FACULTAD DE CIENCIAS
SECCIÓN FÍSICAS
CURSO CERO

TÍTULO: *Campo y potencial eléctrico.*

OBJETIVOS:

- Introducir el concepto de campo frente al concepto de acción a distancia
- Exponer la idea de líneas de campo y de superficies equipotenciales.
- Explicar la idea del principio de superposición

DESARROLLO CONCEPTUAL

DEFINICIONES:

Se dice que en una región del espacio existe un **campo eléctrico** $\vec{E}(\vec{r})$ si sobre una carga eléctrica q situada en un punto cuyo vector de posición es $\vec{r}$ actúa una fuerza

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$$

El campo eléctrico es así una magnitud vectorial definida en cada punto del espacio. La unidad de campo eléctrico es el **newton/culombio** (N/C).

Se define el **potencial eléctrico** en cada punto del espacio de modo que el trabajo necesario para llevar una carga eléctrica unidad de un punto A a otro punto B es igual a la diferencia de potencial entre dichos puntos

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = V(\vec{r}_A) - V(\vec{r}_B)$$

El potencial eléctrico es una magnitud escalar y su unidad es el **voltio**: 1 V = 1 (N/C) x 1 m = 1 J/C. (Alternativamente podemos decir que la unidad de campo eléctrico es el voltio/metro, que por supuesto es igual al newton/culombio).

La **energía potencial electrostática** de una carga q en un campo eléctrico es $E_{pot}\left(\vec{r}\right) = qV(\vec{r})$. Si una partícula de masa m y carga eléctrica q se mueve en una región donde existe un campo eléctrico, la suma de su energía cinética y su energía potencial electrostática es constante

$$E_{total}(\vec{r}) = \frac{1}{2}mv^2(\vec{r}) + qV(\vec{r}) = cte.$$

FORMULACIÓN SIMPLE DEL PROBLEMA

La ley de Coulomb nos dice que cuando hay dos cargas presentes, cada una de ellas ejerce una fuerza sobre la otra. Nada nos dice, sin embargo, sobre la situación en otros puntos del espacio en donde no hay cargas. La idea de campo es diferente. La acción entre las cargas ya no es una acción directa a distancia entre dos cargas sino que se supone mediada por un ente intermedio: el **campo**. Así, una carga Q crea un campo en el espacio circundante; es decir, altera de algún modo el espacio que le rodea de modo que cualquier otra carga q que estuviera situada en dicho espacio experimentaría una fuerza. La carga Q crea un campo y dicho campo actúa, a su vez, sobre una segunda carga q. De este modo, se le da al campo creado por Q una existencia real independientemente de que exista o no la segunda carga q.

Puesto que el campo ejerce una fuerza sobre la carga, cuando la carga se desplaza de un punto a otro el campo realiza un trabajo sobre la misma. El trabajo realizado cuando se lleva la carga de un punto A, de coordenadas $\vec{r}_A$, a un punto B, de coordenadas $\vec{r}_B$, puede escribirse como

$$W = q\left[V(\vec{r}_A) - V(\vec{r}_B)\right]$$

siendo $V(\vec{r})$ una función definida en cada punto denominada **potencial eléctrico**. La cantidad $E_{p,el}(\vec{r}) = qV(\vec{r})$ es la **energía potencial electrostática** de la carga en el campo eléctrico. La suma de la energía cinética de una partícula cargada y su energía potencial electrostática es constante. Así, si una partícula con carga positiva se mueve de una región de alto potencial eléctrico a otra de bajo potencial, su energía potencial electrostática disminuye y su energía cinética aumenta.

El campo eléctrico es un **campo vectorial** y tiene una dirección en cada punto. Una manera gráfica de visualizar un campo eléctrico es mediante las llamadas **líneas de campo**. Llamamos líneas de campo eléctrico a líneas imaginarias tangentes a la dirección del campo en cada punto. Las líneas de campo no se pueden cortar, pues ello supondría que en el punto de corte el campo tendría dos direcciones diferentes. Los únicos puntos en donde pueden converger o divergir líneas de campo es en puntos donde hay cargas eléctricas: las líneas del campo eléctrico nacen en las cargas positivas y mueren en las cargas negativas.

El potencial eléctrico es una magnitud escalar y no se representa mediante líneas de campo. Podemos, no obstante, representar el potencial por superficies que unen todos los puntos con el mismo valor del potencial (de forma parecida a las líneas isotermas de los mapas del tiempo que unen todos los puntos con la misma temperatura). Tales superficies se llaman **superficies equipotenciales**. Por definición, si movemos una carga unidad a lo largo de una superficie equipotencial no realizamos trabajo; esto quiere decir que el campo eléctrico es siempre perpendicular a la superficie equipotencial (recuérdese que el producto escalar de dos vectores perpendiculares es nulo). Así, las líneas de campo eléctrico son perpendiculares a las superficies equipotenciales.

En el caso de un campo eléctrico uniforme (es decir, con el mismo valor en todo punto del espacio) dirigido, por ejemplo, a lo largo del eje X, las líneas de campo son rectas paralelas al eje X, y las superficies equipotenciales son planos perpendiculares a dicho eje.

