

## ИНДУЦИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЯДРАХ ДИАМАГНИТНЫХ АТОМОВ ОЛОВА В ОРТОФЕРРИТАХ ИТТРИЯ И ГАДОЛИНИЯ

*И.С.Лябушкин, В.С.Вишняков*

В настоящей работе сообщается об обнаружении с помощью эффекта Мессбауэра сильных эффективных магнитных полей на ядрах диамагнитных ионов олова в кристаллической решетке ортоферритов иттрия  $\text{YFeO}_3$  и гадолиния  $\text{GdFeO}_3$ .

Недавно большой интерес вызвало открытие сильных магнитных полей на ядрах диамагнитных ионов олова и сурьмы, введенных в структуру феррита-граната [1–5] и феррита-шпинели [6, 7]. Мы полагаем, что специальный интерес к этому явлению обусловлен двумя причинами: 1) указанные соединения, как правило, являются диэлектриками, поэтому перенос магнитного сверхтонкого взаимодействия от ферромагнитного атома к диамагнитному с помощью электронов проводимости здесь полностью исключен; 2) в этих соединениях диамагнитный атом химически связан лишь с ближайшими атомами кислорода, но не с ферромагнитными атомами. Поэтому здесь нет прямых взаимодействий диамагнитного атома с ферромагнитным. Остается предположить, что взаимодействие диамагнитного атома с ферромагнитным, результатом которого и является индуцирование магнитных полей на диамагнитном атоме, осуществляется через посредство ионов кислорода с помощью механизма косвенного обмена [8].

В отличие от ферритов-гранатов и шпинелей редкоземельные ортоферриты представляют собой антиферромагнетики со слабым ферромагнетизмом [9]. Это соединения с общей химической формулой  $\text{RFeO}_3$  (где R – редкоземельный элемент или иттрий), имеющие орторомбическую структуру типа искаженной структуры перовскита [10]. Все ионы железа находятся в кристаллографически эквивалентных местах в октаэдрическом окружении из ионов кислорода и образуют две магнитных подрешетки, моменты которых почти антипараллельны. Магнитная структура ортоферрита такова, что каждый ион  $\text{Fe}^{3+}$  окружен шестью ионами  $\text{Fe}^{3+}$  другой подрешетки. Косвенное обменное взаимодействие  $\text{Fe}^{3+} - \text{O} - \text{Fe}^{3+}$  здесь наиболее благоприятно, так как угол обменной связи близок к  $180^\circ$  [11].

Нами были синтезированы поликристаллические образцы ортоферритов иттрия и гадолиния, в которых часть ионов железа замещалась четырехвалентными

ми ионами олова:  $Y_{1-x}Ca_xFe_{1-x}Sn_xO_3$  и  $Gd_{1-x}Ca_xFe_{1-x}Sn_xO_3$ . Наиболее подробно изучены соединения со значением  $x = 0,1$ . В наших образцах олово было обогащено изотопом  $Sn^{119}$ , а железо – изотопом  $Fe^{57}$  до  $\sim 85\%$ . Тщательный рентгеновский анализ установил отсутствие посторонних фаз и следующие значения параметров ромбической ячейки (с точностью  $\pm 0,005 \text{ \AA}$ ):

	$a, \text{ \AA}$	$b, \text{ \AA}$	$c, \text{ \AA}$	
$Y_{0,9}Ca_{0,1}Fe_{0,9}Sn_{0,1}O_3$	5,318	5,614	7,652	–
$YFeO_3$	5,280	5,592	7,602	[12]
$Gd_{0,9}Ca_{0,1}Fe_{0,9}Sn_{0,1}O_3$	5,380	5,632	7,708	–
$GdFeO_3$	5,346	5,616	7,688	[13]

В мессбауэровских спектрах ядер  $Sn^{119}$  при температурах 78 и 296°K было обнаружено четко разрешенное магнитное сверхтонкое расщепление линий (рис. 1).

