



INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Laboratório de Eletromagnetismo (4300373)
2º SEMESTRE DE 2010

Grupo:

.....

.....

(nome completo)

Prof(a): Diurno () Noturno ()

Data : ____/____/____

MAPEAMENTO DE CAMPO MAGNÉTICO

Experiência 7

1. Introdução

Nesta experiência iremos observar como um campo magnético que varia no tempo pode produzir um campo elétrico. O objetivo básico da experiência é o de utilizar uma sonda magnética para determinar o campo magnético gerado por um dispositivo conhecido como *Bobina de Helmholtz*.

Primeiramente apresentaremos a teoria necessária para o entendimento da experiência, seguida do procedimento experimental composto por duas seções. A primeira seção destina-se à calibração da sonda para a realização da medição, na qual será utilizado um **solenóide longo**, e a segunda destina-se às medições propriamente ditas, na **Bobina de Helmholtz**, utilizando-se a bobina calibrada na primeira parte.

2. Teoria

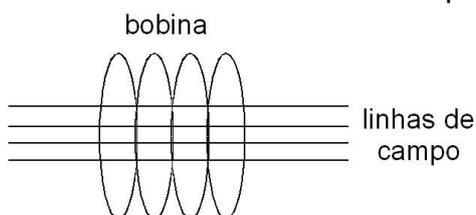
A sonda magnética baseia-se na lei de indução de Faraday,

$$\varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt}, \text{ onde } \phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Sendo ε a força eletromotriz a ser medida e \vec{B} é o campo magnético que se pretende determinar, e que possui uma dependência temporal conhecida.

Em nosso experimento, usaremos um **solenóide** para gerar um campo magnético \vec{B} , alimentado por uma corrente variável I , produzida por um gerador de ondas, ajustado para uma frequência (que **deve ser mantida fixa**), **aproximadamente 1kHz** (lembre-se que a

frequência angular correspondente é: $\omega = 2\pi f \text{ rad.s}^{-1}$). A sonda de prova, que utilizaremos para medir o campo, foi construída com muitas espiras, de maneira a termos indução suficiente para gerar um sinal mensurável em um osciloscópio.



Explicação: supor, por exemplo, que a sonda de prova consista numa única espira de fio condutor e seja plana, com área A . Colocando-se a sonda em um campo magnético uniforme \vec{B} e orientando seu eixo na direção do campo, o **fluxo** pela espira será BA . Se o campo magnético oscila harmonicamente com frequência angular ω ($B = B_0 \text{ sen}(\omega t)$), o fluxo também oscila harmonicamente, de maneira que $d\phi / dt = \omega B_0 A \text{ cos}(\omega t)$, (isto considerando que a sonda esteja parada). Assim, se medimos a força eletromotriz \mathcal{E} , conhecendo a frequência de oscilação do campo magnético e a área A da espira, podemos determinar B_0 .

Mediremos com o osciloscópio o valor da força eletromotriz \mathcal{E} na sonda, em função da tensão pico a pico V_{pp} aplicada na bobina de Helmholtz. A área da sonda é fixa, de maneira que podemos incorporar esse parâmetro na calibração, bem como a frequência de oscilação do campo (já que, na medida posterior, utilizaremos fontes de corrente de mesma frequência). Teremos, então, calibrado a nossa sonda para que ela forneça \vec{B} (diretamente a partir de V_{pp}). Note que, se a sonda é formada por muitas espiras de área A , a força eletromotriz aumenta proporcionalmente ao número de espiras N , de maneira que o procedimento de calibração permanece inalterado. Nesta experiência estaremos supondo que: (i) o campo é uniforme dentro da sonda de prova e (ii) efeitos de auto-indução na sonda são desprezíveis (eles serão significativos apenas a partir do momento em que as correntes na sonda forem muito grandes).

Assim, **tudo se resume na determinação de V_{pp} com a sonda colocada em um campo magnético conhecido**. Para isso utilizaremos um grande solenóide como fonte do campo magnético uniforme, alimentando-o com uma corrente conhecida e de **frequência fixa**.

3. Material Utilizado

- osciloscópio digital + ponta de prova;
- multímetro;
- gerador de ondas;
- resistor de 1Ω (10 W);
- solenóide de 80 cm e bobina de Helmholtz;
- sonda de campo magnético;
- mesa de madeira para a sonda;
- suporte de montagem e fios de ligação.

A. Calibração da Sonda

- 1) Utilizando o solenóide. Monte o circuito da figura 1.

1 Como será observado V_{pp} no osciloscópio, e a impedância de entrada é da ordem de $M\Omega$, o que é lido no osciloscópio é a própria força eletromotriz. O efeito da auto-indução na bobina da sonda deve ser pequeno.

