

Anillo de Thomson

1. Principio físico que ilustra

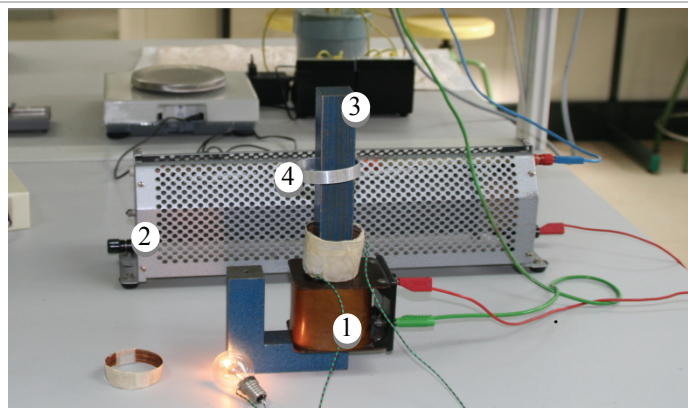
Ley Biot y Savart
Ley de Faraday
Ley de Lenz
Fuerza de Lorentz
Atracción y repulsión entre corrientes

3. Descripción

Se hace levitar un anillo conductor empleando una bobina provista de un núcleo de hierro y conectada a una fuente de alimentación alterna.

2. Foto o Esquema

5H40.30



4. Web del catálogo: <http://www.ucm.es/theoscarlab>

Transportable: SI

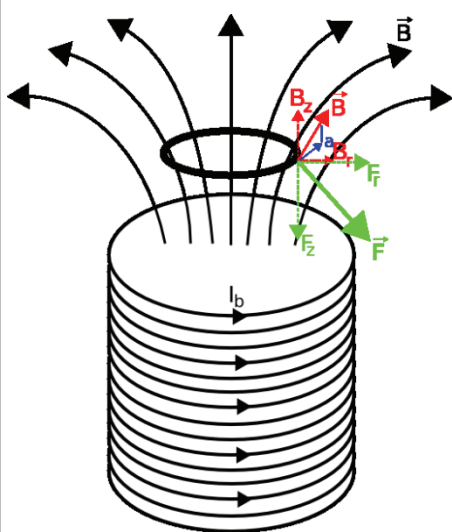
5. Fundamento teórico

En la bobina se genera un campo magnético (B) proporcional a la intensidad de la corriente que circula por ella (I_b) (ley de Biot y Savart). En el interior de la bobina el campo magnético generado es principalmente paralelo al eje (B_z), mientras que en el exterior tiene también una componente radial (B_r). Este campo magnético atraviesa el anillo, por lo que el flujo magnético a través del anillo será proporcional a la intensidad que circula por la bobina, esto es

$$\Phi = B_z \pi r^2 \Rightarrow \Phi \propto I_b$$

donde hemos supuesto el eje del anillo coincidente con el eje de la bobina y hemos tomado r como el radio del anillo). Dado que esta corriente es alterna ($I_b = I_0 \sin \omega t$), el flujo magnético que atraviesa el anillo varía con el tiempo ($\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$). La variación en el tiempo del flujo magnético induce una fuerza electromotriz en el anillo igual en magnitud a la variación por unidad de tiempo del flujo que atraviesa el anillo (ley de Faraday). Dicha fuerza electromotriz tiende a oponerse a esta variación según la Ley de

Lenz, por lo que $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\omega\Phi_0 \cos \omega t$



Se induce así una corriente en el anillo (I_a) que circula bajo la acción del campo magnético de la bobina, por lo que éste ejerce una fuerza sobre el anillo (fuerza de Lorentz $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$). Por la simetría del problema, la fuerza neta ejercida sobre el anillo por la componente del campo paralela al eje (B_z) es nula y es sólo la componente radial del campo (B_r) la que ejerce una fuerza sobre el anillo en dirección vertical. El signo de la fuerza depende de la relación entre la dirección de I_a y de B_r y la de éste último de la dirección de I_b :

$$F_z = -2\pi r_a I_b B_r \propto I_a I_b$$

donde r_a es el radio del anillo (ver diagrama).

