refiere la proporcionalidad de Coulomb, deben ser puntuales, o si están distribuídas en cuerpos, como las esferas metálicas que usó Coulomb, deberán de ser de un tamaño pequeño, comparado con la distancia que los separa.

Referente a la distancia que separa a las dos cargas, debe ser la más corta, es decir,

una recta.

Mediante el siguiente esquema, se presentarán las características de la proporcionalidad:

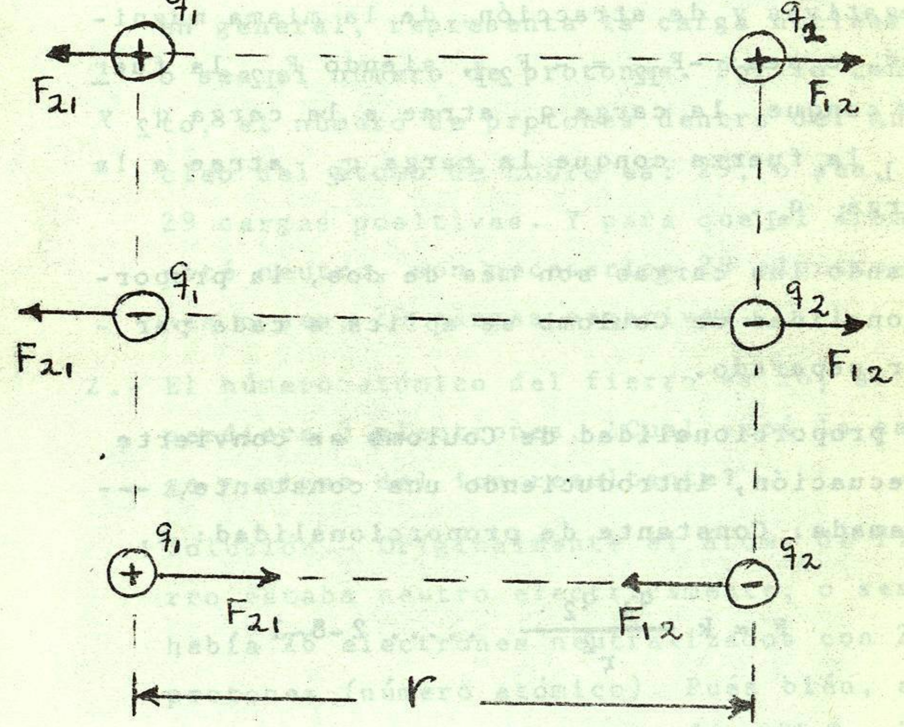


Fig. 2-8-1

En los esquemas A y B, por ser del mismo sig no las cargas q_1 y q_2, las fuerzas serán positivas y de repulsión: F_{12} será la fuerza con que la carga q_1 repele a la carga q_2. La magnitud de las dos fuerzas será la misma, es decir, $F_{12} = F_{21}$.

En el esquema C, las fuerzas F_{12} y F_{21} son negativas y de atracción, de la misma magnitud, o sea: $-F_{12} = -F_{21}$, siendo F_{12} la fuerza conque la carga q_1 atrae a la carga q_2 y F_{21} la fuerza conque la carga q_2 atrae a la carga q_1.

Cuando las cargas son más de dos, la proporcionalidad de Coulomb se aplica a cada par por separado.

La proporcionalidad de Coulomb se convierte a ecuación, introduciendo una constante, llamada: Constante de proporcionalidad: k,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots\ldots 2\text{-}8\text{-}1$$

Esta es la ecuación de la ley de Coulomb. El valor de k en el sistema M.K.S. es:

$$9 \times 10^9 \frac{N - M^2}{Coul^2}$$

2-9 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- El número atómico del cobre es 29. Para que éste átomo sea neutro electricamente, ¿cuantos electrones deben girar en la corteza electrónica del átomo?.

Solución.- El número atómico de un elemento, en general, representa la carga nuclear o sea el número de protones. Por lo tanto, el número de protones dentro del núcleo del átomo de cobre es: 29, o sea, 29 cargas positivas. Y para que el átomo esté neutro, son necesarios 29 electrones o sea, 29 cargas negativas.

