

## ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЯДРЕ ДИАМАГНИТНОГО АТОМА В РЕДКОЗЕМЕЛЬНОМ ОРТОФЕРРИТЕ

И. С. Любушин, Ю. С. Вишняков

Явление спонтанной переориентации магнитного момента от одной оси кристалла к другой наблюдалось в целом ряде редкоземельных ортоферритов в определенном интервале температур [1, 2].

В настоящей работе сообщается о новом эффекте переориентации индуцированного магнитного поля на ядре диамагнитного атома олова в ортоферрите  $\text{Nd}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{O}_3$ .

Редкоземельные ортоферриты являются слабыми ферромагнетиками. Результирующий магнитный момент ортоферрита лежит в направлении, перпендикулярном плоскости, в которой расположены магнитные моменты подрешеток железа. При исследовании редкоземельных ортоферритов с небольшими добавками олова нами недавно наблюдалось явление индуцирования сильных магнитных полей  $H_{\text{эфф}}^{\text{Са}}$  на ядрах диамагнитных ионов  $\text{Sn}^{4+}$  [3, 4]. Очень важно получить информацию об ориентации магнитного поля  $H_{\text{эфф}}^{\text{Са}}$ . Интересно также знать, как ведет себя поле на олове при переориентации магнитных моментов ионов железа от одной оси кристалла к другой.

Для исследования этих эффектов нами был выбран ортоферрит неодима, частично замещенный оловом  $\text{Nd}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{O}_3$ . В незамещенном ортоферрите  $\text{NdFeO}_3$  спонтанный магнитный момент при комнатной температуре направлен по  $c$ -оси кристалла а моменты двух подрешеток железа лежат вдоль  $a$ -оси. При понижении температуры приблизительно в интервале 110 — 150 °К происходит поворот слабого магнитного момента от оси  $c$  к  $a$ -оси [5].

При работе с ориентированными монокристаллами методика, основанная на эффекте Мессбауэра, позволяет определить направление магнитного момента относительно кристаллографических осей в отсутствие внешнего магнитного поля. Вероятности ядерных переходов между магнитными подуровнями и интенсивности соответствующих этим переходам линий мессбауэровского спектра зависят от угла  $\theta$  между направлением полета  $\gamma$ -квантов и направлением эффективного магнитного поля на ядре:

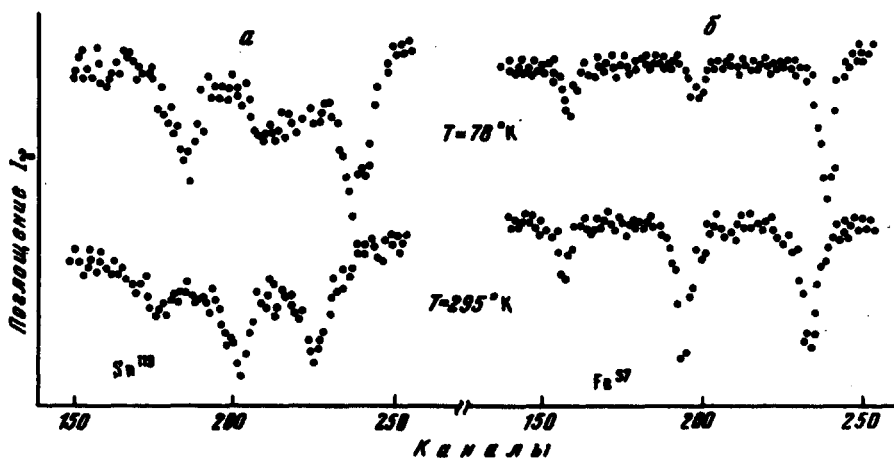
$$I_1 : I_2 : I_3 = I_6 : I_5 : I_4 = 3 : \alpha : 1, \quad (1)$$

где  $\alpha = \frac{4\sin^2 \theta}{1 + \cos^2 \theta}$   $I_1, I_2, \dots, I_6$  — интенсивности первой, второй и

т. д. линий спектра.

Не располагая монокристаллами ортоферрита с добавками олова, мы использовали поликристаллический образец, предварительно ориентированный во внешнем магнитном поле по следующей технологии:

мелкий порошок ортоферрита перемешивался с эпоксидной смолой в плоской кювете из алюминия. Затем кювета помещалась в соленоид с однородным магнитным полем напряженностью 8 кэ, где выдерживалась до полной полимеризации смолы. Под действием магнитного поля слабый магнитный момент ортоферрита, а вместе с ним и ось с каждого кристаллита были сориентированы перпендикулярно плоскости кюветы.