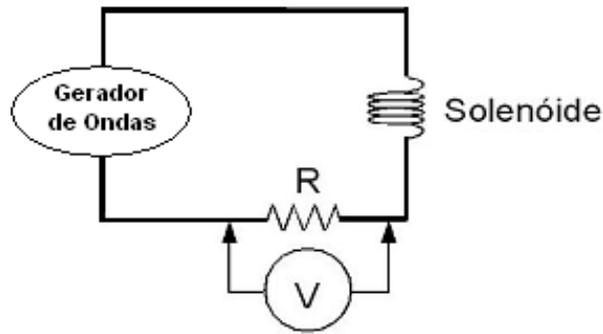


Ilustração 1 - Esquema do circuito com solenóide.

2) Medindo o campo com a sonda. A sonda pode ser vista na ilustração 2.

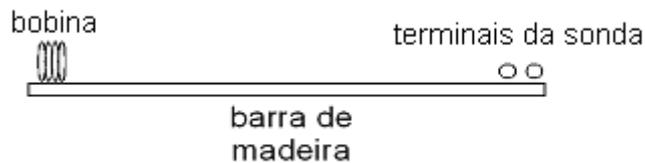


Ilustração 2 – Sonda da medida de campo magnético

Atenção: repare que a sonda e o osciloscópio não estão descritos no circuito; logo nenhuma tensão é aplicada sobre a sonda.

O conjunto consiste de uma barra de madeira sobre a qual estão montados uma bobina, numa ponta, e alguns terminais, na outra ponta. A sonda é introduzida na região de campo magnético, para determinar o seu valor. **Nesta parte de experiência** ela é introduzida no interior do solenóide (vide ilustração 3). A parte ativa é a ponta com a bobina. Para auxiliar nos procedimentos, se necessário, existe uma pequena 'mesa' de madeira para apoiar a sonda. Conecte a ponta de prova no canal 1 (CH1) do osciloscópio, para medir **a tensão nos terminais da sonda.** A região de campo \vec{B} mais constante está no centro do solenóide (tanto em relação ao comprimento quanto em relação à direção radial). A **leitura da tensão da sonda**, a ser feita **através do osciloscópio**, é a **tensão pico a pico (V_{pp})**.

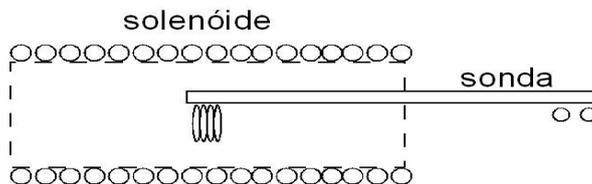


Ilustração 3 - Calibração da sonda.

Anote abaixo os valores marcados no solenóide. Quanto ao resistor, é aconselhável a medida da sua resistência utilizando-se o multímetro, já que alguns resistores podem sofrer alteração de seus valores com o tempo:

solenóide : L = \pm (comprimento)

N = \pm (número de espiras)

resistor : $R = \dots \pm \dots$

Em seguida, utilize o botão <Autoset> para ajustar o osciloscópio, antes de realizar qualquer leitura. Mude as escalas de voltagem e tempo para poder visualizar na tela do osciloscópio algumas oscilações completas (devido ao excesso de ruído na experiência, talvez seja necessário usar a função do osciloscópio que realiza a média de algumas medidas). Aplicando uma corrente I no solenóide temos um campo magnético \vec{B} uniforme no seu interior. Conhecendo esta corrente I podemos determinar o módulo do campo \vec{B} gerado, pela relação:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (1) \quad \text{(No relatório, deduza esta expressão)}$$

onde : $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$ (valor exato);

N é o número de espiras do solenóide;

I é corrente que alimenta o solenóide;

L é o comprimento do solenóide.

3) Você vai determinar a corrente I no solenóide, medindo a tensão V sobre o resistor R (usando o multímetro), cujo valor de resistência já foi medido.

4) **Variando a amplitude da onda** do gerador de ondas, meça nos terminais da sonda os valores de tensão V_{pp} correspondentes aos vários valores de I no circuito. Preencha, então, a tabela abaixo (os valores de B são calculados através da eq.(1)).

5) Faça o gráfico de $B \times V_{pp}$ para determinar a curva de calibração da sonda magnética.

	V_{resistor} ()	$\sigma V_{\text{resistor}}$ ()	I_{circuito} ()	$\sigma I_{\text{circuito}}$ ()	V_{pp} ()	B ()	σB ()
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

No espaço em branco, a seguir, obtenha a expressão de σB , calculando as derivadas parciais explicitamente. Não é preciso colocar os valores numéricos. Se fizer alguma aproximação, deixe este procedimento explícito.

