

UNIVERSIDAD NACIONAL

AUTÓNOMA DE MÉXICO



LABORATORIO DE ELECTRICIDAD

Y MAGNETISMO

GRUPO: 29

PRÁCTICA No. 11

FUNDAMENTOS DEL MAGNETISMO

FECHA: 15. Febrero. 2001

PRÁCTICA No. 11

FUNDAMENTOS DEL MAGNETISMO

Introducción

Carga eléctrica

La Palabra electricidad apareció en Grecia por primera vez unos siglos antes de Jesucristo. Los griegos observaron que al frotar una pieza de ámbar ésta era capaz de atraer a cuerpos pequeños. A ésta propiedad la denominaron electricidad que proviene de la palabra ???????? (elektron), que significa ámbar. Hubieron de pasar muchos siglos para que éste fenómeno pudiera ser explicado. Se comprobó que no era una propiedad exclusiva del ámbar, sino que muchas sustancias la poseían también.

Se producen fenómenos curiosos, así una bola de plástico frotada con una piel de conejo, y otra bola igual fortada con un paño de seda se atraen. Si tomáramos las dos bolas y las frotáramos con el mismo material observaríamos que se repelen. Si continuáramos probando con distintos materiales frotados en distintas superficies, comprobaríamos que los materiales se atraerían o repelerían con nuestra bola de plástico y los que la atraen se repelerían entre ellos y se atraerían con los que las repelen. Llegamos a la conclusión que en la materia existe una propiedad que tiene una naturaleza dual. A ésta propiedad se le llama *carga eléctrica*. Existen sólo dos tipos de carga, una que denominaremos positiva y otra que llamaremos negativa. Si un cuerpo no se atrae o repele con ningún cuerpo cargado decimos que el cuerpo en cuestión es neutro.

Cuando dos cuerpos tienen la misma carga se repelen, y cuando es contraria se atraen.

Movimiento relativo entre dos cuerpos

En ciertas situaciones prácticas un cuerpo se mueve con respecto a dos marcos (o cuerpos) de interés.

El movimiento relativo simple entre dos cuerpos (partículas).

Supóngase la posición de dos partículas para un instante, dicha posición estará referida a un sistema fijo OXYZ.

$\mathbf{r}_{B/A}$: vector de posición de la partícula B con respecto a la partícula A en el instante bajo consideración (**AB**).

Es decir, el vector de posición relativo de una partícula con respecto a otra es la resta de los vectores de posición absolutos de dichas partículas;

$$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \mathbf{r}_{B/A} \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_{B/A} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (2)$$

derivando (1) tenemos,

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{B/A} \quad (3)$$

lo que indica que la velocidad absoluta de una partícula es igual a la velocidad absoluta de otra partícula más la velocidad relativa de la primera partícula respecto a la segunda.

De (3) tenemos,

$$\mathbf{v}_{B/A} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A \quad (4)$$

es decir, la velocidad relativa entre dos partículas es igual a la resta de sus velocidades absolutas. Llevando a cabo el mismo procedimiento encontramos que,

$$\mathbf{a}_{B/A} = \mathbf{a}_B - \mathbf{a}_A \quad (5)$$

Corriente eléctrica

Se dice que hay una *corriente eléctrica* siempre que hay un flujo neto de carga. Casi siempre, las cargas en movimiento están confinadas en una región limitada, por ejemplo, el interior de un alambre metálico, el volumen cilíndrico de un tubo de neón, o la sección transversal de un haz de electrones en un cinescopio. La cantidad de corriente se define como la suma de la carga que atraviesa en la unidad de tiempo un área perpendicular de flujo; esto es,

$$I = \Delta Q / \Delta t$$

Aquí, ΔQ es la carga que durante el tiempo Δt , cruza el área perpendicular al movimiento de dicha carga. La corriente instantánea se obtiene mediante el procedimiento al límite,

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta Q / \Delta t$$

La unidad de corriente, coulomb por segundo, se llama ampere [A], en honor de André Marie Ampere

(1775–1836), un científico francés que hizo muchas contribuciones a la electricidad actual.

