UERJ

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE FÍSICA ARMANDO DIAS TAVARES

Alunos:

Matheus Ramos de Souza
Raphael Marcelo Costa de Lima

Ressonância do Spin do Elétron

Rio de Janeiro - 2024

Sumário

Introdução

O momento magnético e momento angular do spin

$\overrightarrow{\mu_s} = -g_s \mu_B \frac{\vec{s}}{\hbar}$ (1)

- g_s é o fator de Landé
- μ_g é o magneton de bohr (uma constante $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$)
- $\vec{s}$ é o momento angular do spin

temos também que, pela quantização do momento angular do spin:

$\overrightarrow{S_z} = m_s \hbar$

$m_s = \frac{\overrightarrow{S_z}}{\hbar}$ (2)

onde o número quântico magnético m_s só pode assumir os valores $\pm\frac{1}{2}$

substituindo (2) em (1):

$\overrightarrow{\mu_s} = g_s \mu_B m_s$

sabendo que quando um campo magnético externo é aplicado, a energia associada com o momento é:

$E = -\overrightarrow{\mu_s}.\vec{B}$

devido a quantização do spin, sabemos que só podemos ter 2 estados de energia:

1. o menor estado de energia $m_s = +\frac{1}{2}$

$E_{min} = -\frac{g_s \mu_b B}{2}$

2. o maior estado de energia $m_s = -\frac{1}{2}$

$E_{max} = \frac{g_s \mu_b B}{2}$

logo, quando o eletron for do menor estado de energia para o maior estado de energia

$\Delta E = g_s \mu_b B$

quando ocorre a transição entre 2 níveis de energia, sabemos que o sistema deve obrigatoriamente absorver ou emitir um fóton, então:

$hv = g_s \mu_b B$

onde podemos isolar o v para chegar na fórmula presente no roteiro do experimento:

$$v = \frac{g_s \mu_b B}{h}$$

Efeito do campo magnético no momento ângular

O campo magnético não afeta na magnetude do spin do momento angular (já que ele não faz parte da fórmula...), mas ele influencia a orientação de $\vec{s}$ em relação a direção do campo - o que queremos afimar com isso:

$E = -\vec{\mu}.\vec{B}$

abrindo o produto escalar:

$E = -|\mu|.|B|cos\theta$

na ausencia de B, é impossível determinar a direção θ, agora com B...

1. $m_s = -\frac{1}{2}$ o ângulo θ será 0
2. por consequência $m_s = +\frac{1}{2}$ o ângulo θ será 180

então sabemos que só poderemos ter esses 2 estados do elétron quando está sob efeito de um campo magnético.

Voltar ao sumário

Objetivos

Fator de Landé

Dada a introdução, sabemos que quando há um campo magnético, podemos observar a seguinte fórmula:

$$v = \frac{g_s \mu_b \vec{B}}{h}$$

h é a constante de planck = $6.626 \times 10^{-34} J.s$

μ_b é o magneton de Bohr $= 9.274 \times 10^{-24}$

então, temos como objetivo calcular g_s, a partir de dados coletados, desta maneira teremos como observar os 2 estados mostrados na introdução sobre o spin do elétron.

o fator de Landé g_s = 2 é o fator para o elétron.

Dados necessários

com isso em mente montados um experimento que conseguimos ter a frequência e a corrente que foi passada nas bobinas. Assim podemos calcular o campo magnético, que é dado por:

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{\sqrt{125}R}$$

onde temos:

R = 6.8×10^{-2} m
N = 320, número de espiras na bubina, adimensional.
I = corrente, será coletada pelo multimetro
μ_0 é uma constante conhecida, permissividade do vácuo, dada por: $1.256 \times 10^{-6} N/A$

assim, podemos tentar encontrar g_s

Voltar ao sumário

Procedimento Experimental

Materiais utilizados

Lista dos materiais utilizados:

- 1 multímetro MINPA ET2042C
- 4 cabos (para ligar os componentes)
- gerador de rádio-frequência
- osciloscópio
- 2 bobinas de Helmholtz

