

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.

Серебренников Даниил
Группа Б02-826м

Долгопрудный, 2020 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 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:

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

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 μ электрона и его механическим моментом \mathbf{M} выражается через гиromагнитное отношение γ с помощью формулы

$$\mu = \gamma \mathbf{M}. \quad (3)$$

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.

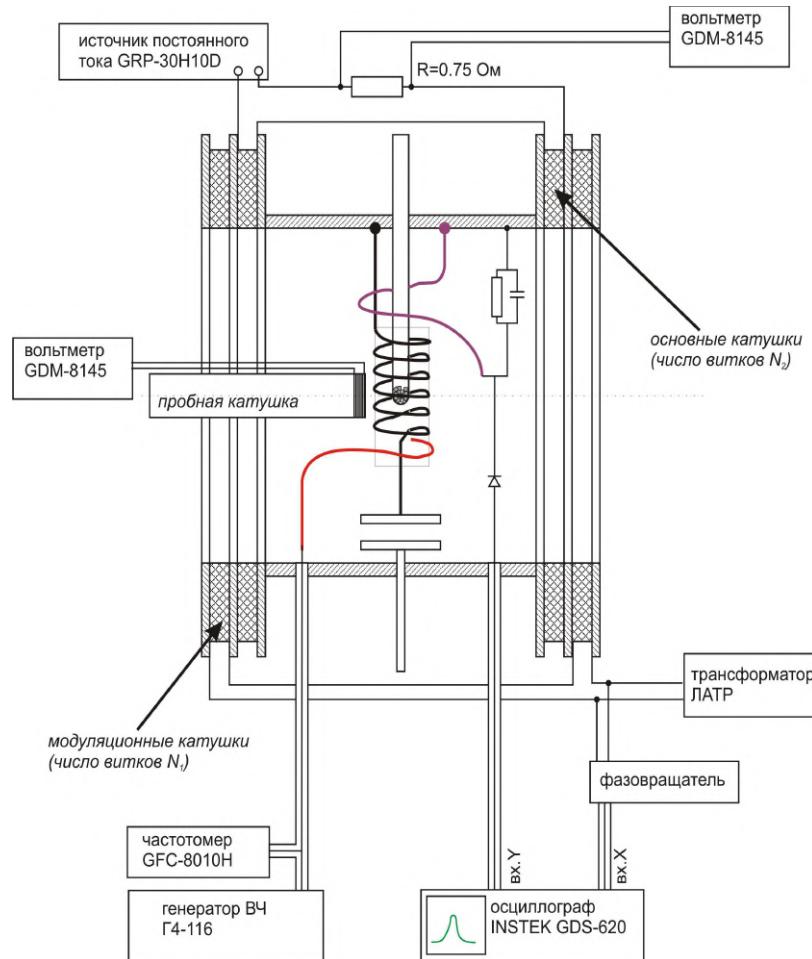


Рис. 1: Схема установки.

Постоянное 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

Настроим генератор на частоту колебательного конутра. Получаем резонансную частоту:

$$f_0 = (128, 97 \pm 0, 01) \text{ МГц.}$$

Запишем также частоты $f_{+1/2}$ и $f_{-1/2}$, при которых амплитуда сигнала падает в два раза:

$$f_{-1/2} = (128, 75 \pm 0, 01) \text{ МГц}, \quad f_{+1/2} = (129, 2 \pm 0, 01) \text{ МГц},$$

откуда добродатность:

$$Q = (286, 5 \pm 0, 5)$$

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:

$$U_0 = (92, 7 \pm 0, 1) \text{ мВ.}$$

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.

$$A_{\text{полн}} = (8, 2 \pm 0, 1) \text{ дел}, \quad A_{1/2} = (1, 5 \pm 0, 1) \text{ дел}$$

$$B_{\text{мод}} = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon}{\pi^2 d^2 N \nu},$$

где ε – ЭДС индукции при внесении пробной катушки, N – число витков катушки, d – диаметр катушки, ν – частота модулирующего напряжения.

Имеем:

$$\boxed{\Delta B = (0, 15 \pm 0, 01) \text{ мТл}.}$$

Определим связь между падением напряжения на резисторе в цепи основных катушек и магнитным полем в центре магнита. Для этого построим график (рис. 2) зависимости ЭДС индукции в пробной катушке от падения напряжения в цепи основных катушек.

Таблица 1: $\varepsilon(U) = aU + b$.

a	$b, \text{ мВ}$
$0, 132 \pm 0, 001$	$-1, 03 \pm 0, 01$

При $U = U_0$ получаем значение $\varepsilon_0 = (11, 0 \pm 0, 1) \text{ мВ}$. Формула для g -фактора имеет следующий вид:

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 2, 0 \pm 0, 1,$$

где

$$B_0 = \frac{\varepsilon_0}{2\pi\nu N \frac{\pi d^2}{4}} = (4, 45 \pm 0, 05) \text{ мТл.}$$

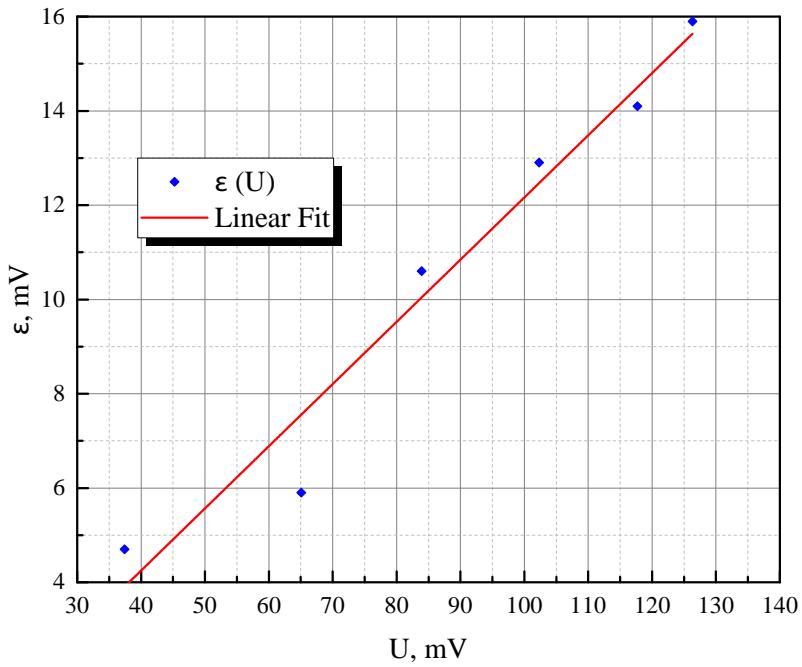


Рис. 2: Зависимость $\varepsilon = \varepsilon(U)$.

4 Обсуждение результатов и выводы

В настоящей работе был экспериментально проверен эффект парамагнитного резонанса. Определена добротность колебательного окнтура. Найдена полуширина линии резонансного поглощения. Получена зависимость ЭДС индукции на катушках от напряжения на резисторе. Также найдет g -фактор свободного электрона в веществе. Результаты по порядку величины в пределах погрешности совпали с табличными.

Заметим, что g -фактор, полученный из электронного парамагнитного резонанса в ДФПГ, всего на десятые доли процента отличается от g -фактора свободного электрона. Это обусловлено чисто чисто спиновым характером магнетизма в ДФП: парамагнитный резонанс на неспаренных электронах происходит почти как на свободных частицах.