



Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin
Instrumentação para o Ensino F-609

Relatório Final

Galvanoscópio
(O sensor de corrente elétrica)



Aluna: Priscila Gonçalves de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. DRCC Ernesto Kemp

Colaborador: Técnico Laboratório de Léptons Jair Botasso

Coordenador da Disciplina: Prof. Dr. Joaquim Lunazzi

Campinas – Junho 2007

Índice

I.Introdução	pág 3
II.Breve História sobre Christian Orsted	pág 3
III.O Magnetismo	pág 4
a.Campo Magnético	pág 5
b.Imantação	pág 6
IV.O Eletromagnetismo	pág 7
a.Introdução	pág 7
b.Campo Magnético gerado no centro de uma espira	pág 7
c.Campo Magnético gerado no centro de uma bobina longa	pág 9
d.Lei de Indução de Faraday	pág 10
V.Galvanômetro	pág 11
VI.O Experimento	pág 11
a.Construção do Galvanoscópio	pág 11
a1.Material Utilizado	pág 11
a2.Montagem	pág 12
a3.Testando a sensibilidade do aparelho	pág 12
a4.Resultados	pág 12
b.Construção da bobina responsável pela constatação da Lei de Faraday	pág 13
b1.Material Utilizado	pág 13
b2.Montagem	pág 13
b3.Verificando a Lei de Faraday	pág 14
b4.Resultados	pág 14
VII.Conclusão e Resultados	pág 14
VIII.Agradecimentos	pág 14
IX.Referências	pág 15
X.Comentários do Orientador	pág 15

I - Introdução

O Galvanoscópio constitui um simples, porém sensível, detector de corrente elétrica. Ele é capaz de acusar correntes da ordem de miliampère, e é um ótimo aparato experimental para ilustrar o fenômeno de correntes passando por um fio e produzindo campo magnético. O Galvanoscópio é uma versão bem simples de detector de corrente elétrica, construído com material barato e de fácil aquisição. Neste relatório de instrumentação de ensino além da descrição do experimento que realizei e dos dados que obtive, também citei um pouco sobre a vida de Christian Orsted que foi o primeiro a fazer o elo entre magnetismo e eletricidade. Além disso abordei temas como magnetismo, eletromagnetismo entre outros que achei que o experimento abordou.

II - Breve história sobre Christian Orsted



Fig 1. C. Orsted

Antes de Orsted, há muito se suspeitava que a 'eletricidade' estava relacionada de alguma forma com o magnetismo. Por exemplo, peças de ferro tinham sido freqüentemente encontradas 'magnetizadas' nas vizinhanças de algum lugar onde havia "caído" um raio. Mas a conexão entre as duas ciências não foi descoberta senão em 1820.

Naquele ano, o cientista dinamarquês Hans Christian Orsted (1777-1851), fez a grande descoberta que deu origem à ciência do eletromagnetismo. Ele descobriu que, um fio conduzindo uma corrente elétrica provoca uma deflexão (desvio) de uma agulha magnetizada. O fio foi primeiramente alinhado em paralelo com a agulha de uma bússola (que repousa na direção norte-sul), não havendo fluxo de corrente elétrica, conforme se vê abaixo.



Fig 2. Descoberta feita por Orsted

Quando a corrente começou a passar, a agulha do compasso girou no sentido indicado, até ficar quase em ângulo reto com o fio. Quando cessou a corrente, a agulha retornou à sua direção norte-sul normal.

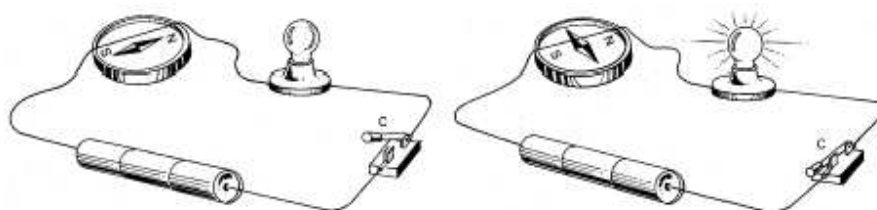


Figura 3. Experiência de Orsted

Dessa descoberta mostra-se que: "Toda corrente elétrica produz ao redor dela um campo magnético". Esse campo pode agir sobre determinados corpos magnetizando-os e/ou gerar forças de campo capaz de movimentá-los se já estiverem magnetizados (esta última consequência foi explorada no princípio de funcionamento do Galvanoscópio).

