

Лабораторна робота «Визначення g-фактору»

Лабораторна робота
Тема: Визначення g-фактора методом електронного спінового
Мета роботи: Ознайомитися з основним методом електронного спінового резонансу, визначити g-фактор електрода.
Короткі теоретичні відомості
Спектри електронного спінового резонансу спостерігаються в речовинах, які перебувають у різних окислювальних станах. Наблюдати за наявністю іонів у складі речовини.
Магнетизм атома зумовлений трьома причинами:
1. Орбітальним рухом електронів, що мають заряд.
2. Наявністю в електроні власного механічного моменту P_s .
3. Наявністю в ядрі спінового моменту.
Відомо [1, 2], що механічний момент орбітального руху електрона:
$$P_L = \frac{h}{2\pi} \sqrt{l(l+1)}$$
, де l - орбітальне квантове число електрона.
Рух кожного електрона навколо ядра являє собою аналог струму, який створює орбітальний магнітний момент:
$$M_L = P_L \frac{e}{2m_0}$$
; гіромагнітне відношення: $\gamma_L = \frac{M_L}{P_L} = \frac{e}{2m_0}$.
$$\vec{M}_L = \vec{M}_{L1} + \vec{M}_{L2} + \vec{M}_{L3} + \dots = -\gamma_L (\vec{P}_{L1} + \vec{P}_{L2} + \vec{P}_{L3} + \dots) = -\gamma_L \vec{P}_L$$
,
де \vec{P}_L - сумарний орбітальний механічний момент атома
$$|\vec{P}_L| = \frac{h}{2\pi} \sqrt{L(L+1)}$$
, де L - орбітальне квантове число атома
$$|\vec{M}_L| = \frac{e}{2m_0} \frac{h}{2\pi} \sqrt{L(L+1)} = M_B \sqrt{L(L+1)}$$
, де $M_B = e\hbar/2m_0$ - магнетон
$$|\vec{P}_S| = \frac{h}{2\pi} \sqrt{S(S+1)}$$
, де $S = \frac{1}{2}$ - спінове квантове число електрона
$$\vec{P}_S = \vec{P}_{S1} + \vec{P}_{S2} + \dots$$
; $|\vec{P}_S| = \frac{h}{2\pi} \sqrt{S(S+1)}$, S - спінове квантове
$$\vec{M}_S = -\vec{P}_S \frac{e}{m_0}$$
. Гіромагнітне відношення M_S/P_S для спінових моментів у два рази більше, ніж для орбітальних.

У випадку кількох валентних електронів результуючий спіновий магнітний момент дорівнює векторній сумі (у наближенні LS зв'язку)
$$\vec{P}_J = \sum \vec{P}_{Li} + \sum \vec{P}_{Si} = \vec{P}_L + \vec{P}_S$$

$$\vec{M}_J = \vec{M}_L + \vec{M}_S = \gamma_J (\vec{P}_L + 2\vec{P}_S)$$

$$\vec{P}_L + \vec{P}_S = \vec{P}_J$$
 - повний механічний момент; $|\vec{P}_J| = \hbar \sqrt{J(J+1)}$,
де J - внутрішнє квантове число атома, $J = |L-S|, |L-S+1|, \dots, L+S$
$$M_{Jz} = M_L \cos(\vec{M}_L, \vec{P}_J) + M_S \cos(\vec{M}_S, \vec{P}_J)$$

$$M_{Jz} = M_B g \sqrt{J(J+1)}$$
, $g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$
Атом у зовнішньому магнітному полі
$$\Delta E = -\vec{M}_J \vec{H}$$

$$\Delta E = -M_J H \cos(\vec{M}_J, \vec{H}) = M_B g \sqrt{J(J+1)} H \cos(\vec{M}_J, \vec{H})$$

$$\cos(\vec{M}_J, \vec{H}) = \frac{M_{Jz}}{M_J} = \frac{M_{Jz}}{M_B g \sqrt{J(J+1)}}$$
, $\Delta E = M_B g H M_{Jz}$, M_J - квант
$$V_0 = \frac{M_B H}{h} g = g \frac{e^2 \hbar}{4\pi m_0}$$

Речовини, атоми яких мають магнітний момент, перебуваючи в магнітному полі, здатні поглинати енергію електромагнітного випромінювання в НВЧ-області, називається електронним магнітним резонансом. Магнітні резонанси спостерігаються зазвичай під час поглинання. У наслідок взаємодії атома з граткою кристала атом з верхніх збуджених рівнів переходить у нижні незбудовані стани. У результаті цього під дією неперервного змінного поля кристал парамagnetної речовини нагрівається. Магнітні резонанси споріднені з ефектом Зеемана. Відмінність при Зееманівському ефекті переходи відбуваються між магнітними підрівнями різних атомних термів тоді, як зміна чисел L і J . Зееманівський ефект спостерігається в області високих частот, магнітні переходи в НВЧ-області.
Типи магнітних резонансів:

А) Електронний парамагнітний резонанс. Спостерігається для атомів і молекул з непарною кількістю електронів. 2 типи спінового резонансу: 1) парамагнітний в речовинах, атоми яких слабо взаємодіють. 2) спіновий у ферромагнетиках.

