

Лабораторная работа №3.4.2  
Закон Кюри-Вейсса

Струков О. И.  
Б04-404

# Теоретические сведения

В данной работе проводится исследование зависимости магнитной восприимчивости гадолиния, который является ферромагнетиком, от температуры. Исследование приведено для температур от 14 до 40 °С. На основании этой зависимости вычисляется точка Кюри гадолиния.

Одной из основных макроскопических характеристик веществ, которая используется для описания их магнитных свойств, является вектор намагниченности  $\mathbf{M}$  — суммарный магнитный момент единичного объёма вещества. В ряде веществ между намагниченностью  $\mathbf{M}$  и напряжённостью магнитного поля  $\mathbf{H}$  имеет место линейная зависимость: где скалярная величина  $\chi$  — магнитная восприимчивость единичного объёма вещества. Вещества с отрицательной магнитной восприимчивостью ( $\chi < 0$ ) называют диамагнетиками, а вещества с ( $\chi > 0$ ) принадлежат к классу парамагнетиков.

Кроме диа- и парамагнетиков ( $\chi \leq 10^{-3}$ ) существуют также ферромагнетики, для которых  $\chi \geq 10^4$ . Причём зависимость  $\mathbf{M}(\mathbf{H})$  в таких веществах нелинейна.

Магнитные и другие физические свойства ферромагнетиков зависят от температуры. Намагниченность насыщения  $M_s$  (равная максимальной намагниченности при данной температуре) имеет максимум при  $T = 0$  и монотонно убывает до 0 при  $T = \Theta$  — температуре Кюри. Поведение ферромагнетика при больших температурах описывается законом Кюри-Вейсса:

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

где  $\Theta_p$  — парамагнитная температура Кюри.

## Экспериментальная установка

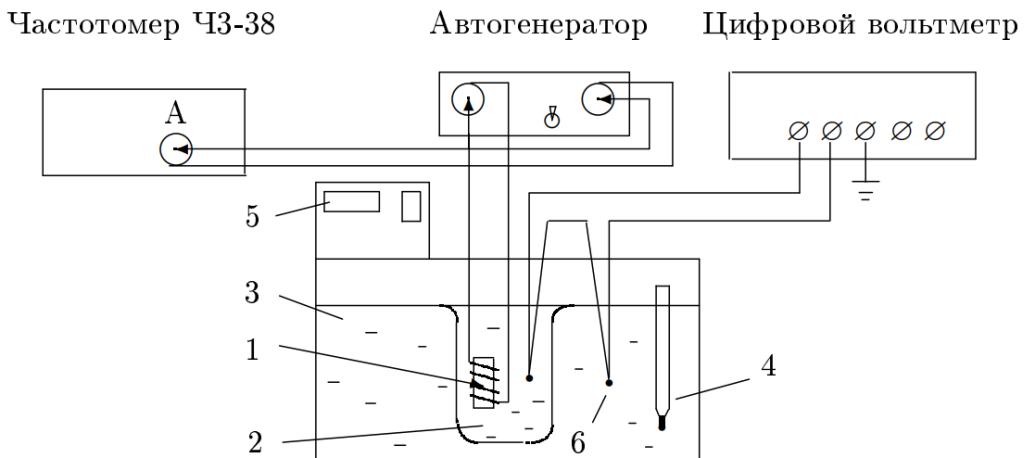


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Схема установки изображена на рис. 1. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) расположен внутри пустотелой катушки самоиндукции, которая служит индуктивностью колебательного контура, 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. Поэтому получаем, что

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

где  $\tau$  и  $\tau_0$  - период колебаний в цепи с сердечником в катушке и без него соответственно. Измерения проводятся в интервале температур от 14 °C до 40 °C

## Расчётные формулы

Магнитная восприимчивость определяется по формуле:

$$(L - L_0) \sim \chi, \quad (3)$$

где  $L$  – самоиндукция катушки с образцом, а  $L_0$  – без образца. Тогда из

$$\tau = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (4)$$

$$\tau_0 = 2\pi\sqrt{L_0 C} \quad (5)$$

следует:

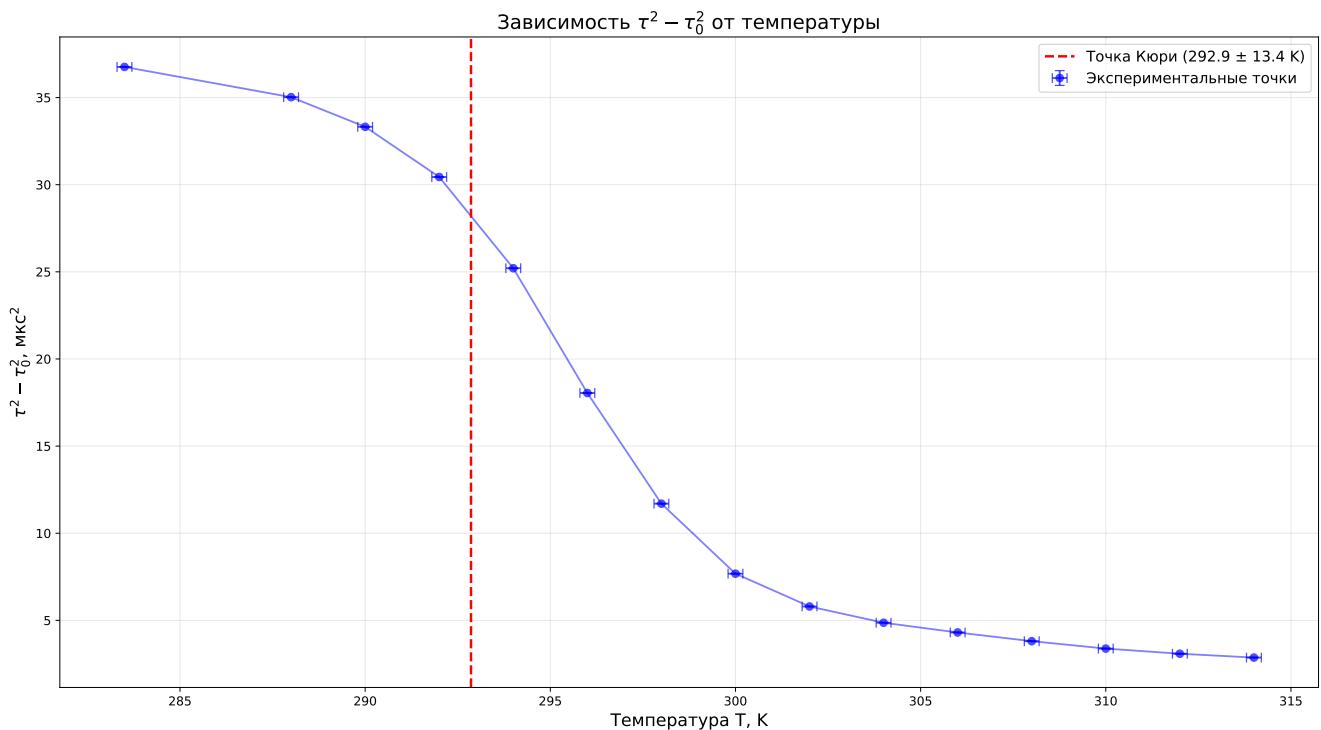
$$(L - L_0) \sim (\tau^2 - \tau_0^2), \quad (6)$$

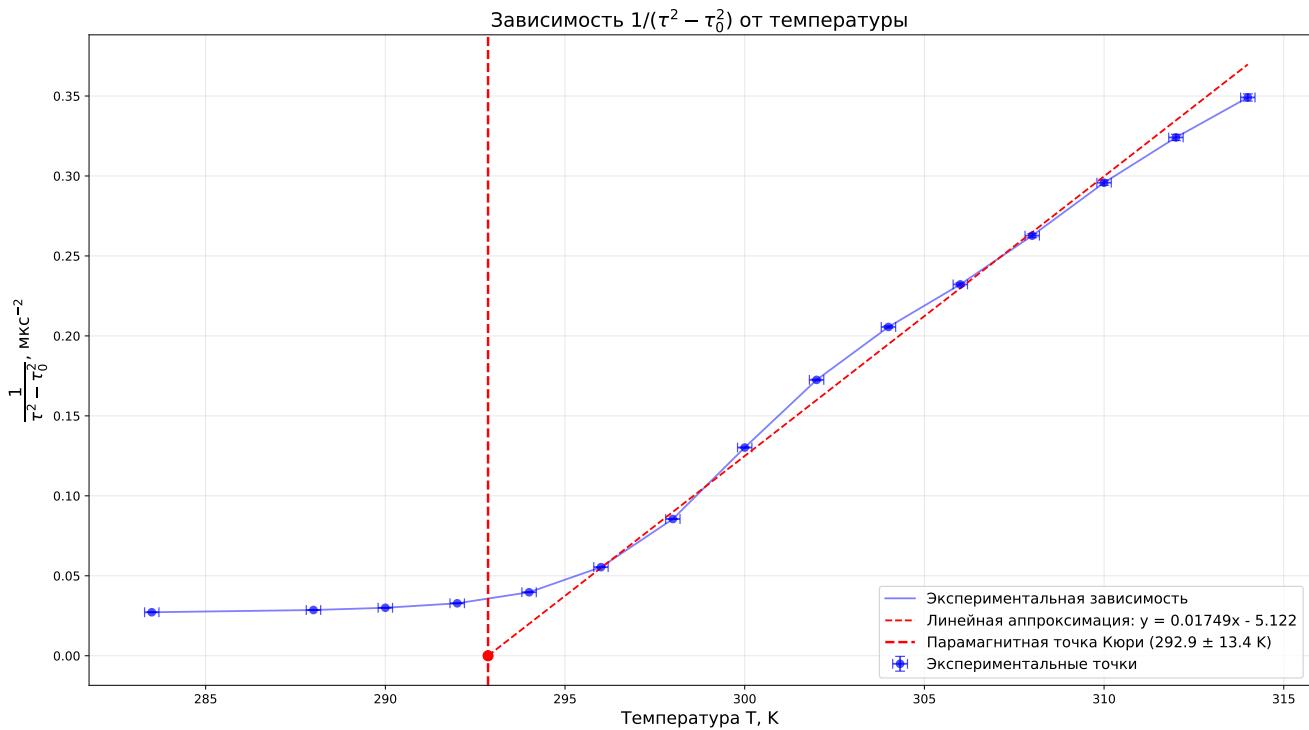
$$\chi \sim (\tau^2 - \tau_0^2). \quad (7)$$