Por definición, la dirección de la corriente es la del flujo de las cargas positivas. Si las cargas negativas son las que se mueven, entonces la dirección de la corriente es contraria a la velocidad de las cargas negativas. Esta última circunstancia es con mucho la más común; entre los conductores metálicos, los electrones cargados negativamente son los que transportan la carga.

En un metal, los electrones móviles de conducción están en movimiento continuo, como las moléculas de un gas. Si la velocidad promedio de los electrones es cero, la corriente total también será cero. La corriente macroscópica que resulta de un movimiento neto de cargas es proporcional al número de cargas y a su velocidad promedio, también conocida como velocidad de desplazamiento o de corrimiento.

Consideremos un haz de partículas de densidad uniforme, n por m^3 , cada una portando una carga de q coulombs. En un tiempo Δt , una carga que viaja con una velocidad v_d cubre una distancia $\Delta l = v_d \Delta t$. La carga total dentro del volumen $\Delta V = A \Delta l$ es $nq \Delta V = \Delta Q$, y ésta es la cantidad de carga que atraviesa la superficie transversal A durante el intervalo Δt .

$$I = n q v_d A$$

Fuerza

En el lenguaje cotidiano, la fuerza se asocia con un empujón o con un tirón, tal vez ejercido por nuestros músculos. Sin embargo, en la física necesitamos una definición más precisa. Para ello vamos a definir la fuerza en términos de la aceleración que experimenta un cuerpo patrón dado cuando se le sitúa en un medio ambiente apropiado.

Resulta conveniente usar (o mejor aún, ¡imaginar que se utiliza!) como cuerpo patrón a 1 kilogramo patrón. Este cuerpo ha sido seleccionado como patrón de masa y se le ha asignado, por definición, una masa m_0 de exactamente 1[kg].

En cuanto al medio ambiente, coloquemos al cuerpo patrón sobre una mesa horizontal que no presente fricción y unámoslo a uno de los extremos de un resorte. Tomemos con nuestra mano el otro extremo del resorte y tiremos de él horizontalmente hacia la derecha, de manera que consigamos, por ensayos sucesivos, que el cuerpo patrón experimente una aceleración uniforme, al medirla, sea de $1.0[m/s^2]$. Decimos entonces, a manera de definición, que el resorte (que es el cuerpo que constituye el medio ambiente) está ejerciendo una fuerza constante sobre el cuerpo patrón, a cuya magnitud llamaremos "1 newton".

Dice la segunda ley de Newton: Si una fuerza neta actúa sobre un cuerpo originará una aceleración en el mismo. Esta aceleración está en dirección de la fuerza neta, y su magnitud es proporcional a la magnitud de la fuerza neta e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \text{ [N] ; [Newton] = [kilogramo][metro/segundo}^2\text{]}$$

Producto vectorial

Al intentar definir un producto de vectores que da como resultado otro vector, se muestra cómo dados dos vectores $\mathbf{a}$ y $\mathbf{b}$, podemos producir un tercer vector $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$, llamado el producto cruz de $\mathbf{a}$ y $\mathbf{b}$. Este nuevo vector tendrá la muy agradable propiedad geométrica de ser perpendicular al plano generado (determinado) por $\mathbf{a}$ y $\mathbf{b}$. La definición del producto cruz está basado en los conceptos de matriz y determinante.

Parece que en 1693 Leibniz inventó y usó los determinantes por primera vez, en relación con soluciones de ecuaciones lineales. McLaurin y Cramer desarrollaron sus propiedades entre 1729 y 1750; en particular

mostraron que la solución de un sistema de ecuaciones

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3$$

se da para x_1 dividiendo el determinante donde se sustituyen las a 's de la primera columna por las soluciones b 's entre el "delta del sistema", para x_2 y x_3 simplemente se sustituye en la segunda y tercera columna respectivamente; hecho conocido como la regla de Cramer. Posteriormente, Vandermonde (1772) y Cauchy (1812), al tratar los determinantes como un tema aparte que merecía atención especial, desarrollan el campo de manera más sistemática, con contribuciones de Laplace, Jacobi y otros. A Lagrange (1775) se deben fórmulas para volúmenes de paralelepípedos en términos de determinantes. No obstante que durante el siglo diecinueve los matemáticos estudiaron matrices y determinantes, los temas se consideraban por separado.

