

Лабораторная работа 3.4.2

Закон Кюри-Вейсса

Кагарманов Радмир Б01-106

27 сентября 2022 г.

Цель работы: изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.

В работе используется: катушка самоиндукции с образцом из гадолиния, термостат, частотомер, цифровой вольтметр, LC -автогенератор, термopара медь-константан.

Теория

Вещества с отличным от нуля атомными магнитными моментами обладают парамагнитными свойствами. При повышении температуры T возрастает дезориентирующее действие теплового движения частиц, и магнитная восприимчивость парамагнетиков убывает по **закону Кюри** - обратно пропорционально температуре:

$$\chi \propto \frac{1}{T} \quad (1)$$

Некоторые парамагнетики при понижении температуры испытывают фазовый переход в ферромагнитное состояние. Температуру перехода парамагнетик-ферромагнетик называют **температурой Кюри** Θ_K . Температурная зависимость магнитной восприимчивости у ферромагнетиков выше точки Кюри с удовлетворительной точностью описывается **законом Кюри-Вейсса**:

$$\chi \propto \frac{1}{T - \Theta_p}, \quad (2)$$

где Θ_p - параметр с размерностью температуры, называемый иногда **парамагнитной точкой Кюри**. Величина Θ_p близка к Θ_K , но не совпадает с ней.

Экспериментальная установка

Схема установки представлена на рис. 1.

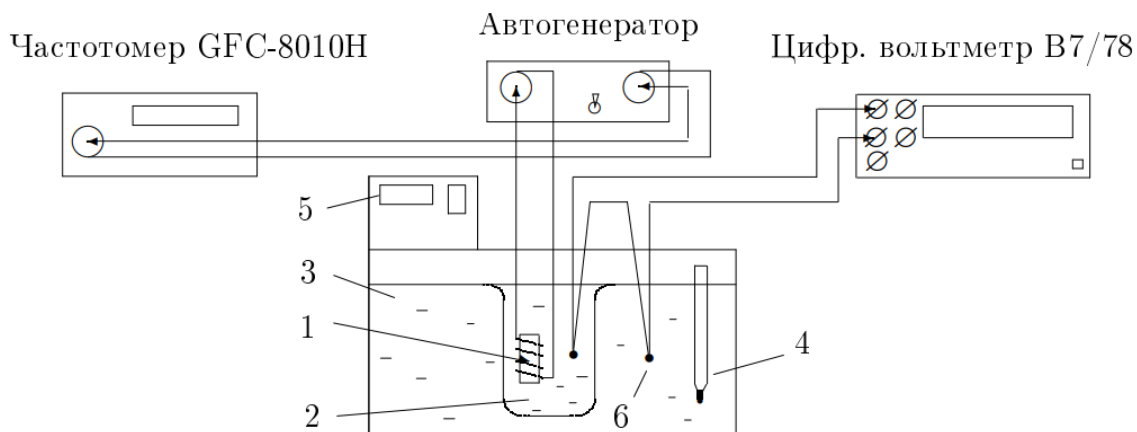


Рис. 1: Экспериментальная установка

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 и образца. Кроме того, оно улучшает тепловой контакт между образцом и термостатируемой жидкостью 3 в термостате. Ртутный термометр 4 используется для приближённой оценки температуры.

При изменении температуры меняется магнитная восприимчивость образца χ , а следовательно, самоиндукция катушки и период колебаний τ автогенератора. Для измерения периода используется частотомер.

Закон Кюри-Вейсса справедлив, если выполнено соотношение

$$\frac{1}{\chi} \sim (T - \Theta_p) \sim \frac{1}{(\tau^2 - \tau_0^2)}, \quad (3)$$

где τ_0 - период колебаний в отсутствие образца.

Величина стабилизируемой температуры задаётся на дисплее 5 термостата. Температура исследуемого образца всегда несколько отличается от температуры дистиллированной воды в сосуде. Разность температур контролируется с помощью медноконстантановой термопары 6 и цифрового вольтметра. Рекомендуется измерять период колебаний автогенератора в тот момент, когда указанная размерность температур становится $\leq 0,5^\circ\text{C}$. Чувствительность термопары $\kappa = 24$ град/мВ.

