

Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
 - Ejemplo 1
 - Ejemplo 2
- Campo eléctrico
 - Ejemplo 3
 - Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
 - Ejemplo 5

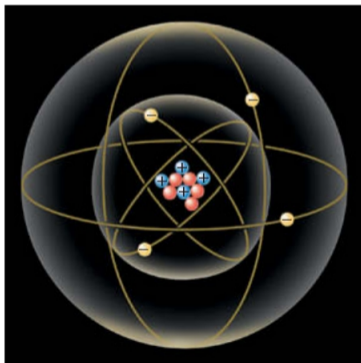
Fuerza eléctrica y campo eléctrico

Electricidad

Fuerza eléctrica
Ley de Coulomb
Ejemplo 1
Ejemplo 2
Campo eléctrico
Ejemplo 3
Ejemplo 4
Líneas de campo
Ley de Gauss
Ejemplo 5

La naturaleza eléctrica de la materia es inherente a su estructura atómica. Un átomo consta de un núcleo formado por partículas llamadas **protones** y **neutrones**. Orbitando alrededor de este, existe una nube de partículas llamadas **electrones** (según el modelo clásico de átomo)

⊖ electrón
⊕ protón
● neutrón



- Masa de las partículas subatómicas

$$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

- Carga de las partículas subatómicas

$$q_p = +e \quad q_n = 0 \quad q_e = -e$$

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

donde C (Coulombs) es la unidad de carga en el S.I.

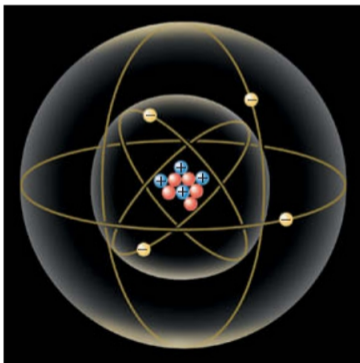
Electricidad

Fuerza eléctrica
Ley de Coulomb
Ejemplo 1
Ejemplo 2
Campo eléctrico
Ejemplo 3
Ejemplo 4
Líneas de campo
Ley de Gauss
Ejemplo 5

Los átomos normalmente se encuentran en la naturaleza con igual número de protones y electrones, es decir son eléctricamente neutros

Si adicionamos o quitamos electrones de la materia esta adquirirá una carga eléctrica neta

⊖ electrón
⊕ protón
● neutrón



- La magnitud de esa carga neta es:

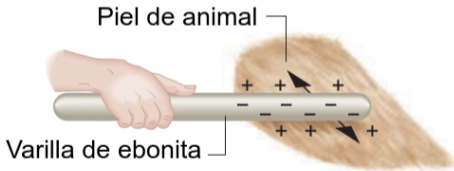
$$q = N e$$

donde N es el nro de electrones adicionados o removidos

Electricidad

Fuerza eléctrica
Ley de Coulomb
Ejemplo 1
Ejemplo 2
Campo eléctrico
Ejemplo 3
Ejemplo 4
Líneas de campo
Ley de Gauss
Ejemplo 5

Es posible transferir carga eléctrica de un objeto a otro. Por ejemplo si frotamos una varilla de ebonita con una piel animal, esta queda cargada negativamente debido a que captura electrones de la piel, mientras que esta última queda cargada positivamente debido a los electrones faltantes



- El cuerpo que pierde electrones tiene un exceso de carga (+)
- El cuerpo que gana electrones tiene un exceso de carga (-)

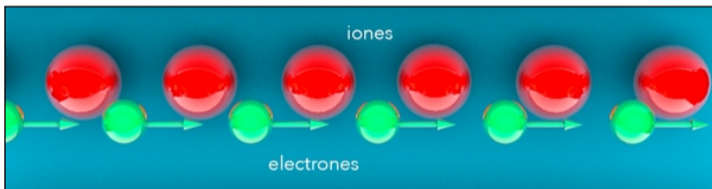
Ley de conservación de la carga eléctrica:

Durante cualquier proceso, la carga eléctrica neta de un sistema aislado permanece constante (se conserva)

Electricidad

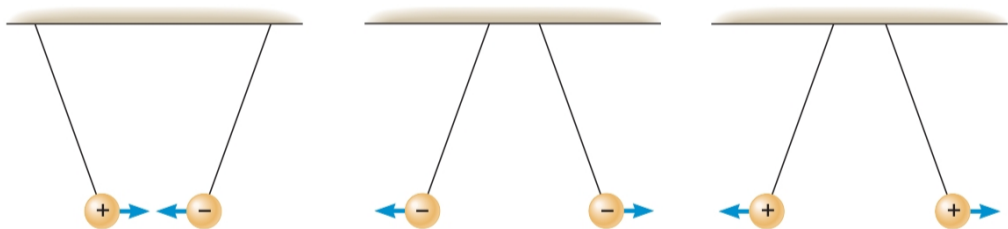
- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

