

.... Carga Eléctrica

Se descubrió en el año 600 A.C. cuando los griegos frotaron ámbar contra lana. Benjamin Franklin denominó que existen cargas positivas y negativas. Las varillas de plástico y seda tienen carga negativa; varillas de vidrio y la piel tienen cargas positivas.

Dos cargas positivas se repelen entre sí, al igual que dos cargas negativas. Una carga positiva y una negativa se atraen.

Estructura de la materia: se describe en términos de tres partículas:

El electrón $\rightarrow$ carga negativa; el protón $\rightarrow$ carga positiva; y el neutrón $\rightarrow$ sin carga. Protón y neutrón son combinaciones de otras entidades llamadas

quarks, que tienen cargas de $+\frac{1}{3}$ y $+\frac{2}{3}$ de la carga del electrón.

Los protones y los neutrones en un átomo forman el núcleo, pequeño y muy denso, cuyas dimensiones son del orden de 10^{-15} m.

Los electrones cargados negativamente se mantienen dentro del núcleo estable de los átomos, debido al efecto de atracción de la fuerza nuclear fuerte, que vence la repulsión eléctrica entre los protones.

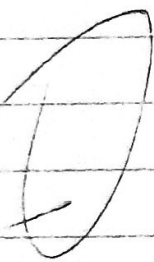


La mayoría del volumen del átomo está ocupado escasamente por electrones.

Núcleo



Diminuto en comparación con el resto del átomo, el núcleo contiene más del 99,9% de su masa.



⊕ Carga positiva (Protón):

Masa: $1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$

● Sin carga (Neutrón):

Masa: $1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$

⊖ Carga negativa (Electrón):

Masa: $9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Cargas de igual magnitud

+ En un átomo neutral, el número de electrones es igual al número de protones en el núcleo; en tanto que la carga eléctrica neta es exactamente igual a cero.

+ El número de protones o electrones en un átomo neutro de un elemento se denomina NÚMERO ATÓMICO del tal elemento. Si se pierden uno o más electrones, la estructura con carga positiva que queda se llama ION POSITIVO → ION POSITIVO de LITIO (Li^+)

3 protones 3^+

4 neutrones

2 electrones 2^-

Carga neta positiva

INTERACCIONES

- Gravitatoria
- Electromagnética
- N. Débil
- N. Fuerte

data

S T Q Q S S D

Un átomo negativo es aquel que ha ganado uno o más electrones

ION NEGATIVO → Ion negativo de litio (Li^-)

3 protones 3^+

4 neutrones

4 electrones 4^-

} Carga neta
Negativa

Tal ganancia o pérdida de electrones recibe el nombre de
IONIZACIÓN

+ $\text{Protones}_{\text{TOTAL}} = \text{Electrones}_{\text{TOTAL}} \Rightarrow \text{Carga}_{\text{TOTAL}} = 0 \Rightarrow$ CUERPO ELÉCTRICAMENTE
(NEUTRO)

+ Carga neta → no mayor a 10^{-12} de la carga negativa o positiva

La carga se conserva

Dos principios muy importantes:

* Principio de conservación de la carga - LA SUMA ALGEBRAICA DE TODAS LAS CARGAS ELÉCTRICAS EN CUALQUIER SISTEMA CERRADO ES CONSTANTE.

* LA MAGNITUD DE LA CARGA DEL ELECTRÓN O DEL PROTÓN ES LA UNIDAD NATURAL DE CARGA.

- La carga está cuantizada.
- La carga eléctrica no se divide en cantidades menores que la carga de un electrón o un protón.
- La carga de cualquier cuerpo macroscópico siempre es igual a cero o a un múltiplo entero (negativo o positivo) de la carga del electrón.

Conductores, aislantes y cargas inducidas

Los conductores permiten el movimiento fácil de las cargas a través de ellos; ejemplo: el cobre.

Los aislantes no tienen esa capacidad; ejemplo: cordón de nailon.

Algunos materiales se denominan semiconductores porque tienen propiedades intermedias entre los de buenos conductores y buenos aislantes.

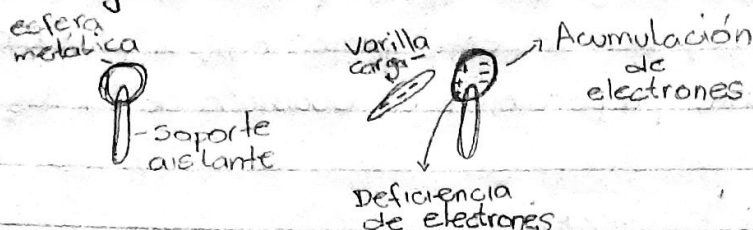
Carga por inducción

Una esfera de metal se puede cargar usando un alambre de cobre y una varilla de plástico eléctricamente cargada.

En este proceso, algunos de los electrones excedentes en la varilla se transfieren hacia la esfera, lo cual deja a la varilla con una carga negativa más pequeña. Este proceso se llama carga por inducción.

(cargas excedentes = cargas inducidas).

El sistema alcanza el equilibrio donde la fuerza hacia la derecha sobre un electrón, debida a la varilla cargada, queda equilibrada por la fuerza hacia la izquierda debida a la carga inducida.



Fuerzas eléctricas en objetos sin carga

Se observa que un cuerpo con carga ejerce fuerzas aún sobre objetos que no están cargados.

