

CLASE 1: LEY DE COULOMB - CAMPO ELECTROSTÁTICO



universidad de buenos aires - exactas
departamento de Física

31 de agosto de 2020



CLASE 1

- Ley de Coulomb para partículas puntuales: Modulo y Dirección de la Fuerza Eléctrica
- Campo eléctrico para una distribución de cargas puntuales
- Campo eléctrico para una distribución continua de cargas
- Unidades

LEY DE COULOMB

En primer lugar, recordemos la ley de Coulomb que nos permite calcular la fuerza entre dos partículas cargadas. Definimos \vec{F}_{q_1} : la fuerza sobre la partícula cargada 1, que ejerce una partícula 2 de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{q_1} = \frac{kq_1q_2(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} \quad (1)$$

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

q_1 valor de la carga eléctrica de la partícula 1,

q_2 valor de la carga eléctrica de la partícula 2,

\vec{r}_1 es la posición de la partícula 1, en este caso la partícula que siente la fuerza generada por la carga 2,

\vec{r}_2 es la posición de la partícula 2, es decir, la partícula que genera la fuerza .

Para resolver los ejercicios 1 y 2 necesitaremos sólo del módulo de la fuerza descrita por la ecuación (1). Para el ejercicio 3 será muy relevante la **dirección** y **sentido** de la fuerza.

LEY DE COULOMB PARA MUCHAS CARGAS

Podemos generalizar la expresión anterior para el caso de la fuerza sobre una carga q situada en la posición \vec{r} generada por una configuración de cargas q_i situadas en posiciones r_i de la siguiente manera:

$$\vec{F}_q(\vec{r}) = kq \sum_i \frac{q_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \quad (2)$$

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

Para el ejercicio 3 será muy relevante la **dirección** y **sentido** de la fuerza.

LEY DE COULOMB PARA MUCHAS CARGAS

Podemos generalizar la expresión anterior para el caso de la fuerza sobre una carga q situada en la posición \vec{r} generada por una configuración de cargas q_i situadas en posiciones r_i de la siguiente manera:

$$\vec{F}_q(\vec{r}) = kq \sum_i \frac{q_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \quad (2)$$

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

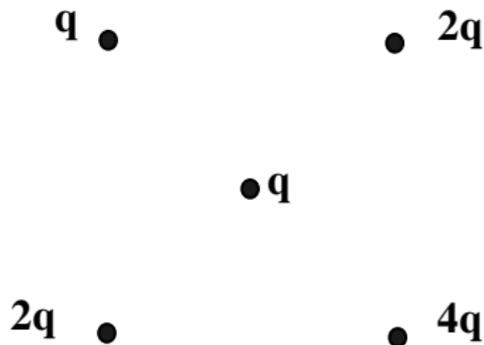
Para el ejercicio 3 será muy relevante la **dirección** y **sentido** de la fuerza.

Es importante destacar que para la fuerza eléctrica vale el **PRINCIPIO DE SUPERPOSICION**, es decir, la fuerza generada por un conjunto de cargas es **la suma de las fuerzas individuales generadas por cada una de ellas**.

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA 3

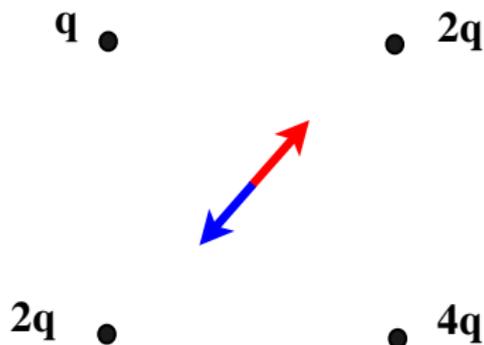
En este ejercicio es importante deducir a partir de la ecuación (2) y de la simetría de la configuración cuál será la dirección de la fuerza, lo cual nos permitirá hacer menos cuentas.

