

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

выполнил студент 006 группы ФЭФМ
Штрайх Роберт

Долгопрудный, 2021 г.

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.

1 Теоретическое введение

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 возрастает дезориентирующее действие теплового движения частиц, и магнитная восприимчивость парамагнетиков убывает, в простейшем случае (в постоянном магнитном поле) – по закону Кюри.

Для парамагнитных веществ, которые при понижении температуры становятся ферромагнитными, закон должен быть изменён. Температура $T = 0$ является особой точкой температурной кривой, в которой χ неограниченно возрастает. 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 θ . У ферромагнетиков закон Кюри должен быть заменён законом Кюри-Вейсса:

$$\chi \sim \frac{C}{T} \sim \frac{1}{T - \theta_p}, \quad (1)$$

где θ_p – температура, близкая к температуре Кюри, C – постоянная Кюри.

Эта формула хорошо описывает поведение ферромагнитных веществ после их перехода в парамагнитную фазу при заметном удалении температуры от θ , но недостаточно точна при $T \approx \theta$.

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

2 Экспериментальная установка

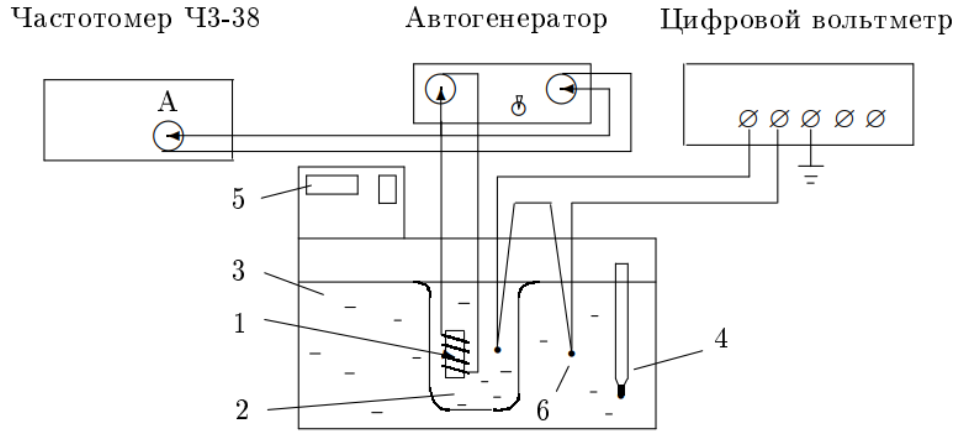


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Схема установки для проверки закона Кюри-Вейсса показана на рис. 1. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) расположен внутри пустотелой катушки самоиндукции, которая служит индуктивностью, входящего в состав LC -автогенератора. Катушка с образцом помещена в стеклянный сосуд, залитый трансформаторным маслом. Температура образца регулируется с помощью термостата.

При изменении температуры по закону Кюри-Вейсса изменяется магнитная восприимчивость образца в катушке, и, следовательно, изменяется самоиндуктивность этой катушки. При этом изменяется период колебаний автогенератора:

$$\tau = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (2)$$

где C – ёмкость контура автогенератора.

Период колебаний в отсутствие образца определяется самоиндукцией пустой катушки:

$$\tau_0 = 2\pi\sqrt{L_0C}, \quad (3)$$

Из (2) и (3) имеем

$$\frac{1}{\chi} \sim (T - \theta_p) \sim \left(\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2} \right). \quad (4)$$

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

3 Ход работы

1. Оценим допустимую ЭДС термопары при допустимой разности температур и рабочей жидкости $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$, постоянная термопары $k = 24$ град/мВ:

$$\mathcal{E} = k \cdot \Delta T = 0,02 \text{ мВ},$$

2. Зафиксируем период колебаний без образца $\tau_0 = 6,909$ мкс.

Исследуем зависимость периода колебаний LC -генератора от температуры образца, отмечая период колебаний τ по частотомеру, а температуру T – по показаниям дисплея и цифровому вольтметру. Результаты измерений занесём в таблицу 1 и построим по ним график (рис. 2)