Esta interacción es un efecto de carga inducida. Incluso en un aislante, las cargas eléctricas pueden desplazarse un poco en un sentido u otro cuando hay otra carga cerca.

Un objeto con carga de cualquier signo ejerce una fuerza de atracción sobre un aislante sin carga.

Ley de Coulomb

En 1784 Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudió con mucho detalle las fuerzas de atracción de partículas cargadas. Para cargas puntuales, cuerpos cargados muy pequeños en comparación con la distancia r que los separa, Coulomb descubrió que la fuerza eléctrica es proporcional a $1/r^2$; cuando se duplica la distancia r , la fuerza disminuye a $1/4$ de su valor inicial, cuando la distancia disminuye a la mitad, la fuerza incrementa cuatro veces su valor inicial.

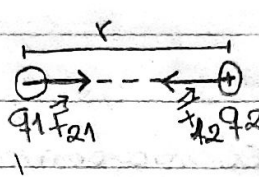
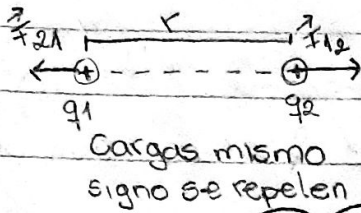
La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales también depende de la cantidad de carga en cada cuerpo.

Representada con q o Q .

Descubrió que las fuerzas que dos cargas puntuales q_1 y q_2 ejercían una sobre la otra eran proporcionales a cada carga, por lo que también eran proporcionales a su producto $q_1 q_2$.

Ley de Coulomb: La magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Interacciones entre cargas puntuales



Los cargos de signo contrario se atraen.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$\vec{F}_{12} = F_{21}$$

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

La magnitud F de la Fuerza que cada una de las dos cargas puntuales, q_1 y q_2 , separados una distancia r , ejerce sobre la otra se expresa como

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

se utiliza la notación de valor absoluto porque los $q_1 q_2$ pueden ser positivos o negativos

la magnitud de la F siempre es positiva

constante

valor numérico

depende del sistema

de unidades que se emplee.

* Cuando las cargas tienen el mismo signo, $+$ o $-$, las fuerzas son de repulsión

* Cuando tienen signo contrario son fuerzas de atracción

* Las dos fuerzas obedecen la tercera Ley de Newton, siempre tienen la misma magnitud y dirección opuesta, aun cuando las cargas no tengan igual magnitud.

Constantes eléctricas fundamentales.

La unidad del SI para la carga eléctrica se llama Coulomb (1C).

En unidades del SI, la constante k es: $k = 8,987551787 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
 $\approx 8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

En unidades del SI, la constante k de la ecuación se escribe por lo general como $1/4\pi\epsilon_0$ donde ϵ_0 ("épsilon cero") es otra constante.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \rightarrow \text{Fuerza entre 2 q puntuales.}$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2 \quad \text{y} \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k = 8,988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Superposición de fuerzas

Los experimentos demuestran que cuando dos cargas ejercen fuerzas de manera simultánea sobre una tercera carga, la fuerza total que actúa sobre esa carga es la suma vectorial de las fuerzas que las dos cargas ejercerían individualmente. Se conoce como Principio de superposición de fuerzas, se cumple para cualquier número de cargas.

El campo eléctrico y las fuerzas eléctricas

La fuerza eléctrica sobre un cuerpo cargado es ejercida por el campo eléctrico que otros cuerpos cargados originan.

Se define el campo eléctrico $\vec{E}$ en un punto como la fuerza eléctrica $\vec{F}_0$ que experimenta una carga de prueba q_0 en dicho

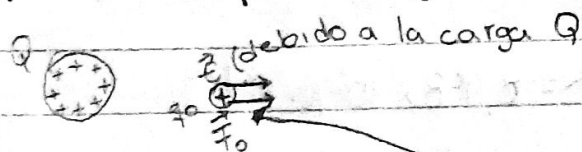
punto, dividida entre la carga q_0 . Es decir, el campo eléctrico en cierto punto es igual a la fuerza eléctrica por unidad de carga que una carga experimenta en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \rightarrow \text{Def. de campo eléctrico como fuerza eléctrica por unidad de carga.}$$

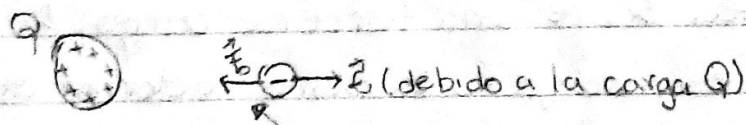
En unidades del SI, la magnitud del campo eléctrico es 1 newton por coulomb (1 N/C)

$$\vec{F}_0 = q_0 \vec{E} \rightarrow \text{Fuerza ejercida sobre una carga puntual } q_0 \text{ por un campo eléctrico } \vec{E}.$$

La carga q_0 puede ser positiva o negativa. Si q_0 es positiva, la fuerza $\vec{F}_0$ experimentada por esa carga tiene la misma dirección que $\vec{E}$, si q_0 es negativa, $\vec{F}_0$ y $\vec{E}$ tienen direcciones opuestas.