Ход работы и обработка результатов

1. Запишем данные установки: $\tau_0 = 8,252$ мкс, $\delta_{\Delta U} = 0,0012$ мВ. Так как ΔT не должно превышать $0,5^\circ\text{C}$, то максимальное напряжение, при котором можно проводить измерения, равно:

$$U_{\max} = \frac{\Delta T}{\kappa} \approx 0,021 \text{ мВ}$$

Температура образца вычисляется по формуле:

$$T_o = T_{\text{т}} + \Delta U \cdot \kappa,$$

где $T_{\text{т}}$ - температура термостата.

Результаты занесём в таблицу 1.

| № | $T_{\text{т}}, ^\circ\text{C}$ | ΔU мкВ | $T_o, ^\circ\text{C}$ | τ , мкс | $\tau^2 - \tau_0^2$, мкс ² | $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$, мкс ⁻² |
|----|--------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|--|---|
| 1 | 14 | -13,0 | 13,7 | 10,07 | 33,35 | 0,03 |
| 2 | 16 | -19,3 | 15,6 | 9,96 | 31,11 | 0,03 |
| 3 | 18 | -20,0 | 17,5 | 9,77 | 27,30 | 0,04 |
| 4 | 20 | -17,9 | 19,6 | 9,43 | 20,85 | 0,05 |
| 5 | 21 | -17,6 | 20,6 | 9,23 | 17,17 | 0,06 |
| 6 | 22 | -18,6 | 21,6 | 9,03 | 13,48 | 0,07 |
| 7 | 24 | -18,6 | 23,6 | 8,75 | 8,43 | 0,12 |
| 8 | 26 | -18,5 | 25,6 | 8,61 | 6,02 | 0,17 |
| 9 | 28 | -18,5 | 27,6 | 8,53 | 4,73 | 0,21 |
| 10 | 30 | -16,9 | 29,6 | 8,49 | 3,92 | 0,26 |
| 11 | 32 | -18,4 | 31,6 | 8,45 | 3,37 | 0,30 |
| 12 | 34 | -19,1 | 33,5 | 8,43 | 2,95 | 0,34 |
| 13 | 36 | -18,8 | 35,5 | 8,41 | 2,63 | 0,38 |
| 14 | 38 | -19,6 | 37,5 | 8,40 | 2,40 | 0,42 |
| 15 | 40 | -19,0 | 39,5 | 8,38 | 2,20 | 0,46 |

Таблица 1: Результаты измерений

2. Построим графики $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2} = f(T)$. С помощью него мы сможем найти парамагнитную точку Кюри.

С помощью МНК проведём прямую через последние 11 точек и посмотрим, в какой точке она пересекает ось абсцисс. Так мы найдём парамагнитную точку Кюри.

