

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МАГНИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАЗБАВЛЕННЫХ ФЕРРИМАГНЕТИКОВ

*С.М.Жилков, В.В.Иволга, В.И.Мальцев,
Е.П.Найден*

Рассмотрено поведение магнитной структуры в статически замещенных ферримагнетиках в зависимости от температуры. Показано, что существование групп спинов с различными локальными углами приводит к последовательности переходов этих групп от угловой структуры к коллинеарной по мере увеличения температуры. Модель подтверждается экспериментом на Li – Zn феррошпинели.

Развитая Розенцвейгом модель локализованных отклонений спинов (LCM) [1] довольно успешно применяется при описании концентрационных зависимостей спонтанной намагниченности для ряда систем диамагнитно разбавленных феррошпинелей и феррогранатов [1,2]. Однако, неупорядоченная или упорядоченная угловая конфигурация спинов, существующая в определенных условиях при низких температурах, преобразуется в коллинеарную при увеличении температуры [3, 4]. Механизм такой трансформации до сих пор не исследовался, хотя этот вопрос представляет интерес с точки зрения выявления особенностей фазовых превращений, происходящих в указанном классе ферримагнетиков.

В рамках модели LCM для феррошпинели с преимущественным разбавлением *A*-подрешетки выражение для локальных углов между *B*-спинами имеет вид

$$\cos \phi(m, q) = \frac{1 - \frac{n_{bb} - q}{n_{ba} - m} \delta \cos \bar{\theta}}{\left[1 + \left(\frac{n_{bb} - q}{n_{ba} - m} \right)^2 \delta^2 - 2 \left(\frac{n_{bb} - q}{n_{ba} - m} \right) \delta \cos \bar{\theta} \right]^{1/2}}, \quad (1)$$

где n_{ba} и n_{bb} – числа обменных связей типа *B* – *A* и *B* – *B*, m и q – число диамагнитных катионов в *A*- и *B*-подрешетках, соответственно, δ – отношение обменных интегралов I_{BB}/I_{AB} , $\bar{\theta}$ – средний угол отклонений спинов в *B*-подрешетке.

Из выражения (1) следует, что все спины в октаэдрической подрешетке можно разделить на некоторое конечное число групп, каждая из которых характеризуется своими значениями параметра $r = (n_{bb} - q) : (n_{ba} - m)$ и угла ϕ_{mq} . Величина параметра r представляет собой отношение внутривзаимодействующего взаимодействия к межподрешеточному. Поэтому группы спинов с большими локальными углами, т. е. обладающие значительным B - B -взаимодействием, будут образовывать структуры более приближающиеся к антиферромагнитной.

При повышении температуры группы B -спинов с большим значением r будут более устойчивыми к разориентирующему тепловому движению и сохранят неколлинеарную конфигурацию до более высоких температур. Следовательно, трансформация магнитной структуры должна происходить путем последовательного перехода групп спинов с различными локальными углами в коллинеарную конфигурацию при температурах T_{mq} , начиная с меньшего значения параметра r .

Если такой механизм имеет место, то следует ожидать, что температурная зависимость момента "сильной" подрешетки будет иметь следующие особенности. а) Исчезновение локального угла при температуре T_{mq} для данной группы B -спинов приведет к увеличению продольной составляющей магнитного момента B -подрешетки:

$$\Delta m_B = 2gS(1 - k_B)(1 - \cos \phi_{mq}) P_{mq} \quad (2)$$

$$P_{mq} = P_{ba}(m)P_{bb}(q), \quad (3)$$

где $P_{ba}(m)$ и $P_{bb}(q)$ — вероятности магнитоактивных связей типа B - A и B - B . Это приращение момента будет происходить в сравнительно узком интервале температур (порядка 10К), как и в случае перехода от структуры Яфета — Киттеля к Неелевской в $\text{Li} - \text{Ga}$ феррошпинелях [4]. б) Отношение температур соседних магнитных превращений определяется как

$$T_{mq}^i / T_{mq}^{i+1} = r_i / r_{i+1}. \quad (4)$$

При этом предполагается, что величины обменных взаимодействий типов B - B и A - B на одну связь не зависят от температуры. Поскольку ранее экспериментально наблюдалась пропорциональность между температурой перехода от треугольной конфигурации к коллинеарной и T_C [4], можно в первом приближении предположить, что и в нашем случае будет иметь место линейное соотношение между T_{mq} , параметром r и T_C :

$$T_{mq} = cr \frac{I_{BB}}{I_{AB}} T_C. \quad (5)$$

Очевидно, что для наблюдения указанных эффектов и проверки предложенной модели требуется соблюдение следующих условий: локальные углы в группах спинов должны быть достаточно велики и вероятности существования таких групп также должны быть достаточно большими.

Экспериментальная проверка предложенного механизма трансформации магнитной структуры проведена на монокристаллах феррошпинели состава $\text{Fe}_{0,34}\text{Zn}_{0,66}[\text{Li}_{0,17}\text{Fe}_{1,83}]_2\text{O}_4$, химический состав образцов контролировался методом нейтронно-активационного анализа.

