

# Отчет о выполнении лабораторной работы 5.10.1

## Электронный парамагнитный резонанс

Выполнил: Голубович Тимур, группа Б01-110

08.11.2023

### Цель работы

Исследовать электронный парамагнитный резонанс в молекуле ДФПГ, определить  $g$ -фактор электрона, измерить ширину ЭПР.

### Оборудование и приборы

Источник  $\gamma$ -квантов со свинцовым коллиматором; набор поглотителей из различных материалов; сцинтилляционный счётчик; пересчётный прибор.

### Теоретическое введение

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  $\mu$  – 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  $\omega_0$ , 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  $\mu$  электрона и его механическим моментом  $M$  выражается через гиромагнитное отношение  $\gamma$  с помощью формулы

$$\mu = \gamma M.$$

Если магнитный момент частицы измерять в магнитолах 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:

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

## Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1.

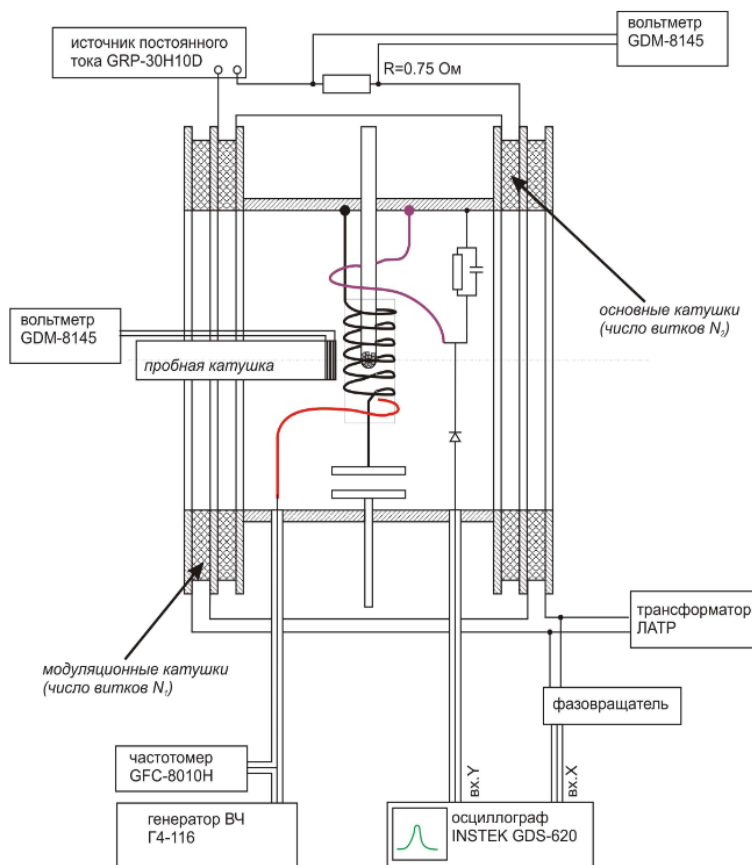


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

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. Высокочастотные 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.

## Ход работы

### Характеристики пробной катушки

N, шт	D, mm
49	14.3

1. **Настройка ВЧ генератора на частоту колебательного контура.** Подстройкой частоты добиваемся максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа. Эта частота равна  $f_0 = 124.0$  МГц. Осциллограмма при настройке генератора изображена на рис.2.

