

Rogério Rodrigues de Souza*,
Edmilton Gusken e Alessandro
Gonçalves Mundim

Universidade do Estado de Mato
Grosso, Cáceres, MT, Brasil

*E-mail: rogeriobb@unemat.br

O funcionamento de diversos dispositivos eletro-eletrônicos, tais como os rádios, televisores, motores elétricos, computadores, entre outros, enfim, as tecnologias nas quais estamos inseridos, envolvem diversos fenômenos de indução eletromagnética, descoberta por Michael Faraday no século XIX. A descoberta de Faraday surgiu do seu interesse sobre um fenômeno observado primeiramente por Oersted, onde um condutor metálico, ao transportar uma corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor. O famoso experimento de Faraday é basicamente a experiência de Oersted invertida, onde um ímã em movimento provoca o deslocamento de cargas elétricas em um fio metálico. O mesmo efeito

A descoberta da indução eletromagnética por Faraday surgiu do seu interesse sobre um fenômeno observado primeiramente por Oersted, onde um condutor metálico, ao transportar uma corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor

ocorre quando o ímã está parado e o fio é aproximado ou afastado, como é mostrado nas Figs. 1 e 2. Este efeito é chamado de indução eletromagnética. Entendemos hoje que a causa deste efeito é a variação das linhas do campo magnético que atravessam uma região ou um circuito fechado.

Quando um ímã se afasta de uma espira, segundo a lei de Faraday, surge nesta espira uma corrente elétrica induzida. A quantidade de linhas do campo magnético que passa no interior da espira

se reduz, produzindo uma corrente elétrica, e esta corrente elétrica induzida é gerada, a fim de impedir a redução do campo magnético, como apresentado na Fig. 1. É interessante observar que a corrente produz um campo magnético no mesmo sentido do campo do ímã.

De forma similar, na Fig. 2, quando o ímã se aproxima da espira, provoca o aumento da quantidade de linhas do campo magnético que atravessam a área da espira. Surge então uma corrente elétrica que produz um campo magnético contrário ao campo magnético do ímã, tentando impedir este aumento. Pela lei da indução, a corrente elétrica produzida na espira sempre será contra a variação da quantidade de linhas de campo, ou campo magnético.

A lei de Faraday pode ser enunciada da seguinte forma: "sempre que houver um campo magnético que está variando, surge um campo elétrico induzido". Este campo elétrico induzido cria uma corrente que pode ser utilizada em um circuito. A corrente elétrica induzida circula em um sentido que é contrário à variação do campo magnético. A expressão matemática para a lei de Faraday é escrita como

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

Neste trabalho apresentamos um experimento que demonstra o efeito da indução de correntes elétricas (indução de Faraday) em um copo de plástico, para instigar a curiosidade dos alunos. O experimento utiliza materiais de baixo custo, podendo ser aplicado em sala de aula como instrumento de auxílio às aulas. O efeito cinético observado aguça a curiosidade das pessoas e incentiva o aprendizado sobre campo magnético e o processo de indução de corrente elétrica em condutores.

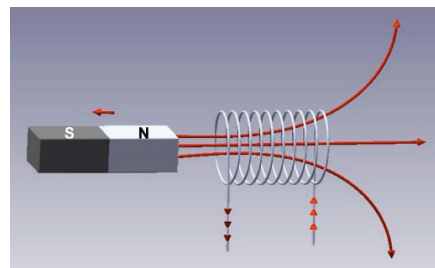


Figura 1 – Ímã se afastando de uma espira.

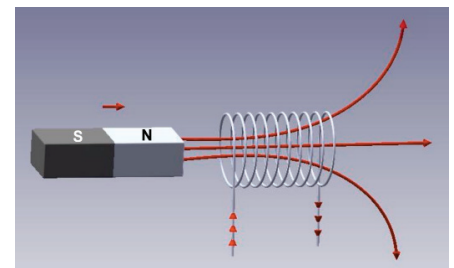


Figura 2 – Ímã se aproximando da espira.

em que ε é a chamada força eletromotriz (que gera a corrente induzida) e $d\Phi_B/dt$ é a variação do número das linhas do campo magnético atravessando uma determinada região. Veremos a seguir como o experimento é realizado e como podemos explicar o fenômeno observado em termos da lei de indução eletromagnética de Faraday.

Realizando o experimento

Para a realização do experimento é necessário um ímã, um fio, dois copos de plásticos descartáveis: um maior (de 250 mL ou superior) e outro menor (de “cafezinho”, 50 mL), papel alumínio e água. Primeiramente, deve-se revestir internamente o copo de 50 mL com papel alumínio, com a superfície espelhada voltada para o interior do copo. Posteriormente, o copo descartável maior deverá ser preenchido com água. Em seguida, deve-se colocar o copo descartável menor sobre a água. Nesta configuração, a água é utilizada para reduzir o atrito, e manter o copo menor em equilíbrio na superfície do líquido. Este equilíbrio é conseguido quando enchemos o copo maior com água até o limite do seu transbordamento, formando uma curvatura semelhante à de uma parábola voltada para baixo. Com isso, o copo menor se afasta da borda do copo maior devido às tensões superficiais. Em seguida, penduramos o ímã com o auxílio de um fio, e o colocamos no interior do copo menor, sem que se toquem. Para iniciar o experimento, basta produzir rotações no ímã por meio de torções no fio de sustentação do mesmo. A montagem do experimento é mostrada na Fig. 3.

