

PRACTICA DE LABORATORIO III-7

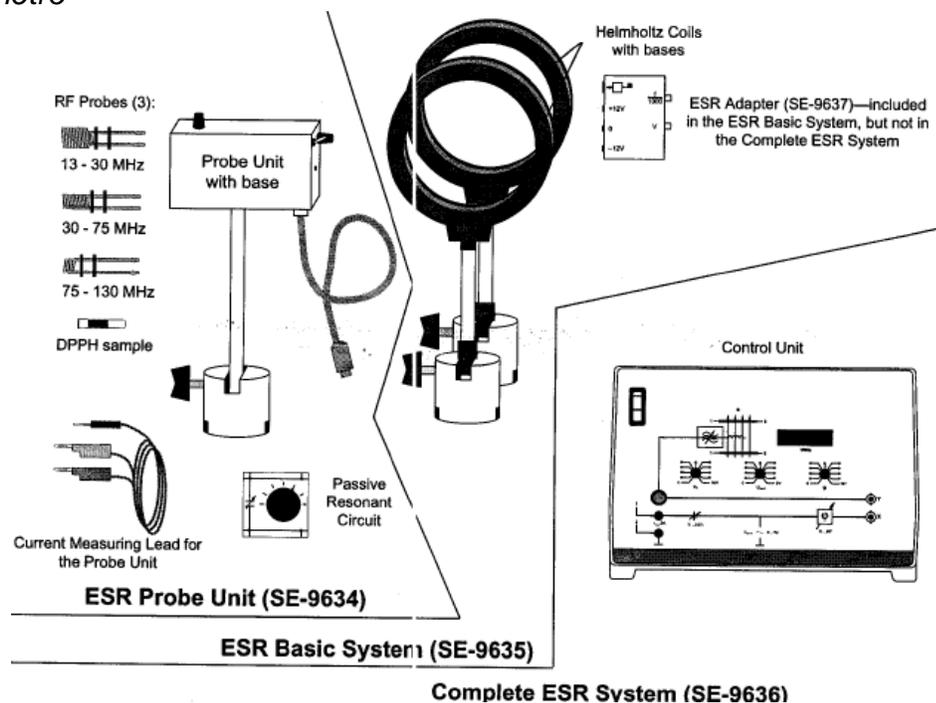
Resonancia Paramagnética Electrónica

OBJETIVO

1. Observar la linealidad del efecto Zeeman.
2. Medición del factor giro magnético del electrón (usando varios métodos de calibración).
3. Utilizar un circuito pasivo L-C para estudiar el fenómeno de resonancia.

MATERIALES

- Bobinas del Helmholtz.
- Unidad de control de la corriente a las bobinas (DC y AC) y monitor de la sonda.
- Sonda (generador de alta frecuencia), con tres bobinas de prueba: (1) 13 – 30 Mhz, (2) 30-75 Mhz y (3) 75 a 130 MHz.
- Circuito resonante pasivo.
- Muestra de DPPH (Diphenyl-Picryl-Hidrazyl)
- Teslámetro



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El paramagnetismo es el fenómeno que comprende la susceptibilidad de un material a la acción de un campo magnético sobre él. En nuestro caso plantearemos un modelo cuántico del fenómeno para electrones libres o casi libres que pueden encontrarse en algunos compuestos. En esta práctica usaremos el DPPH (*Diphenyl-Picryl-Hidrazyl*) que posee un electrón de valencia.

El momento magnético del electrón $\vec{\mu}_s$ puede ser escrito en función del spin \vec{S} de la siguiente forma:

$$\vec{\mu}_s = \frac{g_s \mu_b}{\hbar} \vec{S}$$

Donde μ_b es el magnetón de Bohr, g_s el radio giromagnético electrónico y \hbar la constante de Planck. g_s el factor o radio giro magnético, es una parte esencial de la constante de acoplamiento entre el momento magnético del electrón (spin) y su momentum angular (L), ambas contribuciones del momento magnético total.

