

Prática 5: Magnetismo e Lei de Faraday

Objetivos

Esta prática tem como objetivo investigar alguns dos principais fenômenos magnéticos e eletromagnéticos estudados em Física. Entre as investigações, espera-se que o aluno compreenda como determinar a componente horizontal do campo magnético terrestre, utilizando **bobinas de Helmholtz** e uma bússola.

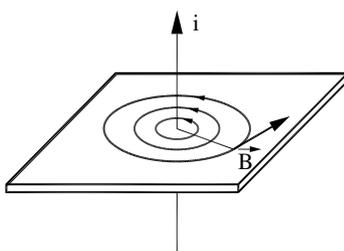
Introdução

Até o início do séc. XIX não se suspeitava que pudesse existir uma relação entre os fenômenos magnéticos e os elétricos. Em outras palavras, o Magnetismo e a eletricidade eram dois ramos da Física totalmente independentes e distintos.

Este ponto de vista foi radicalmente alterado com a descoberta de que a passagem de uma corrente elétrica através de um fio alterava a orientação de uma bússola próxima a ele. Esta observação foi feita por **Hans C. Oersted** em 1820¹. Ele percebeu que quando um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica, surge em torno dele um campo magnético.

A Fig.5.1 ilustra as linhas de campo magnético produzidas por um fio condutor percorrido por uma corrente i .

Figura 1.1 - Linhas de Campo Magnético em um fio retilíneo



Fonte: Elaborada pelo Compilador

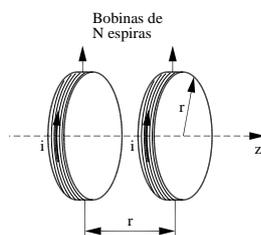
¹ Hans Christian Oersted, físico dinamarquês (1777 – 1851)

Duas fontes convencionais de campo magnético são: *fios condutores percorridos por corrente elétrica*; *ímãs permanentes*. Tais fontes de campo magnético podem ser descritas em função apenas da Lei de Ampère.

Determinação do Campo Magnético Terrestre

Neste experimento usaremos um par de **bobinas de Helmholtz** (Fig.5.2) para criar um campo magnético, \vec{B} , ortogonal ao campo da terra. Este aparato consiste em duas bobinas circulares coaxiais percorridas por correntes de mesmo sentido, cujos planos estão separados de uma distância igual ao raio das bobinas, r . Cada bobina poderá constituir-se de um enrolamento compacto de N espiras.

Figura 1.2 - Bobinas de Helmholtz.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Este sistema é particularmente útil porque fornece um campo bastante uniforme em um volume relativamente grande na região central do par de bobinas, e cujo valor, no centro do mesmo, é dado pela expressão:

$$B = \frac{8}{5^{3/2}} \frac{\mu_0 N_i I}{r} \sim 0,715 \frac{\mu_0 N_i I}{r} \quad (1)$$

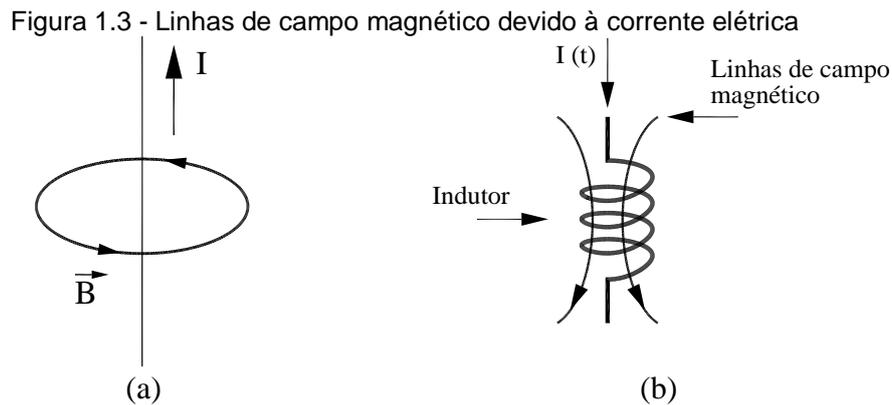
onde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ (sistema MKS), N_i é o número de espiras da bobina e I a corrente que a percorre.

Nesta prática, veremos que uma vez conhecido o valor de \vec{B} (Eq.1) podemos determinar a magnitude da componente horizontal do campo magnético terrestre, \vec{B}_T .

Indutores

Quando uma corrente elétrica percorre um fio, um campo magnético \vec{B} é induzido em torno dele (*Lei de Ampère*) e por esta razão, o mesmo é denominado

indutor. Em geral, um indutor é representado na forma de um solenoide. Vide Fig.5.3, abaixo.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Enquanto esta corrente for constante no tempo, $dI(t)/dt = 0$, este campo magnético também será constante e não interferirá eletricamente no indutor. No entanto, se esta corrente variar no tempo, $dI(t)/dt \neq 0$, ocorrerão alterações de campo magnético, fato que induzirá uma tensão elétrica nos terminais do indutor (*Lei de Faraday*) dada por

$$V(t) = -L \frac{dI(t)}{dt} \quad (2)$$

onde **L** é o fator denominado indutância, cuja unidade correspondente é o Henry.

