

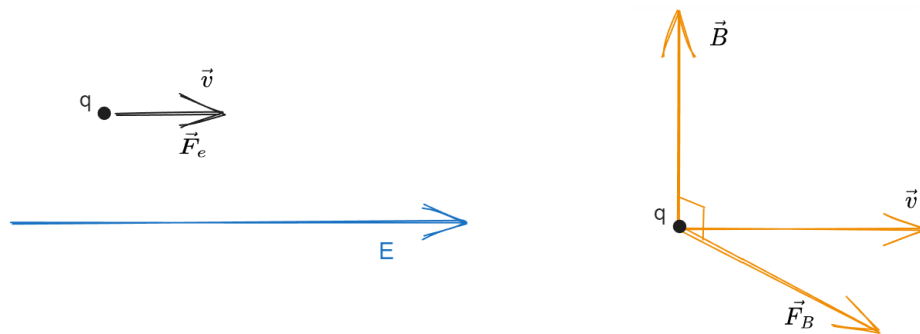
EL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS: LA TECNOLOGÍA DETRÁS DE LAS PANTALLAS DEL PASADO

Autores:

Esteban Gaviria Zambrano
Juan Manuel Díaz Moreno
Santiago Valencia García
Katerine Valens Orejuela

Introducción:

Los rayos catódicos son haces de electrones emitidos desde un cátodo (electrodo negativo) que pueden ser desviados bajo la influencia de campos eléctricos y magnéticos. Consideremos una partícula con carga q en este haz de electrones:



Imágenes 1 y 2: Fuerzas que pueden desviar una partícula en un haz de electrones.

Como se aprecia en las imágenes 1 y 2, en el proceso de desviación de las partículas en estos haces intervienen dos fuerzas: la fuerza eléctrica definida por la expresión

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$$

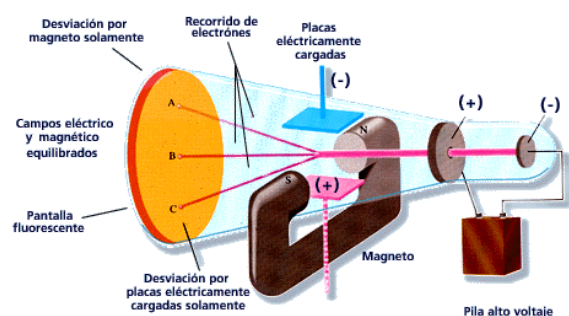
y la fuerza magnética dada por

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

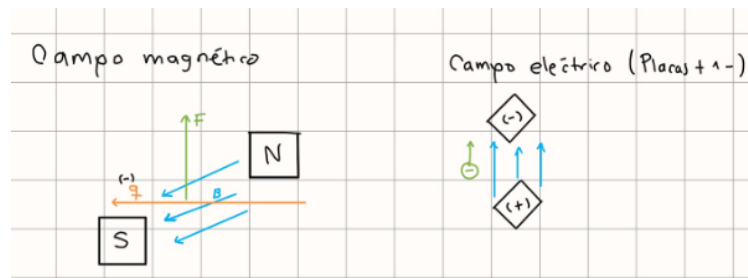
En este artículo se explorará cómo la interacción y manipulación de estas dos fuerzas pueden emplearse para modelar, diseñar y operar un dispositivo conocido como tubo de rayos catódicos.

Desarrollo del problema:

El tubo de rayos catódicos es un dispositivo en el cual actúan simultáneamente campos eléctricos y magnéticos, ambos perpendiculares entre sí, sobre la trayectoria de un haz de electrones. Estos electrones se emiten cuando un cátodo, ubicado en el extremo del dispositivo, se calienta al recibir una corriente eléctrica generada por una diferencia de potencial. Los electrones emitidos son acelerados y enfocados por una serie de placas y anillos denominados ánodo y rejilla de control. Después de ser acelerados, los electrones del haz pasan a través



de un par de placas cargadas eléctricamente, una con carga positiva y la otra con carga negativa, las cuales generan un campo eléctrico. Simultáneamente, atraviesan un campo magnético generado por una parte del dispositivo llamado bobina de deflexión. Ambos campos se utilizan para desviar los electrones en una trayectoria curva.



