

15.1 Objetivos

Neste experimento faremos a medida experimental do momento de dipolo magnético de espiras de corrente de diversos diâmetros, comparando o resultados obtidos como o valor teórico.

15.2 Determinação experimental do momento de dipolo magnético

O momento magnético de uma espira de corrente é medido quando a mesma é suspensa por uma balança de torsão dentro de um campo magnético homogêneo, produzido por bobinas de Helmholtz. A direção definida pelo campo magnético externo, escolhida arbitrariamente como o eixo \hat{x} , permite representar $\vec{B} = B\hat{i}$. Quando uma espira condutora fechada e circular, é percorrida por uma corrente I , o seu momento magnético será dado por:

$$\vec{m} = N.I.\vec{A} \quad (15.1)$$

$$|\vec{m}| = N.I.\frac{\pi d^2}{4} \quad (15.2)$$

onde \vec{A} é o vetor área da espira de corrente e N o número de espiras no mesmo anel.

A interação de \vec{B} com \vec{m} produz um torque defletor sobre a espira do tipo:

$$\vec{\tau}_{mag} = \vec{m} \times \vec{B}. \quad (15.3)$$

Este torque faz com que a fibra da balança, que suspende a espira, sofra uma torsão e como consequência, surja um torque restaurador de natureza mecânica τ_{mec} que tende a fazer com que a espira se posicione na condição de equilíbrio de torques. O sistema atinge uma posição de equilíbrio quando o torque total sobre o ímã for nulo.

Considerando que a deflexão angular seja muito pequena, dentro dos limites de elasticidade do fio, teremos o torque mecânico proporcional ao ângulo θ de torsão.

$$\tau_{mec} = -\sigma\theta, \quad (15.4)$$

onde σ é a constante elástica de torção do fio que sustenta o imã. Na condição de equilíbrio teremos:

$$\tau_{mec} = \tau_B \quad (15.5)$$

ou seja, o momento magnético pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$|\vec{m}| = \frac{\tau_{mec}}{B \operatorname{sen}\theta}. \quad (15.6)$$

Onde o valor de τ_{mec} , é medido com a balança de torção e B é função da corrente I_b que circula nas bobinas de Helmholtz, e pode ser medido com o teslâmetro.

O movimento oscilatório do sistema é descrito pelas equações:

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (15.7)$$

$$-\sigma\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}, \quad (15.8)$$

na qual I representa o momento de inércia do conjunto oscilante. Dessa maneira pode-se escrever:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\sigma}{I}\theta. \quad (15.9)$$

A solução desta equação é bem conhecida:

$$\theta = \theta_m \cos(\omega t + \theta), \quad (15.10)$$

O período de oscilação será então:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\sigma}} \quad (15.11)$$

15.3 Experimentos

15.3.1 Medida do Momento Magnético de um Imã

Nesta medida utilizaremos uma balança de torção CIDEPE, cuja constante elástica deve ser previamente medida, e posteriormente, se coloca um pequeno imã no interior de um conjunto de bobinas de Helmholtz, em uma posição que o torque mecânico anula o torque magnético. A medida do torque mecânico introduzida pelo fio de torção permite medir o momento magnético. Dessa maneira, precisamos primeiro montar o experimento para medir a constante de torção do fio σ . Na segunda montagem experimental mediremos o momento magnético \vec{m} .

Determinação da Constante de Torção

Colocando uma haste de momento de inércia conhecido, bem centrada, com momento de inércia superior ao do conjunto do conjunto fio e suporte, poderemos determinar a constante elástica. Momento de inércia da haste cilíndrica, relativa ao eixo perpendicular ao eixo do cilindro:

$$I = m \frac{L^2}{12},$$

onde m é a massa e L o seu comprimento. Dessa maneira fazendo oscilar, o conjunto e medindo o período é possível determinar a constante elástica da suspensão:

$$\sigma = \frac{4L^2 m \pi^2}{12T^2}$$

Para o cálculo do período, medir 10 oscilações completas, para obter o período médio:

Resultado: $T =$

$\sigma =$

15.3.2 Medida do Momento Magnético de um Ímã

Nesta etapa se retira a haste, utilizada para medir a constante elástica, e no seu lugar se coloca o ímã. Após essa substituição se adiciona as bobinas de Helmholtz de forma que o campo magnético do ímã seja perpendicular ao eixo das bobinas, ou seja ao campo gerado pelas mesmas. A posição inicial será determinada pela posição do feixe de luz refletido pelo espelho sobre uma escala graduada. Na Figura 15.1, abaixo, pode-se observar a posição inicial e a posição final obtida por uma corrente circulando nas bobinas, após um deslocamento Δx sobre a régua, em um função de um ângulo 2θ .