La fuerza sobre una carga de prueba positiva q_0 apunta en la dirección del campo eléctrico

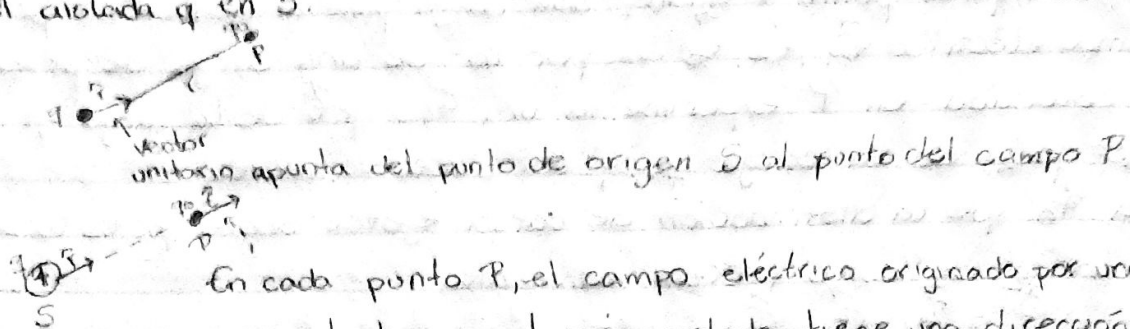


La fuerza sobre una carga de prueba negativa q_0 apunta en dirección contraria a la del campo eléctrico.

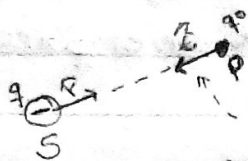
El campo eléctrico de una carga puntual

Si la fuente de distribución es una carga puntual q . La ubicación de la carga la llamamos el punto de origen; y al punto P donde se determina el campo, el punto del campo.

Campo eléctrico $\vec{E}$ producido en el punto P por una carga puntual aislada q en S.



En cada punto P, el campo eléctrico originado por una carga puntual q, positiva y aislada, tiene una dirección que se aleja de la carga en la misma dirección que $\hat{r}$.



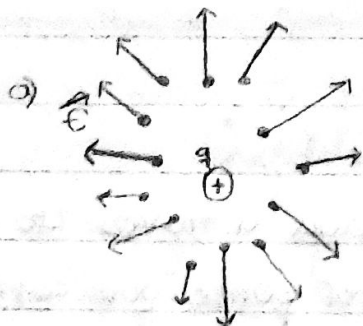
En cada punto P, el campo eléctrico originado por una carga puntual q, negativa y aislada, tiene una dirección hacia la carga en dirección opuesta a $\hat{r}$.

Magnitud del campo eléctrico en una carga puntual

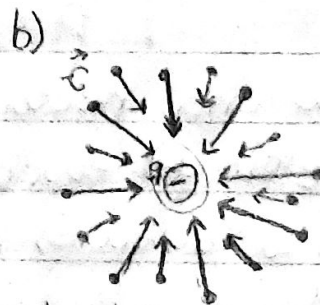
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$$

Ecuación vectorial (magnitud y dirección $\vec{E}$)

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \rightarrow \text{campo eléctrico de una carga puntual.}$$



El campo producido por una carga puntual positiva apunta en una dirección que se aleja de la carga.



El campo producido por una carga puntual negativa apunta hacia la carga.

Superposición de campos eléctricos

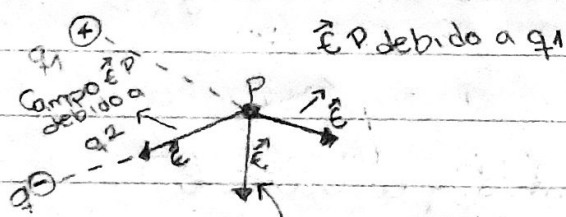
En cualquier punto P dado, cada carga puntual produce su propio campo eléctrico $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3 \dots$ por lo que una carga de prueba q_0 colocada en P experimenta una $\vec{F}_1 = q_0 \vec{E}_1$ de la carga q_1 , una $\vec{F}_2 = q_0 \vec{E}_2$ de la carga q_2 y así sucesivamente. La $\vec{F}_0$ que la distribución de carga ejerce sobre q_0 es la suma vectorial de estas fuerzas individuales.

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = q_0 \vec{E}_1 + q_0 \vec{E}_2 + q_0 \vec{E}_3 + \dots$$

El efecto combinado de todas las cargas en la distribución queda descrito por el campo eléctrico total $\vec{E}$ en el punto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Ilustración del principio de superposición de campos eléctricos



El campo eléctrico total $\vec{E}$

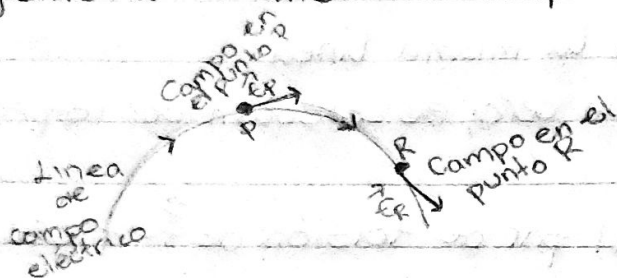
en el punto P es la suma vectorial de $\vec{E}_1$ más $\vec{E}_2$

Líneas de campo eléctrico

Es una recta o curva imaginaria trazada a través de una región del espacio, es tangente en cualquier punto que esté en la dirección del vector del campo eléctrico en dicho punto. - Muestran la dirección de $\vec{E}$ en cada punto, y su espaciamiento da una idea general de la magnitud de $\vec{E}$ en cada punto.

