

Электронный парамагнитный резонанс

Шмаков Владимир Б04-105

Цель работы

- Определить фактор Ланде электрона
- Измерить ширину электронного парамагнитного резонанса

Теоретические сведения

В 1896 году Питер Зееман открыл эффект расщепления атомных линий в присутствии магнитного поля. Энергетический уровень электрона в присутствии магнитного поля расщепляется на два подуровня, расстояние между которыми $\Delta E = 2\mu H$ (μ - проекция магнитного момента на направление поля).

Переходы между этими уровнями могут возбуждаться высокочастотным магнитным полем, если оно имеет нужную частоту $hf_0 = \Delta E$ и нужное направление.

Эффект возбуждения электронных резонансных переходов внешним полем носит название *электронного парамагнитного резонанса* (далее ЭПР).

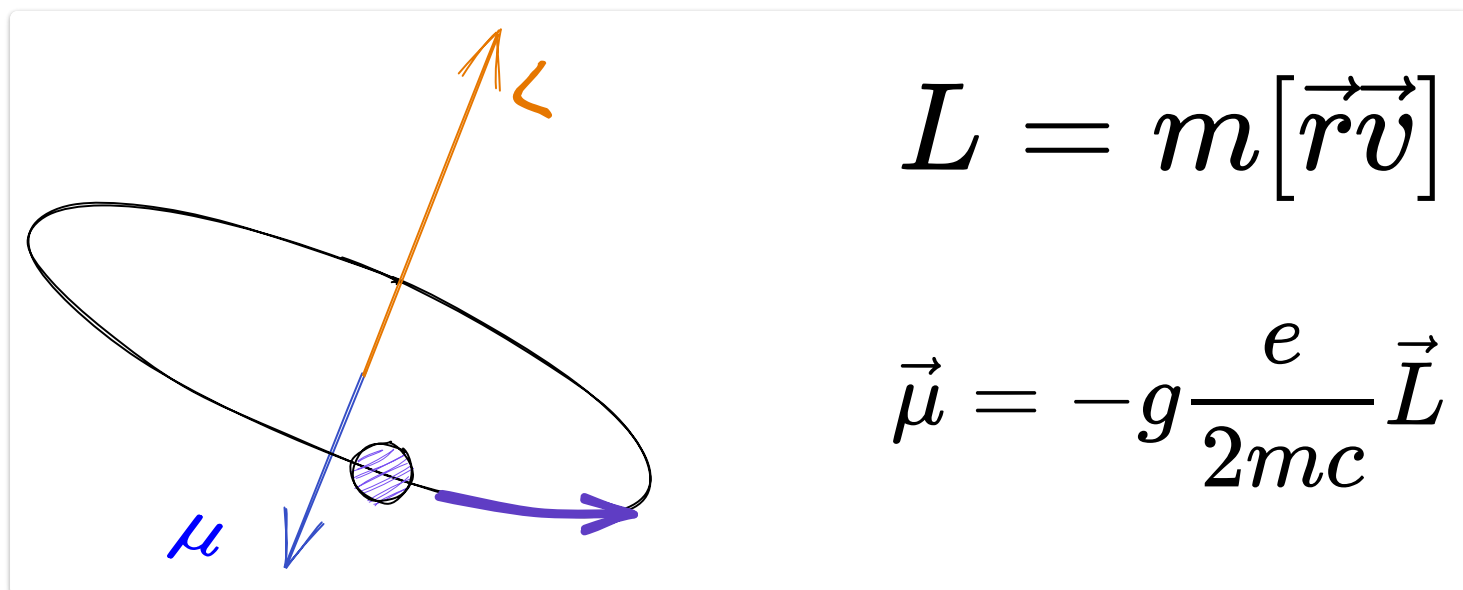


Рисунок 1. Гиромагнитное соотношение

Фактор Ланде (g - фактор) позволяет связать момент импульса электрона, и его магнитный момент. Данная связь носит название гиромагнитного соотношения (формула 1):

$$\vec{\mu} = -g \frac{e}{2mc} \vec{L} \quad (1)$$

Выражение для фактора Ланде при парамагнитном резонансе представлено на формуле (2).