Sean

$$\mathbf{a} = a_1\mathbf{i} + a_2\mathbf{j} + a_3\mathbf{k} \text{ y}$$

$$\mathbf{b} = b_1\mathbf{i} + b_2\mathbf{j} + b_3\mathbf{k}$$

vectores en $\mathbf{R}^3$. El producto cruz de $\mathbf{a}$ y $\mathbf{b}$, denotado por $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$, está definido como el vector

$$\begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = (a_2b_3 - a_3b_2)\mathbf{i} - (a_1b_3 - a_3b_1)\mathbf{j} + (a_1b_2 - a_2b_1)\mathbf{k},$$

$$\text{donde } \mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}.$$

Aunque sólo definimos los determinantes para arreglos de números reales, ésta expresión formal que incluye vectores es una ayuda útil para recordar el producto cruz.

Notar que el producto cruz de dos vectores es otro vector; a veces se le llama producto vectorial.

Polos magnéticos

Los primeros fenómenos magnéticos observados estaban asociados con fragmentos de piedra de imán o magnetita (un óxido de hierro) encontrados cerca de la antigua ciudad de Magnesia hace alrededor de 2000 años. Se observó que dichos imanes naturales atraían pequeños trozos de hierro no magnetizado. A esta fuerza de atracción se le da el nombre de magnetismo, y al dispositivo que ejerce una fuerza magnética se le llamó imán.

Si un imán de barra se introduce en un recipiente que contenga limaduras de hierro y se retira, puede observarse que los trozos pequeños de hierro se adhieren con mayor intensidad en las áreas pequeñas cercanas a los extremos. Estas regiones en donde se aprecia que la intensidad del imán se concentra se llaman polos magnéticos.

Aún no se han aclarado numerosos aspectos problemáticos del campo magnético terrestre. El patrón de líneas de campo continuamente deriva, y los polos norte y sur magnéticos se mueven durante tiempos que geológicamente son cortos. Debido a ello, la declinación magnética, como se llama la diferencia entre el polo norte geográfico verdadero, y el polo norte magnético, cambia también año con año en cantidades del orden

de los 10 minutos de arco. Por tanto, en una o dos décadas dichos cambios pueden alcanzar un grado o más de corrección. Todavía más enigmático es el hecho de que hay pruebas de que en unos cuantos cientos de millones de años se invierte completamente el campo magnético terrestre, aunque los movimientos de rotación o traslación de la tierra aparentemente no sufren ninguna alteración.

Convenciones relacionadas con la brújula

En el verano de 1820, Hans Christian Oersted escribía lo siguiente:

Los primeros experimentos sobre el tema que he acometido para ejemplificar fueron dispuestos rudimentariamente en las clases de electricidad, galvanismo y magnetismo, que expuse durante el invierno que acaba de transcurrir. Mediante tales experimentos parece haberse demostrado que la brújula se mueve de su posición con ayuda de un aparato galvánico.

El descubrimiento de Oersted marcó el comienzo del conocimiento moderno del magnetismo. La fuerza misteriosa de ciertas piedras, encontradas más comunmente en la región de Magnesia, en Asia Menor, que atrae pequeños trozas de hierro, ya era conocida en la antigüedad, probablemente mucho antes de haber observado los efectos electrostáticos de frotar el ámbar. Aproximadamente por el año 100 d.C., los chinos se percataron de que éstas piedras, cuando se colgaban de un hilo delgado, tendían a orientarse en una dirección especial. Durante los siglos XI y XII se comenzaron a ver en los barcos toscas brújulas magnéticas.