Experimentos

I. Campo Magnético

Campo de um ímã.

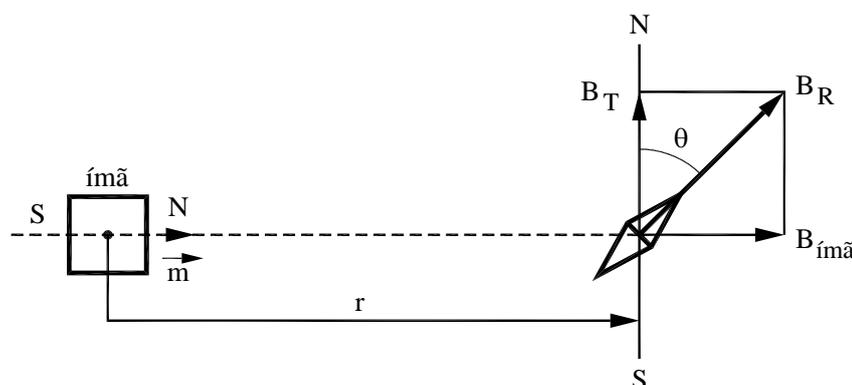
Uma bússola é um ímã permanente que tem liberdade de girar em um determinado plano, normalmente o plano horizontal. Na presença de um campo magnético qualquer, a bússola aponta na direção deste campo. Por isto ela serve para orientar, indicar a direção **N-S** da Terra.

Desde a antiguidade utiliza-se a bússola para orientação, pois ela indica a direção horizontal do campo magnético terrestre (direção Norte-Sul da Terra) indicado por \vec{B}_T na Fig.5.4. Neste experimento, que $\theta \rightarrow 0$ quando o ímã está muito distante da bússola, pois neste caso o campo total é o campo da Terra. Notem que nesta configuração, o campo do ímã $\vec{B}_{ímã}$ é perpendicular a \vec{B}_T . À medida que se aproxima o ímã da bússola, $\vec{B}_{ímã}$ aumenta, conseqüentemente o ângulo θ aumenta, pois a bússola indica a direção do campo resultante, ou seja, o resultado da soma vetorial:

$$\vec{B}_R = \vec{B}_T + \vec{B}_{ímã} \quad (3)$$

A Fig.5.4 mostra a situação em que $\theta = 45^\circ$ e neste caso as duas componentes tem a mesma magnitude, ou seja, $|\vec{B}_{ímã}| = |\vec{B}_T|$

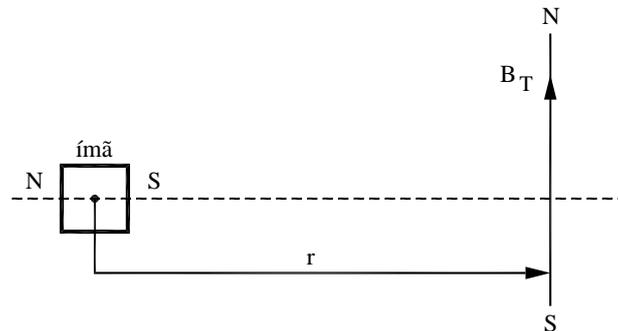
Figura 1.4 - Bússola na presença do campo magnético da terra (\vec{B}_T) e do campo devido ao ímã ($\vec{B}_{ímã}$)



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.1 A Fig.5.5 ilustra a situação em que se aproxima a face **S** do ímã da bússola. Qual a direção do campo resultante neste caso? Indiquem a direção da bússola na Fig.5.5.

Figura 1.5 - Idem à Fig.5.4 com o polo **S** do ímã se aproximando da bússola



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.2 Identifiquem o polo norte do ímã, investigando o comportamento da bússola na presença desse ímã, como ilustrado na Fig.5.4. Aproximem o ímã da bússola, observem se esta gira no sentido horário ou anti-horário.

Obs: CUIDADO PARA NÃO aproximar o ímã a menos de **~50cm** da bússola.

