



Московский Физико-Технический Институт
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

Закон Кюри–Вейсса

Работа №3.4.2; дата: 16.09.22

Семестр: 3

Выполнил:
Кошелев Александр

Группа:
Б05-105

1. Аннотация

Цель работы:

Изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.

Схема установки:

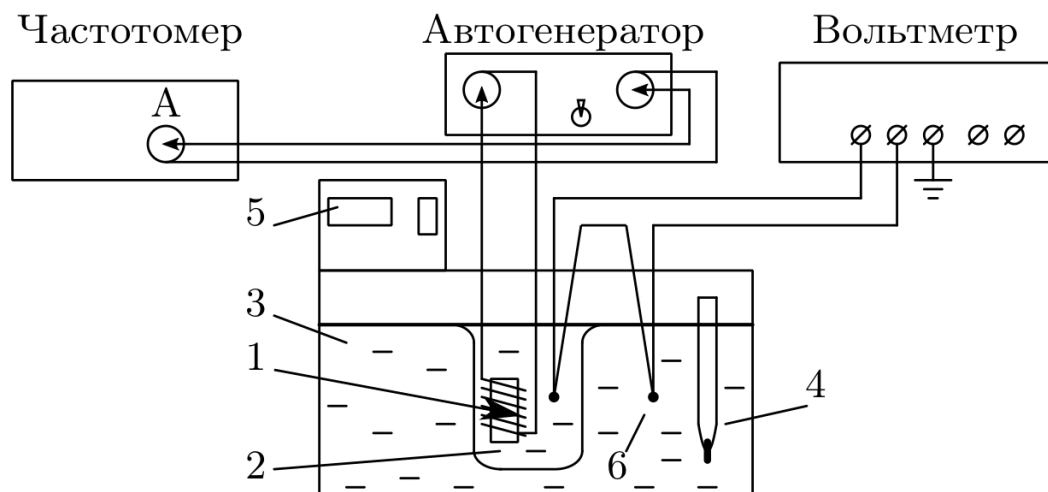


Рис. 1: Схема установки

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

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 $k = 24 \text{ K/мВ}$.

В работе используются:

Катушка самоиндукции с образцом из гадолиния, термостат, частотомер, цифровой вольтметр, LC -автогенератор, термопара медь-константин.

2. Теоретические сведения

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).

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

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

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.

При $T \rightarrow 0$ тепловое движение всё меньше препятствует магнитным моментам атомов ориентироваться в одном направлении при сколь угодно слабом внешнем поле.

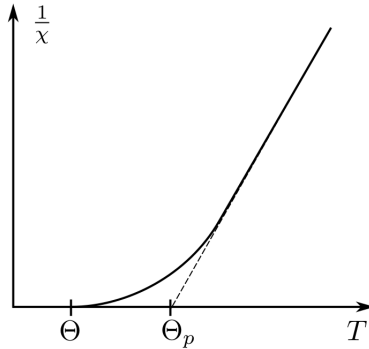


Рис. 2: График реальной зависимости $\frac{1}{\chi}(T)$

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. 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.

Свяжем теперь периоды колебаний автогенератора с магнитной восприимчивостью. Связь самоиндукций катушки с магнитной восприимчивостью такова:

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

А значит, с учетом формулы периода $\tau = 2\pi\sqrt{LC}$, получаем следующее соотношение:

$$\chi \propto \tau^2 - \tau_0^2$$

3. Проведение эксперимента

Начальные данные

Обозначим начальные данные нашей установки, для удобства, в виде таблицы.

k , К/мВ	τ_0 , мкс	σ_U , мВ	$\sigma_{T_{\text{терм}}}$, К	σ_τ , мкс
24	6.95636	0.012	0.01	0.01

Табл. 1: Начальные данные установки

Необходимо, чтобы разница температур между образцом и термостатом была не более половины градуса, то вычисляем максимальное напряжение термопары, при котором допустимо измерение:

$$U_{\text{max}} = \frac{(\Delta T)_{\text{max}}}{k} \approx 0.021 \text{ мВ}$$

Теперь снимем показания вольтметра и частометра при разных температурах термостата, повышая после каждого измерения температуру термостата на два градуса. При этом температуру образца будем считать по следующей формуле:

$$T = T_{\text{терм}} + kU$$

Причем погрешности считаются как:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{\text{терм}}^2 + (k\sigma_U)^2}$$