Figura M1 Base com as bobinas

Figura M2 Multimetro

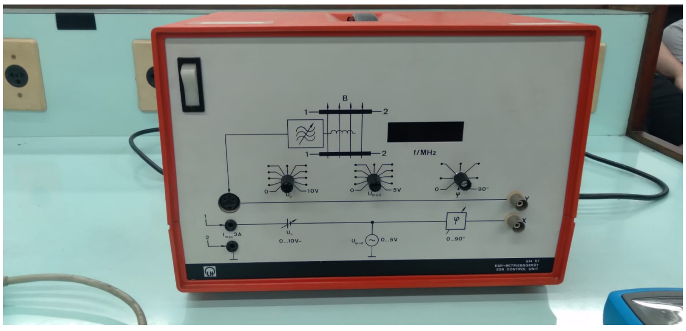

Figura M3: Base de Radio frequência

conectamos os 4 cabos com o multímetro (que será utilizado para medir a corrente entre a unidade de controle e as bobinas) e o gerador de radio-frequência.

precisamos que as bobinas fiquem paralelas, com a sonda de amostra aproximadamente na região central entre as duas, e que a distância entre as 2 bobinas deve ser aproximadamente o seu raio.

Conectando a base de radio frequência, com a unidade de sonda e com o osciloscópio, podemos observar no osciloscópio:

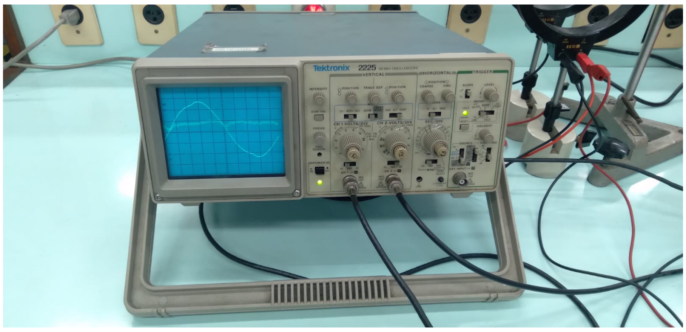

Figura M4: Osciloscópio

seguindo o passo a passo ofereceido pelo roteiro, montamos o experimento e fizemos as 10 medidas:

I (A)	MHz	I_err (A)	B (T)
0.58	30	0.0616	0.00245298
0.63	33	0.0626	0.00266444
0.71	36	0.0642	0.00300278
0.79	39	0.0658	0.00334113
0.88	42	0.0676	0.00372176
0.92	45	0.0684	0.00389093
1	48	0.07	0.00422927
1.06	51	0.0712	0.00448303
1.11	54	0.0722	0.00469449
1.17	57	0.0734	0.00494825
1.25	60	0.075	0.00528659

com as suas respectivas unidades. Não foi pego o erro possível da frequencia, porém temos o erro do multímetro: 2% + 5D.

