

Curso 2023/24



FUNDAMENTOS FÍSICOS INGENIERÍA

GRADO EN INGENIERÍA IA



TEMA 7. CAMPO ELÉCTRICO Y CORRIENTE ELÉCTRICA.

(Parte 1)

José L. Galán

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante

Tema 7.1 ELECTROESTÁTICA

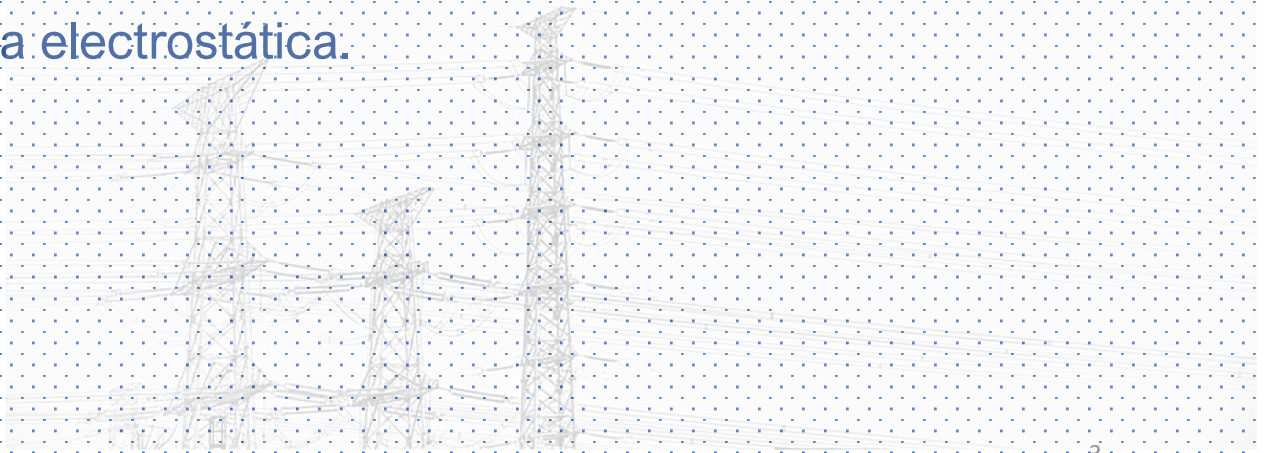
Bibliografía

- **Sears y Zemansky Física universitaria con física moderna.** Young, Hugh D. México: Pearson education, 2018. *ISBN*: 9786073221252 (v.1), 978-607-32-4440-4 (v.2)
- **Física para ciencias e ingeniería.** Serway, Raymond A. México : Cengage Learning, 2016. *ISBN*: 9786075192000 (v.1)/ 978-607-519-199-7 (v.2)
- **Física para la ciencia y la tecnología.** Tipler, Paul A.; Ramon Planas, Albert; Mosca, Gene. Barcelona: Reverté, 2010. *ISBN*: 978-84-291-4428-4 (o.c.)
- **Introducción al análisis de errores: el estudio de las incertidumbres en las mediciones física.** Taylor, John R. Barcelona : Reverté, 2014 *ISBN*: 978-84-291-5184-8

Contenidos

7.1. ELECTROESTÁTICA.

- 7.1.1. Electromagnetismo.
- 7.1.2. Carga eléctrica.
- 7.1.3. Aislantes, conductores, semiconductores y superconductores.
- 7.1.4. Carga y Fuerza electrostática.



Contenidos

7.2. CAMPOS ELÉCTRICOS Y LEY DE GAUSS.

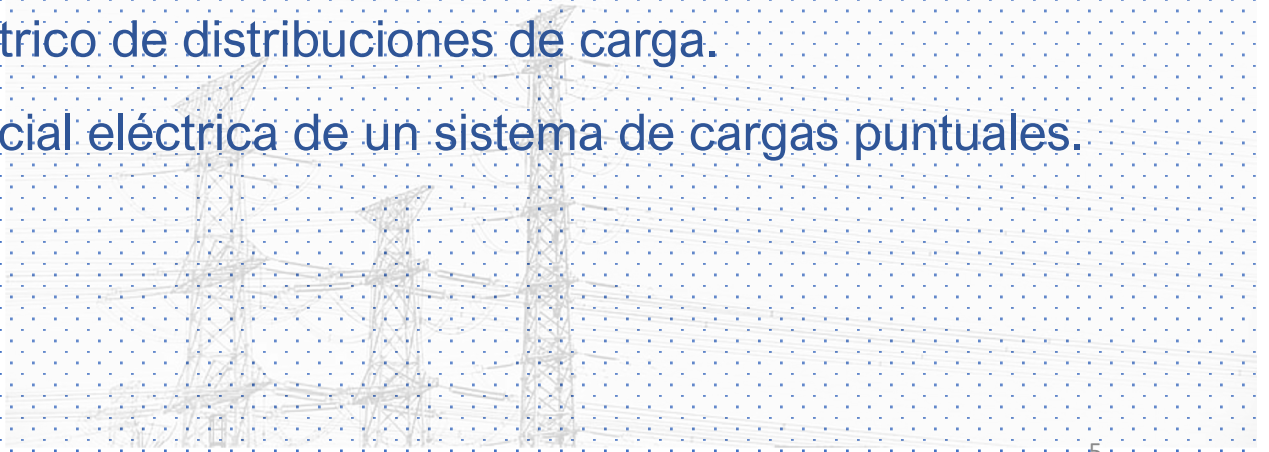
- 7.2.1. Campo eléctrico.
- 7.2.2. Campo eléctrico debido a cargas puntuales.
- 7.2.3. Campo eléctrico debido a un dipolo.
- 7.2.4. Fuerza debida a un campo eléctrico.
- 7.2.5. Flujo eléctrico.
- 7.2.6. Ley de Gauss.
- 7.2.7. Simetrías especiales.



Contenidos

7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- 7.3.1. Energía potencial eléctrica.
- 7.3.2. Definición de potencial eléctrico.
- 7.3.3. Superficies equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



Contenidos

7.4. CORRIENTE Y RESISTENCIA.

- 7.4.1. Corriente eléctrica.
- 7.4.2. Densidad de corriente.
- 7.4.3. Resistividad y resistencia.
- 7.4.4. FEM y ley de Ohm.
- 7.4.5. Resistencias en serie y paralelo.
- 7.4.6. Energía y potencia en circuitos eléctricos.
- 7.4.7. Introducción diodos.

Desarrollo Contenidos

- **7.1. ELECTROESTÁTICA.**
 - **7.1.1. Electromagnetismo.**
 - 7.1.2. Carga eléctrica.
 - 7.1.3. Aislantes, conductores, semiconductores y superconductores.
 - 7.1.4. Carga y Fuerza electrostática.



Relevancia:

La electrostática es la rama de la Física que ***estudia los efectos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de su carga eléctrica***; es decir, el estudio de las cargas eléctricas en reposo.

