



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

Faculdade de Ciências  
Departamento de Física

LABORATÓRIO DE ESPECTROSCOPIA

## Aula Laboratorial 02: Ressonância do Spin do Electrão

---

### 1 Introdução

A molécula de **2,2-Difenil-1-picrilhidrazil** é uma molécula orgânica caracterizada por possuir um único electrão desemparelhado (radical livre). Esta característica torna o factor-g desta molécula muito próximo ao de um electrão livre (Preston & Dietz, 1991). O momento magnético orbital de radicais livres é nulo, tanto que, o momento magnético total é somente dado pelo seu spin.

O factor-g é uma quantidade adimensional que caracteriza o momento magnético e o momento angular orbital de um átomo ou núcleo. Este desceve os desvios ou degenerações de momentos magnéticos de núcleos ao interagirem com campos electromagnéticos. Por exemplo, teoricamente o valor do factor-g será igual a:

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (1)$$

Onde; J, L e S, são os valores dos números quânticos do momento angular total, momento angular orbital do electrão e momento angular de spin, respectivamente.

A soma dos valores dos números quânticos por 1 na equação 1, representa a degeneração dos estados quânticos e surge quando o átomo ou núcleo é submetido a um campo magnético externo que interage apenas com o momento magnético orbital.

O momento magnético total de um sistema atómico, responsável pela interação com os campos electromagnéticos da radiação é a contribuição dos momentos magnéticos orbital e de spin. Tal que, pode-se expressar:

$$\vec{\mu}_J = \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_s \quad (2a)$$

$$\vec{\mu}_J = -\frac{\mu_0}{\hbar}(\vec{L} + g\vec{S}) \quad (2b)$$

Onde,  $\mu_0 = 9.2741 \times 10^{-24} \frac{J}{T}$  é o magnetão de Bohr,  $\vec{L}$  e  $\vec{S}$  os momentos angulares orbital e de spin, respectivamente.

Quando um campo externo de radiação interage com o momento magnético, os níveis de energia do átomo são divididos em subníveis de energia equidistantes (**Efeito Zeeman**). Neste caso, a variação de energia entre os estados quânticos do sistema atómico é dado pela equação;

$$\Delta E = -\Delta \vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad (3)$$

Para um sistema de um único electrão livre, o momento magnético orbital é nulo. Logo, o momento magnético total só terá a contribuição do spin. Então, a solução da equação 3 será;

$$\Delta E = -\mu_0 \cdot g \cdot B \cdot \Delta m_s \quad (4)$$

As transições energéticas serão resultado da aplicação de uma onda electromagnética de frequência própria  $\nu$ . Tal que, experimentalmente, o fenómeno de ressonância ocorrerá quando a energia absorvida ou emitida pelo átomo for igual a energia do efeito zeeman. Tal que, para um electrão,  $m_s = \frac{1}{2}$ , a variação dos valores dos números quânticos magnéticos de spin correspondente aos estados de spin será igual a  $-1$  no caso de uma absorção. Logo;

$$g = \frac{h\nu}{\mu_0 \cdot B} = \frac{2\pi\hbar\gamma}{\mu_0} \quad (5)$$

Onde,  $\gamma$  é a razão giromagnética da partícula, cuja unidade é  $MHzT^{-1}$ .

As bobinas de Helmholtz do Ressonador não são puramente geométricas, tal que, a medição real do campo magnético das duas bobinas, poderá ser dada pela seguinte equação.

$$B = 4.07 \times 10^{-3} \cdot I_r \quad (6)$$

Onde;  $I_r$  é a corrente eléctrica de ressonância.

## 2 Objectivos

- Investigar a razão giromagnética de um electrão electrão isolado;
- Calcular o poder de resolução de um sinal espectral.

## 3 Metodologia

### 3.1 Utilização dos controlos

- Certifique-se que na fonte de tensão, os controlos de DC subscrito com “V”, está na posição 0, e a corrente correspondente, subscrito “A”, está sincronizado 5 A. Para o controlo de AC deverá ser seleccionado para 2 V;
- Identifique na fonte do ressonador os controlos na figura abaixo;

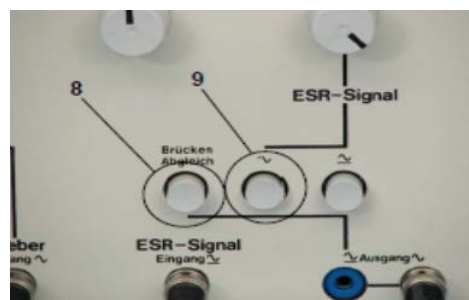


Figura 1: Controlos do sinal RSE

- Active o botão número 8 “Brucken Abgleich” na fonte do RSE.
- No ressonador RSE, o botão rotator “R” deve estar na sua posição média e o “ C” deve ser girado até ao seu limite esquerdo;
- Ajuste a fase na sua posição média;
- Ajuste a amplitude até o seu limite máximo (à sua direita);
- Ajuste o “ Nullpunkt “ (ponto zero) para sua posição média (zero);

- Identifique no osciloscópio os controlos na figura 2;

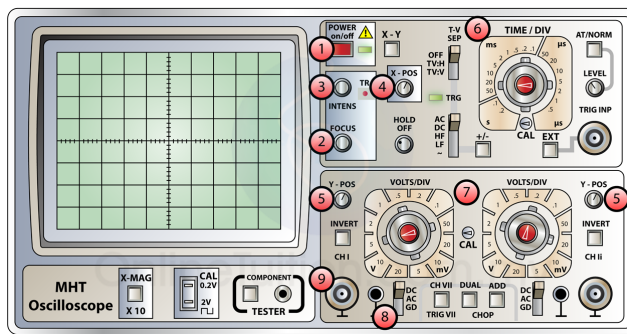


Figura 2: Controles do sinal RSE

- Selecione o modo X-Y no osciloscópio usando o controlo (6) TIME/DIV;
- Selecione o modo ‘GND’ para o canal X e modo D.C para o canal Y, usando o controlo (8);
- Selecione na posição vertical: modo Y o “ ADD”, usando o controlo (8);
- No monitor do osciloscópio, deverá visualizar um ponto luminoso;
- Use os controlos de “posição” para centralizar o ponto luminoso exactamente na origem do sistema de coordenadas.