Faça o gráfico de $B \times V_{pp}$ com os dados da tabela acima e não se esqueça de colocar as barras de erro nos valores do campo magnético. Agora, usando o método de Mínimos Quadrados, faça o ajuste de reta $B = \alpha + \beta V_{pp}$ (complete abaixo) e imprima o gráfico.

$\alpha = \dots \pm \dots$

$\beta = \dots \pm \dots$

Agora a sonda está devidamente calibrada.

B. Campo Magnético produzido por uma Bobina de Helmholtz

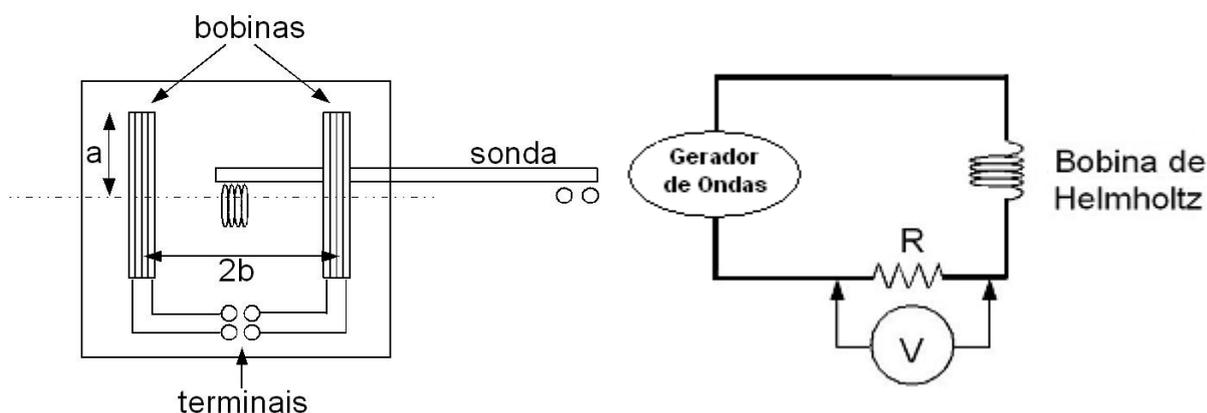


Ilustração 4 - Bobina de Helmholtz, onde $2b = a$.

Monte agora o circuito descrito na ilustração 1, porém usando uma bobina de Helmholtz no lugar do solenóide, como pode ser visto na ilustração 4. Observe que a bobina de Helmholtz possui 4 terminais, 2 de cada lado. Para que a mesma corrente percorra as duas bobinas, conecte adequadamente os cabos da montagem.

Posicione a sonda na região central da bobina, entre as duas bobinas. Centralize bem a posição da sonda.

(Leitura COMPLEMENTAR aconselhada: cap. 8 de J.R. Reitz e F.J. Milford, Fundamentos da Teoria Eletromagnética, Addison & Wesley.)

Anote os valores dos componentes usados:

bobina $N = \dots \pm \dots$ (número de espiras)

$a = \dots \pm \dots$ (raio da espira)

Meça a tensão V_{pp} no osciloscópio para **dois valores de corrente** e preencha a tabela abaixo. Obtenha, nesta situação, o valor de B (e respectiva incerteza) **diretamente a partir da reta de calibração** obtida no gráfico anterior:

	$V_{\text{multímetro}}$ ()	I ()	σI ()	B ()	σB ()	$V_{ef} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{2}}$ ()
1						
2						

Agora usando a equação teórica:

$$B_z = \frac{8\mu_0 NI}{5^{3/2} a}$$

onde : $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$ (valor exato);
 N é o número de espiras da bobina;
 I é corrente que alimenta a bobina;
 a é o raio da bobina.

Calcule B para os mesmos valores de I :

	I ()	B ()
1		
2		

Compare os valores de B obtidos e comente. Ajudaria, na comparação, calcular a incerteza nas medidas de B desta última tabela?

.....

Você deve entregar esta guia no final da aula.

4. Relatório

Além de descrever o experimento e relatar os resultados:

- 1) Calcule o valor esperado para a força eletromotriz induzida na bobina de prova (utilize a área e o número de espiras anotados por você no experimento), por unidade de campo magnético. Determinando a relação entre V_{pp} e a força eletromotriz, compare o valor calculado com o obtido pela reta de calibração.
- 2) Compare os resultados experimentais obtidos para os valores do campo no eixo (posição central) da bobina de Helmholtz com os calculados a partir dos parâmetros anotados (corrente na bobina, número de espiras em cada enrolamento e distância entre eles).