

---

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 5.10.1

---

# Электронный парамагнитный резонанс

---

**Автор:**

Филиппенко Павел Б01-009



Долгопрудный, 2022

**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  $\mathbf{M}$  выражается через гиромагнитное отношение  $\gamma$  с помощью формулы

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

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

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

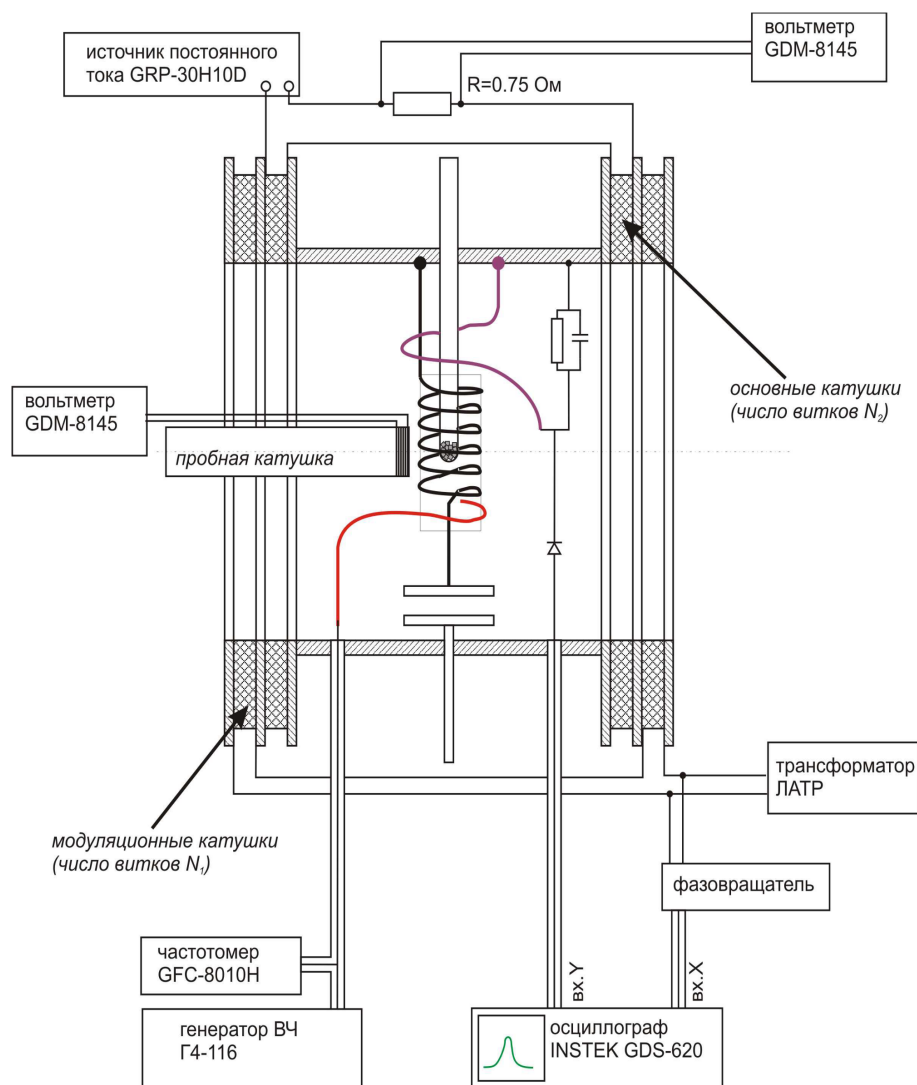
Используя соотношения (1)-(4), нетрудно получить выражение для  $g$ -фактора через определяемые экспериментально величины:

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

# 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) 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.

## Ход работы

Запишем параметры катушек в Таблицу 1:

Катушка	$N$	$D$ , см
Основная	6700	$25 \pm 1$
Модуляционная	5000	$30 \pm 1$
Пробная	45	$1.52 \pm 0.01$

Таблица 1: Параметры катушек.

