

BOBINA DE THOMSON

* HORACIO MUNGUÍA AGUILAR, RIGOBERTO FRANCO MALDONADO

RESUMEN

Uno de los instrumentos más didácticos en la enseñanza de las leyes del electromagnetismo es la denominada Bobina de Thomson. Con ella se pueden realizar diferentes experimentos sobre las leyes de Ampere y Faraday. En el presente trabajo se muestra su funcionamiento, se explica el mecanismo de levitación del anillo de inducción, se presenta los detalles de un modelo construido y se mencionan otros experimentos que enriquecen su funcionalidad.

M.C. HORACIO MUNGUÍA AGUILAR
Departamento de Física, Universidad de Sonora
Correo: hmunguia@correo.fisica.uson.mx
T.S.U. RIGOBERTO FRANCO MALDONADO
Departamento de Física, Universidad de Sonora
Correo: rfrancom@correo.fisica.uson.mx

*Autor para correspondencia: Horacio Munguia Aguilar
Correo electrónico: hmunguia@correo.fisica.uson
Recibido: 28 de agosto de 2014
Aceptado: 08 de octubre de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

La Bobina de Thomson es una bobina eléctrica inventada por el ingeniero inglés Elihu Thomson en el año de 1887 con fines esencialmente demostrativos. Se trata de un devanado cilíndrico de alambre conductor con un núcleo ferromagnético que le sobresale formando un solenoide de alta inductancia tal y como se aprecia en el esquema de la figura 1. Típicamente se la aplica corriente alterna con el fin de generar campos magnéticos variables en su vecindad. Su aplicación más popular, consiste en la introducción de un pequeño aro de aluminio en la parte sobresaliente del núcleo. La interacción de los campos magnéticos generados e inducidos hace que el aro levite (Figura 2).

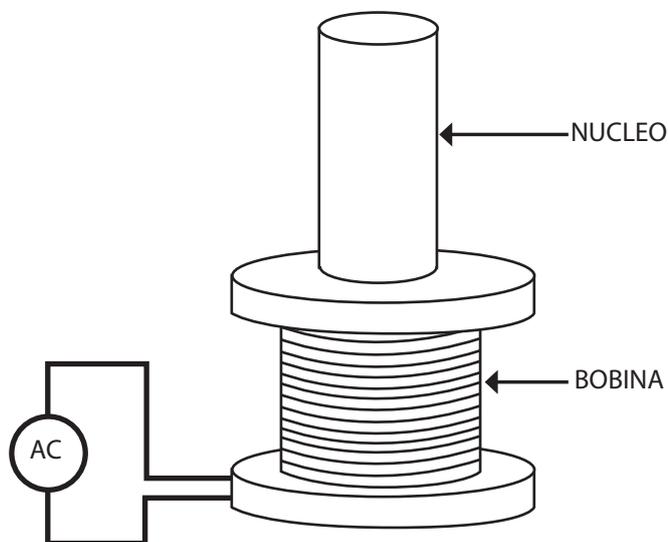


Figura 1. Bobina de Thomson clásica.

EL ANILLO LEVITADOR

En esta demostración se emplea un aro de aluminio que se inserta en la parte superior del núcleo y que se suspende libre al llegar a cierta altura. Si la corriente en la bobina es aplicada en forma repentina el aro saltará a parte del reposo. En la figura 2 se muestra una bobina con el aro levitando.



Figura 2. Aro levitador en la Bobina de Thomson.

La explicación tradicional del fenómeno de levitación del aro es la siguiente: la corriente eléctrica variable en la bobina genera un campo magnético variable (Ley de Ampere) especialmente intenso en el núcleo y sus inmediaciones, en donde se encuentra el aro. Este campo



genera en el anillo una corriente (Ley de Faraday) porque en su interior se tiene un flujo magnético cambiante. Esta corriente produce a su vez un campo magnético variable que se opone en todo momento al campo original (Ley de Lenz). Estas fuerzas en oposición producen la levitación del aro si son lo suficientemente intensas para contrarrestar el peso del anillo. Es decir, se tiene que aplicar una corriente mínima para producir la fuerza necesaria para vencer el peso del anillo y hacerlo "flotar". Después de varios segundos de estar levitando la temperatura del aro se incrementa en forma notable como consecuencia de la gran corriente inducida.