Pero cuando la primera y salvaje alarma se pudo generalizar entre la tripulación, el viejo, con risa acartonada exclamó, "Lo tengo" Ya ha sucedido. Señor Starbuck, la tormenta de anoche alteró nuestras brújulas. Eso es todo. Había oído tal cosa antes, Es eso".

"Sí, pero nunca antes me había sucedido, señor", dijo asombrado el hombre, pálido.

Debemos decir que han ocurrido accidentes como éste más de una vez a buques en tempestades violentas. La energía magnética, al producirse en la brújula marinera, como todos sabemos, fundamentalmente se relaciona con la electricidad acumulada en la atmósfera; por lo mismo no debe asombrarnos mucho que sucedan éstas cosas.

1. Objetivos de aprendizaje

- a) Definir el concepto de campo magnético.
- b) Conocer los fenómenos magnéticos fundamentales.
- c) Aprender y aplicar las convenciones y definiciones relacionadas con el tema.
- d) Deducir y comprender las condiciones bajo las cuales se manifiesta el campo magnético.
- e) Conocer la definición y utilizar el concepto de línea de inducción o de campo magnético.

2. Conceptos teóricos antecedentes

a) Carga eléctrica

b) Movimiento relativo entre dos cuerpos

c) Corriente eléctrica

d) Fuerza

e) Producto vectorial

f) Polos magnéticos

g) Convenciones relacionadas con la brújula

3. Equipo y material

Para el alumno Para el profesor

1 fuente de alto voltaje de 0 – 500 [V] de C.D. 1 conductor recto de cobre conectado

1 fuente 0 – 20 [V] , 0 – 8 [A] de C.D. a una fuente de 0 – 20 [V] y 0 – 80 [A]

1 aparato para medir la relación e/m del electrón de C.D.

2 brújulas (sencilla y Brunton)

2 imanes en forma de herradura

Limaduras de hierro

1 solenoide de 800 vueltas y núcleo recto de acero

1 bobina de 15 vueltas

1 osciloscopio de modelo anterior

4. Desarrollo

I. Convenciones y ley de polos magnéticos

Introducción sobre el principio de funcionamiento de una brújula y de la polaridad magnética de ésta, expuesta por el profesor.

Dibuje un esquema en donde aparezcan los polos magnéticos de la brújula y de la Tierra, así como la orientación relativa de la primera con respecto de la segunda.

Deduzca experimentalmente una ley que describa la relación que existe entre las fuerzas de atracción y repulsión entre los polos magnéticos. Asimismo, demuestre que existen dos tipos de polos magnéticos solamente.

Pregunta 1.

¿Coinciden los polos geográficos de la Tierra con los magnéticos? Explique y dibuje un esquema.

No, el polo sur geográfico corresponde al polo norte magnético, y el polo norte geográfico al polo sur magnético. Además de que el eje magnético se encuentra a unos 17° del eje geográfico.

Pregunta 2.

¿Cuál es el contenido de la ley que describe las fuerzas de interacción entre los polos?

Polos de igual naturaleza magnética se repelen, y polos de diferente naturaleza magnética se atraen.

Pregunta 3.

¿Qué experiencia utilizó para demostrar la existencia de dos polos?

Acercando el imán a la brújula. Cuando el polo norte de la brújula era repelido indicaba la existencia de un polo norte en el imán; en cambio, cuando el polo norte de la brújula era atraído indicaba la presencia de un polo sur en el imán.

II. Líneas de campo magnético

El profesor explicará el concepto de línea de inducción o de campo magnético.

Obtenga la configuración de las líneas de inducción magnética con la ayuda de la limadura de hierro, anote su sentido utilizando la convención correspondiente e identifique cada polo para los siguientes sistemas:

- a) Un imán permanente.
- b) Un conductor recto con una corriente continua de 60 [A].
- c) Un solenoide con una corriente continua de 1.0 [A] (Debe introducirse el núcleo recto de acero).
- d) Una bobina de 15 espiras o vueltas, con una corriente continua de 4 [A].

Dibuje las configuraciones encontradas, identificando cada polo, indicando el sentido de las líneas de campo y el de la corriente eléctrica en los conductores de los tres últimos casos.

