

10.1

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Егор Берсенеv

1 Теоретическое введение

Энергетический уровень электрона в присутствии магнитного поля B расщепляется на два подуровня, расстояние между которыми равно:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 2\mu B \quad (1)$$

Между этими двумя уровнями возможны переходы. Они могут возбуждаться внешним высокочастотным магнитным полем подходящих характеристик. Резонансное значение частоты определяется из очевидного соотношения:

$$\hbar\omega_0 = \Delta E = 2\mu B \quad (2)$$

При переходе с нижнего на верхний уровень квант энергии поглощается, а при обратном переходе излучается квант той же частоты. Возбуждение электронных резонансных переходов электромагнитным полем с частотой ω_0 носит название «электронного парамагнитного резонанса». Сигнал ЭПР наблюдается только на неспаренных электронах образца. В работе используется образец свободного радикала ДФПГ. Рассмотрим основные процессы, влияющие на ширину линии ЭПР. В отсутствие вы-

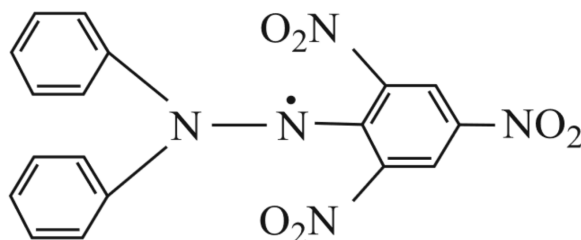


Рис. 1: Дифенилпикрилгидразил

сокочастотного поля заселенность верхнего и нижнего уровней N_u и N_d определяется температурой и описывается формулой Больцмана.

$$\frac{N_u}{N_d} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (3)$$

В присутствии резонансного поля между уровнями возникают индуцированные переходы, ведущие к тому, что заселенность верхнего уровня растет, а нижнего падает. Этот процесс ведет к нарушению соотношения Больцмана. Восстановление теплового равновесия происходит двумя способами: спин-спиновой и спин-решеточной релаксацией. Отличить их друг от друга можно по температурной зависимости: спин-решеточное взаимодействие быстро возрастает с температурой (числом фононов), спин-спиновое от температуры практически не зависит. Согласно соотношению неопределенностей:

$$\Delta\omega\tau \simeq 1 \quad (4)$$

2 Описание эксперимента

В работе требуется получить ЭПР сигнал на ДФПГ. Известно, что связь между магнитным моментом электрона и его механическим моментом выражается через гиромагнитное соотношение:

$$\mu = \gamma \mathbf{M} \quad (5)$$

Если магнитный момент выражается в магнетонах Бора, а механический в единицах \hbar , то связь выражается через фактор Ланде:

$$\frac{\mu}{\mu_B} = \frac{g\mathbf{M}}{\hbar} \quad (6)$$

Эта формула справедлива и для проекций. Можно выразить g -фактор через определяемые экспериментально величины:

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B} \quad (7)$$

Схема спектроסקопа приведена на рисунке:

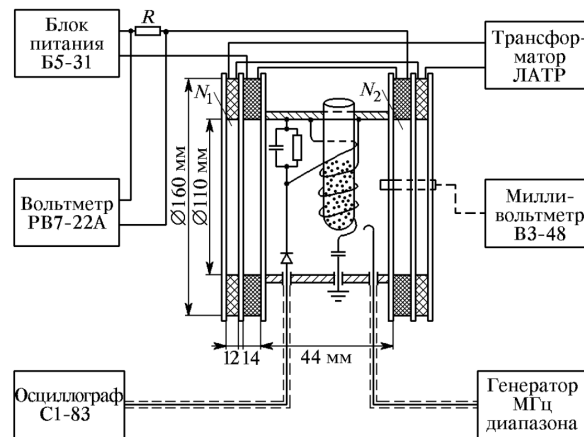


Рис. 2: Схема установки

Параметры установки: $N_1 = 1500$, $d_1 = 0.23 \text{ cm}$, $N_2 = 4500$, $d_2 = 0.29 \text{ cm}$