Esta explicación ([1], [2], [3]) es en general correcta, pero oculta un detalle técnico importante: las fuerzas generadas por los campos magnéticos varían al ritmo de la frecuencia de la corriente que es, típicamente, de 60 Hz (la frecuencia de la red). Por lo tanto, su efecto sobre el aro es periódico y habrá que considerar entonces valores promedio. El siguiente es un análisis simplificado pero formal sobre el accionar de estas fuerzas.

Partimos de las siguientes hipótesis:

El campo magnético en cualquier punto en la vecindad de la bobina es proporcional a la corriente en cualquier instante (Ley de Ampere).

El campo magnético en la vecindad del anillo tiene una componente axial y otra componente radial según se aprecia por las líneas curvadas del campo de la figura 3.

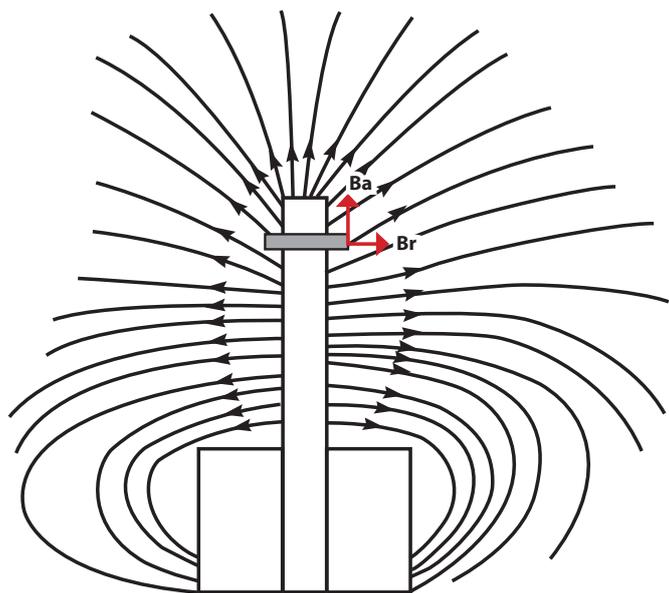


Figura 3. Líneas de campo en la Bobina de Thomson mostrando las componentes axial B_a y radial B_r .

Distinguimos tres pasos en este análisis: 1° cálculo de la fuerza electromotriz (FEM) inducida en el aro empleando la Ley de Faraday; 2° determinación de la corriente en el

aro; y 3° el cálculo de la fuerza de Laplace sobre el aro.

Supongamos que la corriente en la bobina $i(t)$ es senoidal de amplitud I_0 y frecuencia ω , es decir:

$$i(t) = I_0 \sin \omega t \quad (1)$$

La componente axial del campo magnético dentro del anillo también será senoidal con amplitud B_A y frecuencia ω :

$$B_a(t) = B_A \sin \omega t \quad (2)$$

La componente radial del campo magnético también será senoidal con amplitud B_r y frecuencia ω :

$$B_r(t) = B_r \sin \omega t \quad (3)$$

De acuerdo a la ley de inducción de Faraday sólo la componente axial será capaz de inducir una FEM en el aro puesto que la componente radial no contribuye al flujo magnético. Si el anillo tiene un área A , el flujo magnético que lo atraviesa será:

$$\Phi = AB_A \sin \omega t \quad (4)$$

Ésta es una aproximación puesto que el campo no es realmente constante en toda el área del aro, pero para nuestros propósitos es adecuada la suposición.

La fuerza electromotriz inducida en el aro será, de acuerdo a la Ley de Faraday:

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} = -AB_A \omega \cos \omega t \quad (5)$$

Éste sería el potencial medido en los extremos del aro si estuviera abierto (circuito abierto). Para un aro cerrado con una impedancia eléctrica total $Z=R+j\omega L$ se puede demostrar [4] que la corriente será:

$$i(t) = \frac{AB_A \omega}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos(\omega t + \theta) \quad (6)$$

En donde R es la resistencia del aro, L es su inductancia y $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$. Es importante resaltar el hecho de que el desfase θ en esta corriente se debe a la inductancia L del aro. Con inductancia cero no habría desfase.

