

Работа 3.4.2

Закон Кюри-Вейсса

Подлесный Артём
группа 827

25 сентября 2019 г.

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-константин.

Отчёт о работе

Общая теория

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 магнитная восприимчивость парамагнетиков убывает. В постоянном магнитном поле по закону Кюри:

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

где C – постоянная Кюри.

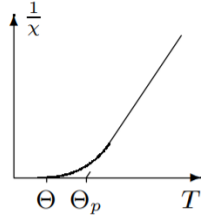


Рис. 1: Зависимость обратной величины магнитной восприимчивости от температуры

Для парамагнитных веществ, которые при понижении температуры становятся ферромагнитными, формула (1) может быть видоизменена. При $T \rightarrow 0$ тепловое движение всё меньше препятствует магнитным моментам атомов ориентироваться в одном направлении при сколь угодно малом поле. В ферромагнетиках – под влиянием обменных сил – это происходит при понижении температуры не до абсолютного нуля, а до температуры Кюри Θ . Оказывается, что у ферромагнетиков закон Кюри должен быть заменён законом Кюри-Вейсса:

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

где Θ_p – температура, близкая к температуре Кюри.

Экспериментальная установка

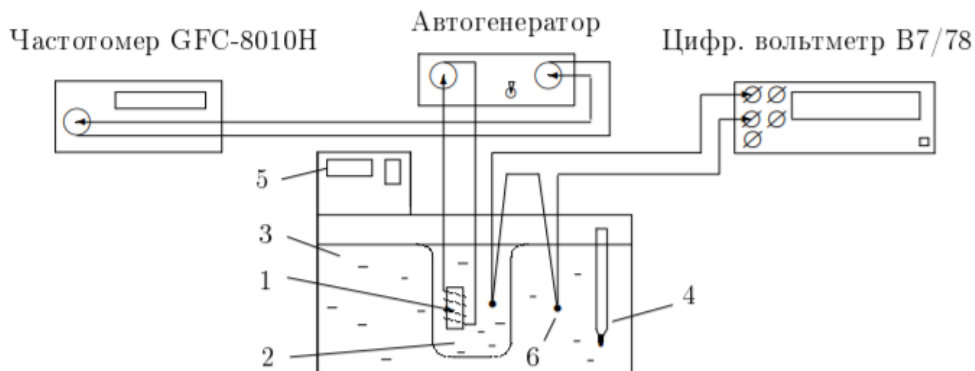


Рис. 2: Экспериментальная установка

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

Температура исследуемого образца всегда несколько отличается от температуры воды в сосуде. Разность их температур контролируется с помощью термопары и электронного вольтметра. Период колебаний автогенератора измерялся, когда эта разность становилась $\leq 0.5^\circ\text{C}$. Чувствительность термопары: $k = 24$ град/мВ. Соответственно допустимое значение напряжения на вольтметре: $\Delta U = 21$ мкВ.

Экспериментальные данные

Была исследована зависимость колебаний LC-генератора от температуры образца. Измерялись: τ – период колебаний, T_d – показания температуры на дисплее термостата, ΔU – ЭДС термопары (с учетом знака). Отсюда была посчитана температура образца T по формуле:

$$T = T_d + k\Delta U,$$

Зависимость показана на таблице. Период колебаний без образца $\tau_0 = 6.9092$.

| τ , мкс | T_d , C | ΔU , мкВ | T , C° | $\tau^2 - \tau_0^2$, мкс ² | $\frac{10^3}{\tau^2 - \tau_0^2}$, мкс ⁻² |
|--------------|-----------|------------------|----------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 7.92795 | 15.22 | 3 | 15.15 | 15.12 | 66.16 |
| 7.85581 | 17.08 | 22 | 16.55 | 31.97 | 31.28 |
| 7.70161 | 19.11 | 18.3 | 18.67 | 50.83 | 19.67 |
| 7.44928 | 21.1 | 18.6 | 20.65 | 71.68 | 13.95 |
| 7.27881 | 23.1 | 14.4 | 22.75 | 94.54 | 10.58 |
| 7.17764 | 25.08 | 20.1 | 24.60 | 119.39 | 8.38 |
| 7.12139 | 27.09 | 19.1 | 26.63 | 146.25 | 6.84 |
| 7.08831 | 29.08 | 18.8 | 28.63 | 175.11 | 5.71 |
| 7.06676 | 31.07 | 19.9 | 30.59 | 205.96 | 4.86 |
| 7.0502 | 33.07 | 17.3 | 32.65 | 238.82 | 4.19 |
| 7.0385 | 35.07 | 16.4 | 34.68 | 273.67 | 3.65 |
| 7.0225 | 37.07 | 16.9 | 36.66 | 310.53 | 3.22 |
| 7.0216 | 39.06 | 18.1 | 38.63 | 349.39 | 2.86 |
| 7.0161 | 41.07 | 6.1 | 40.92 | 390.24 | 2.56 |

Погрешность в определении ΔU составляла 0.3 мкВ, в определении T_d - 0.03 K, τ - 0.00012 мкс. Исходя из этого были посчитаны погрешности для всех остальных значений.

