



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

Unidad II: Fenómenos eléctricos bajo distintos modelos

Junior Zambrano
e-mail: 18-10929@usb.ve

JULIO DE 2021

Prefacio

El presente es un compendio teórico de la segunda unidad del curso **Física 3 (FS-2211)** que trata de los fenómenos eléctricos bajo distintos modelos, que fue elaborado a partir de apuntes, notas y síntesis de las clases dictadas por el profesor **Sttiwuer Díaz** mientras dictaba dicho curso durante el trimestre **Abril-Julio 2021**.

Entre los temas que se abordan están, modelos de acción a distancia, Ley de Coulomb, fuerza eléctrica, modelo de campo eléctrico, propiedades de los campos eléctricos, líneas de campo eléctrico, campo eléctrico producido por una carga puntual y movimiento en un campo eléctrico uniforme.

Cualquier error y/o sugerencia, por favor notificar al autor de este documento.

Clase 9: Modelo de acción a distancia I

Modelos de acción a distancia

- La interacción se propaga a velocidad infinita.
- La interacción entre dos cuerpos depende de la distancia relativa entre ambos.
- Si muevo aunque sea un poco uno de los cuerpos, ¿el otro será capaz de enterarse de la modificación? Si lo hace y se entera inmediatamente en el momento de la perturbación, por esta razón decimos que el cambio de la interacción se transmite a velocidad infinita.
Nota: La velocidad realmente es finita y corresponde a la de la velocidad de la luz.
- El fotón es el mediador de las interacciones eléctricas. Podría considerarse el mensajero de la información entre las dos cargas.
- Este modelo de acción está en desuso actualmente porque no representa una descripción adecuada de la realidad.
- La Ley de Gravitación Universal es un ejemplo de modelo de acción a distancia.

Ley de Coulomb

- A partir de los experimentos de Charles Coulomb en 1785 se establece la interacción eléctrica que experimentan dos cuerpos cargados que se mantienen en reposo. Las conclusiones fueron las siguientes:
- La intensidad de la fuerza eléctrica es inversamente proporcional a la distancia al cuadrado que separa las cargas.

$$|\vec{F}_{ij}| \propto |\vec{r}_{ji}|^{-2} = \frac{1}{|\vec{r}_{ji}|^2}$$

- La intensidad de la fuerza eléctrica es directamente proporcional al valor de la carga en valor absoluto.

$$|\vec{F}_{ij}| \propto |q_i q_j| = |q_i| |q_j|$$

- La fuerza eléctrica es del tipo atractiva cuando las cargas tienen signos opuestos.
- La fuerza eléctrica es del tipo repulsiva cuando las cargas tienen signos iguales.
- Aunque el modelo de Coulomb es válido sólo cuando las cargas eléctricas están en reposo, si la carga que está ejerciendo la fuerza se encuentra inmóvil (en reposo) y la carga sobre la cual se está ejerciendo la fuerza se está moviendo, entonces es posible usar este modelo de acción.
- El vector fuerza \vec{F}_{ij} es colinial al vector de la distancia relativa entre las cargas \vec{r}_{ji} , siendo paralelo cuando las cargas son distintas y antiparalelo cuando son diferentes.

$$\vec{F}_{ij} \propto \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_{ji}|^2} \hat{r}_{ji} = \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_{ji}|^3} \vec{r}_{ji}$$

Donde $\hat{r}_{ji} = \frac{\vec{r}_{ji}}{|\vec{r}_{ji}|}$ es el vector unitario dirigido desde la carga q_i hasta la carga q_j .

- Estas tres propiedades podemos resumirla en una sola expresión:

$$\vec{F}_{ij} = K_e \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_{ji}|^2} \hat{r}_{ji} = K_e \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_{ji}|^3} \vec{r}_{ji}$$

Donde $\vec{r}_{ji} \stackrel{\text{def}}{=} r_j - r_i$ es la posición relativa de la carga q_j respecto a la carga q_i , r_i la posición de la carga q_i que ejerce la fuerza eléctrica y r_j la posición de la carga q_j sobre la que actúa la fuerza.

- La constante de proporcionalidad K_e depende del vacío (región del espacio en el cual se ha extraído toda molécula de aire).

$$K_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

- En caso que las cargas se encuentren en un medio distinto del vacío, la constante K viene dada por:

$$K = \frac{1}{\kappa} = \frac{\epsilon_0}{\epsilon}$$

Donde $\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ es la constante dieléctrica y ϵ la constante de permitividad en el medio.

- La fuerza eléctrica tiene unidades de newton, es decir, N .

