

EXPERIÊNCIA 9

LEI DE FARADAY

I - OBJETIVO:

Este experimento não é um experimento quantitativo. Nele, vamos sempre verificar somente a qualidade. A lei de Faraday é uma lei experimental e procuraremos chegar a uma formulação da mesma, através de experimentos simples.

II - PARTE TEÓRICA:

LEI DE FARADAY:

A lei da indução eletromagnética de Faraday é uma das equações básicas do eletromagnetismo. Para algumas leis da Física, é raro encontrar um conjunto de experiências de fácil realização e que nos levem às suas formulações de uma maneira tão direta e convincente. Essas experiências foram realizadas na Inglaterra, em 1831, por Michael Faraday e, mais ou menos na mesma época, nos Estados Unidos, por Joseph Henry.

A figura 1 mostra uma bobina cujos terminais estão ligados a um galvanômetro. Não seria de esperar nenhuma indicação do aparelho pois não há nenhuma força eletromotriz no circuito. Se deslocamos uma barra imantada através da bobina, vamos observar uma coisa realmente extraordinária. Enquanto o ímã estiver se deslocando, o galvanômetro apresentará uma deflexão, demonstrando, assim, a existência de uma corrente na bobina.

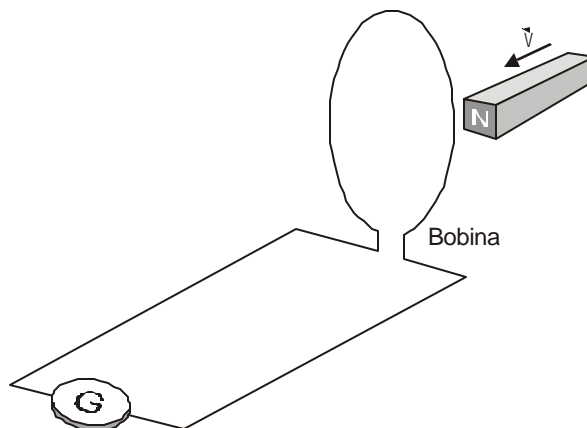


Fig. 1

Se seguramos o ímã, de modo que ele fique parado em relação à bobina, o galvanômetro não apresentará deflexão alguma. Se retiramos o ímã em sentido contrário, o ponteiro do galvanômetro sofrerá um deslocamento na direção oposta, indicando que também mudou o sentido da corrente na bobina. O mesmo tipo de mudança no sentido da corrente será observado se repetimos uma aproximação com o ímã invertido, isto é, com o pólo norte no lugar do pólo sul.

Essas experiências demonstram que o mais importante na geração da corrente é o movimento relativo existente entre o ímã e a bobina. O fato de ser o ímã que está se movendo na direção da bobina, ou a bobina na direção do ímã, não faz qualquer diferença.

A corrente que se observa é chamada de corrente induzida, e dizemos que a sua presença é devida à existência de uma força eletromotriz induzida. Observe que não existem quaisquer baterias no circuito. Faraday conseguiu obter, de experiências como estas, a lei que dá a intensidade e o sentido dessa fem, cuja importância na prática é muito grande.

Consideremos, agora, uma outra experiência, na qual é utilizada a montagem da figura 2.

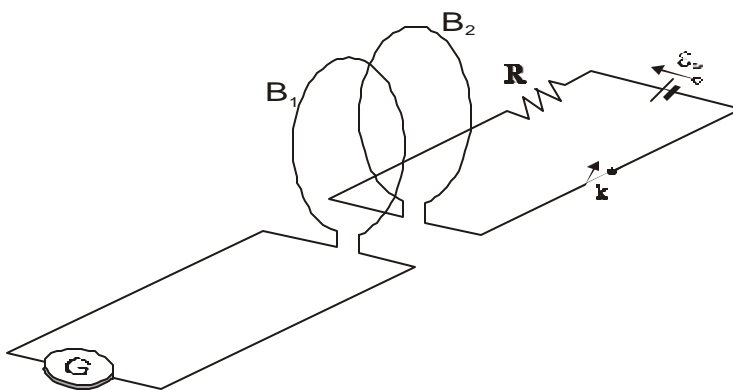


Fig. 2

Temos aqui duas bobinas colocadas próximas uma da outra, porém em repouso relativo. Quando fechamos a chave k , dando origem a uma corrente constante na bobina da direita, o ponteiro do galvanômetro sofre uma oscilação súbita, o que também acontece quando a chave é desligada, só que agora a oscilação é em sentido inverso. Deve-se notar que nesta experiência não há qualquer corpo macroscópico em movimento e nenhuma ligação física entre as duas bobinas. Quando a chave k é ligada, há um efeito instantâneo muito pequeno no galvanômetro, o mesmo acontecendo quando desligada. Mas se deixarmos passar uma corrente de forma contínua em uma das espiras, nenhum efeito no galvanômetro ou qualquer outro efeito de indução pode ser percebido na outra espira por mais intensa que seja esta corrente.