El problema 3 pide evaluar la fuerza sobre la carga q ubicada en el centro del cuadrado generada por las cargas que están en los vértices del mismo.



$$\vec{F}_q(\vec{r}) = kq \sum_i \frac{q_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3}$$

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA 3

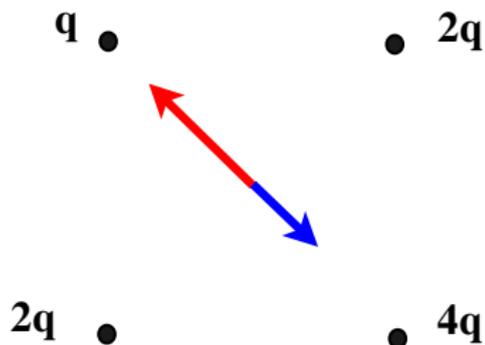


La flecha azul indica la dirección de la fuerza eléctrica generado por la carga $2q$ ubicada en la esquina superior derecha, mientras que la flecha roja indica la dirección de la fuerza eléctrica generado por la carga $2q$ ubicada en la esquina inferior izquierda. Como ambas

cargas tienen igual valor y signo, la fuerza total sobre la carga q que se encuentra en el centro del cuadrado se anula.

LA FUERZA TOTAL DE AMBAS CARGAS SOLO SE ANULA EN EL CENTRO DEL CUADRADO.

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA 3

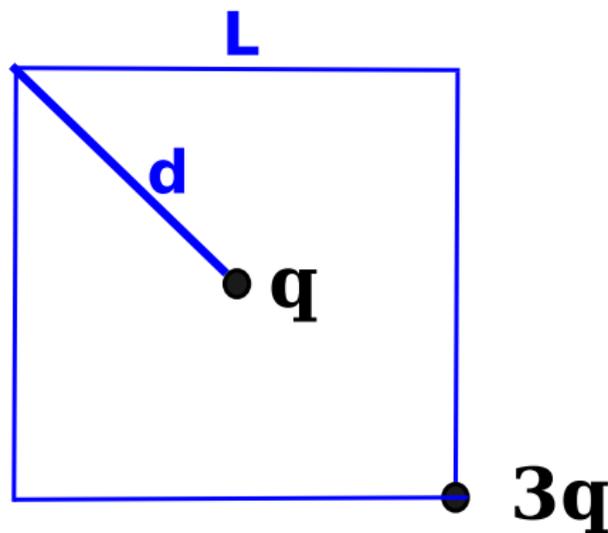


En este caso, las cargas no tienen el mismo valor y por eso la fuerza total no se anulará. .

La flecha azul indica la dirección de la fuerza eléctrica generado por la carga q ubicada en la esquina superior izquierda, mientras que la flecha roja indica la dirección de la fuerza eléctrica generado por la carga $4q$ ubicada en la esquina inferior derecha. En

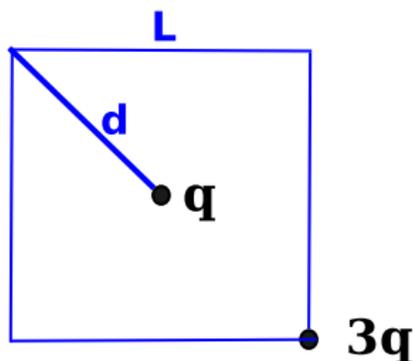
INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA 3

Solamente a efectos de calcular la fuerza total de la configuración de cargas sobre la carga q ubicada en el centro del cuadrado, el problema equivalente al planteado en el ejercicio 3 es el de la siguiente figura:



Es fácil ver que $d^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2$,

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA 3



El centro de coordenadas lo voy a elegir en la posición de la carga q . De esta manera, $\vec{r} = (0, 0, 0)$. A su vez, la posición de la carga $3q$ será: $r_{3q} = (L/2, -L/2, 0)$. Aplicando la ecuación 2 al problema de la figura anterior, obtenemos la fuerza total sobre

la carga q :

$$\vec{F}_q(0, 0, 0) = \frac{k3q^2}{(L/\sqrt{2})^3}(-L/2, L/2, 0) \quad (3)$$

Se animan ahora a hacer el problema 4? Sólo hay que recordar la expresión el campo eléctrico para una distribución de cargas puntuales:

CAMPO ELÉCTRICO PARA CARGAS PUNTUALES

A continuación, recordemos la expresión del campo eléctrico para una distribución de cargas puntuales:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i \frac{kq_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \quad (4)$$

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

q_i valor de la carga eléctrica de la partícula i ,

\vec{r}_i es lo que llamamos punto fuente, es decir, las posiciones de las cargas que son fuente del campo eléctrico,

\vec{r} es lo que llamamos punto campo, es decir, la posición donde vamos a evaluar el campo eléctrico.