Debido a esta corriente se producen fuerzas de Laplace [5] sobre el aro de acuerdo a la relación:

$$\vec{F} = \oint i(d\vec{l} \times \vec{B}) \quad (7)$$

En donde la integral se realiza en todo lo largo del aro.

Al observar la figura 4 se aprecia que las fuerzas producidas por la componente axial del campo se anulan entre sí (F_a), pero las fuerzas debido a la componente radial del campo B producen valores netos verticales (F_r) sobre el aro, hacia arriba y luego hacia abajo según cambia la dirección de la corriente en el aro.

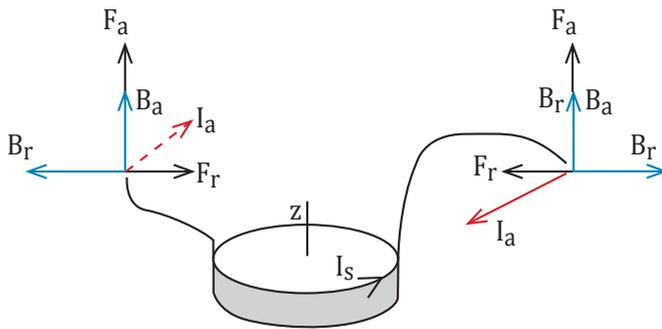


Figura 4. Fuerzas generadas por la componente axial y radial del campo.

El resultado de la integración de (7) considerando la componente radial del campo magnético da la siguiente amplitud para la fuerza vertical F_a :

$$F = 2\pi r B_r(t) i(t) \quad (8)$$

Al combinar con (3) y (6) se llega a:

$$F = \frac{2\pi A B_A B_r \omega r}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin \omega t \cos(\omega t + \theta) \quad (9)$$

Que se puede expresar como:

$$F = \frac{\pi A B_A B_r \omega r \cos \theta}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin 2\omega t - \frac{2\pi A B_A B_r \omega r \sin \theta}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} (\sin \omega t)^2 \quad (10)$$

Ésta es una fuerza homogénea sobre el aro que oscila hacia arriba y hacia abajo. Su promedio sería cero si no fuera por el segundo término. Esto quiere decir que sin el desfase θ de la corriente, el aro no levitaría, pues estaría sometido sólo a una vibración vertical del doble de la frecuencia de la corriente. En otras palabras, sin el efecto inductivo del aro no hay fuerza neta que produzca levitación. El valor promedio de esta fuerza es:

$$F_p = \frac{\pi^2 A B_A B_r \omega L r}{R^2 + (\omega L)^2} \quad (11)$$

Y como tanto B_A y B_r son proporcionales a I_ϕ , la fuerza será proporcional al cuadrado de esta corriente, es decir:

$$F_p = \frac{\pi^2 A K I_0^2 \omega L r}{R^2 + (\omega L)^2} \quad (12)$$

En donde K es una constante que depende del voltaje aplicado a la bobina y de sus características: dimensiones, número de vueltas, tipo de núcleo y calibre de su alambre.

Resumiendo lo anterior tenemos:

La componente axial del campo magnético es la responsable de la corriente en el aro.

La componente radial del campo magnético es la responsable de la fuerza sobre el aro.

Si se tiene desfase entre el voltaje y la corriente del aro, se observa una fuerza neta que empuja al aro hacia arriba.

Siempre habrá una componente oscilatoria del doble de la frecuencia del voltaje aplicado.