B foi calculado a partir da fórmula disponível na parte de **objetivos**

Voltar ao sumário

Análise de dados

Gráfico representando os dados que coletamos

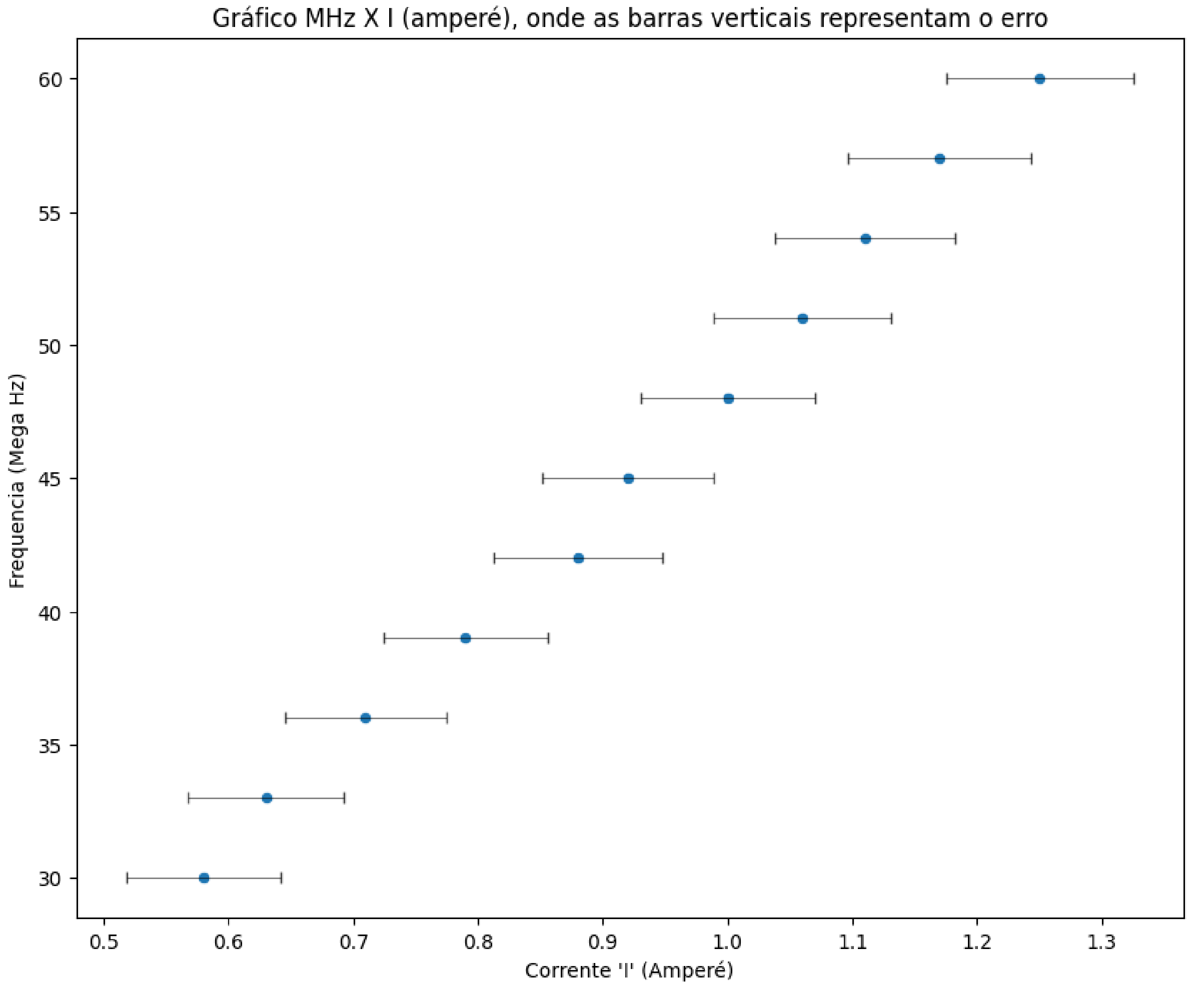

Figura 2: Visualização dos dados coletados Fonte: Autores

Podemos fazer o método de mínimos quadrados entre B e MHz de tal maneira que:

$$v = \frac{g_s \mu_b \vec{B}}{h}$$

será:

$$y = \frac{g_s \mu_b}{h} x$$

e na nossa regressão linear será:

$$y = ax$$

onde:

$$a = \frac{g_s \mu_b}{h}$$

note que vamos fazer o mínimos quadrados com Hz e não MHz.