Observação do fenômeno

Quando o ímã começa a girar, observa-se um movimento de rotação do copo de plástico, e verifica-se que o sentido de

rotação do copo de plástico é o mesmo do ímã.

Em um primeiro momento pode-se suspeitar que a origem do movimento de rotação do copo é o deslocamento de ar provocado pelo ímã em rotação que empurra o copo plástico. No entanto, utilizando um outro material que não seja o ímã, e do mesmo formato que este, nenhum efeito de rotação é observado. Desta forma, pode-se atribuir este efeito de rotação do copo à indução eletromagnética. Vejamos como podemos sustentar esta explicação.

Explicando o fenômeno

A rotação do copo de plástico é atribuída ao fenômeno de indução eletromagnética, pois o mesmo não acontece se trocarmos o ímã por outro material. É claro que somente este argumento não é suficiente para explicar o fenômeno. Consideremos inicialmente o ímã em repouso no interior do copo de plástico. Nesta situação, as linhas do campo magnético que atravessam uma determinada superfície do copo, onde as linhas de campo saem do polo norte e penetram no polo sul. Uma pequena superfície do papel alumínio é atravessado por uma certa quantidade de linhas de campo, tendo a configuração apresentada na Fig. 4.

Quando o ímã começa a girar, as linhas do campo magnético que atravessam essa superfície diminuem. Em outras palavras, devido ao movimento de rotação do ímã, as linhas de campo magnético, que saem do polo norte, avançam em uma região onde não havia campo magnético. Isto causa um aumento das linhas do

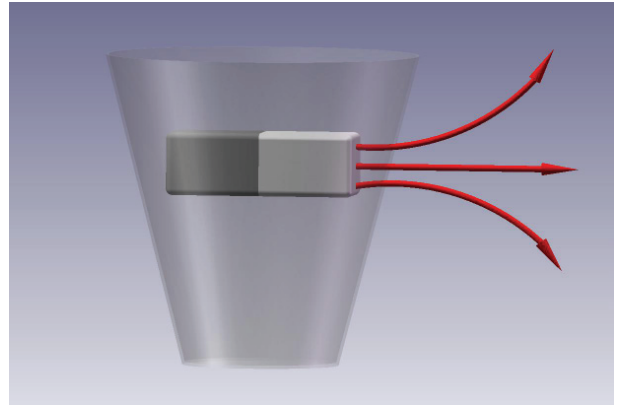


Figura 4 – Linhas do campo magnético do ímã atravessando a superfície interna do copo.

campo nesta outra região. Pela lei da indução eletromagnética, deve surgir uma força eletromotriz que produz uma corrente induzida, nesta mesma superfície, em um sentido contrário ao aumento das linhas do campo magnético. Por outro lado, no caso da região em que as linhas do campo estão diminuindo, haverá também uma corrente elétrica contrária à redução da quantidade de linhas de campo. No entanto, o sentido desta corrente é contrário ao da corrente induzida na região onde há aumento das linhas de campo. Vamos denominar as correntes induzidas na região onde as linhas de campo diminuem de i_1 , e de i_2 as correntes induzidas na região onde as linhas do campo estão aumentando. Os sentidos das correntes induzidas na superfície do papel alumínio estão no sentido horário e no sentido anti-horário, como estão indicados na Fig. 5.

Podemos observar que as correntes se intensificam em uma posição entre as regiões de aumento e redução de campo magnético. Na região onde elas se intensificam surge uma força magnética que pode ser calculada pela expressão

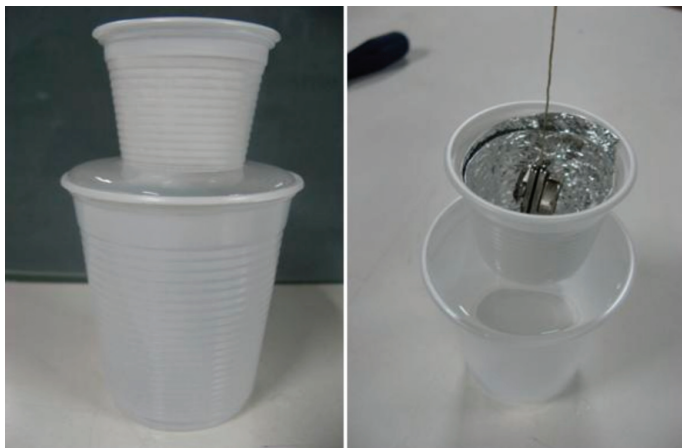


Figura 3 – Montagem do experimento. Observe o copo maior cheio até quase transbordar.