## Резонанс

Настроим генератор на частоту колебательного контура. Получаем резонансную частоту:

$$f_0 = (164 \pm 1) \text{ МГц.}$$

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:

$$U_0 = (130 \pm 1) \text{ мВ.}$$

## 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.

$$A_{\text{полн}} = (10 \pm 0.2) \text{ дел, } A_{1/2} = (3 \pm 0.2) \text{ дел}$$

$$B_{\text{мод}} = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon}{\pi^2 d^2 N \nu} = 0.75 \pm 0.05 \text{ мТл,}$$

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

Имеем:

$$\Delta B = (0.22 \pm 0.02) \text{ мТл.}$$

## Калибровка основной катушки

Определим связь между падением напряжения на резисторе в цепи основных катушек и магнитным полем в центре магнита. Поле в центре будем измерять, поднося пробную катушку. Результаты занесем в Таблицу 2:

По полученным данным построим калибровочный график (считаем, что он проходит через начало координат) и определим коэффициент наклона.

Значение коэффициента наклона

$V_R$ , мВ	3.52	5.35	7.14	8.90	10.53
$V$ , мВ	0.44	0.65	0.85	1.07	1.255

Таблица 2: Калибровочные измерения.

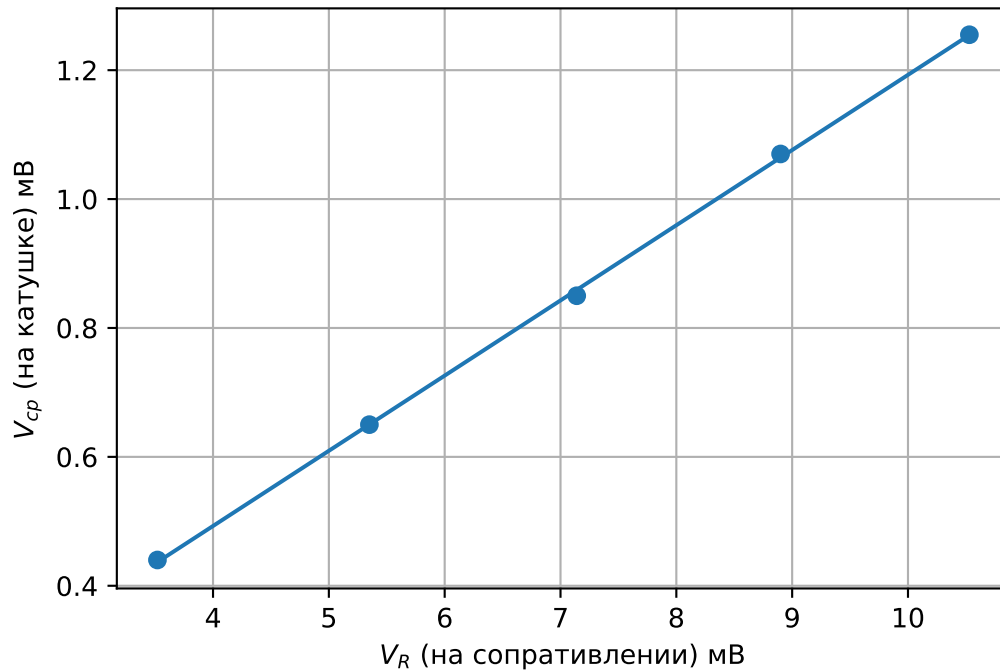


Рис. 2: Калибровочный график

$$k = (11.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-2}$$

Для упрощения расчетов будем считать, что  $k \approx 0.12$ .

Рассчитав поле, создаваемое основными катушками,

$$B_0 = \frac{4kU_0}{2\pi\nu N\pi d^2} = (6.1 \pm 0.1) \text{ мТл.}$$

Найдем  $g$ -фактор электрона:

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 1.9 \pm 0.1$$

## Вывод

В данной работе был исследован ЭПР в молекуле ДФПГ, определяется  $g$ -фактор электрона  $g = 1.9 \pm 0.1$ , а также измерена ширина линий ЭПР  $\Delta B = 0.22 \pm 0.2$  мТл.

Измеренный  $g$ -фактор электрона совпадает с табличным значением для свободного электрона:  $g = 2.0$ . Это обусловлено тем, что ПР происходит на неспаренных электронах так же, как на свободных.