

Особенности индуцированного магнитным полем ориентационного перехода в EuMnO_3

А. М. Кадомцева¹⁾, Ю. Ф. Попов, Г. П. Воробьев, В. Ю. Иванов*, А. А. Мухин*, А. М. Балбашов⁺

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119992 Москва, Россия

* Институт общей физики РАН, 119991 Москва, Россия

⁺ Московский энергетический институт, 105835 Москва, Россия

Поступила в редакцию 6 мая 2005 г.

Обнаружено, что спин-флоп-переход в манганите EuMnO_3 , индуцированный магнитным полем $H \parallel b$ -оси, сопровождается не только скачком намагниченности и аномалиями магнитострикции, но и появлением электрической поляризации вблизи поля перехода $H_{cr} \sim 200$ кЭ. Это явление может быть связано с возникновением магнитно-неоднородных (модулированных) состояний вблизи H_{cr} , в которых система теряет центр симметрии, что допускает появление поляризации. Образование таких состояний в магнитном поле обусловлено общей тенденцией возникновения магнитно-неоднородных (несоизмерных) структур в ряду RMnO_3 за счет фрустрации обменных взаимодействий при уменьшении ионного радиуса редкоземельного иона R, начиная с $R = \text{Eu}$.

PACS: 75.80.+q

Введение. Редкоземельные манганиты RMnO_3 , имеющие орторомбическую искаженную структуру перовскита для R от La до Dy) (пространственная группа $Pbnm$), являются базовыми соединениями для получения материалов с колоссальным магнитосопротивлением путем их допирования Ca или Sr. Недавно были выявлены новые интересные свойства некоторых манганитов RMnO_3 , связанные с возникновением в них электрической поляризации в области существования модулированных спиновых структур [1, 2], возникающих из-за фрустрации обменных взаимодействий при уменьшении ионного радиуса редкоземельного иона R. Установлено [1–6], что для $R = \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$ ниже точки Нееля образуется пространственно-модулированная несоизмерная магнитная структура, которая при дальнейшем понижении температуры переходит либо в обычную скошенную антиферромагнитную структуру $A_Y F_Z$ типа (Eu, Gd) [2–6], либо – в соизмерную модулированную структуру при $T = T_{\text{lock}}$ (Tb, Dy) [1–4]. В TbMnO_3 и DyMnO_3 при переходе от несоизмерной к соизмерной модулированной структуре при $T_{\text{lock}} \sim 20$ К обнаружено возникновение электрической поляризации и магнитоэлектрического эффекта, механизм которых связывается с индуцированием модуляции кристаллической структуры за счет магнитоупругого взаимодействия [1, 2]. В температурной зависимости диэлектрической постоянной в этих

манганитах наблюдались аномалии при T_{lock} , которые проявляли сильную анизотропию в зависимости от ориентации электрического поля. Аномалии диэлектрической проницаемости наблюдались также для монокристаллов GdMnO_3 [2, 7, 8] и EuMnO_3 [2] вблизи температур перехода T_{CA} от несоизмерной модулированной структуры в антиферромагнитное скошенное состояние. При этом в GdMnO_3 спонтанная электрическая поляризация не наблюдалась в работе [2], но она была обнаружена в работе [7]. Недавно нами было показано [8], что в GdMnO_3 при приложении магнитного поля $H \parallel b$ ($H_{cr} \sim 40$ кЭ) наблюдается изменение электрической поляризации ΔP вдоль a - и b -осей кристалла, причем знак ΔP зависит от знака электрического поля, в котором охлаждается кристалл. Что касается EuMnO_3 , то для него существование электрической поляризации и магнитоэлектрических взаимодействий не было выявлено [2]. Тем не менее, представляло интерес провести по аналогии с GdMnO_3 [8] детальное исследование монокристалла EuMnO_3 в сильных магнитных полях с целью выявления возможной тенденции к возникновению магнитоэлектрических взаимодействий в этом кристалле.

