

Отчет о выполнении лабораторной работы 3.6.1

Спектральный анализ электрических сигналов

Выполнил: Дедков Денис, группа Б01-109

01.10.2022

Цель работы

Изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.

Оборудование и приборы

Катушка самоиндукции с образцом из гадолиния, термостат, частотомер, цифровой вольтметр, LC -автогенератор, термopара медь–константан.

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 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 при сколь угодно слабом внешнем поле. Благодаря обменному взаимодействию, имеющему электростатическую природу, в ферромагнетиках самопроизвольное упорядочение магнитных моментов возможно при довольно высоких температурах.

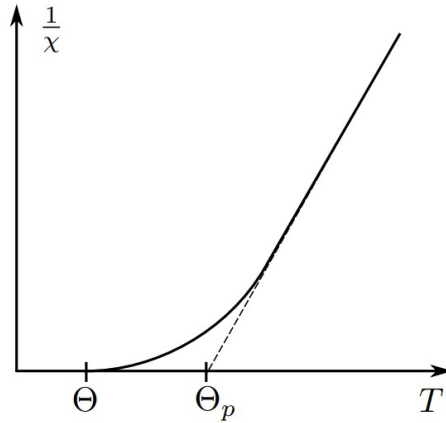


Рис. 1: Зависимость обратной величины магнитной восприимчивости от температуры

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:

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

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 нарушается. На практике наблюдается зависимость, изображённая на рис. 1.

Ход работы

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.

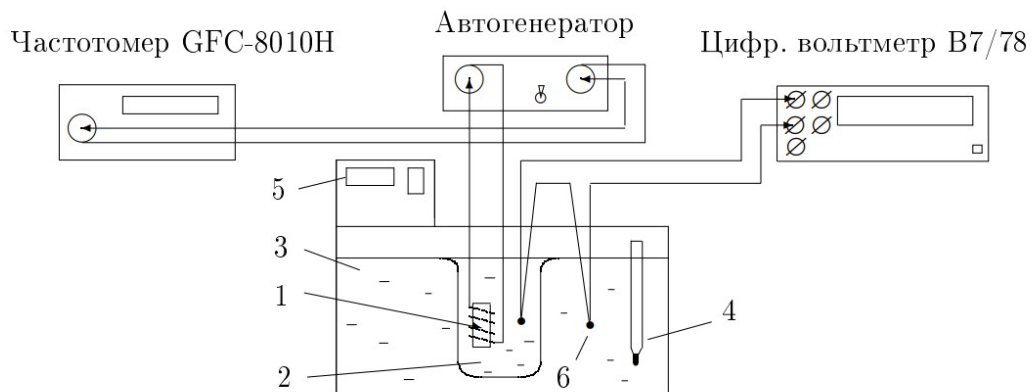


Рис. 2: Зависимость обратной величины магнитной восприимчивости от температуры

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 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: $L \propto \mu$. 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,

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

Из формул выше следует, что закон Кюри–Вейсса справедлив, если выполнено соотношение

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

Ход работы

Исследуем зависимость периода колебаний LC -генератора от температуры образца, отмечая период колебаний τ по частотомеру, а температуру T — по показаниям дисплея и цифровому вольтметру (ΔU с учётом знака).

Рассчитаем температуру T образца с учетом показаний термопары, используя поправочный коэффициент для данной установки $k = 24 \frac{\text{град}}{\text{мВ}}$:

$$T = T_0 + kV$$

Все экспериментальные данные приведены в таблице 1.

$T_0, ^\circ C$	$V, \text{ мВ}$	$\tau, \text{ мкс}$	$T, ^\circ C$	$\chi, \text{ мкс}^2$	$1/\chi, \text{ мкс}^{-2}$
12.0	-0.0025	10.86	11.9	36.136	0.028
14.0	-0.0100	10.80	13.8	34.828	0.029
16.0	-0.0100	10.69	15.8	32.550	0.031
18.1	-0.0085	10.51	17.9	28.705	0.035
20.1	-0.0103	10.22	19.8	22.732	0.044
22.1	-0.0109	9.84	21.8	14.987	0.067
24.1	-0.0139	9.56	23.8	9.602	0.104
26.1	-0.0112	9.43	25.8	7.076	0.141
28.1	-0.0108	9.35	27.8	5.621	0.178
30.1	-0.0102	9.30	29.8	4.758	0.210
32.1	-0.0120	9.27	31.8	4.160	0.240
34.1	-0.0128	9.25	33.8	3.720	0.269
36.1	-0.0124	9.23	35.8	3.382	0.296
38.1	-0.0104	9.22	37.8	3.112	0.321
40.1	-0.0050	9.20	39.9	2.898	0.345

Таблица 1: Данные

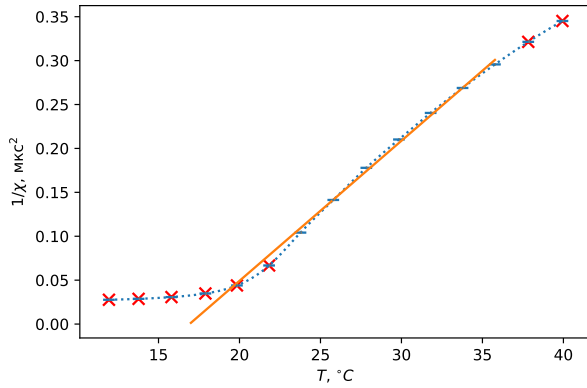


Рис. 3: График зависимости $\frac{1}{\chi}(T)$

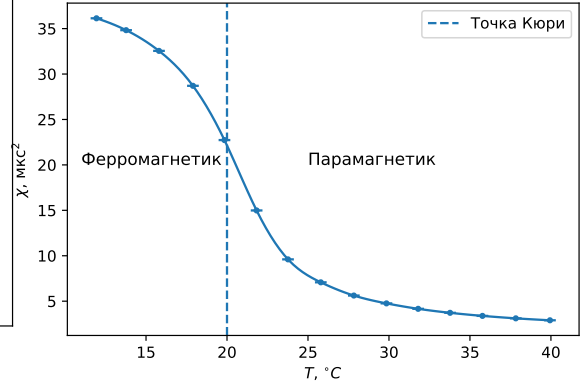


Рис. 4: График зависимости $\chi(T)$

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	a	Δa	b	Δb
2.980e+01	1.597e+01	2.055e-01	4.077e-03	2.548e-01	0.016	0.000	-0.270	0.012

Таблица 2: Обработка $\frac{1}{\chi}(T)$

Из первого графика определим парамагнитную точку Кюри:

$$\Theta_p = (16.9 \pm 0.2)^\circ C$$

Качественно из графика зависимости $\chi(T)$ найдем температуру Кюри:

$$\Theta_K \approx 20^\circ C$$

Вывод

В работе было проведено изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.

Из графика $\chi(T)$ с достаточно хорошей точностью получилось определить температуру Кюри гадолиния $\Theta_K \approx 20^\circ C$, что сходится с табличным значением $\Theta_K = 20.2^\circ C$.

Однако график $\frac{1}{\chi}(T)$ только качественно подтверждает теорию. Посчитанная погрешность также не может быть использована для объяснения расхождений. Вероятно сказалась некоторая систематическая погрешность.