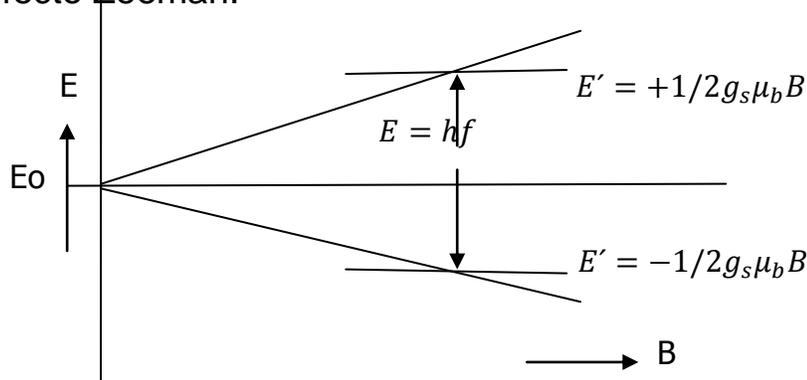
Si se considera la dirección del campo magnético estático como la dirección z y el hecho de que la componente z del spin está cuantizada, se puede escribir la componente z del momento magnético como:

$$\mu_z = \pm \frac{1}{2} g_s \mu_b$$

La energía de este momento magnético bajo la acción de un campo magnético paralelo a z es:

$$E = E_0 \pm \frac{1}{2} g_s \mu_b B$$

Donde E_0 es la energía del electrón en ausencia del campo magnético y B es la magnitud del campo magnético aplicado. La siguiente figura ilustra la energía del electrón y su relación lineal con el campo B, lo que se conoce como el efecto Zeeman.



Si calculamos la diferencia entre niveles energéticos, obtenemos la siguiente expresión:

$$\Delta E = g_s \mu_b B$$

Si igualamos esta energía a la de un fotón emitido al ocurrir una transición entre los dos estados energéticos, tenemos que (la condición de resonancia):

$$hf = g_s \mu_b B$$

La expresión anterior se puede usar experimentalmente para determinar el radio giromagnético del electrón cuyo valor es igual a 2 para $S=1/2$ y $L=0$.

ACTIVIDADES PRELIMINARES

- 1.-Explique el concepto de paramagnetismo.
- 2.-Calcule la frecuencia de la radiación necesaria para producir el efecto que se va a medir.
- 3.-¿ Para qué se usa el campo variable en este experimento?.
- 4.-¿Como se determina el campo magnético correspondiente a la resonancia?.
- 5.-Utilize la ecuación de Helmholtz para estimar los valores de corriente necesarios en el experimento.

La señal superior muestra el campo magnético que varía con el tiempo. En la señal inferior se observa los picos de resonancia para una frecuencia f , R_{t1} y R_{t2} . Dichos picos ocurren en 2 tiempos t_1 y t_2 para los cuales el campo B (en la traza superior) cumple con la condición de resonancia.

La clave del experimento es determinar con la mayor precisión posible, el campo $B_{t1} = B_{t2}$.

Medición del campo magnético

Precaución 1: En la siguiente discusión se sugiere el uso de la Fórmula Helmholtz para la determinación del campo a partir de la corriente I . Usted debe verificar experimentalmente, con el teslámetro, la validez de esta hipótesis.

Precaución 2: Se debe hacer el mejor esfuerzo de colocar la muestra apropiadamente en el centro del conjunto de bobinas de manera de poder aplicar los conceptos que se desarrollan en esta práctica, evitando errores sistemáticos.

La señal en el osciloscopio es una señal de voltaje proporcional al campo aplicado por las bobinas de Helmholtz, usted debe calibrar esa señal para poder determinar el valor del campo.

Calibrar significa, encontrar una relación cuantitativa entre un valor de voltaje V_B y el valor correspondiente de campo magnético aplicado B . En otras palabras, usted debe conseguir una constante K_{BV} tal que

$$B = K_{BV} [\text{Tesla/Volt}] * V_B [\text{Volt}].$$

En el apéndice usted puede conseguir varias opciones para realizar la calibración. Seguidamente se sugiere una forma directa a la cual llamamos opción 1.