3 Экспериментальные данные

Настроим генератор на резонансную частоту колебательного контура, определили значение частоты при максимальном и половинных значениях амплитуды выведенного на осциллограф сигнала:

$$f_0 = 126.76 \text{ МГц}$$

$$f_h = 126.97 \text{ МГц}$$

$$f_l = 126.49 \text{ МГц}$$

Рассчитаем добротность

$$Q = \frac{f}{\Delta f} = \frac{126.76}{0.48} = 264.1$$

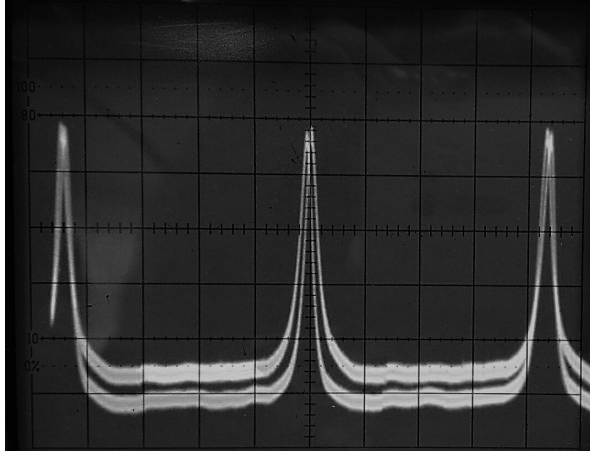


Рис. 3: Резонансное поглощение

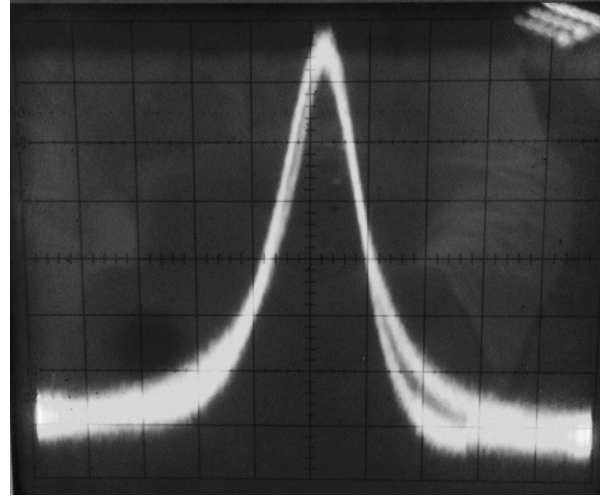


Рис. 4: Точно настроенный пик

Теперь настроим установку на наблюдение резонансного сигнала. Резонансное поглощение возникает при совпадении в некоторые моменты времени поля $B(t)$ с полем резонансного поглощения на частоте колебательного контура $B_0 = \frac{\hbar f_0}{g\mu_B}$

Переменное поле модуляционных катушек наводит в пробной катушке ЭДС индукции, по которой можно определить величину поля. Зная параметры катушки $N = 45$, $d = 15.2 \pm 0.1$ и ЭДС, определим величину модулирующего поля:

$$B = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon_i}{\pi^2 d^2 N \omega} = \sqrt{2} \frac{2 \cdot 2.51 \cdot 10^{-3} \text{ В}}{\pi^2 \cdot 14.5^2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 45 \cdot 50 \text{ Гц}} = 1.52 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 1.52 \text{ мТл} \quad (8)$$

тогда для полуширины на полувысоте линии резонансного поглощения (в единицах поля) получим

$$\Delta B = \frac{A_{1/2}}{A_{\text{полн}}} \text{мод} = \frac{1}{10.4} \cdot 1.52 = 0.146 \text{ мТл} \quad (9)$$

Определяем g -фактор. Для этого подаем в основные катушки переменный ток, а ЭДС индукции измеряем при помощи пробной катушки. Строим калибровочный график:

При $V = 122.84 \text{ мВ}$ получаем $V_t = 10.45 \pm 0.08$. Тогда

$$B_0 = \frac{V_t}{NS\omega} = 7.03 \pm 0.45 \text{ мТл} \quad (10)$$

Отсюда получаем g -фактор равный $g = 1.9 \pm 0.2$. Вроде сошлось.