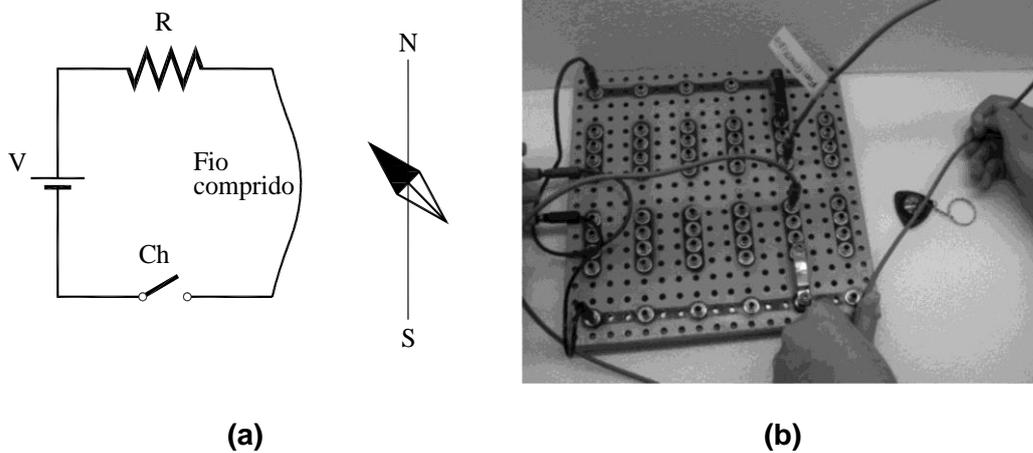
Experimento de Oersted

No experimento anterior, vocês devem ter concluído que a bússola sempre aponta na direção do campo total, ou seja, do campo da Terra e eventualmente de outro campo (chamado de campo secundário). No experimento anterior, o ímã produzia o campo secundário.

Neste experimento verificaremos o campo magnético em um fio percorrido por uma corrente elétrica. Para isto usaremos a fonte de tensão com ligada ao fio, de tal forma a obter correntes $\sim 1\text{A}$ para facilitar a observação dos efeitos.

Experimento: Montem o circuito da Fig. 5.6, com $V = 10\text{V}$ e $R = 10\Omega$, colocando um fio (inicialmente sem corrente) sobre a bússola alinhando-o na direção Norte - Sul (N-S).

Figura 1.6 - Circuito com um resistor ligado a um fio próximo a uma bússola



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.3 Apertem o botão da chave (Fig.5.6) e observem o que ocorre com a bússola quando a corrente é ligada.

Registrem suas observações: façam um diagrama indicando o fio, o sentido da corrente (I), o campo magnético da Terra (\vec{B}_T) e o campo gerado pela corrente elétrica (\vec{B}_I).

Obs: Para observar este fenômeno é necessária uma corrente relativamente alta ($\sim 1\text{A}$), por isso não deixe a fonte ligada (ou o botão apertado) por muito tempo.

I.4. Repitam o item **I.3** invertendo o sentido da corrente e registrem o que ocorre.

I.5 Repitam o item **I.3** colocando agora a bússola sobre o fio e registrem o que ocorre.

I.6 Enrolem o fio em torno da bússola de tal forma a maximizar o campo magnético gerado (\vec{B}_1). Observem o que ocorre quando o sentido do enrolamento é invertido.

I.7 Suspendam o fio de tal forma a que ele fique na vertical, ou seja, perpendicular ao plano da bancada. Segurem a bússola suspensa bem próxima ao fio (serão necessárias pelo menos duas pessoas) e observem o que ocorre quando a corrente é ligada. Movimentem lentamente a bússola ao redor do fio.

Vocês devem ter notado que o campo magnético gerado pelo fio é radial. Este campo magnético é relativamente fraco, mas no próximo experimento veremos como obter campos maiores sem precisar de correntes extraordinárias.

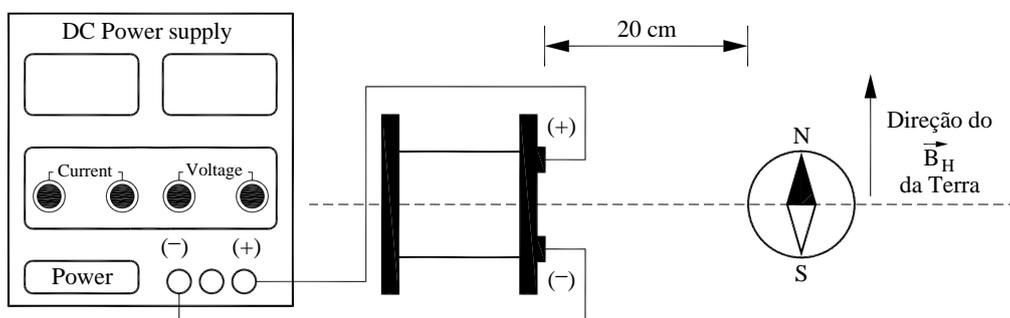
Campo magnético de uma bobina

I.8 Experimento: Neste experimento investigaremos o campo magnético produzido por uma bobina ou solenoide. Conectem uma bobina de **1000 espiras** a uma fonte de tensão contínua (**DC**) inicialmente desligada, tal como indicado na Fig.5.7. A bobina deve produzir um campo magnético que é mais intenso na direção de seu eixo (indicado pela linha tracejada na Fig.5.7). Antes de ligar a fonte, posicionem uma

bússola na direção do eixo, a uma distância **~20cm** da bobina. A direção do eixo deve ser perpendicular à direção do campo magnético local.

Obs: O campo produzido pela bobina é muito maior do que o campo de um único fio, por isso use baixas correntes (**~0,1A**) e não aproxime muito a bússola da bobina.

Figura 1.7 - Posição da bússola em relação à bobina ligada a uma fonte



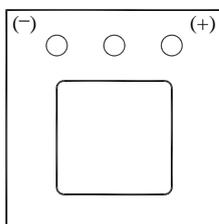
Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.9 Aumentem gradativamente a tensão de modo que a deflexão sofrida pelo ponteiro da bússola seja de aproximadamente $\theta = 45^\circ$. Em que sentido o ponteiro gira? Anotem o valor aproximado da corrente utilizada.