Atribui-se a Orsted a descoberta da interação entre eletricidade e magnetismo, no início do século XIX. Apesar da enorme importância desse fenômeno, a contribuição de Orsted ao eletromagnetismo costuma ser minimizada, por dois motivos principais:

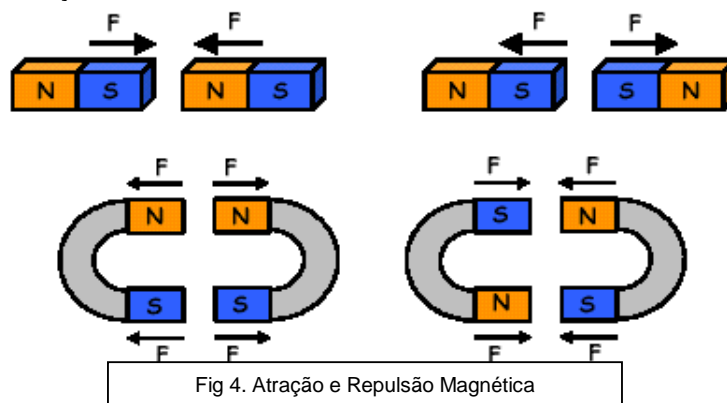
1º) Seu trabalho é geralmente descrito como uma descoberta casual;

2º) Os aspectos quantitativos do fenômeno não foram desenvolvidos por Orsted, e sim por Ampère, Biot, Savart e outros.

III– O Magnetismo

Os gregos já sabiam, há mais de 2000 anos, que certas pedras se atraíam e também atraíam pedaços de ferro. Estas pedras são conhecidas hoje como Magnetita. As primeiras experiências com o magnetismo referiam-se, principalmente, ao comportamento dos ímãs permanentes. Na China, no século I aC., observou-se que um ímã suspenso por um fio, alinha-se, aproximadamente, na direção norte-sul terrestre. Isto deu origem à Bússola.

Em 1260, o francês Petrus Peregrinus observou que, as extremidades de um ímã possuem um poder maior de atração pelo ferro: são os pólos magnéticos. Ele também observou que os pólos não existem separadamente. Muitos observadores observaram que, qualquer que fosse a forma do ímã, sempre havia dois pólos, um pólo norte e um pólo sul, onde a força do ímã era mais intensa. Os pólos de mesmo nome do ímã se repeliam e os de nome oposto atraíam-se. A figura abaixo ilustra essa situação.



A atração e a repulsão dos pólos magnéticos foram estudados quantitativamente por John Michell, em 1750. Usando uma balança de torção, Michell mostrou que a atração e a repulsão dos pólos de dois ímãs tinham igual intensidade e variavam inversamente com o quadrado da distância entre os pólos. Estes resultados foram confirmados pouco depois por Coulomb. A lei de força entre dois pólos magnéticos é semelhante à que existe entre duas cargas elétricas, mas há uma diferença importante: os pólos ocorrem sempre aos pares. É impossível isolar um único pólo magnético.

Em 1920 foram desenvolvidos ímãs de maior capacidade com ligas de Alnico (Alumínio, Níquel e Cobalto), que retêm um magnetismo muito intenso e são usados na fabricação de alto-falantes. Em 1980, da família das terras raras, os ímãs de Neomídio-Ferro-Boro surgiram com capacidades magnéticas ainda maiores e com custos menores, porém muito sensíveis a temperaturas elevadas.

Hoje o magnetismo tem importância fundamental em quase todos os equipamentos eletrônicos mais usados na indústria, no comércio, nas residências e na pesquisa. Geradores de energia, motores elétricos, transformadores, disjuntores, televisores, computadores, discos rígidos etc.

