

Лабораторная работа 5.10.1. Электронный парамагнитный резонанс.

Вязовцев Андрей, Б01-009

16.11.22

Цель работы: исследовать электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) в молекуле дифенилпикрилгидразила (ДФПГ), определить g -фактор электрона, измерить ширина линий ЭПР.

Теоретическая справка:

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 гиромагнитное отношение γ 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:

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

Экспериментальная установка:

В работе исследуется ЭПР в дифенилпикрилгидразиле, сокращённо обозначаемом ДФПГ (DPPH в англоязычной литературе). Химическая формула этого соединения $C_{18}H_{12}N_5O_6$, молярная масса 394 г/моль.

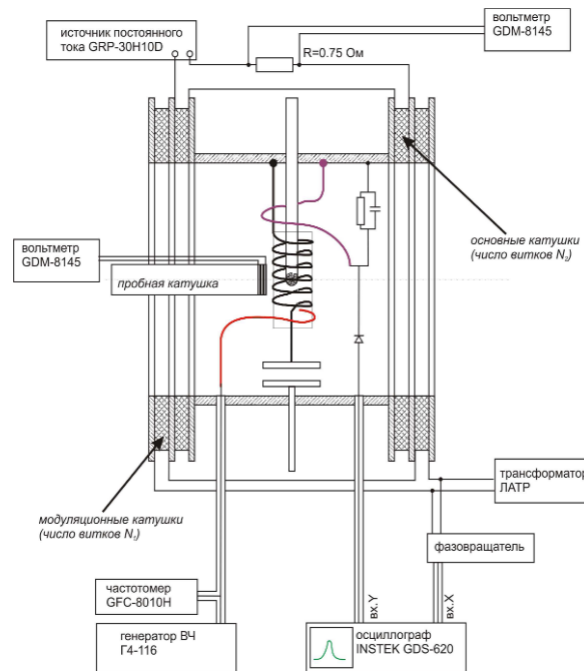


Рис. 1. Схема установки

Ход работы:

1. Перед началом работы запишем параметры установки (см. табл. 1).

Катушка	N	D , мм
Основная	1500	230 ± 10
Модуляционная	4500	290 ± 10
Пробная	45	14.5 ± 0.1

Таблица 1. Параметры катушки

2. Включим установку. Настроим генератор на частоту колебательного контура. Получаем резонансу частоту:

$$f_0 = 125 \pm 1 \text{ МГц}$$

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:

$$U_0 = (126 \pm 1) \text{ мВ}$$

3. 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.

$$A_{\text{полн}} = (10 \pm 0.2) \text{ дел}, \quad A_{1/2} = (3.2 \pm 0.2) \text{ дел}$$

$$B_{\text{мод}} = \sqrt{2} \frac{2\varepsilon}{\pi^2 d^2 N \nu} = (0.39 \pm 0.02) \text{ мТл},$$

где ε – ЭДС индукции при внесении пробной катушки, N – число витков катушки, d – диаметр катушки, ν – частота модулирующего напряжения (50 Гц).

Имеем:

$$\Delta B = (0.12 \pm 0.01) \text{ мТл}$$

4. 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. В качестве значения поля возьмем среднее этих величин. Результаты занесем в Таблицу 2:

V_R , мВ	126.0	20.0	40.7	60.0	80.0	100.5	120.7	140.2	160.0
$V_{\text{перед}}$, мВ	10.66	1.69	3.45	5.1	6.79	8.54	10.2	11.78	13.5
$V_{\text{зад}}$, мВ	10.88	1.67	3.46	5.12	6.97	8.56	10.24	11.88	13.58
$V_{\text{сред}}$, мВ	10.77	1.68	3.455	5.11	6.88	8.55	10.22	11.83	13.54

Таблица 2. Калибровочные измерения

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

$$k = 0.0846 \pm 0.0004$$

Рассчитав поле, создаваемое основными катушками,

$$B_0 = \frac{4kU_0}{2\pi\nu N\pi d^2} = (4.6 \pm 0.3) \text{ мТл}$$

Найдем g -фактор электрона:

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B_0} = 1.94 \pm 0.12$$

Вывод:

В данной работе был исследован ЭПР в молекуле ДФПГ, определяется g -фактор электрона $g = 1.94 \pm 0.12$, а также измерена ширина линий ЭПР $\Delta B = (0.12 \pm 0.01) \text{ мТл}$. 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.