

Pré-Prática

Ressonância Paramagnética Eletrônica

Edmur C. Neto - 12558492
Rafael F. Gigante - 12610500

Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo

20/03/2024

INTRODUÇÃO

- Descoberto pelo físico soviético Yevgeny Zavoisky;
- Estuda a interação entre radiação e matéria em materiais paramagnéticos na presença de um campo externo;
- Exemplo: Substâncias com elétrons desemparelhados.

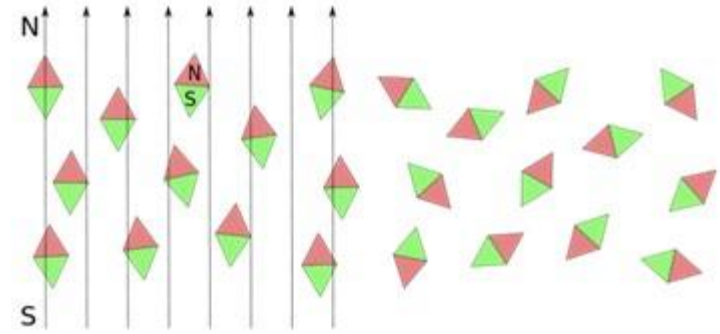


Figura 1: Ilustração de um material paramagnético

INTRODUÇÃO

- Momento Magnético associado ao Momento Angular Total $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$

$$\vec{\mu} = -g_j \frac{\mu_b}{\hbar} \vec{J} \quad , \text{ sendo } g_j \text{ o fator giromagnético e } \mu_b = \frac{\hbar e}{2m_e}$$

o magneton de Bohr

- Ao aplicar um campo externo \vec{B}_0 , observamos a energia $E = -\vec{\mu}_j \cdot \vec{B}_0$, portanto, $E = g_j \mu_b B_0 m_j$, com $m_j = -j, -j + 1, \dots, j - 1, j$



INTRODUÇÃO

- Para um elétron desemparelhado ($m_j = \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$) temos:

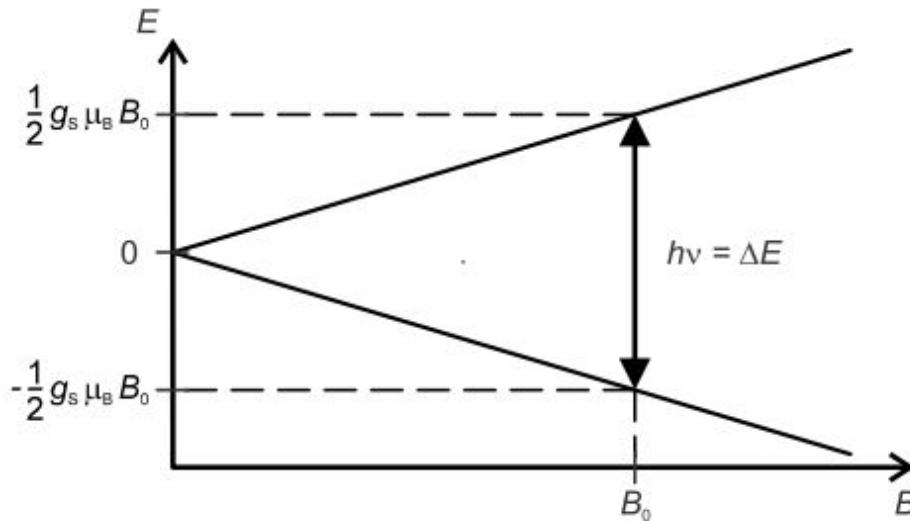


Figura 2: Ilustração do Efeito Zeeman

Aplicamos um campo \vec{B}_1 alternado perpendicular a \vec{B}_0

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_{HF} \cdot \text{sen}(2\pi\nu t)$$

Se satisfizer as regras de seleção:

$$\Delta m_j = \pm 1$$

e

$$h\nu = \Delta E = g_j \mu_b B_0$$

Temos a ressonância do sistema.



