



**Universidade Estadual de Campinas
UNICAMP**

Instituto de Física Gleb Wataghin

F 609A – Tópicos de Ensino de Física I (2º semestre – 2008)

Relatório Parcial

TUBO DE INDUÇÃO – APRESENTANDO A LEI DE FARADAY

Aluna: Débora Princepe

RA: 070601

Orientador: Prof. Dr. Jose Antonio Roversi

Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi

**Campinas
2008**

TUBO DE INDUÇÃO – APRESENTANDO A LEI DE FARADAY

Índice

<u>Resumo.....</u>	<u>3</u>
<u>Descrição.....</u>	<u>4</u>
<u>Esquema do experimento.....</u>	<u>4</u>
<u>Importância do trabalho.....</u>	<u>5</u>
<u>Posição do orientador.....</u>	<u>8</u>
<u>Escolha do horário de apresentação do painel.....</u>	<u>8</u>
<u>APÊNDICE.....</u>	<u>9</u>

Resumo

A fim de desenvolver-se um projeto de um experimento didático na área de física, escolheu-se o tópico de indução eletromagnética, explorando os conceitos da lei de Faraday. A idéia do experimento consiste em um tubo com 5 bobinas (cerca de 150 espiras cada uma) espaçadas por seu comprimento, às quais estão ligadas dois LEDs cada uma, um antiparalelo ao outro. Faz-se cair um ímã pelo tubo, observando-se os LEDs acenderem, segundo os princípios da indução: quanto maior a velocidade, maior a variação do fluxo e, portanto, maior a corrente induzida e a intensidade da luz do LED, e um LED acende para a aproximação do ímã e o outro no afastamento.

Nessa primeira parte do desenvolvimento do projeto, algumas dificuldades foram encontradas, principalmente em relação ao número de espiras que seria necessário para criar uma corrente suficientemente forte para acender os LEDs e a necessidade de um ímã cujo campo magnético fosse relativamente alto, com o mesmo fim. Os resultados obtidos são apresentados, sendo que até o desenvolvimento desse relatório, não se conseguiu realizar o experimento com êxito.

Tem-se como objetivo, então, a otimização do experimento e sua possível aplicação em uma escola de Ensino Médio. Caso não se consiga realizá-lo, cogita-se a idéia de outro experimento, abordando os mesmos conceitos, o qual seria apresentado no relatório final.

Palavras-chave: Indução eletromagnética, Lei de Faraday

Descrição

Dentro do conteúdo programático do Ensino Médio, um dos tópicos de maior dificuldade entre os alunos é o eletromagnetismo, tanto pela abstração necessária para se entender os conceitos, quanto pelo modo que é tratado nas salas de aulas – foco na mera utilização de fórmulas, sem a abordagem conceitual nem aplicação prática. Dada a grande importância dessa área da física, a utilização de experimentos é recomendável ao ensino, pois se torna um atrativo aos alunos, despertando-lhes a curiosidade, ao mesmo tempo em que conceitos físicos não triviais são aprendidos.

O experimento proposto a seguir trata da Lei de Indução de Faraday, como uma demonstração desse fenômeno. Essencialmente, compõe-se de um tubo de PVC, que serve de base para cinco bobinas de espiras de cobre, apoiado longitudinalmente. As espiras devem estar conectadas a LEDs, que servirão como indicadores de corrente. Faz-se um ímã cair por dentro do tubo e, conseqüentemente, por dentro das espiras; o movimento relativo do ímã em relação às bobinas gera uma corrente induzida, o que faz acender os LEDs.

Originalmente, a idéia surgiu em realizar o experimento na direção horizontal, sendo necessário algum mecanismo para fazer o ímã se mover por dentro da bobina. Porém, durante a pesquisa realizada, encontrou-se em no site www.feiradeciencias.com.br a referência a essa experiência, realizada do modo como aqui se explica; optou-se por esse modo por ser de mais simples construção e, portanto, com maior facilidade de ser realizada nas escolas e com maior acesso dos alunos.

Esquema do experimento

Material:

- 1 tubo de PVC, com dimensões convenientes – cerca de 1,5m de comprimento, diâmetro de aproximadamente 3 cm
- 5 bobinas com núcleo de ar com 1000 espiras de fio de cobre esmaltado #28 ou #30
- 5 LEDs de cor vermelha e 5 LEDs de cor amarela
- 1 ímã – comprimento de cerca de 3 cm, largura deve ser inferior ao diâmetro do tubo.