Obs: Este experimento tem um caráter mais qualitativo do que quantitativo. Nosso objetivo principal é determinar a direção do campo gerado e sua ordem de grandeza.

I.10 Qual a direção do campo \vec{B} , gerado pela bobina? Indiquem no centro da bobina da Fig.5.8 utilizando a notação \otimes (campo entrando na página) ou \odot (saindo da página). Para conferirem o resultado, invertam o sentido da corrente na bobina e observem se a bússola deflete no sentido esperado.

Figura 1.8 - Vista frontal da Bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Obs: Lembrem-se que a magnitude do campo é proporcional ao valor da corrente.

I.11 O que ocorre com a direção do campo se o sentido da corrente for invertido?

I.12 Aonde o campo da bobina é maior, na direção ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?

Apresentem seus resultados a um instrutor antes de continuar a prática.

Materiais magnéticos

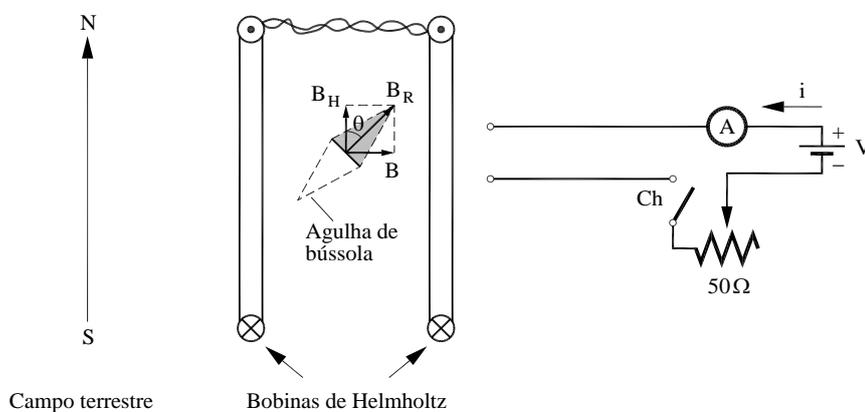
I.13 **Experimento:** Vocês dispõem de diversos materiais na mesa que podem ser inseridos dentro da bobina para averiguar se eles influenciam o campo magnético produzido. Para verificar isto, repitam o procedimento **I.8** do tópico **Campo magnético de uma bobina** e observem o que ocorre. Quais materiais aumentam, diminuem ou não influenciam significativamente o campo produzido pela bobina?

I.14 Coloquem o pedaço de ferro (núcleo de ferro oco) dentro da bobina e repitam o procedimento I.8 do tópico **Campo magnético de uma bobina**. Como os valores de corrente necessária para obter $\theta = 45^\circ$ se comparam, mantendo a mesma distância da bobina à bússola?

II. Determinação do campo magnético terrestre

Experimento: O arranjo experimental, utilizando as **bobinas de Helmholtz**, está esquematizado na Fig.5.9. Este experimento tem um caráter quantitativo e por isso deve ser feito com cuidado, pois os detalhes, mencionados a seguir, influenciam os resultados.

Figura 1.9 - Arranjo experimental



.Fonte: Elaborada pelo Compilador

Obs: Procure não deixar a fonte muito próxima das bobinas

a) O par de **bobinas de Helmholtz** deve ser posicionado de tal modo que o meridiano magnético local (**direção N-S**) seja perpendicular ao eixo das mesmas, e sua separação igual o seu raio r ;

b) Antes de ligar a chave **C** (chave liga/desliga da fonte DC), **girem o suporte da bússola** (eixo giratório no centro das bobinas, certificando-se que as bobinas estejam exatamente paralelas, façam este ajuste com a régua, observando de cima), até que suas leituras angulares sejam $\theta = 0^\circ$.

II.1 Após ligarem a chave **C**, ajustem a escala e borne do multímetro para **mA**. Meçam a corrente i_1 , façam uso do potenciômetro para um ajuste fino de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja $\theta = 45^\circ$. Anotem o valor de i_1 ;

II.2 Invertam o sentido da corrente que circula pelas bobinas, invertendo os polos da fonte **DC** (o multímetro digital indicará o sentido positivo (+) ou negativo (-) da corrente). Se for necessário, ajustem novamente o potenciômetro, de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja $\theta = 45^\circ$. Façam a leitura do novo valor de corrente, i_2 ;

II.3 Adotem o valor médio: $\bar{i} = \frac{(i_1 + i_2)}{2}$ para o valor da corrente, anotem o valor do raio das bobinas de Helmholtz, r , e o número de espiras **$N = 130$** ;

II.4 Encontrem o valor da componente horizontal do campo magnético local, \vec{B}_T , utilizando a equação 1. Estimem a incerteza deste valor.