La carga eléctrica además de existir en un objeto, puede moverse a través de este. Los materiales se clasifican según la capacidad que tienen de transportar carga en **conductores, semiconductores y aislantes eléctricos**



Esta clasificación depende de que tan ligados estén los portadores de carga a los núcleos atómicos. Cuanto más ligado, mas resistencia ofrece al transporte de carga

Es fácil demostrar que dos objetos cargados experimentan una fuerza entre si. Consideremos una serie de esferas cargadas, al situarlas próximas entre si, experimentalmente se encuentra el comportamiento descrito en la figura



- Las cargas de igual signo se repelen
- Las cargas de signo opuesto se atraen

Electricidad

Fuerza eléctrica

Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

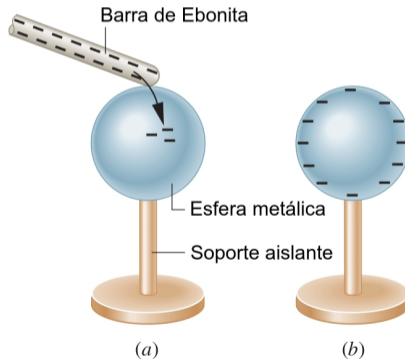
Ejemplo 4

Líneas de campo

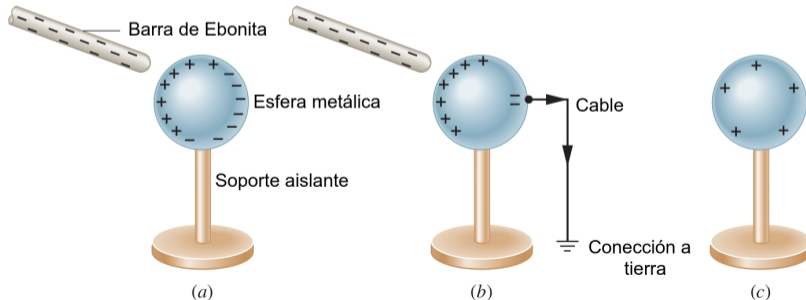
Ley de Gauss

Ejemplo 5

Cuando ponemos en contacto un objeto cargado con un material conductor, parte de las cargas se transfieren al conductor. Esta forma de cargar objetos se denomina **carga por contacto**



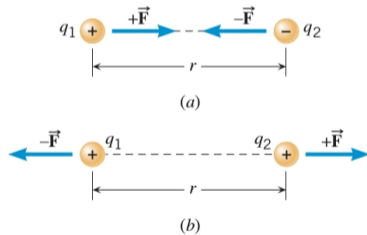
Podemos también cargar objetos sin contacto directo. Si acercamos un objeto cargado negativamente a un material conductor (a), este acercamiento provoca un reordenamiento de las cargas en el conductor. Posteriormente (b) se conecta un cable a tierra provocando que las cargas negativas fluyan hacia esta. Finalmente (c), removemos el objeto cargado y el material conductor queda cargado positivamente



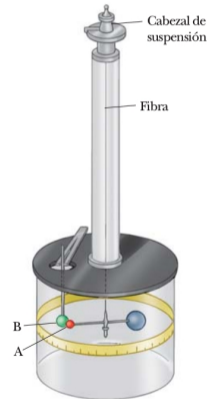
Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Charles Coulomb (1736-1806) midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas entre objetos con carga; para hacerlo utilizó una balanza de torsión, que él mismo inventó



Cada carga puntual ejerce una fuerza sobre la otra, la cual está dirigida a lo largo de la línea entre las cargas (r) y posee igual magnitud



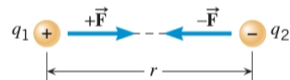
Estas mediciones permitieron a Coulomb caracterizar la fuerza entre cargas (fuerza electrostática) y establecer la ley que lleva su nombre

Ley de Coulomb:

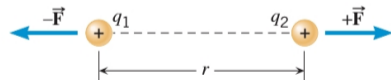
La magnitud de la fuerza electrostática ejercida por una carga puntual sobre otra carga puntual, es directamente proporcional a la magnitud de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

