

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

---

## Работа 3.4.2

---

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

**Цель работы:**

Изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри

**В работе используются:**

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

## Описание работы

### Теоретическая справка

Ферромагнетики обладают свойством намагничиваться даже в слабых магнитных полях. В настоящей работе для изучения температурной зависимости магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри (то есть в парамагнитной области) используется закон Кюри-Вейса:

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

где  $\chi$  - магнитная восприимчивость,  $C$  - постоянная Кюри, зависящая от вещества,  $T$  - абсолютная температура,  $\Theta_p$  - парамагнитная температура Кюри.

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

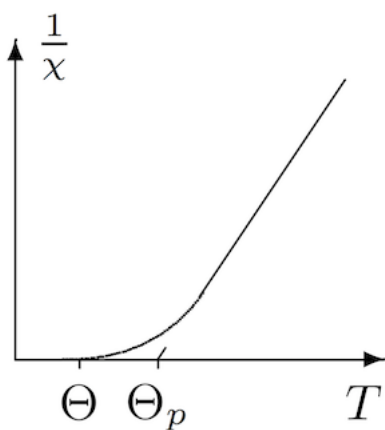


Рис. 1: Теоретический график зависимости обратной магнитной восприимчивости от температуры

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  $\Theta$ , в котором добавка к температуре  $\Theta_p$  - некая температура, называемая парамагнитной точкой Кюри. Она близка к  $\Theta$ , но немного больше её (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.

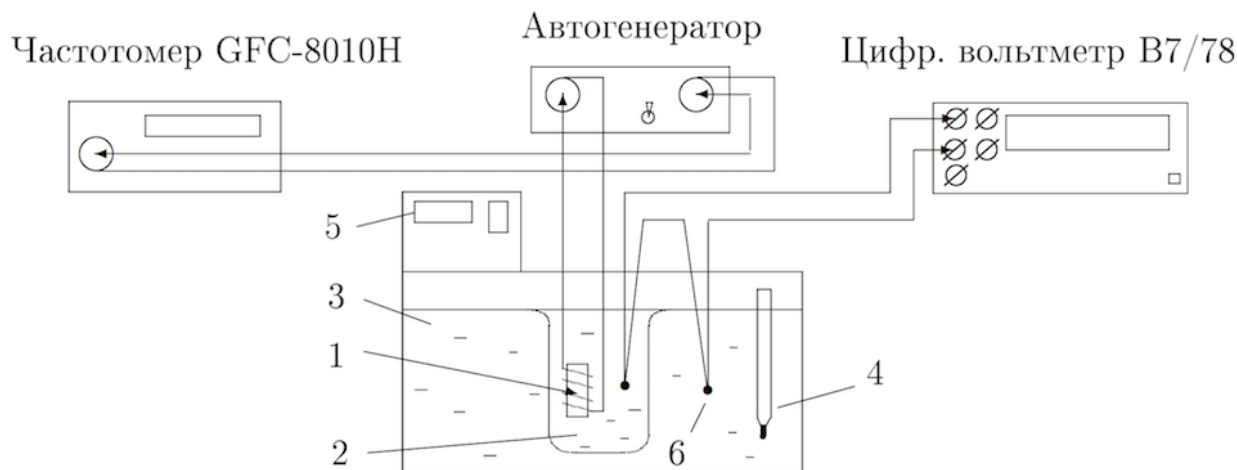


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

## Экспериментальная установка

Схема установки для проверки закона Кюри-Вуйерса показана на рис. 2. Исследуемый ферромагнитный образец (гадолиний) расположен внутри пустотулой 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 изготовлен из мелких кусочков размеров 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  $\chi$ , а следовательно, самоиндукция катушки и период колебаний  $\tau$  автогенератора. Для измерения периода используется частотомер.

Закон Кюри-Вейса справедлив, если выполнено соотношение

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

где  $\tau_0$  - 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 медноконтактной термопары 6 и цифрового вольтметра. Один из спаев термопары находится в тепловом контакте с образцом, а другой погружен 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.