

## Resonancia de espín electrónico

### COMPROBACIÓN DE LA RESONANCIA DE ESPÍN ELECTRÓNICO EN DPPH

- Observación de la curva de resonancia del DPPH.
- Determinación de la frecuencia de resonancia en dependencia con el campo magnético.
- Determinación del factor de  $g$  de Landé del electrón libre.

UE5030100

01/18 UD



Fig. 1: Disposición de medición

### FUNDAMENTOS GENERALES

La resonancia de espín electrónico (REE), también llamada "Resonancia paramagnética electrónica (RPE)" se basa en la absorción de energía por sustancias con electrones no apareados cuando se encuentran en un campo magnético continuo externo. La energía se toma de un campo magnético alterno de alta frecuencia que se irradia en el recinto de la muestra, perpendicularmente al campo magnético continuo. Si la frecuencia del campo alterno corresponde a la frecuencia de resonancia de la muestra, la impedancia de la bobina emisora llena con la sustancia que forma la muestra, cambia en forma resonante y se

puede observar una desviación en el osciloscopio. El origen de esta absorción resonante es la "inversión" de la dirección del momento magnético del electrón libre. La frecuencia de resonancia depende de la intensidad del campo magnético continuo; el ancho de la señal de resonancia de su homogeneidad.

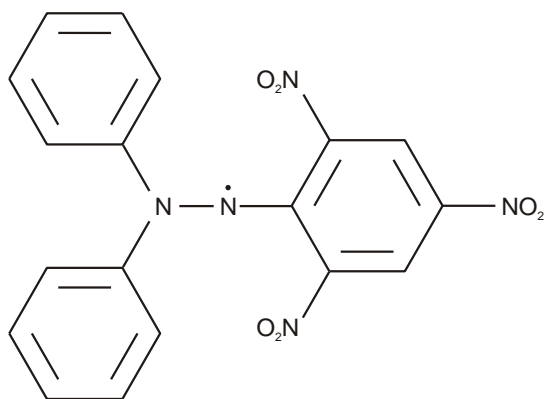


Fig. 2: Estructura molecular del DPPH.

El momento magnético de un electrón con magnetismo de espín puro asume en el campo magnético  $B$  los estos discretos

$$(1) E_m = -g_J \cdot \mu_B \cdot m \cdot B, \quad m = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$\mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}} : \text{Magnetón de Bohr}$$

$$g_J = 2,0023: \text{Factor de Landé.}$$

Por lo tanto, la distancia entre los dos estados es:

$$(2) \Delta E = g_J \cdot \mu_B \cdot B$$

Se logra la resonancia exactamente cuando la frecuencia  $f$  del campo alterno irradiado cumple la condición

$$(3) h \cdot f = \Delta E, \\ h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} : \text{Constante de Planck}$$

En el experimento se comprueba la resonancia de espín electrónico o resonancia paramagnética electrónica en difenil-picril-hidrazilo (DPPH), un compuesto químico orgánico que muestra un electrón no apareado. El campo magnético continuo se genera con un par de bobinas de Helmholtz que varía en forma de dientes de sierra entre cero y un valor máximo de  $B_{\text{max}} = 3,5 \text{ mT}$ . Ahora se busca la frecuencia  $f$  en la que tiene lugar la absorción resonante en una posición determinada de los dientes de sierra, para un campo magnético establecido previamente. Si la frecuencia aumenta, la absorción de resonancia se desplaza hacia campos magnéticos mayores. größeren Magnetfeldern hin.

## LISTA DE APARATOS

1	Juego de equipos básicos para REE/RMN @230V	1000638 (U188031-230)
6		
1	Juego de equipos básicos para REE/RMN @115V	1000637 (U188031-115)
1	Juego complementario REE	1000640 (U188501)
1	Osciloscopio de 2x25 MHz p. PC	1020857 (U11830)
2	Cable HF	1002746 (U11255)

## MONTAJE

- Monte la unidad base y conéctela a la consola de control como se describe en las instrucciones de servicio del juego complementario ESR 1000640.
- Conecta la salida "SIGNAL OUT" de la consola de control al canal 1 del osciloscopio del PC y la salida "FIELD OUT" al canal 2.
- Ajuste en el osciloscopio del PC los siguientes parámetros:

Horizontal:	
Base de tiempo:	2 ms/div
Posición de disparo horizontal:	5.000 ms
Vertical:	
CH1:	
División de la escala de tensión:	1 V/div DC
Posición del punto cero:	-2,52 divs
CH2:	
División de la escala de tensión:	200 mV/div DC
Posición del punto cero:	-2.52 divs
Disparo:	
Individual (no alternado)	
Fuente:	CH2
Modo:	por flanco ascendente
Flanco:	ascendente
Umbral:	400 mV
Modo de disparo:	automático

## REALIZACIÓN

- Ajuste en la consola de control la menor frecuencia con la que se pueda observar una señal de absorción de resonancia definida (aproximadamente 37 MHz).
- Ajuste el selector de sensibilidad "SENSITIVITY" de manera que la altura de la señal sea la máxima.

Con el ajuste óptimo se observa un débil parpadeo del led. Si el led se ilumina intensamente, la señal está saturada.

- Lea la tensión  $U_R$  de la bobina de resonancia por medio del cursor del osciloscopio del PC (figuras 3 y 4). Para ello, abra la opción "Cursor" del menú principal y, en "Canal:", coloque una marca en la opción de voltaje y seleccione el canal "CH2". Utilice el primer cursor (Y1) para la lectura y seleccione 0.000 mV con el segundo cursor (Y2). Ahora el segundo cursor corresponde a la posición del punto cero de los canales CH1 Y CH2.