Procedimento experimental:

O suporte do experimento é tubo de PVC, daí a serem escolhidas dimensões adequadas; aqui se propõe o comprimento de 1,5 m e o diâmetro de cerca de 3 cm; essas dimensões podem ser alteradas durante o desenvolvimento a fim de melhorar as condições do experimento. Ao redor do tubo serão fixadas as cinco bobinas igualmente espaçadas. Se necessário, as bobinas poderão ser confeccionadas pela própria aluna a partir de fio isolado. Serão ligados aos terminais de cada bobina 2 LEDs, um vermelho e um amarelo, de modo que o LED amarelo acenda quando a corrente tiver sentido para baixo e o LED vermelho acenda – ver esquema ilustrado na Figura 1. O objetivo desse tipo de ligação é que apenas um LED acenda para um dado sentido da corrente elétrica na bobina, ou seja, será um indicador do sentido da corrente e, portanto, da variação do fluxo – decorre diretamente da lei de indução de Faraday. Com o tubo na vertical, o ímã será abandonado em queda livre da extremidade superior. Conforme o ímã cai, passando pelos interiores das bobinas, deverão ser observadas 'piscadas' dadas pelos LEDs vermelhos e amarelos de cada bobina. Para maior evidência desse efeito, é interessante que o ímã tenha um campo magnético apropriado, assim como suas dimensões – fatores que poderão ser melhorados durante o desenvolvimento.

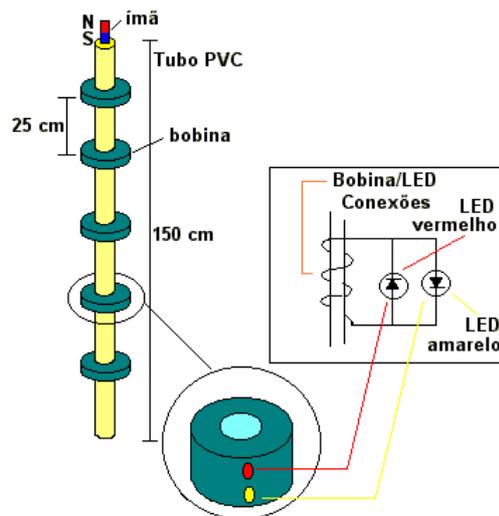


Figura 1. Esquema do experimento

Importância do trabalho

O projeto se aplica primeiramente a alunos de Ensino Médio, cujo programa de física inclui o eletromagnetismo no terceiro ano. Todavia, com o objetivo da demonstração do fenômeno físico e para aprendizado inicial dos conceitos de indução, pode-se pensar na aplicação também para salas de oitava série – nono ano – do Ensino Fundamental, que tem parte das aulas de ciências cujo conteúdo é introdução à física.

Uma vantagem do experimento, como já dito, é a visualização de um fenômeno eletromagnético, a indução. A aprendizagem de conceitos relacionados a esse assunto exige sempre abstração, sendo necessário que o professor saiba despertar a curiosidade e interesse do aluno. Um experimento como esse é interessante aos olhos de um aluno e demonstra claramente o que se quer ensinar; se o objetivo é mostrar a indução e a Lei de Faraday, o experimento possui vários recursos que auxiliam na aprendizagem.

Resultados atingidos

Conforme foi apresentado no projeto inicial, as bobinas foram feitas pela aluna, a partir de fio de cobre #28 esmaltado. Para um primeiro teste, com o fim de verificar a funcionalidade do experimento, foi utilizado um tubo de 5 cm de diâmetro (ao invés de 3 cm, como sugerido no projeto) e foi feita uma espira somente (a critério de teste), com cerca de 130 espiras; o ímã foi retirado de um HD sucateado, com as dimensões sugeridas. A foto da montagem encontra-se ilustrada na Figura 2.