CAMPO ELÉCTRICO PARA CARGAS PUNTUALES

A continuación, recordemos la expresión del campo eléctrico para una distribución de cargas puntuales:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i \frac{kq_i(\vec{r} - \vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \quad (4)$$

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

q_i valor de la carga eléctrica de la partícula i ,

\vec{r}_i es lo que llamamos punto fuente, es decir, las posiciones de las cargas que son fuente del campo eléctrico,

\vec{r} es lo que llamamos punto campo, es decir, la posición donde vamos a evaluar el campo eléctrico.

Es importante destacar que para el campo eléctrico vale el **PRINCIPIO DE SUPERPOSICION**, es decir, el campo de un conjunto de cargas es **la suma de los campos generados por cada una de ellas**.

CAMPO ELÉCTRICO PARA UNA DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGAS

A continuación, recordemos la expresión del campo eléctrico para una distribución continua de cargas:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_{V'} \frac{k\rho(r')(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} d^3r' \quad (5)$$

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

$\rho(r')$ es la distribución de cargas cuyo campo queremos calcular

\vec{r}' es lo que llamamos punto fuente, es decir, la posición de la distribución de cargas que es fuente del campo eléctrico,

\vec{r} es lo que llamamos punto campo, es decir, la posición donde vamos a evaluar el campo eléctrico.

CAMPO ELÉCTRICO PARA UNA DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGAS

En algunos casos (por ejemplo en los Problemas 5 y 6) la configuración de cargas, será una distribución lineal o superficial de cargas. Entonces, para una distribución lineal de cargas λ :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_V \frac{k\lambda(r')(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dl' \quad (6)$$

CAMPO ELÉCTRICO PARA UNA DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGAS

En algunos casos (por ejemplo en los Problemas 5 y 6) la configuración de cargas, será una distribución lineal o superficial de cargas. Entonces, para una distribución lineal de cargas λ :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_{V'} \frac{k\lambda(r')(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dl' \quad (6)$$

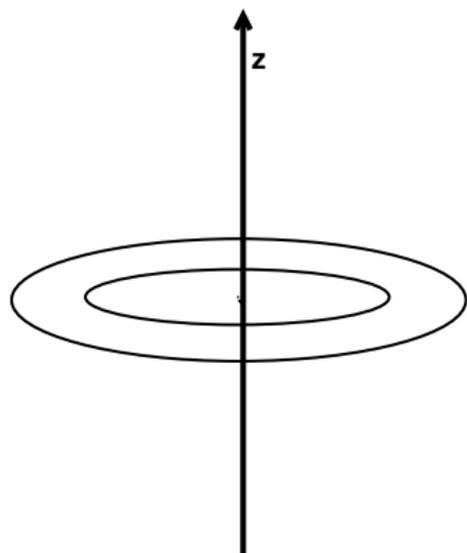
Y para una distribución superficial de cargas σ :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_{\sigma'} \frac{k\sigma(r')(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dS' \quad (7)$$

donde \vec{r} y \vec{r}' tienen los mismos significados que los descritos en la ecuación 5.

AYUDA PARA RESOLVER EL PROBLEMA 6

Terminamos la clase, con una ayuda para resolver el problema 6 a partir de la ecuación 7.



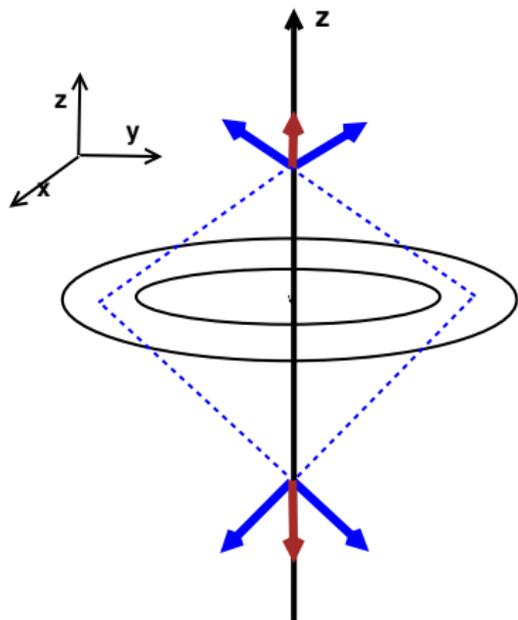
En este problema, \vec{r}' tiene que describir la posición de la corona circular, entonces;

$$\vec{r}' = (r' \cos \phi', r' \sin \phi', 0) \quad (8)$$

mientras que \vec{r} es la posición de los puntos donde queremos calcular el campo, en este caso el eje z , De manera que :

$$\vec{r} = (0, 0, z) \quad (9)$$

AYUDA PARA RESOLVER EL PROBLEMA 6



Finalmente, es importante, usar la simetría de la configuración para hacer menos cuentas. Se puede ver que **sobre el eje z** las contribuciones al campo eléctrico de la corona se anulan salvo en la dirección del eje z, es decir: $\vec{E} = E\hat{z}$