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



(a)



(b)

donde k_e es una constante conocida como constante eléctrica, la cual en el vacío tiene un valor de $k_e = 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. La constante (ϵ) se denomina y permitividad del medio y su valor varía dependiendo del medio en el que estén inmersas las cargas

Electricidad

Fuerza eléctrica

Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

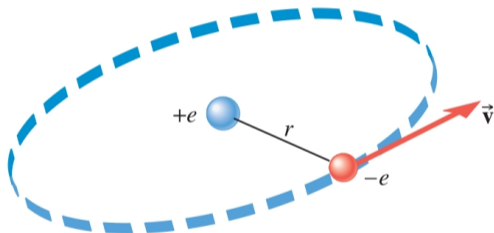
Ejemplo 4

Líneas de campo

Ley de Gauss

Ejemplo 5

En el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, el electrón está en órbita alrededor del protón del núcleo con un radio de $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$. Determinar la rapidez del electrón asumiendo una órbita circular



- La fuerza necesaria para mantener un movimiento circular es la fuerza centrípeta

$$F_c = m_e \frac{v^2}{r}$$

- En este caso la fuerza centrípeta viene dada por la fuerza eléctrica que experimenta el electrón, la cual podemos expresar mediante la ley de Coulomb

$$F_c = F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k_e \frac{e^2}{r^2}$$

Electricidad

Fuerza eléctrica
Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

Ejemplo 4

Líneas de campo

Ley de Gauss

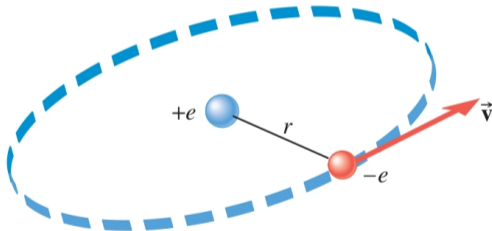
Ejemplo 5

En el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, el electrón está en órbita alrededor del protón del núcleo con un radio de $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$. Determinar la rapidez del electrón asumiendo una órbita circular

- por lo tanto se tiene

$$F_c = F_e \longrightarrow m_e \frac{v^2}{r} = k_e \frac{e^2}{r^2}$$

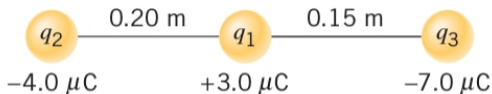
$$v = \sqrt{\frac{k_e e^2}{m_e r}} = \boxed{2.18 \times 10^6 \text{ m/s}}$$



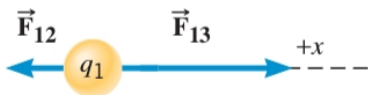
Electricidad

Fuerza eléctrica
 Ley de Coulomb
 Ejemplo 1
Ejemplo 2
 Campo eléctrico
 Ejemplo 3
 Ejemplo 4
 Líneas de campo
 Ley de Gauss
 Ejemplo 5

Determinar la magnitud y dirección de la fuerza neta sobre la carga q_1



- Primero realizamos el diagrama de cuerpo libre

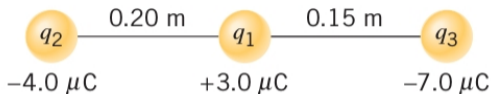


- Ahora calculamos \vec{F}_{12} y \vec{F}_{13}

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} (-\hat{x})$$

$$\vec{F}_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} (\hat{x})$$

Determinar la magnitud y dirección de la fuerza neta sobre la carga q_1



- Remplazando los valores se obtiene

$$\vec{F}_{12} = (8.99 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(3.0 \times 10^{-6}\ \text{C})(4.0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.20\ \text{m})^2} (-\hat{x}) = -2.7\ \text{N}\hat{x}$$

$$\vec{F}_{13} = (8.99 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(3.0 \times 10^{-6}\ \text{C})(7.0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.15\ \text{m})^2} (+\hat{x}) = 8.4\ \text{N}\hat{x}$$

$$\vec{F}_{\text{neto}} = -2.7\ \text{N}\hat{x} + 8.4\ \text{N}\hat{x} = \boxed{5.7\ \text{N}\hat{x}}$$