Построим график зависимости резонансной частоты от тока в цепи основных катушек для проверки линейности расщепления уровней.

График, как видно, линейный.

4 Вывод и обсуждение результатов

Рассчитали g -фактор, пусть и за месяц, но рассчитали, кроме того было обнаружено, что зеемановской расщепление линейно по полю.

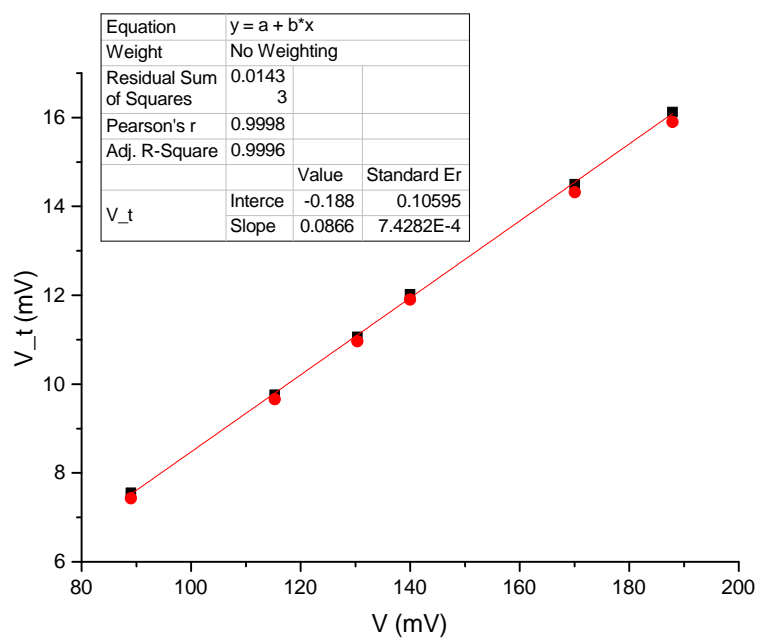


Рис. 5: Зависимость ЭДС индукции в пробной катушке от падения напряжения в цепи основных катушек

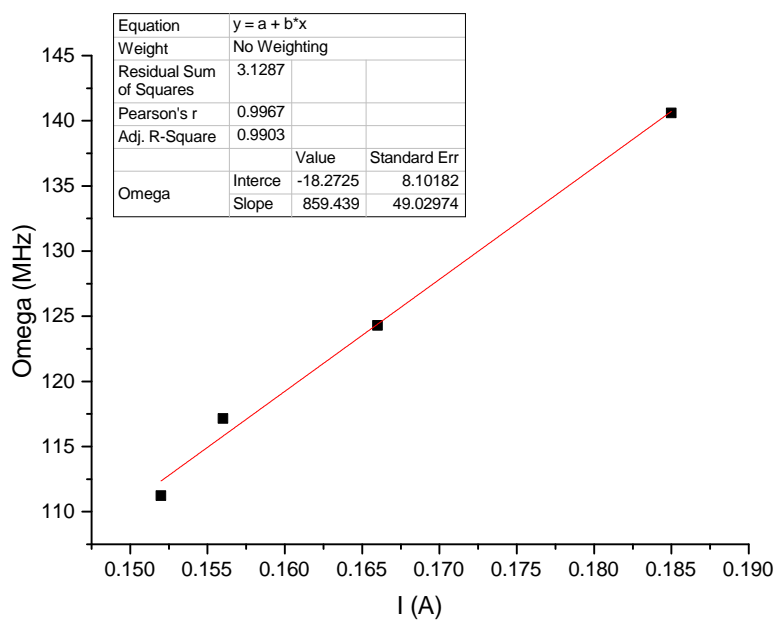


Рис. 6: Зависимость резонансной частоты от тока