O francês Petrus Peregrinus, como foi dito acima, observou que os pólos de um ímã não existem separadamente. Cortando-se um ímã em duas partes iguais que por sua vez podem ser subdivididas em outras, observa-se que cada uma destas partes constitui um novo ímã que, embora menor, tem sempre dois pólos. É possível continuar esse processo de divisão, até que chega-se a um ponto em que encontra-se o átomo ou molécula do material de que ele é feito. Cada átomo ou molécula do ímã, possui propriedades magnéticas devido à orientação dos seus

spins. Esses átomos ou moléculas reúnem-se em pequenos conjuntos de mesma orientação, denominados ímãs elementares.

A teoria mais popular do magnetismo considera este alinhamento atômico ou molecular do material. Isto é conhecido como Teoria de Weber. Esta teoria assume que toda substância magnética é composta de ímãs elementares. Qualquer material não magnetizado tem as forças magnéticas de seus ímãs elementares neutralizadas pelos ímãs elementares adjacentes.

Um material magnetizado terá a maioria de seus ímãs elementares organizados em fileiras, com o pólo norte de cada átomo ou molécula apontando em uma direção e a face do pólo sul em direção oposta. Um material com átomos ou moléculas assim alinhados terá pólos magnéticos efetivos.

Uma ilustração da Teoria de Weber é mostrado na figura abaixo, onde uma barra de ferro é magnetizada quando submetida a um campo magnético externo, resultando no alinhamento de seus ímãs elementares.



Fig 5.Barra sendo magnetizada

III. a.Campo Magnético

Campo Magnético é a região ao redor de um ímã, na qual ocorre um efeito magnético. Esse efeito é percebido pela ação de uma força magnética de atração ou de repulsão.

A representação visual do campo magnético é feita através de Linhas de Campo Magnético,também conhecidas por Linhas de Indução Magnética, que são linhas envoltórias imaginárias. As linhas de campo magnético são linhas fechadas que saem do pólo norte e entram no pólo sul. A figura abaixo mostra as linhas de campo representando visualmente o campo magnético.

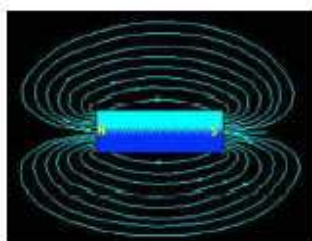


Fig 6. Linhas de Campo

Se dois pólos diferentes de ímãs são aproximados haverá uma força de atração entre eles e as linhas de campo se concentrarão nesta região e seus trajetos serão completados através dos dois ímãs. Se dois pólos iguais são aproximados haverá uma força de repulsão e as linhas de

campo divergirão, ou seja, serão distorcidas e haverá uma região entre os ímãs onde o campo magnético será nulo. Veja a figura abaixo:



Fig 7. Distribuição de linhas de campo para duas situações diferentes

III.b Imantação

É o fenômeno de imantação de um material provocada pela proximidade de um campo magnético. Como podemos ver na figura abaixo, o ímã induz magneticamente (imanta) os pregos e estes sucessivamente imantam uns aos outros e atraem-se.



Fig 8. Fenômeno da Imantação

Quando o ferro encontra-se próximo de um ímã, o campo magnético faz com que a barra de ferro se transforme temporariamente em um ímã. Isto acontece porque na presença de um campo magnetizante (ou campo indutor) os domínios magnéticos do ferro, que normalmente estão orientados em todas as direções ao longo da barra, ficam orientados em uma direção predominante, como num ímã. Esta situação está mostrada abaixo:

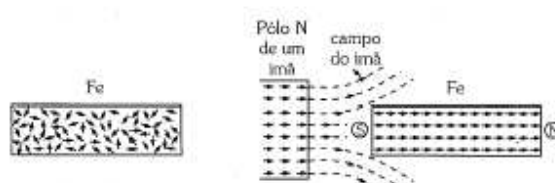


Fig 9. Processo de Imantação de uma barra de Ferro

Quando afastamos o ímã indutor, a maioria dos domínios magnéticos do ferro volta ao estado de orientação desorganizada fazendo com que o material praticamente perca as suas propriedades magnéticas. Materiais com esse comportamento, como o ferro puro, são chamados Materiais Magneticamente Moles.