Electricidad

Fuerza eléctrica

Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

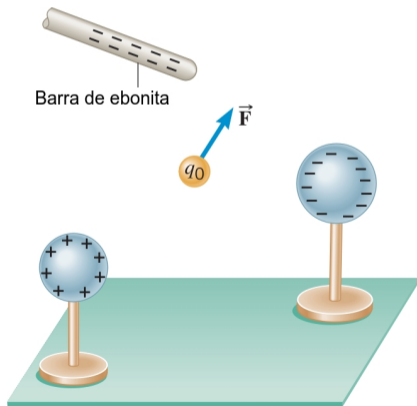
Ejemplo 4

Líneas de campo

Ley de Gauss

Ejemplo 5

Es útil considerar un “carga de prueba” q_0 , para investigar la fuerza que genera una distribución de cargas. Esta carga debe ser *muy pequeña* en magnitud, de manera tal que no altere las posiciones de las otras cargas



Definimos el **campo eléctrico** en un punto como la fuerza experimentada por una pequeña carga de prueba ubicada en ese punto, dividido por esa carga

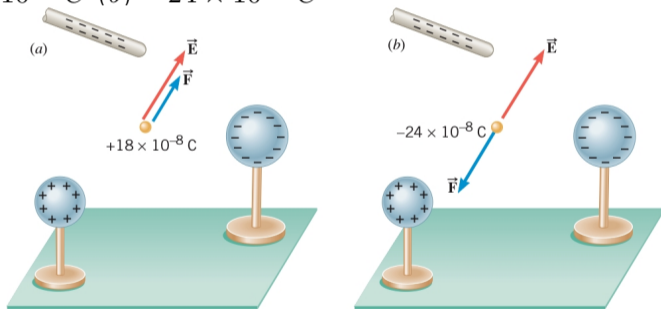
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

El campo eléctrico es la fuerza eléctrica por unidad de carga. Unidades en el S.I N/C

Electricidad

Fuerza eléctrica
 Ley de Coulomb
 Ejemplo 1
 Ejemplo 2
 Campo eléctrico
Ejemplo 3
 Ejemplo 4
 Líneas de campo
 Ley de Gauss
 Ejemplo 5

La distribución de cargas de la figura genera un campo eléctrico de 2.0 N/C en el punto indicado y en la dirección que se muestra en la figura. Determinar la magnitud de la fuerza que experimenta una carga situada en ese punto, si el valor de la carga es (a) $+18 \times 10^{-8} \text{ C}$ (b) $-24 \times 10^{-8} \text{ C}$



- a) $F = |q_0|E = (18 \times 10^{-8})(2.0 \text{ N/C}) = 36 \times 10^{-8} \text{ N}$
- b) $F = |q_0|E = (24 \times 10^{-8})(2.0 \text{ N/C}) = 48 \times 10^{-8} \text{ N}$

Electricidad

Fuerza eléctrica

Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

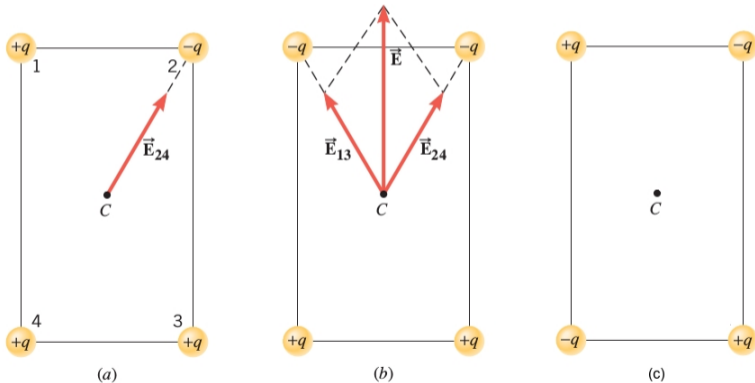
Ejemplo 4

Líneas de campo

Ley de Gauss

Ejemplo 5

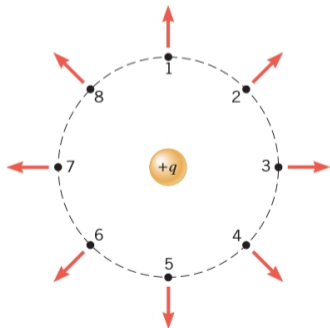
Cuatro cargas puntuales están fijas en los vértices de un rectángulo en tres configuraciones distintas (a, b y c). Las cargas poseen la misma magnitud pero diferentes signos. En cada caso: ¿Cómo es el \vec{E} en el centro del rectángulo? ¿Cuál es más fuerte?



Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Como hemos visto, las cargas eléctricas generan campos eléctricos en el espacio que las rodea. Resulta útil tener una especie de “mapa” que brinde información acerca de la dirección y magnitud en los distintos puntos del espacio. A tal fin, el físico inglés Michael Faraday (1791–1867) desarrolló el concepto de **líneas de campo** también llamadas líneas de fuerza

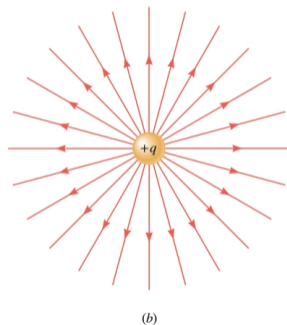
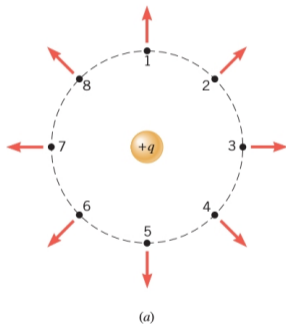


En cada uno de los 8 puntos, una carga de prueba positiva experimentará una fuerza repulsiva en dirección radial

Electricidad

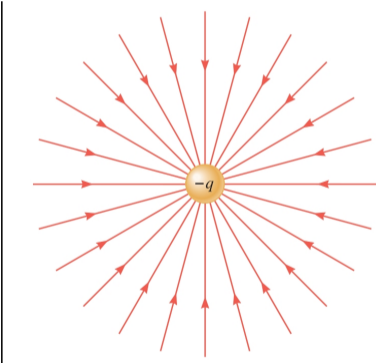
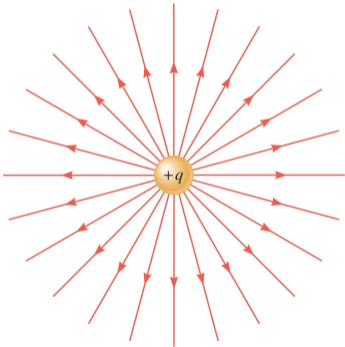
- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Las líneas de campo nos permiten visualizar la magnitud y dirección del campo (y la fuerza) en todo el espacio



Las flechas indican la dirección del campo mientras que la densidad de líneas indican la magnitud

Las líneas de campo son radiales y salientes en las cargas positivas mientras que en las cargas negativas son radiales y entrantes

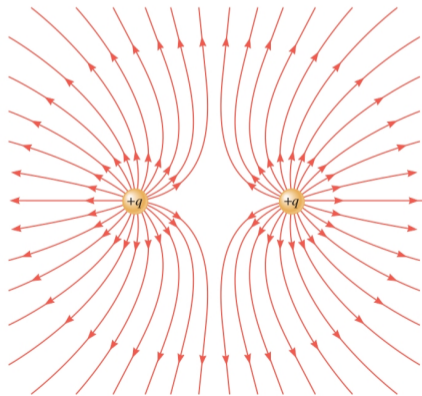
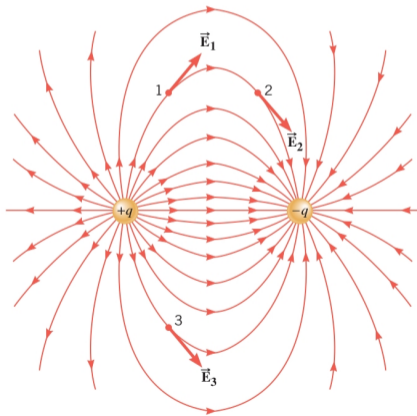


- Electricidad
- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

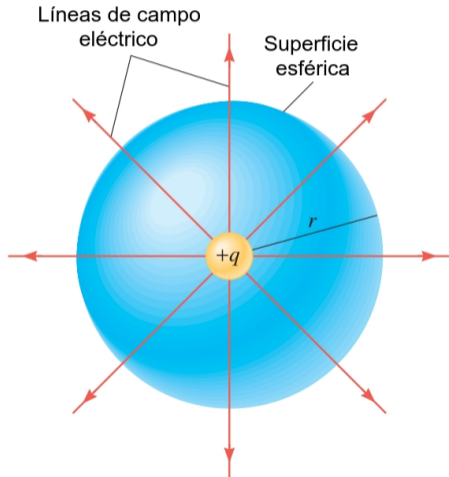
Las líneas de campo nacen en las carga positivas, terminan en cargas negativas y nunca se cruzan, dado que si lo hicieran no estaría definido el sentido de la fuerza en dicho punto



Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Consideremos el campo generado por una carga puntual positiva



