

МФТИ

ФРКТ

Лабораторная работа 5.10.1

Электронный парамагнитный резонанс.

Добровольская Ксения
Гаврилин Илья
Б01-110

1 Аннотация

В данной работе был исследован электронный парамагнитный резонанс в молекуле ДФПГ. Измерены:

Ширина линии резонансного поглощения, ее значение составило $\Delta B = 0.22$ мТл.

g-фактор электрона, значение которого составило $g = 1.98$. Данное значение совпадает с точностью 1% с табличным значением для свободного электрона $g_{\text{своб}} = 2.0036$.

2 Теоретические сведения

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

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 2\mu B_0.$$

Здесь μ – абсолютная величина проекции магнитного момента на направление поля.

Между этими двумя уровнями возможны переходы. Эти переходы могут возбуждаться внешним высокочастотным электромагнитным полем, если оно имеет нужную частоту и нужное направление.

Резонансное значение частоты определяется из очевидной формулы:

$$\hbar\omega_0 = \Delta E.$$

При переходе с нижнего на верхний уровень энергии электрон поглощает квант электромагнитной энергии, а при обратном переходе такой же квант излучается. Возбуждение электронных резонансных переходов электромагнитным полем, имеющим частоту ω_0 , носит название электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

В настоящей работе необходимо получить сигнал ЭПР на кристаллическом дифенилпикрилгидразиле (ДФПГ) и определить значение g -фактора для электрона. Как известно, связь между магнитным моментом μ электрона и его механическим моментом M выражается через гиромагнитное отношение γ с помощью формулы

$$\mu = \gamma M.$$

Если магнитный момент частицы измерять в магнтонах Бора, а механический - в \hbar , то их связь можно записать через g -фактор:

$$\frac{\mu}{\mu_B} = g \frac{M}{\hbar} = g \frac{s\hbar}{\hbar} = gs = \frac{\hbar\omega_0}{2B_0\mu_B}$$

,где $s = 1/2$ – спин электрона

Значит g -фактор:

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B_0}.$$

3 Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1.