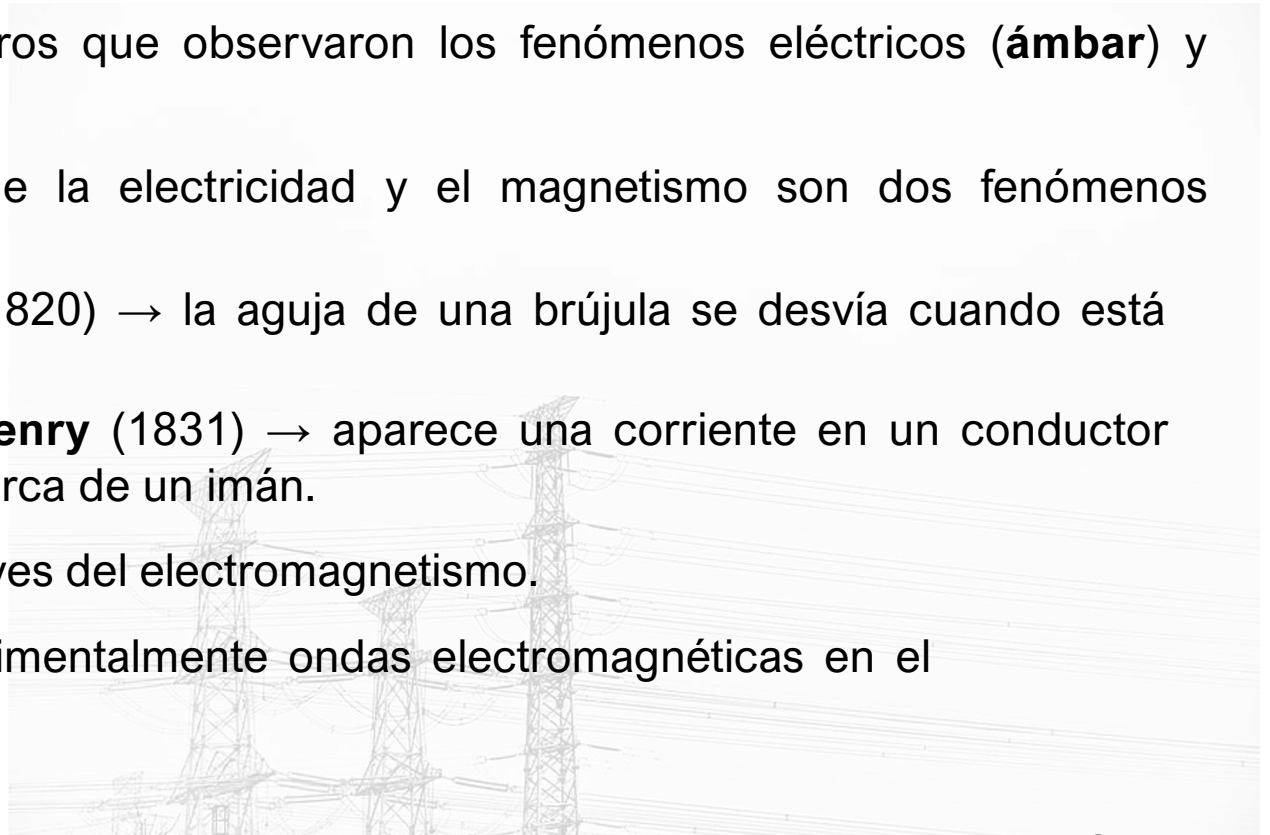
El estudio de la electrostática es de ***suma importancia para la construcción de instalaciones y aparatos eléctricos*** a fin de garantizar el correcto funcionamiento de los mismos.

Estudiaremos objetos con carga que no se mueven.



INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

- **Los griegos** fueron los primeros que observaron los fenómenos eléctricos (**ámbar**) y magnéticos (**magnetita**).
- En el **S:XIX** se descubrió que la electricidad y el magnetismo son dos fenómenos **relacionados**:
 - Experimento de **Oersted** (1820) → la aguja de una brújula se desvía cuando está cerca de una corriente.
 - Experimento de **Faraday-Henry** (1831) → aparece una corriente en un conductor circular cuando se mueve cerca de un imán.
- En 1873, **Maxwell** unificó las leyes del electromagnetismo.
- En 1888, **Hertz** produjo experimentalmente ondas electromagnéticas en el laboratorio.



INTRODUCCIÓN.

- Una **carga eléctrica en movimiento** origina un fenómeno denominado **magnetismo**.
- Todos los objetos tienen carga. **Las fuerzas que mantienen juntos a los átomos** y separados a los objetos son de naturaleza **eléctrica**.

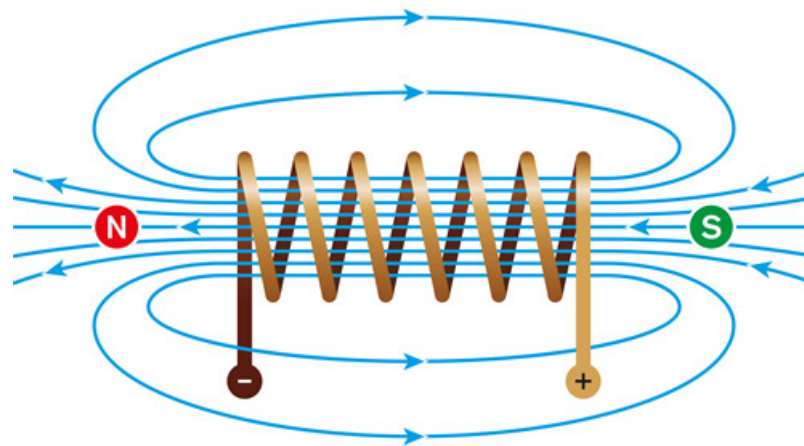
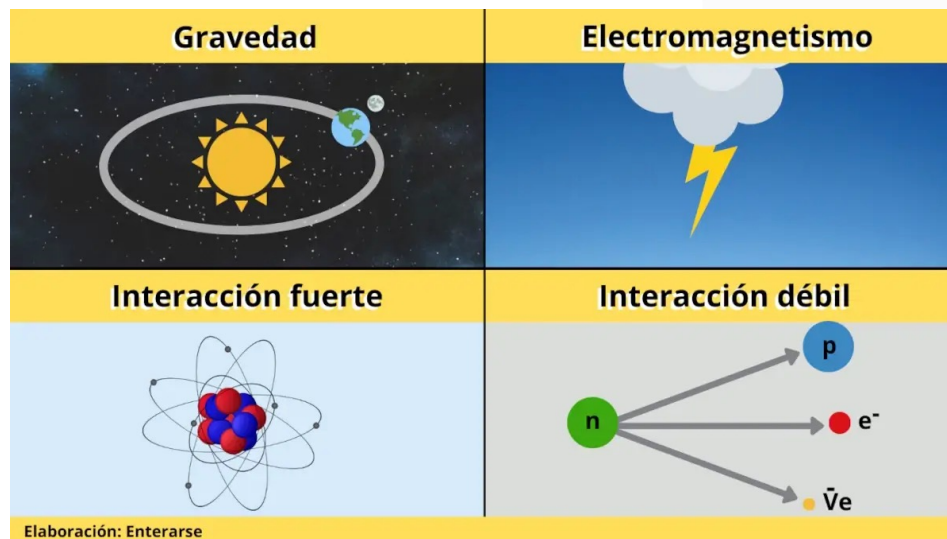


Imagen: Huertas Hurtado, A. (2018). *Campos y Electromagnetismo*. 2018.

- No observamos los efectos de la carga eléctrica porque **la mayor parte de los objetos son eléctricamente neutros.**
- La electricidad + magnetismo constituyen el **electromagnetismo**, una de las 4 fuerzas fundamentales de la naturaleza.

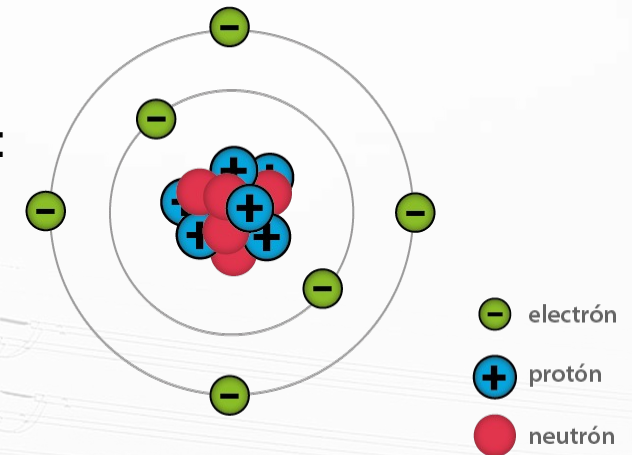


Desarrollo Contenidos

- **7.1. ELECTROESTÁTICA.**
 - **7.1.1. Electromagnetismo.**
 - **7.1.2. Carga eléctrica.**
 - 7.1.3. Aislantes, conductores, semiconductores y superconductores.
 - 7.1.4. Carga y Fuerza electrostática.

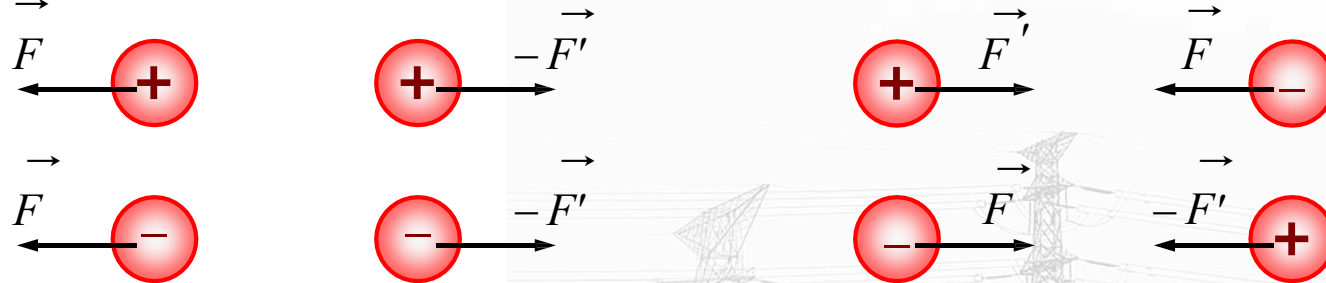


- Las **moléculas** son la parte más pequeña de una sustancia, y se componen de **átomos unidos entre sí**. Los átomos son la porción más pequeña de materia y se forman por partículas con carga eléctrica negativa los **electrones**, positiva los **protones** y los **neutrones** sin carga.
- Los 2 tipos de carga eléctrica que existe en la naturaleza:
 - **Carga positiva (+q)**
 - **Carga negativa (-q)**
- Los **objetos neutros** contienen el mismo nº de carga positiva y carga negativa que se cancelan entre sí. **El efecto de la carga eléctrica sólo es observable cuando existe desequilibrio.**



CARGA ELÉCTRICA: Puede ser **positiva (+)** o **negativa (-)**. Las cargas del mismo signo se repelen y las de signo opuesto se atraen, debido a la **interacción eléctrica (electromagnética)**.