Таблица 1: Зависимость периода колебаний в генераторе от температуры образца

| | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $T, ^\circ\text{C}$ | 13,2 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 |
| $T_{real}, ^\circ\text{C}$ | 13,68 | 15,48 | 17,48 | 19,48 | 21,48 | 23,48 | 25,48 | 27,48 | 29,48 |
| $\tau, \text{мкс}$ | 7,97 | 7,927 | 7,844 | 7,707 | 7,515 | 7,306 | 7,182 | 7,127 | 7,094 |
| $\frac{1}{(\tau^2 - \tau_0^2)}, \text{мкс}^{-2}$ | 0,0633 | 0,0662 | 0,0725 | 0,0857 | 0,1144 | 0,1772 | 0,2600 | 0,3268 | 0,3860 |
| $T, ^\circ\text{C}$ | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 | | | | |
| $T_{real}, ^\circ\text{C}$ | 31,48 | 33,48 | 35,48 | 37,48 | 39,48 | | | | |
| $\tau, \text{мкс}$ | 7,071 | 7,055 | 7,043 | 7,034 | 7,026 | | | | |
| $\frac{1}{(\tau^2 - \tau_0^2)}, \text{мкс}^{-2}$ | 0,4415 | 0,4905 | 0,5349 | 0,5738 | 0,6133 | | | | |

3. Прямую ферромагнитного участка экстраполируем к оси абсцисс, полученное значение – экспериментальное значение точки Кюри для исследуемого образца Гадолиния.

Учтём погрешности приборов, погрешность поддержания температуры термостатом – $0,01^\circ\text{C}$; погрешность термопары (в градусах) – $0,28^\circ\text{C}$.

Полученное значение:

$$\theta_p = (14,1 \pm 0,3)^\circ\text{C}$$

Табличное значение: $20,2^\circ\text{C}$

4 Выводы

В ходе работы мы определили парамагнитную точку Кюри для гадолиния, исследован переход от ферромагнитного к парамагнитному состоянию.

- Экспериментальное значение точки Кюри:

$$\theta_p = (14,1 \pm 0,3)^{\circ}C,$$

$$\varepsilon_{\theta_p} = 2,04\%,$$

- Табличное значение точки Кюри $\theta_{theor} = 20,2^{\circ}C$.

Табличное и экспериментальное значения несколько отличаются друг от друга, однако данный метод измерения лучше подходит для веществ, у которых точка Кюри находится в интервале комнатных температур.

5 Приложение

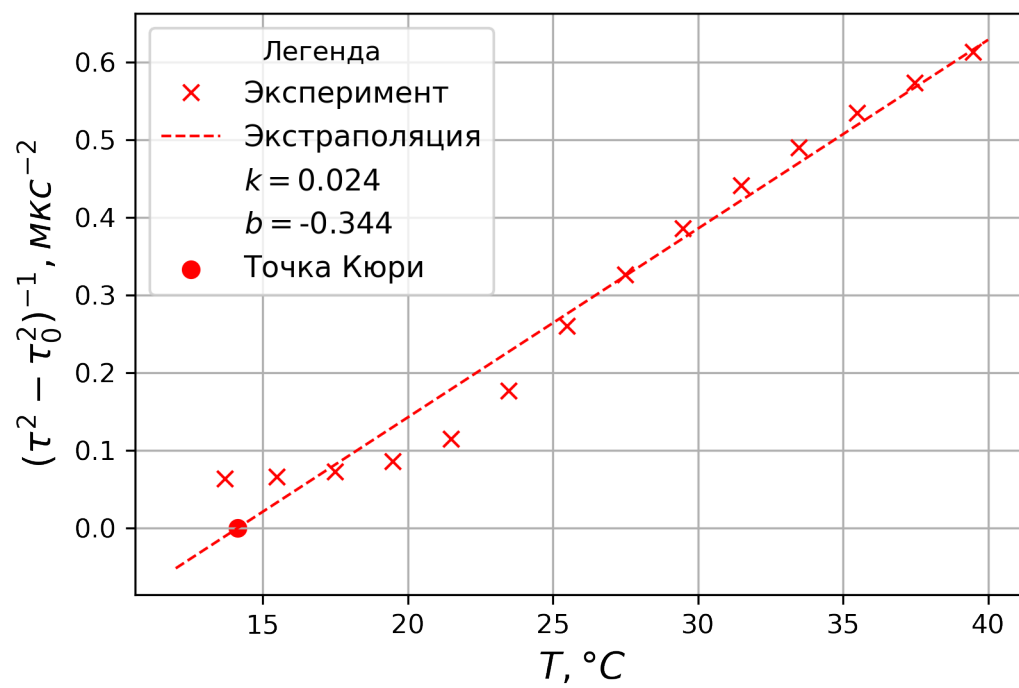


Рис. 2: $1/(\tau^2 - \tau_0^2) = f(T)$