Clase 10: Modelo de acción a distancia II

Principio de superposición

- La fuerza eléctrica total ejercida sobre una carga se consigue sumando vectorialmente las fuerzas eléctricas que ejercen sobre ella el conjunto de cargas restantes del sistema.

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \cdots + \vec{F}_{i(1-N)} + \vec{F}_{iN} = \sum_{j=1, j \neq i}^N \vec{F}_{ij}$$

- Esto implica que la aparición de una tercera carga no afecta la interacción de dos cargas.
- Una fuerza media la interacción recíproca entre el cuerpo que la está ejerciendo y sobre el cual está actuando.
- La suma de todas estas fuerzas no es una fuerza real; se trata de una pseudo fuerza porque no cumple con la tercera ley de Newton.

Clase 11: Fuerza eléctrica debido a distribuciones continuas

- Se toma un diferencial de carga dq de la distribución continua que represente a la carga puntual que ejerce la fuerza eléctrica.
- La posición relativa de la carga puntual Q_0 respecto a dq se determina como es usual, donde \vec{r}_{dq} se obtiene parametrizando el espacio ε que la contiene.
- La fuerza eléctrica que ejerce una distribución continua de carga sobre una partícula puntual queda descrita por:

$$\vec{F}_{Q_0} = K_\varepsilon Q_0 \int_\varepsilon \frac{\vec{r}_{Q_0} - \vec{r}_{dq}}{|\vec{r}_{Q_0} - \vec{r}_{dq}|^3} \mathcal{D}_Q de$$

Clase 12: Modelo de campo eléctrico I

Modelo de acción de campo

- Acción de campo: la interacción se establece en cada punto del espacio \vec{r} y en un instante de tiempo t .
- Es un principio que está basado en la localidad de las partículas.
- El campo interactúa con una partícula que está colocada en una parte del espacio y la interacción viene dada por la perturbación que produce la partícula con la vecindad en la que está colocada.
- El campo depende de los puntos en el espacio en el que fue colocado y si colocó una carga dentro del campo, esta genera una fuerza electrostática.
- En concreto, el campo eléctrico en un punto r del espacio en un instante de tiempo t se va a medir a partir de la interacción eléctrica que produce una partícula de prueba q_0 con el entorno en el que está ubicada, dividiendo el valor de la fuerza eléctrica entre

el valor de la carga de prueba, independientemente del valor de la carga. Esto se logra tendiendo la magnitud de la carga de prueba a cero.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_{q_0}}{q_0}$$

- El campo eléctrico es una magnitud vectorial que tiene unidades de voltios por metro, $\frac{V}{m}$, en el sistema MKS.

Propiedades generales del campo eléctrico

- El valor del campo eléctrico es independiente de la carga de prueba.
- Un campo es homogéneo cuando es independiente de los puntos del espacio, pero puede mostrar dependencias respecto del tiempo.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}(t) \quad \forall r \in \mathbb{R}^3$$

- Un campo es constante cuando el campo eléctrico puede cambiar en diferentes puntos del espacio, pero al cambiar el tiempo es el mismo.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}(\vec{r}) \quad \forall t \in \mathbb{R}$$

- Un campo es uniforme cuando es homogéneo y constante a la vez. Es decir, que no depende ni de su posición en el espacio ni del instante de tiempo.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \quad \forall (\vec{r}, t) \in \mathbb{R}^3$$

- Un campo es isótropo cuando la magnitud del campo no depende de la dirección del mismo en un origen común.

$$|\vec{E}(\vec{r}, t)| = |\vec{E}_0| \quad \forall (\vec{r}, t) \in \mathbb{R}^3 \text{ tal que } R = |\vec{r}|$$

- El campo eléctrico cumple con el principio de superposición, de modo que:

$$\vec{E}_i = \vec{E}_{i1} + \vec{E}_{i2} + \cdots + \vec{E}_{i(1-N)} + \vec{E}_{iN} = \sum_{j=1, j \neq i}^N \vec{E}_{ij}$$

- El campo eléctrico que genera la superficie de un conductor con un exceso de carga acumulada tiene la propiedad de ser perpendicular a dicha superficie, dirigiéndose afuera de esta si la carga es positiva y hacia dentro si la carga es negativa.
- Una carga puntual que es colocada sobre una región de campo eléctrico \vec{E} experimenta una fuerza eléctrica dada por $\vec{F} = Q\vec{E}$, tal que la fuerza es paralela al campo cuando el signo de la carga es positiva y antiparalela cuando el signo es negativo.

