

### Работа 3.3.5.

## Закон Кюри-Вейсса

*Корнеев Е.С.*

# Закон Кюри-Вейсса

**Цель работы:** изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри.

**Оборудование:** катушка самоиндукции с образцом из гадолиния, термостат, частотомер, цифровой вольтметр, LC-автогенератор, термопара медь-константан.

Вещества с атомными магнитными моментами, отличными от нуля, обладают парамагнитными свойствами. Внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты, которые в отсутствии его располагались в хаотичном порядке. При повышении температуры парамагнетика дезориентирующее воздействие теплового движения возрастает, и магнитная восприимчивость падает (в постоянном магнитном поле) по закону Кюри:

$$\chi = \frac{C}{T},$$

где  $C$  - постоянная Кюри.

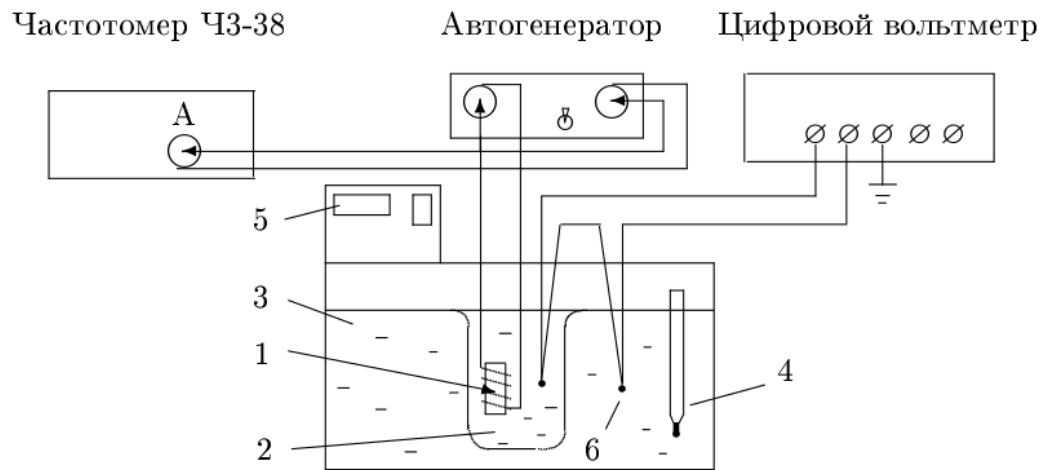


Рис. 1: Схема установки

При  $T \rightarrow 0$  тепловое движение все меньше препятствует магнитным моментам атомов ориентироваться в одном направлении при действии сколь угодно малого внешнего поля, в связи с чем  $\chi$  неограниченно возрастает. В ферромагнетиках это происходит при понижении температуры не до 0, а до температуры Кюри  $\Theta$ . Оказывается, для ферромагнетиков закон Кюри должен быть заменен законом Кюри-Вейсса:

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

где  $\Theta_p$  - температура, близкая к  $\Theta$ .

В данной работе изучается зависимость  $\chi(T)$  гадолиния, так как его точка Кюри лежит в интервале комнатных температур.

**Экспериментальная установка:** схема приведена на рисунке. Рабочий образец из гадолиния расположен внутри пустотелой катушки самоиндукции, входящей в состав колебательного контура, входящего в состав LC-автогенератора. Гадолиний - хороший проводник электрического тока, а рабочая частота генератора достаточно велика, 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, предохраняющим образец от окисления и способствующим ухудшению контакта между кусочками образца, а также улучшающим тепловой контакт между образцом и жидкостью 3 в термостате. Термометр 4 используется для определения температуры термостата.

Магнитную восприимчивость определяем по изменению самоиндукции катушки. Обозначив через  $L$  самоиндукцию катушки с образцом,  $L_0$  - без образца, получим

$$(L - L_0) \sim \chi$$

При изменении самоиндукции образа изменяется период колебаний автогенератора:

$$\tau = 2\pi\sqrt{LC},$$

где  $C$  - емкость контура. Период колебаний в отсутствие образца определяется самоиндукцией пустой катушки:

$$\tau_0 = 2\pi\sqrt{L_0C}$$

Отсюда получим:

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

или

$$\chi \sim (\tau^2 - \tau_0^2)$$

Отсюда видно:

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

### Ход работы.

Первым делом определим допустимое ЭДС термопары, при котором разность температур образца и воды  $\Delta T$  не более 0.5К, зная, что постоянная термопары  $k = 24 \frac{\text{град}}{\text{мВ}}$ :