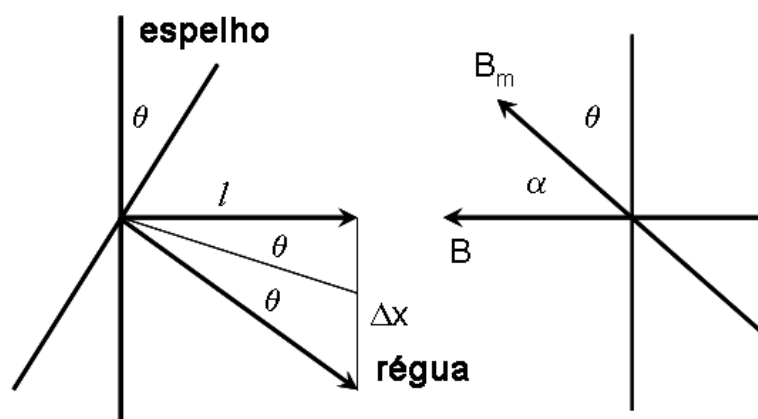


Figura 15.1: Geometria da medida do momento magnético

O torque sofrido pelo ímã, em módulo será:

$$mB \operatorname{sen} \alpha = mB \operatorname{sen}(90 - \theta) = mB \operatorname{cos} \theta.$$

Como o ângulo θ deve ser muito pequeno, a aproximação $\operatorname{cos} \theta = 1$ é válida e portanto:

$$\tau = mB$$

Como o ângulo é muito pequeno também é válido dizer que $\operatorname{tg} \theta = \theta$, portanto:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\Delta x}{l}$$

ou seja

$$\theta = \frac{\Delta x}{2l},$$

portanto o momento magnético poderá ser calculado pela expressão:

$$m = \frac{\sigma \Delta x}{2lB}$$

O valor do campo magnético, poderá ser medido diretamente com a utilização do magnetômetro, ou calculado a partir da expressão da aula anterior, para as bobinas de Helmholtz.

15.4 Materiais e Métodos

Balança de torção; bobinas de Helmholtz, com 154 espiras e $R = 40\text{cm}$; fonte de CC variável; amperímetros; teslâmetro.



Figura 15.2: Esquema da balança de torção para medida do momento magnético de um anel com N espiras

15.4.1 Determinação experimental do momento magnético de um anel de N espiras

1. O experimento será realizado conforme, está indicada a montagem na figura 15.2.
2. A corrente das bobinas não deve ultrapassar $3A$.
3. O ponto zero da balança de torção deve ser testado a cada medida, pois pequenos movimentos podem modificar a medida.
4. Os torques medidos em função da corrente I_b nas bobinas de Helmholtz podem se tornar muito pequenos, portanto se recomenda nesta parte do experimento utilizar somente a bobina de 3 espiras, com a corrente de $5A$. Nesse caso a medida deve ser realizada com brevidade para evitar que o condutor sofra aquecimento demasiado.
5. Faça as seguintes medidas: $\tau = f(I)$; $\tau = f(N)$; $\tau = f(\text{sen}(\theta))$; $\tau = f(I_b)$; $\tau = f(B)$

Todos os gráficos obtidos, poderão ser ajustados graficamente a uma função do tipo:

$$Y = C.X^B, \quad (15.12)$$

Gráfico	Expoente (B)	coeficiente C	Desvio padrão
$\tau(I_b)$			
$\tau(B)$			
$\tau(N)$			
$\tau(\text{sen}(\theta))$			
$\tau(I)$			
$\tau(d)$			

Tabela 15.1: Verificação do ajuste dos valores de torque medidos

onde C e B , são constantes fornecidas pelo aplicativo que ajustou os valores (Origin). Construa uma tabela como a abaixo para apresentar os valores obtidos.

15.5 Relatório

1. Apresente os resultados obtidos em aula em forma de tabela e calcule o erro da sua medida.
2. Defina o momento de dipolo magnético dos anéis utilizados
3. Faça um esquema das forças que atua sobre as espiras utilizando as direções reais e calcule a direção do torque em coordenadas cartesianas.
4. Obtenha os valores experimentais do \vec{m} , para cada anel.
5. Depois de comparar o valores do momento dipolar magnético, teórico e experimental discuta as possíveis fontes de erros.

15.6 Bibliografia

HALLIDAY D., RESNICK R., MERRILL J., Fundamentos de Física 3, LTC ed. 4a. ed.(1999).