

НЕОБЫЧНАЯ СПИНОВАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ В ЗАМЕЩЕННЫХ ОРТОХРОМИТАХ $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ С НЕМАГНИТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

А.М.Кадомцева, Г.Г.Артемьев, М.М.Лукина, В.Н.Милов,
В.И.Неделько, М.В.Семенова, Е.В.Синицын

Впервые обнаружены спин-переориентационные переходы в соединениях $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ с немагнитными редкоземельными ионами. Их возникновение связывается с наличием в исследуемой системе конкурирующей магнитной анизотропии.

До настоящего времени спин-переориентационные переходы (СПП) наблюдались только в ортоферритах и ортохромитах, содержащих магнитные редкоземельные ионы, под влиянием анизотропного $f-d$ -обмена. Нами обнаружен СПП в системе $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ с немагнитными ионами Y^{3+} и Lu^{3+} при $x = 0,8; 0,9$. Ниже будет рассмотрен возможный механизм появления СПП в этих соединениях, который не укладывается в рамки традиционных представлений об определяющем влиянии редкоземельных ионов на магнитную анизотропию и ориентационные переходы в редкоземельных перовскитах¹.

Монокристаллы $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ были выращены из раствора в расплаве свинцовых соединений. Количественное содержание ионов Y^{3+} , Lu^{3+} определялось методом рентгено-спектрального анализа. На полученных монокристаллах в интервале температур 4,2 – 150К проведены измерения вращающих моментов на торсионных магнитных весах с автокомпенсацией в магнитных полях до 10 кЭ. В этом же температурном интервале измерены магнитострикции вдоль различных кристаллографических направлений с помощью контактно-пьезоэлемента в импульсных полях до 80 кЭ.

Из экспериментально измеренных кривых вращающих моментов $M(\varphi)$ (φ – угол между направлением магнитного поля H и c -осью кристалла), снятых в ac -плоскости, были получены путем перестройки кривые зависимости $M(\theta)$ (θ – угол между направлением слабоферромагнитного момента и c -осью), из которых определялись константы анизотропии согласно соотношению

$$L = K_u \sin 2\theta + 4K_b \sin 4\theta.$$

Поправка в угле при переходе от $M(\varphi)$ к $M(\theta)$ в полях $H \sim 10^4$ Э, в несколько раз превышающих пороговое поле, была невелика:

$$\theta - \varphi = \arcsin \frac{M}{H(F_0 + \chi_{\perp} H)} < 10^\circ,$$

что обеспечивало надежное определение констант анизотропии.

Температурная зависимость константы анизотропии второго порядка K_u^{ac} , определенная из кривых вращающих моментов, снятых при различных температурах для состава $x = 0,9$, приведена на рис. 1. Константа анизотропии четвертого порядка K_b для данного состава была мала, и определение ее температурной зависимости из кривых вращения было затруднительно. При температуре 90К ее величина не превышала 30 эрг/г.

Заметим, что константы анизотропии, определенные из кривых вращающих моментов, связаны с константами анизотропии в разложении термодинамического потенциала

$$\Phi = \Phi_0 + K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta$$

следующими соотношениями:

$$K_1 = -(K_u + 8K_b); \quad K_2 = 8K_b.$$

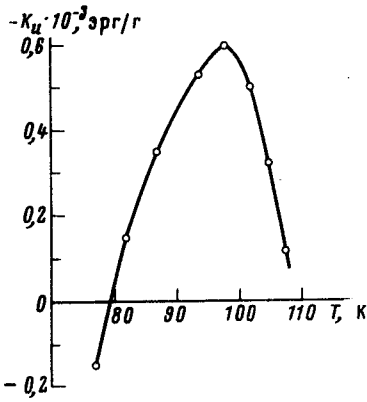


Рис.1

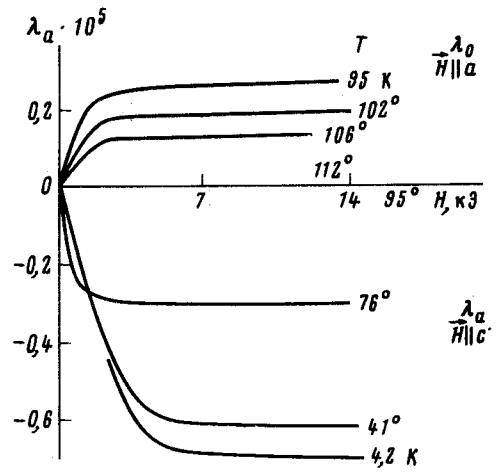


Рис.2

Рис. 1. Температурная зависимость константы анизотропии в ac -плоскости K_u для состава с $x = 0,9$

Рис. 2. Изотермы магнитострикции $\lambda_a(H)$ при ориентации магнитного поля вдоль a - и c -осей, $x = 0,9$