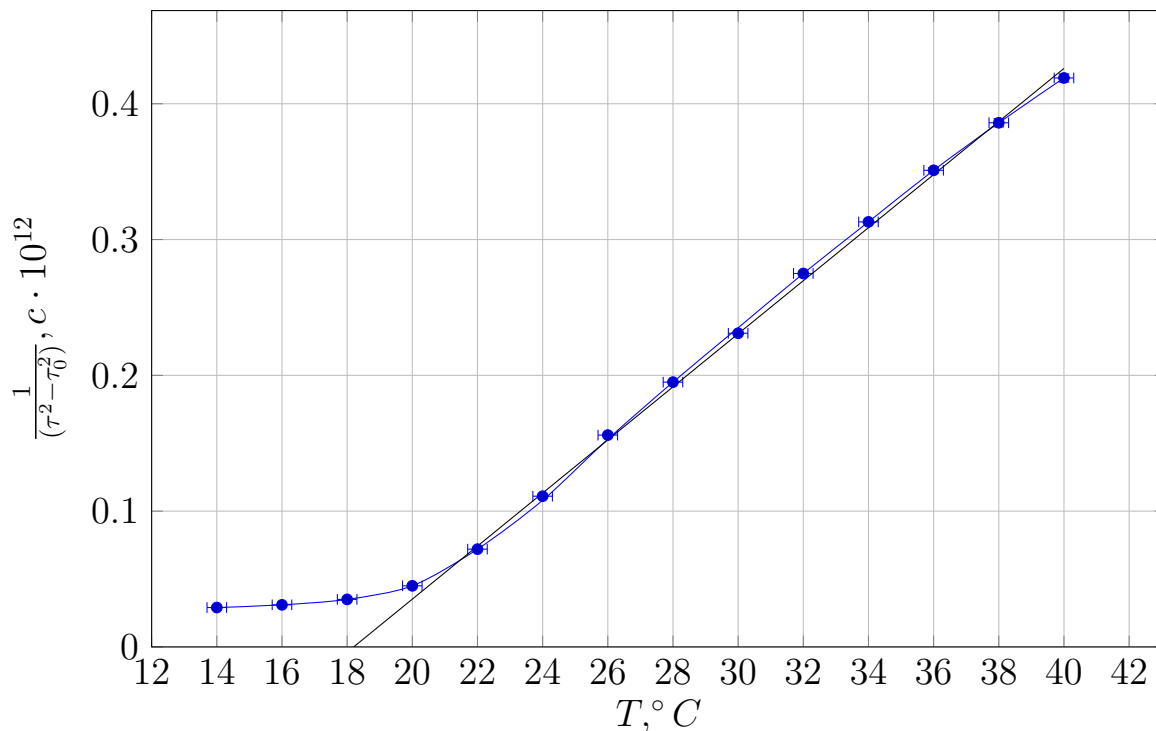
$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{k} = 0.02 \text{ мВ}$$

Указанное на установке время  $\tau_0 = 9.045$  мкс.

Теперь снимем зависимость  $\tau(T)$ :

$T, ^\circ C$	$\tau, \text{мкс}$	$1/(\tau^2 - \tau_0^2), 10^9/c^2$	$\sigma_{1/(\tau^2 - \tau_0^2)}, 10^9/c^2$
14.0	10.776	29.15	0.02
16.0	10.677	31.07	0.02
18.0	10.491	35.40	0.03
20.0	10.191	45.36	0.04
22.0	9.787	71.56	0.10
24.0	9.530	111.0	0.2
26.0	9.393	155.9	0.5
28.0	9.324	195.1	0.7
30.0	9.281	231.2	1.0
32.0	9.244	274.8	1.4
34.0	9.220	312.9	1.8
36.0	9.201	351	2
38.0	9.187	386	3
40.0	9.176	419	3

И построим график зависимости  $T(1/(\tau^2 - \tau_0^2))$ :



Для оценки погрешности отметим, что погрешность  $T$  можно принять равной  $0.3 ^\circ C$ , так как мы ждали, чтобы температура образца и воды в термостате отличалась не более, чем на  $0.1 ^\circ C$ , чему соответствуют показания вольтметра  $10 \text{ мкВ}$  ( $0.010 \text{ мВ} \cdot 24 \frac{\text{град}}{\text{мВ}}$ ). Погрешностью определения температуры при помощи термометра, установленного на термостате, можно пренебречь. Погрешность же

частоты возьмем равной 1 нс, так как следующий разряд на приборе колебался, а этот показывал постоянное значение.

Теперь определим парамагнитную точку Кюри  $\Theta_p$  гадолиния, экстраполируя прямую. Видно, что полученное значение будет равно  $18^\circ C$ . При этом можем считать  $\Theta_p = f(T, \tau)$ , тогда приборную погрешность  $\sigma_{\text{приб}} \approx \sigma_T = 0.3 K$ . Из МНК можно оценить погрешность случайную:  $\sigma_{\text{случ}} \approx 0.2 K$ . Теперь можно найти полную погрешность по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{приб}}^2} = 0.4 K$$

Окончательно получим:

$$\boxed{\Theta_p = (18.0 \pm 0.4)^\circ C}$$

Табличное значение  $\Theta_{p \text{ табл}} = 19^\circ C$ , что с хорошей точностью согласуется с полученным в работе значением.

Таким образом, в данной лабораторной работе мы изучили температурную зависимость магнитной восприимчивости гадолиния в диапазоне температур, близком к точке Кюри, а также определили значение парамагнитной точки Кюри  $\Theta_p$  гадолиния.