Os materiais nos quais os domínios magnéticos não perdem a orientação obtida com a aproximação de um campo magnético são chamados Materiais Magneticamente Duros, como o aço e o ferrite. Isto acontece porque nessas ligas os átomos de ferro uma vez orientados sob a ação do campo magnético são impedidos de voltar à sua orientação inicial pelos átomos do outro material da liga, permanecendo magnetizados.

IV. Eletromagnetismo

IV.a. Introdução

Três principais fenômenos do eletromagnetismo são citados abaixo e serão discutidos posteriormente:

- Condutor percorrido por corrente elétrica produz campo magnético;
- Campo magnético provoca ação de uma força magnética sobre um condutor percorrido por corrente elétrica;
- Fluxo Magnético variante sobre um condutor gera (induz) corrente elétrica

IV.b. Campo Magnético gerado no centro de uma espira

Como no Galvanoscópio será abordado o campo magnético gerado por um conjunto de espiras, achei conveniente começar pela teoria de campo magnético produzido numa espira e depois generalizar para o campo num bobina.

Um condutor em forma de espira circular quando percorrido por uma corrente elétrica é capaz de concentrar as linhas de campo magnético no interior da espira, como mostrado na figura abaixo. Isso significa que a densidade de campo magnético resultante no interior da espira é maior que a produzida pela mesma corrente no condutor retilíneo.

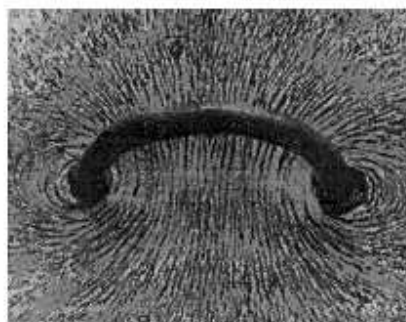


Fig 10. visualização do campo magnético no interior da espira

Para a determinação do campo magnético no centro de uma espira circular, a regra da mão direita também é válida. O polegar indica o sentido da corrente elétrica na espira e os demais dedos da mão direita, o sentido das linhas de campo magnético que envolvem o condutor da espira circular.

Assim, para os campos magnéticos representados na figura 11 abaixo, temos:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot R}$$

Eq 1. Campo magnético produzido numa espira.

Onde:

B = é a densidade de campo magnético no centro da espira circular [T, Tesla];

R = raio da espira [m];

I = intensidade de corrente na espira circular [A].

μ = permeabilidade magnética do meio [T.m/A]

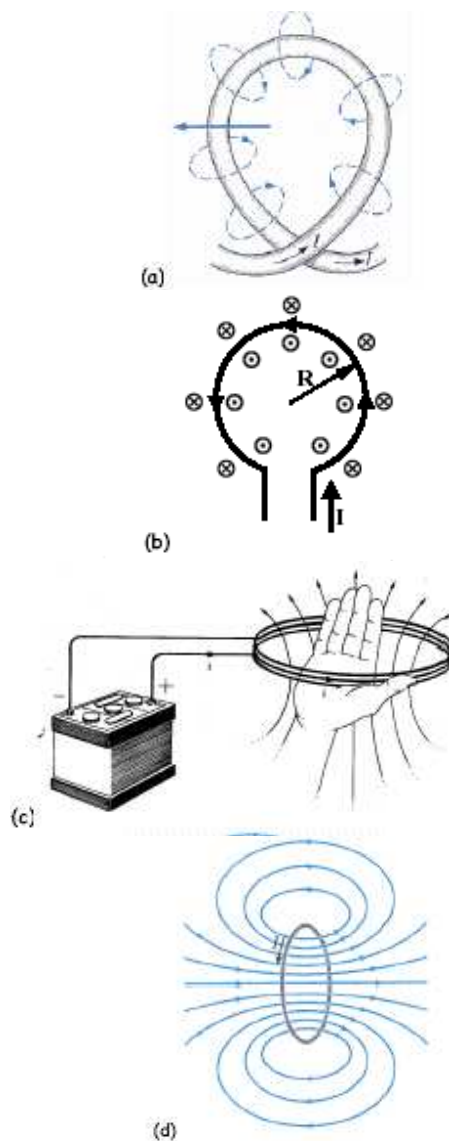


Fig 11. Representação do campo magnético gerado por uma espira percorrida por uma corrente

Na figura 11 acima nas letras (a) e (b) podemos verificar que as linhas de campo geradas no condutor são concentradas no interior da espira. A figura (b) mostra que a regra da mão direita também serve para determinar o sentido resultante das linhas de campo no centro da espira. A figura (c) mostra as linhas de campo concentradas no interior da espira através do outro ângulo de visão.