INTRODUÇÃO

- Estudo da largura à meia altura δB_0

Princípio da Incerteza: $\delta E \cdot T \geq \frac{\hbar}{2}$

$$\delta E = g \mu_b \delta B_0 \Rightarrow \delta B_0 = \frac{\hbar}{2 g_j \mu_b T}$$

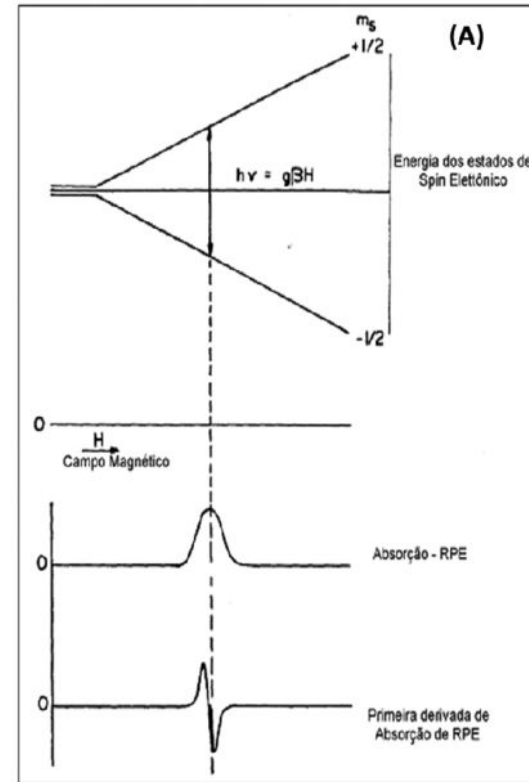


Figura 3: Representação da absorção em função do campo magnético homogêneo

OBJETIVOS

- Ressonância Paramagnética Eletrônica em DPPH:
 1. Determinar o campo magnético de ressonância B_0 em função da frequência de ressonância ν ;
 2. Determinar o fator g da molécula de DPPH;
 3. Determinar a largura à meia altura δB_0 do sinal ressonante.

Experimento

➤ Equipamento a ser utilizado:

1. Unidade controle ESR;
2. Unidade básica ESR;
3. Par de bobinas de Helmholtz;
4. Osciloscópio;
5. Amperímetro;
6. Amostra da molécula DPPH;
7. Pequenas bobinas de diversas configurações de espiras.