### 3.1.1 Determinação da razão giromagnética

- Ajuste a tensão contínua até obter 1.30 A no multímetro digital;
- Prime o controle 9 na fonte do RSE (com sinal singular de corrente alternada) e seleccione o modo D.C o canal “ X ” no osciloscópio, o canal “ Y ”contínua na posição D.C;
- Com muito cuidado, gire o rotator “ C ” no ressonador RSE para direita até que apareça no monitor do osciloscópio um sinal luminoso horizontal (poder ser útil variar os canais “ X ” e “ Y ” para 0.5 Volt/div para obter um sinal forte);
- Caso necessário, poderá ajustar a tensão/div para o canal 1: X na posição 0.5 Volt/div e para o canal 2: Y na posição 20 mVolt/div;

- Assim que o sinal desejável é exibido no monitor do osciloscópio, ajuste a “ Fase ” na fonte do RSE, para que as linhas do sinal obtido fiquem sobrepostas (estejam em fase).
- Ajuste o rotator “ C ” do ressonador RSE até que seja exibido uma figura (veja a figura 3) quase simétrica (tente ajustar o sinal o mais simétrico possível);

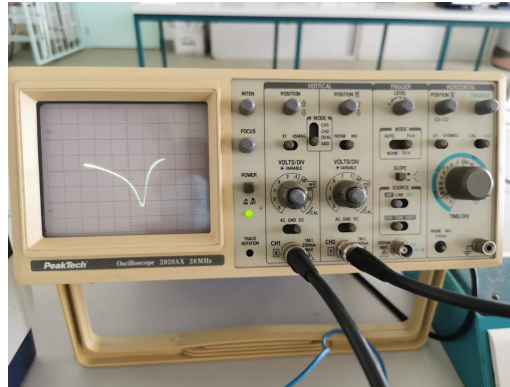


Figura 3: Sinal de RSE

6. Seleccione a posição “ INV” que possibilita inverter o sinal, de forma a obter uma figura gráfica com um mínimo. Baixando a tensão contínua na fonte universal, o mínimo da figura deverá ser colocado exactamente sobre o eixo Y no monitor do osciloscópio (use novamente o “ C ” para obter uma figura mais simétrica);
- Anote o valor da corrente  $I_r$  (corrente de ressonância), que agora flui e exibida no multímetro.

### 3.1.2 Determinação do poder de resolução do sinal de RSE

- Com ajuda do rotator de “ Posição” no osciloscópio, move o sinal, de tal modo que, o eixo das abcissas esteja exactamente à meia altura do sinal;
- Conte as divisões na escala a partir do ponto zero até as posições onde o sinal e eixo das abcissas se intersectam;
- Identifique a distância entre os dois pontos de intersecção do sinal com o eixo das abcissas e anote teus resultados;
- Observe a figura 4 A, desconecte a tensão alternada e conecte directamente o ressonador à corrente contínua, isto é, remove-se o fio de ligação vermelho, que está ligado à entrada da

tensão contínua com uma entrada de tensão alternada e conecta-se o fio azul do ressonador a nova entrada livre de tensão contínua;

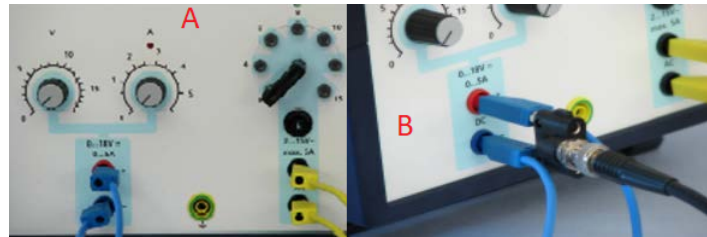


Figura 4: Configuração do sinal

- Remova o cabo BNC da fonte universal do RSE que está ligado ao canal “ X ” do osciloscópio e conecte-o ao adaptador assim como mostra a figura 4 B e conecte o adaptador às entradas da tensão contínua;
- Varie a tensão contínua assim que um ponto luminoso apareça no osciloscópio;
- Poderá mudar a posição do ponto usando o rotator “ Posição” até estar no eixo das abcissas;
- Variando a tensão contínua na fonte universal, mova o ponto luminoso para uma das posições dos pontos de intersecção do sinal com o eixo das abcissas identificados no terceiro procedimento;
- Anote a corrente exibida no multímetro digital;
- Agora move o ponto para a segunda posição e repita o procedimento anterior.

#### 4. Tarefas:

1. Determine a razão giromagnética e explique qual é o significado físico do seu valor;
2. Determine o poder de resolução do sinal de RSE;
3. Elabore um relatório (no máximo 5 páginas, com introdução, metodologia, resultados e sua discussão e conclusão) desta actividade e entregar dentro de 7 dias depois da realização respectiva aula laboratorial.

## **5. Bibliografia recomendada**

1. Phywe “Physical Laboratory Experiments”, 4th Edition PHYWE systeme GmbH & Co. KG, Federal Republic of Germany, 2008.