Pregunta 4.

¿Qué propiedades tienen las líneas de inducción?

Escuche la explicación correspondiente a la posición relativa del vector de campo magnético respecto a la línea de inducción y a la descripción de la "regla de la mano derecha".

Describen trayectorias cerradas.

Se dirigen del polo norte al polo sur.

Son proporcionales a la intensidad del campo magnético.

No se cruzan.

Pregunta 5.

¿Qué posición tienen los vectores de campo magnético respecto a las líneas de inducción?

El vector de campo magnético es siempre tangente a la línea de inducción.

Pregunta 6.

¿Qué utilidad tiene la "regla de la mano derecha"? Describa un ejemplo.

Conociendo la dirección y sentido de la corriente, es posible definir el sentido de las líneas de inducción.

III. Fuerza de Lorentz

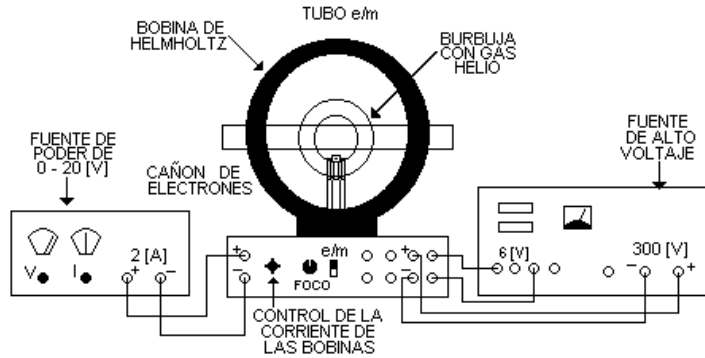


Figura 1

El aparato para medir la relación e/m (cociente de la carga eléctrica de un electrón entre la masa del mismo) consta de un cañón de electrones que produce un haz de éstos y cuya trayectoria es visible en una atmósfera de gas de helio. Las dos bobinas paralelas, que se denominan de Helmholtz, están conectadas en serie y desvían la trayectoria del haz por medio de un campo magnético.

Conecte las dos fuentes de energía como se muestra en la figura 1; la corriente continua de las bobinas no debe exceder de 2 [A], y la diferencia de potencial de la fuente de alto voltaje no debe sobrepasar 300 [V].

PRECAUCIÓN: Consulte al profesor antes de encender los aparatos, realice las conexiones sin energía eléctrica. El equipo puede dañarse fácilmente.

Realice los ajustes necesarios para que se observe una circunferencia luminosa. Varíe el valor de la intensidad de la corriente de las bobinas sin superar los dos amperes. Mantenga una brújula cerca de la bombilla y observe.

Modifique el campo magnético de las bobinas aproximando un imán. **No golpee la bombilla.**

Pregunta 7.

¿Qué efecto provoca el campo magnético en el haz de electrones?

Investigue la forma y sentido que tienen las líneas de inducción de las bobinas con la ayuda de una brújula. Identifique cada polo magnético.

Lo desvía, debido a que el haz de electrones es sinónimo de cargas en movimiento las cuales producen un campo magnético que interacciona con el imán, y depende del polo; el norte lo desvía hacia adelante, y el sur hacia atrás.

Pregunta 8.

¿Qué configuración tienen las líneas de inducción de las bobinas de Helmholtz? Muestre un esquema indicando la ubicación de los polos.

Ver esquemas.

Pregunta 9.

¿Qué posición relativa tienen los vectores velocidad, fuerza magnética y de campo magnético asociados a un electrón del haz?

Ver esquemas

Dibuje los vectores velocidad, fuerza magnética y de campo magnético actuantes sobre un electrón del haz, haciendo visible la posición relativa entre ellos. Utilice la figura 2.