Нейтроннографические исследования магнитной структуры поликристалла аналогичного состава показали, что при $T \rightarrow 0$ величина продольной компоненты магнитного момента B -подрешетки составляет половину от чисто спинового значения, что объясняется существованием локальной угловой структуры со средним значением $\bar{\theta} = 60^\circ$. Используя соотношения ЛСМ (формулы (11), (12), (15) в [1]), мы провели расчет локальных углов для различных отношений B - B и B - A магнитоактивных связей. Наилучшее согласие расчетного и экспериментального значений среднего угла отклонений имеет место при отношении обменных интегралов $\delta = I_{BB}/I_{AB} = 0,25$.

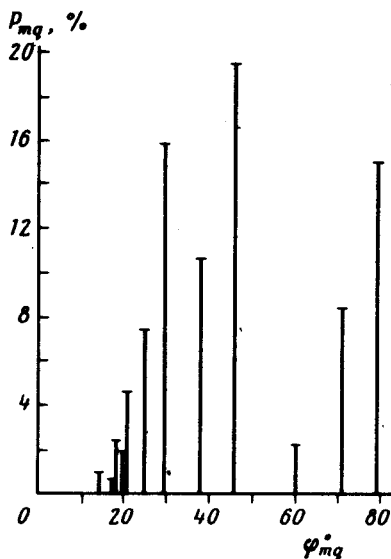


Рис. 1

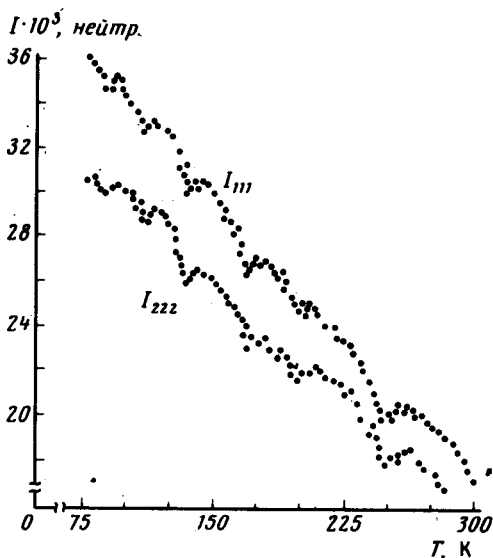


Рис. 2

На рис. 1 приведены полученные вероятности P_{mq} существования групп B -спинов с определенными значениями локальных углов. Из рисунка следует, что практически можно надеяться зарегистрировать переходы от угловой структуры к коллинеарной для групп спинов с $r \geq 5/3$.

На рис. 2 показаны измеренные на монокристалле температурные зависимости интенсивностей рефлексов (111) и (222), магнитные составляющие которых пропорциональны квадрату суммы моментов подрешеток и квадрату момента B -подрешетки, соответственно. Видно, что измерения на монокристалле позволили достаточно надежно зафиксировать места аномалий, предсказанных выше.

В таблице приведены значения скачков намагниченности Δm_B^P и температур переходов T_{mq}^P , рассчитанные для $\delta = 0,25$ по формулам (2) и (5) для различных r , и определенные экспериментально. Согласие расчетных и измеренных величин достаточно хорошее.

| r | P_{mq} | ϕ_{mq}° | $\Delta m_B^P, \%$ | T_{mq}^P, K | $\Delta m_B^{\Delta}, \%$ | T_{mq}^{Δ}, K |
|----------|----------|-------------------|--------------------|---------------|---------------------------|----------------------|
| 5/3 | 0,0732 | 24,3 | 0,65 | 88,5 | 3 | 88 - 92 |
| 4/2, 6/3 | 0,01578 | 29,5 | 2,06 | 106,0 | 2 | 110 - 114 |
| 5/2 | 0,1066 | 37,8 | 2,24 | 132,5 | 5 | 135 - 138 |
| 3/1, 6/2 | 0,1937 | 46,0 | 5,92 | 159,0 | 1 | 170 - 176 |
| 4/1 | 0,0207 | 60,0 | 1,03 | 212,0 | 3 | 200 - 206 |
| 5/1 | 0,0835 | 70,9 | 5,62 | 265,0 | 6 | 250 - 256 |
| 6/1 | 0,1501 | 79,1 | 12,12 | 318,0 | — | — |

Таким образом, проведенный эксперимент подтверждает правильность основных особенностей предлагаемого механизма трансформации магнитной структуры в разбавленных ферромагнетиках с локальными отклонениями спинов, и в первую очередь — наличие последовательности магнитных структурных превращений при изменении температуры.

Отметим, что следует ожидать проявления такой особенности при исследовании температурных зависимостей ряда других параметров, например константы магнитострикции, коэффициента линейного расширения и т. п.

Физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 октября 1977 г.

Литература

- [1] A. Rosenzwaig. Can. J. Phys., 48, 2857, 1970.
- [2] J. Piekoszewski, J. Suwalski, L. Dabrowski. Acta Phys. Polon., A51, 179, 1977.
- [3] D. H. Lyons, T. A. Kaplan, K. Dwight, N. Menyuk. Phys. Rev., 126, 540, 1962.
- [4] С. М. Жилияков, Е. П. Найден. ФТТ, 17, 195, 1975.