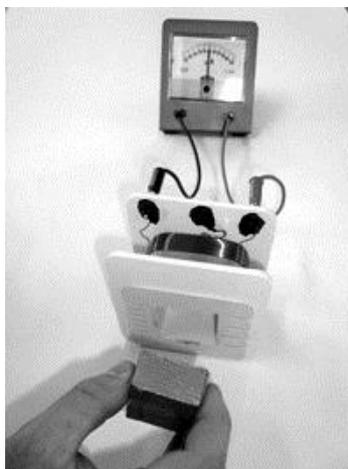
III. Indução Eletromagnética

Neste experimento veremos que se pode produzir corrente elétrica movimentando-se um ímã de maneira apropriada. Isto significa que houve gerou energia elétrica a partir de energia mecânica.

Nestes experimentos utilizaremos um galvanômetro, um instrumento analógico construído para medida de baixas correntes ($\sim \mu\text{A}$)

III.1 Conectem uma bobina de **1000 espiras** a um galvanômetro (ou amperímetro) e observem o que ocorre quando vocês aproximam um ímã (polos nas faces maiores) da bobina (Fig.5.10). Vocês conseguem induzir corrente elétrica na bobina?

Figura 1.10 - Galvanômetro conectado à bobina, com um ímã se aproximando desta



Fonte: Elaborada pelo Compilador

III.2 De que maneira a corrente é induzida mais eficientemente? Há corrente se o ímã estiver parado? Em qual direção de movimento do ímã a corrente (em módulo) é maior? Ao longo do eixo da bobina ou perpendicular a ele?

III.3 Movimentem o ímã ao longo do eixo da bobina e observem o efeito da velocidade do ímã. Como a amplitude da corrente depende da velocidade?

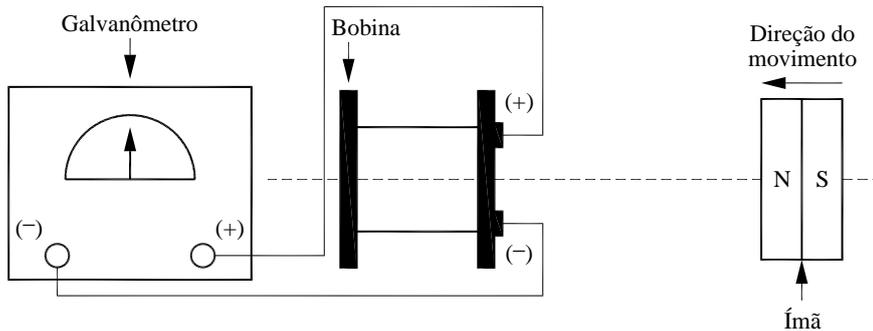
III.4 Movimentem o ímã ao longo do eixo da bobina e observem o efeito da polaridade do ímã. Registrem suas observações.

Experimento: Lei de Lenz

Embora M. Faraday tenha sido o pioneiro na observação da indução (1832), foi Heinrich Lenz que em 1835 percebeu a relação entre o sentido da corrente induzida em um circuito fechado e o campo magnético variável que a induziu, atualmente conhecida como Lei de Lenz. Para compreender a lei de Lenz, vamos realizar alguns experimentos semelhantes aos anteriores, prestando atenção no sentido da variação do campo magnético, ou seja, $\frac{d\vec{B}}{dt}$ e do fluxo magnético, ϕ .

O objetivo deste experimento é determinar a direção do campo induzido, (\vec{B}_{ind}) , ou seja, o campo produzido pela bobina em resposta ao campo devido ao ímã $(\vec{B}_{ímã})$. Conectem a bobina a um galvanômetro, tal como indicado na Fig.5.11.

Figura 1.11 - Esquema do Galvanômetro conectado à bobina, com um ímã se aproximando desta.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

III.5 Aproximem o polo norte do ímã (**N**) a bobina, movimentando-o na direção do eixo da bobina tal como indicado na Fig.5.11. Neste caso, a corrente no galvanômetro é positiva ou negativa? Indiquem com flechas o sentido da corrente entre o (+) do galvanômetro e o (+) da bobina. A corrente está entrando ou saindo do (+) da bobina?

Obs: responda considerando a situação mostrada na Fig.5.11, ou seja, o **N** do ímã aproximando da bobina.

III.6 Na situação ilustrada (Fig.5.11) o valor (ou módulo) do fluxo magnético na bobina devido ao ímã ($\vec{B}_{\text{ímã}}$) aumenta ou diminui? Indiquem na Fig.5.11 a direção de $\vec{B}_{\text{ímã}}$.

III.7 Vimos que a bobina gera uma corrente, que chamamos de corrente induzida. Esta corrente produz um campo magnético induzido, o qual denominaremos \vec{B}_{ind} . Considerando o sentido da corrente (entrando ou saindo do polo positivo (+) da bobina), indiquem desenhando uma flecha na Fig.5.11, o sentido do campo, \vec{B}_{ind} .