IV.c. Campo Magnético gerado no centro de uma Bobina Longa ou Solenóide

Um solenóide é uma bobina longa obtida por um fio condutor isolado e enrolado em espiras iguais, lado a lado, e igualmente espaçadas entre si, como mostra a figura 12 abaixo.

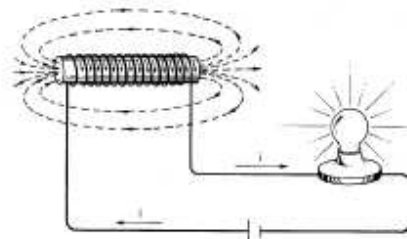


Fig 12. Linhas de Campo Magnético criado por uma bobina percorrida por uma corrente

Quando a bobina é percorrida por corrente, os campos magnéticos criados em cada uma das espiras que formam o solenóide somam-se e o resultado final, é idêntico a um campo magnético de um ímã permanente em forma de barra, como apresentado nas figuras 13 e 14 abaixo. Podemos observar que as linhas de campo são concentradas no interior do solenóide.

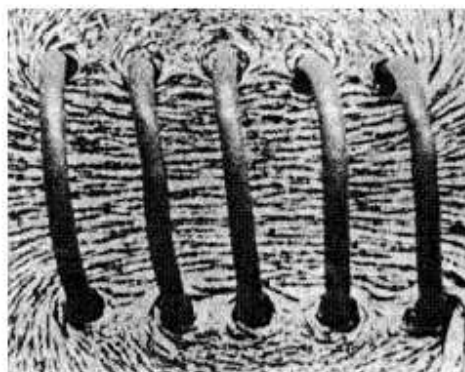


Fig 13. Concentração de Linhas de campo no interior da espira.

Para solenóides suficientemente longos, pode-se considerar o campo magnético constante e uniforme em praticamente toda a extensão do interior do solenóide. Portanto, a densidade de campo magnético no centro do solenóide é expresso por:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{\ell}$$

Eq. 2 Campo magnético produzido no centro de uma bobina.

onde:

B = é a densidade de campo magnético no centro do solenóide [T, Tesla];

N = número de espiras do solenóide;

I = é a intensidade de corrente elétrica que percorre o solenóide [A];

ℓ = comprimento longitudinal do solenóide [m].

μ = permeabilidade magnética do meio (núcleo do solenóide) [T.m/A]

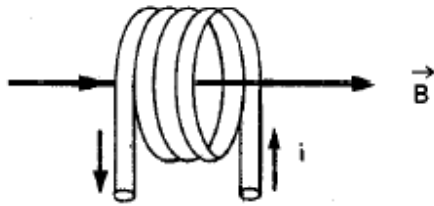


Fig 14. Sentido do campo magnético criado por uma bobina percorrida por uma corrente

IV.d. Lei de Indução de Faraday

Michael Faraday enunciou a lei que rege este fenômeno, chamada de Indução Eletromagnética e que relaciona a tensão elétrica induzida (fem) devida à variação do fluxo magnético num circuito elétrico. A lei de Faraday diz o seguinte:

Em todo condutor sujeito a uma variação de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (tensão) induzida.

A lei de Faraday diz que a tensão induzida em um circuito é igual ao resultado da taxa de variação do fluxo magnético no tempo e é dada pela divisão da variação do fluxo magnético pelo intervalo de tempo que ocorre, com sinal trocado. Ou seja, quanto mais o fluxo variar num intervalo de tempo, tanto maior será a tensão induzida:

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

Eq.3 Fem induzida numa espira.

Numa Bobina, a tensão induzida é diretamente proporcional ao número de espiras.

$$e = -N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

Eq.4 Fem induzida numa bobina

onde:

e - força eletromotriz induzida (tensão induzida) [V]

$d\phi/dt$ - taxa de variação do fluxo magnético no tempo [Wb/s]

N - número de espiras.