LEY DE LAS CARGAS ELÉCTRICA. Cargas semejantes se repelen y cargas opuestas se atraen.

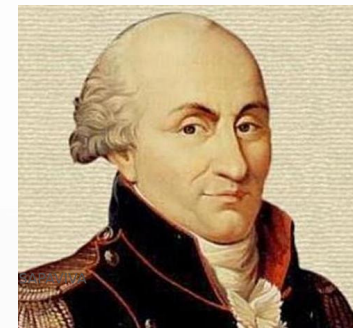


LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CARGA. La carga eléctrica total de un Sistema aislado se conserva. La carga no se crea ni se destruye, simplemente se **traslada** de un objeto a otro.

- La unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional de unidades (S.I.) es el **Culombio (C)**
- **Cuantización** de la carga eléctrica: La carga eléctrica observable es siempre **un múltiplo entero de una carga fundamental** (cuanto de carga) cuyo valor :

$$e = 1.602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Carga del electrón: $q_e = -e$
- Carga del protón: $q_p = +e$
- Carga del neutrón: 0 C



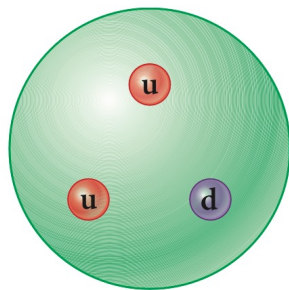
El culombio (coulomb) es una unidad de carga extremadamente grande. Suelen utilizarse unidades de: μC (micro, 10^{-6} C), nC (nano, 10^{-9} C) y pC (pico, 10^{-12} C).

- **La masa del electrón es mucho más pequeña** que la masa del protón o del neutrón.
- Los **electrones pueden removerse de los átomos con relativa facilidad** = Suelen ser los portadores típicos de carga eléctrica.

- El electrón es una partícula fundamental y carece de subestructura.
- El **protón** está compuesto por partículas cargadas denominadas **quarks**:
 - Los quarks se mantienen unidos por partículas no cargadas denominadas gluones.
- Los quarks tienen una carga de $\pm \frac{1}{3}e$ ó $\pm \frac{2}{3}e$
 - Un protón consta de 2 quarks arriba $2 \cdot (+\frac{2}{3}e)$ y 1 quark abajo $-\frac{1}{3}e$ y da como resultado:

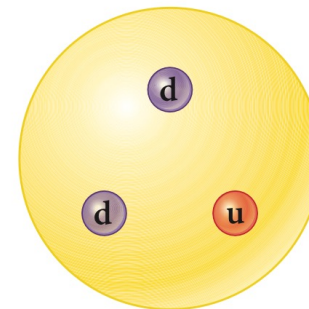
$$q_p = (2) \left(+\frac{2}{3}e \right) + (1) \left(-\frac{1}{3}e \right) = +e$$

- El neutrón eléctricamente neutro consta de 1 quark arriba y 2 quarks abajo.



Protón

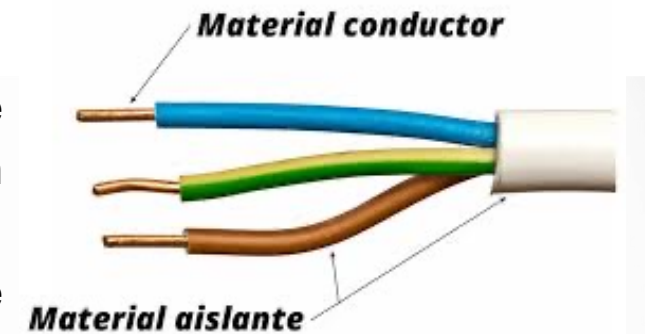
$$q_p = +\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +e$$



Neutrón

$$q_n = +\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0$$

- **AISLANTES** : Aquellos materiales que no conducen electricidad.
- **CONDUCTORES** : Aquellos materiales que conducen electricidad.
- **ESTRUCTURA ELECTRÓNICA** : Se refiere a la forma en la que los electrones están ligados al núcleo. Nos interesa la propensión relativa de los átomos de un material a donar o adquirir electrones.
 - **MATERIALES AISLANTES** . No existe un movimiento libre de electrones, al no tener electrones ligados débilmente. (vídrio, polímeros)
 - **MATERIALES CONDUCTORES** . Existe un movimiento libre de algunos electrones. (metales, grafito, agua de mar)
 - Las cargas + de los átomos de un material sólido conductor no se mueven dado que residen en los núcleos pesados.
 - En cambio, en los líquidos tanto las cargas + y - son móviles.



Desarrollo Contenidos

- **7.1. ELECTROESTÁTICA.**
 - **7.1.1. Electromagnetismo.**
 - **7.1.2. Carga eléctrica.**
 - **7.1.3. Aislantes, conductores, semiconductores y superconductores.**
 - 7.1.4. Carga y Fuerza electrostática.



■ SEMICONDUCTORES.

- Son materiales que **pueden cambiar de aislante a conductor y viceversa.**
- Descubiertos hace poco más de 50 años.
- Ley de Moore: Debido a los avances tecnológicos el poder de la CPU se duplica cada 18 meses.
- Existen dos tipos:
 - **Intrínsecos.** Es aquel que está formado por un solo tipo de átomo. Los más frecuentes y empleados son el **germanio** (Ge) y el **silicio** (Si).
 - **Extrínsecos.** Es el resultado de introducir átomos de otros elementos a fin de que el semiconductor primitivo pierda su pureza y gane en conductividad. Este proceso de impurificación se conoce como “**dopaje**”. Según el tipo de impureza que se le añada al semiconductor tendremos dos tipos de semiconductores extrínsecos: P y N.

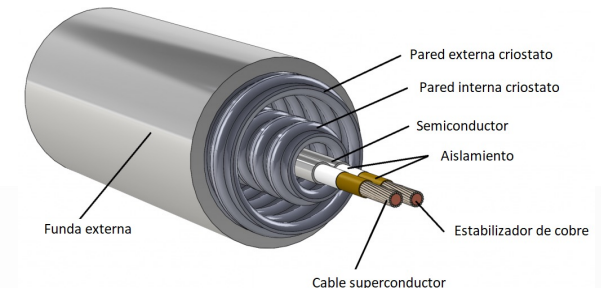


■ SUPERCONDUCTORES.

- Son materiales que **tienen resistencia 0 a la conducción** de electricidad, a diferencia de los conductores normales que tienen algunas pérdidas.
- Un superconductor típico es la **aleación de NIOBIO-TITANIO**, que debe mantenerse a muy bajas temperaturas para retener sus propiedades 4,2K, aprox. -270°C.

Todavía no se han encontrado superconductores a temperatura ambiente 300K (30°C) y presiones normales.

El último superconductor descubierto en 2021 es un compuesto de **hidruro de azufre carbonoso a una temperatura de 15 °C**. Sin embargo, la propiedad solo apareció a presiones extremadamente altas de 267.000 millones de Pa (N/m²).