Б) Ядерний магнітний резонанс. Наявність у ядра атома спіну, а отже, магнітного моменту, призводить до появи тонкої структури ліній посилення ЕПР. У зовнішньому магнітному полі енергетичний рівень атома розщеплюється на $2J+1$ підрівнів, де J - квантове число, що $J = 1/2, 3/2, \dots, J+1/2$ і характеризує повний мех. момент атома $\vec{P} = \vec{L} + \vec{S}$. Якщо $J=0$, то кожна лінія ЕПР розщеплюється на $2J+1$, J - спінове число. $E_{\text{гн}} = E_0 + M_{\text{яд}} g_1 H m_1$
 E_0 - енергія атома без урахування спіну ядра, $M_{\text{яд}}$ - ядерний магнетон Бора, g - фактор Ланде ядра, m_1 - магнітне спінове число, що набуває $2J+1$ значень.
 $\Delta E = h \nu_0 = M_{\text{яд}} g_1 H \Delta m_1$; $\Delta m_1 = \pm 1 \Rightarrow \nu_0 = g_1 \frac{M_{\text{яд}} H}{h}$

Хід роботи

N	$f_{\text{ген}} (\text{МГц})$	$f_{\text{рез}} (\text{кГц})$
1	2350	3407,10
2	2360	3426,7
3	2370	3440,8
4	2380	3458,8
5	2390	3473
6	2400	3485,8
7	2410	3496,1
8	2420	3512,7

Змінюючи частоту генератора вимірюємо резонансну частоту та записуємо дані до таблиці. Визначаємо H за допомогою формули $H = 0,2348 \cdot f_{\text{рез}} \Rightarrow$

N	$H (\text{Гс})$
1	799
2	804
3	807
4	811
5	815
6	818
7	821
8	824

За допомогою МНК для графіку $\nu = f(H)$ знаходимо g .

$$y = ax + b$$

$$y = 28132 \cdot x + 99,6543$$

$$\nu_0 = \frac{M_B H}{h} g$$

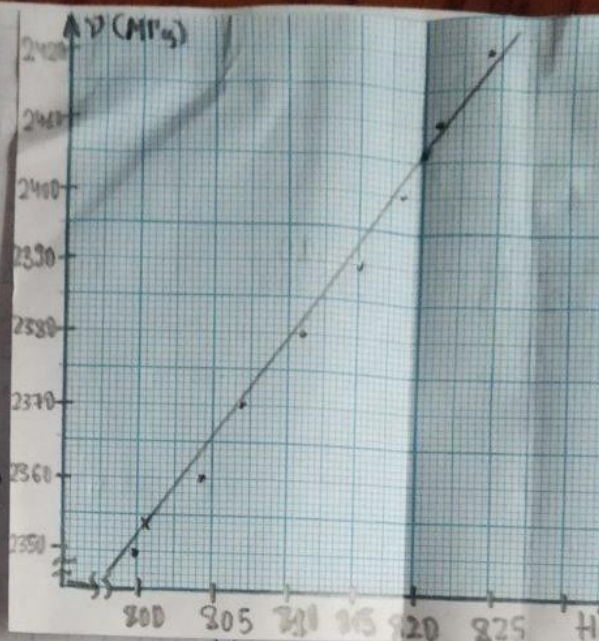
$$M_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$$

$$H = x, \nu_0 = y$$

$$\Rightarrow g = \frac{a}{M_B} \cdot h = 2,0108$$

$$\Delta a = 0,0842 = \Delta g$$



Висновок: на лабораторній роботі ознайомилися з методом електронного спінового резонансу, визначили g-фактор експериментально $g = 2,0108 \pm 0,0842$, результат близький до теоретичного $g = 2$. Похибки виникли в результаті вимірів експериментаторів з неточними даними на які могли вплинути неточність приладів, зовнішні фактори, наприклад телефон який був поряд.