Resumindo a Lei de Indução de Faraday

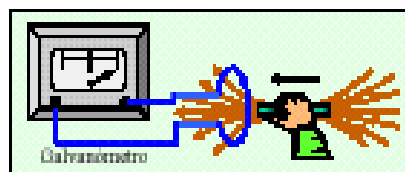


Fig 15. Lei de Indução

- Duas experiências que demonstram que uma corrente pode ser gerada por um campo magnético variável;
- Se o ímã for afastado da espira, a agulha do galvanômetro desvia-se na direção oposta;
- Se o ímã ficar estacionário em relação à espira, não há deflexão da agulha;
- Só existe corrente no circuito desde que exista um movimento relativo entre o ímã e a bobina e essa corrente é a corrente induzida, gerada por uma fem induzida;
- Uma corrente elétrica pode ser produzida por um campo magnético variável;

- Na experiência acima (uma das duas realizadas por Faraday) houve uma fem induzida num circuito quando o fluxo magnético através do circuito variou no tempo;
- A fem induzida num circuito é diretamente proporcional à taxa temporal de variação do fluxo através do circuito.

V. Galvanômetro

O Galvanômetro é um instrumento de medida que detecta correntes muito baixas e acho que se assemelha-se muito ao nosso Galvanoscópio que pretendeu de uma maneira muito simples também detectar correntes baixas de um circuito muito simples. Por isso, acho que é interessante falar um pouco do Galvanômetro.

Em eletrônica basicamente existem três grandezas a serem medidas tensão (U), corrente(I) e potência (P). Os instrumentos usados para medi-las são chamados respectivamente de voltímetro, amperímetro e wattímetro . Além de poder ser medida, uma tensão também pode ser visualizada através de um instrumento chamado de osciloscópio.Os instrumentos podem dar uma indicação analógica ou digital.No caso dos instrumentos analógicos a base de seu funcionamento é um medidor de correntes muito baixas chamado de Galvanômetro de bobina móvel ou Galvanômetro de D'Arsonval, o qual consiste de uma bobina que pode ser movimentada e que está colocada entre os pólos de um imã. Quando circula corrente pela bobina haverá uma interação entre o campo do imã fixo e do eletroímã fazendo aparecer forças que provocarão um deslocamento da bobina móvel, deslocando junto um ponteiro o qual dará uma indicação. O ângulo deslocado será proporcional à intensidade da corrente através da bobina . Se calibrarmos a escala poderemos efetuar uma medida de corrente.

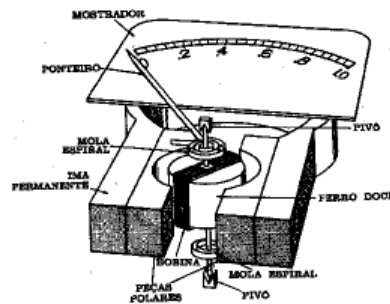


Fig 16. Galvanômetro

VI- O Experimento

VI.a Construção do Galvanoscópio

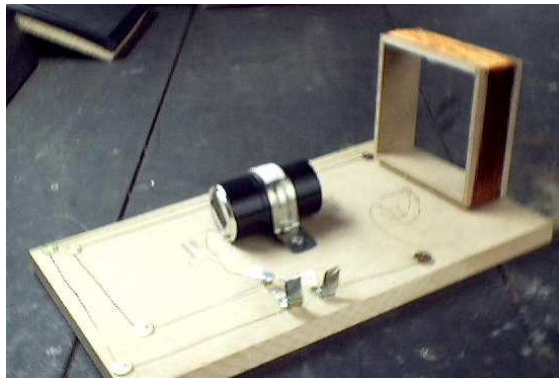
VI.a.1 Material Utilizado

- 4 tiras de laminado MDF 8cm x 3cm x 2mm;
- 1 base de madeira 15cm x 25cm x 1cm;
- 25m de fio de cobre esmaltado fino # 27;
- 1 lâmina de barbear de aço inoxidável;
- 1 ímã de Disco Rígido;
- Cola de Madeira;

- Pregos e percevejos;
- 1 pilha grande de 1,5 volts.

