

Е. В. ТАЛАЛАЕВА, Л. А. ЧЕРНИКОВА, Г. А. ЯРХО

О НАМАГНИЧЕННОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ФЕРРИТОВ—ГРАНАТОВ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ КЮРИ

Определены «критические степени» в температурных и полевых зависимостях намагниченности монокристаллов редкоземельных ферритов—гранатов в окрестности точки Кюри. Полученные результаты дают возможность сравнить экспериментально определенные «критические степени» с теоретическими.

Экспериментальное изучение ферро- и антиферромагнетиков в области магнитного превращения в последнее время приобрело большое значение не только для теории магнитных фазовых переходов, но и для исследования фазовых переходов в твердых и жидких телах в связи с появлением большого числа работ, в которых производился учет корреляций взаимодействующих частиц. Эти расчеты основываются на различного типа моделях и допущениях, правильность которых может быть установлена экспериментально.

Зависимость спонтанной намагниченности ферромагнетиков от температуры непосредственно ниже точки Кюри подчиняется соотношению

$$\sigma_S = A(\theta - T)^f, \quad (1)$$

где θ — температура Кюри, f — степень, равная $1/2$ по теории молекулярного поля и термодинамической теории Ландау. В модели Изинга f изменяется от 0,3 до $5/16$ [1], [2], а в модели Гайзенберга $f = 1/3$ [3].

Температурная зависимость начальной магнитной восприимчивости парапроцесса выше точки Кюри, согласно теории, представляется в виде

$$\chi_0^{-1} = B(T - \theta)^\gamma, \quad (2)$$

где $\gamma = 1$ в соответствии с теорией молекулярного поля и термодинамической теорией Ландау; $\gamma = 1,31-1,33$ [4] по модели Гайзенберга и $\gamma = 1,25$ согласно модели Изинга для трехмерной решетки [2].

Для полевой зависимости намагниченности при $T = \theta$ теория дает выражение

$$\sigma = CH^\delta, \quad (3)$$

где $\delta = 1/3$ по теории молекулярного поля и термодинамической теории Ландау, $\delta = 1/5$ — согласно моделям Изинга и Гайзенберга [3].

В формулах (1), (2), (3) f , δ , γ — так называемые «критические степени», а A , B , C — коэффициенты, зависящие от магнитной и кристаллической структуры.

Теория молекулярного поля в применении к двухподрешеточным ферромагнетикам для температурной зависимости спонтанной намагниченности (см. (1)) дает степень $f=1/2$ [5], совпадающую с тем значением, которое получается по теории молекулярного поля для ферромагнетиков.

Температурная зависимость восприимчивости двухподрешеточных ферритов выше температуры Кюри описывается законом Нееля [5]. Изменение восприимчивости с температурой в соответствии с этим законом носит нелинейный характер. Однако закон Нееля непосредственно вблизи точки Кюри (в переходной области) не выполняется [6]. Здесь справедлив закон (2). Соответствующие расчеты «критических степеней» для трехподрешеточных ферритов, какими являются редкоземельные гранаты, никем еще не проводились. Поэтому практический интерес представляет экспериментальное определение в ферритах — гранатах величины «критических степеней».

Образцы и методика измерений

В настоящей работе проводилось исследование температурной зависимости намагниченности монокристаллических образцов редкоземельных ферритов — гранатов в районе температуры Кюри вдоль оси [111].

Монокристаллы ферритов — гранатов были выращены из расплава. Исследуемые образцы имели форму шариков диаметром от 0,5 до 1,5 мм.

Исследование температурной зависимости намагниченности таких малых образцов проводилось на магнитометре, представляющем собой видоизмененный маятник Доминикали [7].

