

Lab de Eletromagnetismo – Prof. Humberto

Experimento:

Medidas do vetor indução magnética de algumas distribuições espaciais de corrente.

Pergunta central: como mapear o vetor indução magnética de distribuições espaciais de correntes contínuas?

Experimento Proposto:

Introdução: A ideia do experimento é mapear o vetor indução magnética de diferentes distribuições de corrente, usando sensores de campo magnético baseados em efeito Hall. Entre as distribuições de interesse avaliaremos o campo de um solenoide, de bobinas de Helmholtz, e de um fio longo. Utiliza-se cálculos teóricos das distribuições de campo, com base na Lei de Biot-Savart, e compara-se os resultados teóricos com os dados coletados. Analisa-se os motivos que geram as concordâncias e discordâncias entre os valores experimentais e os calculados.

Objetivo: aplicar a lei de Biot-Savart às medidas de indução magnética, para verificar a aplicabilidade prática dessa lei. Usar conceitos de campo tridimensional e matemática vetorial associada para entender e representar espacialmente os campos magnéticos.

Fundamentação:

A Lei de Biot-Savart (Halliday et al. 2006):

$$d\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) \cdot \frac{id\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1)$$



pode ser usada para determinar o campo magnético ($d\vec{B}$) produzido por um elemento de corrente $id\vec{s}$. Em distribuições espaciais de correntes, pode ser usada para determinar os vetores indução magnética em diferentes pontos do espaço fazendo uma integração sobre o circuito.

Diferente da Lei de Ampère, que é mais facilmente aplicável para geometrias de alta simetria, a Lei de Biot-Savart pode ser aplicada com relativa facilidade para situações de não-simetria, tais como fios e solenoides finitos. O cálculo é feito somando-se vetorialmente os campos produzidos pelos diferentes elementos.

Solenóide Finito

Lembre-se primeiramente de como deve ser a distribuição do vetor indução magnética nas proximidades de um solenoide. Relembrado isso, e entendendo qualitativamente como é a distribuição podemos passar para a parte dos cálculos, e para as medidas quantitativas.

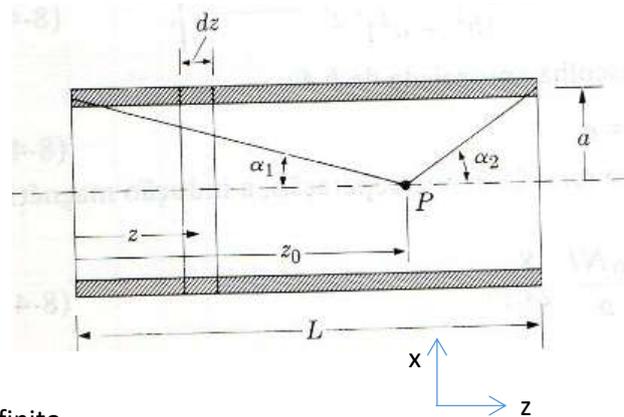
Cálculo da indução magnética de um solenoide finito.

No caso de um solenoide finito, para a componente paralela ao eixo, temos (Reitz et al. 1982):

$$B_z(z_0) = \frac{\mu_0 NI}{L} \cdot \frac{a^2}{2} \int_0^L \frac{dz}{[(z_0 - z)^2 + a^2]^{3/2}} \quad (2)$$

Uma mudança de variável (veja Reitz, p.172) e uma integração trigonométrica simples permitem simplificar a equação para:

$$B_z(z_0) = \frac{\mu_0 NI}{L} \left[\frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{2} \right] \quad (3)$$



Medida da indução magnética de um solenoide finito.

Simplificação: Na prática podemos assumir geometria cilíndrica. Por isso podemos mapear o campo em um plano perpendicular ao eixo das espiras (ou ao fio) e supor que esse campo seja o mesmo girando 180° em torno do eixo. Para testar, podemos pegar alguns pontos fora do plano com o intuito de verificar se os valores são os mesmos que no plano de medição.