2.- El número atómico del fierro es 26, si perdiera 3 electrones, ¿Cual será la carga y signo del ion resultante?

Solución.- Originalmente el átomo de fierro estaba neutro electricamente, o sea, había 26 electrones neutralizados con 26 protones (número atómico). Pués bién, al perder 3 electrones, restarían; 26-3 = 23 electrones. Estos 23 electrones estarían en desventaja con los 26 protones, es decir, habrá: 3 Protones de sobra, igual a los 3 electrones perdidos. Por lo tanto, el ion fierro, tendría una carga de: + 3.

3.- Un átomo de carbono gana 4 electrones, si su carga nuclear es 12, ¿Cuál será la carga eléctrica y signo del átomo resultante?.

Solución.- Bajo el razonamiento del problema 2, la carga del átomo de carbono es de: - 4, pués ha ganado 4 electrones, que sobrepasan a los 12 protones del núcleo, ya que antes de ganar los 4 electrones, había 12, al estar neutro el átomo.

4.- En los problemas 2 y 3, se obtuvieron las cargas de los átomos en base a: los protones sobrantes (problema 2) y a los electrones sobrantes (problema 3). Expresar en cada caso, la carga en coulombs y en u.e.s.

Solución.- Como la carga del protón y del electrón, según la tabla 2-4-1, son iguales pero de signo contrario, tomaremos solamente el valor: 1.6×10^{-19} coul o 4.8×10^{-10} u.e.s.

Entonces para el ion fierro, su carga será: $+ 3(1.6 \times 10^{-19}) = + 4.8 \times 10^{-19}$ coul

$$+ 3(4.8 \times 10^{-10}) = +14.4 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

Para el átomo de carbono con carga:

$$- 4(1.6 \times 10^{-19}) = - 6.4 \times 10^{-19} \text{ Coul}$$

$$- 4(4.8 \times 10^{-10}) = - 19.2 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

5.- Con ayuda de los razonamientos de los problemas anteriores encuentra:

a) La carga total de un átomo de Silicio
b) El signo y valor, de la carga del átomo de Silicio al ganar 4 electrones, en coul y en u.e.s.

c) El signo y valor de la carga del átomo de Silicio al perder 2 electrones.

El número átomico del Silicio es: 14.

Soluciones.- (a) La carga total de un átomo de Silicio es cero, pués el número de protones (14) debe ser igual al número de electrones (14) para que esté neutro electricamente, o sea:

carga total = - 14e + 14p = 0, pués la - carga del electrón y del protón son iguales en valor absoluto.

b) Al ganar 4 electrones, habrá exceso - de ellos, por lo que, la carga será - negativa y su valor es:

$$-4 \times 1.6 \times 10^{-19} = -6.4 \times 10^{-19} \text{ coul}$$

$$-4 \times 4.8 \times 10^{-10} = -19.62 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

c) Al perder 2 electrones, habrá 2 protones en exceso, por lo que, la carga - será positiva y su valor es:

$$+2 \times 1.6 \times 10^{-19} = +3.2 \times 10^{-19} \text{ coul}$$

$$+2 \times 4.8 \times 10^{-10} = +9.6 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

6.- Si la carga de un material es de $+ 2.4 \times 10^{-4}$ coul, ¿Cuántos protones tiene en exceso?

Solución.- Si usamos la siguiente relación:

$$\frac{2.4 \times 10^{-4}\ \cancel{\text{coul}}}{1.6 \times 10^{-19}\ \dfrac{\cancel{\text{coul}}}{\text{protón}}}$$

se eliminarán los coul de la relación -- quedando solamente protones, o sea:

$$1.5 \times 10^{15} \text{ protones}$$

7.- ¿Cuántos electrones debe ganar una partícula para que adquiera una carga de ---- -1.92×10^{-6} coul?

Solución.- Usando la siguiente relación:

$$\frac{-1.92 \times 10^{-6}\ \cancel{\text{coul}}}{-1.6 \times 10^{-19}\ \dfrac{\cancel{\text{coul}}}{\text{electrón}}}$$

Se eliminarán los coul de la relación, - quedando electrones, por lo tanto:

$$1.2 \times 10^{13} \text{ electrones}$$

8.- ¿Cuántos electrones son necesarios para una carga de - 1.0 coul?