Imágenes 3 y 4: Campo magnético y eléctrico generados en un tubo de rayos catódicos.

Entonces, si suponemos que un electrón se desplaza horizontalmente y aplicamos la regla de la mano derecha, sabremos que dicha partícula experimentará una fuerza que apunta hacia arriba. En cuanto al campo eléctrico, la partícula en cuestión sentirá una fuerza dirigida hacia la placa cargada negativamente.

Cuantifiquemos lo anterior. Consideremos que un electrón en el haz tiene una carga q y que se mueve a una velocidad \vec{v} . Al pasar a través de un campo magnético uniforme de intensidad B formando un ángulo θ con la dirección de \vec{v} , se ejerce una fuerza magnética \vec{F}_B cuya intensidad está dada por:

$$F_B = qvB\sin(\theta)$$

Asumiendo que el campo magnético es perpendicular a la dirección de \vec{v} , se tiene que la fuerza magnética está dada por:

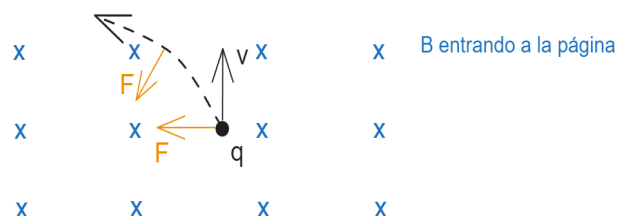
$$F_B = qvB\sin(90^\circ)$$

$$F_B = qvB(1)$$

$$F_B = qvB$$

Los rayos catódicos experimentan una fuerza centrípeta F_c debido a que la fuerza magnética tiene un efecto que desvía su trayectoria de esta manera

$$F_c = m a_c \quad (2)$$



Donde m es la masa del electrón y a_c es la aceleración centrípeta, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Donde r es el radio de la curvatura del haz de electrones. Ahora bien, sustituyendo en (1) se obtiene

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

Como mencionamos anteriormente, la fuerza magnética actúa como una fuerza centrípeta. Por consiguiente, podemos igualar ambas expresiones de manera tal que:

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

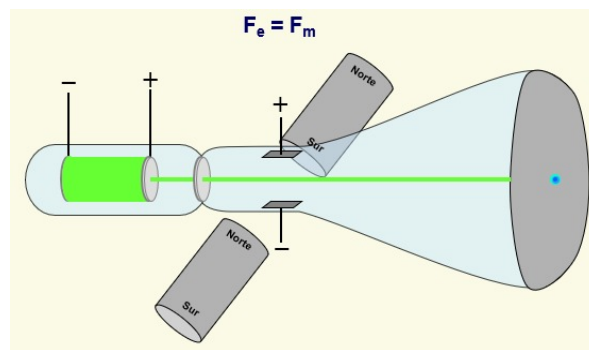
$$qB = m \frac{v}{r}$$

$$qBr = m v$$

Dado que q y m son constantes, podemos colocarlos al lado izquierdo de la igualdad. Además, las magnitudes B y r se pueden determinar mediante mediciones directas con instrumentos pertinentes. De esta manera, tenemos que:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

Como se explicó anteriormente, en el tubo de rayos catódicos están presentes dos campos: magnético y eléctrico. A partir de esto, es posible determinar la velocidad a la que se mueven las partículas en el haz utilizando la expresión de la fuerza eléctrica. Recordemos que esta fuerza es generada por un campo eléctrico que se genera entre dos placas metálicas cargadas paralelas, una con carga negativa y la otra con carga positiva respectivamente, a las que se les aplica una diferencia de potencial. Esta fuerza se representa como $F_e = qE$, donde E es la intensidad del campo eléctrico aplicado.



Ahora bien, como se puede observar en la imagen, hay un punto en el que la fuerza magnética y eléctrica son iguales. Por lo tanto, podemos igualar ambas expresiones.

$$qE = qvB$$

$$E = vB$$

$$\frac{E}{B} = v$$

Esto nos proporciona una expresión para la velocidad a la que se mueven los electrones del haz generado por el dispositivo. Determinar la velocidad de este haz es crucial, ya que influye en la intensidad con la que los electrones del haz impactarán en lo que se les ponga en frente, como por ejemplo, las pantallas luminiscentes cuya luminosidad emitida depende de la cantidad de rayos

catódicos con los que se estimule. Además, esta expresión nos lleva a la conclusión de que esta importante tarea se reduce únicamente a calcular una relación entre ambos campos, y el resto simplemente estará determinado por la dirección en la que las fuerzas generadas por estos campos desvíen el haz.