Experimento

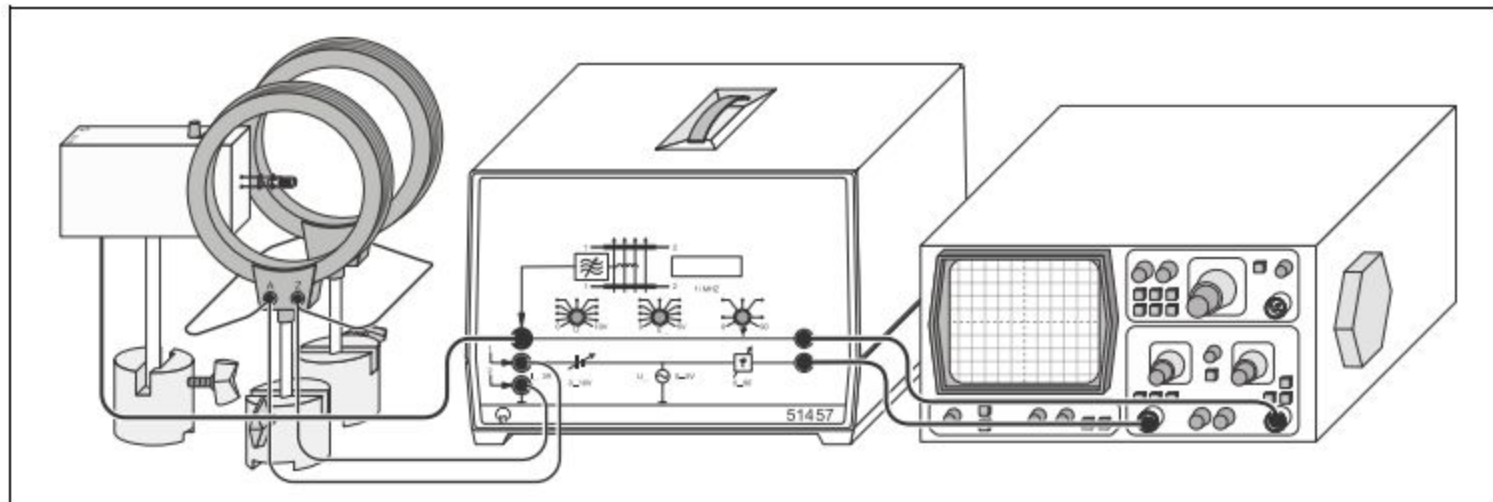
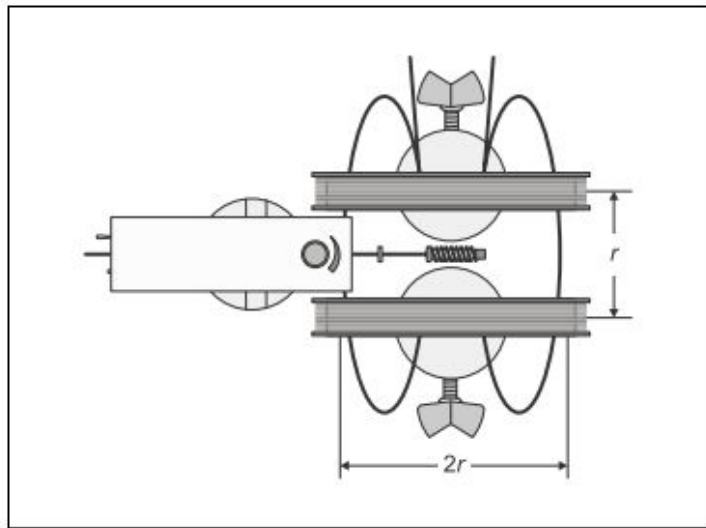
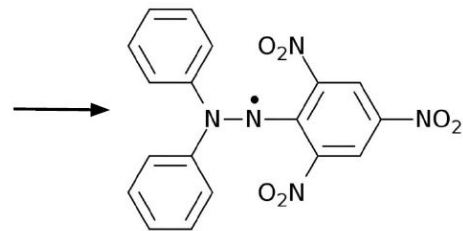


Figura 4: Esquema do experimento 1

Experimento



(a)



(b)



(c)

Figura 5: (a) Esquema do experimento 1, (b) Amostra de DPPH utilizada e (c) Bobinas para a corrente alternada.

Experimento

- Ajuste do aparato experimental:
 - Definir a frequência de ressonância como $\nu = 15 \text{ MHz}$;
 - Ajustar as escalas temporais e de amplitude do osciloscópio;
 - Modificar o campo gerado pelas bobinas de Helmholtz até que os sinais de ressonância fiquem igualmente espaçados.

- Ajuste da mudança de fase:
 - Mudar o osciloscópio para o modo XY e visualizar o padrão;
 - Haverá uma diferença de fase entre o campo da bobina da bobina e o campo modulado;
 - Ajustar a fase na unidade de controle até que os sinais de ressonância coincidam.

Experimento

- Determinando o campo de ressonância:
 - Ajustar o campo na unidade de controle até que o sinal de ressonância fique simétrico;
 - Medir a corrente que está passando pelas bobinas de Helmholtz junto com a frequência de ressonância ν ;
 - Incrementar a frequência de ressonância em 5 MHz e repetir o processo até 135 MHz.



Experimento

- Determinando a largura à meia altura do campo:
 - Ajustar a condição de ressonância para $\nu = 50\text{MHz}$;
 - Expandir o sinal de ressonância na direção X até que ocupe toda a tela do osciloscópio variando a tensão modulada;
 - Medir o valor RMS da corrente modulada;
 - Medir a largura à meia altura do sinal de ressonância no osciloscópio.