Supongamos que en la bobina la corriente circula en sentido contrario a las agujas del reloj (visto desde arriba), por lo que el campo magnético generado tendría una componente radial positiva. Si la corriente del anillo circulara con la misma dirección que la corriente en

la bobina, la fuerza de Lorentz sobre el anillo sería hacia abajo, esto es, si las corrientes tienen el mismo sentido, se atraen y el anillo bajaría. Si las corrientes tienen sentido opuesto, se repelen.

Si sólo tenemos en cuenta la resistencia del anillo (R), la fuerza electromotriz induciría una corriente en él directamente proporcional a $-\cos \omega t$, por lo que la mitad del periodo tendría sentido opuesto a la que circula por la bobina (se repelen) y la otra mitad el mismo sentido (se atraen) con lo que la fuerza promedio sería nula y no se podría explicar el fenómeno de sustentación. Para explicarlo hay que tener en cuenta la autoinducción del anillo (L) que provoca un desfase (φ) entre la fuerza electromotriz y la corriente inducidas en el anillo, por lo que la corriente en el anillo sería $I_a \propto -\cos(\omega t - \varphi)$

Este desfase ($0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$) posibilita que las corrientes en el anillo y en la bobina sean opuestas la mayor parte del periodo, por lo que se produce una fuerza neta de repulsión entre ambos que contrarresta el peso del anillo y lo hace levitar.

El núcleo de hierro que atraviesa la bobina tiene la doble función de canalizar el campo magnético en el exterior de la bobina (dado su mayor permeabilidad magnética que la del aire circundante) y servir de guía al anillo que levita.

6. Materiales y montaje

- Bobina (1)
- Fuente alterna (la red: 50Hz, 220V)
- Reostato (2)
- Núcleo de hierro (3)
- Anillo conductor (4)
- Cables

Se dispone el núcleo de hierro dentro de la bobina y se conecta ésta a un circuito en serie formado por la fuente alterna (se puede emplear directamente la red) y el reóstato. Este último sirve para ajustar la intensidad de corriente que circula por el circuito. Una vez encendido se coloca el anillo conductor sobre el núcleo de hierro y se observa cómo levita. Si se sitúa el anillo antes de conectar la fuente, se puede mostrar cómo el anillo sale despedido al encenderla.

7. Observaciones

Es importante revisar que el amperaje que se va a hacer pasar por la bobina no sea demasiado alto (el máximo para el dispositivo del laboratorio es 1.5 A). Se emplea el reóstato para ajustar la intensidad y así evitar quemar la bobina.

Hay que evitar hacerlo funcionar demasiado tiempo porque la intensidad que circula por el anillo es muy intensa (unos 100A en el punto de equilibrio para el montaje experimental del laboratorio) y se calienta (lo que también se puede usar para ejemplificar el efecto Joule).

Se pueden emplear varios tipos de anillos (de aluminio o cobre), una espira conectada a una bombilla (se ilumina con la corriente inducida en la espira), dos anillos juntos (se verá que se atraen porque el sentido de la corriente inducida por la bobina en cada uno es el mismo) o incluso un anillo no cerrado (que no levitará porque no se induce corriente en él).

Bibliografía consultada:

- Churchil EJ, Noble JD (1971) A demonstration of Lenz's Law? Am. J. Phys. 39, 285-287.
- Feynman RP, Leighton RB, Sands M (1998) FÍSICA Volumen II: Electromagnetismo y materia, Addison-Wesley Longman de Mexico, cop. pp. 16-8, 16-9
- Tanner P, Loebach J, Cook J, Hallen HD (2001) A pulsed jumping ring apparatus for demonstration of Lenz's law. Am. J. Phys. 69, 911-916.