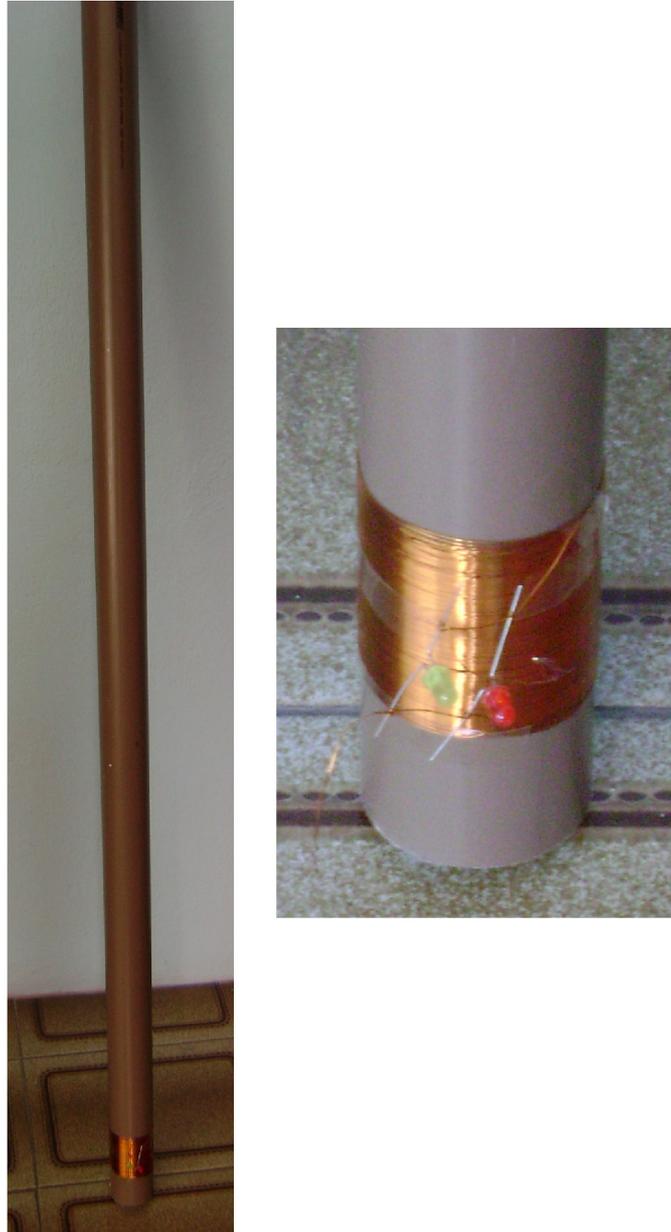


Figura 2. Primeira montagem – teste

Com essa montagem, exatamente como ilustrada na Figura 2 (bobina na extremidade inferior do tubo, onde o ímã apresenta maior velocidade), não se conseguiu ter corrente suficiente para acender os LEDs. Algumas alterações foram pensadas: trocar o tubo por um de menor diâmetro (3 cm), aumentar o número de espiras – cerca de 150 – e possivelmente conseguir um ímã mais forte. Foram feitas essas alterações, obtendo-se uma segunda montagem, apresentada na Figura 3. Com essa montagem, ainda não se conseguiu a corrente necessária

para acender os LEDs, ou seja, o experimento não funcionou.



Figura 3. Segunda montagem

Alguns ajustes que poderão ser feitos no experimento: conseguir-se bobinas com um número maior de espiras, consultando a oficina de eletrônica do Instituto de Física; fazer a solda dos LEDs no fio de cobre, para que o contato seja melhorado. Até a data da confecção desse relatório, não se conseguiu realizar o experimento com êxito.

Uma observação importante a ser feita é sobre a tensão necessária para acender o LED: em teste feito pela aluna, uma pilha de 1,5V acendeu fracamente o LED. A fem induzida dificilmente atingirá esse valor, mesmo fazendo-se essas alterações. Diante desse impasse, caso não se consiga atingir o funcionamento pleno da montagem, pode-se propor uma variação do experimento, a qual seria apresentada em uma versão do relatório final. A aceitação dessa proposta fica a encargo do coordenador, sendo que a posição do orientador foi positiva em relação à proposta.

Posição do orientador

Meu orientador, o Prof. Dr. Jose Antonio Roversi, concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

Trata-se de um experimento muito importante e a clareza com que a Débora tem dado ao texto ajudará em muito os estudantes entenderem uma das leis mais importantes da Física que é a lei de Indução Magnética. A conceituação teórica necessária para o entendimento da Indução eletromagnética é colocada no texto com bastante simplicidade e com excelentes ilustrações. O desempenho do trabalho da Débora neste primeiro período foi muito bom. Considero o relatório parcial muito bom.

Escolha do horário de apresentação do painel

A aluna opta por fazer a apresentação do painel no dia 12 de novembro de 2008, quarta-feira, no horário das 17h às 19h.

APÊNDICE

Referências

A seguir, encontram-se referências para o experimento, a fim de que seja explorado em diversos níveis. Para um nível básico – Ensino Fundamental –, o experimento é puramente ilustrativo; seria interessante então, nesse caso, trabalhar-se a idéia do trabalho do cientista, apresentado um resumo da historia de Faraday e mostrando aplicações – se possível, próximas do cotidiano do aluno – de seu trabalho científico.

Já em Ensino Médio, o tópico de eletromagnetismo faz parte do conteúdo, quase sempre apresentado no 3º ano. É interessante mostrar o fenômeno, comentando alguns conceitos de difícil entendimento do aluno, tais como campo (elétrico e magnético), corrente, a própria indução, sem citar ou apenas apresentar a lei de Faraday (fórmula matemática) – assim, foge-se da tradicional aula de física com fórmulas e aplicação matemática, muitas vezes desacompanhada dos conceitos físicos.