A experiência mostra que só há uma fem induzida na bobina, do lado esquerdo da figura 2, quando houver variação na corrente que percorre a bobina do lado direito. O importante para a produção desse efeito não é a intensidade da corrente, mas sim a rapidez com que ela varia com o tempo $I(t)$.

Faraday percebeu que a grandeza relevante na interação entre as duas bobinas da experiência anterior era a variação do fluxo magnético ($\phi(t)$) através da bobina da esquerda. Esse fluxo pode ser produzido pela indução magnética de uma barra imantada ou de outra espira de corrente. A lei da indução de Faraday nos diz que a fem induzida num circuito é igual à taxa de variação do fluxo através do circuito com o sinal trocado. Se essa taxa de variação é dada em Weber/segundo, a fem e será expressa em Volt. A equação correspondente é,

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$

O sinal menos refere-se ao sentido da fem induzida pois a corrente induzida surgirá sempre com um sentido tal que ela se oporá à variação que a produziu. O sinal menos, na Lei de Faraday, exprime, justamente, esse tipo de oposição.

Se aplicamos a equação 1 a uma bobina de N espiras, aparecerá uma fem em cada uma das espiras, as quais devem ser somadas, ao se considerar todo o circuito. Se as espiras forem enroladas tão próximas umas das outras que se possa dizer que todas elas ocupam praticamente a mesma posição do espaço, o fluxo será o mesmo para todas as espiras. O fluxo através de cada espira também é o mesmo para o campo produzido pelos solenóides e toróides ideais. Para esses aparelhos, podemos escrever a fem induzida como sendo igual a:

$$\varepsilon = - N \frac{d\phi_B}{dt} = - \frac{d}{dt} (N\phi_B) \quad (2)$$

Onde $N\phi_B$ mede o valor dos chamados elos de fluxo no dispositivo.

As figuras 1 e 2 nos sugerem a existência de pelo menos duas maneiras de fazer variar o fluxo através de um circuito e de produzir uma fem induzida. Do ponto de vista da bobina ligada ao galvanômetro, é indiferente qual dos dois tipos de experiência está sendo posto em prática; a única coisa que ela "sente" é a variação de fluxo através da área da sua seção reta. Pode-se, também, variar o fluxo através de um circuito alterando a sua forma, isto é, comprimindo-o ou distendendo-o.

LEI DE LENZ:

Até agora falamos muito pouco a respeito do sentido das forças eletromotrizes induzidas. Ainda que esse sentido possa ser descoberto por meio de uma análise formal da Lei de Faraday, nós vamos preferir especificá-lo com o auxílio do princípio da conservação da energia, o qual toma a forma da chamada Lei de Lenz, deduzida por Heinrich Friedrich Lenz (1804-1865) em 1834.

Em Mecânica, o “Princípio da Conservação de Energia” permite extrair boas conclusões sobre sistemas mecânicos, sem termos de analisá-los em detalhe. Utilizaremos, aqui, o mesmo método.

A Lei de Lenz refere-se às correntes induzidas, o que significa que ela se aplica apenas a circuitos fechados. Entretanto, se os circuitos estiverem abertos, podemos pensar em termos do que aconteceria se eles estivessem fechados e, dessa maneira, descobrir o sentido da fem induzida.

Consideremos a primeira das experiências de Faraday, a qual mostra um ímã, cujo pólo norte está voltado na direção de uma espira de corrente. À medida que empurramos o ímã em direção à espira (ou a espira em direção ao ímã), aparece na mesma uma corrente induzida. **Qual será o seu sentido de percurso?**

Vamos imaginar que, ao aproximarmos o pólo norte do ímã da figura 1, a corrente induzida tenha um sentido tal, que induza um pólo sul na face voltada para o ímã. **O que ocorreria neste caso?**

Estando a bobina fixa, o seu pólo sul atrairia o pólo norte do ímã com uma força que aumentaria na medida da maior aproximação. Ou seja, o ímã seria acelerado em direção à bobina, aumentando cada vez mais a sua velocidade. Consequentemente, o fluxo ϕ_B através da bobina, por sua vez, induziria uma corrente cada vez maior.

