

Электронный парамагнитный резонанс

(5.10.1)

Манро Эйден Б01-3036

Цель работы: Исследуется электронный парамагнитный резонанс в молекуле ДФ-ПГ, определяется g -фактор электрона, измеряется ширина ЭПР.

Теоретическая часть

Внешнее магнитное поле с индукцией B приводит к расщеплению исходного энергетического уровня электрона на два подуровня. Разность энергий между ними выражается соотношением

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

где μ обозначает модуль проекции магнитного момента на направление магнитного поля.

Между этими состояниями возможны квантовые переходы. Они могут быть индуцированы приложенным переменным электромагнитным полем высокой частоты, если его направление и частота удовлетворяют условиям резонанса.

Резонансная частота ω_0 определяется условием

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

При переходе электрона на более высокий уровень он поглощает квант энергии электромагнитного излучения, а при обратном переходе испускает такой же квант. Явление возбуждения этих переходов внешним полем с частотой, задаваемой формулой (2), называется электронным парамагнитным резонансом (ЭПР).

В данной работе ставится задача зарегистрировать сигнал ЭПР на образце кристаллического дифенилпикрилгидразила (ДФПГ) и вычислить g -фактор электрона. Связь между магнитным моментом μ и механическим моментом \mathbf{M} задаётся гиромагнитным отношением γ :

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

Если магнитный момент выражается в магнетонах Бора, а механический — в единицах \hbar , то это соотношение принимает вид

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

Комбинируя выражения (1)–(4), получаем итоговую формулу для определения g -фактора через параметры, доступные эксперименту:

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

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.

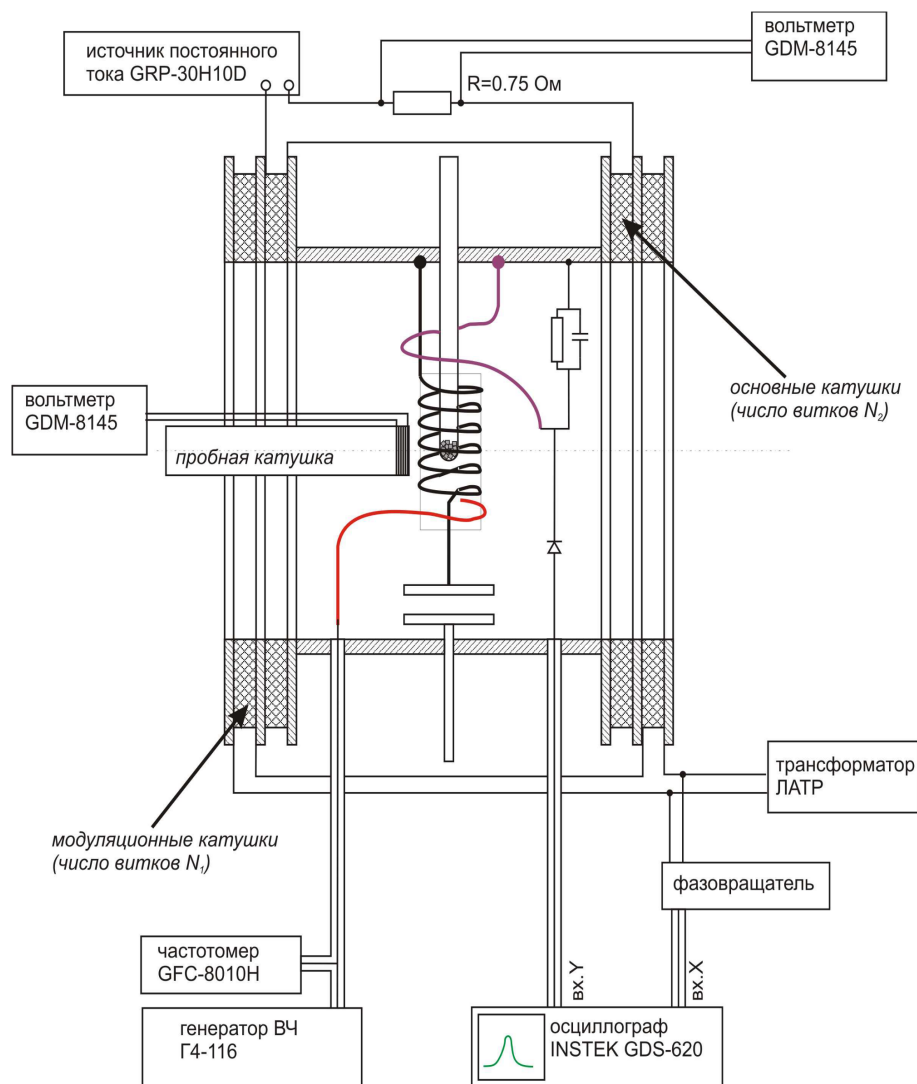


Рис. 1: Схема установки

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

Резонанс

Настроим генератор на частоту колебательного контура. Получаем резонансную частоту:

$$f_0 = (163 \pm 1) \text{ МГц.}$$

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:

$$U_0 = (129 \pm 1) \text{ мВ.}$$

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

$$A_{\text{полн}} = (6.0 \pm 0.1) \text{ дел, } A_{1/2} = (1.0 \pm 0.1) \text{ дел}$$

$$\Delta B = (0.13 \pm 0.02) \text{ мТл}$$

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 к основным с двух сторон - спереди и сзади.