Em graduação, a abordagem já se caracteriza muito mais profunda, sendo conveniente a abordagem matemática do fenômeno. Porém, a aplicação do experimento é muito aproveitável, mesmo sem essa abordagem, pela visualização do fenômeno estudado.

Também está anexada a referência ao site de onde a idéia reformulada do experimento foi retirada. Todas as pesquisas foram feitas com as seguintes palavras-chave: Faraday, indução eletromagnética, lei de Faraday.

- Site www.feiradeciencias.com.br, onde se encontra a descrição do experimento:

Tubo de Indução
(Lei de Faraday)

Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

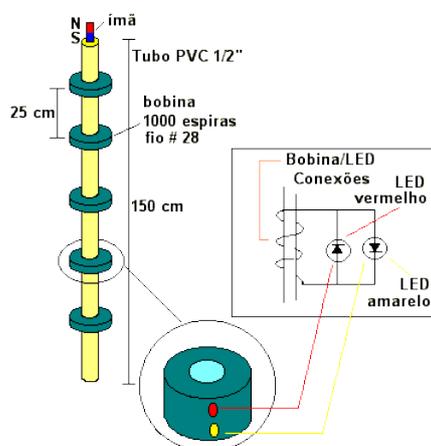
Objetivo

Destacar o fenômeno da indução eletromagnética e a Lei de Faraday.

Material

tubo de PVC de diâmetro 1/2" e comprimento 1,5 m;
5 bobinas com núcleo de ar com 1000 espiras de fio de cobre esmaltado #28;
5 LEDs vermelho e 5 LEDs amarelos;
1 ímã cilíndrico de comprimento maior que 3 cm e diâmetro menor que 1/2"

Montagem



O tubo de indução consiste num tubo de PVC de 1/2" de diâmetro e 1,5 m de comprimento, ao redor do qual são fixadas (coladas) 5 bobinas de fio isolado. Cada bobina tem cerca de

1000 espiras de fio de cobre esmaltado # 28 ou # 30. Ligado aos terminais de cada bobina temos 2 LEDs (diodo emissor de luz), um vermelho e outro amarelo, conectados como se ilustra acima (em paralelo e em oposição). Com esse tipo de ligação dos LEDs, apenas um deles acenderá para um dado sentido da corrente elétrica na bobina.

Funcionamento

Com o tubo na vertical (depois, para minimizar a velocidade de queda do ímã, poderá ser colocado com certa inclinação) abandone o ímã pela extremidade superior. Conforme o ímã cai, passando pelos interiores das bobinas, você deverá observar as 'piscadas' dadas pelos LEDs vermelhos e amarelos de cada bobina. Quanto melhor for o ímã, mais evidente será o fenômeno.

Resumo teórico



Conforme o ímã desliza tubo abaixo seu campo magnético penetra na bobina, por cima, e sai por baixo. Para o professor, recomendamos que desenhe uma única espira fechada, na horizontal, e o ímã reto vertical em três posições: antes de entrar na espira; simétrico em relação à espira e depois de sair da espira --- como se ilustra ao lado ---; em cada caso examinar o comportamento da corrente induzida na espira, durante o movimento do ímã.

Um gráfico dessa intensidade de corrente induzida, função da posição do ímã, será bastante ilustrativo. Nesse gráfico, destacar como o aumento da velocidade de queda do ímã afeta a f.e.m. induzida na espira.

Durante a aproximação ocorrerá uma variação do fluxo de indução concatenado com a bobina, dando nascimento a uma d.d.p. induzida nos terminais dessa bobina, com uma dada polaridade. Essa d.d.p. é aplicada ao circuito externo representado pelos LEDs em paralelo e em oposição e fará circular uma corrente elétrica induzida apenas naquele LED diretamente polarizado, o qual acenderá. Quando o centro do ímã estiver passando pelo centro da bobina o fluxo de indução total é nulo e não haverá d.d.p. induzida. Durante o afastamento do ímã ocorrerá nova variação de fluxo, agora em sentido inverso, dando, portanto, nascimento a uma nova d.d.p. de polaridade invertida em relação à anterior. Uma corrente de sentido oposto percorrerá o circuito e apenas o outro LED (agora diretamente polarizado) acenderá.