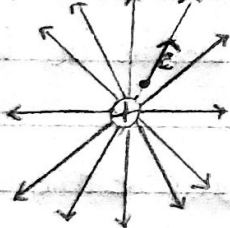
- Donde E es fuerte, las líneas se dibujan muy cerca una de la otra y donde E es más débil se trazan separadas.
- Las líneas de campo nunca se cruzan.
- La dirección del campo eléctrico total en cada punto de cada diagrama está a lo largo de la tangente a la línea de campo eléctrico que pasa por el punto.

La dirección del campo eléctrico en un punto cualquiera es tangente a la línea de campo que pasa por ese punto.

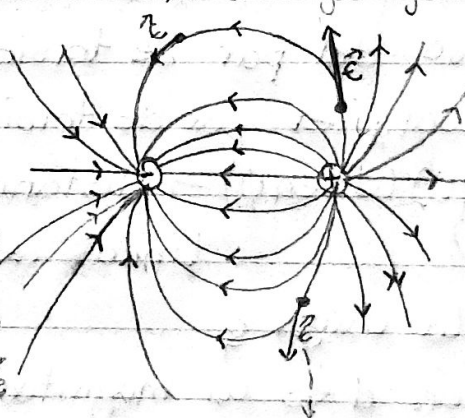


Líneas de campo eléctrico

a) Una sola carga positiva



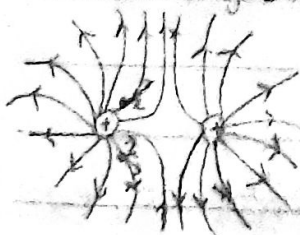
b) Dos cargas iguales y opuestas



Las líneas de campo siempre apuntan alejándose de las cargas (+) y hacia las cargas (-)

En cada punto en el espacio, el vector de campo eléctrico es tangente a la línea de campo que pasa a través de ese punto.

c) Dos cargas positivas



Las líneas de campo están muy cercanas donde el campo es intenso, y más alejadas donde el campo es más débil.

En un campo uniforme, las líneas de campo son rectas, paralelas y con espaciado uniforme.

Dipolos eléctricos

Es un par de cargas puntuales de igual magnitud y signos opuestos, separadas por una distancia d .

Fuerza y par de torsión en un dipolo eléctrico

La fuerza neta sobre un dipolo eléctrico en un campo eléctrico externo es cero.

- Los dos fuerzas no actúan en la misma línea.
- Sus pares de torsión no suman cero; se calculan con respecto al centro del dipolo.
- El par de torsión de $\vec{F}_+$ y el par de torsión de $\vec{F}_-$ tiene ambos la misma magnitud de $(qE)(d/2) \sin \phi$, y los dos pares de torsión tienden a hacer girar el dipolo en el sentido horario.
- La magnitud del par de torsión neto es el doble de la magnitud de cualquier par de torsión individual.

$$T = (qE)(d \sin \phi) \rightarrow \text{distancia perpendicular entre las líneas de acción de los dos fuerzas.}$$

El producto de la carga q

y la separación d es la magnitud de una cantidad llamada **MOMENTO DIPOLAR ELÉCTRICO**

$$\vec{p} = qd \rightarrow \text{Unidad } \text{C} \cdot \text{m}$$

$$T = pE \sin \phi \rightarrow \text{magnitud del par de torsión sobre un dipolo eléctrico}$$

$$\vec{T} = \vec{p} \times \vec{E} \rightarrow \text{Par de torsión sobre un dipolo eléctrico, en forma vectorial.}$$

-El par de torsión es el máximo cuando $\vec{p}$ y $\vec{E}$ son perpendiculares, y es igual a cero cuando son paralelos o antiparalelos.

Energía Potencial de un dipolo eléctrico.

Cuando un dipolo cambia de dirección en un campo eléctrico el par de torsión del campo eléctrico realiza trabajo sobre él.

El trabajo dW realizado por un par de torsión τ durante un desplazamiento infinitesimal $d\phi$ está dado por la ecuación:

$$dW = \tau d\phi = -pe \sin \phi d\phi.$$

Trabajo total

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} (-pe \sin \phi) d\phi$$

$$= pe \cos \phi_2 - pe \cos \phi_1$$

Energía Potencial para dipolo en el campo eléctrico

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

21.2: Imagine que tiene dos esferas metálicas ligeras y que cada una de ellas cuelga de un cordón de nailon aislante. Una ~~esfera~~ de las esferas tiene carga neta negativa; en tanto que la otra no tiene carga neta. Si las esferas están cerca una de otra pero no se tocan, ¿i) se atraen mutuamente, ii) se repelerán o iii) no ejercerán fuerza alguna sobre la otra?

b) Ahora se permite que las esferas entren en contacto. Una vez que se tocan, ¿las dos esferas i) se atraerán

ii) se repelerán

iii) no ejercerán fuerza alguna sobre la otra?

Antes que las dos esferas se toquen, la esfera con carga negativa ejerce una fuerza de repulsión sobre los electrones de la otra esfera, lo cual origina zonas de carga inducida negativa y positiva. La zona positiva está más cerca de la esfera cargada negativamente que la zona negativa, por lo que hay una fuerza neta de atracción que jala a las esferas una hacia la otra como en el caso del peine y el aislante. Una vez que se tocan las dos esferas metálicas, algo del exceso de electrones de la esfera con carga negativa fluirá hacia la otra esfera (porque los metales son conductores). Entonces, las dos esferas tendrán una carga negativa neta y se repelerán mutuamente.