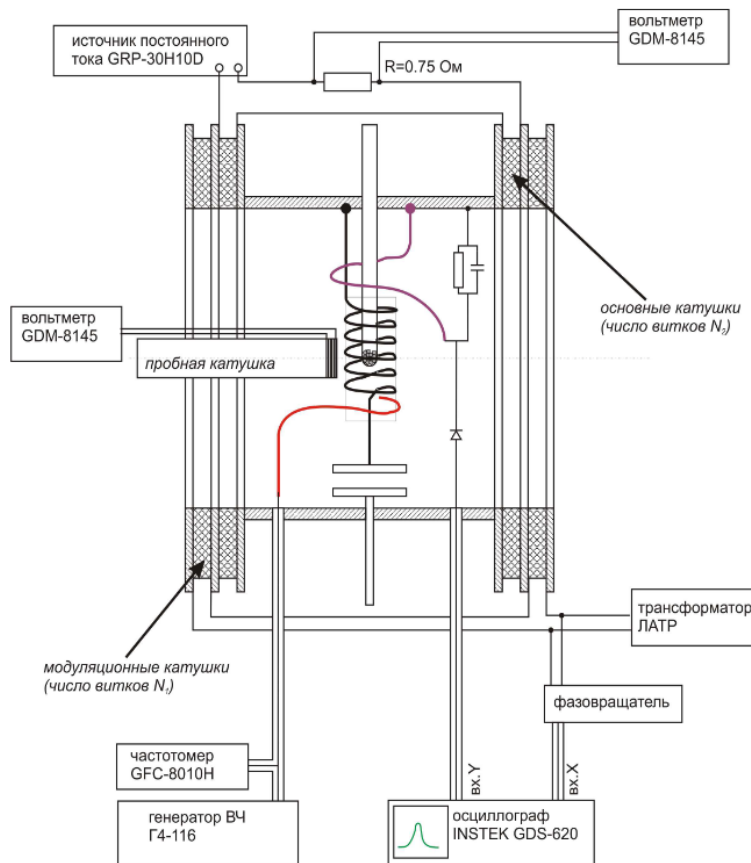


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Схема установки представлена на Рис. 1. Образец (порошок ДФПГ) в стеклянной ампуле помещается внутрь катушки индуктивности, входящей в состав колебательного контура. Входящий в состав контура конденсатор состоит из двух пластин, разделённых воздушным зазором, одна из пластин может перемещаться поворотом штока. Колебания в контуре возбуждаются антенной, соединённой с генератором высокой частоты (ВЧ) Г4-116. Амплитуда колебаний поля в катушке индуктивности измеряется по наводимой в петле связи ЭДС индукции. Высоко-частотные колебания ЭДС индукции в приёмном контуре детектируются диодом, измеряемая при помощи осциллографа низкочастотная огибающая этого сигнала пропорциональна квадрату амплитуды колебаний поля в катушке. Постоянное магнитное поле создаётся пропусканием тока от источника постоянного тока через основные катушки.

4 Измерения и обработка результатов

Характеристики пробной катушки

N, шт	D, mm
44	15.1

1. **Настройка ВЧ генератора на частоту колебательного контура.** Подстройкой частоты добиваемся максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа. Эта частота равна $f_0 = 162.700$ МГц. Осциллограмма при настройке генератора изображена на рис.2.

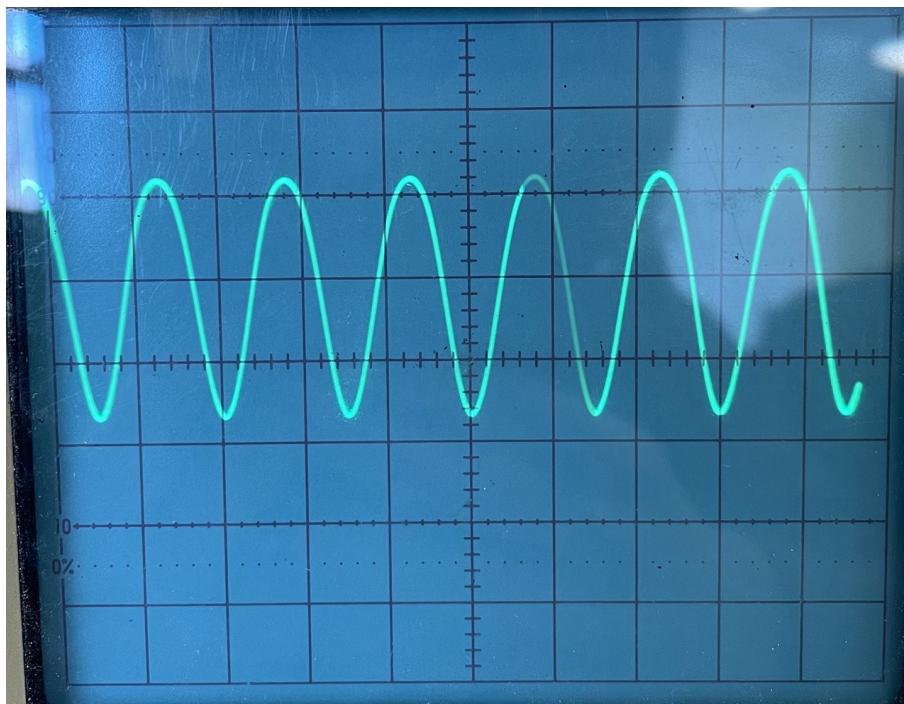


Рис. 2: Осциллограмма при настройке генератора.

2. **Наблюдение сигнала резонансного поглощения.** Для этого подключаем основные катушки к источнику постоянного тока, а модуляционные катушки к трансформатору ЛАТР. Подбираем величину постоянного магнитного поля в основных катушках так, чтобы наблюдался сигнал резонансного поглощения. Добиваемся эквидистантности пиков.

