

Метамагнетизм и магнитострикция изинговского антиферромагнетика DyCrO_3

© И.Б. Крынецкий, В.М. Матвеев*

Московский государственный университет им. В.М.Ломоносова,
119899 Москва, Россия

* Государственный научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф.В.Лукина,
Зеленоград, Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 29 октября 1996 г.)

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование магнитострикции изинговского антиферромагнетика CuCrO_3 при метамагнитных переходах, индуцируемых магнитным полем, приложенным вдоль a - и b -осей кристалла. Магнитострикционные измерения, выполненные в интервале температур 1.5–4.2 К в магнитных полях до 3 Т, четко выявили двухступенчатый характер перехода от исходной антиферромагнитной структуры к ферромагнитной структуре, происходящего через промежуточную низкосимметричную структуру (при \mathbf{H} , параллельном a -оси). Необычное поведение магнитострикции, обнаруженное в процессе намагничивания, позволило получить информацию о природе магнитострикции в редкоземельных изинговских метамагнетиках.

Исследование многоподрешеточных оксидов с редкоземельными ионами изинговского типа представляется важным как для понимания природы метамагнетизма, так и для определения параметров внутри- и междодрешеточных взаимодействий в этих соединениях. С целью изучения природы магнитоупругих взаимодействий редкоземельных оксидов мы провели измерения магнитострикции в процессе намагничивания изинговского метамагнетика DyCrO_3 в области низких температур от 1.5 до 4.2 К. Магнитострикция измерялась тензометрическим методом (чувствительность установки по относительной деформации не хуже $5 \cdot 10^{-7}$), датчики были изготовлены из специального сплава с низким гальваномагнитным эффектом.

DyCrO_3 представляет собой многоподрешеточный слабый ферромагнетик, состоящий из неколлинеарных спинов ионов Cr^{3+} , упорядоченных по моде $\Gamma_2(G_z F_x)$ [1,2] ниже температуры Нееля, равной $T_{N1} = 142$ К [3]. Входящие в элементарную ячейку четыре иона Dy^{3+} (четыре подрешетки) с высокой степенью точности могут рассматриваться в качестве изинговских ионов с осями анизотропии, лежащими в ab -плоскости кристалла под углом $\pm 63^\circ$ по отношению к a -оси. Спины ионов Dy^{3+} упорядочиваются ниже соответствующей температуры Нееля $T_{N2} = 2$ К в чисто антиферромагнитную структуру $\Gamma_5(A_y G_x)$ [4]. Эта температура значительно ниже температуры упорядочения спинов ионов Dy^{3+} в изоморфном соединении DyAlO_3 ($T_{N2} = 3.5$ К), являющемся чисто дипольным метамагнетиком [5,6]. Указанное различие температур Нееля связано с влиянием на упорядочение спинов ионов Dy^{3+} в ортохромите диспрозия эффективного Dy–Cr-взаимодействия. Если допустить, что константы эффективного взаимодействия в редкоземельной подсистеме DyCrO_3 совпадают с соответствующими параметрами для DyAlO_3 ($B_{11} = 0.085$ Т, $B_{12} = -0.295$ Т, $B_{13} = 0.044$ Т, $B_{14} = -0.135$ Т) [6] и учесть различие температур Нееля для обоих соединений, то можно определить величину эффективного поля,

действующего на спины ионов Dy^{3+} со стороны подсистемы спинов Cr^{3+} , упорядоченных по моде $\Gamma_2(G_z F_x)$. Величина обменного поля, направленного вдоль a -оси кристалла, составляет $B_a = 0.4$ Т. Естественно ожидать, что изотропное Dy–Cr-обменное взаимодействие должно оказывать сильное влияние на процессы намагничивания в диспрозиевой подсистеме. В ортоалюминате диспрозия, где магнитной является только редкоземельная подрешетка, внешнее магнитное поле, направленное вдоль a -оси, вызывает метамагнитный фазовый переход в высокосимметричную ферромагнитную структуру, сопровождающийся одновременной инверсией ориентации спинов двух подрешеток, направленных противоположно полю [5,6].