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

Результаты оформим в таблицу:

i	$T_{\text{терм}}, ^\circ\text{C}$	U , мВ	τ , мкс	T , $^\circ\text{C}$	$\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$, мкс^{-2}
1	14.76 ± 0.01	-0.003 ± 0.001	7.960 ± 0.010	14.69 ± 0.03	0.064 ± 0.001
2	16.10 ± 0.01	-0.003 ± 0.001	7.910 ± 0.010	16.03 ± 0.03	0.067 ± 0.001
3	18.11 ± 0.01	-0.009 ± 0.001	7.790 ± 0.010	18.04 ± 0.03	0.077 ± 0.001
4	20.17 ± 0.01	-0.010 ± 0.001	7.610 ± 0.010	20.10 ± 0.03	0.098 ± 0.002
5	22.09 ± 0.01	-0.013 ± 0.001	7.410 ± 0.010	22.02 ± 0.03	0.140 ± 0.003
6	24.07 ± 0.01	-0.013 ± 0.001	7.240 ± 0.010	24.00 ± 0.03	0.214 ± 0.007
7	26.09 ± 0.01	-0.013 ± 0.001	7.160 ± 0.010	26.02 ± 0.03	0.284 ± 0.012
8	28.09 ± 0.01	-0.006 ± 0.001	7.130 ± 0.010	28.02 ± 0.03	0.330 ± 0.016
9	30.07 ± 0.01	-0.013 ± 0.001	7.090 ± 0.010	30.00 ± 0.03	0.397 ± 0.022
10	35.07 ± 0.01	-0.012 ± 0.001	7.013 ± 0.010	35.00 ± 0.03	0.598 ± 0.050
11	40.07 ± 0.01	-0.015 ± 0.001	6.999 ± 0.010	40.00 ± 0.03	0.799 ± 0.089

Табл. 2: Проведение эксперимента

По полученным данным построим график зависимости $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}(T)$:

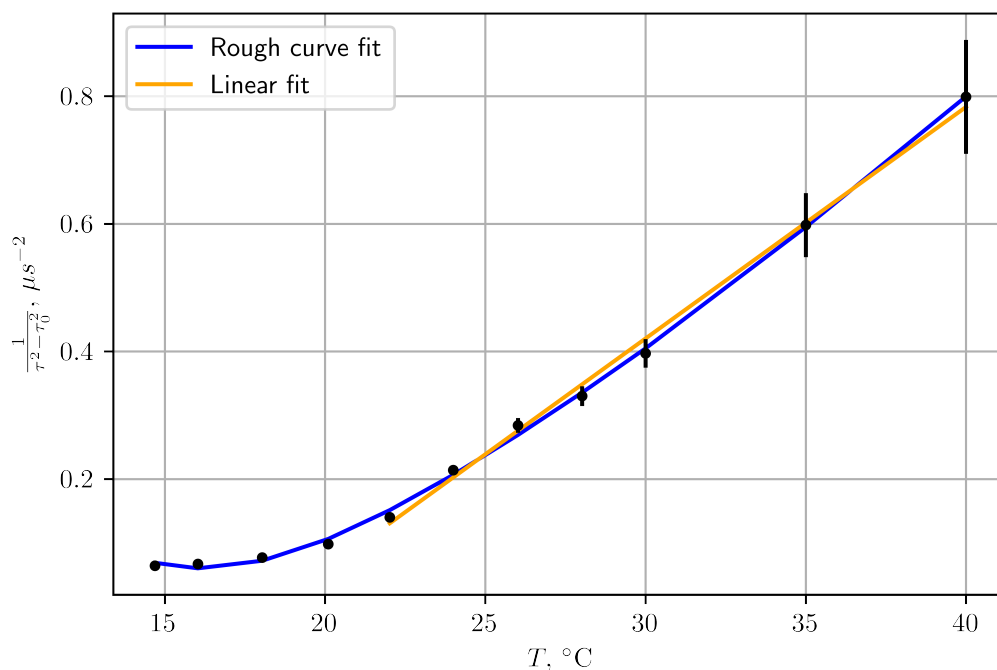


Рис. 3: График зависимости $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}(T)$

При этом проведем линейную аппроксимацию части графика, близкой к линейной. Прямая задается уравнением $y = kx + b$, ее параметры:

$k, \mu s^{-2} K^{-1}$	$b, \mu s^{-2}$
0.0363 ± 0.0011	-0.6685 ± 0.0326

Табл. 3: Линейная аппроксимация

Таким образом, парамагнитная температура Кюри:

$$\Theta_p = \frac{-b}{k} = (18.48 \pm 0.95)^\circ\text{C} = (291.48 \pm 0.95)\text{K}$$

При этом погрешность конечного результата:

$$\sigma_{\Theta_p} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{k}\right)^2 + \left(\frac{b\sigma_k}{k^2}\right)^2}$$

4. Выводы

В ходе работы была исследована зависимость $\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}(T)$, был построен график этой зависимости. Путем аппроксимации линейной части зависимости получена парамагнитная точка Кюри для гадо-линия:

$$\Theta_p = (18.48 \pm 0.95)^\circ\text{C} = (291.48 \pm 0.95)\text{K}$$

Результат хорошо согласуется с табличным значением точки Кюри $\Theta = 19^\circ\text{C}$.