OTRAS DEMOSTRACIONES CON LA BOBINA

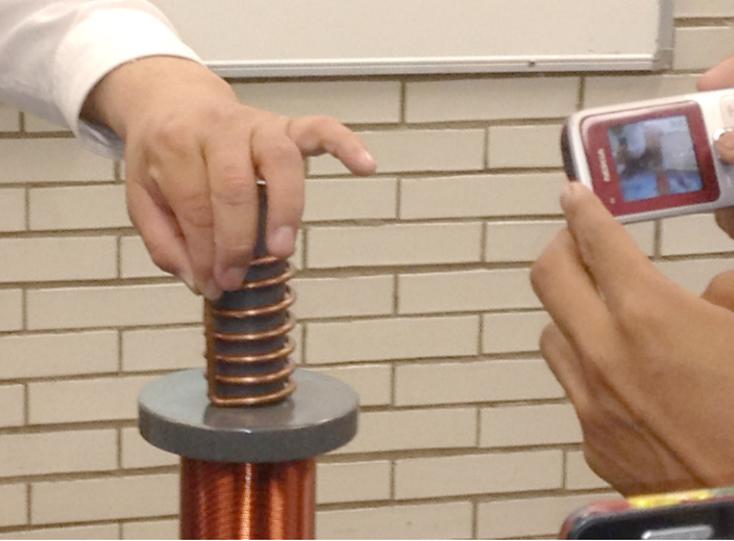
Además del aro levitador y del transformador simple mencionado al inicio, se pueden elaborar otras demostraciones eléctricas con la Bobina de Thomson que ilustran diferentes conceptos. Entre las demostraciones más conocidas se pueden mencionar las siguientes:

Transformador de voltaje

Una pequeña bobina con una lamparita en sus terminales se introduce en el núcleo de la bobina haciendo el papel de devanado secundario de un transformador. La lamparita se enciende por efecto del voltaje inducido (Figura 5).



Figura 5. Efecto transformador de voltaje con lamparita.



Transformador de corriente

Consiste de una bobina de pocas vueltas funcionando como secundario del transformador que permite visualizar la alta corriente inducida con el chisporroteo que se produce cuando sus extremos se ponen en corto (Figura 6).



Figura 6. Transformador de corriente.

Otras demostraciones menos conocidas de la Bobina de Thomson ([6], [7]) son:

- Disco giratorio de inducción
- Calentador de inducción
- Motor de mercurio
- Esfera rotatoria
- Resonancia LC

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO CONSTRUIDO

Existen muchas versiones funcionales de la Bobina de Thomson. Aquí presentamos un diseño que hemos elaborado y que resulta adecuado como modelo demostrativo en los laboratorios de electromagnetismo (Tabla 1).

Tabla 1. Características de la Bobina de Thomson construida.

Bobina	Longitud: 12.5 cm; Diámetro interno: 5.5 cm 650 vueltas de alambre #14; Inductancia sin núcleo: ~9mH
Núcleo	180 varillas de hierro de 30 cm de longitud compactadas en el interior de un tubo PVC de 3.5 cm de diámetro.
Alimentación	127v-60Hz, 6 A
Aditamentos	Bobina secundaria con lamparita, anillos levitadores de aluminio, bobina secundaria de corriente.
Peso Total	7.5 kg

CONCLUSIONES

Se ha presentado el funcionamiento de una Bobina de Thomson clásica, con una explicación simplificada pero formal del fenómeno del aro levitador. Se mencionaron diferentes demostraciones electromagnéticas que se pueden hacer con esta bobina y se presentaron los detalles del diseño de una bobina funcional construida en nuestros laboratorios.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) J. H. Tjossem y V. Cornejo, «Measurements and mechanisms of Thomson's jumping ring.» Am. J. Phys., vol. 68, nº 3, pp. 238-244, 2000.
- 2) J. M. Bostock Smith, «The jumping ring and Lenz's law.» Physics Education, vol. 43, nº 3, pp. 265-268, 2008.
- 3) M. Baylie y otros, «The jumping ring experiment.» Physics Education, vol. 44, nº 1, pp. 27-32, 2009.
- 4) W. H. Hayt y J. E. Kemmerly, Engineering circuit analysis, Boston, Ma: McGraw-Hill College, 1993.
- 5) A. Serway, Física II, McGraw-Hill, 1997 4a. Edición.
- 6) B. Bunton, «Elihu Thomson Demonstration Apparatus.» 1998. [En línea]. Available: http://fys.kuleuven.be/pradem/PDF_files/Elihu%20Thompson%20apparatus.pdf. [Último acceso: 20 Agosto 2014].
- 7) P. Tanner y otros, «A pulsed jumping ring apparatus for demonstration of Lenz's law.» Am. J. Phys., vol. 69, pp. 911-914, 2001.