UNIDADES DE LA FUERZA ELÉCTRICA

Vamos a utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Recordemos la expresión del módulo de la fuerza eléctrica que ejerce sobre una carga q_1 una carga q_2 :

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

donde d es la distancia entre la carga 1 y la carga 2 y

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} = \frac{\text{seg}^2 \text{C}^2}{\text{kg m}^3}$$

donde **C** refiere a Coulomb que son unidades de carga y $\text{F} = \frac{\text{seg}^2 \text{C}^2}{\text{kg m}^2}$ refiere a Faradio. **NO CONFUNDIR F Faradio con F Fuerza.**

UNIDADES DE LA FUERZA ELÉCTRICA

Vamos a utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Recordemos la expresión del módulo de la fuerza eléctrica que ejerce sobre una carga q_1 una carga q_2 :

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

donde d es la distancia entre la carga 1 y la carga 2 y

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} = \frac{\text{seg}^2 \text{C}^2}{\text{kg m}^3}$$

donde **C** refiere a Coulomb que son unidades de carga y $\text{F} = \frac{\text{seg}^2 \text{C}^2}{\text{kg m}^2}$ refiere a Faradio. **NO CONFUNDIR F Faradio con F Fuerza.** De esta manera las unidades de la Fuerza resultan ser Newton:

$$[F] = \frac{\text{C}^2 \text{m}}{\text{F m}^2} = \frac{\text{C}^2 \text{m kg m}^2}{\text{m}^2 \text{seg}^2 \text{C}^2} = \frac{\text{kg m}}{\text{seg}^2}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

A su vez sabemos que las unidades del campo eléctrico son unidades de Fuerza/Carga, es decir:

$$[E] = \frac{[F]}{[Q]} = \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Recordemos la expresión del módulo del campo eléctrico de una carga q :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

Entonces las unidades del campo eléctrico:

$$[E] = \frac{\text{C m}^3 \text{ kg}}{\text{m}^2 \text{ seg}^2 \text{ C}^2} = \frac{\text{m kg}}{\text{seg}^2 \text{ C}} = \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

Definimos ahora unidades que nos van a servir durante todo el curso:
Comenzamos por el Ampere, las unidades de la corriente eléctrica:

$$A = \frac{C}{\text{seg}}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

Definimos ahora unidades que nos van a servir durante todo el curso:
Comenzamos por el Ampere, las unidades de la corriente eléctrica:

$$A = \frac{C}{\text{seg}}$$

Con esta definición las unidades del campo eléctrico se pueden expresar:

$$[E] = \frac{\text{m kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

Definimos ahora unidades que nos van a servir durante todo el curso:
Comenzamos por el Ampere, las unidades de la corriente eléctrica:

$$A = \frac{C}{\text{seg}}$$

Con esta definición las unidades del campo eléctrico se pueden expresar:

$$[E] = \frac{\text{m kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}}$$

Definimos ahora el Volt, la unidades del potencial eléctrico:

$$V = \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

Definimos ahora unidades que nos van a servir durante todo el curso:
Comenzamos por el Ampere, las unidades de la corriente eléctrica:

$$A = \frac{C}{\text{seg}}$$

Con esta definición las unidades del campo eléctrico se pueden expresar:

$$[E] = \frac{\text{m kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}}$$

Definimos ahora el Volt, la unidades del potencial eléctrico:

$$V = \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}}$$

Con esta definición, las unidades del campo eléctrico son:

$$[E] = \frac{\text{m kg}}{\text{seg}^3 \text{ A}} = \frac{V}{\text{m}}$$

UNIDADES DEL CAMPO ELÉCTRICO

Finalmente, también nos será de utilidad el Watt:

$$W = \frac{J}{\text{seg}} = VA$$

donde J refiere a Joule.