В DyCrO_3 магнитное поле, направленное вдоль a -оси, также вызывает метамагнитный переход в ферромагнитное состояние, однако в отличие от DyAlO_3 он протекает в два этапа [3,7]. На первом этапе исходная высокосимметричная антиферромагнитная структура $\Gamma_5(A_y G_x)$ трансформируется в низкосимметричную структуру — инверсия направления спина происходит только в одной из ориентированных против поля подрешеток (например, в подрешетке 2 на рис. 1). Окончательная высокосимметричная ферромагнитная структура реализуется при инверсии другой, ориентированной против внешнего поля, подрешетки (подрешетка 4 на рис. 1). Причина такого поведения заключается в сильной стабилизации промежуточной низкосимметричной структуры за счет изотропного Cr–Dy-обменного взаимодействия. Как показано в [7], двухступенчатый метамагнитный переход становится возможным, когда эффективный параметр взаимодействия B_{13} , описывающий взаимодействие между подрешетками 1 и 3, становится отрицательным. Анализ выражения для B_{13} [7] показывает, что в ортохромите диспрозия обменное Cr–Dy-взаимодействие обуславливает большой отрицательный вклад (0.7 Т) в параметр B_{13} , значительно превышающий вклад в B_{13} от диполь-дипольного взаимодействия, определен-

ный из анализа метамагнитных переходов в DyAlO₃ ($B_{13} = 0.044$ Т [6]).

Проведенные нами измерения магнитострикции DyCrO₃ убедительно подтверждают данный сценарий фазовых переходов в ортохромите диспрозия. Приведенные на рис. 1 магнитострикционные кривые, измеренные при воздействии внешнего магнитного поля вдоль *a*-оси, четко показывают наличие двух характерных аномалий (первая с критическим полем $B_{c1} \approx 0.5-0.8$ Т, вторая с критическим полем $B_{c2} \approx 2.3-2.8$ Т). Эти аномалии магнитострикции сопровождают два метамагнитных перехода — от антиферромагнитной к низкосимметричной спиновой структуре и затем к ферромагнитной структуре. Видно, что оба перехода, как низкополевой, так и высокополевой, характеризуются четко выраженным гистерезисом.

Отметим, что ранее в редкоземельных окисных соединениях со структурой искаженного перовскита (ортоферриты, ортохромиты и ортоалюминаты) не наблюдались такие резкие петли магнитострикционного гистерезиса. Особенно интересным является обнаруженный нами значительный магнитострикционный гистерезис высокополевого перехода, поскольку он позволяет сделать вывод о природе магнитострикции редкоземельной подсистемы в

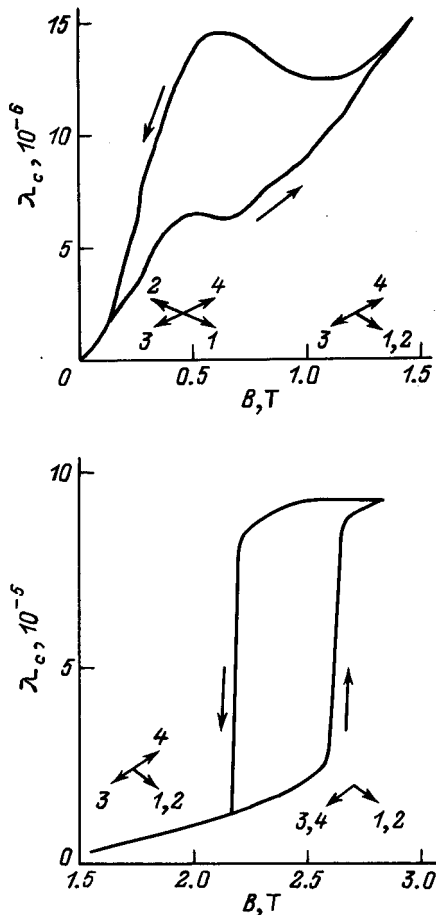


Рис. 1. Магнитострикция DyCrO₃ вдоль *c*-оси при воздействии внешнего магнитного поля параллельно *a*-оси. $T = 1.743$ К.