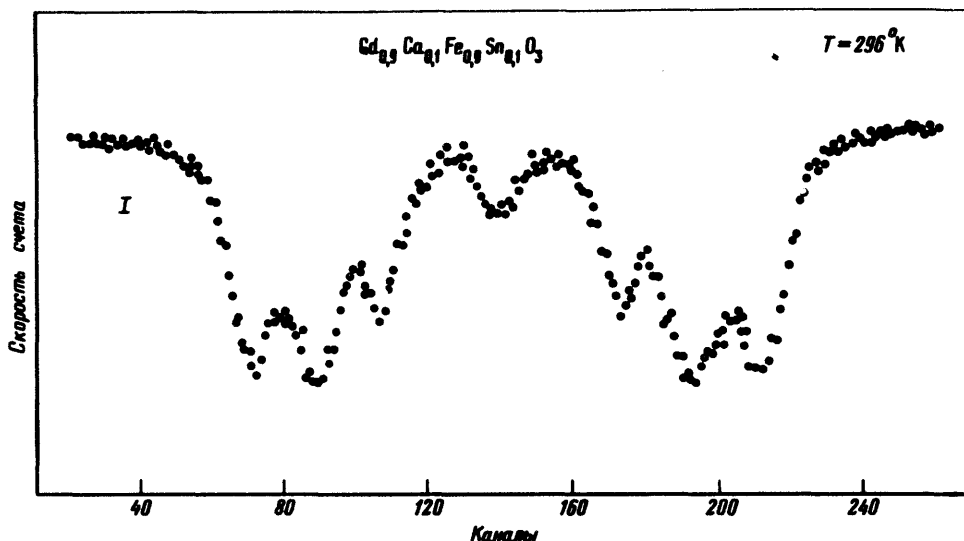


Рис. 1. Мессбауэровский спектр ядер  $Sn^{119}$  в ортоферрите  $Cd_{0,9}Ca_{0,1}Fe_{0,9}Sn_{0,1}O_3$  при комнатной температуре. Маленький пик в центре спектра обусловлен не большим количеством ионов  $Sn^{4+}$ , находящихся в парамагнитном окружении

Это расщепление обусловлено воздействием на ядра  $Sn^{119}$  эффективных магнитных полей  $H_{эфд}$ , которые достигают величины

$$H_{эфд}(78^\circ K) = 176 \text{ кэ}, \quad H_{эфд}(296^\circ K) = 144 \text{ кэ}$$

для иттриевого ортоферрита

и 
$$H_{эфд}(78^\circ K) = 195 \text{ кэ}, \quad H_{эфд}(296^\circ K) = 164 \text{ кэ}$$

для гадолиниевого ортоферрита  
(ошибка  $\leq \pm 1,5 \text{ кэ}$ ).

Беличина изомерного сдвига мессбауэровских спектров  $\delta$  для обоих ортоферритов близка к величине сдвига в диамагнитном соединении  $\text{SnO}_2$  и составляет  $\sim +0,1$  мм/сек (относительно  $\text{SnO}_2$ ). Параметр квадрупольного взаимодействия  $\Delta$  близок к нулю ( $2\Delta = S_2 - S_1 \approx +0,3$  мм/сек, где  $S_1$  — расстояние между первой и второй, а  $S_2$  — между пятой и шестой линиями шестилинейного спектра).

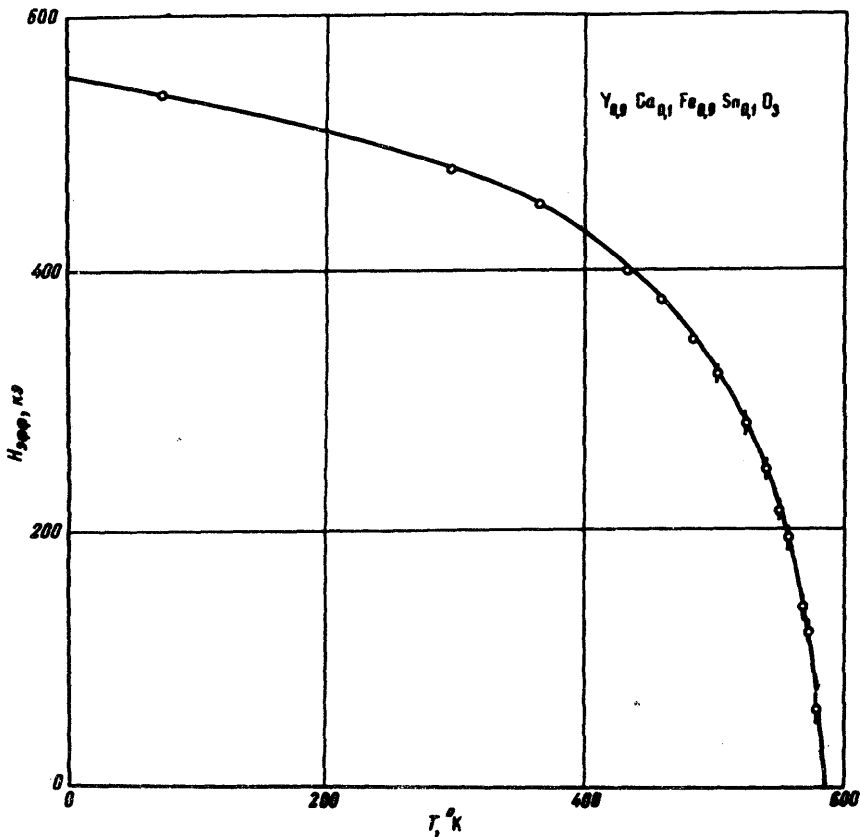


Рис. 2. Температурная зависимость эффективного магнитного поля на ядре  $\text{Fe}^{57}$  в ортоферрите  $\text{Y}_{0,9}\text{Ca}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{Sn}_{0,1}\text{O}_3$