A d.d.p. induzida na bobina (em circuito aberto) pela variação do fluxo no decorrer do tempo é dada pela Lei de Faraday da Indução:

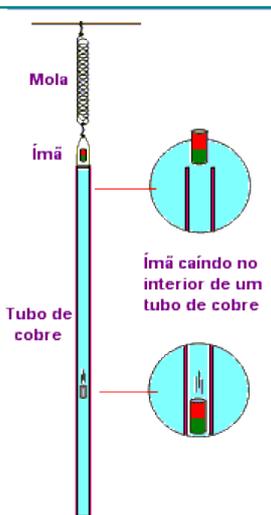
$$\varepsilon = - N(d\phi/dt)$$

onde ε é a força eletromotriz (d.d.p. induzida nas partes do enrolamento), N é o número de espiras da bobina, $d\phi$ é a variação do fluxo de indução e dt é o breve intervalo de tempo no qual ocorre a variação $d\phi$. O fluxo útil aumenta conforme o ímã se aproxima da bobina e, após passar pelo centro da bobina, diminui. A d.d.p. induzida nos terminais da bobina é razoavelmente 'senoidal' e essa é a causa primeira do porque primeiro um LED acende e depois o outro. Com um ímã suficientemente longo (recomendamos um ímã cilíndrico de comprimento maior que 3 cm) a mudança de polaridade da bobina é relativamente lenta e isso permite ao olho perceber facilmente que os dois LEDs piscam em seqüência (se os ímãs forem pequenos os dois 'flashes' parecerão simultâneos).

Sabemos que durante a queda do ímã, sua velocidade aumenta e, então, o intervalo de tempo de passagem do ímã pelo interior de uma bobina diminuirá. Quanto menor for esse intervalo de tempo maior será o fluxo de indução, a d.d.p. induzida e, conseqüentemente, a intensidade de corrente em cada LED. Os brilhos dos LEDs (potência) nas bobinas mais baixas serão mais intensos.

Variante do experimento

A ficha a seguir descreve uma variante simples para a constatação das correntes parasitas:

CORRENTES PARASITAS		5K20.25
Ímã cai lentamente no interior de um tubo de cobre (ou alumínio), na vertical.		
	<p>O experimento requer, além de um tubo de cobre ou alumínio (1,5 m) e uma mola, dois cilindros de mesmas dimensões; um deles é apenas um cilindro de aço, o outro é um ímã permanente. Quando o cilindro de aço é abandonado no interior do tubo vertical, ele 'gasta' cerca de meio segundo para sair do tubo (que está suspenso na extremidade de uma mola).</p> <p>O ímã, ao ser solto nas mesmas condições, leva alguns segundos para sair do tubo.</p> <p>Devido à variação do fluxo magnético durante a queda do ímã, é induzida uma corrente elétrica no tubo e essa, por sua vez, produz um campo magnético no sentido oposto ao do ímã. Assim, o tubo exerce uma força sobre o ímã, opondo-se ao seu movimento, fazendo-o cair mais lentamente que o cilindro de aço.</p> <p>Assim como o tubo exerce força no ímã, o ímã exercerá força contrária no tubo (ação e reação) e o efeito dessa pode ser facilmente observado pela deflexão extra que se origina na mola que sustenta o tubo.</p>	

- Site http://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday



Michael Faraday (Newington, Surrey, 22 de setembro de 1791 — Hampton Court, 25 de agosto de 1867) foi um físico e químico britânico, sendo considerado um dos cientistas mais influentes de todos os tempos. Suas contribuições mais importantes e seus trabalhos mais conhecidos foram nos intimamente conectados fenômenos da eletricidade e magnetismo, mas ele também fez contribuições muito importantes em química.

Faraday foi principalmente um experimentalista, de fato, ele foi descrito como o "melhor experimentalista na história da ciência", embora não conhecesse matemática avançada, como cálculo. Tanto suas contribuições para a ciência, e o impacto delas no mundo, são certamente grandes: suas descobertas científicas cobrem áreas significativas das modernas física e química, e a tecnologia desenvolvida baseada em seu trabalho está ainda mais presente. Suas descobertas em eletromagnetismo deixaram a base para os trabalhos de engenharia no fim do século XIX por pessoas como Edison, Siemens, Tesla e Westinghouse, que tornaram possível a eletrificação das sociedades industrializadas, e seus trabalhos em eletroquímica são agora amplamente usados em química industrial.

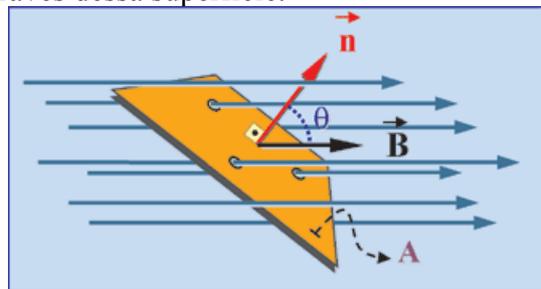
Na física, foi um dos primeiros a estudar as conexões entre eletricidade e magnetismo. Em 1821, logo após Oersted ser o primeiro a descobrir que a eletricidade e o magnetismo eram associados entre si, Faraday publicou seu trabalho que chamou de "rotação eletromagnética" (princípio por trás do funcionamento do motor elétrico). Em 1831, Faraday descobriu a indução eletromagnética, o princípio por trás do gerador elétrico e do transformador elétrico. Suas idéias sobre os campos elétrico e magnético, e a natureza dos campos em geral, inspiraram trabalhos posteriores nessa área (como as equações de Maxwell), e campos do tipo que ele fitou são conceitos-chave da física atual.