III.8 Concluindo: Na situação ilustrada na Figura 5.11 indiquem na Fig.5.12.(a), a direção do campo $\vec{B}_{\text{ímã}}$ e escreva se $\frac{d\phi}{dt} > 0$ ou $\frac{d\phi}{dt} < 0$. Usem as notações \otimes (campo entrando na página) ou \odot (campo saindo da página) para indicar o campo $\vec{B}_{\text{ímã}}$ desenhando no centro da bobina da Fig.5.12(a). Indiquem na Fig.5.12 (b) o sentido de \vec{B}_{ind} (o campo devido a corrente induzida na bobina).

Figura 1.12 - (a) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo $\vec{B}_{\text{ímã}}$ devido ao ímã; b) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo induzido \vec{B}_{ind} , produzido pela corrente induzida na bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

III.9 Considerem agora uma situação análoga a mostrada na Fig.5.11, porém com o ímã se afastando da bobina. Repitam o procedimento do item anterior, usando a Fig.5.13 abaixo.

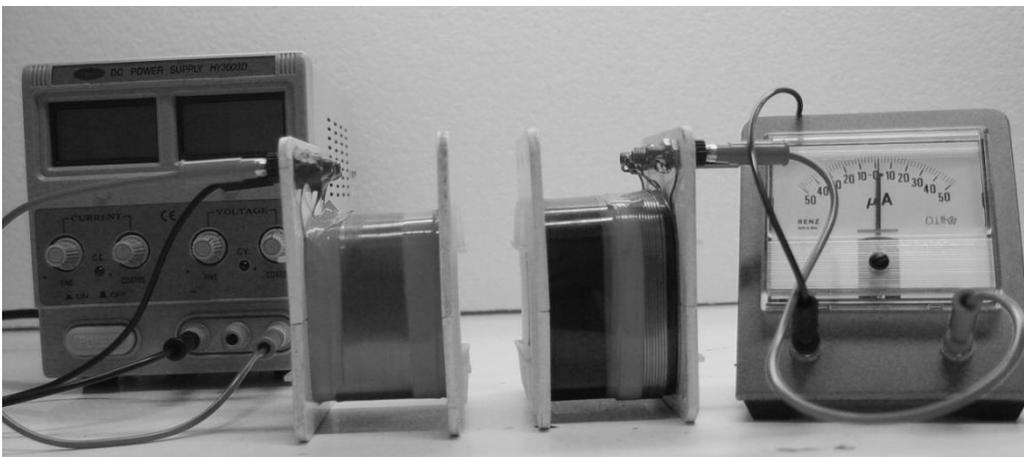
Figura 1.13 - (a) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo $\vec{B}_{\text{imã}}$ devido ao imã; (b) Vista frontal da bobina para a Indicação do campo induzido \vec{B}_{ind} , produzido pela corrente induzida na bobina



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Experimento: Conectem uma bobina de **1000 espiras** a uma fonte **DC** usando uma chave e ajustem **V = 12V**. Conectem uma segunda bobina a um galvanômetro de zero central, como ilustrado na Fig.5.14. Denominaremos estas bobinas como **1** e **2** respectivamente.

Figura 1.14 - Bobina 1 (ligada a uma fonte) próxima à bobina 2 (ligada ao galvanômetro).



Fonte: Elaborada pelo Compilador

III.10. Com a fonte ligada e as duas bobinas paradas, há corrente induzida no galvanômetro?

III.11. Movimentem a bobina **2**, mantendo a **1** parada e observem se há corrente no galvanômetro.

III.12. Repitam o experimento anterior, porém movimentando a bobina **1**, mantendo a **2** parada.

III.13. Mantendo as duas bobinas fixas (**~1cm**), observem o que ocorre quando vocês ligam e desligam a corrente na bobina**1** ligada à fonte (*para isso, vocês podem desconectar um dos cabos de ligação*).

III.14. Investiguem o efeito da orientação entre as duas bobinas girando uma delas de **90°** em relação ao seu eixo magnético.

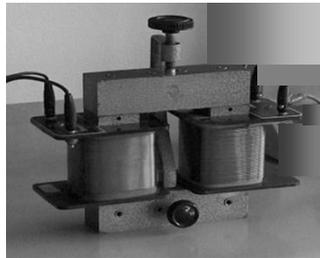
III.15. Com a fonte desligada, coloquem uma barra de ferro na bobina**1**. Liguem a fonte e repitam os itens **III.10** a **III.13**. Como varia a magnitude da indução com a introdução do ferro?

IV. Transformador

Experimento: Utilizem o transformador **220V – 6,3V** ligado em **110V** para obter uma fonte **AC** de **3,8V**.

Montem um transformador com duas bobinas, **1000**, **500** ou **250** espiras em núcleo de ferro fechado (Fig.5.15).

Figura 1.15 - Bobinas com núcleo de ferro fechado



Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.1 Considerem N_1 o número de espiras do primário (da primeira bobina que está ligada em **3,8V**) e N_2 o número de espiras do secundário (segunda bobina) e sejam V_1 e V_2 as tensões medidas com um voltímetro modo **AC** no primário e no secundário, respectivamente. Meçam a relação V_2/V_1 para vários valores de N_1 e N_2 (essas bobinas podem ser trocadas para se obter outros valores).