Resultados Esperados

- Visualização do estado de ressonância no osciloscópio

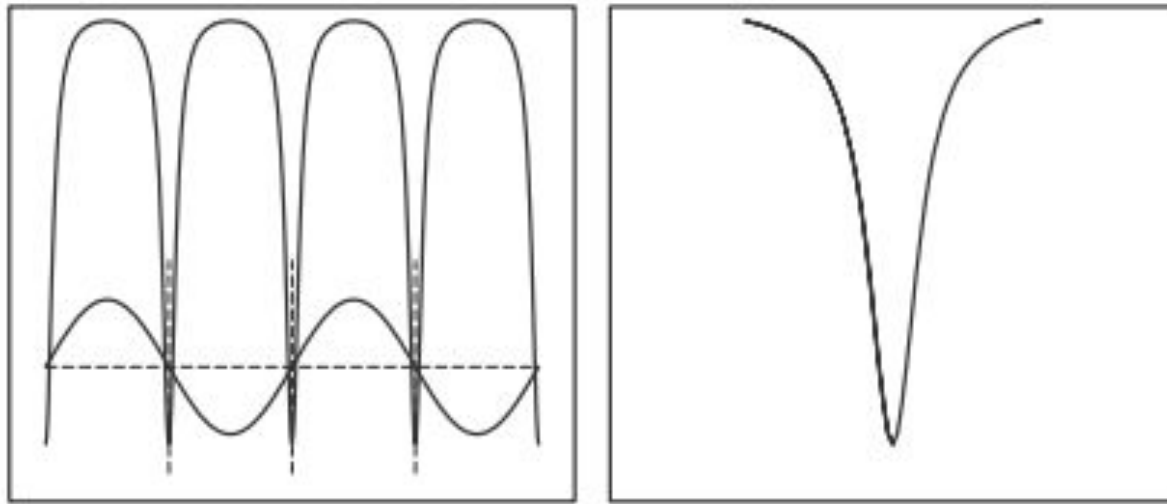


Figura 6: Visualização no osciloscópio da tensão no indutor e da varredura do campo magnético homogêneo

Resultados Esperados

- Determinando a relação entre ν e B_0 ;
- Determinação do fator g da amostra.

Sabendo $\nu = B_0 \frac{g_j \mu_b}{h} \Rightarrow g_j = \frac{\alpha h}{\mu_b}$

sendo α o coeficiente angular.

$$g_j = g_s \approx 2.0023.$$

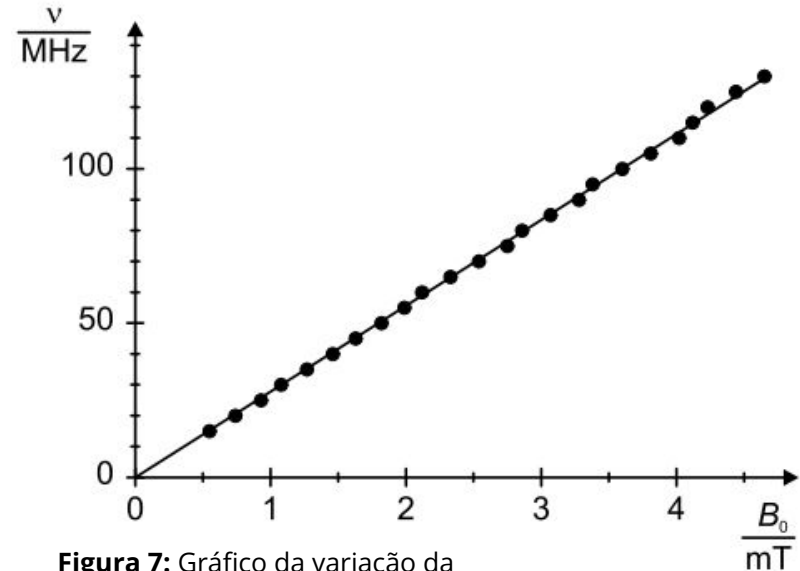


Figura 7: Gráfico da variação da frequência de ressonância em função do campo magnético do par de bobinas Helmholtz

Resultados Esperados

- Cálculo da largura à meia altura δB_0

Campo de um par de bobina de Helmholtz: $B = \mu_0 \left[\frac{4}{5} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I$

$$\Rightarrow \delta B_0 = \mu_0 \left[\frac{4}{5} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} \delta I$$

Sendo $\delta I = \frac{\delta U}{U_{mod}} I_{mod}$

$$\delta B_0 \text{ (DPPH)} = 0.15\text{--}0.81 \text{ mT}$$

OBJETIVOS

- Absorção de ressonância de um circuito oscilador de RF (radio frequency) passivo:
 1. Medir a tensão U_1 na bobina do circuito oscilador de RF em função da frequência com acoplamento indutivo para um circuito oscilador passivo;
 2. Medir a tensão U_2 na bobina do circuito oscilador passivo em função da frequência.