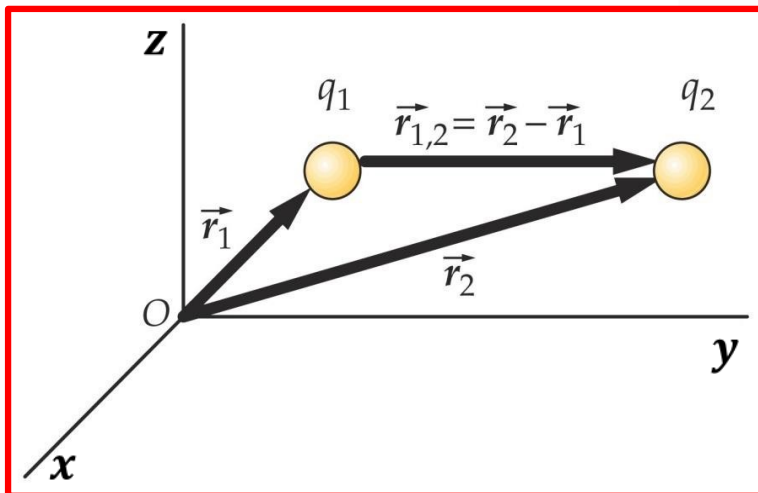
Desarrollo Contenidos

- **7.1. ELECTROESTÁTICA.**
 - **7.1.1. Electromagnetismo.**
 - **7.1.2. Carga eléctrica.**
 - **7.1.3. Aislantes, conductores, semiconductores y superconductores.**
 - **7.1.4. Carga y Fuerza electrostática.**



FUERZA ELECTROSTÁTICA: LEY DE COULOMB.

- **CARGA ELECTROESTÁTICA.** La electricidad estática no se crea, su aparición se debe a una distribución desigual y temporal de electrones. La carga electrostática no nace de la fricción de dos materiales, sino de la separación de dos superficies en contacto. Al separar dos superficies anteriormente unidas, se provoca un desequilibrio en la distribución de cargas que origina un campo electrostático.
- **La ley de Coulomb** proporciona la Fuerza ejercida por una carga q_2 sobre una carga q_1 . En forma vectorial:



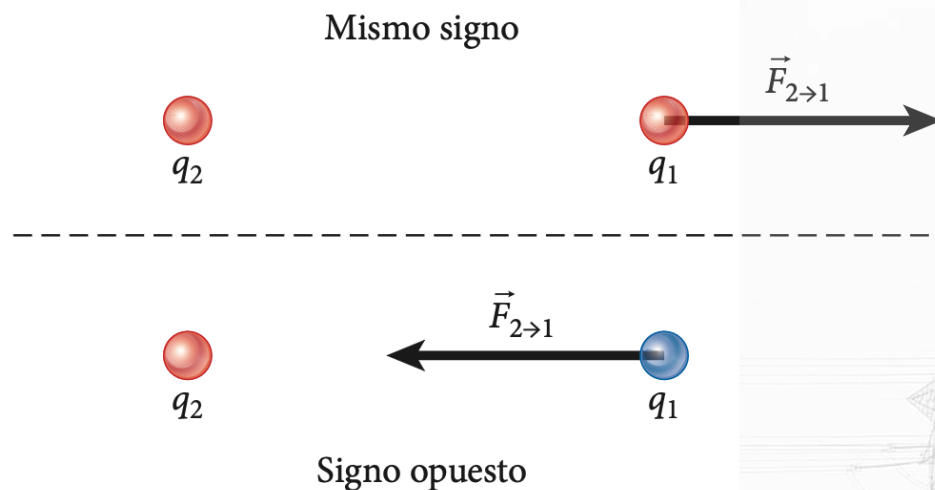
$$\vec{F}_{1,2} = \frac{kq_1q_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2}$$

$$r_{1,2} = |\vec{r}_{1,2}| \quad \text{Distancia entre las cargas}$$
$$\hat{r}_{1,2} = \frac{\vec{r}_{1,2}}{|\vec{r}_{1,2}|} \quad \text{Versor (vector unitario)}$$

FUERZA ELECTROSTÁTICA: LEY DE COULOMB.

- En términos matemáticos la **magnitud de F** es:

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



- Donde **k** es constante de Coulomb, en $(\text{N/m}^2)/\text{C}^2$.

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

- q_i** son cargas eléctricas en C.
- r** es la distancia entre las cargas q_i en m.

- Relación **k** y **permitividad eléctrica del vacío ε₀**:

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

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$$



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

FUERZA ELECTROSTÁTICA: Reflexión.

- Colocamos dos cargas **q** separadas entre sí una distancia **r**.
- A continuación **duplicamos** la magnitud de las **cargas**, y la **distancia** de separación también la duplicamos. **¿Cómo cambia la fuerza entre las dos cargas?**

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

**Instante 1**

$q_1 = q_2 = q$
Distancia = r

$$F = k \cdot \frac{|q^2|}{r^2}$$

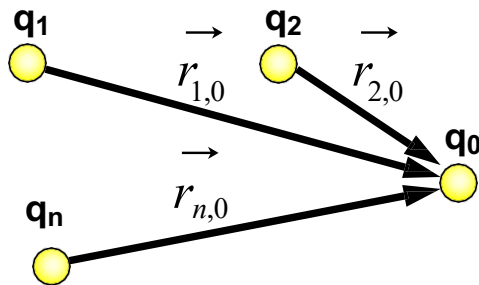
Instante 2

$q_1 = q_2 = 2q$
Distancia = $2r$

$$F = k \cdot \frac{|4q^2|}{4r^2}$$

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

- La fuerza total resultante sobre una carga puntual q_0 debida a n cargas puntuales q_1, \dots, q_n , es igual a la suma vectorial de las fuerzas individuales ejercidas por cada una de dichas cargas (q_i , $i=1, \dots, n$) sobre q_0 .

**Fuerza total ejercida sobre q_0**

$$\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{i,0} = \sum_{i=1}^n \frac{kq_i q_0}{r_{i,0}^2} \hat{r}_{i,0} = kq_0 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{i,0}^2} \hat{r}_{i,0}$$

Fuerza ejercida por q_i sobre q_0 

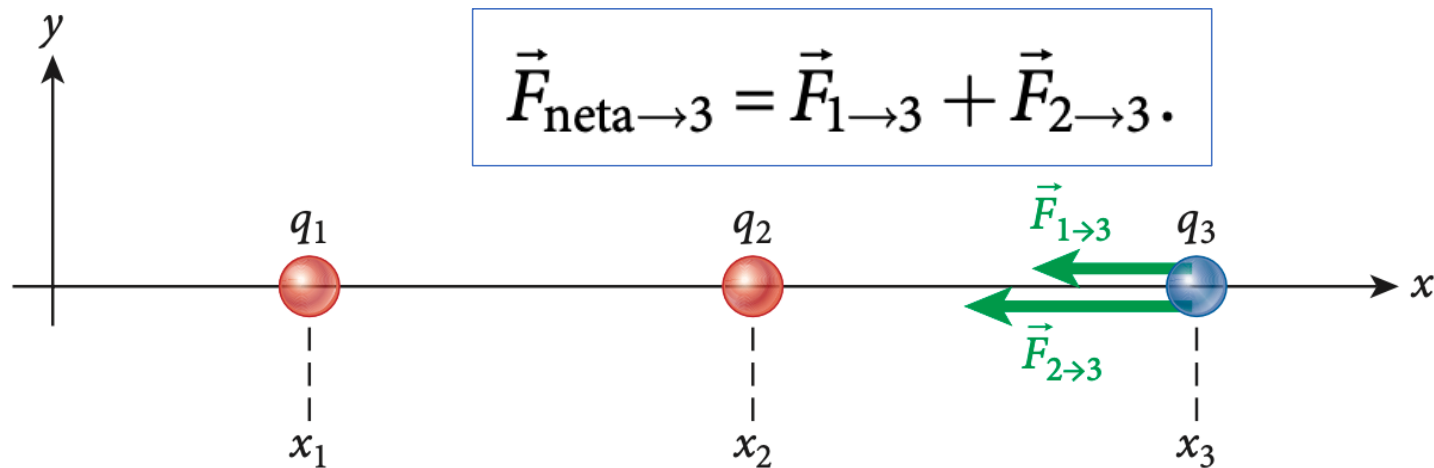
$$\vec{F}_{i,0} = \frac{kq_i q_0}{r_{i,0}^2} \hat{r}_{i,0}$$

$$r_{i,0} = |\vec{r}_{i,0}|$$

$$\hat{r}_{i,0} = \frac{\vec{r}_{i,0}}{|\vec{r}_{i,0}|}$$

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN. Ejemplo en espacio bidimensional.

- La fuerza que q_1 ejerce sobre q_3 no se ve afectada por la presencia de la carga q_2 , y así sucesivamente. Por lo tanto, si queremos obtener la **F neta** sobre la carga q_3 :



$$\vec{F}_{\text{neta} \rightarrow 3} = \vec{F}_{1 \rightarrow 3} + \vec{F}_{2 \rightarrow 3}.$$

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 3} = -\frac{kq_1q_3}{(x_3 - x_1)^2} \hat{x}.$$

$$\vec{F}_{2 \rightarrow 3} = -\frac{kq_2q_3}{(x_3 - x_2)^2} \hat{x}.$$

Ejemplo 1.

