

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5.10.1

## Электронный парамагнитный резонанс

Гришаев Григорий С01-119

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

## Теоретическое введение

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 гиромагнитное отношение  $\gamma$  с помощью формулы

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

А магнитный момент частицы, измеренный в магнитонах Бора, а механический - в  $\hbar$ , то их связь можно записать через  $g$ -фактор:

$$\frac{\mu}{\mu_B} = \frac{M}{\hbar} \quad (4)$$

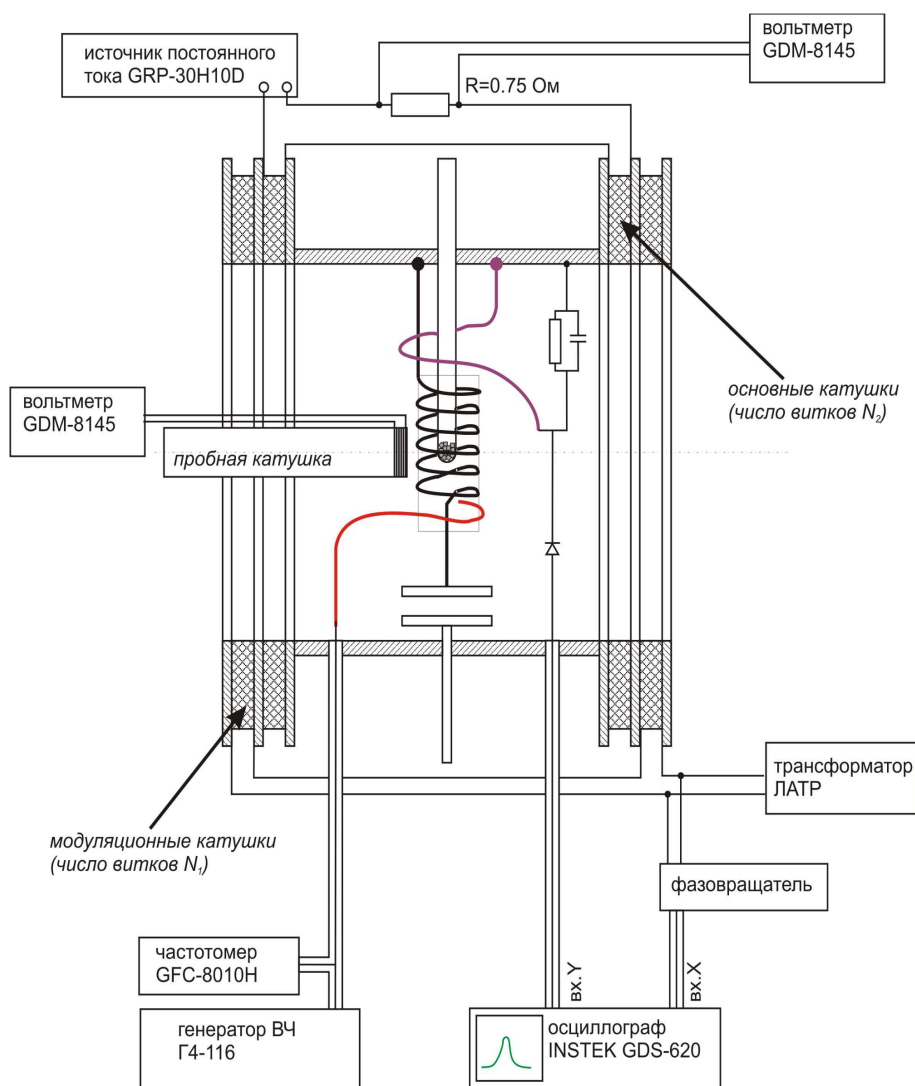
Используя соотношения (1)-(4), нетрудно получить выражение для  $g$ -фактора через определяемые экспериментально величины:

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

# 1 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) АКПП-3417. 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.

## Ход работы

Запишем параметры катушек в Таблицу 1:

Катушка	$N$	$D$ , см
Основная	6700	25
Модуляционная	5000	30
Пробная	45	$1.52 \pm 0.01$

Таблица 1: Параметры катушек.

## Резонанс

Настроим генератор на частоту колебательного контура. Получаем резонансную частоту:

$$f_0 = (162.79 \pm 5 \times 10^{-5}) \text{ МГц.}$$

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

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

$$U_0 = (128.47 \pm 0.39) \text{ мВ.}$$

Измерим и запишем  $\varepsilon$  для пробной катушки:  $\varepsilon = (14.35 \pm 0.04) \text{ мВ.}$

## Ширина линии поглощения

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.

$$A_{\text{полн}} = (5.6 \pm 0.2) \text{ дел, } A_{1/2} = (1 \pm 0.2) \text{ дел, } \varepsilon = (1.4 \pm 4.2 \times 10^{-3}) \text{ мВ}$$

$$B_{\text{мод}} = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon}{\pi^2 d^2 N \nu} = (0.77 \pm 0.02) \text{ мТл,}$$

где  $\varepsilon$  – ЭДС индукции при внесении пробной катушки,  $N$  – число витков катушки,  $d$  – диаметр катушки,  $\nu$  – частота модулирующего напряжения (50 Гц).

Имеем:

$$\Delta B = (0.275 \pm 0.061) \text{ мТл.}$$

## Калибровка основной катушки

Определим связь между падением напряжения на резисторе в цепи основных катушек и магнитным полем в центре магнита. Результаты занесем в Таблицу 2:

Методом наименьших квадратов найдем коэффициент пропорциональности между напряжением на основных катушках и напряжением на пробной катушке:

$$k = 0.112 \pm 0.014$$

$U$ , мВ	111.64	128.47	142.75
$\varepsilon$ , мВ	12.5	14.35	15.95

Таблица 2: Калибровочные измерения.

Рассчитав поле, создаваемое основными катушками,

$$B_0 = \frac{4kU_0}{2\pi\nu N\pi d^2} = (5.6 \pm 0.7)\text{мТл.}$$

Найдем  $g$ -фактор электрона:

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 2.077 \pm 0.21$$

## Вывод

В данной работе был исследован ЭПР в молекулеДФПГ, определяется  $g$ -фактор электрона  $\mathbf{g} = 2.077 \pm 0.21$ , а также измерена ширина линий ЭПР  $\Delta B = 0.275 \pm 0.061$  мТл. Измеренный  $g$ -фактор электрона совпадает с табличным значением для свободного электрона:  $\mathbf{g}_{free} = 2,0$ . Это обусловлено тем, что ЭПР происходит на неспаренных электронах так же, как на свободных.