Принцип действия установки заключается в компенсации момента силы, действующей на образец в неоднородном магнитном поле, специальной компенсационной системой. Система компенсации представляет собой плоскую катушку, перемещающуюся в прорези кольцеобразного магнита (см. рис. 1). Возникающий в катушке компенсирующий момент линейно зависит от тока, текущего в катушке. Компенсационная система на-

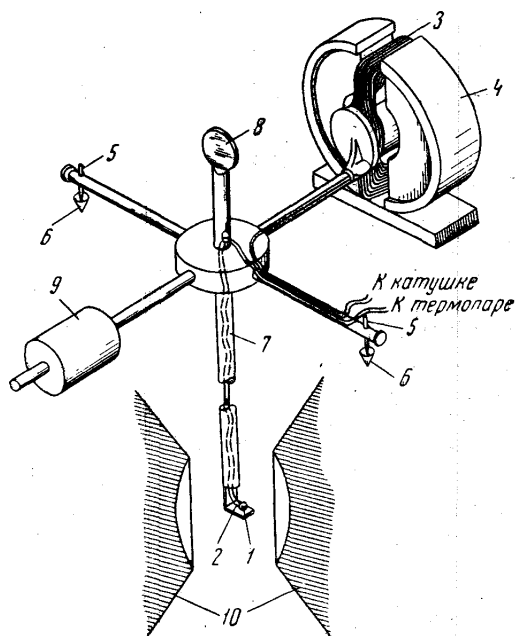


Рис. 1. Магнитометр 1 — образец, 2 — термопара, 3 — компенсационная плоская катушка, 4 — постоянный магнит, 5 — стальные иглы, 6 — агатовые подпятники, 7 — кварцевая трубка, 8 — зеркало, 9 — балансир, 10 — полюсные наконечники электромагнита

ходится вне магнита и печи, что позволяет использовать установку для измерений в широком интервале температур (от района температуры Кюри до гелиевых температур).

Метод измерения является относительным; установка проградуирована по никелю. Чувствительность установки при данном зоре и данной форме полюсов — $1,5 \times 10^{-4}$ гаусс·см³. Использование вращающейся подставки магнита позволяет исследовать анизотропию намагниченности образцов.

Результаты измерений

Спонтанная намагниченность образцов определялась из изотерм намагниченности, снятых в поле напряженностью до 15 Кэв. Изотермы намагниченности парапроцесса ферритов—гранатов вблизи температуры Кюри удовлетворительно описываются уравнениями вида

$$\alpha + \beta \sigma^2 = \frac{H}{\sigma}, \quad (4)$$

где α и β — термодинамические коэффициенты. Эти изотермы являются прямыми, экстраполяция которых к оси σ^2 ($H=0$), дают значения σ_S^2 .

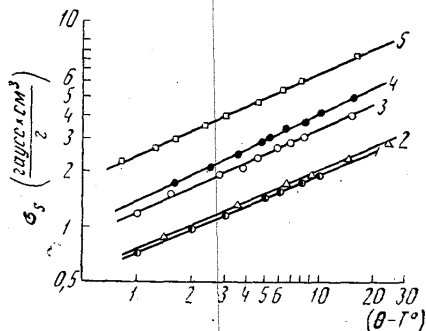


Рис. 2. Зависимость спонтанной намагниченности монокристаллических редкоземельных ферритов—гранатов $R_3Fe_5O_{12}$ от $(\theta-T)$, где R — редкоземельный ион. 1 — Cd, 2 — Tb, 3 — Ho, 4 — Er, 5 — Y

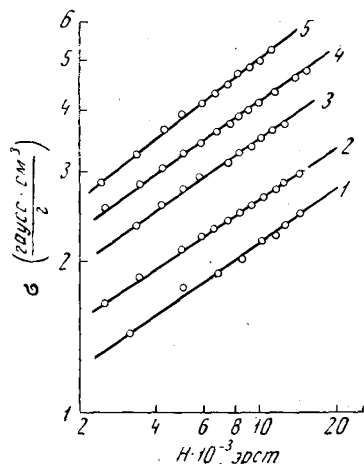
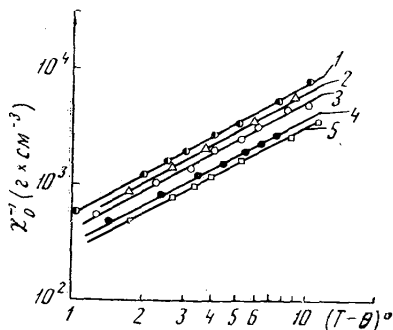