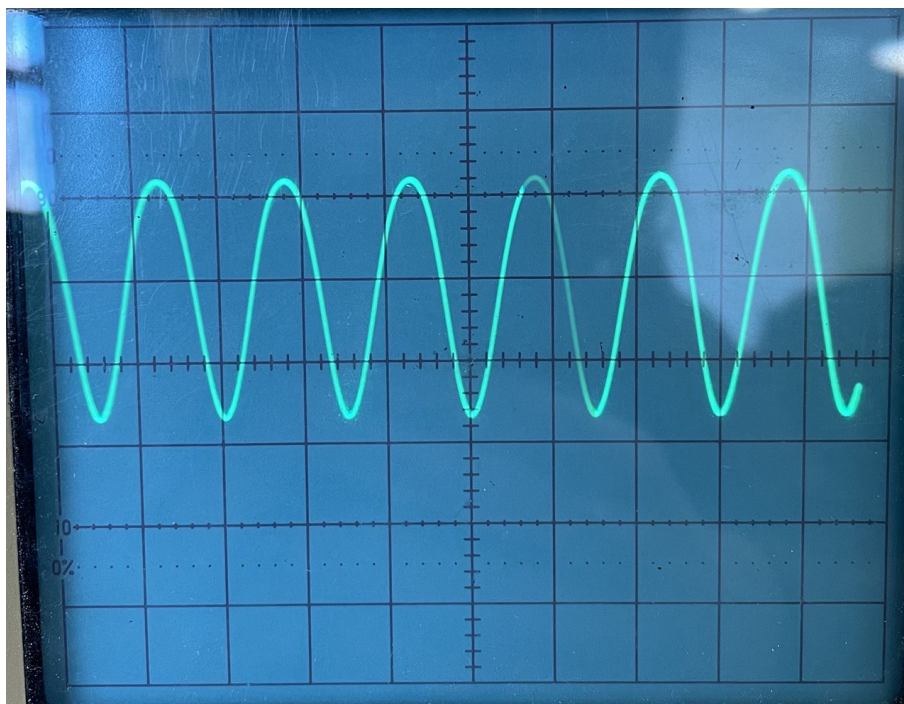


Рис. 2: Осциллограмма при настройке генератора.

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.

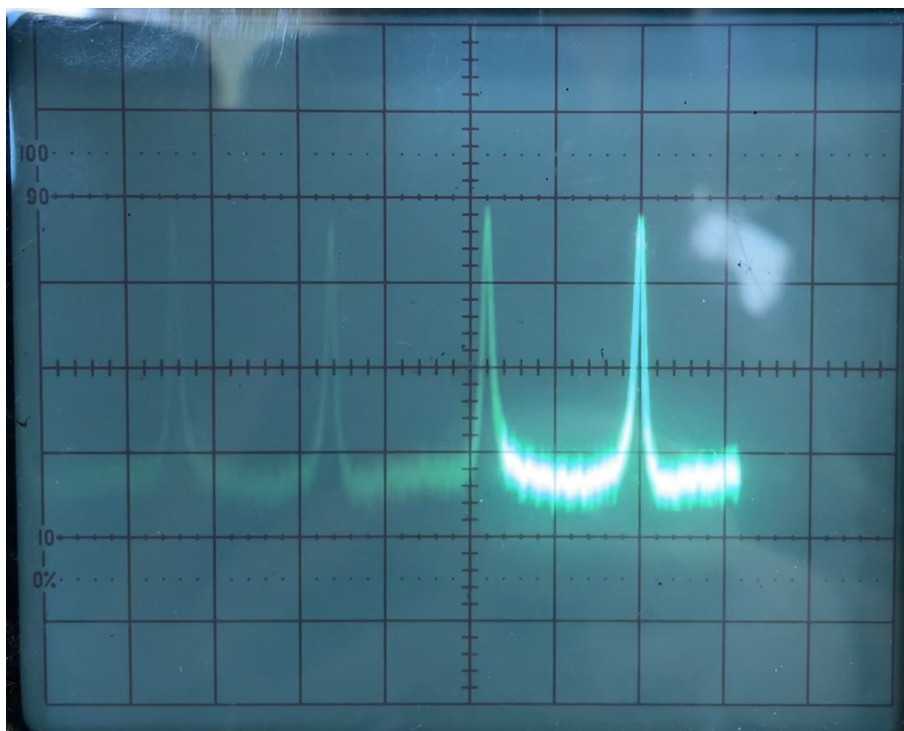


Рис. 3: Осциллограмма сигнала поглощения при резонансном постоянном поле.

Вносим пробную катушку в соленоид и измеряем ЭДС-индукции:

$$U = (11.14 \pm 0.01) \text{ мВ}$$

По этой величине можем рассчитать величину постоянного магнитного поля:

$$U = N_{\text{проб}} S \omega B_0 \Rightarrow B_0 = \frac{U}{N_{\text{проб}} S \omega} = (4.51 \pm 0.01) \text{ мТл}$$

, 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.