## Ход работы

- Поскольку максимальная разность температуры образца и рабочей жидкости составляет  $\Delta T = 0,5$  °C, было определено, что максимальная допустимая ЭДС термопары составляет 0,02 мВ.
- После включения термостата и измерительных приборов в сеть была получена зависимость периода колебаний LC-генератора от температуры образца, определяемой по ртутному термометру, вставленному в термостат. Измерения проводились от 10,5 до 41 °C с интервалом в 2 °C. Период колебаний без образца  $\tau_0 = 9,045$  мкс. Результаты представлены в таблице, зависимости  $(\tau^2 - \tau_0^2) = f(T)$  и  $1/(\tau^2 - \tau_0^2) = f(T)$  изображены на графике.
- Линейную часть второй зависимости можно аппроксимировать прямой  $y = 0,01749x - 5,122$ . Она пересекает ось Ox в точке 292,9 K, то есть с учётом погрешности (приборной и среднеквадратичного отклонения) параметр Кюри  $\Theta_p = (292,9 \pm 13,4)$  K =  $(19,9 \pm 13,4)$  °C.

T, K	$\tau$ , мкс	$\tau^2 - \tau_0^2$ , мкс <sup>2</sup>	$\frac{1}{\tau^2 - \tau_0^2}$ , мкс <sup>-2</sup>
283,5 ± 0,1	10,889 ± 0,001	36,75 ± 0,02	0,0272 ± 0,0002
288,0 ± 0,1	10,809 ± 0,001	35,02 ± 0,02	0,0286 ± 0,0002
290,0 ± 0,1	10,730 ± 0,001	33,32 ± 0,02	0,0300 ± 0,0002
292,0 ± 0,1	10,595 ± 0,001	30,44 ± 0,02	0,0328 ± 0,0002
294,0 ± 0,1	10,345 ± 0,001	25,20 ± 0,02	0,0397 ± 0,0003
296,0 ± 0,1	9,993 ± 0,001	18,04 ± 0,02	0,0554 ± 0,0006
298,0 ± 0,1	9,670 ± 0,001	11,69 ± 0,02	0,0855 ± 0,002
300,0 ± 0,1	9,460 ± 0,001	7,68 ± 0,02	0,1302 ± 0,003
302,0 ± 0,1	9,360 ± 0,001	5,79 ± 0,02	0,1725 ± 0,006
304,0 ± 0,1	9,310 ± 0,001	4,86 ± 0,02	0,2056 ± 0,008
306,0 ± 0,1	9,280 ± 0,001	4,30 ± 0,02	0,2322 ± 0,01
308,0 ± 0,1	9,253 ± 0,001	3,80 ± 0,02	0,2627 ± 0,01
310,0 ± 0,1	9,230 ± 0,001	3,38 ± 0,02	0,2958 ± 0,02
312,0 ± 0,1	9,214 ± 0,001	3,08 ± 0,02	0,3241 ± 0,02
314,0 ± 0,1	9,202 ± 0,001	2,86 ± 0,02	0,3491 ± 0,02





## Вывод

В ходе работы была экспериментально определена парамагнитная точка Кюри гадолиния на основе исследования температурной зависимости магнитной восприимчивости.

Экспериментально установлена зависимость периода колебаний LC-генератора от температуры в интервале от 283,5 К до 314 К. Получена зависимость  $1/(\tau^2 - \tau_0^2)$  от температуры, методом линейной аппроксимации парамагнитного участка зависимости  $1/(\tau^2 - \tau_0^2) = f(T)$  определена точка Кюри гадолиния  $\Theta_p = (292,9 \pm 13,4)$  К, что очень хорошо согласуется с табличным значением 293,2 К.

На графике зависимости  $(\tau^2 - \tau_0^2) = f(T)$  наблюдается характерный излом в районе точки Кюри, что соответствует фазовому переходу второго рода из ферромагнитного в парамагнитное состояние.