В EuMnO_3 ниже $T_N \sim 50$ К возникает, согласно [6], несоизмерная модулированная антиферромагнитная структура, которая при температуре $T_{CA} \sim 43$ К переходит в скошенное антиферромагнитное состояние с поперечным слабоферромагнитным моментом вдоль c -оси ромбического кристалла ($A_Y F_Z$).

¹⁾ e-mail: kadoomt@plms.phys.msu.ru

Представляло также интерес сопоставить свойства EuMnO_3 и SmMnO_3 , где в последнем при всех температурах $T < T_N = 60$ К наблюдается однородная магнитная структура $A_Y F_Z$ [6].

Экспериментальные результаты и обсуждение. Монокристаллы EuMnO_3 и SmMnO_3 , были выращены методом зонной плавки с оптическим нагревом. Порошковый рентгеновский анализ показал, что кристаллы являются однородными и обладают орторомбической кристаллической структурой типа $Pbnm$. Ориентация кристаллов проводилась рентгенографическим методом.

Измерялась магнитная восприимчивость на переменном токе $\chi_{ac}(T)$ на частоте ~ 240 Гц и амплитуде переменного магнитного поля порядка нескольких долей эрстеда в диапазоне температур 4.2–60 К. В температурной зависимости восприимчивости EuMnO_3 вдоль c -оси (рис.1) наблюдался сла-

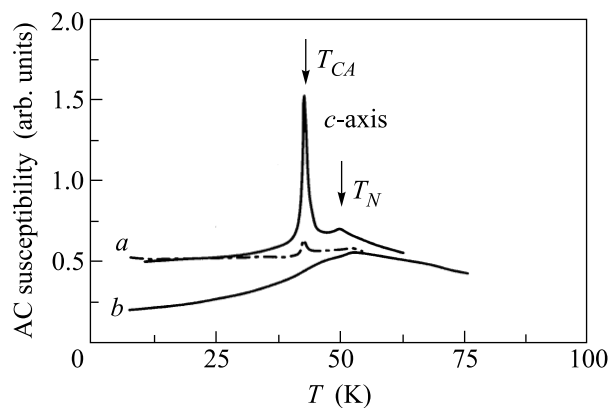


Рис.1. Температурные зависимости восприимчивости на переменном токе в монокристалле EuMnO_3 вдоль основных кристаллографических направлений

бый пик при $T_N = 50$ К и резкий пик при $T_{CA} = 43$ К при переходе в слабоферромагнитное состояние $A_Y F_Z$ из несоразмерной модулированной антиферромагнитной структуры.

Проводились также измерения температурной зависимости диэлектрической постоянной на частоте 1 МГц по методу, описанному в [8]. При температуре перехода T_{CA} наблюдалась слабая “ступенька” проницаемости при $E \parallel [110]$ (между a - и b -осями), тогда как вдоль c -оси аномалия не была обнаружена (рис.2), что согласуется с данными работы [1].

Проводились исследования магнитных, магнитоэлектрических и магнитоупругих свойств монокристаллов EuMnO_3 в температурном интервале 4.2–50 К в импульсных магнитных полях до 250 кЭ.

При измерении намагниченности вдоль b -оси в сильном магнитном поле ($H_{cr} \sim 200$ кЭ) $H \parallel b$ наблю-