Experimento

➤ Equipamento a ser utilizado:

1. Unidade controle ESR;
2. Unidade básica ESR;
3. Osciloscópio;
4. Amperímetro;
5. Amostra da molécula DPPH;
6. Pequenas bobinas de diversas configurações de espiras.

Experimento

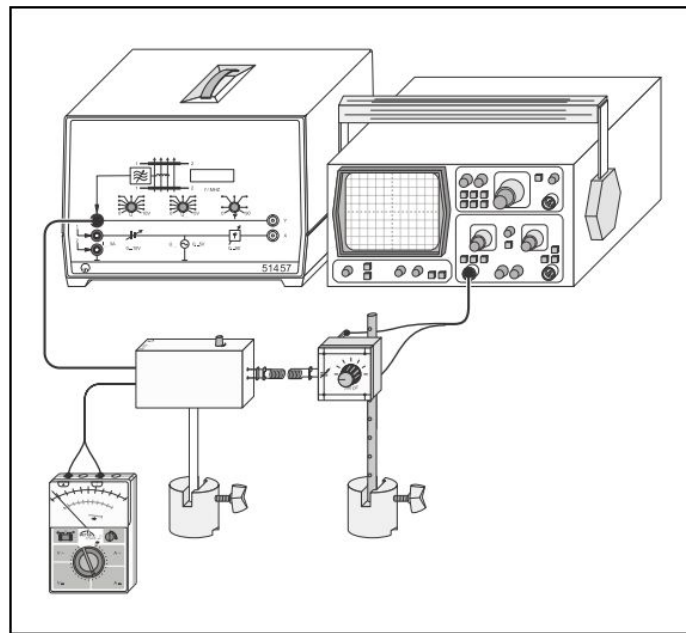


Figura 8: Esquema do experimento 2

Experimento

- Realização do experimento:
 - Definir a escala 3/6 no capacitor variável no circuito oscilador passivo;
 - Definir a frequência mínima na Unidade de ESR;
 - Medir a frequência ν na Unidade de Controle, a voltagem U_2 da bobina passiva no osciloscópio e a voltagem U_1 da bobina RF;
 - Aumentar a frequência e repetir as medidas;
 - Refazer as medidas com as escalas 2/6 e 1/6 no capacitor variável.

Resultados Esperados

- Determinando a relação entre as tensões U_1 e U_2 dos circuitos com a frequência.

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_2 C_2}}$$

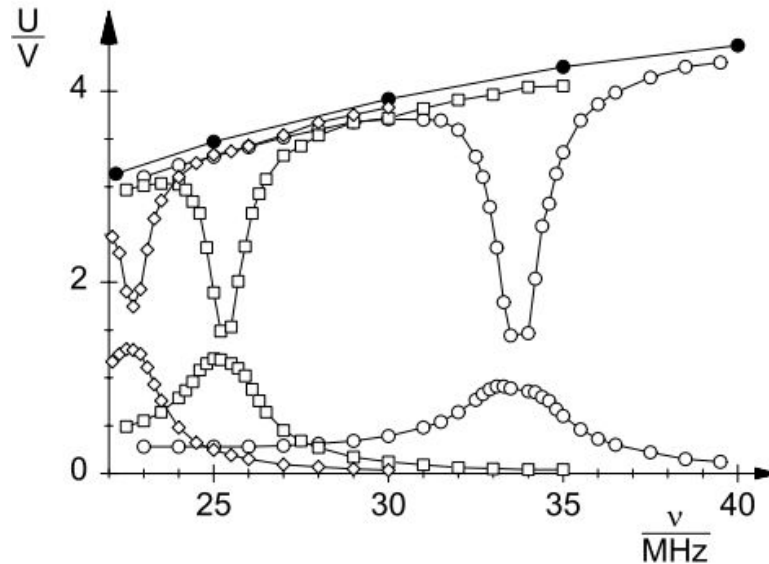


Figura 9: Gráfico da variação da tensão dos circuitos 1 e 2 em função da frequência.