Clase 13: Modelo de campo eléctrico II

Líneas de campo eléctrico

- Las regiones de campo eléctrico pueden ser visualizadas como un conjunto de líneas con una orientación específica.
- El número de líneas en el campo nos da una medida cualitativa de su intensidad. Por ejemplo, la presencia de más líneas en una región de campo en comparación a otra implica que la primera tiene mayor magnitud.
- El vector tangente a la trayectoria de una línea en una posición determinada, es el vector del campo eléctrico medido en dicho punto.
- Para hallar las líneas de un campo eléctrico, se considera que el campo estacionario es proporcional a un campo de velocidades.

$$\vec{E}(\vec{r}) = A \frac{d\vec{r}}{d\lambda}$$

Campos electrostáticos

- Son campos irrotacionales, que tienen rotor cero, y que no dependen explícitamente del tiempo, es decir, también son campos del tipo estacionario.

$$\textcircled{1} \vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}(\vec{r}) \quad \text{y} \quad \textcircled{2} \vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{0}$$

- Cuando un campo es irrotacional y estacionario es un campo conservativo.
- Todo campo electrostático es conservativo y viceversa.

Campos eléctricos para cargas puntuales

- Por la Ley de Coulomb es posible obtener el campo eléctrico que ejerce una carga puntual Q ubicada en \vec{r}_Q sobre una carga de prueba q_0 en un punto P de posición \vec{r}_P :

$$\vec{E}_P = \frac{\vec{F}_{Qq_0}}{q_0} = \frac{1}{\epsilon_0} K_\epsilon \frac{Qq_0}{|\vec{r}_{PQ}|^3} \vec{r}_{PQ} = K_\epsilon \frac{Q}{|\vec{r}_{PQ}|^3} \vec{r}_{PQ}$$

- El campo eléctrico generado por una carga puntual no es homogéneo.
- Es estacionario siempre que la carga no dependa del tiempo.
- No es uniforme por no ser homogéneo.
- Es isotrópico respecto a la ubicación de la carga que lo genera.
- Es electrostático si es estacionario.

Clase 15: Movimiento de carga en un campo

Aceleración de una partícula cargada en presencia de un campo eléctrico

- La aceleración lineal que experimenta un cuerpo con carga Q y masa m puede representarse mediante la sumatoria de fuerzas externas eléctricas y mecánicas que actúan sobre dicho cuerpo. En este caso la fuerza eléctrica es causa de estar en una región de campo eléctrico.

$$Q\vec{E}(\vec{r}, t) + \vec{F}_{mec.} = m\vec{A}$$

Movimiento de carga en un campo eléctrico uniforme

- El campo eléctrico generado por dos placas conductoras cargadas uniformemente en toda su longitud y que están paralelas una a la otra es uniforme entre ellas mientras más alejado se esté de los bordes de las placas.
- En ausencia de la fuerza gravitacional terrestre, la aceleración traslacional de un cuerpo de carga Q y masa m por causa de la fuerza eléctrica producida por el campo uniforme de magnitud E_0 sería:

$$A = Q \frac{E_0}{m}$$

- Una partícula con carga neutra no varía su trayectoria al atravesar dicha región de campo eléctrico.
- Por otro lado, una partícula con carga positiva se verá atraída por la placa de signo opuesto y al ingresar a la región se desviará en dirección del campo, describiendo la trayectoria de un lanzamiento de proyectil.
- Para el caso de la partícula de carga negativa, esta se desviará hacia la placa positiva, en sentido contrario al campo, describiendo igualmente la misma trayectoria hasta su destino.
- Una partícula de mayor masa tendrá una trayectoria mucho más prolongada que una de masa más pequeña. Esto es debido a que la aceleración de un cuerpo con mayor masa será menor a la aceleración de uno de masa menor.
- Por el mismo hecho, a la partícula de mayor masa le tomaría más tiempo llegar a una de las placas comparado con una partícula de masa menor si ambas parten de la misma altura con igual rapidez y en el mismo instante de tiempo.
- Las ecuaciones de posición de las partículas para cada instante de tiempo t pueden escribirse de modo que:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{x_0}t + \frac{a_x}{2}t^2 \Rightarrow x = x_0 + v_0t \\ y = y_0 + v_{y_0}t + \frac{a_y}{2}t^2 \Rightarrow y = y_0 + \frac{Q}{2m}E_0t^2 \end{cases}$$

Siempre que la partícula ingrese al campo con una velocidad inicial con solo componente horizontal, se desprecien los efectos de borde de las placas conductoras y el campo eléctrico tenga dirección vertical.