

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

## Отчёт о выполнении лабораторной работы 10.1

### Электронный парамагнитный резонанс

Авторы:

Тихонов Дмитрий Романович,  
студент группы Б01-206а

Павловский Кирилл Михайлович,  
студент группы Б01-206а

Долгопрудный, 2024

# 1 Введение

**Цель работы:** исследовать электронный парамагнитный резонанс в молекуле ДФПГ; определить  $g$ -фактор электрона; измерить ширину линии ЭПР.

**В работе используются:** осциллограф INSTEK GDS-620, фазовращатель, трансформатор ЛАТР, вольтметры GDM-8145, источник постоянного тока GRP-30H10D, частотомер GFC-8010H, генератор ВЧ Г4-116, основные катушки, модуляционные катушки, пробная катушка.

# 2 Теоретические сведения

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

$$\Delta E = 2\mu B_0, \quad (1)$$

где  $\mu$  – абсолютная величина проекции магнитного момента на направление поля.

Между этими двумя уровнями возможны переходы. Эти переходы могут возбуждаться внешними 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 магнетонах 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  $s = \frac{1}{2}$  — спин электрона. Следовательно,  $g$  - фактор равен

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

### 3 Методика измерений и экспериментальная установка

#### 3.1 Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

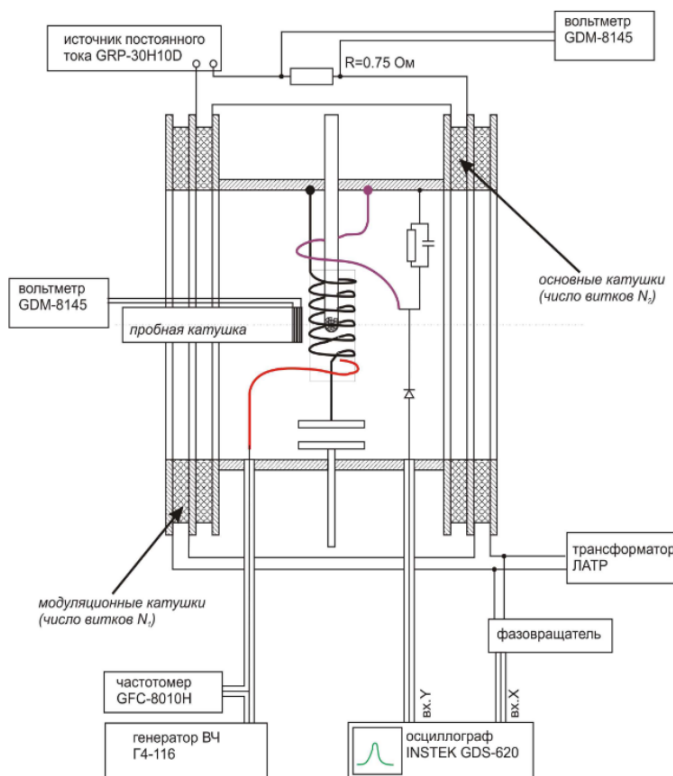


Рис. 1: Блок-схема экспериментальной установки

#### 3.2 Оборудование и приборы

- Цифровые мультиметры GDM-8145. В режиме измерения постоянного напряжения погрешность измерения оценивается по формуле

$$\pm(0.03\% \cdot \langle \text{измеренное значение} \rangle + 4 \text{ единицы младшего разряда}).$$

В режиме измерения постоянной силы тока на пределе 20 допустимое отклонение измеренных значений от реальных составляет

$$\pm(0.3\% \cdot \langle \text{измеренное значение} \rangle + 2 \text{ единицы младшего разряда}).$$

#### 3.3 Методика эксперимента

Для наблюдения электронного парамагнитного резонанса нужно поместить исследуемое вещество в магнитное поле и измерить поглощение электромагнитного излучения, частота которого удовлетворяет соотношению 1. Поглощение, связанное с электронным парамагнитным резонансом, очень мало. Заметный эффект удастся получить, применяя колебательный контур, который сосредотачивает энергию электромагнитного поля в объеме образца, помещенного в катушку.

## 4 Результаты измерений и обработка данных

### 4.1 Получение сигнала ЭПР на свободном радикале ДФПГ и измерение $g$ -фактора электрона

Включим и настроим генератор и осциллограф, получим на экране картину модулированных колебаний. Включим питание основных катушек от источника постоянного тока и питание модулирующих катушек – через автотрансформатор – от сети переменного тока 220 В. Установим на модулирующих катушках напряжение около 50 В. Плавно меняя реостатом величину тока, проходящего через основные катушки, найдём сигнал ЭПР. Отрегулируем величину тока так, чтобы расстояние между пиками резонанса на экране осциллографа было одинаковым (см. рис. 2).