Bastaria um pequeno empurrão inicial do ímã, para iniciar o processo e a energia final seria muito maior que a inicial, surgida do absolutamente nada, contradizendo a Lei de Conservação de Energia. Por exclusão, é óbvio que o sentido da corrente, neste caso, tem que ser tal que produza um pólo norte na bobina que vai se opor ao movimento do ímã.

Uma espira de corrente produz, em pontos distantes, um campo magnético semelhante ao de um dipolo elétrico, uma das suas faces correspondendo ao pólo norte e a outra ao pólo sul. O pólo norte, do mesmo modo que numa barra imantada, é a face da qual emergem as linhas de campo do vetor \mathbf{B} . Se, como prediz a Lei de Lenz, o campo da espira da figura 3 deve se opor à aproximação do ímã, a face da espira voltada para o mesmo deve passar a ser um pólo norte, porque dois pólos norte, um na espira e outro no ímã, repelem-se.

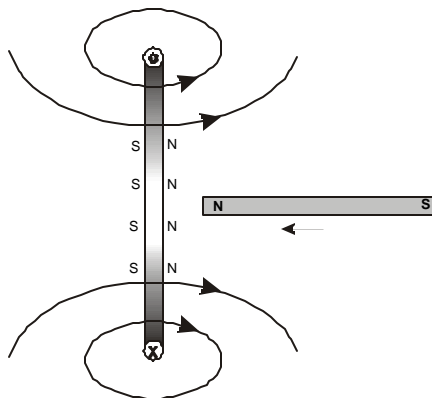


Fig. 3

Para que as linhas de B se originem no lado direito da espira é preciso, pela regra da mão direita, que a corrente tenha o sentido indicado na figura, ou seja, o sentido anti-horário, visto por alguém que olha para a espira ao longo da direção sul norte do ímã.

Quando empurramos o ímã na direção da espira (ou a espira na direção do ímã) aparece uma corrente induzida. Em termos da Lei de Lenz, o ato de empurrar corresponde justamente à "variação" responsável pela corrente induzida, a qual, de acordo com a lei, deve se opor a essa aproximação. Se, ao contrário, aumentarmos a separação existente entre o ímã e a espira, a corrente tenderá a se opor a esta separação, dando origem a um pólo *sul* na face da espira da figura 3, que está voltada para o ímã. Para que isso ocorra, a corrente induzida deve ter um sentido oposto ao indicado na figura 3. Quer o movimento seja de aproximação, quer de separação, ele encontrará sempre sua ação contrariada pela corrente na espira.

O agente que causa o movimento do ímã, seja num sentido ou no outro, sofrerá sempre a ação de uma força resistente, o que o obrigará à realização de um certo trabalho, a fim de conseguir efetuar o movimento desejado. Esse trabalho, pelo princípio da conservação da energia, deve ser exatamente igual à energia térmica produzida na bobina, uma vez que não há outra possibilidade de transferência de energia no sistema. Se quisermos mover o ímã mais depressa, precisaremos também de uma realização mais rápida de trabalho, o que acarretará um aumento correspondente na potência dissipada pelo efeito Joule. Se fizermos a experiência usando uma espira cortada, não haverá nem corrente induzida, nem energia térmica, nem força sobre o ímã e nem trabalho necessário para movimentá-lo. Ainda assim, teremos uma fem induzida na espira, mas, como no caso de uma bateria ligada a um circuito aberto, não haverá produção de corrente.

Vamos considerar, agora, a aplicação da Lei de Lenz à figura 3 de uma maneira diferente. A figura 3 mostra as linhas de indução relativas à barra imantada. Dentro desse ponto de vista, a "variação" a que se refere a Lei de Lenz é o aumento do fluxo ϕ_B através da espira, produzido pela aproximação da barra imantada. A corrente induzida se opõe a essa mudança, produzindo um fluxo contrário, que se opõe ao aumento causado pela barra em movimento. Então, o fluxo induzido está orientado da esquerda para a direita através da bobina, o que concorda com a nossa conclusão anterior.