Обработка экспериментальных данных

Необходимо определить парамагнитную точку Кюри Θ_p . Для этого построим графики следующей зависимости: $(\tau^2 - \tau_0^2)^{-1} = f(T)$. Экстраполируя график, находим пересечение графика с осью абсцисс. Отсюда, используя погрешности коэффициента угла наклона графика и знач пересечения с осью ординат, получаем результат для парамагнитной температуры Кюри:

$$\Theta_p = \frac{Intercept}{Slope} = (287 \times 15) \text{ K}. \quad (3)$$

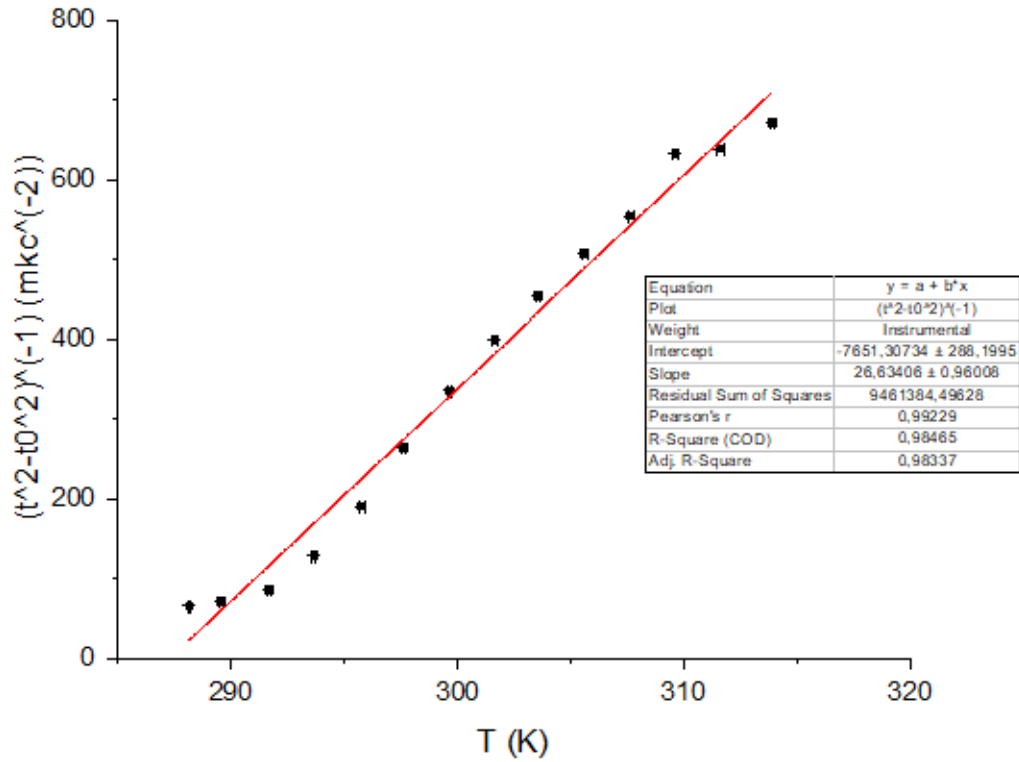


Рис. 3: Зависимость $(\tau^2 - \tau_0^2)^{-1} = f(T)$.

Табличное значение температуры Кюри для гадолиния составляет

$$\Theta_{pteor} = 290 \text{ K.} \quad (4)$$

Отсюда видно, что найденное значение соответствует табличному с учетом погрешности.

Вывод

Таким образом была изучена температурная зависимость магнитной восприимчивости ферромагнетика выше точки Кюри. Было показано, что эта зависимость носит характер парамагнетика, и для нее выполняется закон Кюри-Вейсса, тк с большой точностью определена парамагнитная точка Кюри, которая совпадает с табличным значением.