21.3 Suponga que la carga q_2 del ejemplo 21.4 fuera de $-2 \mu\text{C}$. En ese caso, la fuerza eléctrica total sobre Q estaría i) en la dirección $+x$ ii) " " " $-x$ iii) " " " $+y$ iv) " " " $-y$

La fuerza ejercida por q_1 sobre Q es como en el ej. 21.4. La magnitud de la fuerza ejercida por q_2 sobre Q es incluso igual a F_{1Q} , pero la dirección de la fuerza ahora es hacia q_2 en un ángulo θ por debajo del eje x . Entonces, las componentes x de las dos fuerzas se anulan, mientras que las componentes y (negativas) se suman, y la fuerza eléctrica total ocurre en la dirección negativa del eje y .

... cuando $\vec{p}$ y $\vec{E}$ son perpendiculares
... un dipolo cambia de un dipolo eléctrico
... el par de torsión del campo eléctrico
... el trabajo dW realizado en
... infinito

- 21.4 a) Una carga puntual negativa se mueve a lo largo de una trayectoria recta directamente hacia una carga puntual positiva estacionaria. ¿Qué aspectos de la fuerza eléctrica sobre la carga puntual negativa permanecerán constantes a medida que se mueve? i) magnitud, ii) dirección, iii) tanto la magnitud como la dirección, iv) ni la magnitud ni la dirección.
- b) Una carga puntual negativa se desplaza a lo largo de una órbita circular alrededor de una carga puntual positiva. ¿Qué aspectos de la fuerza eléctrica sobre la carga puntual negativa permanecerán constantes a medida que se mueve? i) magnitud, ii) dirección, iii) tanto la magnitud como la dirección, iv) ni la magnitud ni la dirección.
- El campo eléctrico $\vec{E}$ producido por una carga puntual positiva apunta directamente alejándose de la carga y tiene una magnitud que depende de la distancia r entre la carga y el punto del campo. De ahí, que una segunda carga puntual negativa, $q < 0$, recibirá una fuerza $\vec{F} = q\vec{E}$ que apunta directamente hacia la carga positiva y tiene una magnitud que depende de la distancia r entre las cargas. Si la carga negativa se mueve directamente hacia la carga positiva, la dirección de la fuerza permanece igual; pero la magnitud de la fuerza incrementa a medida que disminuye la distancia r . Si la carga negativa se mueve en círculo alrededor de la carga positiva, la magnitud de la fuerza permanece igual; pero la dirección de la fuerza cambia.

21.5 Suponga que la línea de carga de la fig. 21.25 (ejemplo 21.11) tuviera una carga $+Q$ distribuida uniformemente entre $y=0$ y $y=a$, y tuviera una carga $-Q$ con distribución uniforme entre $y=0$ y $y=-a$. En esta situación, el campo eléctrico en P estaría i) en la dirección $+x$; ii) en la dirección $-x$; iii) en la dirección $+y$; iv) en la dirección $-y$; v) igual a cero; vi)

Piense en un par de segmentos de longitud dy , uno en la coordenada $y > 0$ y el otro en la coordenada $-y < 0$. El segmento superior tiene carga positiva y produce un campo eléctrico $d\vec{E}$ en P , que apunta alejándose del segmento, por lo que $d\vec{E}$ tiene una componente x positiva y una componente y negativa, como el vector $d\vec{E}$ en la fig. 21.25. El segmento inferior tiene la misma cantidad de carga negativa. Produce una $d\vec{E}$ que tiene la misma magnitud pero apunta hacia el segmento inferior, así que tiene una componente x negativa y una componente y también negativa. Por simetría, las dos componentes x son iguales pero opuestas, de manera que se cancelan. De esta manera, el campo eléctrico total únicamente tiene una componente negativa.

- El par de torsión es el máximo cuando $\vec{p}$ y $\vec{E}$ son perpendiculares, y es igual a cero cuando son paralelos, o antiparalelos.

Energía Potencial

21.6 Suponga que las líneas de campo eléctrico en una región del espacio son rectas. Si una partícula cargada parte del reposo en esa región, ¿su trayectoria será una línea de campo? Si

Tr Cuando las líneas de campo son rectas $\vec{E}$ debe apuntar en la misma dirección por la región. De ahí que la fuerza $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre una partícula de carga q siempre esté en la misma dirección. Una partícula que parte del reposo acelera en línea recta en la dirección de $\vec{F}$, por lo que su trayectoria es una línea recta que estará a lo largo de una línea de campo.

21.7 Se coloca un dipolo eléctrico en una región de campo eléctrico uniforme, $\vec{E}$, con el momento dipolar eléctrico $\vec{p}$, apuntando en la dirección opuesta a $\vec{E}$. ¿El dipolo está i) en equilibrio estable, ii) en equilibrio inestable, o iii) ninguno de los anteriores? Las ecuaciones 21.7 y 21.8 indican que la

energía potencial para un dipolo en un campo eléctrico es $U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \phi$, donde ϕ es el ángulo entre las direcciones de $\vec{p}$ y $\vec{E}$. Si $\vec{p}$ y $\vec{E}$ apuntan en direcciones opuestas, de manera que $\phi = 180^\circ$, entonces $\cos \phi = -1$ y $U = +pE$. Este es el valor máximo que U puede tener. Se trata de una situación de equilibrio inestable.