VI.a.2 Montagem

Usamos 4 tiras de laminado MDF cujas suas extremidades foram coladas de modo a formar um “quadro”. A seguir 25 metros do fio de cobre esmaltado # 27, foram enrolados nesse quadro, deixando uma pequena margem nos bordos, perfazendo um total de 100 espiras. Cerca de 20 cm das duas extremidades dessa bobina devem sobrar e tiveram suas extremidades raspadas para retirar o esmalte. Colamos esse quadro com o enrolamento sobre a base de madeira e fixamos a extremidade dos fios em dois pequenos parafusos. Abaixo mostramos a foto do nosso aparato montado.



A próxima etapa consistiu em magnetizar a lâmina de barbear pela técnica do esfregaço. Procedida à imantação da lâmina prendemos esta a um fio de seda e amarramos bem no centro da armação da Bobina.

Através dessas etapas acima construímos o Galvanoscópio para indicar a presença de campos magnéticos produzido pelas tênues correntes elétricas que circularem pela bobina. Quanto mais intensa a corrente na bobina, mais intenso será o torque apresentado pela lâmina.

VI.a.3 Testando a sensibilidade do aparelho

Usando uma pilha comum de 1.5 volts e vários resistores (100, 220, 470, 680, 10k, 15k ohms - cedidos gentilmente pela Oficina Eletrônica do IFGW) verificamos qual a menor corrente que será detectada pelo Galvanoscópio.

Olhando para a base de madeira vemos as letras A, B e C. De A e C saem os fios que deverão ser ligados aos terminais da pilha. Entre A e B deverão ser colocados os resistores que servirão para testar a sensibilidade do aparelho. Comecei colocando entre A e B um fio de cobre comum utilizado para o enrolamento da bobina e verifiquei uma grande deflexão da lâmina magnetizada. Depois coloquei o resistor de 100 ohms entre A e B, fixei o fio que sai de C ao pólo negativo da pilha (usando fita isolante) e depois toquei a extremidade livre do fio que sai de A no pólo positivo da pilha e constatei movimento da lâmina, mas um pouco menos intenso em relação ao fio de cobre. Troquei o resistor de 220 ohms e verifiquei se houve movimento e assim sucessivamente.

Quando troquei os resistores pelo de 15k ohms já não detectei mais nenhum movimento da lâmina e portanto o penúltimo resistor utilizado que ainda consegui visualizar movimento da lâmina foi utilizado para calcular a mínima corrente que o detector conseguiu ‘sentir’.

VI.a.4 Resultados

Seja a Resistência_{máxima} = 10K ohms e uma fonte de corrente contínua de U =1.5 volts, então:

Usando a lei de Ohms:

$$I = \frac{V}{R}$$

Eq.5 Lei de Ohm

$$I_{\text{mínimo}} = U/R_{\text{máxima}} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ ampère.}$$

Portanto, a mínima corrente que o Galvanoscópio consegue detectar é 1.5×10^{-4} ampère.

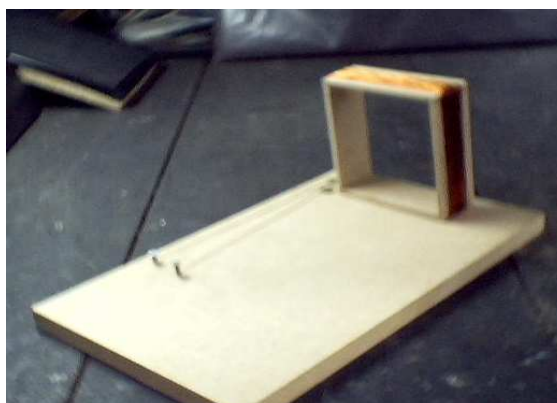
VI.b Construção da Bobina responsável pela demonstração da Lei de Indução de Faraday

VI.b.1 Material Utilizado

- 4 tiras de laminado MDF 8 cm x 3 cm x 2 mm;
- 1 base de madeira 15 cm x 25 cm x 1 cm;
- 25 m de fio de cobre esmaltado fino # 27;
- 1 imã de Disco Rígido;
- Cola de Madeira;
- Pregos e percevejos;

