

Московский Физико-технический Институт
(Национальный исследовательский университет)

Отчет о выполнении работы 3.4.2

Закон Кюри-Вейсса

Выполнили студентки 2 курса
ФБМФ, группа Б06-103
Попеску Полина
Фитэль Алёна

Долгопрудный, 2022 г.

1 Историческая справка

Ферромагнетики обладают свойством намагничиваться даже в слабых магнитных полях. Впервые количественную теорию ферромагнетизма разработал французский физик Вейсс в 1907 году. В настоящей работе для изучения температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри (то есть в парамагнитной области) используется закон Кюри-Вейсса (который назван так по аналогии с законом Кюри для парамагнетиков).

Закон выражается следующей математической формулой:

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

где χ — магнитная восприимчивость, C — постоянная Кюри, зависящая от вещества, T — абсолютная температура в кельвинах, Θ_p — парамагнитная температура Кюри, К.

2 Теоретическое введение

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

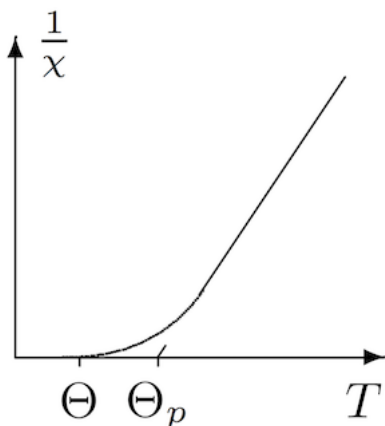


Рис. 1: Теоретический график зависимости обратной магнитной восприимчивости от температуры

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 , в котором добавка к температуре Θ_p — некая температура, называемая парамагнитной точкой Кюри. Она близка к Θ , но немного больше ее (см. рис.1). Оказывается, что у ферромагнетиков закон Кюри должен быть заменён законом Кюри-Вейсса (1). Эта формула хорошо описывает поведение ферромагнитных веществ после их перехода в парамагнитную фазу при заметном удалении температуры от 0, но недостаточно точна при $T \approx \Theta$.

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

3 Экспериментальная установка

Схема установки для проверки закона Кюри-Вейсса показана на рис. 2. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) расположен внутри пустотелой катушки самоиндукции, которая служит индуктивностью колебательного контура, входящего в состав LC-автогенератора.

Гадолиний является хорошим проводником электрического тока, а рабочая частота генератора достаточно велика (50 кГц), поэтому для уменьшения вихревых токов образец из готовлен из мелких кусочков размером 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. При

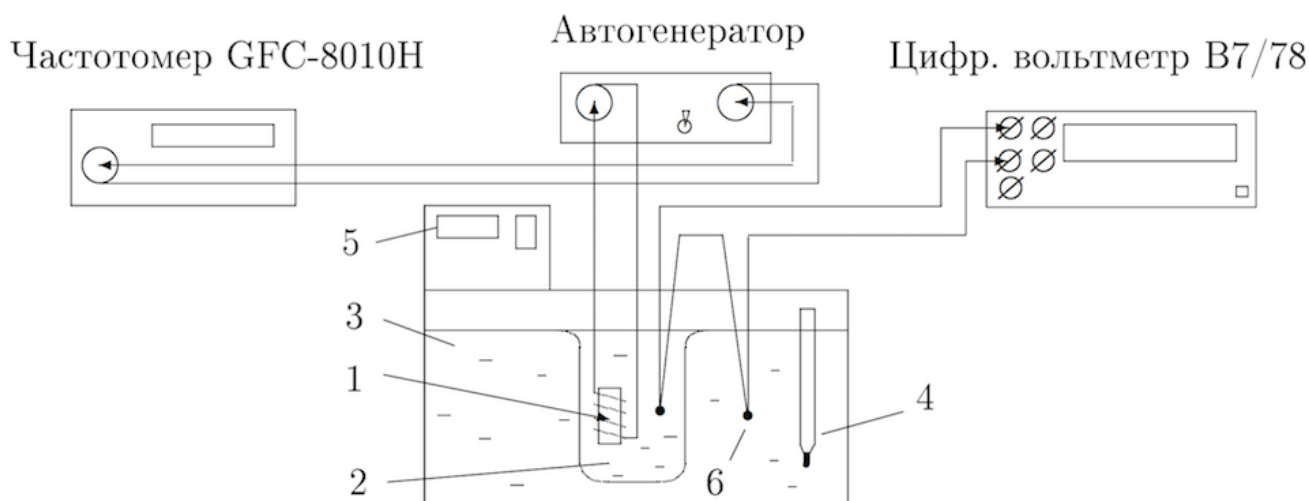


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

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

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

где τ_0 — период колебаний без образца.

Для нагрева используется термостат. Температура исследуемого образца всегда несколько отличается от температуры дистиллированной воды в сосуде. После того как вода достигла заданной температуры, идёт медленный процесс выравнивания температур образца и воды. Разность их температур контролируется с помощью медноконстантановой термопары 6 и цифрового вольтметра. Один из спаев термопары находится в тепловом контакте с образцом, а другой погружён в воду. Концы термопары подключены к цифровому вольтметру. Рекомендуется измерять период колебаний автогенератора в тот момент, когда указанная разность температур становится $\leq 0,5^\circ\text{C}$. Чувствительность термопары $k = 24$ град/мВ.