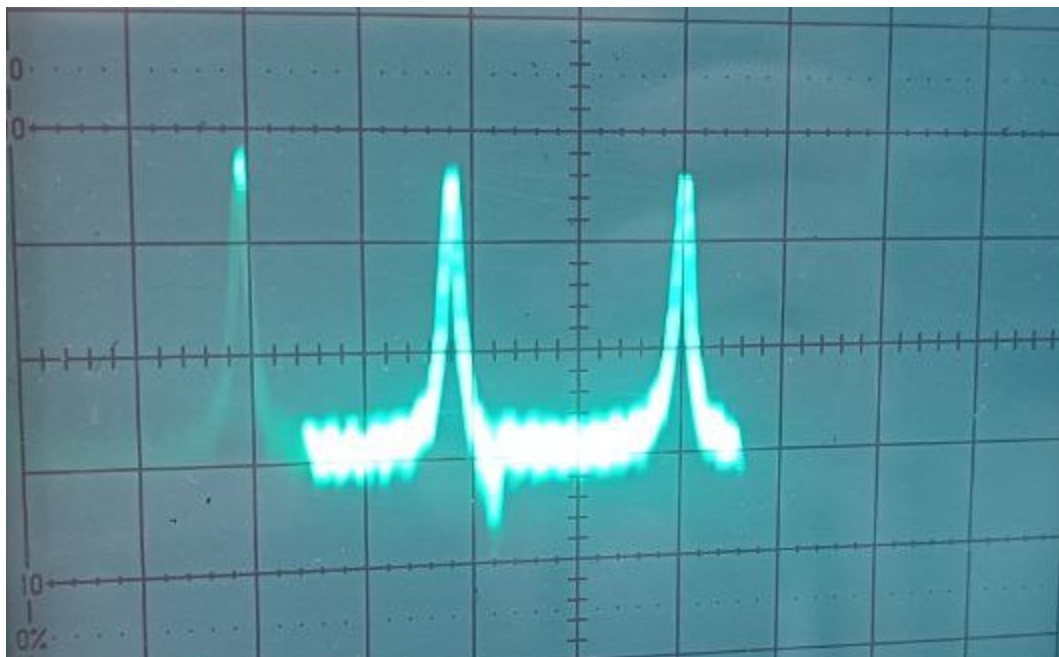


Рис. 2: Пики резонанса на экране осциллографа

Включим вилку питания пробной катушки в клеммы автотрансформатора. Измерим величину переменного поля. Для этого введём пробную катушку внутрь основных катушек поблизости от образца и запишем показания вольтметра:  $V = (11.6 \pm 0.5)$  мВ. Зная число витков ( $n = 45$ ) и площадь сечения ( $S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot (14.5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = (1.65 \pm 0.08) \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>) пробной катушки, определим напряжённость поля:

$$B_0 = \frac{V}{nS \cdot 2\pi\nu_{net}} = (5.0 \pm 0.3) \text{ мТл}$$

Теперь вычислим  $g$ -фактор электрона, зная, что частота резонанса равна  $\omega_0 = (140.1 \pm 0.1)$  МГц:

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B_0} = (2.0 \pm 0.1)$$

### 4.2 Определение ширины линии ЭПР

Получив сигнал ЭПР на ДФПГ в прошлом пункте, переключим осциллограф с временной развёртки на развёртку от модуляционных катушек.

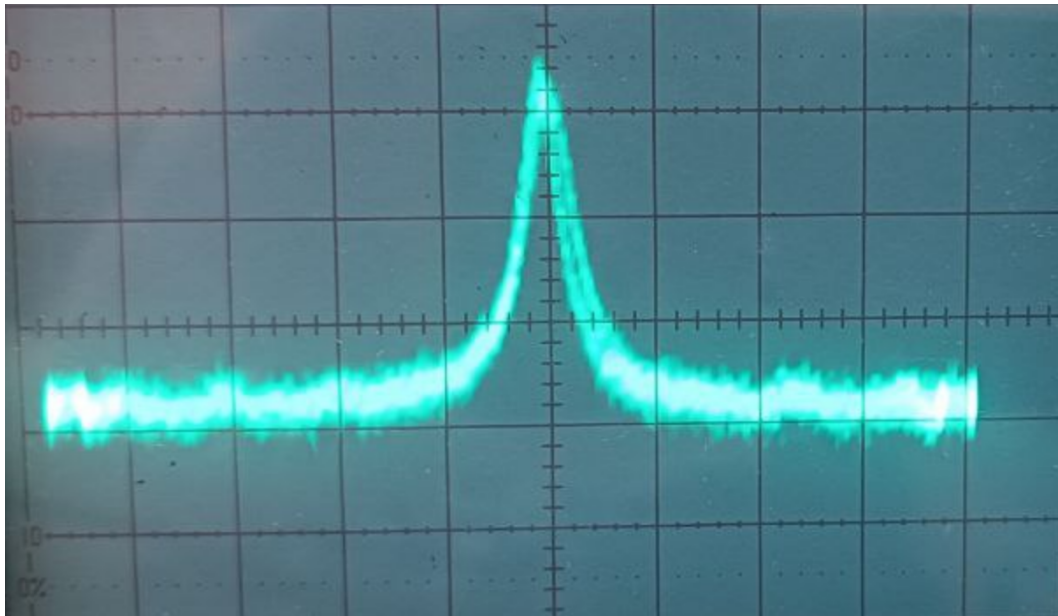


Рис. 3: Сигналы поглощения электронного парамагнитного резонанса при развертке луча осциллографа напряжением моделирующих катушек

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

$$A_0 = (9.0 \pm 0.2) \text{ дел.}, \quad A_{1/2} = (0.4 \pm 0.2) \text{ дел.}$$

При этом амплитуда поля измеряется так же, как и в первом пункте:

$$B_0 = (5.0 \pm 0.3) \text{ мТл.}$$

Отсюда, получим ширину линии ЭПР:

$$\Delta B = \frac{A_{1/2}}{A_0} B_0 \approx 0.2 \text{ мТл} \approx 2 \text{ Гс.}$$

## 5 Заключение

- Было экспериментально получено значение  $g$ -фактора электрона  $g = (2.0 \pm 0.1)$ . Полученное значение совпадает с теоретическим ( $g = 2$ ), значит ЭПР происходит на неспаренных электронах почти так же, как и на свободных.
- Ширина линии дифенилпикрилгидразида составляет около 2 Гс, что также совпадает с теоретическим значением.