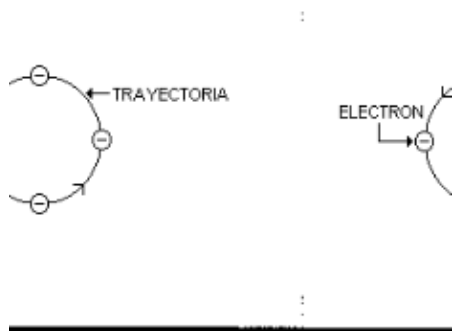


Figura 2

Pregunta 10.

¿Qué diferencia encuentra entre el vector de campo magnético y el vector de campo eléctrico en lo que respecta a la fuerza que cada uno de ellos provoca sobre un electrón?

Gire la bombilla de vidrio, sujetando su base de plástico con un pañuelo limpio de modo que el haz electrónico sea paralelo a las líneas de inducción, se puede girar totalmente en un sentido y parcialmente en el otro.

El campo eléctrico actúa en la misma dirección y sentido de la fuerza eléctrica, mientras que el campo magnético es perpendicular a la fuerza magnética.

PRECAUCIONES:

1. La grasa de los dedos penetra por el vidrio y daña el filamento de la bombilla.
2. El haz de electrones no debe incidir en el vidrio durante un lapso mayor a 10 segundos porque puede perforarlo.

Pregunta 11.

¿Qué concluye de esta experiencia? Dibuje los vectores velocidad y de campo magnético correspondientes a un electrón del haz para este caso.

Encienda el osciloscopio que se le ha proporcionado y haga los ajustes necesarios para que el eje de los tiempos se ubique en el centro de la pantalla. Aproxime el imán a la pantalla y observe.

Al girar la bombilla y hacer paralelo el haz electrónico a las líneas de inducción, el vector velocidades colineal y en el mismo sentido que el campo magnético. Por ésto, el haz de electrones no se ve afectado.

Pregunta 12.

¿Qué explicación le da al fenómeno observado?

Como el osciloscopio está formado por un tubo de rayos catódicos, en él están presentes electrones en movimiento y en consecuencia originan un campo, pero cuando se le acerca el imán a dicho campo, altera su trayectoria.

5. Aplicaciones

Las líneas de inducción magnética se utilizan en la navegación aérea y marítima, y se sospecha que las migraciones de animales son posibles por aquéllas.

Las bobinas de Helmholtz se usan en la fabricación de motores eléctricos y en la "tomografía humana".

El campo magnético es vital en las telecomunicaciones.

6. Conclusiones

Revise los objetivos planteados al inicio de la práctica y formule sus conclusiones.

Pudimos observar que todo imán está rodeado por un espacio en el cual sus efectos magnéticos están presentes, a esta región se le llama campo magnético.

Utilizando las limaduras de hierro, observamos que los imanes tienen ciertas regiones donde sus efectos se manifiestan con mayor intensidad, a éstas regiones se les conoce como polos magnéticos.

Con ayuda de la brújula, pudimos comprobar que existen dos tipos de polos (norte y sur). Cuando se acercaba un imán a la brújula, la aguja de ésta se alineaba de varias formas, por ejemplo en algunas ocasiones la parte oscura de la brújula (polo norte) era repelida y otras veces era atraída. Comprobando que polos magnéticos de igual naturaleza se repelen y los de diferente naturaleza se atraen.

También con las limaduras de hierro observamos como se manifiestan las líneas de inducción, que resultan útiles en la visualización de campos magnéticos. Las líneas de inducción salen del polo norte de un imán y entran en el polo sur. A diferencia de las líneas de campo eléctrico, las líneas de inducción no tienen puntos de origen ni extremo, sino que forman trayectorias cerradas. Además en las regiones en donde el campo magnético es más intenso, las líneas de inducción están más cerca unas de otras.

7. Bibliografía

- Jaramillo Morales, Gabriel y Alvarado A., Alejandro: *Electricidad y magnetismo*. Trillas, México, 1990.
- Wilson, Jerry D.: *Física con aplicaciones*, 2 ed. México, 1990.
- Wolf, Stanley: *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. Prentice–Hall, México, 1980.

– Resnick y Halliday: *Física*, v *II*, CECSA.