VI.b.2 Montagem

Usamos 4 tiras de laminado MDF cujas suas extremidades foram coladas de modo a formar um “quadro”. A seguir 25 metros do fio de cobre esmaltado # 27, foram enrolados nesse quadro, deixando uma pequena margem nos bordos, perfazendo um total de 100 espiras. Cerca de 20 cm das duas extremidades dessa bobina devem sobrar e tiveram suas extremidades raspadas para retirar o esmalte. Colamos esse quadro com o enrolamento sobre a base de madeira e fixamos a extremidade fios em dois pequenos parafusos. Abaixo mostramos a foto do nosso aparato montado.



VI.b.3 Verificando a Lei de Indução de Faraday

A segunda parte do experimento consistiu em construir mais uma bobina fixada numa base de madeira a qual foi ligada ao galvanoscópio para detectar a corrente induzida produzida pela passagem de um ímã de Disco Rígido dentro da segunda bobina construída, cujo objetivo era constatar a Lei de Indução de Faraday.

VI.b.4 Resultados

Ao ligarmos a segunda bobina ao galvanoscópio, e introduzirmos o ímã dentro da segunda bobina foi verificado uma leve deflexão da lâmina do Galvanoscópio, com isso comprovando a lei de indução de Faraday.

VII Conclusão e Comentários

A construção do Galvanoscópio foi fácil, mas com este aparato podemos comprovar que correntes passando por um fio produzem um campo magnético que é sentido pela lâmina previamente magnetizada. E que quanto mais intensa é a corrente, maior será o campo e maior será a deflexão da lâmina, estando de acordo com a equação de campo magnético dada pela eq(2). Quando acrescentamos cada resistência ao circuito e o fechamos, vemos que a corrente que passa pela bobina diminui (por perdas resistivas) quanto maior for o valor da resistência e por esse motivo diminui o campo produzido no centro da bobina. Também podemos notar que, quando o circuito do galvanoscópio não está fechado, a lâmina não fica na direção horizontal, pois tende a se orientar com o campo magnético terrestre.

Quando ligamos as duas bobinas e passamos o ímã de Neomídio na bobina sem a lâmina, verificamos que a variação do fluxo magnético induz uma fem no circuito que produzirá uma corrente no circuito que será detectada pelo Galvanoscópio devido a deflexão da lâmina, com isso podemos mostrar a lei de Indução de Faraday.

Podemos concluir que este aparato é bastante didático e pode ser usado para ilustrar aulas do 3º ano do ensino médio.

VIII Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Ernesto Kemp que aceitou meu pedido para orientação no projeto desta disciplina e sempre me ajudou, mesmo nos momentos em que estava muito ocupado. Também não posso esquecer a ajuda do Técnico do Laboratório de Léptons, Jair Botasso que me deu uma grande ajuda na aquisição dos materiais e na construção do experimento. E ao Professor Lunazzi que sempre foi muito atencioso aos pedidos feitos referentes ao projeto na página do TelEduc.

Muito Obrigado à todos.

IX Referências

- [1] www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0399-3.pdf
- [2] http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo_corrente/aplic_prim_fenom_eletromag/
- [3] http://oficina.cienciaviva.pt/~pv0625/experiencia_faraday.htm
- [4] <http://ghc.ifci.unicamp.br/pdf/ram-30.pdf>
- [5] <http://www.hsw.com.br/eletroimas5.htm>
- [6] http://www.cefetsc.edu.br/~mussoi/sistemas_digitais/Apostila_Eletromagnetismo_v32.pdf
- [7] Cadernos de História e Filosofia da Ciência, 1986, nº 10
- [8] Curso de Física Básica, vol 3 Eletromagnetismo; Nussenzveig, H. Moysés
- [9] Fundamentos da Física vol 2 ; Orear, Jay

X Comentários do meu Orientador.

A Priscila desde o início do projeto demonstrou entusiasmo e interesse em executá-lo. A escolha do projeto foi dela, baseada em critérios como a relevância física dos conceitos a serem demonstrados e o apelo visual que fenômenos eletromagnéticos possuem, como a movimentação de objetos desconectados mecanicamente. **Excelente trabalho.**