1. Monte o circuito para passar corrente no solenoide, conforme indicado no esquema. Sugere-se uma corrente de 3,0 A neste experimento. Verifique com frequência no multímetro que este valor está na faixa entre 2.97 A e 3.03 A, e se sair fora corrija usando os botões da fonte.
2. Usando o medidor de campo magnético de efeito Hall, modelo Vernierⁱⁱ, na escala 6.4 mT, faça um mapeamento da componente no eixo (B_z) do solenoide entre $z = -20$ cm até o centro do solenoide ($z=L/2$)ⁱⁱⁱ. Antes de iniciar as medidas definitivas, coloque o medidor na posição inicial, com a corrente do circuito desligada, e zere o sensor através do software (símbolo Ø em azul na barra de ferramentas do programa). Zerado o sensor e ligada novamente a corrente. Você pode usar medidas de 2 em 2 cm para caracterizar bem as variações observadas. O sensor pode, com cuidado, ser preso a uma régua de plástico longa por meio de elásticos para facilitar as medidas de posição^{iv}.
3. Com cuidado, faça uma curva de 90° na ponta do Vernier para medir a componente B_x , em plano paralelo à superfície da mesa, que passa pelo eixo do solenoide. Meça a componente B_x ao longo do eixo do solenoide ($B_x(x=0, z=-20)$ até $B_x(x=0, L/2)$). Esta medida você pode espaçar de 4 em 4 cm, tomando o cuidado de que os pontos analisados sejam compatíveis com os tomados no item 1.
4. Meça a componente B_x na boca do solenoide, mantendo $z=0$ e variando x entre 0 e 20 cm. Faça o mesmo para o meio do solenoide ($z=L/2, x$ variável). Sugere-se aqui espaçar de 2 em 2 cm para ter uma idéia da variação do campo.
5. Faça um gráfico das componentes B_z e B_x medidas nos itens anteriores, e monte uma imagem da variação espacial do campo magnético do solenoide.

Espira de corrente.

1. Outra configuração de campo interessante é o de uma espira de corrente. Entre os materiais disponíveis existe uma espira de diâmetro 21 cm. Mapeie o campo paralelo ao eixo da espira, e perpendicular ao plano da espira, (B_z) desde $z=-20$ cm até $z=20$ cm, tomando mais pontos na região central (1 em 1 cm).
2. Meça a componente perpendicular ao eixo z (B_x), no mesmo intervalo de z que a medida anterior.
3. Em $z = 0$, mapeie B_z , desde $x = 15$ até $x = -15$, deslocando o sensor na direção x , perpendicular ao eixo do solenoide e paralela ao plano da mesa.

Bobinas de Helmholtz

As bobinas de Helmholtz (Fig.3) podem ser usadas no experimento de maneira análoga ao solenoide. Neste caso é importante manter a geometria na qual a distância entre as bobinas é igual ao raio, e posicionar a bússola no eixo e bem centralizada em relação às duas espiras. Neste caso o campo no centro (em $x=R/2$) será dado por:

$$\vec{B}_x = \frac{\mu_0 NI}{R} \cdot \left(\frac{8}{5^{3/2}} \right) \hat{x}$$

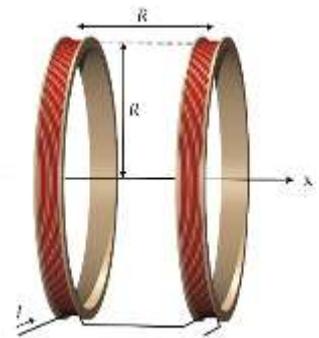


Fig.3. Arranjo das bobinas de Helmholtz.

Fio finito.

Lembre-se primeiramente de como deve ser a distribuição do vetor indução magnética nas proximidades de um fio transportando corrente. Relembrado isso, e entendendo qualitativamente como é a distribuição podemos passar para a parte dos cálculos, e para as medidas quantitativas.

Cálculo da indução magnética de um fio infinito:

Usando a lei de Ampère, temos para um fio infinito:

$$B_{fio\ infinito} = \frac{\mu_0}{2\pi R} i$$

Usando a lei de Biot, temos para um fio finito, localizado entre os pontos z_1 e z_2 :

$$B_{fio\ finito} = \frac{\mu_0}{2\pi R} i \times \frac{1}{2} \left[\frac{z_2}{(z_2^2 + R^2)^{1/2}} - \frac{z_1}{(z_1^2 + R^2)^{1/2}} \right]$$

Ao longo de uma distância R , perpendicular ao fio, no ponto $z = 0$. O campo \vec{B} circula em torno do fio em um plano perpendicular ao mesmo.