Рис. 3. Зависимость намагниченности монокристаллических редкоземельных ферритов—гранатов $R_3Fe_5O_{12}$ от поля при температуре Кюри. 1 — Cd, 2 — Tb, 3 — Ho, 4 — Er, 5 — Y

Рис. 4. Зависимость обратной величины начальной восприимчивости парапроцесса монокристаллических редкоземельных ферритов—гранатов $R_3Fe_5O_{12}$ от $(T-\theta)$. 1 — Cd, 2 — Tb, 3 — Ho, 4 — Er, 5 — Y



Полученная в этом случае кривая $\sigma_S(T)$ не образует «хвоста» самопроизвольной намагниченности. Из кривой $\sigma_S(T)$ нами были определены значения температур Кюри θ исследуемых образцов, а интересующие нас «критические степени» определялись вблизи этих значений θ .

Величина χ_0 выше температуры Кюри определялась путем экстраполяции кривых $H/\sigma(\sigma^2)$ к оси H/σ . Отрезок, отсекаемый на оси H/σ , дает $1/\chi_0$, т. е. обратную величину начальной восприимчивости парапроцесса в нулевом поле при данной температуре.

Полученные результаты представлены в логарифмическом масштабе на рис. 2, 3, 4.

На рис. 2 дана зависимость σ_s от $(\theta - T)$, на рис. 3 — зависимость σ от H в точке Кюри, на рис. 4 — зависимость χ_0^{-1} от $(T - \theta)$ для всех исследованных монокристаллических образцов. Как видно из рисунков, экспериментальные точки достаточно хорошо укладываются на прямые линии. «Критические степени» — f , δ , γ определены из наклона соответствующих прямых и представлены в таблице.

$R_3Fe_5O_{12}$	$f \pm 0,05$	$\delta \pm 0,02$	$\gamma \pm 0,03$
$Y_3Fe_5O_{12}$	0,48	0,33	1,15
$Er_3Fe_5O_{12}$	0,48	0,34	1,12
$Ho_3Fe_5O_{12}$	0,45	0,35	1,15
$Tb_3Fe_5O_{12}$	0,45	0,33	1,18
$Gd_3Fe_5O_{12}$	0,45	0,32	1,17

Следует отметить, что в работе [8] исследовались «критические степени» для иттриевого граната и были получены значения $f = 0,63$ и $\gamma = 0,9$. Расхождение в величине f с результатами наших измерений можно объяснить различием как в методе определения σ_s , так и в методе определения самой температуры Кюри [9]. Величина γ была определена нами для переходной области, лежащей в непосредственной близости к температуре Кюри (выше θ на $10^\circ - 15^\circ$), а в работе [8] — вдали от температуры Кюри примерно на 100° .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность проф. К. П. Белову за помощь в работе и обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baker G. A. Phys. Rev., **124**, 768, 1961.
2. Essam J. W., Fischer M. E., J. Chem. Phys., **38**, 802, 1963.
3. Паташинский А. З., Покровский В. Л. ЖЭТФ, **50**, вып. 2, 439, 1966.
4. Baker G. A. Phys. Rev., **136**, A 1376, 1964.
5. Neel L. Ann. de Phys., **3**, 137, 1948.
6. Leonard R., Barbier J., Pauthenet R. Compt. Rend., **242**, No. 21, 2531, 1956.
7. Dominicali. Rev. Sci. Inst., **21**, No. 4, 327, 1950.
8. Anderson E. Phys. Rev. Lett., **17**, No. 7, 375, 1966.
9. Белов К. П., Горяга А. Н. «Физика металлов и металлосед», **2**, вып. 1, 1956.

Поступила в редакцию
3. 7 1967 г.

Кафедра
общей физики для биологов