21.2 Fuerza entre dos cargas puntuales.

Des dos cargas puntuales $q_1 = +25 \text{ nC}$ y $q_2 = -75 \text{ nC}$, están separadas por una distancia de $3,0 \text{ cm}$. Calcule la magnitud y la dirección de a) la fuerza eléctrica que q_1 ejerce sobre q_2
b) La fuerza eléctrica que q_2 ejerce sobre q_1

Después de convertir la carga a coulombs y la distancia a metros, la magnitud de la fuerza que q_1 ejerce sobre q_2 es:

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$$= (9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(+25 \times 10^{-9} \text{ C})(-75 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0,030 \text{ m})^2}$$

$$= 0,019 \text{ N}$$

Como las dos cargas tienen signos opuestos, la fuerza es de atracción.

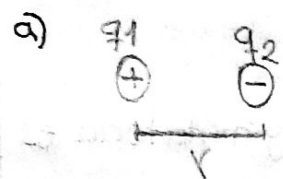


Diagrama
cuerpo libre

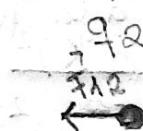


Diagrama de cuerpo
libre para la q_1



b) La 3ª ley de Newton se aplica a la fuerza eléctrica. Aun cuando las cargas tienen diferentes magnitudes, la magnitud de la fuerza que ejerce sobre q_1 es la misma que q_1 ejerce sobre q_2

$$(F_{21} = 0,019 \text{ N})$$

La 3ª ley también establece que la dirección de la fuerza que ejerce q_2 sobre q_1 tiene exactamente la dirección opuesta, que de la fuerza q_1 ejerce sobre q_2 .

La fuerza eléctrica contra la fuerza gravitatoria.

Una partícula α es el núcleo de un átomo de helio. Tiene una masa de $m = 6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ y una carga de $q = +2e = 3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Compare la fuerza de la repulsión eléctrica entre dos partículas α con la fuerza de la atracción gravitatoria que hay entre ellas.

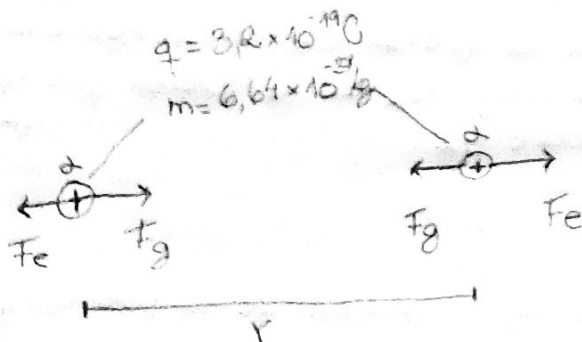
La magnitud de la fuerza de repulsión eléctrica está dada por

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$$

La magnitud de la fuerza de atracción gravitacional F_g está dada por la ecuación: $F_g = G \frac{m^2}{r^2}$

La razón de la fuerza eléctrica con respecto a la fuerza gravitatoria es

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \frac{q^2}{m^2} = \frac{9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}{6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2} \frac{(3,2 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(6,64 \times 10^{-27} \text{ kg})^2}$$



Cuando un dipolo crea un campo eléctrico.

Magnitud del campo eléctrico para una carga puntual.

¿Cuál es la magnitud del campo eléctrico en un punto situado a 2.0m de una carga puntual $q = 4.0\text{ nC}$? (La carga puntual puede representar cualquier objeto pequeño cargado con este valor de q , si las dimensiones del objeto son mucho menores que la distancia entre objeto y el punto del campo)

Se dan la magnitud de la carga y la distancia que hay del objeto al punto del campo, por lo que usamos la ecuación 21.6 para calcular la magnitud del campo E .

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{4.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{(2.0\text{m})^2}$$
$$= 9.0 \text{ N/C}$$

Para comprobar el resultado, se emplea la definición de campo eléctrico como la fuerza eléctrica por unidad de carga. Primero se usa la ley de Coulomb, para obtener la magnitud F_0 de la fuerza sobre una carga de prueba q_0 colocada a 2.0m de q

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|qq_0|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{4.0 \times 10^{-9} \text{ C} |q_0|}{(2.0\text{m})^2}$$
$$= (9.0 \text{ N/C}) |q_0|$$

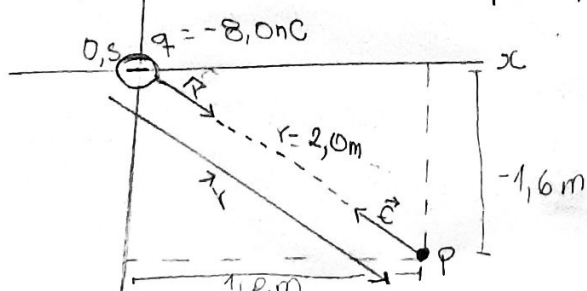
A partir de la ecuación 21.3, la magnitud de $\vec{E}$ es

$$E = \frac{F_0}{|q_0|} = 9.0 \text{ N/C}$$

Como q es positiva, la dirección de $\vec{E}$ en este punto ocurre a lo largo de la línea que va de q a q_0 , como se ilustra en la fig. 21.17b. Sin embargo, la magnitud y la dirección de $\vec{E}$ no dependen del signo de q_0 .