O importante aqui não é que o campo induzido se oponha ao campo externo, mas sim que se oponha a uma variação causada pelo mesmo, que no caso é o aumento do valor do fluxo ϕ_B , através da espira. Se, por exemplo, retirarmos o ímã da presença da espira, estaremos reduzindo o valor do fluxo ϕ_B . O campo magnético induzido vai se opor a essa diminuição através de um reforço do campo magnético externo. Em qualquer dos casos, o campo induzido se opõe à variação da grandeza que o originou.

III – TEORIA DA MEDIDA:

Este não é um experimento quantitativo. Todas as observações devem ser feitas com bastante rigor em vista de suprir a ausência de dados.

IV - PARTE EXPERIMENTAL:

LISTA DE MATERIAL:

- galvanômetro
- bobinas (duas)
- fonte de tensão
- ímãs retangulares
- bússola
- décadas de resistores (duas)
- bateria alcalina
- placa de ligação
- chaves liga-desliga (três)
- fios

CUIDADO COM OS EQUIPAMENTOS:

O galvanômetro é um instrumento muito frágil e **NÃO DEVE SER DESLOCADO**. Os seus terminais devem permanecer **NORMALMENTE CURTO-CIRCUITADOS**. No circuito temos também uma resistência de proteção R que nunca deve ser retirada ou curto-circuitada. No fim do experimento, ao desarmar o circuito, deixe os terminais do galvanômetro ligados por um pedaço de fio.

MEDIDAS

IV.1 - Experimento número 1

☞ Arme o circuito abaixo.

☞ Coloque na década uma resistência de $5\text{ k}\Omega$

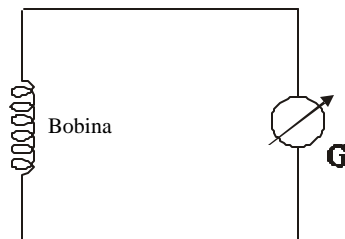


Fig. 4

Aproxime o ímã fixo da bobina. O que acontece? Espere, com o ímã no meio da bobina, até que o galvanômetro volte a zero. Agora, retire o ímã da bobina. O que acontece? Compare com o resultado anterior. Repita o mesmo

procedimento com a outra face do ímã. O resultado foi o esperado? Repita o procedimento anterior mantendo fixo o ímã e movendo a bobina.

IV.2 - Experimento número 2

☞ Mantendo o circuito anterior montado, arme o circuito abaixo.

☞ Ajuste a fonte de tensão para 6 V e a resistência R do circuito da figura 4 para 1 k Ω .

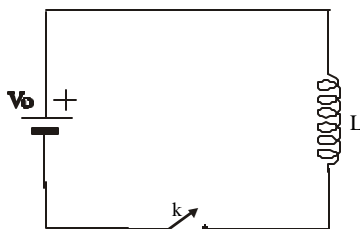


Fig. 5

☞ Aproxime as duas bobinas, cobrindo-as o mais próximo possível. Ligue a chave k , observe o que acontece. Espere o galvanômetro zerar. Desligue a chave. Novamente, observe o que acontece. Compare com o resultado anterior. **Conserve os dois circuitos montados.**

IV.3 - Experimento número 3

Para os circuitos montados anteriormente.

Mantenha as duas bobinas o mais próximo possível. Ligue a chave. Observe o que acontece. Espere o galvanômetro zerar. Gire, em torno do eixo do suporte, uma das bobinas de aproximadamente 90° em relação a outra. O que acontece? Espere o galvanômetro zerar. Gire, de volta a bússola. O que acontece?

Repita, o mesmo procedimento girando agora a outra bobina.

EXPERIMENTOS OPCIONAIS:

✎ Desenhe o circuito de um telégrafo sem fio.

✎ Desenvolva idéias sobre outros experimentos. Divirta-se com os ímãs, bobinas e bússola. Cuidado com a tensão aplicada.

V - RELATÓRIO:

- Discuta e avalie a relação entre o ímã e a deflexão no galvanômetro na seção IV.1.

- Analise detalhadamente a relação entre os procedimentos e resultados alcançados entre as seções IV.1 e IV.2.

- Qual o elemento novo que se pode adicionar à relação entre os campos magnético e elétrico a partir do resultado da seção IV.3?

VI - LEITURA RECOMENDADA:

TIPLER, Paul A. Física, 2.ed, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. v.2a.

MEINERS, Harry F, EPPENSTEIN, Walter, MOORE, Kenneth. Laboratory Physics, N.Y: John Wiley and Sons, Inc, 1969.

WESTPHAL, Wilhelm H. Prácticas de Física, 2.ed. Barcelona: Editorial Labor, S.A, 1965. v.3.