### Nota:

Tras cada modificación de los parámetros del osciloscopio es necesario volver a abrir el submenú "Cursor" para colocar otra vez la marca en la opción de tensión y seleccionar el canal "CH2".

- Repita la medición con diferentes frecuencias, en un rango que vaya de 40 MHz a 70 MHz, en incrementos de 5 MHz. En cada caso, anote en la tabla 1 la frecuencia ajustada y las tensiones medidas en la bobina de resonancia.

### Nota:

Con frecuencias mayores que 45 MHz, la división de la escala de tensión del canal CH1 debe pasar de 1 V/div a 500 mV/div.

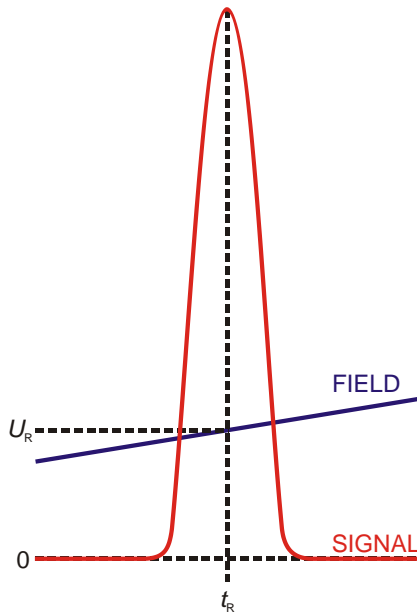


Fig. 3: Esbozo esquemático para la lectura de la tensión  $U_R$  de la bobina de resonancia tomado del oscilograma.

- A partir de las tensiones  $U_R$  de la bobina de resonancia (Tab. 1), los campos magnéticos se calculan de la siguiente manera:

$$(5) \quad B = 3,47 \frac{\text{mT}}{\text{V}} \cdot U_R$$

con el fin de anotarlos en la tabla 1.

A partir de las ecuaciones (2) y (3) se establece la siguiente relación entre la frecuencia de resonancia  $f$  y el campo magnético  $B$ :

$$(6) \quad f = g_J \cdot \frac{\mu_B}{h} \cdot B = a \cdot B.$$

Por lo tanto, los valores de medición se encuentran en una recta cuya pendiente  $a$ , tras partir del origen, permite determinar el factor de Landé.

- Trace una recta que parta desde el origen (Fig. 5) con las frecuencias de resonancia seleccionadas (Tab. 1) como una función de los campos magnéticos calculados a partir de las tensiones de la bobina de resonancia (Tab. 1).
- Determine el factor de Landé por medio de la ecuación (6):

$$(7) \quad g_J = a \cdot \frac{h}{\mu_B} = 30 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{T} \cdot \text{s}} \cdot \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}}} = 2,1.$$

Dentro del marco de una inseguridad relativa de aproximadamente un 5%, el valor coincide en buena forma con el que se indica en la literatura.

### EJEMPLO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN

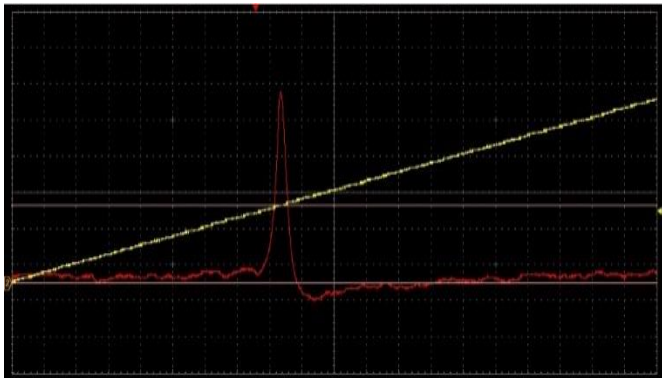


Fig. 4: Señal de absorción (rojo) y curso en el tiempo del campo magnético (amarillo) en la resonancia de espín electrónico con DPPH.

Tab. 1: Frecuencias  $f$  de resonancia ajustadas, tensiones  $U_R$  de la bobina de resonancia y campos magnéticos  $B$  calculados.

$f / \text{MHz}$	$U_R / \text{V}$	$B / \text{mT}$
37,408	0,360	1,25
40,006	0,384	1,33
44,996	0,432	1,50
49,995	0,480	1,67
55,004	0,524	1,82
59,999	0,580	2,01
65,004	0,632	2,19
70,005	0,680	2,36

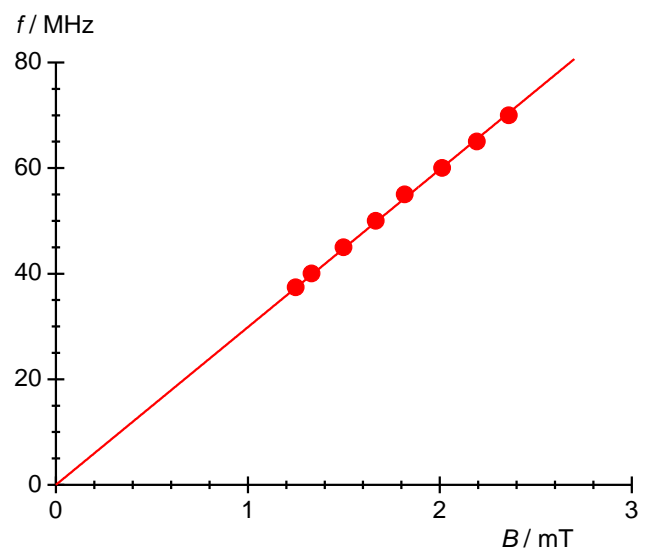


Fig. 5: Frecuencia de resonancia  $f$  en dependencia con el campo magnético  $B$ .