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

$$k = 0.113 \pm 0.001$$

Рассчитав поле, создаваемое основными катушками,

$$B_0 = \frac{kU_0}{\omega_0 N S} = (5.1 \pm 0.1) \text{ мТл.}$$

Найдем g -фактор электрона:

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 2.0 \pm 0.2$$

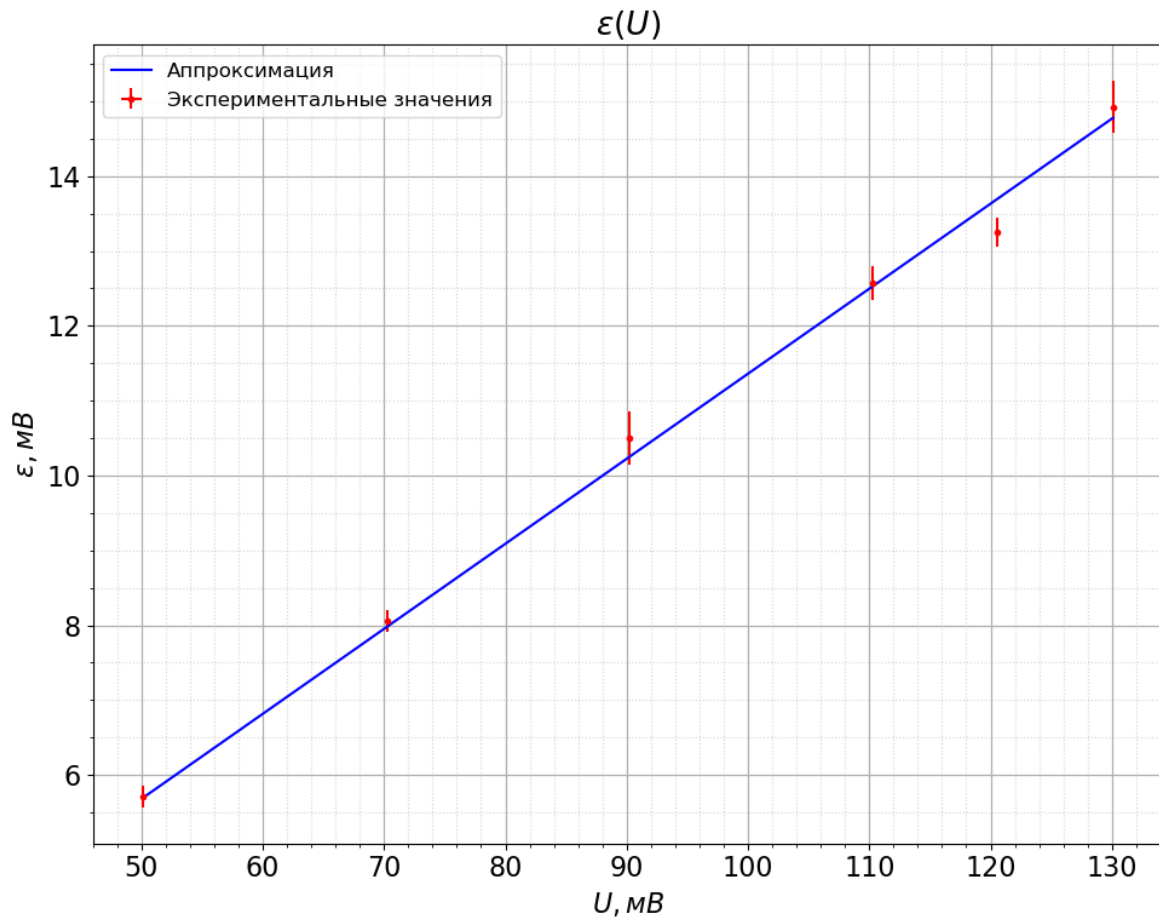


Рис. 2: График зависимости ЭДС индукции в пробной катушке от падения напряжения на резисторе в цепи питания катушки

Вывод

В ходе лабораторной работы был экспериментально исследован эффект электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). На кристалле ДФПГ удалось зарегистрировать резонансный сигнал, возникающий при совпадении частоты внешнего электромагнитного поля с собственной частотой перехода электрона между магнитными подуровнями.

Эксперимент подтвердил, что расщепление энергетических уровней электрона в магнитном поле описывается формулой

$$\Delta E = 2\mu B,$$

а условие резонанса удовлетворяет соотношению

$$\hbar\omega_0 = \Delta E.$$

По результатам измерений была определена величина g -фактора электрона. Полученное значение оказалось близким к табличному ($g \approx 2.0$), что свидетельствует о правильности методики и точности эксперимента.

Практическая часть работы показала:

1. Электронный парамагнитный резонанс является надёжным методом изучения магнитных свойств веществ. 2. Кристалл ДФПГ является удобным эталонным образцом для регистрации ЭПР-сигнала благодаря наличию неспаренных электронов. 3. Используемая установка позволяет определить резонансное магнитное поле и частоту возбуждающего сигнала, на основе которых вычисляется g -фактор.

Таким образом, в работе была достигнута основная цель: получен сигнал ЭПР и экспериментально подтверждена связь между частотой резонансного перехода и величиной магнитного поля. Это позволило рассчитать значение гиромагнитного отношения электрона и убедиться в его согласии с теоретическими данными.