El campo a una distancia r viene dado por

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 \underbrace{4\pi r^2}_{\text{área esfera}}} = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

podemos expresar entonces la siguiente relación para la carga puntual

$$E A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

La magnitud EA nos da información de cuanto campo (líneas de campo) está atravesando la superficie

Electricidad

Fuerza eléctrica

Ley de Coulomb

Ejemplo 1

Ejemplo 2

Campo eléctrico

Ejemplo 3

Ejemplo 4

Líneas de campo

Ley de Gauss

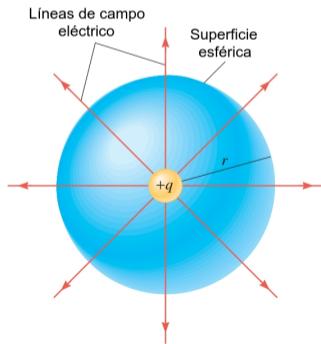
Ejemplo 5

definimos el flujo eléctrico (para un campo uniforme sobre la superficie) como

$$\Phi_E = E A \cos(\theta)$$

Unidades en el S.I Nm^2/C

siendo θ el ángulo entre el campo y la normal (vector perpendicular) a la superficie.
En el caso de la carga puntual $\theta = 0 \rightarrow \cos(\theta) = 1$



Podemos expresar entonces el flujo eléctrico, generado por la carga puntual, sobre la superficie esférica como

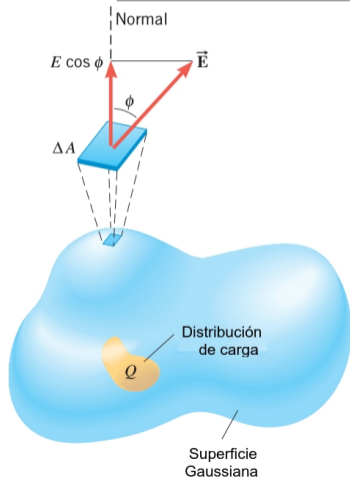
$$\Phi_E = E A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Esta ecuación nos dice que la carga encerrada por una superficie (en este caso $+q$) es directamente proporcional el flujo eléctrico Φ_E

Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

El matemático y físico Karl Friedrich Gauss (1777-1855), extendió el razonamiento anterior a cualquier distribución de carga y cualquier superficie



Para calcular el flujo eléctrico, consideramos pequeñas porciones de área tal que el campo sea constante en cada una y sumamos todas las contribuciones

$$\Phi_E = E_1 \Delta A_1 \cos(\theta_1) + E_2 \Delta A_2 \cos(\theta_2) \dots$$

$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n E_i \Delta A_i \cos(\theta_i)$$

La superficie que encierra la carga se suele denominar superficie gaussiana

Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Este resultado general le permitió a Gauss formular la ley que lleva su nombre

Ley de Gauss:

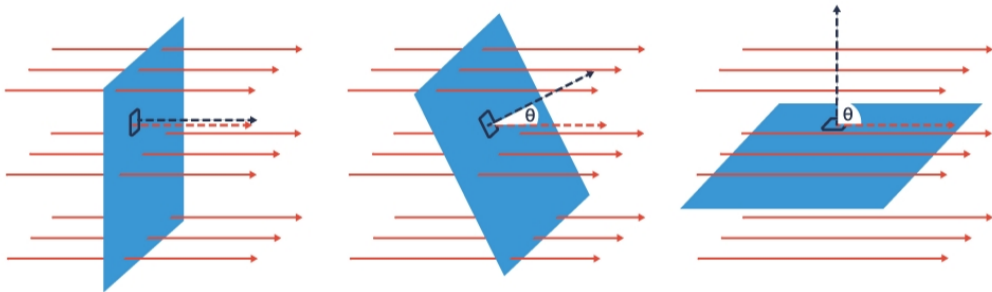
El flujo eléctrico a través de una superficie gaussiana es igual a la carga neta encerrada por esa superficie dividido por la permitividad del medio

$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n E_i \Delta A_i \cos(\theta_i) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Electricidad

- Fuerza eléctrica
- Ley de Coulomb
- Ejemplo 1
- Ejemplo 2
- Campo eléctrico
- Ejemplo 3
- Ejemplo 4
- Líneas de campo
- Ley de Gauss
- Ejemplo 5

Indique en cual de los caso el flujo eléctrico es mayor



Teniendo en cuenta que el campo eléctrico es constante a lo largo de cada una de las superficies podemos utilizar la siguiente expresión para el flujo eléctrico

$$\Phi_E = E A \cos(\theta)$$