Problema:

En un tubo de rayos catódicos, una partícula con una sola carga de masa m es acelerada desde el cátodo hacia el ánodo por una diferencia de potencial V . Después es desviada por un campo magnético uniforme generado dentro del dispositivo (perpendicular a la velocidad de la partícula) en una trayectoria semicircular de radio R . Ahora una partícula con doble carga de masa m es acelerada por medio de la misma diferencia de potencial y desviada por el mismo campo magnético en un semicírculo de radio $R' = 2R$. ¿Cuál es la relación de las masas de estas partículas?

R// Dado que el campo magnético es uniforme, la fuerza magnética es constante en magnitud y dirección. Suponemos que las partículas tienen la misma velocidad inicial. En la región donde se encuentra el campo magnético, cada partícula es obligada a realizar un movimiento circular de radio R y R' , respectivamente. La fuerza resultante está siempre dirigida hacia el centro de la circunferencia. Utilizando la relación entre fuerzas vista en el documento, al igualar la fuerza magnética con la centrípeta, obtenemos:

Carga 1:

$$q \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{R}$$

Carga 2:

$$2 \cdot q \cdot v \cdot B = m' \frac{v^2}{R'}$$

$$q \cdot v \cdot B = m' \frac{v^2}{4R}$$

Con estas dos ecuaciones, es posible igualar la de la carga 1 con la de la carga 2, obteniendo:

$$m \frac{v^2}{R} = m' \frac{v^2}{4R}$$

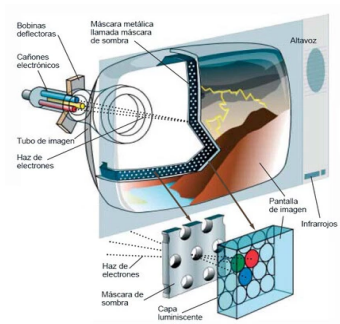
$$\frac{m}{m'} = \frac{1}{4}$$

La relación de las masas entre estas partículas es de 4 a 1.

Conclusión:

Después de estudiar la teoría que respalda el funcionamiento de los tubos de rayos catódicos (TRC), es importante comprender para qué se usa o se utilizó este dispositivo. Esta tecnología ha desempeñado un papel crucial en el avance tecnológico, ya que fue ampliamente utilizada en las décadas de 1950 a 1990 en los siguientes aparatos electrónicos:

- Televisores y Monitores de Ordenador: Los TRC fueron ampliamente empleados para generar imágenes mediante un haz de electrones proyectado sobre una pantalla recubierta de fósforo. Este haz se desvía,



como se explicó en el documento, de manera que los electrones pasan de lado a lado y de arriba abajo, formando imágenes en la pantalla.

- **Osciloscopios:** Estos son instrumentos de medición electrónica que muestran visualmente señales eléctricas. Utilizan la tecnología de tubos de rayos catódicos (TRC) para generar imágenes al dirigir un haz de electrones hacia una pantalla recubierta de fósforo que permite visualizar cambios de voltaje en el tiempo.

- **Sistemas de Radar:** Utilizados en sistemas de radar, los TRC mueven un haz de electrones a través de la pantalla para crear una imagen de los objetos detectados.

A pesar de su importancia histórica, los TRC están siendo reemplazados por tecnologías más modernas como LCD, LED y plasma, que ofrecen ventajas como menor consumo energético, tamaño compacto y mejor calidad de imagen.

Bibliografía:

- Velásquez Márquez, M. C. Q. (s. f). Experimento de Joseph John Thomson [Artículo]. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Serway 7^o edición vol. 2.pdf. (s. f.). Google Docs. https://docs.google.com/file/d/0B1tSxmNsPvTsZDJ4T0lhQUpsNEU/edit?resourcekey=0-aGAoe3fChb-8tq_yAO5DQ
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (s. f). Física universitaria, Volumen 2: Con física moderna. Editorial.
- Hernan García Triana, Fuerza Magnética Sobre Cargas En Movimiento