Зафиксированный сигнал изображен на рис. 3.

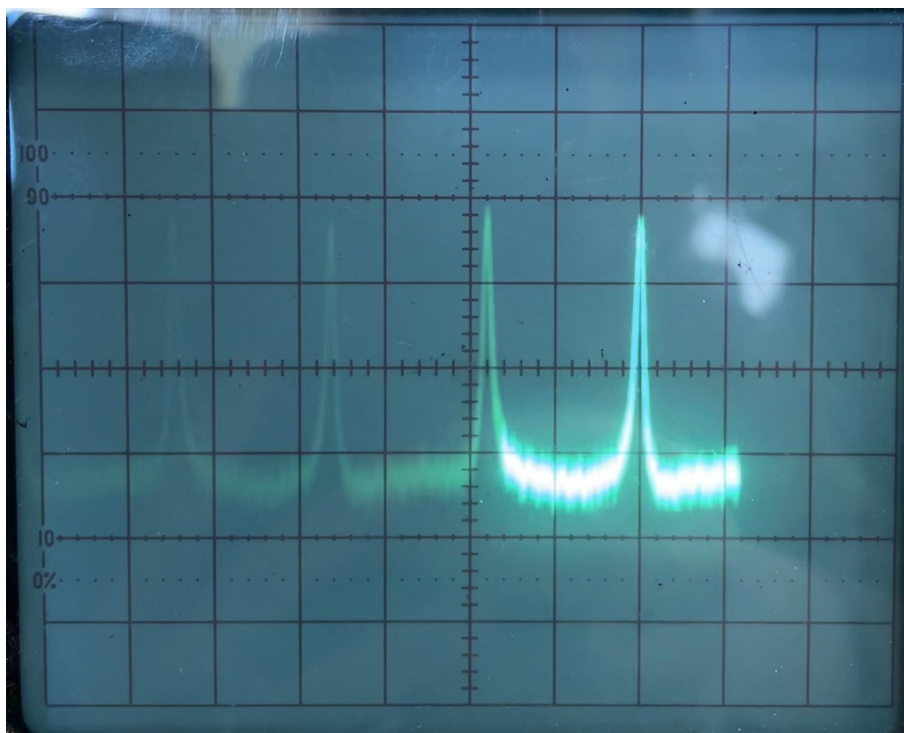


Рис. 3: Осциллограмма сигнала поглощения при резонансном постоянном поле.

Вносим пробную катушку в соленоид и измеряем ЭДС-индукции:

$$U = (14.55 \pm 0.01) \text{ мВ}$$

По этой величине можем рассчитать величину постоянного магнитного поля:

$$U = N_{\text{проб}} S \omega B_0 \Rightarrow B_0 = \frac{U}{N_{\text{проб}} S \omega} = (5.88 \pm 0.01) \text{ мТл}$$

, где $S = \frac{\pi(D)^2}{4}$ – площадь сечения пробной катушки, $\omega = 2\pi\nu$ – угловая частота переменного тока, $\nu = 50$ Гц.

3. **Определение ширины линии поглощения.** Переводим осциллограф в режим XY-развертки.

X - напряжение на модулирующих катушках

Y - сигнал с детектора

Добиваемся появления хорошо прорисованной линии резонансного поглощения. Подстройкой фазовращателя совмещаем два пика, соответствующих прохождению резонансного поглощения на растущем и падающем полупериодах модулирующего напряжения. Наблюдаемый сигнал изображен на рис.5.