Таким образом, значения параметров  $\delta$  и  $\Delta$  свидетельствуют о том, что в ортоферритах атомы олова химически связаны лишь с ближайшими атомами кислорода, и прямые связи  $\text{Sn} - \text{Fe}$  или  $\text{Sn} - \text{R}$  отсутствуют. Электрическое сопротивление редкоземельных ортоферритов велико и так же, как в гранатах, составляет порядка  $10^{10} - 10^{12}$  ом·см [14]. Поэтому их можно считать диэлектриками.

Следовательно, перенос магнитного сверхтонкого взаимодействия от ферромагнитного атома ( $\text{Fe}$ ) к диамагнитному ( $\text{Sn}$ ) может осуществляться в этих соединениях только через посредство атомов кислорода, по-видимому, с помощью механизма, аналогичного косвенному обменно-взаимодействию [8].

Таким образом, мы получаем экспериментальное доказательство того, что даже в ферромагнитном изоляторе спиновая плотность не локализована на атомах  $\text{Fe}$ , а делокализована по кристаллу и отлична от нуля также и на диамагнитных атомах. Причем существенно, что эта делокализация является следствием

вием взаимодействия между ферро- и диамагнитными атомами, осуществляющегося через посредство кислорода.

Нами исследовался также эффект Мессбауэра на ядрах  $Fe^{57}$  в указанных ортоферритах. Изучалось распределение ионов  $Fe^{3+}$  и  $Sn^{4+}$  по двум подрешеткам, а также температурная зависимость эффективных магнитных полей на ядрах  $Fe^{57}$  с целью определения точки Кюри ортоферрита (рис. 2). Результаты показывают, что, по-видимому, ионы  $Sn^{4+}$  равномерно распределяются по двум подрешеткам. Точка Кюри ортоферрита  $Y_{0,9}Ca_{0,1}Fe_{0,9}Sn_{0,1}O_3$  найдена равной  $586 \pm 3^\circ K$ .

Авторы благодарят Л.С.Гарашину за помощь в проведении рентгеновских исследований образцов.

Институт кристаллографии  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
21 октября 1970 г.

### Литература

- [1] К.П.Белов, И.С.Любутич. Письма в ЖЭТФ, 1, вып. 1, 26, 1965.
- [2] И.С.Любутич. ФТТ, 8, 643, 1966.
- [3] К.П.Белов, И.С.Любутич. ЖЭТФ, 49, 747, 1965.
- [4] Б.И.Гольданский, М.Н.Девышева, В.А.Трухтанов, В.Ф.Белов. Письма в ЖЭТФ, 1, вып. 1, 31, 1965.
- [5] Б.А.Головнич, С.М.Иркаев, Ф.Н.Кузьмин, Б.В.Миль. Письма в ЖЭТФ, 11, 35, 1970.
- [6] S.L.Ruby, B.E.Evans. S.S.Hafner. Solid State Comm., 6, 277, 1968.
- [7] Г.Б.Новиков, Б.А.Трухтанов, Л.Чер, С.И.Юшук, Б.И.Гольданский. ЖЭТФ, 56, 743, 1969.
- [8] I.S.Lyubutin. The proceeding of Conference for Application of Mössbauer Spectroscopy. Hungary, Tuzhan, 1969.
- [9] К.П.Белов, М.А.Беляничкова, Р.З.Левитин, С.А.Никитин. Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики. М., Изд. Наука, 1965.
- [10] S.Geller. J.Chem. Phys., 24, 1236, 1956.
- [11] W.C.Koehler. E.O.Wollan. J.Phys. Chem. Sol., 2, 100, 1957.
- [12] S.Geller. Acta Cryst., 11, 565, 1958.
- [13] S.Geller, E.A.Wood. Acta Cryst., 9, 563, 1956.
- [14] К.П.Белов, А.М.Кадошцева, Т.Л.Овчинникова. Вестник МГУ, сер. физика, №2, 1965.