Ниже точки Нееля $T_N = 112\text{К}$ магнитный момент этого кристалла направлен вдоль c -оси (спиновая конфигурация $\Gamma_4(G_x F_z)$ — где F, G — векторы ферро- и антиферромагнетизма), и константа анизотропии K_1 положительна. Вблизи $T_r = 80\text{К}$ константа анизотропии, как это хорошо просматривалось из кривых вращающих моментов, меняет знак, что свидетельствует о переориентации момента к оси a — переход $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_2(F_x G_z)$. На это указывают также полевые зависимости магнитострикции, возникающей при наложении магнитного поля вдоль оси антиферромагнетизма выше и ниже T_r (рис. 2). Видно, что при $H \parallel a$ и $T > T_r$ возникает магнитострикция, обусловленная индуцированным полем переходом $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_2$. Наложение магнитного поля вдоль c -оси кристалла при этих температурах не вызывает магнитострикционных деформаций. Ниже T_r магнитострикция возникает только при $H \parallel c$ и имеет противоположный знак, что связано с переходом $\Gamma_2 \rightarrow \Gamma_4$ в магнитном поле.

Необычная спиновая переориентация наблюдалась для состава $x = 0,8$. При температурах ниже $T_N = 112\text{К}$ магнитный момент кристалла был направлен вдоль c -оси, и магнитострикция, обусловленная индуцированным переходом $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_2$, возникала только при $H \parallel a$, что свидетельствует о вращении F от c -к a -оси кристалла. Ниже 30К магнитострикции, возникающие при ориентации поля вдоль a - и c -осей, сравнились по величине, что соответствует ориентации магнитного момента F под углом 45° к оси c в ac -плоскости. Температурная зависимость угла вращения спинов, полученная из измерений магнитострикции, приведена на рис. 3.

Особенности ориентационных переходов в составах $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ можно объяснить, рассматривая их как системы с конкурирующей анизотропией. Действительно, константа анизотропии ионов Cr^{3+} K_1 в $LuCrO_3$ (магнитная структура Γ_2) в ac -плоскости кристалла отрицательна в отличие от остальных ортохромитов, в том числе и $YCrO_3$, где $K_1 > 0$ (магнитная структура Γ_4)². Можно ожидать, что при концентрации $x_c \approx 0,9$ ¹⁾ константа

¹⁾ Оценка x_c получена на основании данных о константах анизотропии $YCrO_3, LuCrO_3$, а также $Y_{0,5}Lu_{0,5}CrO_3$ ² при $T = 0\text{К}$.

K_1 сменит знак. В составах с x , близким к x_c , вследствие концентрационных флуктуаций велика вероятность существования обменно связанных областей с различным знаком константы K_1 : $K_1(r) > 0$ при $x(r) < x_c$ и $K_1(r) < 0$ при $x(r) > x_c$. Поскольку температура Нееля в системе $Y_{1-x}Lu_xCrO_3$ монотонно убывает с ростом x от 141К до 112К, можно ожидать, что температурная зависимость $K_1(r)$ в указанных областях также различна, особенно вблизи T_N . Естественно предположить, что при высоких температурах $T \approx T_N$ доминирует магнитная анизотропия областей с меньшей концентрацией $x(r) < x_c$, имеющих более высокую температуру упорядочения, и средняя константа анизотропии системы (\bar{K}_1) положительна. При низких же температурах знак средней константы \bar{K}_1 определяется, в основном, относительной объемной концентрацией областей с $K_1(r) > 0$ и $K_1(r) < 0$, или, что эквивалентно, концентрацией x . При $x > x_c$ $K_1(T \approx 0) < 0$, т. е. возможно изменение знака средней константы анизотропии с температурой, приводящее к спин-переориентации.

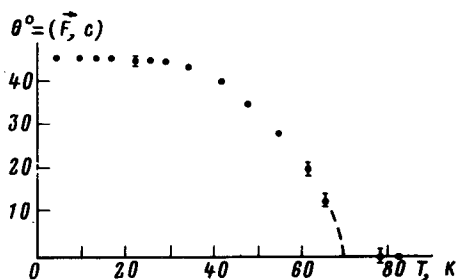


Рис. 3. Температурная зависимость угла θ , задающего ориентацию магнитного момента в составе с $x = 0,8$

Как показано в ³, на характер ориентационных переходов в системах с конкурирующей анизотропией существенное влияние оказывают ориентационные флуктуации векторов F , G , вызванные флуктуациями $K_1(r)$. Их вклад в термодинамический потенциал системы приводит к перенормировке константы \bar{K}_1 и возникновению эффективной анизотропии 4-го порядка $K_2 > 0$ (в чистых $RCrO_3K_2 \approx 0^2$). Это способствует расширению интервала температур, в котором происходит спин-переориентация, и может быть причиной появления устойчивой угловой ориентации спинов, наблюдаемой для состава с $x = 0,8$.

Литература

1. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979, а 320.
2. Кадомцева А.М., Агафонов А.П., Лукина М.М., Милов В.Н., Москвин А.С., Семенов В.А., Сеницын Е.В. ЖЭТФ, 1981, 81, 700.
3. Сеницын Е.В., Бострем И.Г. ЖЭТФ, 1983, 85, 661.