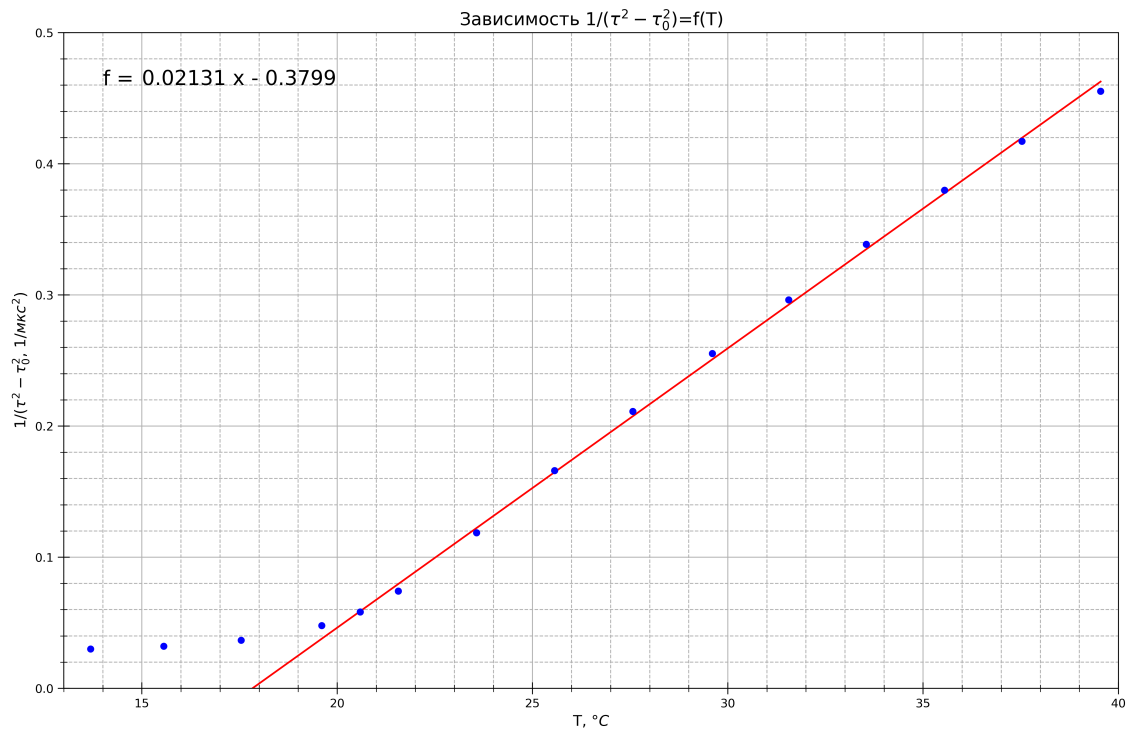


Рис. 2: $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2} = f(T)$

Мы получили прямую $f = 0,02131 \cdot x - 0,3799$. Коэффициент при x равен $0,02131 \pm 0,00016$. Найдём парамагнитную точку Кюри и учтём погрешность МНК.

$$T_{\text{пт}} = 17,8 \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Построим график $\tau^2 - \tau_0^2 = f(T)$.

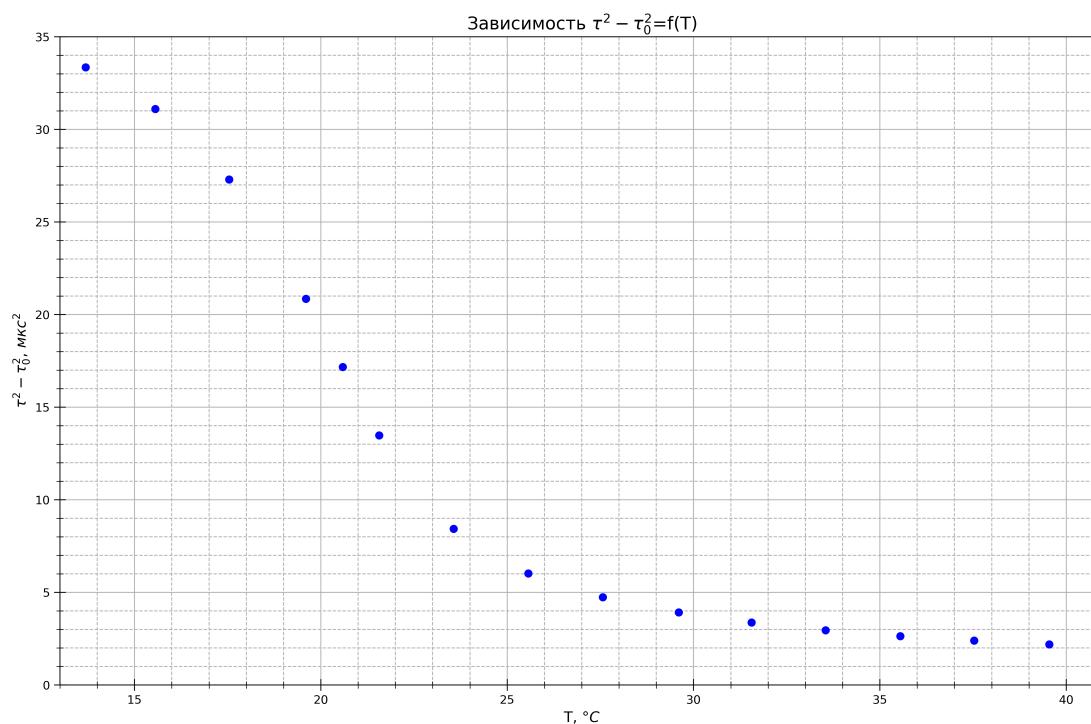


Рис. 3: $\tau^2 - \tau_0^2 = f(T)$

В лабораторном практикуме табличное значение точки Кюри гадолиния равна $T_K = 20\text{ }^\circ\text{C}$. На рис. 3 видно, что при $T > 20\text{ }^\circ\text{C}$ магнитная восприимчивость χ намного меньше.

Вывод: в ходе работы экспериментально была определена парамагнитная точка Кюри $T_{пт} = 17,8 \pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$. Также мы изучили температурную зависимость магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.