$$g = \frac{hf_0}{\mu_B B} \quad (2)$$

Оборудование

- Высокочастотный генератор
- 2 вольтметра
- Блок питания
- Фазовращатель
- Осциллограф
- Модуляционные и пробная катушки

Экспериментальная установка

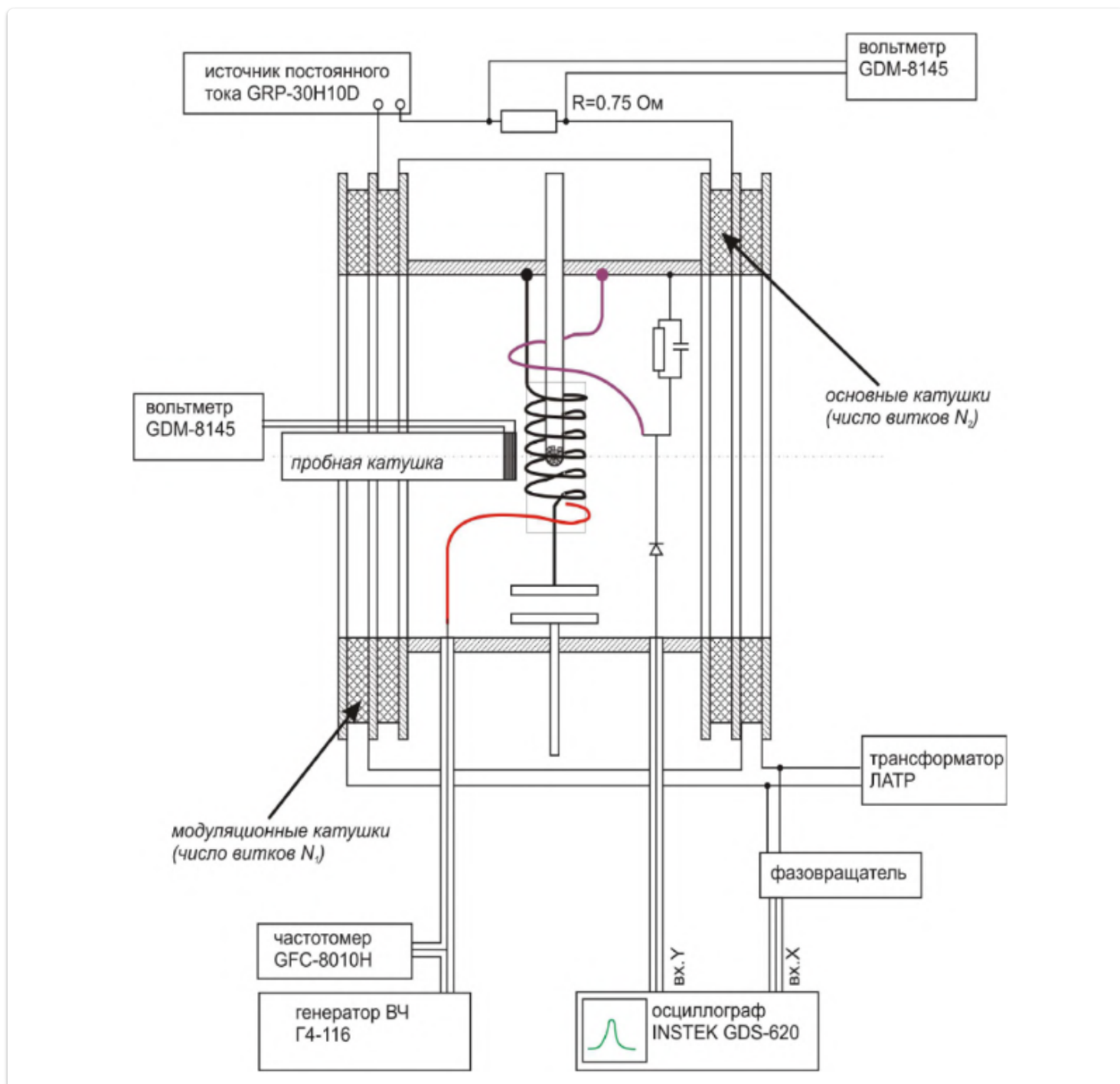


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки

Схема установки показана на рисунке 2. Переменное электромагнитное поле на частоте ~100 МГц создаётся высокочастотным генератором, постоянное магнитное поле