Otro ejemplo sencillo es el del campo creado por una carga puntual. Si colocamos una carga Q en el origen de coordenadas, una carga unidad situada en el espacio circundante experimentaría una fuerza en la dirección radial desde el origen y cuyo valor depende solo de la distancia a la carga. Por lo tanto, la intensidad del campo eléctrico es la misma en todos los puntos situados a la misma distancia de la carga Q. Las líneas del campo son líneas rectas radiales que parten de la carga, y las superficies equipotenciales son superficies esféricas centradas en el origen.

El campo creado por un conjunto de cargas es la suma vectorial de los campos creados por cada carga por separado. Esto se conoce como **principio de superposición**. Así, aunque el campo creado por una carga puntual es siempre radial y varía como $1/r^2$, esto ya no es cierto cuando tenemos un conjunto de cargas, pues los campos creados por las diferentes cargas se suman vectorialmente.

Análogamente, el potencial eléctrico creado por un conjunto de cargas es la suma escalar de los potenciales debidos a cada carga

EJEMPLO

ENUNCIADO

Calcular: a) el campo eléctrico y el potencial eléctrico creados a lo largo del eje X por una carga eléctrica Q situada en el origen de coordenadas; b) el campo eléctrico y el potencial eléctrico creados a grandes distancias a lo largo del eje X por un **dipolo eléctrico** situado en el origen de coordenadas. (Un dipolo eléctrico está formado por dos cargas iguales y de sentido contrario separadas una pequeña distancia a.)

RESOLUCIÓN

a) El campo eléctrico creado por la carga Q es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la carga; en este caso, el campo en un punto del eje X de coordenada x será

$$\vec{E} = K_e \frac{Q}{x^2} \vec{i}$$

El trabajo realizado al llevar una carga q de x a $x+\Delta x$ es

$$W = qE\Delta x = qK_e \frac{Q}{x^2} \Delta x$$

Definiendo una función $V(x)=K_e\, Q/x$, tenemos

$$V(x) - V(x+\Delta x) = K_e \left(\frac{Q}{x} - \frac{Q}{x+\Delta x} \right) = K_e \frac{Q}{x(x+\Delta x)} \Delta x \approx K_e \frac{Q}{x^2} \Delta x$$

(donde hemos supuesto que Δx es muy pequeño frente a x), y así

$$W = q\left[V(x) - V(x+\Delta x)\right]$$

b) Supongamos que, además de la carga Q situada en el origen (0 0), hay una segunda carga $-Q$ en el punto (a, 0). El campo creado por la carga Q en el punto x estará dirigido en la dirección positiva del eje X y su valor será $E_1 = K_e\, Q/x^2$. Por su parte, el campo creado en el mismo punto por la carga $-Q$ estará dirigido en la dirección negativa del eje X y su valor será $E_2 = K_e\, Q/(x-a)^2$. Entonces, el campo total será

$$\vec{E}_{Total} = K_e \left(\frac{Q}{x^2} - \frac{Q}{(x-a)^2} \right) \vec{i} = K_e Q a \frac{a-2x}{x^2 (x-a)^2} \vec{i}$$

Si lo que queremos es saber el campo a grandes distancias $x>>a$, podemos hacer las aproximaciones $x - a \approx x$ y $2x - a \approx 2x$. Entonces

$$\vec{E}_{total} \approx -K_e \frac{2Qa}{x^3}\vec{i}$$

de modo que, para este sistema de cargas, llamado un dipolo eléctrico, el campo varía como $1/x^3$ y no como $1/x^2$.

El potencial en un punto es la suma de los potenciales creados por cada carga

$$V(x) = K_e\left(\frac{Q}{x} - \frac{Q}{x-a}\right) \approx -K_e \frac{Qa}{x^2}$$

y así

$$V(x) - V(x+\Delta x) = -K_e Qa\left[\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x+\Delta x)^2}\right] = -K_e Qa \frac{\Delta x(2x+\Delta x)}{x^2(x+\Delta x)^2} \approx -\frac{2K_e Qa}{x^3}\Delta x$$

donde una vez más hemos supuesto que Δx es muy pequeño frente a x.

Por lo tanto, también ahora tenemos que el trabajo necesario para llevar una carga q de x a $x+\Delta x$ se puede escribir

$$W = qE_{total}\Delta x = q\left[V(x) - V(x+\Delta x)\right]$$

EJERCICIO DE AUTOCOMPROBACIÓN

ENUNCIADO

Una carga eléctrica q se mueve a lo largo de un campo eléctrico $\vec{E}$ constante. Si la carga parte del reposo en un punto A, ¿qué tiempo t_c tardará en llegar a un punto B tal que $V(B)-V(A)=\Delta V$?

RESULTADO

$$t_c = \sqrt{\frac{2m\Delta V}{qE^2}}$$

REFERENCIAS:

- P. A. Tipler y G. Mosca, *Física para la Ciencia y la Tecnología*, 5ª Edición, Editorial Reverté, 2005.

AUTOR:

- Javier García Sanz