Determinação experimental da indução magnética de um fio infinito:

Montagem

Monte o fio de teste usando haste, tripés, e garras, deixando a haste paralela à superfície da bancada, com as partes laterais apontando para baixo. Afaste a parte reta a ser medida o máximo possível da fonte, cabos de retorno, e de outros componentes do circuito para minimizar a interferência. Conecte o reostato em paralelo e nunca mova o cursor até o final, para que não haja possibilidade de curto circuito. Use agora a fonte de tensão nova, de 20 A, pois esta suporta maior corrente. A corrente neste experimento deve ser ajustada em 19,0 A, para ter um pequeno limite de segurança em relação à corrente máxima que a fonte pode entregar. Observe durante o experimento que a corrente se manteve sempre entre 18,95 A e 19,05 A. Se estiver fora da faixa, ajuste-a com o reostato, para garantir a exatidão dos resultados.

Posicionamento do sensor.

Medidas da componente perpendicular ao fio. Colocando o disco sensível do sensor Vernier paralelo à superfície da mesa, ou seja, o eixo (da ponta) do sensor em posição perpendicular à mesa, verifique que a escala do sensor está em 0,32 mT (chavinha na base do próprio sensor), e que o disco de medição do Vernier esteja na mesma altura que o fio. Antes da primeira medida, com o Vernier em posição de medida, interrompa a corrente e zere o medidor. Faça medidas, no meio do fio e no plano perpendicular a este, do campo perpendicular ao fio, colocando o centro do disco de medição do Vernier em diferentes distâncias do fio, iniciando em 1 cm, até 10 cm. Sugere-se tomar pontos de 0,5 em 0,5 cm no início, além de 4 cm os pontos podem ser espaçados de 1 em 1 cm. Tome especial cuidado nos detalhes (altura e alinhamento) com as medidas próximas ao fio. Faça as medidas dos dois lados do fio para comparar.

Medidas da componente paralela ao fio.

Posicione o eixo de medida do sensor (indicado pela setinha existente na ponta) paralelo ao fio (se quiser você pode usar o mecanismo de giro da ponta do sensor para deslocá-lo de 90° em relação à posição anterior). Antes de iniciar a medida, com o sensor em posição de medida, interrompa a corrente e zere o sensor. Desloque o sensor de perto (1 cm) para longe (11 cm) do fio, tomando valores de 2 em 2 cm, cuidando sempre de manter o paralelismo entre o eixo do sensor e a direção do fio. Sugere-se fazer esta medida em apenas um dos lados.

Material Utilizado:

Medidor de campo magnético usando sensor de efeito Hall (Modelo: Vernier)

Interface para conectar medidor ao computador

Laptop com programa Vernier instalado

Medidor de campo magnético Phywe

Bússola de precisão.

Tripé com haste e garra

Reostato 11 Ohms

Fonte de tensão 5A, 20 V. Fonte de tensão nova 20A.

Multímetro digital (um que demore para desligar sozinho ou que não desligue).

02 réguas de plástico longas 40 cm ou 60 cm.

04 Elásticos (de dinheiro)

Folhas de papel milimetrado A3

Solenóides grandes (L=30 cm, Diam 12 cm, N = 60 voltas)

Espira de corrente pequena (Diam 21 cm, N = 10 voltas).

Fio grosso formato C com conexões banana (44 cm, bitola grossa).

Bibliografia:

1. J. R. Reitz, R.J. Milford, R.W. Christy. Fundamentos da Teoria Eletromagnética. 5a Edição, Rio de Janeiro, RJ, 1989.

2. J.D. Jackson - Eletrodinâmica Clássica. 2ª Edição, Editora Guanabara Dois, 1985.

3. Halliday, D., R. Resnick and J. Walker (2006). Fundamentos de Física, Vol.2. Rio de Janeiro RJ, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Reitz, J. R., F. J. Milford and R. W. Chisty (1982). Fundamentos da Teoria Eletromagnética. 3ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, Editora Campus.

ⁱ Em pontos fora do solenoide a expressão tem que ser reescrita. Há uma troca de sinais nos cossenos.

ⁱⁱ O sensor do Vernier é muito frágil. Cuide bem dele para evitar problemas.

ⁱⁱⁱ Pela simetria do problema você pode supor que a outra metade do solenoide tem um comportamento idêntico. Se quiser, você pode fazer medidas em alguns pontos estrategicamente escolhidos nos planos x,z e y,z para checar a simetria do problema.

^{iv} Um tripé com garras pode ser usado para segurar e posicionar a régua.