

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 5.10.1  
**Электронный парамагнитный резонанс.**

Черняков Севастьян, Чирков Георгий  
Группа Б05-205

Долгопрудный, 2024 г.

**Цель работы:** Исследуется электронный парамагнитный резонанс в молекуле ДФПГ, определяется  $g$ -фактора электрона, измеряется ширина ЭПР.

## 1 Теоретическая часть

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

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

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:

$$\hbar\omega_0 = \Delta E. \quad (2)$$

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, определяемую формулой (2), 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 гиromагнитное отношение  $\gamma$  с помощью формулы

$$\mu = \gamma M. \quad (3)$$

Используя соотношения (1)-(3), нетрудно получить выражение для  $g$ -фактора через определяемые экспериментально величины:

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

## 2 Экспериментальная установка

Образец (порошок ДФПГ) в стеклянной ампуле помещается внутрь катушки индуктивности входящей в состав колебательного контура. Входящий в состав контура конденсатор состоит из двух пластин, разделенных воздушным зазором, одна из пластин может перемещаться поворотом штока. Колебания в контуре возбуждаются антенной, соединённой с генератором 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.

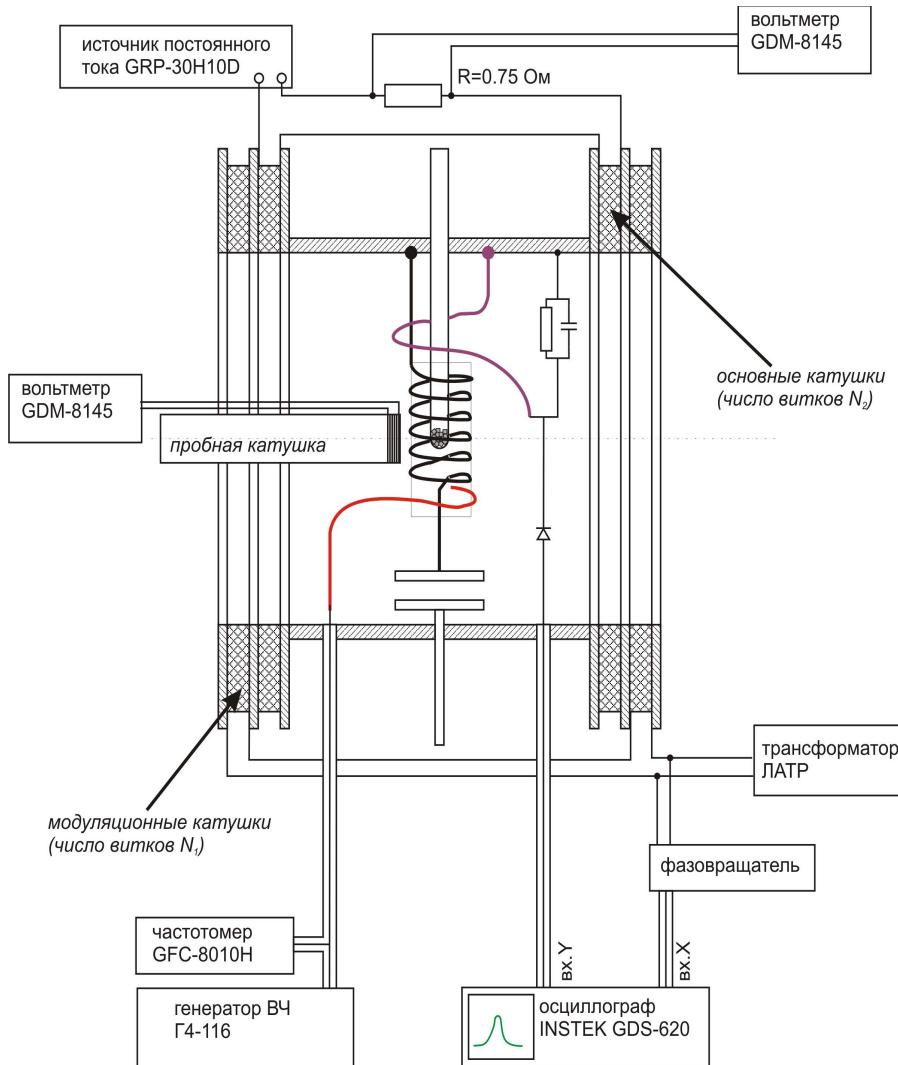


Рис. 1: Схема установки.

