

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

## Лабораторная работа 3.4.2

Закон Кюри-Вейсса

Выполнил:

Гисич Арсений

Б03-102

Долгопрудный

2022

# 1 Аннотация

В данной работе проводится исследование зависимости магнитной восприимчивости гадолиния, который является ферромагнетиком, от температуры. Исследование приведено для температур от 14 до 40 °С. На основании этой зависимости вычисляется точка Кюри гадолиния.

## 2 Теоретические сведения

Вещества с отличными от нуля атомными магнитными моментами обладают парамагнитными свойствами. Внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты, которые в отсутствие поля располагались в пространстве хаотическим образом. Однако при  $T \rightarrow 0$  тепловое движение всё меньше препятствует магнитным моментам атомов ориентироваться в одном направлении при сколь угодно слабом внешнем поле. В ферромагнетиках – под влиянием обменных сил – это происходит при понижении температуры не до абсолютного нуля, а до температуры Кюри  $\Theta$ . Оказывается, что у ферромагнетиков магнитная восприимчивость должна удовлетворять закону Кюри-Вейсса:

$$\chi \propto \frac{1}{T - \Theta_p},$$

где  $\Theta_p$  – температура, близкая к температуре Кюри, так как при  $T \approx \Theta$  формула (2) недостаточна точна.

## 3 Методика измерений

Экспериментальная установка. Схема установки для проверки Закона Кюри-Вейсса показана на рис. 1. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) расположен внутри пустотелой катушки самоиндукции, которая служит индуктивностью колебательного контура, входящего в состав  $LC$ -автогенератора.

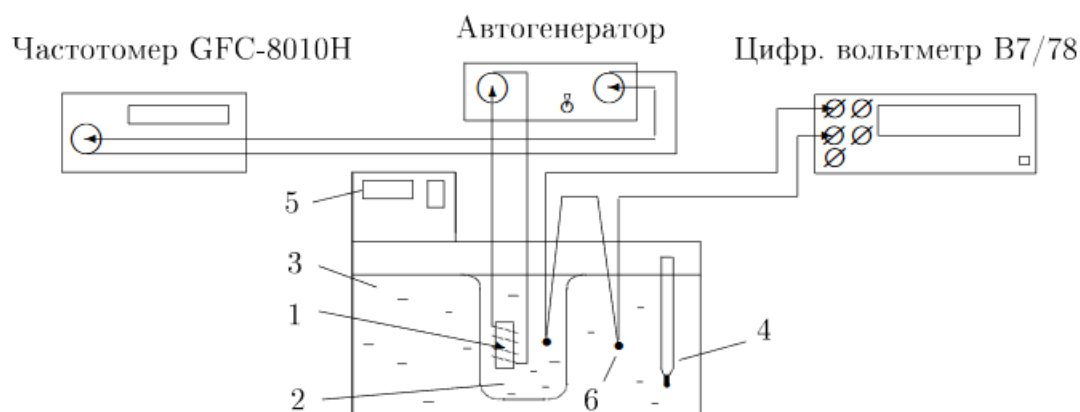


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Гадолиний является хорошим проводником электрического тока, а рабочая частота генератора достаточно велика ( $\sim 50$  кГц), поэтому для уменьшения вихревых токов образец изготовлен из мелких кусочков размером  $\sim 0,5$  мм. Катушка 1 с образцом помещена в стеклянный сосуд 2, залитый трансформаторным маслом. Масло предохраняет образец от окисления и способствует ухудшению электрического контакта между отдельными

частичками образца. Кроме того, оно улучшает тепловой контакт между образцом и термостатируемой (рабочей) жидкостью 3 в термостате. Ртутный термометр 4 используется для приближённой оценки температуры. Температура образца регулируется с помощью термостата 5.

Магнитная восприимчивость образца  $\chi$  определяется по изменению самоиндукции катушки. Обозначив через  $L$  самоиндукцию катушки с образцом и через  $L_0$  – её самоиндукцию в отсутствие образца, получим

$$(L - L_0) \propto \chi.$$

При изменении самоиндукции образца меняется период колебаний автогенератора:

$$\tau = 2\pi\sqrt{LC},$$

где  $C$  – ёмкость контура автогенератора. Период колебаний в отсутствие образца определяется самоиндукцией пустой катушки:

$$\tau_0 = 2\pi\sqrt{L_0C}.$$

Итак, закон Кюри-Вейсса справедлив, если выполнено соотношение:

$$\frac{1}{\chi} \propto (T - \Theta_p) \propto \frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}.$$

Измерения проводятся в интервале температур от 14 °С до 40 °С.

## 4 Используемое оборудование

1. катушка самоиндукции с образцом из гадолиния;
2. термостат;
3. частотомер;
4. цифровой вольтметр;
5.  $LC$ -автогенератор;
6. термопара медь-константан;

## 5 Результаты измерений и обработка данных

## 6 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе был исследован спектральный состав периодических электрических сигналов.

При исследовании спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов при фиксированных параметрах  $\nu_{ном}$  и  $\tau$  были измерены амплитуды и частоты первых 6 гармоник (таб. 1). Измеренные значения соответствуют рассчитанным теоретически. Также была измерена зависимость ширины спектра  $\Delta\nu$  от времени импульса  $\tau$ . Из полученной зависимости (рис. ??) следует:

$$\Delta\nu \cdot \tau \simeq 1,01 \pm 0,01,$$

$n$	$\nu_m, \kappa\Gamma\psi$	$a_m$	$\text{норм}(a_m)$	$\nu_{изм}, \kappa\Gamma\psi$	$\delta_{\nu_{изм}}, \kappa\Gamma\psi$	$a_{изм}, мВ$	$\delta_{a_{изм}}, мВ$	$\text{норм}(a_{изм})$
1	1	144,51	8,81	1,00	0,02	820	2	8,54
2	2	128,76	7,85	2,00	0,02	736	2	7,67
3	3	104,80	6,39	3,00	0,02	600	2	6,25
4	4	75,68	4,62	4,00	0,02	432	2	4,50
5	5	45,02	2,75	5,00	0,02	264	2	2,75
6	6	16,39	1	6,00	0,02	96	2	1

Таблица 1: Результаты теоретического расчёта и измерений амплитуд и частот первых 6 гармоник спектра

что соответствует соотношению неопределённостей в рамках погрешности. Основной вклад в погрешность вносит определение коэффициента зависимости, так как благодаря использованию цифровых приборов другие источники погрешности отсутствуют или их влияние несущественно.

При исследовании спектра периодической последовательности цугов была измерена зависимость расстояния  $\delta\nu$  между соседними спектральными компонентами сигнала от периода  $T$  повторения импульсов. Из полученной зависимости (рис. ??) следует:

$$\delta\nu \cdot \tau \simeq 0,95 \pm 0,01,$$

что близко к соотношению неопределённостей. Здесь основной вклад в погрешность также вносит определение коэффициента зависимости.

При исследовании спектра амплитудно-модулированного сигнала была измерена зависимость отношения  $a_{бок}/a_{осн}$  амплитуд боковой и основной спектральных линий от глубины модуляции  $m$ . Из полученной зависимости (рис. ??) следует:

$$\frac{a_{бок}}{a_{осн}} = 0,510 \pm 0,004 \cdot m,$$

что соответствует теоретической зависимости  $\frac{a_{бок}}{a_{осн}} = \frac{m}{2}$ . Аналогично здесь основной вклад в погрешность вносит определение коэффициента зависимости.

Также в данной работе был изучен спектр сигнала, модулированного по фазе. Спектры сигналов при различном максимальном отклонении  $\varphi_m$  приведены на рис. ??-??.