создаётся электромагнитом. Поглощаемая мощность пропорциональна квадрату амплитуды переменного поля. Для увеличения чувствительности эксперимента образец помещают в катушку индуктивности колебательного контура. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и плоского конденсатора. Ёмкость конденсатора на некоторых установках может изменяться подстройкой расстояния между пластинами при помощи штока. Генератор высокой частоты не соединён с контуром непосредственно: для возбуждения колебаний в контуре служит электродинамическая связь в виде антенны, соединённой с выходом генератора. Излучаемое антенной электромагнитное поле возбуждает колебания в контуре. Для определения амплитуды этих вынужденных колебаний рядом с катушкой индуктивности контура расположен виток приёмной катушки детектора. Колебания магнитного поля в катушке индуктивности наводят ЭДС индукции в этом витке.

Для создания магнитного поля используется электромагнит, состоящий из пары разнесённых катушек. Ток через электромагнит контролируется по падению напряжения на резисторе, включённом в цепь питания катушек. Дополнительно к основным катушкам имеется пара модуляционных катушек, в которые могут создавать переменное поле малой амплитуды. Для создания переменного поля к катушкам прикладывается напряжение с трансформатора ЛАТР, частота колебаний переменного поля соответствует частоте колебаний напряжения в сети переменного тока. Калибровка электромагнита осуществляется по измерению наводимой ЭДС индукции в пробной катушке известной геометрии при подаче переменного тока в соответствующие катушки.

Обработка результатов эксперимента

Определение ширины линии резонансного поглощения

Изображение осциллограммы сигнала резонансного поглощения изображено на рисунке 3.