- Obtener la **magnitud** de la fuerza electrostática que une los dos protones dentro del núcleo de helio ejercen entre sí. Datos:

- $q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

- Distancia entre protones $r = 2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

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

$$F = k \frac{|q_p q_p|}{r^2} = \left(8.99 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(+1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(+1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(2 \cdot 10^{-15} \text{ m})^2} = 58 \text{ N.}$$

En consecuencia, los dos protones en el núcleo de un átomo de helio están siendo separados por una fuerza de 58 N.

Ejemplo 2.

- Obtener la **magnitud** de la fuerza electrostática entre un núcleo de oro (Au) y un electrón del átomo de oro en una órbita de radio $4,88 \cdot 10^{-12}$ m. Otros datos:
 - $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C
 - $q_N = +79 e = 79 (1,6 \cdot 10^{-19})$ C

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

$$F = k \frac{|q_e q_N|}{r^2} = \left(8,99 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \right) \frac{(1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}) [(79)(1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C})]}{(4,88 \cdot 10^{-12} \text{ m})^2} = 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ N}.$$

En consecuencia, la fuerza electrostática ejercida sobre un electrón en un átomo de oro por el núcleo es 100.000 veces menor que entre los protones del núcleo.

SEMEJANZA LEY DE COULOMB y LEY DE GRAVITACIÓN DE NEWTON

- La ley de Coulomb que describe la fuerza electrostática entre dos cargas eléctricas tiene una configuración matemática similar a la ley de Newton que describe la fuerza gravitacional entre dos masas:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{y} \quad F_e = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2},$$

Ambas Fuerzas son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre los cuerpos y ambas tienen constantes de proporcionalidad.

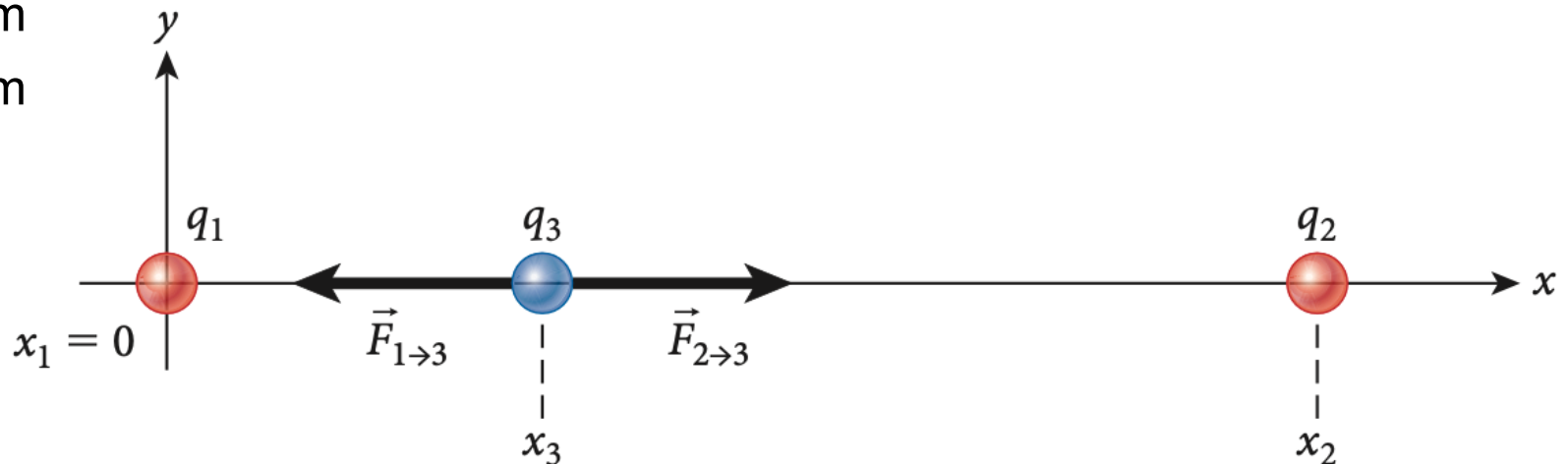
- **PROBLEMAS.**



PROBLEMA 1.

- Dos partículas cargadas q_1 y q_2 están colocadas conforme la figura adjunta. ¿Dónde debe colocarse una tercera partícula cargada q_3 , para que su emplazamiento sea un punto de equilibrio (Fuerza neta = 0)? Otros datos:

- $q_1 = 0,15 \mu\text{C}$
- $q_2 = 0,35 \mu\text{C}$
- $x_1 = 0,0 \text{ m}$
- $x_2 = 0,4 \text{ m}$



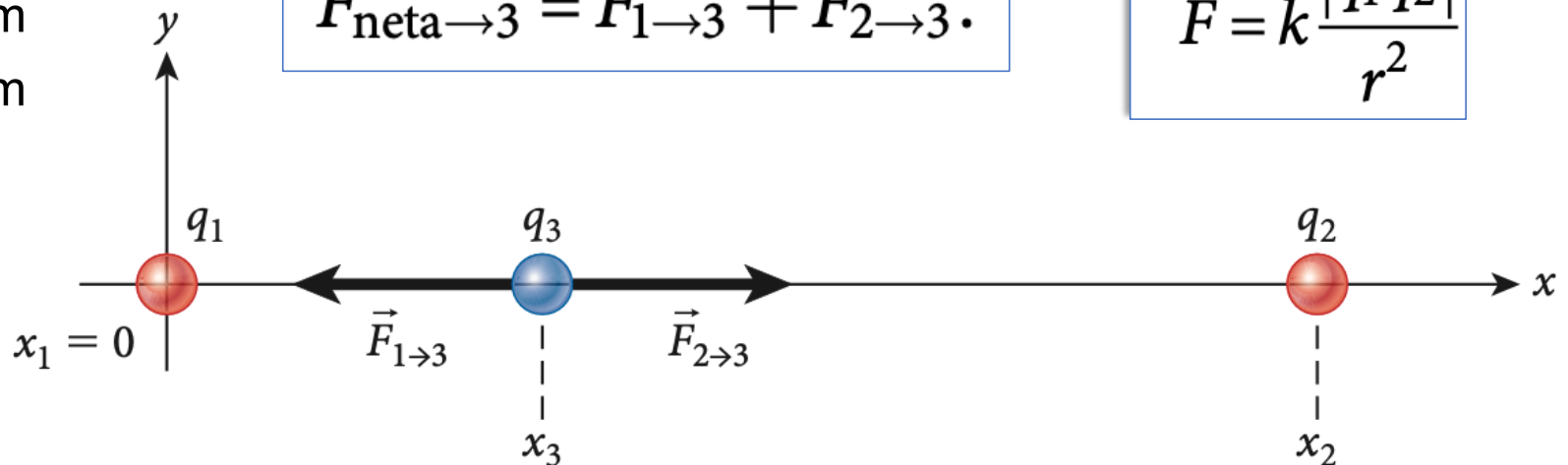
PROBLEMA 1. Resolución.

- Dos partículas cargadas q_1 y q_2 están colocadas conforme la figura adjunta. ¿Dónde debe colocarse una tercera partícula cargada q_3 , para que su emplazamiento sea un punto de equilibrio (Fuerza neta = 0)? Otros datos:

- $q_1 = 0,15 \mu\text{C}$
- $q_2 = 0,35 \mu\text{C}$
- $x_1 = 0,0 \text{ m}$
- $x_2 = 0,4 \text{ m}$

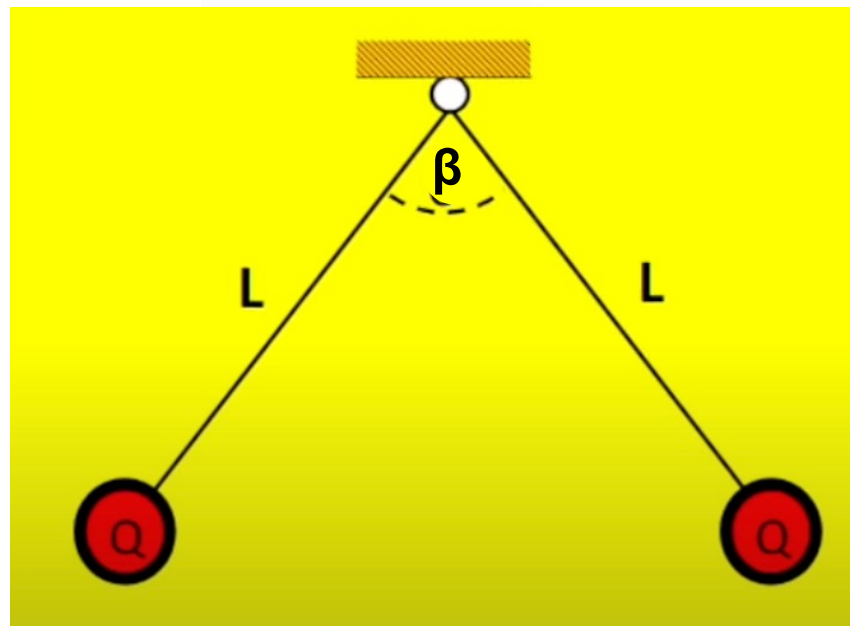
$$\vec{F}_{\text{neta} \rightarrow 3} = \vec{F}_{1 \rightarrow 3} + \vec{F}_{2 \rightarrow 3}.$$