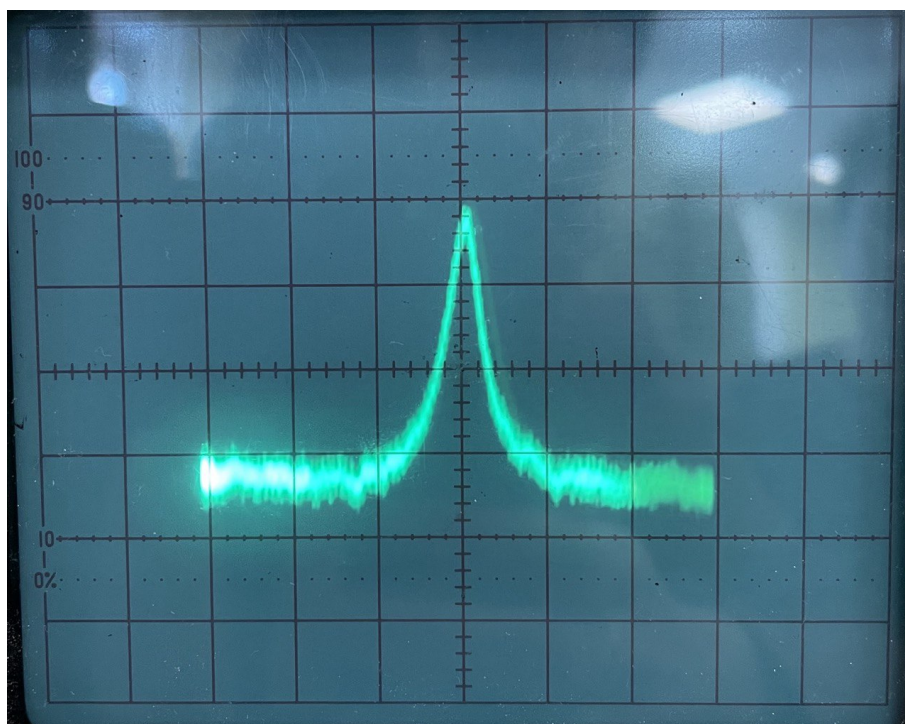


Рис. 4: Линия резонансного поглощения в режиме XY-развертки.

4. Для определения ширины линии ЭПР определим по экрану осциллографа полный размах поля A_0 и полную ширину кривой резонансного поглощения на полувысоте $A_{\frac{1}{2}}$.

$$A_0 = 6.0 \pm 0.2 \text{ дел}$$

$$A_{\frac{1}{2}} = 0.6 \pm 0.2 \text{ дел}$$

При помощи пробной катушки определим амплитуду модуляции магнитного поля. Для этого внесем её внутрь соленоида. Переменное поле модуляционных катушек наводит в пробной катушке ЭДС индукции ε , по которой можно определить величину поля. Измеренное ЭДС индукции:

$$\varepsilon = (3.88 \pm 0.01) \text{ мВ}$$

Амплитуда модулирующего поля:

$$B_{\text{мод}} = \frac{2\sqrt{2}\varepsilon}{\pi^2 d_{\text{проб}}^2 N_{\text{проб}} \vartheta} = (2.22 \pm 0.01) \text{ мТл}$$

, где $\vartheta = 50$ Гц – частота модулирующего напряжения

Тогда **ширина линии ЭПР:**

$$\Delta B = \frac{A_1}{A_0} B_{\text{мод}} = (0.22 \pm 0.07) \text{ мТл}$$

5. **Определение g-фактора.** По полученным данным определяем значение эффективного g-фактора исследуемого вещества ($\hbar = 1.054 * 10^{-34}$ Дж с, $\mu_B = 927.4 * 10^{-26}$ Дж/Тл):

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B_0} = \frac{\hbar 2\pi f_0}{\mu_B B_0} = (1.98 \pm 0.01)$$

Табличное значение g-фактора свободного электрона - $g_{\text{своб}} = 2.0036$. Отклонение от табличного значения - 1%.

5 Выводы

В данной работе мы исследовали ЭПР в молекуле ДФПГ. Измерили

Ширину линии резонансного поглощения, ее значение составило $\Delta B = 0.22$ мТл.

g-фактор электрона, значение которого составило $g = 1.98$. Данное значение совпадает с точностью 1% с табличным значением для свободного электрона $g_{\text{своб}} = 2.0036$, это свидетельствует о том, что ЭПР происходит на неспаренных электронах почти так же, как и на свободных.