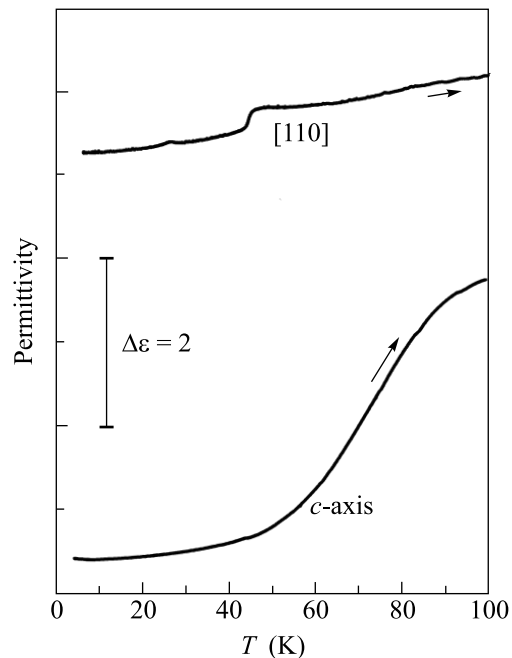


Рис.2. Температурные зависимости диэлектрической постоянной монокристалла EuMnO_3 , измеренной на частоте 1 МГц вдоль кристаллографических направлений $[001]$ и $[110]$

дался скачок намагниченности $\sim 6 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3 / \text{г}$, связанный, очевидно, с фазовым переориентационным переходом спин-флоп типа $A_Y F_Z \rightarrow A_Z F_Y$ (рис.3). Величина порогового поля спин-переориентационного пе-

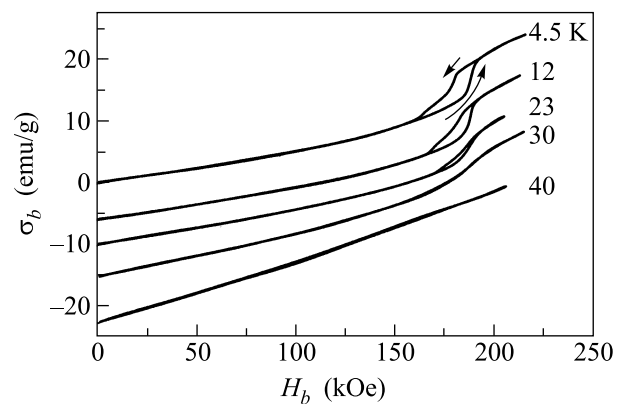


Рис.3. Кривые намагничивания вдоль оси b в монокристалле EuMnO_3 при разных температурах (начало отсчета по оси ординат для кривых при $T = 12, 23, 30$ и 45 К сдвинуто вниз соответственно на 7, 10, 15 и 22.5 э.м.е./г)

рехода $H_{cr} \sim 200$ кЭ согласуется с оценкой этого поля из значения частот антиферромагнитного резонанса, которые имеют примерно ту же величину, что и в SmMnO_3 ($\nu_{\text{АФМР}} = 20 \approx \text{см}^{-1}$) [6]. При том же зна-

чении магнитного поля $H_{cr} \sim 200$ кЭ, приложенного вдоль b -оси кристалла, наблюдались также скачки в полевой зависимости продольной магнитострикции вдоль a -, b - и c -осей. Как видно из рис.4, где изображены зависимости продольной магнитострикции от магнитного поля вдоль b -оси, возникающие при пе-

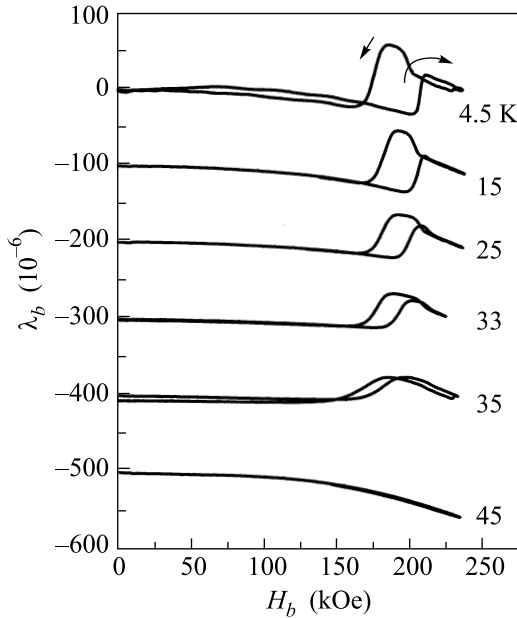


Рис.4. Полевые зависимости продольной магнитострикции монокристалла EuMnO_3 при $H \parallel b$. Начало отсчета для разных кривых сдвинуто по оси ординат

реориентационном переходе $A_Y F_Z \rightarrow A_Z F_Y$, магнитострикционные деформации обладали сильным гистерезисом по полю.

