

## ТОПОЛОГИЯ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ПРИ СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ И АФМР В ОРТОФЕРРИТАХ ДИСПРОЗИЯ И ИТТРИЯ

*А.М.Балбашов, А.Г.Березин, Ю.М.Гуфан, Г.С.Колядко,  
П.Ю.Марчуков, И.В.Николаев, Е.Г.Рудашевский*

Обнаружено, что при замене редкоземельного иона диспрозия на ион иттрия в ортоферрите при одинаковых знаках "первых" констант анизотропии меняется знак комбинации "вторых" констант, что ведет к изменению топологии фазовой диаграммы при спиновой переориентации, индуцированной магнитным полем.

Энергетическую щель в спектре спиновых волн антиферромагнетика при индуцированной магнитным полем спиновой переориентации обычно связывают с фазовым переходом первого рода. Однако возможна ситуация, когда смягчающаяся мода не связана непосредственно с теми компонентами параметра порядка, которые участвуют в формировании спектра спиновых волн. В этом случае конечная энергетическая щель может быть и при фазовом переходе второго рода <sup>1</sup>, что обусловлено многокомпонентностью параметра порядка <sup>2</sup> (отметим, что рассматривается только магнитная подсистема, не связанная с другими подсистемами кристалла).

В силу вышесказанного возникает принципиальная задача выяснения возможных видов фазовых диаграмм и термодинамических путей на них при спиновой переориентации, индуцированной магнитным полем.

Термодинамический потенциал Ландау, записанный в соответствии с симметрией орторомбических кристаллов, имеет вид <sup>3,4,1</sup>:

$$\Phi(\mathbf{M}, \mathbf{L}) = \Phi_0(L^2) + \frac{1}{2} B M^2 + \frac{1}{2} D(\mathbf{M}\mathbf{L})^2 + d(M_x L_z - M_z L_x) - \mathbf{M}\mathbf{H} + \\ + \frac{1}{2} a_1 L_x^2 + \frac{1}{2} a_2 L_y^2 + \frac{1}{2} a_3 L_z^2 + \frac{1}{4} a_{11} L_x^4 + \frac{1}{4} a_{22} L_y^4 + \frac{1}{4} a_{33} L_z^4 +$$

$$+ \frac{1}{2} a_{12} L_x^2 L_y^2 + \frac{1}{2} a_{13} L_x^2 L_z^2 + \frac{1}{2} a_{23} L_y^2 L_z^2,$$

где, как обычно  $M = M_1 + M_2$ ,  $L = M_1 - M_2$ ,  $M_1, M_2$  — намагниченность подрешеток. Также будем считать  $L^2 = L_0^2$  <sup>5</sup>, где  $L_0$  — равновесное значение антиферромагнитного вектора,  $H = (H_x, 0, 0)$  и при  $H = 0$   $L = (L_x, 0, 0)$ .

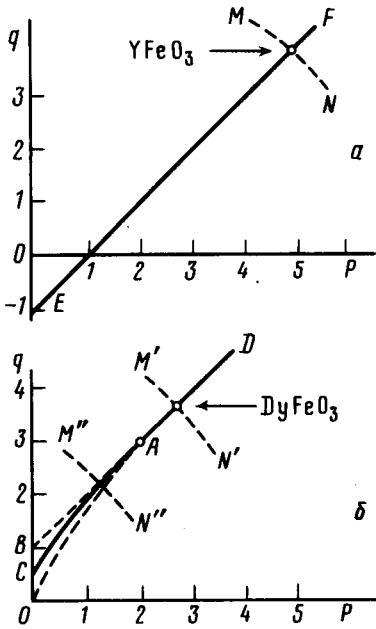


Рис. 1

Рис. 1. Фазовая диаграмма, соответствующая переориентации вектора  $L$  в плоскости ас ортоферрита при изменении магнитного поля.  $q = [L_0^2 a^{(1)} \chi_{\perp}^{-1} - (1 - \chi_{\parallel} / \chi_{\perp}) H^2] / L_0^4 |a^{(2)}| \chi_{\perp}^{-1}$ ,  $p = HH_D / L_0^4 |a^{(2)}| \chi_{\perp}^{-1}$ ,  $a^{(1)} = a_3 - a_1 + L_0^2 (a_{13} - a_{11})$ ,  $H_D = dL_0$ ,  $\chi_{\perp}^{-1} = B$ ,  $\chi_{\parallel}^{-1} = B + DL_0^2$ . Траектории  $MN, M'N', M''N''$  — возможные термодинамические пути при изменении магнитного поля и постоянной температуре. Уравнения линий:  $BD-q = p + 1$ ,  $CA-p = (2 \cdot 3^3)^{-1} [\sqrt{6q-2} + 2]^2 [\sqrt{6q-2} - 1]$ ,  $OA-q = 3(p/2)^{2/3}$

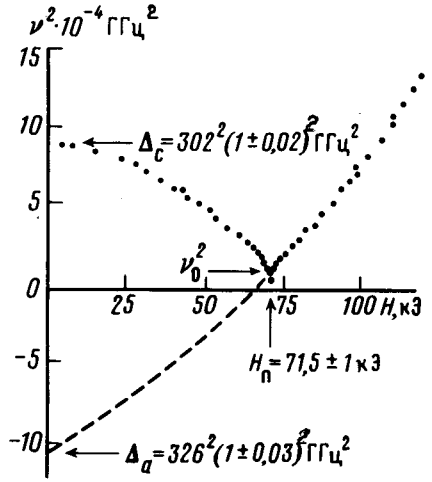


Рис. 2

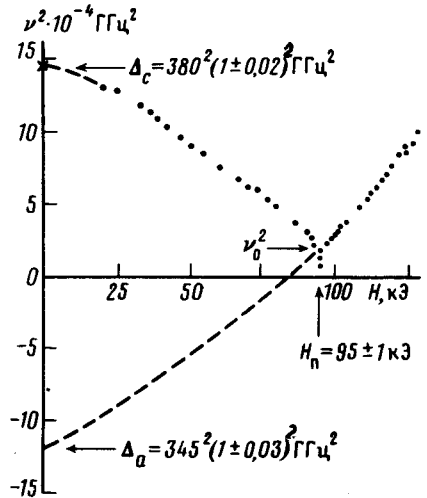


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость  $\nu^2(H)$  для  $YFeO_3$  при  $T = 293$  К,  $H \parallel a$