Solución.- De nuevo, usando la relación:

$$\frac{-1\ \cancel{\text{coul}}}{-1.6 \times 10^{-19}\ \dfrac{\cancel{\text{coul}}}{\text{electrón}}} = 6.25 \times 10^{-17} \text{ electrones}$$

9.- ¿Cuántas veces más grande es la masa de un protón, con respecto a la masa de un electrón?

Solución.- Tomando las masas de la tabla 2-4-1:

$$m_p = 1.67252 \text{ X } 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_e = 9.1091 \text{ X } 10^{-31} \text{ Kg}$$

y dividiendo la m_p entre la m_e:

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{1.67252 \text{ X } 10^{-27} \cancel{\text{Kg}}}{9.1091 \text{ X } 10^{-31} \cancel{\text{Kg}}} = .1836 \text{ X } 10^{4}$$

o sea: $m_p = 1836\ m_e$

es decir, que la masa del protón es 1836 veces más grande que la masa del electrón.

10.-Expresar en el sistema: C.G.S., el valor de la constante de proporcionalidad de la ecuación de coulomb.

Solución.- En el sistema M.K.S., la constante, $k = 9 \text{ X } 10^{9} \dfrac{N - M^2}{coul^2}$, entonces, en el sistema C.G.S. la unidad de fuerza son las dinas, la unidad de longitud son los cms y la unidad de carga es la unidad electrostatica: U.E.S. y usando el Modelo de conversión de unidades:

$$9 \text{ X } 10^{9} \frac{N - M^2}{coul^2} = X \frac{dinas - Cm^2}{u.e.s^2}$$

$$9 \text{ X } 10^{9} \frac{N}{DINAS} \frac{M^2}{Cm^2} \frac{u.e.s^2}{coul^2} = X$$

$$9 \text{ X } 10^{9} \frac{10^{+5} \cancel{dinas}}{\cancel{dinas}} \frac{10^{4} \cancel{cm^2}}{\cancel{Cm^2}} \frac{u.e.s^2.}{(3X10^{9} \text{ u.e.s})^2} = X$$

$$\frac{9 \text{ X } 10^{18} \cancel{ues^2}}{9 \text{ X } 10^{8} \cancel{ues^2}} = X$$

$$1 \text{ X } 10^{10} = X$$

Entonces: $9 \text{ X } 10^{9} \dfrac{N - M^2}{coul^2} = 1X10^{10} \dfrac{dinas\text{-}cm^2}{ues^2} = k$

Recuerda que: $1 \text{ N} = 10^{5}$ dinas

$$1\ M^2 = 10^4\ cm^2$$

$$1\ \text{coul} = 3 \times 10^9\ \text{u.e.s.}$$

11.- Una carga punto de $+ 5 \times 10^{-5}$ coul se coloca a 5 cm de una segunda carga punto de $+ 4 \times 10^{-5}$ coul.

Calcular la magnitud, dirección y sentido de la fuerza que obra sobre cada carga.

Solución.- Anotemos los datos; --------

$q_1 = + 5 \times 10^{-5}$ coul, $q_2 = + 4 \times 10^{-5}$ coul,

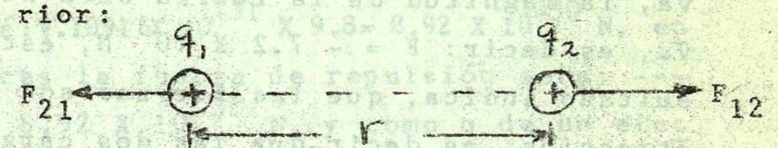
$r = 5$ cm $= .05$ M.