Na química, descobriu o benzeno, produziu os primeiros cloretos de carbono conhecidos, ajudou a estender as fundações da metalurgia e metalografia, além de ter tido sucesso em liquefazer gases nunca antes liquefeitos (dióxido de carbono, cloro, entre outros), tornando possível métodos de refrigeração que foram muito usados. Talvez sua maior contribuição foi em virtualmente fundar a eletroquímica, e introduzir termos como eletrólito, ânodo, catodo, eletrodo, e íon.

- Site <http://www.cocemsuacasa.com.br/ebook/pages/9737.htm>

1. Fluxo Magnético

A figura representa uma superfície plana imersa num campo magnético. Nela observamos que três linhas de indução atravessam a superfície e outras quatro não, dessa forma dizemos que há um *fluxo magnético* através dessa superfície.



Esse fluxo é tanto maior quanto mais linhas de indução estiverem atravessando a superfície. Para tanto, podemos:

- aumentar a intensidade B do campo de indução magnética, o que condiz com uma diminuição do espaço entre as linhas de indução, ou seja, estando mais próximas entre si, maior o número de linhas que atravessam a superfície;
- aumentar a área A da superfície, o que aumenta o número de linhas de indução que a atravessam;
- girar a superfície, variando o ângulo θ entre o vetor \vec{B} e um vetor \vec{n} (sempre perpendicular à superfície) que serve como orientador da posição dela em relação ao vetor \vec{B} .

A expressão que relaciona essas três variáveis e que permite o cálculo do fluxo magnético é:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Sua unidade no SI é o weber (Wb).

$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$ e, dessa forma, temos $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ e isto significa que o campo de indução magnética pode ser medido também em weber por metro quadrado.

Para um campo magnético uniforme e uma superfície de área constante, vamos estudar dois casos extremos, decorrentes da variação do ângulo θ .

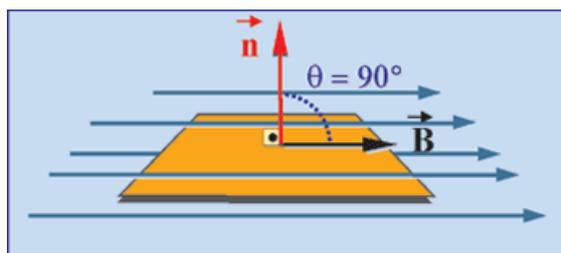
1º caso: Fluxo magnético nulo

Quando o ângulo θ for igual a 90° , temos:

$\phi = B \cdot A \cdot \cos 90^\circ$ e, como $\cos 90^\circ = 0$, então o fluxo é nulo.

$$\phi_{\text{NULO}} = 0$$

Observe na figura abaixo que nenhuma linha de indução magnética atravessa a superfície.



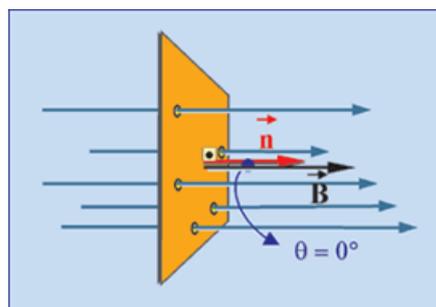
2º caso: Fluxo magnético máximo

Quando o ângulo θ for igual a 0° , temos:

$\phi = B \cdot A \cdot \cos 0^\circ$ e, como $\cos 0^\circ = 1$, então o fluxo é máximo.

$$\phi_{\text{MÁX}} = B \cdot A$$

Observe na figura abaixo que o número de linhas de indução magnética que atravessam a superfície é máximo.

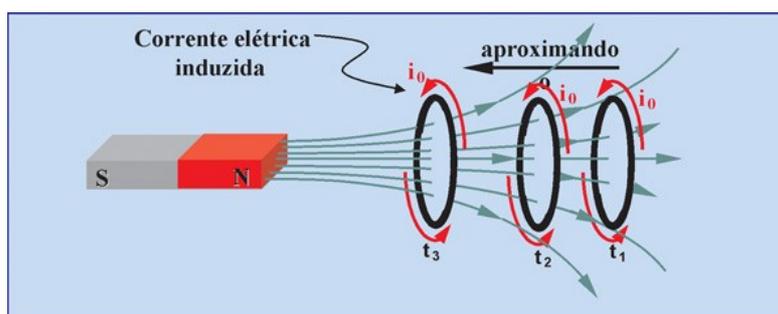


2. Indução Eletromagnética

Com base no efeito Oersted (1820), em que uma corrente elétrica gera campo de indução magnética, alguns físicos do início do século XIX começaram a pesquisar a possibilidade de que o inverso ocorresse, ou seja, de que um campo magnético podia ocasionar corrente elétrica.