Vector de campo eléctrico de una carga puntual

Una carga puntual $q = -8.0\text{ nC}$ se localiza en el origen. Obtenga el vector de campo eléctrico en el punto del campo $x = 1.8\text{m}$
 $y = -1.6\text{m}$



La distancia entre la carga localizada en el punto P en el campo, es

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(1,2\text{m})^2 + (-1,6\text{m})^2} = 2,0\text{m}.$$

El vector unitario $\hat{r}$ está dirigido del punto de origen al punto del campo. Es igual al vector de desplazamiento $\vec{r}$ del punto de origen al punto del campo, dividido entre su magnitud r :

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} = \frac{x\hat{i} + y\hat{j}}{r}$$

$$= \frac{(1,2\text{m})\hat{i} + (-1,6\text{m})\hat{j}}{2,0\text{m}} = 0,60\hat{i} - 0,80\hat{j}$$

El vector de campo eléctrico es:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

$$= (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(-8,0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(2,0\text{m})^2} (0,60\hat{i} - 0,80\hat{j})$$

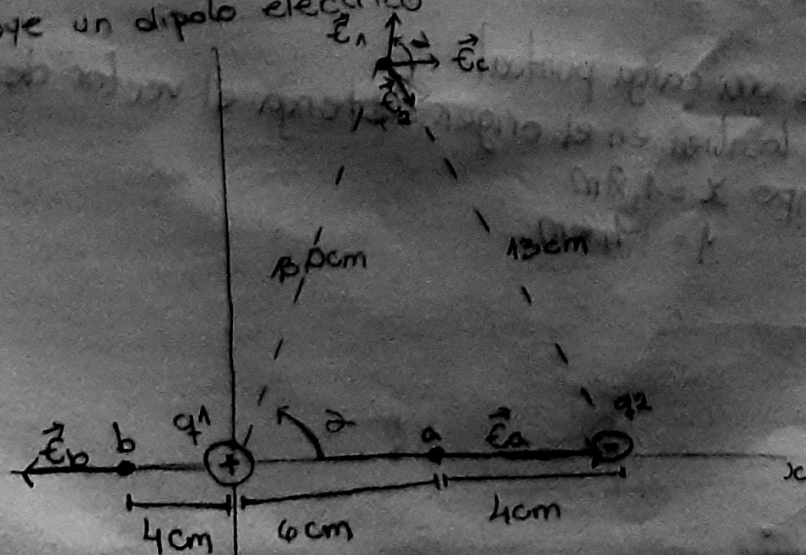
$$= (-11\text{N/C})\hat{i} + (14\text{N/C})\hat{j}$$

Como q es negativa, $\vec{E}$ tiene una dirección que va del punto del campo a la carga (el punto de origen), en dirección opuesta a $\hat{r}$.

Dos cargas puntuales q_1 y q_2 de $+12\text{nC}$ y -12nC , respectivamente, están separadas por una distancia de $0,10\text{m}$. Esta combinación de dos cargas de igual magnitud y signos opuestos se denomina dipolo eléctrico.

Calcule el campo eléctrico causado por q_1 , el campo causado por q_2 , y el campo total: a) en el punto a; b) en el punto b; y c) en el punto c.

Campo eléctrico en tres puntos, a, b y c, originados por las cargas q_1 y q_2 , lo que constituye un dipolo eléctrico



a) En el punto a, los campos $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$, ocasionados por la carga positiva q_1 y la carga negativa q_2 , respectivamente, están dirigidos hacia la derecha. Las magnitudes de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ son:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1|}{r^2} = (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0,060 \text{ m})^2} = 3,0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_2|}{r^2} = (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0,060 \text{ m})^2} = 6,8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

Los componentes de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ son: $E_{1x} = 3,0 \times 10^4 \text{ N/C}$ $E_{1y} = 0$

El campo total en el punto a es $\vec{E}_a = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ $E_{2x} = 6,8 \times 10^4 \text{ N/C}$ $E_{2y} = 0$

$$(E_a)_x = E_{1x} + E_{2x} = (3,0 + 6,8) \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$(E_a)_y = E_{1y} + E_{2y} = 0$$

El campo total tiene magnitud de $9,8 \times 10^4 \text{ N/C}$ y está dirigido hacia la derecha; $\vec{E}_a = (9,8 \times 10^4 \text{ N/C})\hat{x}$

b) punto b, $\vec{E}_1$ debido a q_1 se dirige hacia la izquierda; mientras que el $\vec{E}_2$ debido a q_2 tiene dirección hacia la derecha. Las magnitudes de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ son:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1|}{r^2} = (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0,040 \text{ m})^2} = 6,8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_2|}{r^2} = (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0,140 \text{ m})^2} = 0,55 \times 10^4 \text{ N/C}$$

Las componentes de $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ y el campo

total $\vec{E}_b$ son: $E_{1x} = -6,8 \times 10^4 \text{ N/C}$ $E_{1y} = 0$
 $E_{2x} = 0,55 \times 10^4 \text{ N/C}$ $E_{2y} = 0$

$$(E_b)_x = E_{1x} + E_{2x} = (-6,8 + 0,55) \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$(E_b)_y = E_{1y} + E_{2y} = 0$$

Magnitud de $6,2 \times 10^4 \text{ N/C}$.

$$\vec{E}_b = (-6,2 \times 10^4 \text{ N/C})\hat{x}$$

Punto c. tanto $\vec{E}_1$ como $\vec{E}_2$ tienen misma magnitud, ya que dicho punto está equidistante de ambos cargas y las magnitudes de los campos son las mismas:

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2} = (9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0,130 \text{ m})^2}$$

$$= 6,39 \times 10^3 \text{ N/C}$$

Las componentes x de ambos vectores son las mismas: $E_{1x} = E_{2x} = E_1 \cos \theta = (6,39 \times 10^3 \text{ N/C}) \cos(5/13)$
 $= 2,46 \times 10^3 \text{ N/C}$

Por simetría las componentes E_{1y} y E_{2y} son iguales y opuestas, suman cero.

$$(E_c)_x = E_{1x} + E_{2x} = 2(2,46 \times 10^3 \text{ N/C}) = 4,9 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$(E_c)_y = E_{1y} + E_{2y} = 0$$

$\vec{E}_c$ magnitud de $4,9 \times 10^3 \text{ N/C}$ dirigido hacia la derecha.

$$\vec{E}_c = (4,9 \times 10^3 \text{ N/C}) \hat{x}$$

La figura 21.33 muestra un dipolo eléctrico en un campo eléctrico uniforme con magnitud de $5,0 \times 10^5 \text{ N/C}$ dirigido en forma paralela al plano de la figura. Los cargos son $\pm 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; ambos se encuentran en el plano y están separados por una distancia de $0,125 \text{ nm} = 0,125 \times 10^{-9} \text{ m}$.

- Encuentre a) la fuerza neta ejercida por el campo sobre el dipolo;
 b) la magnitud y la dirección del momento dipolar eléctrico;
 c) la magnitud y dirección del par de torsión;
 d) la energía potencial del sistema en la posición que se muestra.

a) Un dipolo eléctrico

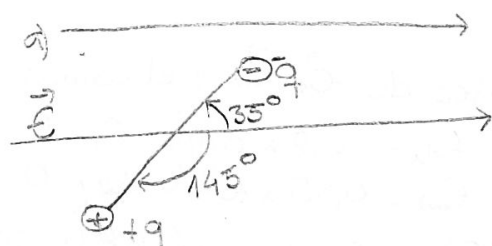
b) Direcciones del momento dipolar eléctrico, el campo eléctrico y el par de torsión

a) Como el campo es uniforme las fuerzas sobre los dos cargos son iguales y opuestas, y la fuerza total es igual a cero

b) La magnitud p del momento dipolar eléctrico $\vec{p}$ es

$$p = qd = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(0,125 \times 10^{-9} \text{ m})$$

$$= 2,0 \times 10^{-29} \text{ C}\cdot\text{m}$$



La dirección de $\vec{p}$ es de la carga negativa a la positiva, a 145° en el sentido horario a partir de la dirección del campo eléctrico.

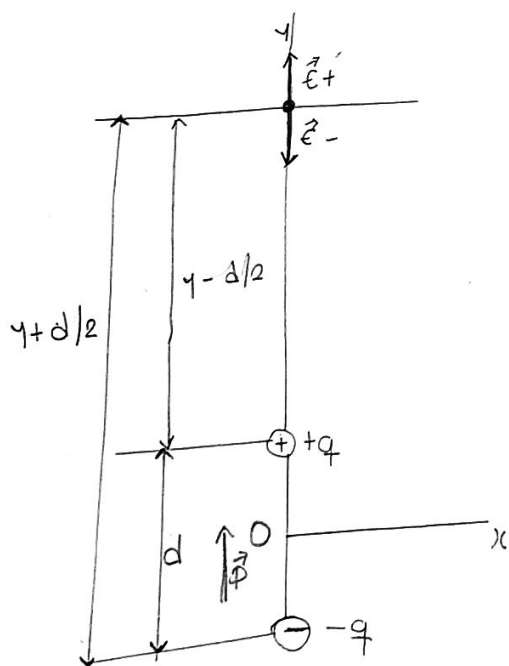
c) La magnitud del par de torsión es

$$\tau = p \sin \phi = (2.0 \times 10^{-29} \text{ C}) (5.0 \times 10^5 \text{ N/C}) (\sin 145^\circ) \\ = 5.7 \times 10^{-24} \text{ N.m.}$$

De acuerdo con la regla de la mano derecha para el producto vectorial, la dirección del par de torsión es $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$ hacia afuera de la página. Esto corresponde a un par de torsión en sentido antihorario que tiende a alinear $\vec{p}$ con $\vec{E}$.

d) La energía potencial es

$$U = -pE \cos \phi \\ = - (2.0 \times 10^{-29} \text{ C.m}) (5.0 \times 10^5 \text{ N/C}) (\cos 145^\circ) \\ = 8.2 \times 10^{-24} \text{ J}$$



La compo y total, E_y , del campo eléctrico de los dos cargos es

$$E_y = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{(y - d/2)^2} - \frac{1}{(y + d/2)^2} \right] \\ = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 y^2} \left[\left(1 - \frac{d}{2y} \right)^{-2} - \left(1 + \frac{d}{2y} \right)^{-2} \right]$$

$$\left(1 - \frac{d}{2y} \right)^2 \approx 1 + \frac{d}{y} \quad \text{y} \quad \left(1 + \frac{d}{2y} \right)^{-2} \approx 1 - \frac{d}{y}$$

$$E \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 y^2} \left[1 + \frac{d}{y} - \left(1 - \frac{d}{y} \right) \right]$$

$$= \frac{qd}{2\pi\epsilon_0 y^3}$$

$$= \frac{p}{2\pi\epsilon_0 y^3}$$