При индуцированной полем спиновой переориентации было обнаружено возникновение электрической поляризации вдоль a -, b - и c -осей кристалла вблизи $H_{cr} \sim 200$ кЭ, которая имела максимальное значение вдоль a -оси кристалла (рис.5), обращалась в нуль выше $T_{CA} \sim 40$ К. В зависимости $P_b(H_b)$ наблюдалось необычное возрастание величины электрической поляризации в температурном интервале 27–40 К. В зависимости электрической поляризации $P_{a,b,c}(H_b)$ наблюдался сильный гистерезис по полю, причем при уменьшении поля величины аномалий заметно увеличивались и имели более резко выраженный характер, чем при возрастании поля. Хотя величина индуцированной магнитным полем электрической поляризации была небольшой (~ 1 – 10 мкК/м²), ее возникновение имеет принципиальное значение для понимания природы магнитоэлектрических взаимодействий в RMnO_3 .

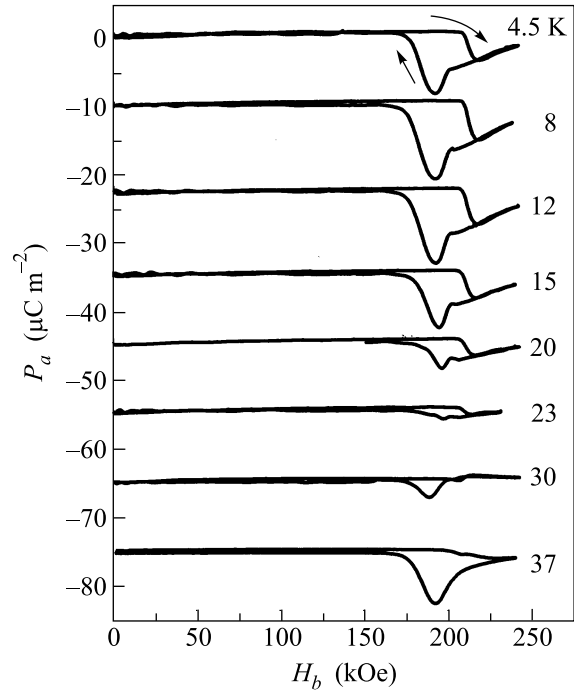


Рис.5. Полевые зависимости поляризации монокристалла EuMnO_3 вдоль оси a при $H \parallel b$. Начало отсчета для разных кривых сдвинуто по оси ординат

Возникновение электрической поляризации в области спин-флоп-перехода EuMnO_3 может быть связано с возникновением магнитно-неоднородных (модулированных) состояний, в которых система теряет центр симметрии, что допускает появление поляризации [9]. Поскольку в EuMnO_3 имеет место спонтанная несоразмерная модулированная структура в интервале температур 43–50 К, тенденция к ее образованию, видимо, проявляется и в магнитном поле в области спин-флоп-перехода. Тот факт, что поляризация отлична от нуля только в области спин-флоп-перехода, отражает факт существования спин-модулированного состояния, которое с ростом поля $H > H_{cr}$ исчезает при переходе в однородное скошенное состояние $A_Z F_Y$. Возможно, что возникновение такого спин-модулированного состояния можно рассматривать как проявление неустойчивости антиферромагнитной слоистой структуры A -типа, когда ферромагнитный слой с намагниченностью, противоположной внешнему полю, распадается на большее количество подрешеток.