A questão era saber como isso poderia ser feito e foi Faraday que, em 1831, descobriu como fazê-lo, ao perceber que o segredo estava na variação do fluxo magnético através de uma superfície condutora.

Vejamos o seguinte experimento realizado com uma espira circular que se aproxima de um ímã.



Temos três linhas de indução atravessando a espira no instante t_1 , cinco no instante t_2 e sete no instante t_3 .

Verificamos, então, que o número de linhas de indução que atravessam a espira está variando com o tempo, ou seja, está ocorrendo uma variação de fluxo magnético com o tempo e é justamente esta variação que acarreta o surgimento na espira de uma corrente elétrica denominada corrente induzida.



2.1. Lei de Faraday

Essa corrente induzida é decorrente de uma força eletromotriz induzida na espira que pode ser expressa como sendo a rapidez com que acontece essa variação de fluxo.

A lei que descreve essa rapidez de variação, proposta por Faraday, é:

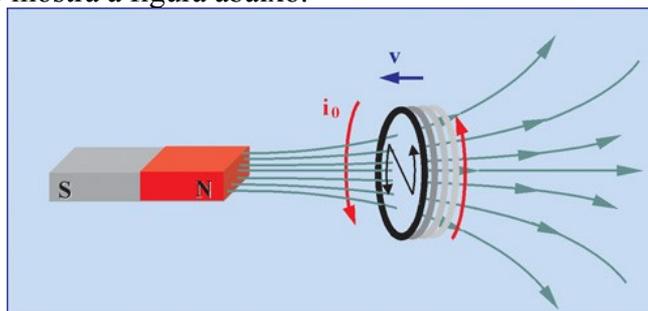
A força eletromotriz média induzida (ε) é diretamente proporcional à variação de fluxo magnético ($\Delta\phi$) através de uma espira e inversamente proporcional ao intervalo de tempo (Δt) em que isso acontece.

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

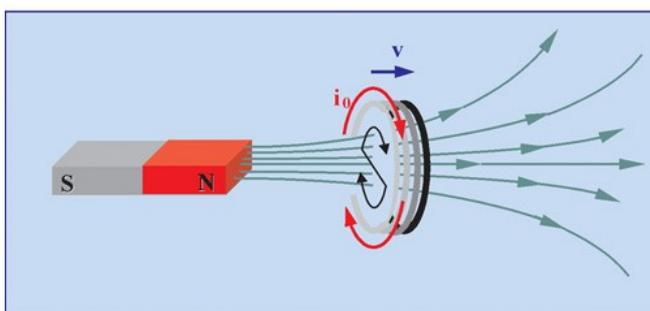
Se verificarmos as unidades dessas grandezas no Sistema Internacional de Unidades, podemos escrever: volt = Weber/segundo, ou seja, $1V = 1Wb/1s$.

2.2. Lei de Lenz

Em 1834, o físico russo Heinrich Friedrich Emil Lenz, baseando-se em experimentos de Faraday e após tê-los repetido, completou-os com uma lei que leva o seu nome e que justifica o sinal de menos na expressão da lei de Faraday. Lenz percebeu que, ao aproximar a espira do pólo norte do ímã, surge na mesma uma corrente elétrica contínua, no sentido anti-horário, de modo a gerar um campo magnético cujo pólo norte está voltado para o pólo norte do ímã em forma de barra, como mostra a figura abaixo.



Se agora afastarmos a espira, a corrente elétrica induzida inverte de sentido, passando a ser no sentido horário, ocasionando um campo magnético cujo pólo sul agora está voltado para o pólo norte do ímã.



A corrente elétrica induzida num circuito gera um campo magnético que se opõe à variação do fluxo magnético que induz essa corrente.