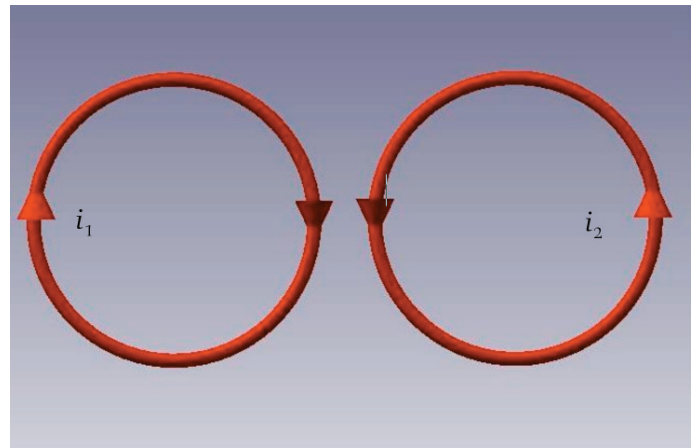


Figura 5 – Configuração das correntes induzidas na superfície interna do copo.

$$\mathbf{F} = i\mathbf{l} \times \mathbf{B},$$

onde \mathbf{l} é o vetor que representa o percurso da corrente e \mathbf{B} é o vetor campo magnético do ímã. A força magnética escrita desta forma permite-nos identificar a sua direção, que é dada pela regra da mão direita. Utilizando esta regra, obtemos que a força está dirigida de acordo com a Fig. 6.

Observamos ainda que essa força tem a mesma direção do deslocamento do ímã, e dessa forma o copo gira no mesmo sentido de rotação do ímã como de fato é observado.

Conclusão

A lei de Faraday é utilizada amplamente na indústria e no cotidiano tecnológico do homem moderno. Buscamos com este experimento mostrar os princípios básicos desta lei física, bem como salientar que a sua utilização em sala de aula pode ser um agente motivador para o entendimento desta lei. Por outro lado, a utilização de materiais de baixo custo facilita a sua demonstração em sala de aula. Por fim, sugerimos a leitura das referências

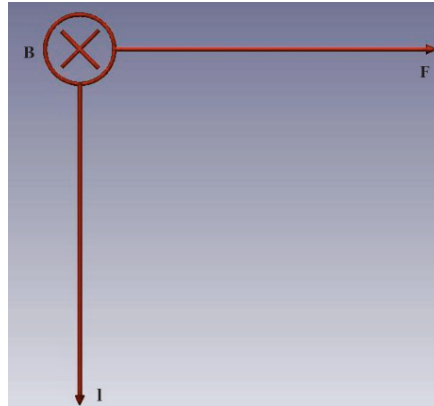


Figura 6 – Representação vetorial do campo magnético \mathbf{B} , da direção da corrente \mathbf{I} e da força magnética \mathbf{F} .

bibliográficas na seção “Saiba Mais” que possibilitam um aprofundamento maior do tema em questão.

Uma sugestão para o professor conduzir os seus alunos ao entendimento intuitivo deste fenômeno pode ser através das seguintes questões:

- 1) Qual a orientação das linhas do

campo magnético que atravessam a superfície interna do copo?

2) O que acontece com as linhas do campo na superfície do copo quando o ímã deixa esta região?

3) O que acontece com as linhas do campo na superfície do copo quando o ímã avança em uma região onde não havia o campo?

4) Pela lei de Faraday o que deve surgir na superfície do copo para as duas questões anteriores?

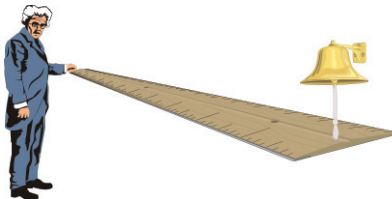
5) Qual o sentido das correntes induzidas?

Saiba Mais

- D. Halliday, R. Resnick e K.S. Krane, *Física 3* (LTC, Rio de Janeiro, 1996).
- P. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Edgar Blucher, São Paulo, 1997).

Perguntas do Editor

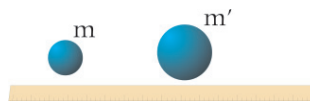
- Um sino é tocado em intervalos regulares de 1 segundo - ou seja, as batidas do badalo ocorrem a cada segundo. É possível, observando as pancadas e ouvindo o som, determinar a velocidade de propagação do som usando apenas uma trena?



- Um astronauta encontra-se fora da nave espacial e deseja a ela retornar. Se estivesse na superfície da Terra não haveria problema: bastaria caminhar até o local onde a nave se encontra. No espaço, porém, não há um chão sob seus pés para empurrar. Como deve proceder o astronauta?



- Você dispõe de uma massa de 100 g e uma régua graduada. Como você pode determinar a massa de outro objeto (desde que não muito diferente da massa-padrão de 100 g) usando a massa-padrão e a régua?



Perguntas retiradas do livro *Physical Problems for Robinsons*, de V. Lange (Editora Mir, Moscou, 1976).

Soluções no próximo número!