Para calcular la magnitud de la fuerza, hay que tener cuidado de que las unidades de los datos estén en el mismo sistema; M.K.S., usando la ecuación de Coulomb y sustituyendo:

$$F = k \frac{q_1\ q_2}{r^2} = 9 \times 10^9\ \frac{(+5 \times 10^{-5})(+4 \times 10^{-5})}{(.05)^2}$$

$$F = \frac{180 \times 10^{-1}}{25 \times 10^{-4}} = 7.2 \times 10^3\ \text{N (magnitud)}$$

La dirección de ésta fuerza, es la de la recta imaginaria que une a q_1 y q_2. El sentido de cada fuerza es opuesta a la otra, pués son fuerzas de repulsión. La siguiente figura aclarará lo anterior:



F_{21} = a la fuerza con que q_2 repele a la q_1		Sentidos de las dos fuerzas
F_{12} = a la fuerza con que q_1 repele a q_2		

Por la tercera Ley de Newton:

$$F_{21} = F_{12} = 7.2 \times 10^3\ \text{N}$$

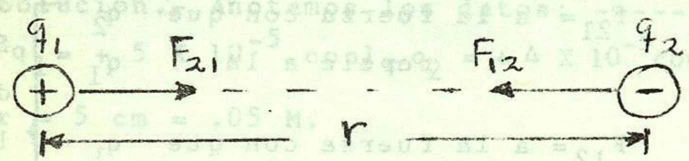
Si q_1 y q_2 fuesen negativas, los resultados y figura serían los mismos.

12.- Calcular la magnirud, dirección y sentido de cada fuerza del problema anterior si,

$q_1 = + 5 \times 10^{-5}$ coul y $q_2 = - 4 \times 10^{-5}$ coul

Solución.- Los datos son: $q_1 = + 5\times10^{-5}$ coul, $q_2 = - 4 \times 10^{-5}$ coul y $r = .05$ M.

Como los datos son los mismos numerica-- mente hablando, excepto que q_2 es negati va, la magnitud de la fuerza será negati va, es decir: $F = - 7.2 \times 10^3$ N, éste re sultado indica, que las fuerzas son de - atracción, es decir que las dos cargas - se atraerán:



F_{21} = La fuerza con que q_2 atrae a q_1

F_{12} = La fuerza con que q_1 atrae a q_2

Sentidos - de las --- fuerzas

y: $F_{21} = F_{12} = - 7.2 \times 10^3$ N (Magnitud)

La dirección de cada fuerza es a lo lar- go de la recta imaginaria que une a q_1 y q_2.

13.- ¿Qué separación debe haber entre dos -- electrones para que la fuerza de repul- sión sea igual al peso de uno de ellos?

Solución.- De acuerdo con la tabla ---- 2-4-1, la masa de un electrón es: ----- 9.1091×10^{-31} Kg, entonces su peso --- será: $9.1091 \times 10^{-31} \times 9.8 = 8.92 \times 10^{-30}$ N, en tonces la fuerza de repulsión será: --- $F = 8.92 \times 10^{-30}$ N, y como q de un elec trón es: 1.6×10^{-19} coul, usaremos la ecuación de coulomb, despejamos r y sus tituimos:

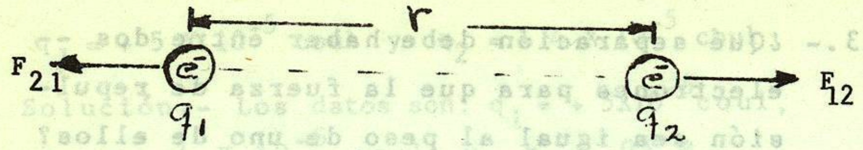
$$F = k\,\frac{q_1 q_2}{r^2}\ ,\quad r^2 = \frac{k\, q_1 q_2}{F}$$

$$r = \frac{k\, q_1 q_2}{F}\ ,\quad r = \frac{9\times10^9 \times(-1.6\times10^{-19})(-1.6\times10^{-19})}{8.92 \times 10^{-30}}$$

$$r = \frac{23.04 \times 10^{-29}}{8.92 \times10^{-30}} = 2.58 \times 10^1 = 25.8$$

$r = 5.08$ M

Problema y resultado los representaremos en el siguiente esquema:



14.- Encontrar la magnitud y signo de la carga, que obra sobre una carga de $+ 3 \times 10^{-6}$ -- coul, si la fuerza entre las dos es de -- $- 2 \times 10^{5}$ N y la distancia que las separa es de 10 cm.