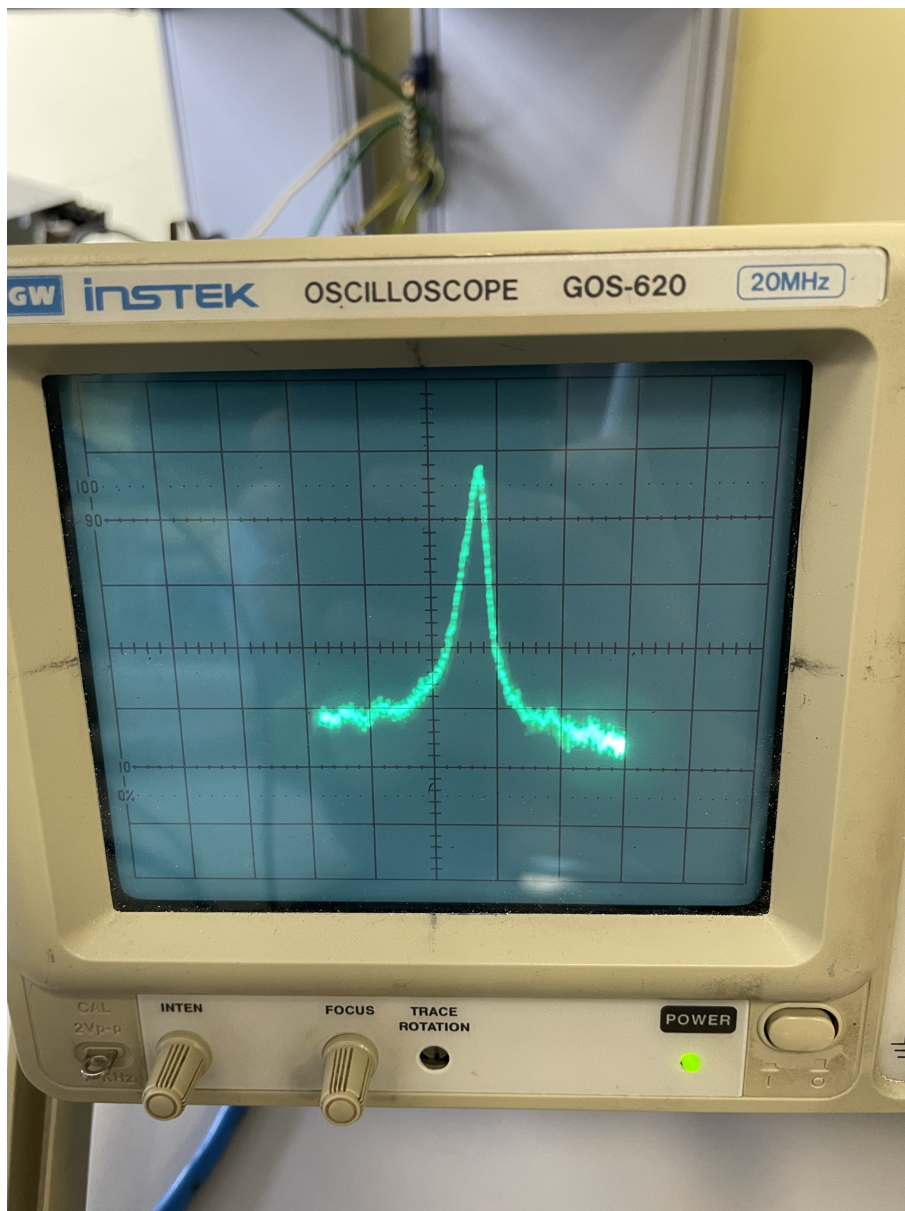


Рис. 4: Линия резонансного поглощения в режиме XY-развертки.

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  $\epsilon$ , по которой можно определить величину поля. Измеренное ЭДС индукции:

$$\epsilon = (3.21 \pm 0.01) \text{ мВ}$$

**Амплитуда модулирующего поля:**

$$B_{\text{мод}} = \frac{2\sqrt{2}\varepsilon}{\pi^2 d_{\text{проб}}^2 N_{\text{проб}} \vartheta} = (1.84 \pm 0.01) \text{ мТл}$$

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

Тогда **ширина линии ЭПР**:

$$\Delta B = \frac{A_1}{A_0} B_{\text{мод}} = (0.18 \pm 0.06) \text{ мТл}$$

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

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B_0} = \frac{\hbar 2\pi f_0}{\mu_B B_0} = (1.96 \pm 0.01)$$

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

## Вывод

В данной работе мы исследовали ЭПР в молекуле ДФПГ. Измерили

**Ширину линии резонансного поглощения**, ее значение составило  $\Delta B = 0.18$  мТл.

**g-фактор электрона**, значение которого составило  $g = 1.96$ . 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.

- фотоэффект (пики полного поглощения)
- эффект Комптона (характерное распределение энергий в спектре, оканчивающееся комptonовским краем)
- обратное рассеяние (пики обратного рассеяния)
- аннигиляция позитронов (пик 511 keV в спектре натрия, по которому проводилась калибровка)

Все значения энергии, опеределённые по спектрам, практически совпадали с табличными и расчётными.

Также была проверена линейная зависимость квадрата спектрального разрешения прибора от величины, обратной энергии полного поглощения.

## Список литературы

- [1] *Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 3. Квантовая физика: учебное пособие* под ред. Ю. М. Ципенюка