

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Лабораторная работа 3.4.2

Закон Кюри-Вейсса

Автор:
Черниенко Владислав Антонович
Группа Б01-110

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

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

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 хаотичным образом. При повышении температуры T возрастает дезориентирующее действие теплового движения частиц, и магнитная восприимчивость парамагнетиков убывает по *закону Кюри* — обратно пропорционально температуре:

$$\chi \propto \frac{1}{T}.$$

Некоторые парамагнетики при понижении температуры испытывают фазовый переход в ферромагнитное состояние. При малых температурах тепловое движение всё меньше препятствует магнитным моментам атомов ориентироваться в одном направлении присколь угодно слабом внешнем поле. Благодаря обменному взаимодействию, имеющему электростатическую природу, в ферромагнетиках самопроизвольное упорядочение магнитных моментов возможно при довольно высоких температурах. Температуру фазового перехода парамагнетик–ферромагнетик называют *температурой Кюри* Θ_K . Температурная зависимость магнитной восприимчивости у ферромагнетиков выше точки Кюри с удовлетворительной точностью описывается законом Кюри–Вейсса:

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

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

Непосредственно вблизи Θ_K закон Кюри–Вейсса (1) нарушается.

Экспериментальная установка

В работе изучается температурная зависимость $\chi(T)$ гадолиния при температурах выше точки Кюри. Выбор материала определяется тем, что его точка Кюри лежит в диапазоне комнатных температур.

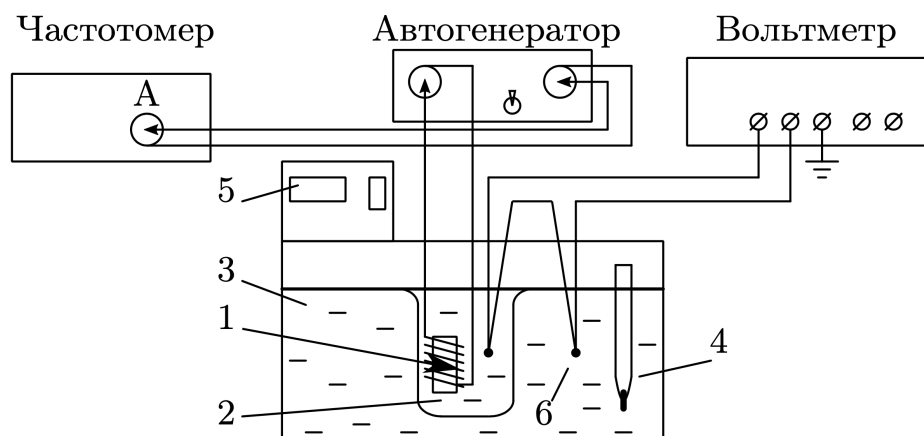


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

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 (генератора колебаний с самовозбуждением).

Гадолиний является хорошим проводником электрического тока, а рабочая частота генератора достаточно велика (~ 50 кГц), поэтому для уменьшения вихревых токов образец изготовлен из мелких кусочков размером около 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 приближенной оценки температуры. Температура образца регулируется с помощью термостата 5.

Коэффициент самоиндукции катушки L пропорционален магнитной проницаемости μ заполняющей его среды (почему?): $L \propto \mu$. Тогда разность самоиндукций катушки с образцом L и без него L_0 будет пропорциональна восприимчивости образца χ :

$$L - L_0 \propto \mu - 1 = \chi.$$

При изменении индуктивности образца меняется период колебаний автогенератора:

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

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

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

Отсюда находим

$$L - L_0 \propto \tau^2 - \tau_0^2$$

и, следовательно,

$$\chi \propto \tau^2 - \tau_0^2. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует, что закон Кюри–Вейсса справедлив, если выполнено соотношение

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

Измерения проводятся в интервале температур от 14 °С до 40 °С. С целью экономии времени следует начинать измерения с низких температур.

Температура исследуемого образца всегда несколько отличается от температуры воды в термостате. После того как вода достигла заданной температуры, идёт медленный процесс выравнивания температур образца и воды. Разность их температур контролируется с помощью медно-константановой термопары 6, один из спаев которой находится в тепловом контакте с образцом, а другой погружён в воду. Чувствительность термопары указана на установке. Рекомендуется измерять период колебаний автогенератора в тот момент, когда указанная разность температур становится меньше 0,5 °С (более точному измерению температур мешают паразитные ЭДС, возникающие в цепи термопары).