Solución.- Anotemos los datos:

$q_1 = + 3 \times 10^{-6}$ coul, $q_2 = ?$ $F = -2 \times 10^{5}$ N,

$r = 10$ cm $= .10$ M y $k = 9 \times 10^{9} \dfrac{N - M^2}{coul^2}$

Como todos los datos anotados tienen sus unidades en el sistema M.K.S. al igual que las unidades de k y usando la ecuación de coulomb, despejando q_2 y sustituyendo:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad F r^2 = k q_1 q_2, \quad q_2 = \frac{F r^2}{k q_1}$$

$$q_2 = \frac{- 2 \times 10^{5} (.10)^2}{9 \times 10^{9} (+ 3 \times 10^{-6})}$$

$$q_2 = \frac{- 2 \times 10^{5} \times 1 \times 10^{-2}}{27 \times 10^{3}}$$

$$q_2 = - 7.4 \times 10^{-2} \text{ Coul}$$

Como la fuerza era negativa, q_2 debía -- ser negativa, pués q_1 es positiva y en-- tre las dos debe existir una fuerza de - atracción.

15.- Dos cargas iguales y del mismo signo, separadas una distancia de 20 cm, ejercen fuerzas de repulsión mutua de: 6×10^{3} N. Calcular el valor de las cargas.

Solución.- Los datos son: $r = 20$ Cm $= .20$ M, $F = 6 \times 10^{3}$ y $k = 9 \times 10^{9} \dfrac{N - M^2}{coul^2}$ y como $q_1 = q_2 = q$ -- pués las cargas son iguales:

$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2} = \frac{k q q}{r^2} = \frac{k q^2}{r^2}$$ y despejando q:

$$F r^2 = k q^2, \quad q^2 = \frac{F r^2}{k}, \quad q = \sqrt{\frac{F r^2}{k}},$$

Sustituyendo:

$$q = \sqrt{\frac{6 \times 10^{3} (.20)^2}{9 \times 10^{9}}} = \frac{6 \times 10^{3} \times 4 \times 10^{-2}}{9 \times 10^{9}}$$

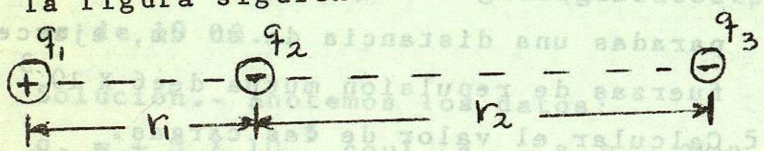
$$q = \sqrt{\frac{24 \times 10^{1}}{9 \times 10^{9}}} = 2.66 \times 10^{-8}$$

$q = 1.66 \times 10^{-4}$ coul

Este será el valor de cada carga,

o sea: $q_1 = q_2 = q = 1.66 \times 10^{-4}$ coul

16.- Tres cargas se encuentran alineadas según la figura siguiente:



Si $q_1 = + 4X10^{-3}$ coul, $q_2 = -5X10^{-3}$ coul y $q_3 = -8X10^{-4}$ coul

$r_1 = 3$ cm, $r_2 = 6$ cm.

Calcular la magnitud, dirección y sentido de la fuerza resultante que obra sobre la carga q_2.

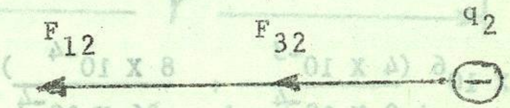
Solución.- Cuando son más de dos cargas, se aplicará el siguiente criterio: La carga problema será, aquella sobre la cual actúen dos o más fuerzas, cuyos sentidos se determinarán analisando los signos de todas las cargas incluyendo la carga problema.

En el presente caso, la carga problema es: q_2, el sentido de la fuerza F_{12} será hacia la izquierda, pués q_1 q_2 son de signo contrario. El sentido de la fuerza F_{32} es también de sentido hacia la izquierda, pués q_3 es del mismo signo que q_2.

Es decir, q_1 atrae a q_2, mientras que q_3 repele a q_2.

Observa que las fuerzas F_{21} y F_{23} no son tomadas en cuenta, pués corresponden a las fuerzas que ejerce q_2 sobre q_1 y q_3 respectivamente.

Entonces, el diagrama vectorial de fuerzas que obran sobre q_2, es:



Una vez que se han determinado los sentidos de las dos fuerzas actuantes: F_{12} y F_{32}, los signos de q_1, q_2 y q_3, ya no se incluyen en la ecuación de Coulomb, por lo tanto: