

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.245

Л. И. КОРОЛЕВА, Л. П. МИТИНА

АНТИСИММЕТРИЧНЫЙ ОБМЕН В Y -СТРУКТУРЕ
И БОЛЕЕ СЛОЖНЫХ СТРУКТУРАХ ГЕКСАФЕРРИТОВ

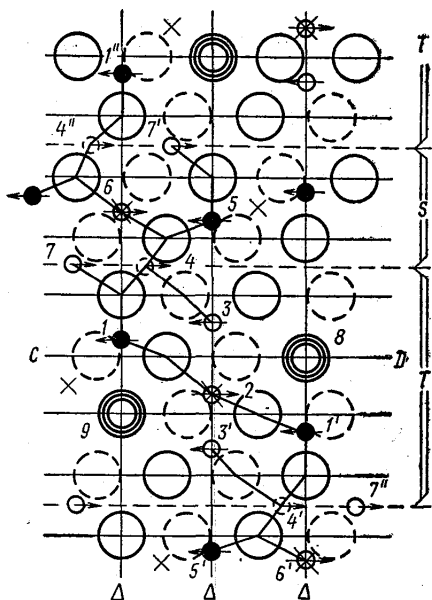
Наряду с косвенным обменом кристаллическая структура гексаферритов допускает антисимметричный обмен между спинами катионов по Мория [1]. Мория было показано, что из соображений симметрии можно заключить возможность антисимметричного обмена между спинами ионов, для чего было сформулировано пять правил. Величина энергии этого обмена равна $\vec{D}[\vec{S}_1, \vec{S}_2]$ (где \vec{D} — вектор антисимметричного обмена, а \vec{S}_1 и \vec{S}_2 — векторы спинов) и представляет собой возмущающую добавку на фоне более сильного косвенного изотропного обмена. Из соображений минимальности свободной энергии следует, что антисимметричный обмен стремится развернуть три вектора \vec{D} , \vec{S}_1 и \vec{S}_2 под прямым углом друг к другу. Очевидно, необходимы особые условия, чтобы антисимметричный обмен мог вызвать экспериментально заметную спиновую неколлинеарность. В гексаферритах это возможно в тех местах решетки, где косвенный обмен сильно ослаблен из-за конкурирующих косвенных обменных взаимодействий или даже отсутствует из-за замещений немагнитными ионами. Ранее нами был описан антисимметричный обмен в M - и W -структурах [2] гексаферритов. В данной статье мы рассмотрим антисимметричный обмен в Y -структуре и коротко более сложные структуры гексаферритов.

На рисунке представлена схема косвенных обменных взаимодействий в Y -структуре по Гортгеру [3]. Им было показано, что в узлах 1 и 1' косвенный обмен сильно ослаблен. В то же время между спинами катионов 2 и 3, 2, и 3', 1 и 6, 1' и 6', 3 и 5, 3' и 5' возможен антисимметричный обмен по 5-му правилу Мория [1] ($\vec{D} \neq 0$, если ось третьего порядка проходит через линию, соединяющую ионы и \vec{D} параллельно этой линии).

Если все катионы магнитоактивны, то наиболее вероятны углы в базисной плоскости между спинами 2 и 3, 2' и 3'. Углы между 1 и 6, 1' и 6', 3 и 5, 3' и 5' менее вероятны из-за сильного косвенного обмена; однако, если часть этих катионов немагнитоактивна, возможны и какие-либо из этих углов. Между тем из-за центра инверсии в узле 2, расположенного посередине между 3 и 3', 5 и 5', по 1-му правилу Мория $\vec{D} = 0$ для антисимметричного обмена этих спинов [1]. Далее, спин 6 должен быть параллелен спину 6', а спин 1 — спину 1' из-за центра симметрии в узле 2. Кроме того, все спины в соседних T -блоках должны быть соответственно параллельны из-за центра симметрии в узле 6. Таким образом, симметрия Y -структуры допускает углы между спинами катионов как в S -, так и в T -блоке, но не допускает геликоидального упорядочения.

Экспериментально методом эффекта Мёссбауэра наблюдались углы между спинами октаэдрических ионов в составе $Zn_2Ba_2Fe_{12}O_{22}$ [4]. В другом составе $Zn_2Sr_2Fe_{12}O_{22}$, где ионы Zn^{2+} локализованы в S -блоке [5], на кривых намагничивания от поля был обнаружен скачок [5, 6]. По-видимому, авторы наблюдали разрушение в критическом поле всех или части углов между спинами 2 и 3, 1 и 6, 6 и 7, 1 и 4, 1 и 3. В этом же составе при изучении магнитной анизотропии была обнаружена сначала плоскость 2—7 $k\text{эрст}$, затем одновременно конус и плоскость 7—8 $k\text{эрст}$ и выше 10 $k\text{эрст}$ — только конус легкого намагничивания [5, 6]. Так как ионный радиус Sr^{2+}