Opción 1 (Medir directamente el campo aplicado con el teslámetro)

Primero usted puede medir directamente K_{BV} [Tesla/Volt] utilizando el teslámetro disponible en el laboratorio. Utilice varios valores **constantes** del campo magnético B^i y registre los correspondientes valores V_B^i que se muestran en el osciloscopio. Use un ajuste lineal para determinar K_{BV} del gráfico B^i vs. V_B^i . **Tome en cuenta que la calidad y cuidado de su medición repercutirá directamente en la exactitud de su calibración**

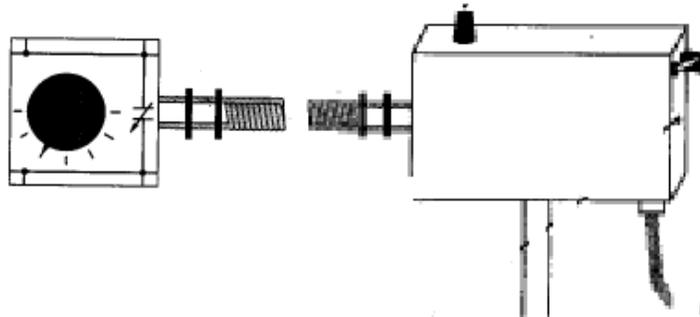
Medición del efecto Zeeman.

1. Realice una medición previa para UNA frecuencia y determine el campo magnético correspondiente. Verifique y haga los ajustes necesarios en función de esta medición.
2. Realice varias mediciones de la frecuencia f y el campo magnético correspondiente. En el laboratorio usted puede conseguir varias bobinas de prueba que le permiten probar un rango amplio de frecuencias desde (13 hasta 130MHz). Haga el gráfico B vs. f , realice un ajuste lineal para determinar g .

Utilización de un circuito LC pasivo

Este ejercicio tiene la intención de que usted profundice su entendimiento de cómo funciona el montaje experimental.

La condición de resonancia en la muestra de DPPH, se detecta en la sonda debido a un cambio correspondiente en la impedancia del circuito que energiza la bobina emisora de radiación. En resonancia, varía notablemente la permeabilidad (suceptibilidad) del DPPH que consecuentemente cambia la inductancia de la bobina emisora y por ende la impedancia del circuito. La señal observada en el osciloscopio es fundamentalmente un registro del cambio en el valor dicha impedancia.



Usando nuevamente el generador de alta frecuencia, usted puede usar el circuito L-C –pasivo- que se provee en el laboratorio, como simulador de la muestra (DPPH) (ver siguiente figura) . El circuito L-C tiene un condensador variable con el cual usted puede cambiar su frecuencia de resonancia (en analogía del campo magnético). Usted puede conseguir

un valor de C tal que para algún rango de las frecuencias disponibles en el generador, el circuito L-C entre en resonancia.

Para una frecuencia del emisor consiga una condición de resonancia variando C. Realice un barrido de C que le permita graficar la resonancia (amplitud de la onda en el osciloscopio) vs. frecuencia $\left[\propto \frac{1}{\sqrt{C}} \right]$. Determine el factor de calidad

$$Q = \frac{f_o}{\Delta f} \sim R \sqrt{\frac{L}{C}}$$

para al menos dos frecuencias del emisor. Determine si la variación de Q responde a la expresión anterior.

Referencias

-TIPLER, Oaul y Ralph Llewellyn.(2000) "Modern Physics" W. H.Freeman and Company, 3ª Edición, New York.

-Leybold-Heraeus, Instruction Sheet: ESR Basic Unit, ESR Adapter, ESR Control Unit (Koln 1986)

-Advanced Undergraduate Laboratory Experiment 15: Electron Spin Resonance, rev. John Pitre(U of T Physics 1988)