4 Ход работы

LC-контур: $\tau_0 = 8.252$

Так как нам нужно, чтобы разница была не более половины градуса, то мы вычисляем максимальное напряжение, при котором допустимо измерение:

$$U_m = \frac{T_d}{k} = \frac{0,5}{24} \approx 0,021\text{мВ} \quad (3)$$

Теперь снимем показания вольтметра и частотомера при температуре термостата равной 14°C , и проведем такой опыт при 14 разных температурах, повышая после каждого измерения температуру термостата на два градуса. При этом температуру образца будем считать по следующей формуле:

$$T_o = T_b + \Delta U k \quad (4)$$

Посчитаем погрешности:

T, K	τ , us	ΔU , mV	σ_τ	$T_{\text{обп}}$	$\sigma_{T_{\text{обп}}}$
289	9,900	-0,006	0,050	288,86	0,1
291	9,800	-0,027	0,100	290,35	0,1
293	9,440	-0,016	0,010	292,62	0,1
295	9,060	-0,019	0,010	294,54	0,1
297	8,750	-0,019	0,005	296,54	0,1
299	8,610	-0,015	0,005	298,64	0,1
301	8,536	-0,018	0,002	300,57	0,1
303	8,488	-0,019	0,002	302,54	0,1
305	8,454	-0,019	0,002	304,54	0,1
307	8,429	-0,018	0,002	306,57	0,1
309	8,411	-0,019	0,001	308,54	0,1
311	8,396	-0,019	0,001	310,54	0,1
313	8,384	-0,018	0,001	312,57	0,1

Таблица 1: Результаты измерений

$$\sigma_{T_o} = \sqrt{\sigma_{T_b}^2 + \sigma_{dUk}^2}$$

$$\sigma_{\tau^2 - \tau_0^2} = \frac{d(\tau^2 - \tau_0^2)}{d\tau} \sigma_\tau = 2\tau \sigma_\tau \quad (5)$$

$$\sigma_{\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}} = \frac{d\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}}{d\tau} \sigma_\tau = \frac{2\tau}{(\tau^2 - \tau_0^2)^2} \sigma_\tau \quad (6)$$

Построим графики зависимости величин $\tau^2 - \tau_0^2$ и $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$ от температуры образца.

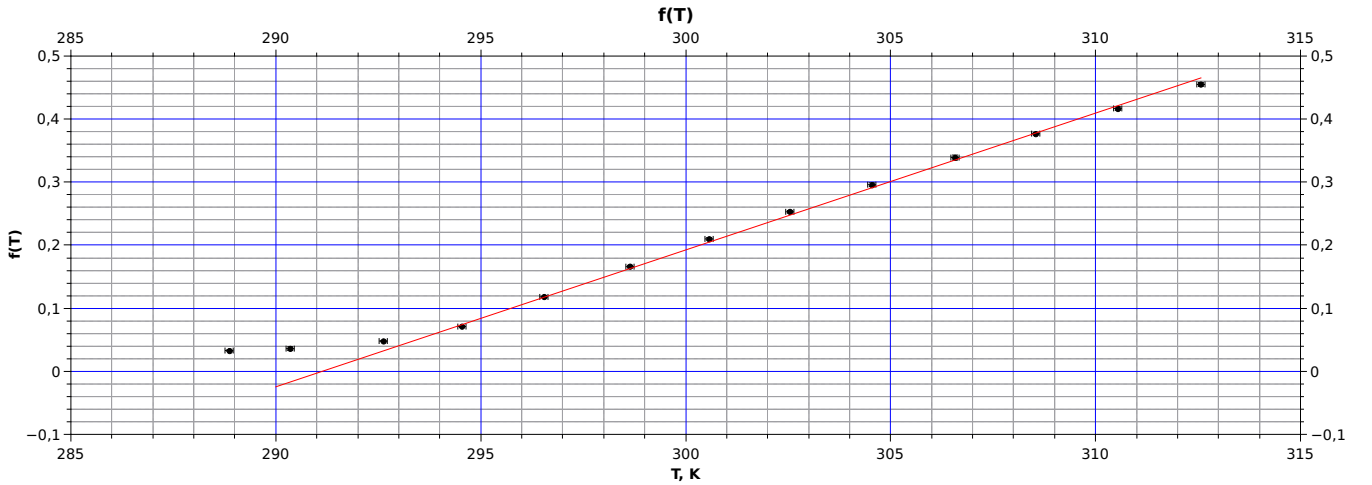


Рис. 3: Зависимость $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$ от температуры образца

Экстраполируя график к оси абсцисс мы получили значение температуры точки Кюри равной $\Theta_K = (290,3 \pm 2,6)K$ ($\varepsilon = 0,9\%$). Табличное значение – $\Theta = 293K$.

5 Вывод

Исследуя гадолиний с помощью термостата, частотометра и вольтметра мы определили температуру точки Кюри для гадолиния:

$$\Theta_p = (290,3 \pm 2,6)K \ (\varepsilon = 0,9\%)$$

С учетом погрешности погрешности посчитанное значение совпадает с табличным (293K).