Мессбауэровские спектры (четвертая, пятая и шестая линии) ортоферрита  $\text{Nd}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{O}_3$  при 78 и 295°K: а – спектры ядер  $\text{Sn}^{119}$ , б – спектры ядер  $\text{Fe}^{57}$

На рис. 6 показаны мессбауэровские спектры ядер  $\text{Fe}^{57}$  в ориентированном поликристаллическом ортоферрите  $\text{Nd}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{Sn}_{0,05}\text{O}_3$  при температурах 78 и 295°K. Спектры сняты в такой геометрии опыта, когда направление полета  $\gamma$ -квантов перпендикулярно плоскости кюветы. Соотношение интенсивностей линий спектров  $\text{Fe}^{57}$  при комнатной температуре указывает на то, что магнитные моменты ионов железа в обеих подрешетках лежат в базисной плоскости и, по-видимому, ориентированы как и в чистом ортоферрите  $\text{NdFeO}_3$  вдоль  $a$ -оси кристалла [5]. Теоретическое соотношение интенсивностей линий в этом случае, согласно выражению (1) должно быть  $I_1 : I_2 : I_3 = I_6 : I_5 : I_4 = 3 : 4 : 1$ .

При понижении температуры до 78°K интенсивность второй и пятой линий спектра резко уменьшается. Это свидетельствует о переориентации магнитных моментов ионов  $\text{Fe}^{3+}$  из базисной плоскости к  $c$ -оси кристалла. Теоретическое отношение интенсивностей линий при полном повороте моментов к оси  $c$  должно быть  $I_1 : I_2 : I_3 = I_6 : I_5 : I_4 = 3 : 0 : 1$ . Неполное исчезновение второй и пятой линий спектра см. рис. 6 можно объяснить несколькими причинами: 1) нестрогой ориентировкой кристаллитов при обработке образца внешним полем; 2) наличием слабой нелинейности двух подрешеток железа в ортоферрите; 3) отклонением

геометрии опыта от идеальной; 4) возможно также, что процесс переориентации магнитных моментов при температуре 78°К еще не закончился.

Исследование мессбауэровских спектров ядер  $\text{Sn}^{119}$  показало, что эффективное магнитное поле на ядрах диамагнитных атомов олова  $H_{\text{эф}}^{\text{Sn}}$  при 295°К лежит в базисной плоскости (см. рис. а), т. е. оно совпадает с направлениями магнитных моментов ионов  $\text{Fe}^{3+}$ . С повышением температуры соотношение интенсивностей линий в спектре  $\text{Sn}^{119}$  меняется примерно также как и в спектрах ядер железа  $\text{Fe}^{57}$  (см. рис. а). Это указывает на то, что при 78°К поле на олове  $H_{\text{эф}}^{\text{Sn}}$  меняет свое направление. Вслед за магнитными моментами ионов железа оно переориентируется к оси с.

Это явление, чрезвычайно интересное в методическом отношении, не тривиально и по своей физической природе. Поле на ядре диамагнитного атома отражает магнитное состояние окружающих этот атом ионов железа [4]. Состояние же этих ионов железа отличается тем, что они в своем ближайшем окружении имеют как минимум один диамагнитный атом. Поэтому сам факт переориентации поля на олове означает, что в переориентации участвуют ионы железа с ослабленными обменными связями. Природа этого явления требует дальнейших исследований.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. При введении небольшого количества диамагнитных атомов олова ортоферрит неодима остается слабым ферромагнетиком и эффект спиновой переориентации не исчезает.

2. Магнитное поле на ядре диамагнитного атома Sn ориентировано вдоль магнитных моментов ионов железа.

3. Найдена новая методическая возможность исследования явления спиновой переориентации с помощью измерения эффекта Мессбауэра на примесном диамагнитном атоме. Методика эффекта Мессбауэра позволяет проводить эти исследования на поликристаллических образцах и в отсутствие внешнего магнитного поля.

Институт кристаллографии  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
15 ноября 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] К.П.Белов, А.М.Кадомцева. УФН, 103, 577, 1971.
- [ 2 ] R. L. White. J. Appl. Phys., 40, 1061, 1969.
- [ 3 ] И.С.Любутин, Ю.С.Вишняков. ЖЭТФ, 61, 1962, 1971.
- [ 4 ] I. S. Lyubutin, Yu. S. Vishnyakov. Phys. Stat. Sol. (a) 12, 47, 1972.
- [ 5 ] К.П.Белов, А.М.Кадомцева, Т.Л.Овчинникова, В.А.Тимофеева, В.В.Усков. ФТТ, 13, 631, 1971.