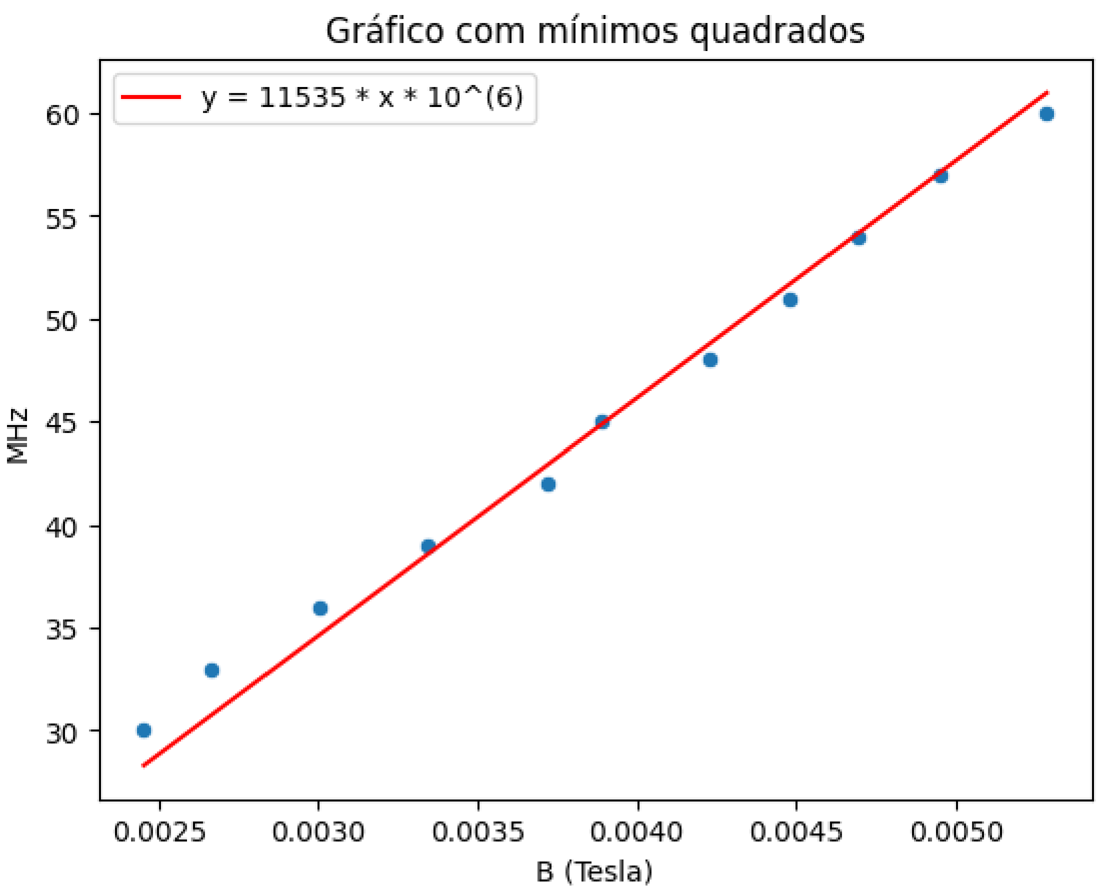

Figura 3: Gráfico com mínimos quadrados. fonte: Autores.

Encontrando Gs do experimento

com o nosso valor de a (coeficiente angular), podemos encontrar g_s experimental:

a = 11535318040

sabemos que multiplicarmos esse valor pela constante de planck e dividir por μ_0, teremos:

$g_s = 0.824$ (approx)

Incerteza do coeficiente angular utilizando monte carlo

para calcular o erro que essa regressão contém, podemos fazer simulação de monte-carlo para estimar incertezas:

o código abaixo pode ser encontrado neste link

```
a_values = []
for _ in range(1000):
    x_synthetic = df['I'].values + np.random.normal(0, df['I_err'])
    x_synthetic = u0 * N * x_synthetic * (4/5) ** (3/2)/R

    X = x_synthetic.reshape(-1, 1)
    Y = df['MHz'].values.reshape(-1, 1) * 1e6

    model = LinearRegression(fit_intercept=False)
```

```
    model.fit(X, Y)

    a_values.append(model.coef_[0][0])

a_mean = np.mean(a_values)
a_std = np.std(a_values)
```

na simulação, encontramos que:

$g_s = 0.824 + -0.017$

sabendo que o valor teórico é 2, o nosso dado está bem fora do esperado.

compatibilidade

Então vamos calcular a compatibilidade:

$|0.824 - 2|/0.017 < 2*$ erro menor que 2 desvios padrões

$70 < 2$

o que é bem distante de 2.

Voltar ao sumário

Conclusão

o valor que encontramos é incompatível com o valor esperado. Podemos levantar alguns pontos para isso, como a dificuldade para ficar reajustando o experimento conforme o aumento da frequência, por conta da instabilidade do sinal.

Interferências externas podem ter atrapalhado também no campo magnético.

Voltar ao sumário