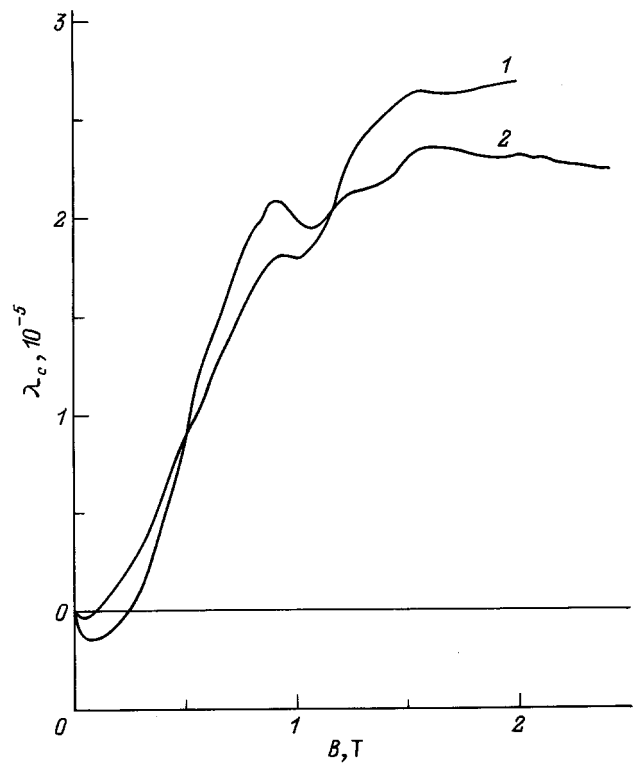


Рис. 2. Магнитострикция DyCrO₃ вдоль *c*-оси при воздействии внешнего магнитного поля параллельно *b*-оси. $T = 1.743$ (1) и 1.523 К (2).

DyCrO₃. Наличие гистерезиса высокополевого перехода свидетельствует о том, что преобладающий вклад в магнитострикцию редкоземельных ионов в ортохромите диспрозия вносят межподрешеточные взаимодействия. Действительно, высокополевой скачок магнитострикции (рис. 1) наблюдается при инверсии направления магнитного момента одной из подрешеток, намагниченной практически до насыщения. Процесс инверсии намагниченности подрешетки не сопровождается одноионной магнитострикцией, поскольку последняя пропорциональна M^2 .

Наши магнитострикционные данные позволяют также определить параметры магнитных взаимодействий в DyCrO₃. Например, константа межподрешеточного Dy–Dy-взаимодействия B_{11} равна удвоенной ширине петли высокополевого перехода и составляет 0.4 Т, причем определяется непосредственно из эксперимента (рис. 1).

Отметим, что магнитное поле, приложенное вдоль *b*-оси DyCrO₃, также вызывает метамагнитный переход типа $A_y G_x \rightarrow C_x F_y$, который, как показывают измерения магнитострикции (рис. 2), осуществляется в один этап, что находится в согласии с теоретическим рассмотрением [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 95-02-04806-а) и Госкомвуза РФ (грант № 95-0-74-157).

Список литературы

- [1] В.Е. Найш, Е.А. Туров. ФММ **11**, 1, 161 (1960); **11**, 2, 321 (1960).
- [2] E.F. Bertaut. Magnetism III / Ed. G.T.Rado and H.Shull. Academic Press. N.Y. (1963). P. 149.
- [3] T. Yamaguchi. J. Phys. Soc. Jap. **38**, 5, 1270 (1975).
- [4] K. Tsushima, T. Tamaki, R. Yamaura. Proc. of the Int. Conf. on Magnetism. M. (1973). V. 5. P. 270; Наука, М. (1974).
- [5] H. Schuchert, S. Hufner, R. Faulhaber. Z. Phys. **222**, 105 (1969).
- [6] И.Б. Крынецкий, В.М. Матвеев, В.В. Матвеев. ФТТ **37**, 5, 1548 (1995).
- [7] А.К. Звездин, И.А. Зорин, А.М. Кадомцева, И.Б. Крынецкий, М.М. Лукина, М.Д. Кузьмин. ЖЭТФ **92**, 1, 179 (1987).