меньше ионного радиуса O^{2-} , зеркальная плоскость CD (см. рис.) проходит через середину линии, соединяющей 2-й и 3-й ионы, и по 2-му правилу Мория между их спинами возможны углы в плоскости, проходящей через ось c . (Вектор D параллелен зеркальной плоскости CD .) Поэтому между двумя цепочками спинов 7, 1, 2, 1', 7'' и 3, 4, 6 возможен угол в плоскости, включающий ось c , т. е. возможен конус легкого намагничивания, если внешнее поле \vec{H} вывело эти спины из базисной плоскости. При снятии кривых крутящего момента в слабых полях магнитный момент сильно отстает от \vec{H} — наблюдается плоскость легкого намагничивания. При большем \vec{H} отставание уменьшается, и становится заметным антисимметричный обмен по 2-му правилу Мория (существует одновременно плоскость и конус), когда же отставания нет, наблюдается только конус легкого намагничивания [5, 6].



Сечение Y-структуры по (110) плотности с осью c , направленной вертикально. Крестиками обозначены положения центров симметрии. Вертикальные линии соответствуют осям симметрии третьего порядка. \circ — металлический ион в октаэдрическом окружении, \bullet — металлический ион в тетраэдрическом окружении. Стрелками показаны направления, где все катионы магнитоактивны. Жирными линиями указаны косвенные обменные взаимодействия по Гортеру

го намагничивания, если внешнее поле \vec{H} вывело эти спины из базисной плоскости. При снятии кривых крутящего момента в слабых полях магнитный момент сильно отстает от \vec{H} — наблюдается плоскость легкого намагничивания. При большем \vec{H} отставание уменьшается, и становится заметным антисимметричный обмен по 2-му правилу Мория (существует одновременно плоскость и конус), когда же отставания нет, наблюдается только конус легкого намагничивания [5, 6].

Геликоидальная магнитная структура, однако, может возникнуть в Y-структуре при некоторых нарушениях симметрии. Например, в составе $Ba_{2-x}Sr_xZn_2Fe_{12}O_{22}$ с $x \neq 2$ под влиянием разности радиусов Ba^{2+} и Sr^{2+} симметрия кристалла частично изменится. Пусть в T-слое узел 8 занят Ba^{2+} , а узел 9 — Sr^{2+} , тогда центр симметрии располагается не посередине между 3 и 3', и между ними возможен антисимметричный обмен. Если в соседнем T'-блоке другое расположение Ba^{2+} и Sr^{2+} , чем в T, то узел 6 уже не является центром симметрии всего кристалла, а только блока S. Поэтому спины 3 и 3' блока T могут быть непараллельны соответствующим спином T'. Тогда спин 4'' (параллельный спину 4) будет ориентировать спин 3 блока T' коллинеарно спину 3 блока T. В блоке T' также будет создаваться угол между 3 и 3' и т. д., т. е. весь кристалл разбивается на блоки по двойным слоям, содержащим Ba и Sr, причем магнитный момент каждого блока поворачивается в базисной плоскости в одном направлении при переходе через двойной слой. Экспериментально подобная геликоида обнаружена в системе $Ba_{2-x}Sr_xZn_2Fe_{12}O_{22}$ с $1,2 \leq x \leq 1,6$ [7].

Другие структуры гексаферритов, например, Z и X состоят из различных комбинаций R, T и S-блоков, поэтому в них могут быть различные угловые конфигурации. Например, в составе $Se_3Zn_2Fe_{24}O_{41}$ наблюдалось одновременное существование плоскости и направления легкого намагничивания [5]. В гексаферритах с антисимметричным обменом суммарный обменный интеграл анизотропен, что вносит существенный вклад в энергию магнитной анизотропии.

В заключение выражаем благодарность К. П. Белову за постоянный интерес к работе, а также В. Е. Найшу за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мориya Т. Phys. Rev., 120, 91, 1960.
2. Королева Л. И., Митина Л. П. «Физика твердого тела», 13, № 2, 639, 1971.
3. Gorter E. W. Proc. IEEE, 104B, 255, 1957.
4. Albanese G., Asti G., Lamborizi G. J. Appl. Phys., 39, 1198, 1968.
5. Перекалина Т. М., Щурова А. Д., Фонтон С. С., Санников Д. Г. ЖЭТФ, 58, 821, 1970.
6. Enz U. J. Appl. Phys., 32, 22S, 1961.
7. Сизов В. А., Сизов Р. А., Ямзин И. И. ЖЭТФ, 53, 1257, 1967.

Поступила в редакцию
8.10 1970 г.

Кафедра
общей физики для биологов