- Site <http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u15.jhtm>

Eletromagnetismo
Ímãs e indução eletromagnética

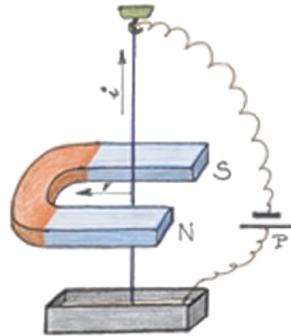
**Carlos Roberto de Lana*

Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação

Indução eletromagnética

Faraday descobriu que uma corrente elétrica era gerada ao posicionar um ímã no interior de uma bobina de fio condutor. Deduziu que se movesse a bobina em relação ao ímã obteriamos uma corrente elétrica contínua, efeito que após comprovado recebeu o nome de indução eletromagnética. A indução eletromagnética é o princípio básico de funcionamento dos geradores e motores elétricos, sendo estes dois equipamentos iguais na sua concepção e diferentes apenas na sua utilização. No gerador elétrico, a movimentação de uma bobina em relação a um ímã produz uma corrente elétrica, enquanto no motor elétrico uma corrente elétrica produz a movimentação de uma bobina em relação ao ímã.

A seguir, a ilustração representa o efeito de indução eletromagnética, como pesquisado por Faraday:



A movimentação de um campo elétrico próximo a uma bobina produz a corrente elétrica i

O princípio da indução eletromagnética é também a base de funcionamento dos eletroímãs, equipamentos que geram campos magnéticos apenas, enquanto uma corrente elétrica produz o efeito de indução. Uma vez desligados perdem suas propriedades, ao contrário dos ímãs permanentes.

Hoje, as leis do eletromagnetismo fundamentam boa parte da nossa tecnologia mecânica e eletroeletrônica. Os campos magnéticos e suas interações elétricas fazem funcionar desde um secador de cabelos até os complexos sistemas de telecomunicações, desde os poderosos geradores elétricos das usinas nucleares até os minúsculos componentes utilizados nos circuitos eletrônicos. Mages, o lendário pastor grego, ficaria muito impressionado com o que se descobriu fazer possível com os poderes da pedra que encontrou por acaso.

- Site <http://www.colegiosaofrancisco.com.br/alfa/electricidade-e-magnetismo/lei-de-faraday.php>

Faraday, baseando-se nos trabalhos de Oersted (1777-1851) e Ampère, em meados de 1831, começou a investigar o efeito inverso do fenômeno por eles estudado, onde campos magnéticos produziam correntes elétricas em circuitos. Faraday descobriu que um campo magnético estacionário próximo a uma bobina, também estacionária e ligada a um galvanômetro, não acusa a passagem de corrente elétrica. Observou, porém, que uma corrente elétrica temporária era registrada no galvanômetro quando o campo magnético sofria uma variação. Este efeito de produção de uma corrente em um circuito, causado pela presença de um campo magnético, é chamado de indução eletromagnética e a corrente elétrica que aparece é denominada de corrente induzida.

O fenômeno de indução eletromagnética está ilustrado na simulação abaixo. Existem vários modos de se obterem correntes induzidas em um circuito, os quais enumeramos a seguir:

- O circuito pode ser rígido e, no entanto, pode mover-se como um todo em relação a um campo magnético, de modo que o fluxo magnético através da área do circuito varia no decorrer do tempo.

- Sendo o campo B estacionário, o circuito pode ser deformável de tal modo que o fluxo de B através do circuito varie no tempo.

- O circuito pode ser estacionário e indeformável, mas o campo magnético B, dirigido para a superfície é variável no tempo.

Em resumo, em todos os três experimentos, verificamos que o ponto chave da questão está na variação do fluxo magnético com o tempo. Isto se $d\phi_B/dt$ é diferente de zero, então uma corrente elétrica será induzida no circuito. Estes resultados experimentais são conhecidos como lei de Faraday, a qual pode ser enunciada da seguinte forma: a força eletromotriz induzida (fem) em um circuito fechado é determinada pela taxa de variação do fluxo magnético que atravessa o circuito. Esta lei é representada matematicamente pela equação:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$$

onde ε é a força eletromotriz induzida (fem) e ϕ_B é fluxo magnético dado por:

$$\Delta\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{\Delta S}$$

sendo S a superfície por onde flui o campo magnético. Sabendo que a força eletromotriz pode ser expressa em função do campo elétrico temos que:

$$\varepsilon = \vec{E} \cdot \vec{dl} = - \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = - \frac{\Delta(\vec{B} \cdot \vec{\Delta S})}{\Delta t}$$

O sinal negativo que aparece na equação acima lembra-nos em qual direção a fem induzida age. O experimento mostra que a fem induzida produz uma corrente cujo sentido cria campo um campo magnético cujo sentido se opõe a variação do fluxo magnético original. Este fenômeno é conhecido como lei de Lenz e justifica o sinal negativo na equação. A lei de Lenz é a garantia de que a energia do sistema se conserva. Isto significa que a direção da corrente induzida tem que ser tal que se oponha as mudanças ocorridas no sistema. Caso contrário, a lei de conservação de energia seria violada.