IV.2 Para encontrar a relação entre V_2/V_1 e N_2/N_1 façam um gráfico de (V_2/V_1) versus (N_2/N_1) para verificar esta dependência com pelo menos 5 valores de N_2/N_1 .

N_1	V_1	N_2	V_2	N_2/N_1	N_2/V_1

V. Força Magnética em um fio (Demonstração)

V.1 Experimento: Coloquem o fio (Fig.5.6) junto a um ímã permanente e apertem o botão (rapidamente) para ligar a corrente. Observem a força entre o fio e o ímã.

V.2 Verifiquem o que ocorre se o sentido da corrente for invertido.

V.3 Verifiquem o que ocorre se o polo do imã for trocado.

Lista de materiais (prática 05)

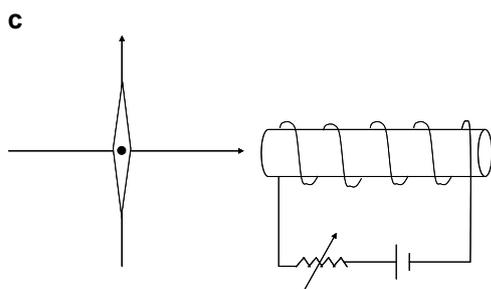
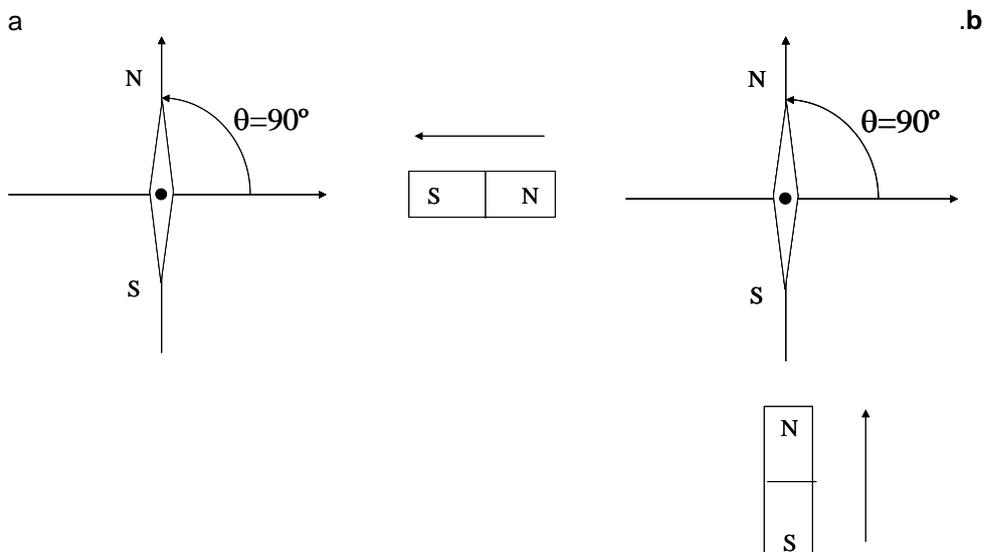
- Bússola
- Fio condutor comprido
- Bobinas de Helmholtz
- Chave
- Materiais para preencher a bobina: ferro, alumínio, plástico
- Imã
- Núcleo de ferro e bobinas: 250 espiras e 1000 espiras
- Resistor de 10Ω
- Potenciômetro de 50Ω
- Galvanômetro de zero central
- Transformador (110:220 – 6.3:12.6)
- Fonte de tensão variável (DC)
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.

Exercícios

1) A Figura abaixo ilustra uma bússola fixada na mesa do laboratório distante de ímãs, sob a ação do campo magnético da Terra de valor B_T . Neste caso o ângulo θ entre a bússola e o eixo x é de 90° . Explique o que ocorre nas seguintes situações: Um estudante aproxima um ímã à bússola conforme ilustrado na Fig. a.

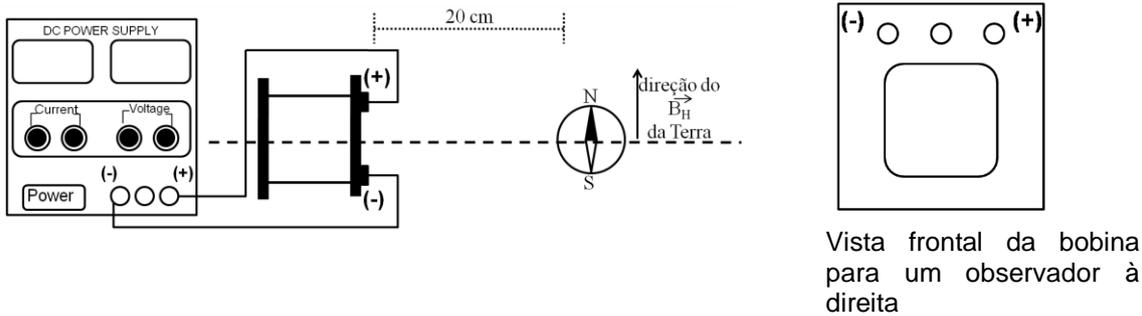
- O procedimento do item a) pode ser usado para medir o campo devido ao ímã? Caso afirmativo, explique sucintamente como ou porque caso negativo.
- Um estudante aproxima um ímã à bússola conforme ilustrado na Fig. b.
- O procedimento do item c) pode ser usado para medir o campo devido ao ímã? Caso afirmativo, explique sucintamente como ou porque caso negativo.
- Um estudante coloca uma bobina próxima a bússola, tal como indicado na Fig.c. Inicialmente a corrente é nula e é gradualmente aumentada (experimentalmente isto é feito ajustando-se apropriadamente a resistência do reostato de valor R) e a bobina é mantida fixa. Descreva o que ocorre.