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



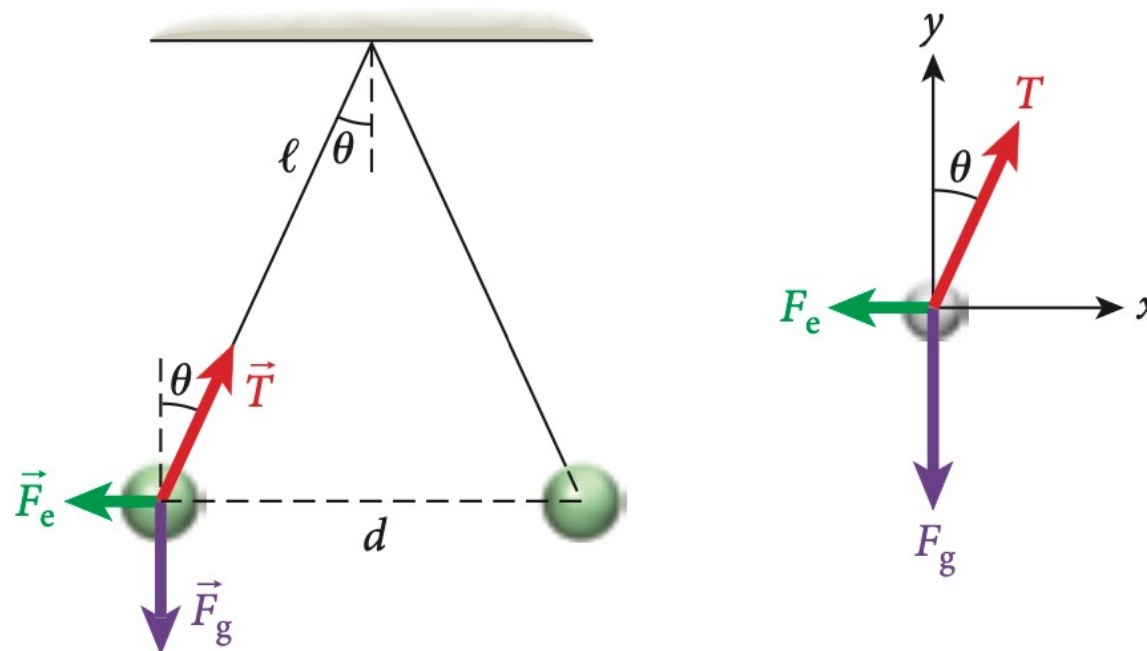
PROBLEMA 2.

- Dos esferas con carga idéntica $q=25,0\mu\text{C}$ cuelgan del techo suspendidas por cuerdas aislantes de la misma longitud, $L = 1,50\text{m}$. Las 2 esferas cuelgan en reposo y cada cuerda forma 25° con respecto a la vertical, siendo el ángulo $\beta = 50^\circ$ ¿Cuál es la masa de cada esfera?



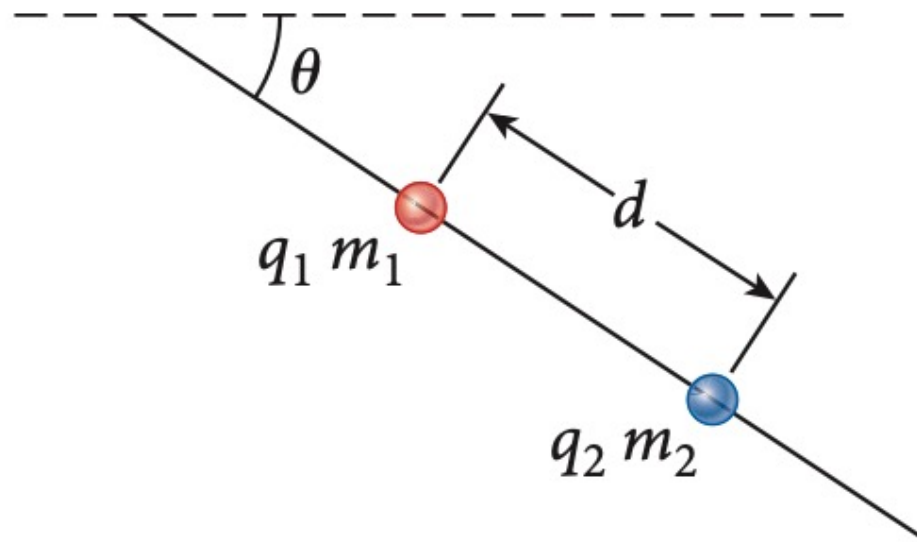
PROBLEMA 2. Resolución.

- Dos esferas con carga idéntica $q=25,0\mu\text{C}$ cuelgan del techo suspendidas por cuerdas aislantes de la misma longitud, $l = 1,50\text{m}$. Las 2 esferas cuelgan en reposo y cada cuerda forma 25° con respecto a la vertical. ¿Cuál es la masa de cada esfera?

■ DSL

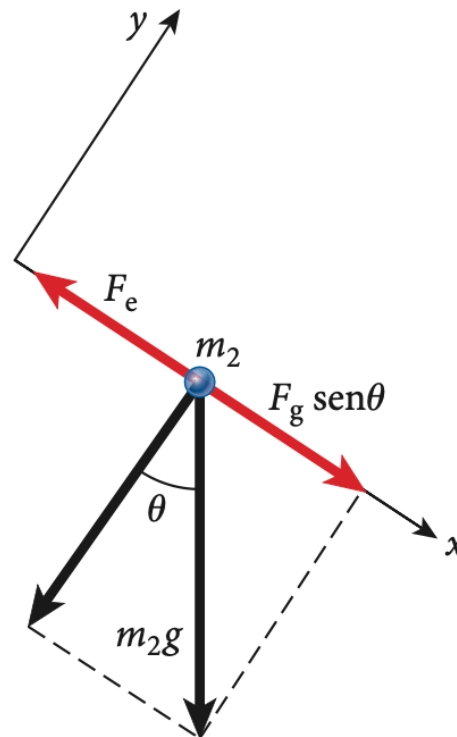
PROBLEMA 3. Una cuenta metálica con carga q_1 está fija sobre un cable aislante que forma un ángulo $\theta = 42,3^\circ$ con respecto a la horizontal. Una segunda cuenta metálica con carga q_2 se desliza sin fricción sobre el alambre. A una distancia $d = 0,38\text{m}$ entre las dos cuentas metálicas, la fuerza neta sobre la segunda cuenta q_2 es cero. ¿Cuál es la masa, m_2 de la segunda cuenta?. Otros datos:

- $q_1 = +1,28 \mu\text{C}$
- $q_2 = -5,06 \mu\text{C}$
- $d = 0,38 \text{ m}$



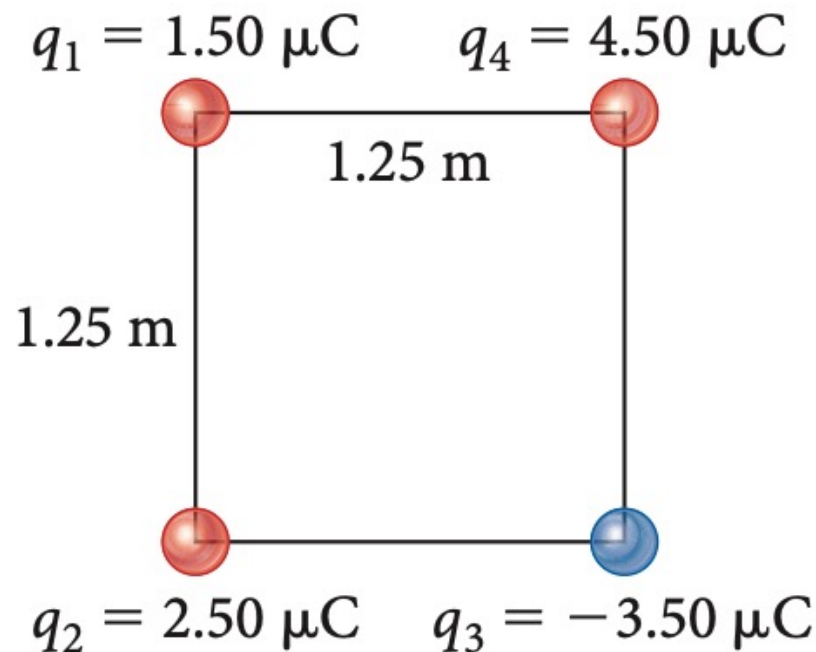
PROBLEMA 3. Resolución. Una cuenta metálica con carga q_1 está fija sobre un cable aislante que forma un ángulo $\theta = 42,3^\circ$ con respecto a la horizontal. Una segunda cuenta metálica con carga q_2 se desliza sin fricción sobre el alambre. A una distancia $d = 0,38\text{m}$ entre las dos cuentas metálicas, la fuerza neta sobre la segunda cuenta q_2 es cero. ¿Cuál es la masa, m_2 de la segunda cuenta?

■ DSL



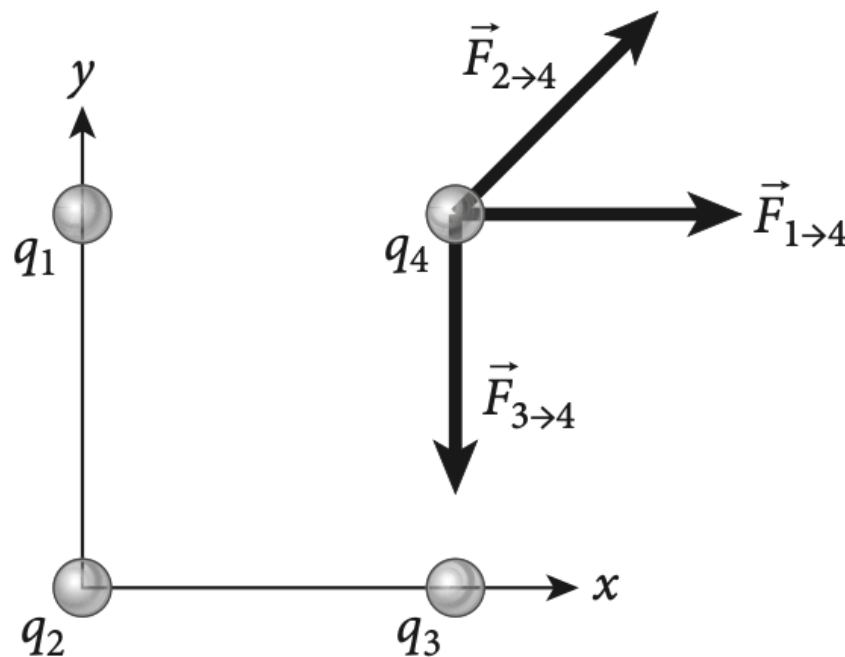
PROBLEMA 4. Considerar 4 cargas colocadas en los vértices de un cuadrado de 1,25m de lado. ¿Cuáles son la magnitud y dirección de la fuerza electrostática sobre q_4 resultante de las otras 3 cargas? Datos:

- $q_1 = +1,50 \mu\text{C}$
- $q_2 = +2,50 \mu\text{C}$
- $q_3 = -3,50 \mu\text{C}$
- $q_4 = +4,50 \mu\text{C}$
- Lado = 1,25 m



PROBLEMA 4. Resolución. Considerar 4 cargas colocadas en los vértices de un cuadrado de 1,25m de lado. ¿Cuáles son la magnitud y dirección de la fuerza electrostática sobre q_4 resultante de las otras 3 cargas? Datos:

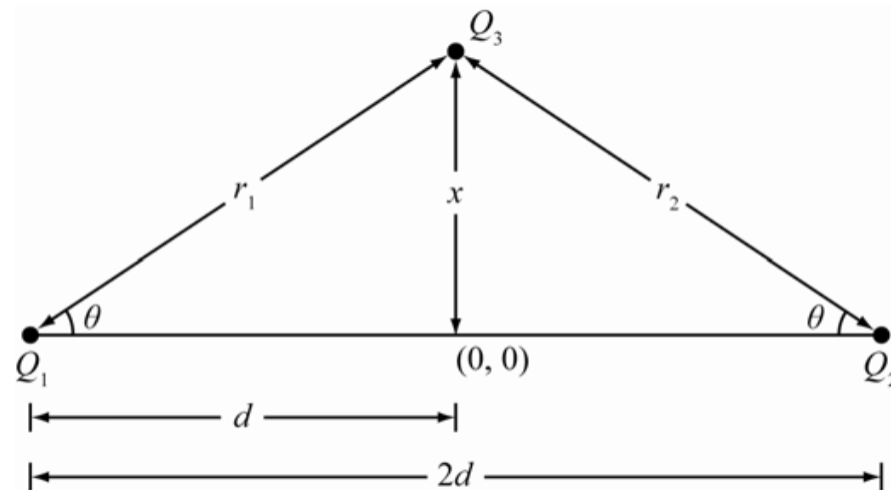
- $q_1 = +1,50 \mu\text{C}$
- $q_2 = +2,50 \mu\text{C}$
- $q_3 = -3,50 \mu\text{C}$
- $q_4 = +4,50 \mu\text{C}$
- Lado = 1,25 m



PROBLEMA 5. Considerar 2 cargas $q > 0$, cuyo valor es Q , colocadas a una distancia $2d$ de separación entre ambas. Se coloca una tercera carga $q_3 = -0,20Q$ en la mitad del camino entre las dos cargas positivas y se desplaza una distancia $x \ll d$, perpendicular a la recta que une las cargas positivas. **¿Cuál es la fuerza sobre esta carga?**

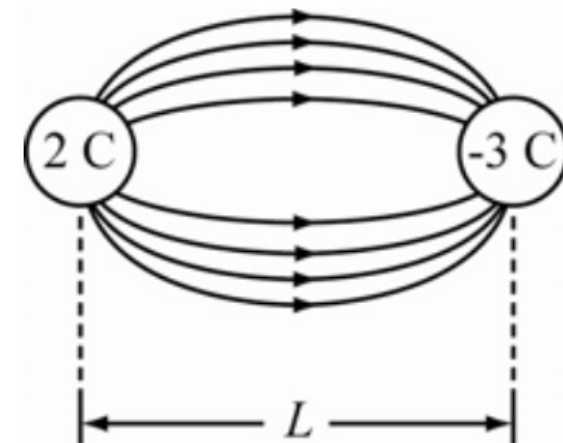
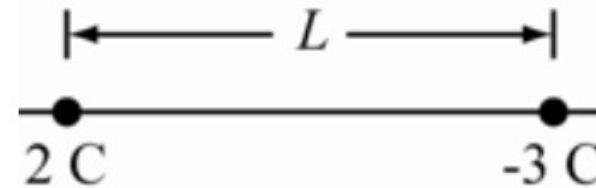
Para $x \ll d$, ¿cómo es posible aproximar el movimiento de la carga negativa?

- $q_1 = +Q \text{ C}$
- $q_2 = +Q \text{ C}$
- $q_3 = -0,20Q \text{ C}$
- Distancia $q_1 q_2 = 2d \text{ m}$



PROBLEMA 6. Dos cargas eléctricas $q_1 > 0$ y $q_2 < 0$ se colocan en una recta, a una distancia L . ¿Es factible colocar una partícula cargada, que tiene libertad de movimiento, en cualquier parte de la recta entre las dos cargas sin que tenga que moverse?

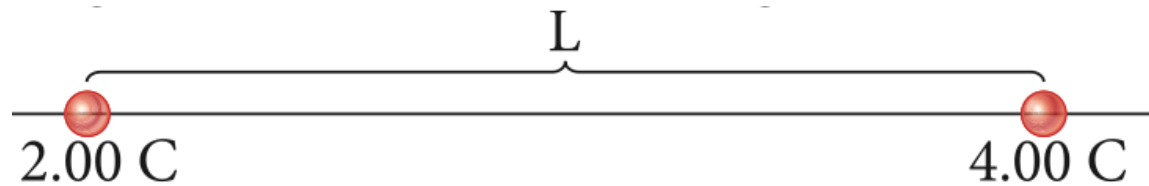
- $q_1 = +2,00 \text{ C}$
- $q_2 = -3,00 \text{ C}$
- Distancia $q_1 q_2 = L \text{ m}$



No es posible colocar una partícula cargada entre ambas cargas sin que se desplace, debido a que dependiendo de la carga de la partícula, esta será atraída o repelida por las cargas q_1 y q_2 .