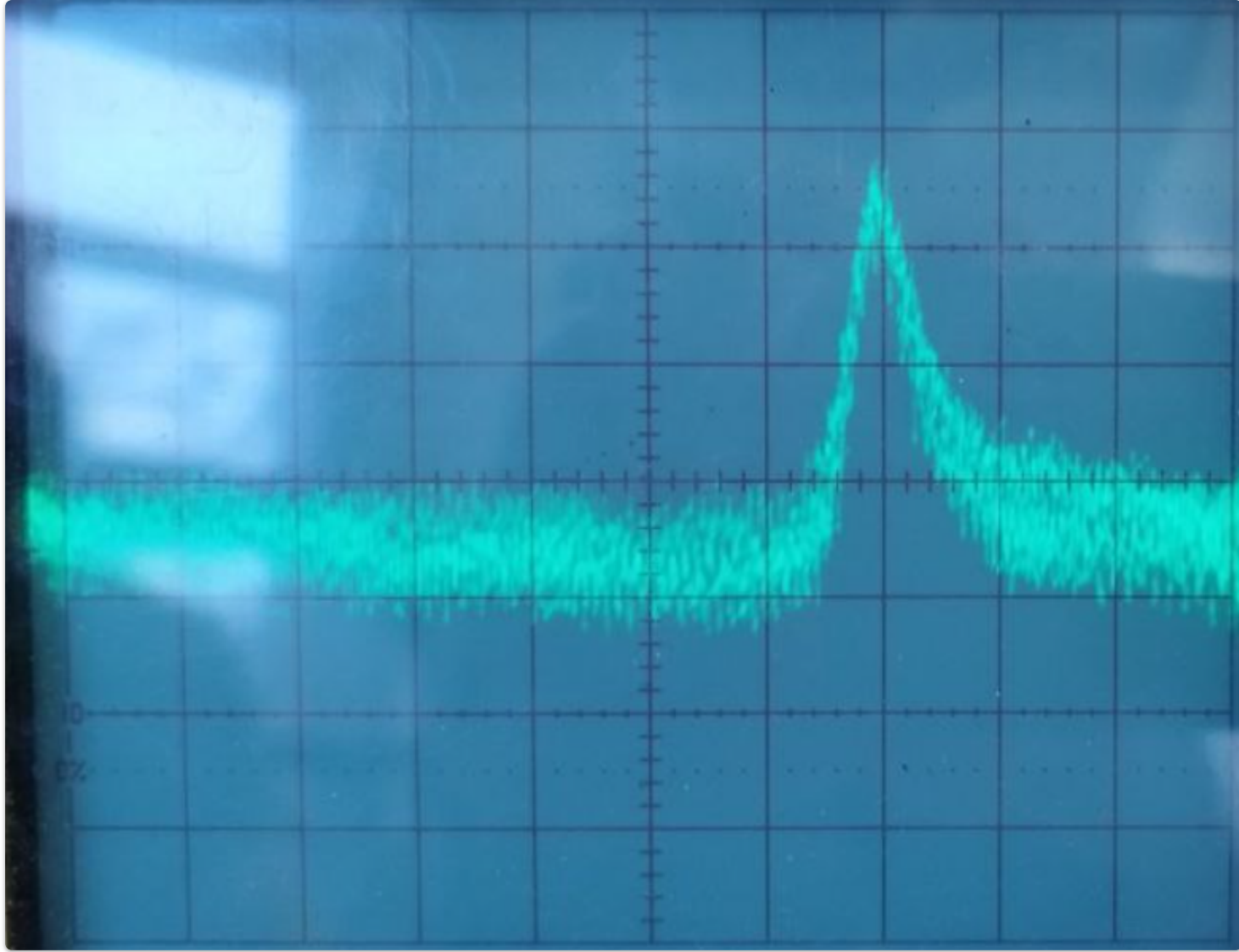


Рисунок 3. Осциллограмма сигнала резонансного поглощения.

Используя программу `plot digitalizer`, оцифруем полученный сигнал. Методом максимального правдоподобия приблизим резонансный пик функции плотности нормального распределения. Результаты приближения изображены на рисунке 4.



Рисунок 4. Приближение оцифрованной осциллограммы.

Найдём ширину резонансного пика, для этого воспользуемся формулой:

$$A_{0.5} = 2\sigma\sqrt{2\ln(2)} \sim 0.72 \text{ дел.} \quad (3)$$

Полную ширину кривой определим по графику. Она оказалась равной $A \sim 10 \text{ дел.}$

ЭДС индукции пробной катушки в поле модуляционных катушек оказался равным $e_1 = 1.55 \pm 0.1 \text{ мВ.}$

Таким образом, амплитуда модулирующего поля оказывается равной:

$$B_{\text{мод}} = \frac{2\sqrt{2}e_1}{\pi^2 d_{np}^2 N_{np} \nu} \sim 1.7 \pm 0.12 \text{ мТл} \quad (4)$$

А значит ширина линии резонансного поглощения:

$$\Delta B = \frac{A_{0.5} B}{A} \sim 0.12 \pm 0.01 \text{ мТл} \quad (5)$$

Нахождение фактора Ланде

Воспользовавшись вспомогательной катушкой определим величину постоянного поля:

$$e_0 = \frac{V_i}{V_r} U \sim 11.9 \pm 0.1 \text{ мВ}$$

V_i - напряжение падающее на катушке, V_r - напряжение падающее на сопротивлении, U - напряжение на ЛАТРе

По формуле (4) найдём постоянную составляющую магнитного поля: $B_0 = 5.6 \pm 0.2 \text{ мТл.}$

Подставив резонансную частоту $f_0 = 161.92 \text{ мГц}$ в формулу (2), получим $g = 2.0 \pm 0.1$.

Вывод

1. В ходе эксперимента удалось познакомиться с явлением ЭПР.
2. Была оценена ширина линии резонансного пика поглощения. Теоретических выкладок дающих значение данной величины для исследуемого образца найдено не было.
3. Найденное значение фактора Ланде совпало с табличным.