Рис. 3. Зависимость  $\nu^2(H)$  для  $DyFeO_3$  при  $T = 293$  К,  $H \parallel a$ . Значение  $\nu_{0c}^2(*)$  взято из работы <sup>7</sup>

В зависимости от знака комбинации "вторых" констант анизотропии  $a^{(2)} = a_{11} + a_{33} - 2a_{13}$  возможны два типа различающихся по топологии фазовых диаграмм (рис. 1, а, б). При  $a^{(2)} > 0$  имеет место линия фазовых переходов второго рода ( $EF$ ), а при  $a^{(2)} < 0$  может быть как линия переходов второго рода ( $AD$ ), так и линия фазовых переходов первого рода ( $CA$ ).

Используя простейшие термодинамические уравнения движения <sup>6,7</sup> при условия  $L^2 = L_0^2$ , можно получить выражения для частот антиферромагнитного резонанса  $\nu = \nu_{0c}$  ( $H_x = 0$ , вектор  $L$  параллелен а — оси ортоферрита) и  $\nu = \nu_{0a}$  ( $\nu_{0a}$  соответствует экстраполяции к  $H_x = 0$  в формуле для частоты АФМР при ориентации вектора  $L$  вдоль оси с):

$$\nu_{0c}^2 = \Delta_c = \gamma^2 (4\pi^2 \chi_{\perp}^{-1})^{-1} [a_3 - a_1 + (a_{13} - a_{11}) L_0^2] L_0^2,$$

$$v_{0a}^2 = -\Delta_a = -\gamma^2(4\pi^2\chi_{\perp})^{-1}[a_3 - a_1 + (a_{33} - a_{13})L_0^2]L_0^2$$

(в расчетах для кинетического коэффициента  $\gamma$  использовалось значение  $\gamma = \gamma_0 = ge/2mc$ ).

Из этих выражений следует, что знак величины  $(\Delta_a - \Delta_c)$  совпадает со знаком комбинации  $a^{(2)}$  "вторых" констант анизотропии и тем самым определяет принадлежность к одному из приведенных типов фазовой диаграммы. Таким образом, экспериментальные исследования АФМР в сильных магнитных полях дают принципиальную возможность установить топологию фазовой диаграммы, соответствующей индуцированной магнитным полем спиновой переориентации.

В настоящей работе были исследованы "низкочастотные" ветви АФМР ортоферритов иттрия  $YFeO_3$  и диспрозия  $DyFeO_3$  при ориентации магнитного поля вдоль оси  $a$  орторомбического кристалла при  $T = 293$  К. Методика измерений аналогична описанной в работе <sup>1</sup>. Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и 3, из которых видно, что разность  $\Delta_a - \Delta_c$  положительна для  $YFeO_3$  и отрицательна для  $DyFeO_3$ . Таким образом, экспериментально установлено, что  $YFeO_3$  и  $DyFeO_3$  при комнатной температуре относятся к топологически различным фазовым диаграммам, изображенным на рис. 1,  $a$  и  $b$ , соответственно. Линии  $MN$  и  $M'N'$  показывают термодинамические пути исследованных ортоферритов при изменении магнитного поля. Отметим, что в  $DyFeO_3$  так же, как и в  $YFeO_3$ , энергетическая щель при  $H = H_{II}$  наблюдается при пересечении линии фазовых переходов второго рода (линия  $AD$  на рис. 1,  $b$ ).

Представляет интерес тот факт, что замена редкоземельного иона диспрозия на ион иттрия, не изменяя знака комбинации "первых" констант анизотропии и качественного вида зависимости  $v^2(H)$ , приводит к изменению знака комбинации "вторых" констант  $a^{(2)}$ , которая определяет топологические особенности фазовых диаграмм.

Авторы глубоко признательны академику А.М.Прохорову за постоянное внимание к работе и обсуждение результатов. Искренне благодарим В.Г.Веселаго и Л.П.Максимова за содействие при проведении экспериментов на установке "Соленоид".

#### Литература

1. Балбашов А.М., Березин А.Г., Гуфан Ю.М., Колядко Г.С., Марчуков П.Ю., Николаев И.В., Рудашевский Е.Г. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 391.
2. Гуфан Ю.М., Прохоров А.М., Рудашевский Е.Г. Тезисы докладов на XVII Всесоюзной конференции по магнетизму, Донецк, 1985, секция 1, с. 5.
3. Дзялошинский И.Е. ЖЭТФ, 1957, 32, 1547.
4. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1977.
5. Боровик-Романов А.С. Антиферромагнетизм. Сб. Антиферромагнетизм и ферриты. Сер. физ.-мат. наук., т. 4, изд. ВИНТИ, Москва, 1962 г.
6. Гуфан Ю.М. ЖЭТФ, 1971, 60, 1537.
7. Рудашевский Е.Г. Тезисы докладов на 16 Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений, Тула, 1985, т. 3, с. 150.
8. Балбашов А.М., Волков А.А., Лебедев С.П., Мухин А.А., Прохоров А.С. ЖЭТФ, 1985, 88, 974.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
21 января 1986 г.