

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 проведено 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  $\Theta_K$ . 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  $T \approx \Theta_K$  формула (2) недостаточна точна.

## 3 Методика измерений

Схема установки для проверки справедливости 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.

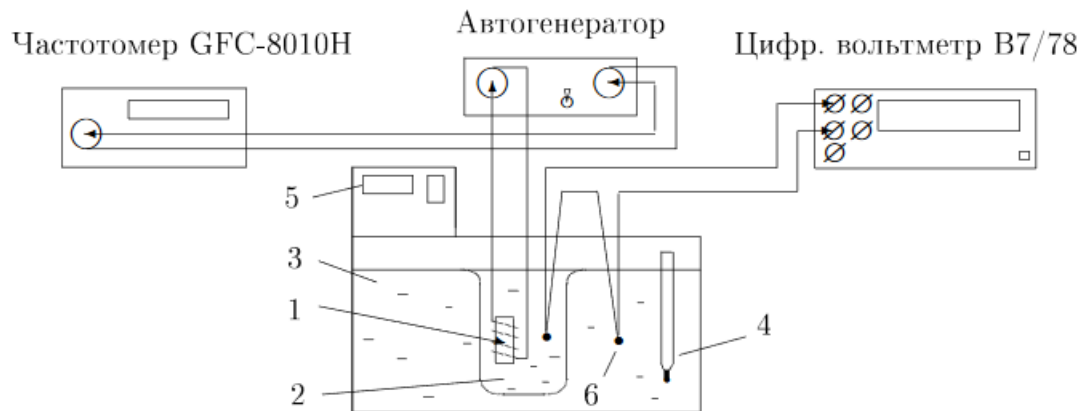


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

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

Результаты измерений периода колебаний  $\tau$ , ЭДС термопары  $\Delta U$  и температуры термостата  $T$  представлены в таб. 1. Период колебаний без образца  $\tau_0 = 8,252$  мкс. Температурный коэффициент термопары  $k^{-1} = 24 \frac{^\circ\text{C}}{\text{мВ}}$ .

| $\tau, \text{мкс}$ | $\delta_\tau, \text{мкс}$ | $T, ^\circ\text{C}$ | $\delta_T, ^\circ\text{C}$ | $\Delta U, \text{мВ}$ | $\delta_{\Delta U}, \text{мВ}$ |
|--------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 10,068             | 0,001                     | 14,04               | 0,01                       | -0,012                | 0,001                          |
| 9,955              | 0,001                     | 16,03               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |
| 9,753              | 0,001                     | 18,03               | 0,01                       | -0,014                | 0,001                          |
| 9,433              | 0,001                     | 20,03               | 0,01                       | -0,015                | 0,001                          |
| 9,042              | 0,001                     | 22,01               | 0,01                       | -0,016                | 0,001                          |
| 8,747              | 0,001                     | 24,02               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |
| 8,609              | 0,001                     | 26,01               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |
| 8,534              | 0,001                     | 28,01               | 0,01                       | -0,015                | 0,001                          |
| 8,488              | 0,001                     | 30,00               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |
| 8,453              | 0,001                     | 32,00               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |
| 8,429              | 0,001                     | 34,00               | 0,01                       | -0,018                | 0,001                          |
| 8,409              | 0,001                     | 36,01               | 0,01                       | -0,016                | 0,001                          |
| 8,395              | 0,001                     | 38,00               | 0,01                       | -0,016                | 0,001                          |
| 8,383              | 0,001                     | 40,00               | 0,01                       | -0,017                | 0,001                          |

Таблица 1: Результаты измерения зависимости периода колебаний  $LC$ -генератора от температуры образца

Полученный график зависимости  $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2} = f(T)$  представлен на рис. 2.

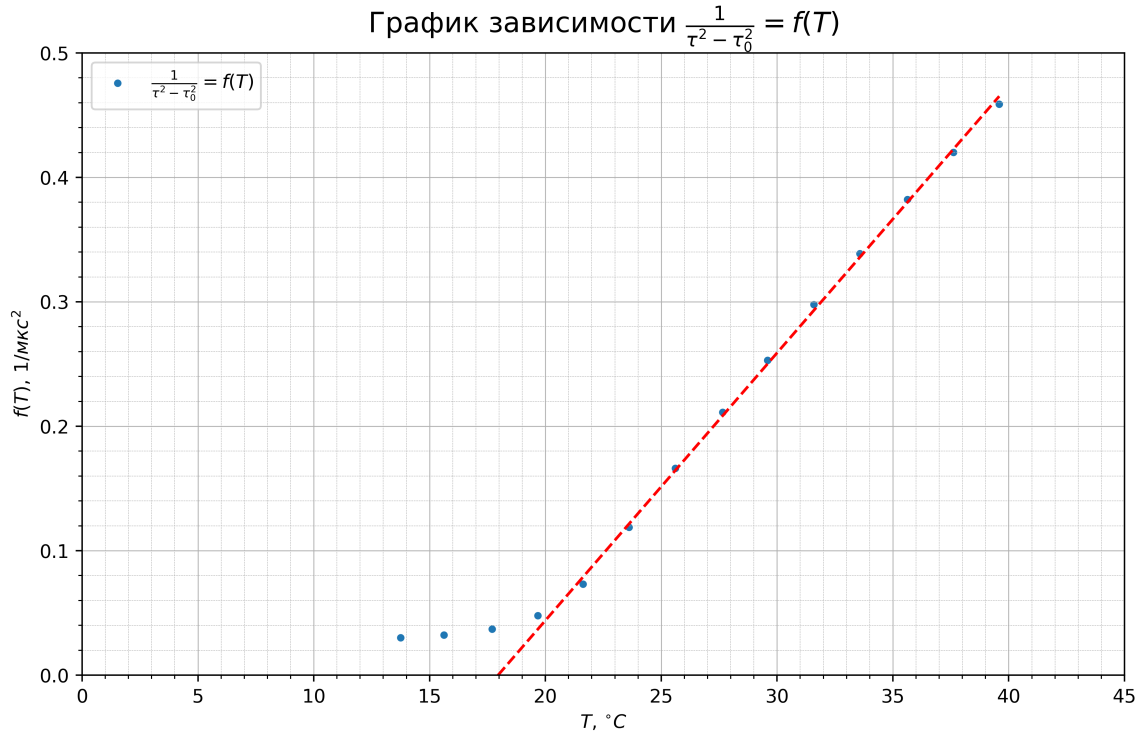


Рис. 2: График зависимости  $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$  от температуры

Экстраполяция даёт значение парамагнитной точки Кюри  $\Theta_p = 17,96 \pm 0,03 ^\circ\text{C}$ . Оценочное значение ферромагнитной точки Кюри —  $\Theta_K = 15 \pm 2 ^\circ\text{C}$ .

## 6 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе была исследована температурная зависимость магнитной восприимчивости гадолиния выше точки Кюри. Также была рассчитана парамагнитная точка Кюри для данного металла.

Полученное значение парамагнитной точки Кюри:

$$\Theta_p = 17,96 \pm 0,03 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Данное значение существенно отличается от табличного ( $20,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Основной вклад в погрешность вносит погрешность определения температуры образца. Расхождение может быть вызвано неравномерным нагревом установки и сосуда с образцом. Как и предполагалось законом Кюри-Вейсса, данная температура выше ферромагнитной точки Кюри, которая равна  $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Также, данное значение согласуется с оценочным, полученным из графика.