Justifique todas as suas respostas

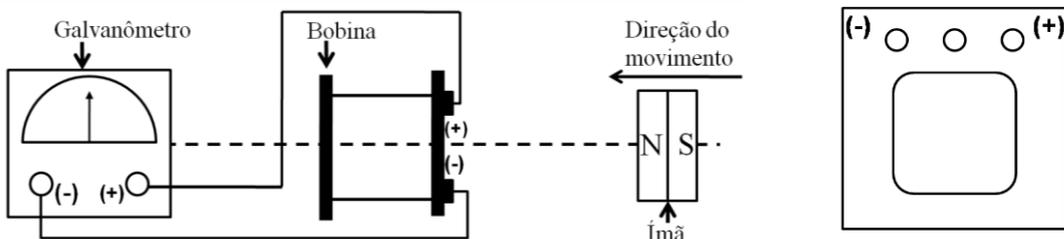


2) a) Um estudante liga uma bobina a uma fonte de corrente contínua (*DC Power Supply*). Ele observa que a bússola gira no sentido horário quando bobina é conectada conforme ilustrado na figura abaixo. Qual a direção do campo \vec{B} , gerado pela bobina? Indique no centro da bobina

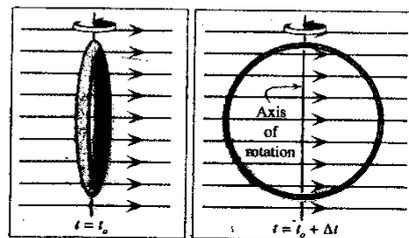
do espaço da direita utilizando a notação \otimes (campo entrando na página) ou \odot (saindo da página).



b) Suponha agora que o estudante movimenta um ímã conforme ilustrado na Figura abaixo. Há corrente induzida na bobina? Caso afirmativo, a corrente indicada no galvanômetro é positiva ou negativa? A bobina gera um campo magnético? Caso afirmativo, indique a direção do campo gerado pela bobina, \vec{B} , no espaço à direita da Figura (use a notação \otimes ou \odot , tal como no item anterior).



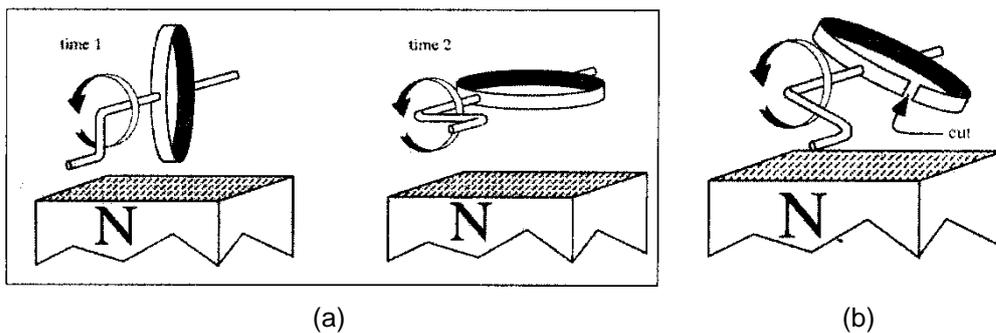
3) Uma espira de cobre está inicialmente em repouso em um campo magnético constante e uniforme, tal como indicado na Figura ao lado. Entre os tempos $t = t_0$ e $t = t_0 + \Delta t$ a espira é girada num eixo vertical, tal como mostrado na Figura ao lado.



a) Há corrente induzida na durante este intervalo de tempo? Por que?

b) caso afirmativo, indique a direção da corrente.

4). Na Figura (a) abaixo, uma espira metálica está conectada a um eixo que permite girá-la (no sentido anti-horário) Um ímã está colocado abaixo da bobina, conforme mostra abaixo.



- a) Nos diagramas acima “time 1” e “time 2” há corrente induzida? Caso afirmativo indique no diagrama a direção da corrente.
- b) Considere agora você saiba que a espira foi girada com velocidade angular ω constante. Esboce um gráfico da dependência temporal do fluxo magnético na espira, $\Phi(t)$, e de força eletromotriz induzida $\epsilon(t)$, entre os instantes. *time 1* e *time 2*.
- c) Repita os itens a) e b) para o caso da Fig.(b) onde a espira não é fechada.