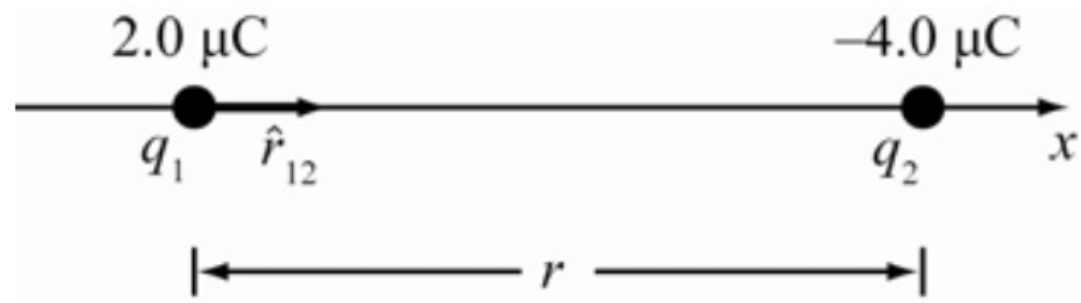
PROBLEMA 7. Dos cargas eléctricas $q_1 > 0$ y $q_2 > 0$ se colocan en una recta, a una distancia L . ¿En qué posición de la recta es posible colocar una tercera carga de modo que la fuerza sobre ésta sea cero? ¿El signo o la magnitud de la tercera carga afecta a la respuesta?

- $q_1 = +2,00 \text{ C}$
- $q_2 = +4,00 \text{ C}$
- Distancia $_{q_1 q_2} = L \text{ m}$



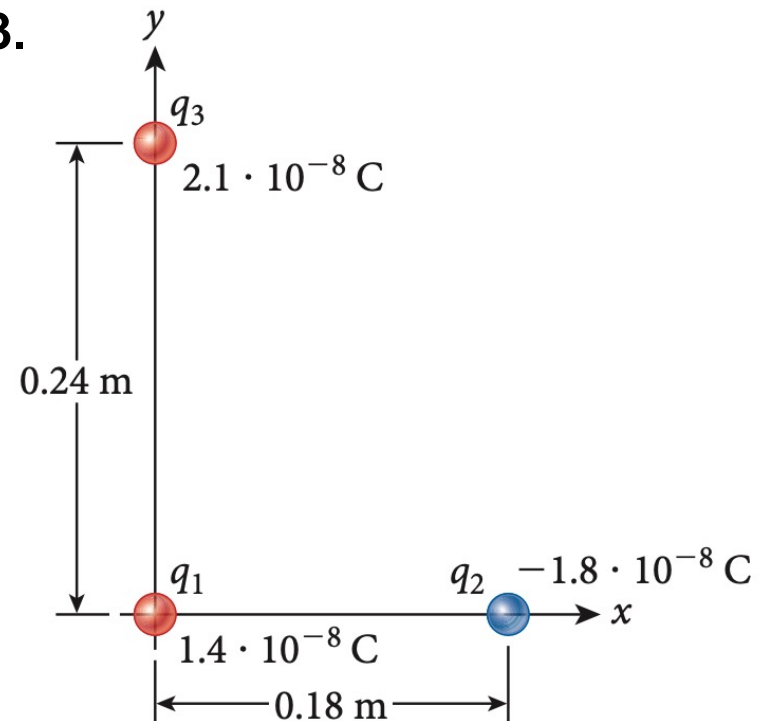
PROBLEMA 8. Una carga $q_2 < 0$ está a 20,0 cm a la derecha de la carga $q_1 > 0$ que se encuentran en una recta ¿Cuál es la fuerza sobre la carga q_2 ?

- $q_1 = +2,00 \mu\text{C}$
- $q_2 = -4,00 \mu\text{C}$
- Distancia $_{q_1 q_2} = 20,0 \text{ cm}$



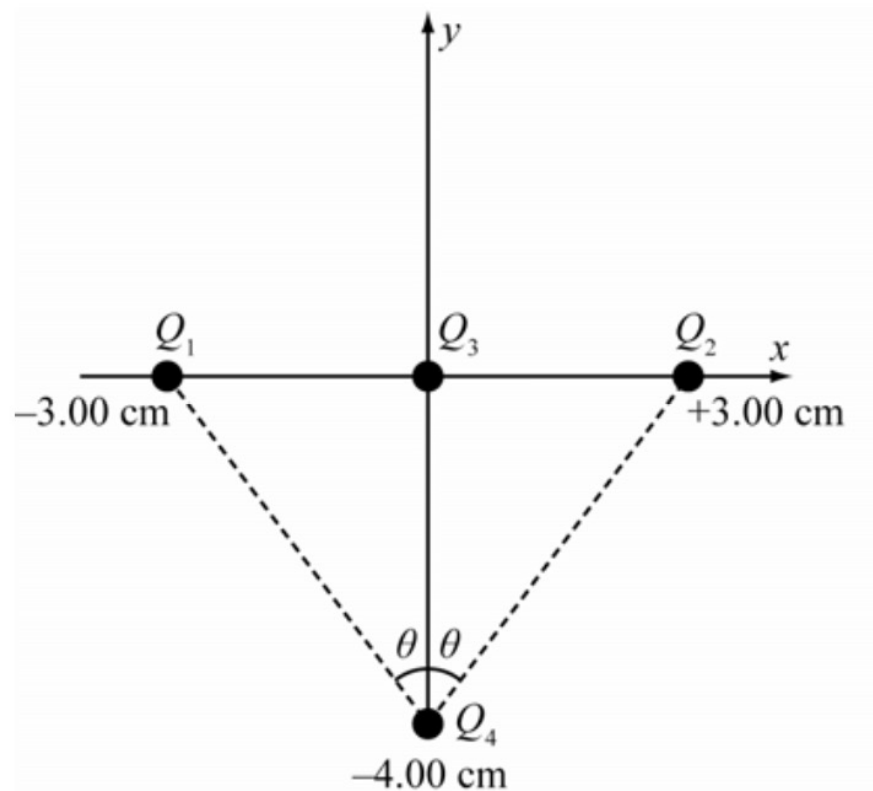
PROBLEMA 9. Una carga $q_1 > 0$ se coloca en el origen de coordenadas de un sistema bidimensional. Las cargas $q_2 < 0$ y $q_3 > 0$ se colocan en los puntos $(0.18, 0.00)\text{m}$ y $(0.00, 0.24)\text{m}$ respectivamente. **Determinar la fuerza electrostática neta (magnitud y dirección) sobre la carga q_3 .**

- $q_1 = +1,4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
- $q_2 = -1,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
- $q_3 = +2,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
- Posición q_1 $(0,0)\text{m}$
- Posición q_2 $(0.18, 0)\text{m}$
- Posición q_3 $(0, 0.24)\text{m}$



PROBLEMA 10. Cuatro cargas puntuales están colocadas en las siguientes coordenadas xy. **Calcular la fuerza neta sobre la carga q_4 debida al resto de cargas.**

- $q_1 = -1,0 \text{ mC}$
- $q_2 = -1,0 \text{ mC}$
- $q_3 = +1,024 \text{ mC}$
- $q_4 = +2,0 \text{ mC}$
- Posición q_1 $(-3,0)\text{cm}$
- Posición q_2 $(+3,0)\text{cm}$
- Posición q_3 $(0,0)\text{cm}$
- Posición q_4 $(0,-4)\text{cm}$



PROBLEMA 11. Dos cuentas con cargas $q_1=q_2=+2,67 \mu\text{C}$ están sobre una cuerda aislante que cuelga en forma recta del techo. La cuenta inferior está ubicada en el extremo de la cuerda y su masa es $m_1=0,280\text{kg}$. La segunda cuenta se desliza sin fricción sobre la cuerda. A una distancia $d=0,360\text{m}$ entre los centros de las cuentas, la fuerza de gravedad de la Tierra sobre m_2 es equilibrada por la fuerza electrostática entre las dos cuentas. ¿Cuál es la masa, m_2 , de la segunda cuenta?

- $q_1 = q_2 = +2,67 \mu\text{C}$
- $m_1 = 0,280 \text{ kg}$
- Distancia $q_1q_2 = 0,360 \text{ m}$