Если считать, что индуцированный полем реориентационный переход в EuMnO_3 способствует проявлению магнитно-неоднородных (модулированных) состояний и связанных с ними магнитоэлектрических взаимодействий, то интересно было бы выяснить возможность аналогичного эффекта при

спиновой переориентации в кристаллах RMnO_3 с другими редкоземельными ионами, например, ближайшего SmMnO_3 , в котором упорядочение происходит уже в однородную скошенную антиферромагнитную структуру. Наши измерения показали, что в монокристалле SmMnO_3 при $H \parallel b$ возникали аномалии магнитострикционных деформаций в поле $H_{cr} \sim 200$ кЭ, связанные с индуцированным спин-флоп-переходом (рис.6), однако электрическая поля-

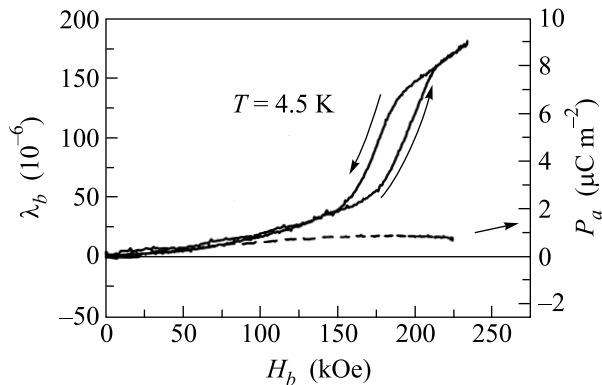


Рис.6. Зависимости магнитострикции вдоль оси b и поляризации вдоль оси a от магнитного поля $H \parallel b$ в монокристалле SmMnO_3

ризация при этом не проявлялась. Это указывает на то, что магнитная структура SmMnO_3 является однородной при всех температурах ниже T_N и, в отличие от EuMnO_3 , тенденция к образованию модулированной магнитной структуры в магнитном поле здесь уже полностью подавлена.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что в EuMnO_3 спин-флоп-переход в магнитном поле $H \parallel b$ сопровождается возникновением электрической поляризации вблизи поля перехода. Этот эффект может быть объяснен неустойчивостью однородной скошенной структу-

ры и индуцированием магнитно-неоднородных (модулированных) состояний вблизи H_{cr} . В этом случае система теряет центр симметрии и становится возможным появление электрической поляризации. Развитие такой неустойчивости однородных состояний в магнитном поле связано с общей тенденцией возникновения магнитно-неоднородных (несоизмеренных) структур в ряду RMnO_3 за счет фрустрации обменных взаимодействий при уменьшении ионного радиуса редкоземельного иона R , начиная с $R = \text{Eu}$. Для предыдущего редкоземельного иона $R = \text{Sm}$ ряда RMnO_3 , указанный эффект уже не наблюдается.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (# 04-02-16592, # 03-02-16445, # 03-02-16759, # 04-02-81046-Бел2004).

1. T. Kimura, T. Goto, H. Shintani et al., *Nature* **426**, 55 (2003).
2. T. Goto, T. Kimura, G. Lawes et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 257201 (2004).
3. S. Quezel, R. Tcheou, J. Rossat-Mignod et al., *Physika B & C* **86-88B**, 916 (1977).
4. T. Kimura, S. Ishihara, H. Shintani et al., *Phys. Rev.* **B68**, 060403 (2003).
5. J. Hemberger, S. L. Lobina, H.-A. Krug von Nidda et al., *Phys. Rev.* **B70**, 024414 (2004).
6. A. A. Mukhin, V. Yu. Ivanov, V. D. Travkin et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **272-276**, 96 (2004).
7. H. Kuwahara, K. Noda, J. Nagayama, and S. Nakamura, 124 *Int. Conf. On Strongly Correlated Electron Systems*. 2004.
8. А. М. Кадомцева, Ю. Ф. Попов, Г. П. Воробьев и др., *Письма в ЖЭТФ* **81**, 22 (2005).
9. В. Г. Барьяхтар, В. А. Львов, Д. А. Яблонский, *Письма в ЖЭТФ* **37**, 565 (1983); В. Г. Барьяхтар, Е. П. Стефановский, Д. А. Яблонский, *Письма в ЖЭТФ* **42**, 258 (1985).