Постоянной магнитное поле создаётся пропусканием тока от источника постоянного тока через основные катушки. При этом при помощи вольтметра измеряется падение напряжения на резисторе в цепи основных катушек. Переменное поле небольшой амплитуды создаётся подачей на модуляционные катушки напряжения с регулируемого трансформатора ЛАТР. Для измерения амплитуды колебаний переменного поля используется пробная катушка известной геометрии, подключенная к вольтметру.

### 3 Обработка результатов

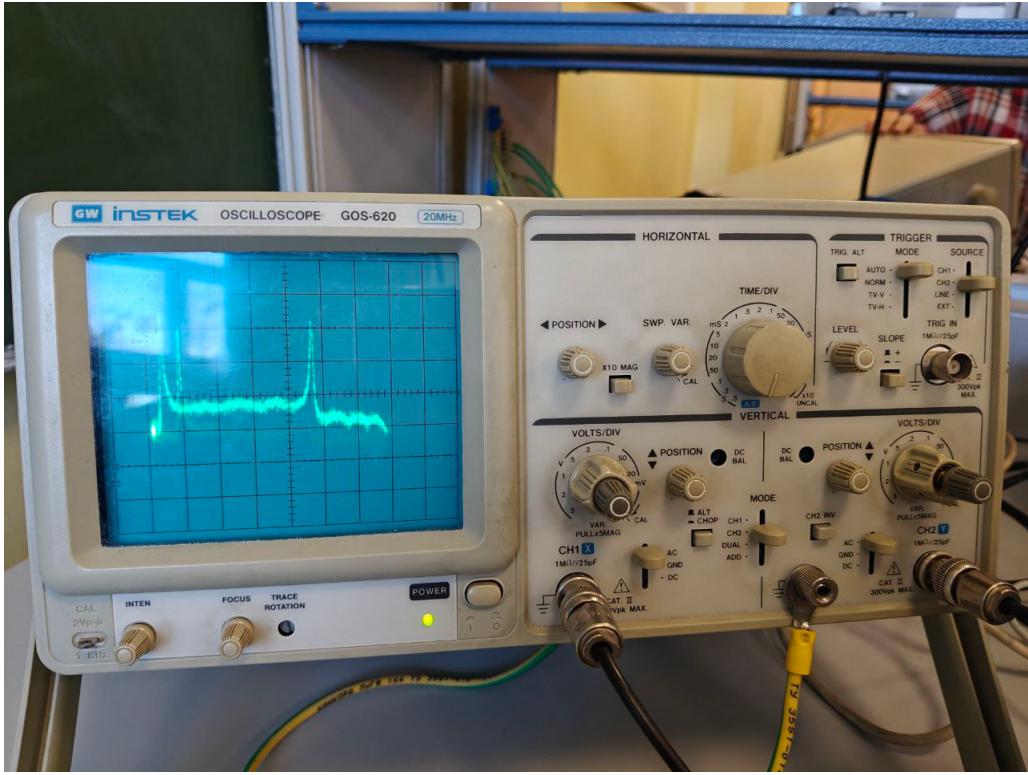


Рис. 2: полученное изображение

Настроим генератор на частоту колебательного конутра. Получаем резонансную частоту:

$$f_0 = (162.1 \pm 0,1) \text{ МГц.}$$

Подберем величину постоянного магнитного поля в катушках так, чтобы наблюдался сигнал резонанского поглощения. Для этого подадим на катушки достаточное напряжение.

Для более точной настройки и определения ширины линии резонансного поглощения будем наблюдать сигнал в  $XY$ -режиме. Запишем значение напряжения на резисторе в цепи основных катушек:

$$U_0 = (83,1 \pm 0,1) \text{ мВ.}$$

Определим ширину линии ЭПР (полуширина на полувысоте линии резонансного поглощения):

$$\Delta B = \frac{A_{1/2}}{A_{\text{полн}}} B_{\text{мод}},$$

где  $A_{\text{полн}}$  – полный размах модулирующего поля,  $A_{1/2}$  – ширина кривой на полувысоте,  $B_{\text{мод}}$  – амплитуда модулирующего поля.

$$A_{\text{полн}} = (7.0 \pm 0,1) \text{ дел, } A_{1/2} = (1,6 \pm 0,1) \text{ дел } B_{\text{мод}} = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon}{\pi^2 d^2 N \nu},$$

где  $\varepsilon$  – ЭДС индукции при внесении пробной катушки,  $N$  – число витков катушки,  $d$  – диаметр катушки,  $\nu$  – частота модулирующего напряжения.

Имеем:  $\underline{\Delta B = (0,19 \pm 0,01) \text{ мТл}}$

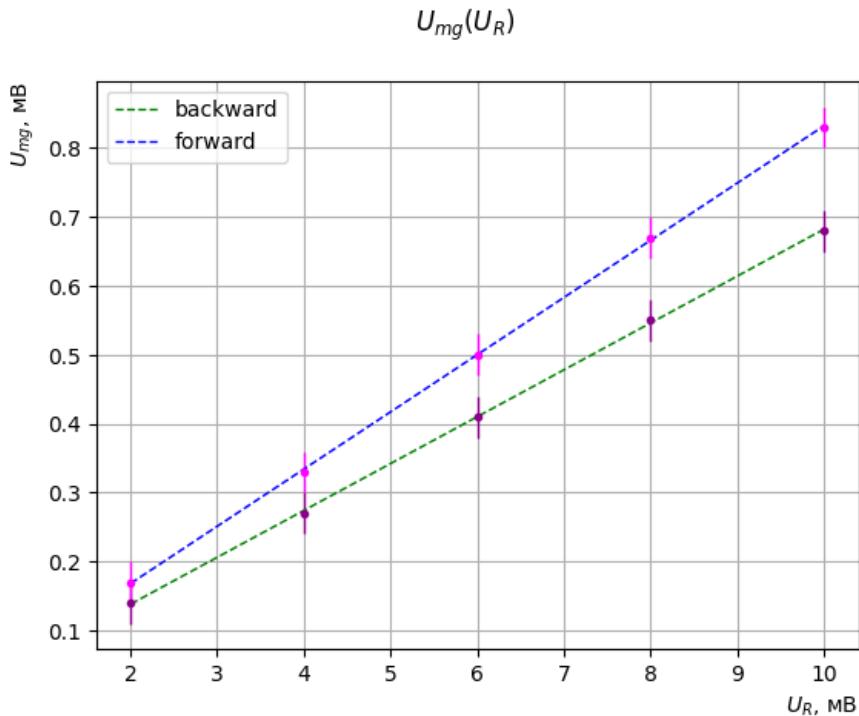


Рис. 3: Зависимость  $U_{mg}(U_R)$ .

Определим связь между падением напряжения на резисторе в цепи основных катушек и магнитным полем в центре магнита. Для этого построим график (рис. 3) зависимости ЭДС индукции в пробной катушке от падения напряжения в цепи основных катушек.

$U_R$ , мВ	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
$U_{\text{перед}}$ , мВ	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83
$U_{\text{зад}}$ , мВ	0.14	0.27	0.41	0.55	0.68

$k_{\text{перед}}$	$k_{\text{зад}}$
$0.83 \pm 0.03$	$0.68 \pm 0.03$

Таблица 1:  $U_{mg} = kU + b$ .

При  $U = U_0$  получаем значение  $\varepsilon_0 = (62,7 \pm 0,3)$  мВ. Формула для  $g$ -фактора имеет следующий вид:

$$g_{\text{exp}} = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 2,2 \pm 0,3,$$

$$g_{\text{th}} = 2,00231930436153$$

где

$$B_0 = \frac{\varepsilon_0}{2\pi\nu N \frac{\pi d^2}{4}} = (3.10 \pm 0,27) \text{ МГл.}$$

## **4 Обсуждение результатов и выводы**

В работе был экспериментально проверен эффект paramагнитного резонанса. Найдена полуширина линии резонансного поглощения. Также найден  $g$ -фактор свободного электрона в веществе, результат пределах погрешности совпал с табличным.