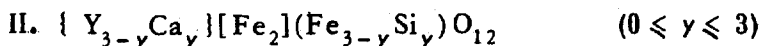
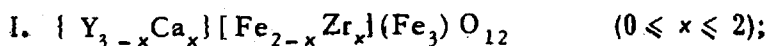


ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В РАЗБАВЛЕННЫХ ФЕРРИМАГНЕТИКАХ И ЗАДАЧА О ПРОСАЧИВАНИИ ЖИДКОСТИ

*В. П. Плахтий, И. В. Голосовский, В. А. Кудряшев,
Н. Н. Парфенова, О. П. Смирнов*

В простейшем двухподрешеточном ферримагнетике спины атомов, находящихся в двух неэквивалентных кристаллографических положениях, упорядочены антипараллельно, а спонтанный момент обусловлен избытком атомов в одном из положений. Во многих работах исследовались разбавленные ферримагнетики, у которых часть магнитных атомов в одной подрешетке была изоморфно замещена немагнитными атомами. Если в области малых разбавлений поведение такого ферримагнетика хорошо описывается теорией Нееля, то для области больших разбавлений пока нет непротиворечивой физической модели. [1 – 4]. В связи с этим нами было проведено нейтронографическое исследование двух систем разбавленных ферримагнетиков



на основе иттриевого феррита-граната (ИЖГ). (Фигурные, квадратные и круглые скобки, как обычно, обозначают додекаэдрические, октаэдрические и тетраэдрические узлы). Магнитные свойства этих систем подробно изучены Геллером и др. [5]. Цель нашей работы – получение сведений о характере перехода от дальнего ферромагнитного порядка [6] в ИЖГ ($x, y = 0$) к дальнему антиферромагнитному порядку [7, 8] в гранатах, содержащих ионы Fe^{3+} только в одной подрешетке ($x = 2; y = 3$).

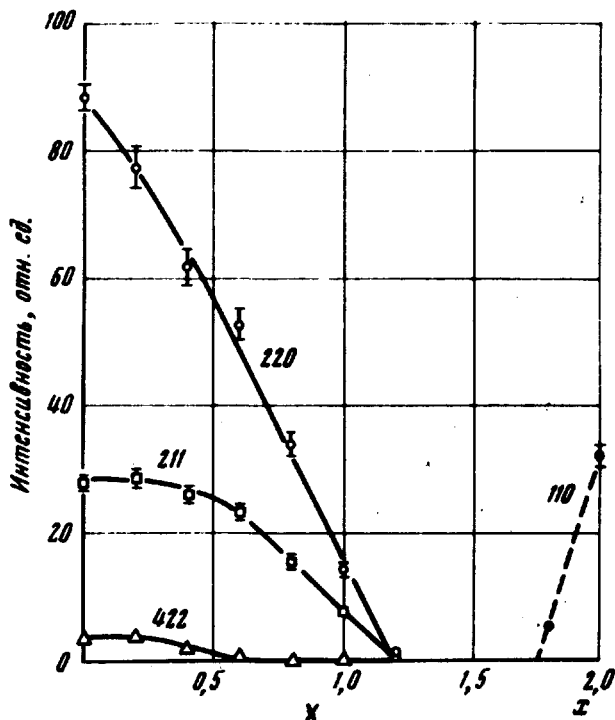


Рис. 1. Зависимость интенсивности магнитных отражений 211, 220, 422, 110 от содержания Zr^{4+} в октаэдрических узлах (система I)

Нейтроннографические измерения проводились при $4,2^\circ K$ в отсутствие внешнего поля. О наличии того или иного дальнего магнитного порядка можно было судить по появлению на нейтронограмме соответствующих магнитных отражений. Все магнитные отражения ИЖГ совпадают с ядерными. Вклад в отражения 211, 220, 422, обусловленный дальним ферромагнитным порядком, пропорционален соответственно m_D^2 ; $(2m_O - m_D)^2$; $(2m_O + m_D)^2$, где m_O и m_D – намагниченность октаэдрической и тетраэдрической подрешеток. На нейтронограмме граната с ионами Fe^{3+} только в тетраэдрической подрешетке присутствуют магнитные отражения с одним четным и двумя нечетными индексами. Часть этих отражений (110, 310...) не совпадает с ядерными. Магнитное упорядочение в гранате с ионами Fe^{3+} только в октаэдрической подрешетке приводит к появлению ряда дополнительных отражений (111, 311...) со всеми нечетными индексами.

Из рис. 1, 2, на которых представлены концентрационные зависимости интенсивности некоторых магнитных отражений, видно, что в обеих системах дальний ферромагнитный порядок исчезает задолго до полного разбавления. Критические концентрации магнитных атомов составляют

$0,40 \pm 0,02$ для системы I ($\rho = 1 - x/2$) и $0,25 \pm 0,02$ для системы II ($\rho = 1 - y/3$). Дальний антиферромагнитный порядок в системе I устанавливается при $0,2 > \rho > 0,1$ и в системе II при $0,25 > \rho > 0,17$. В системе I существует область концентраций $0,4 > \rho \geq 0,2$, где вообще отсутствует какой-либо дальний магнитный порядок.

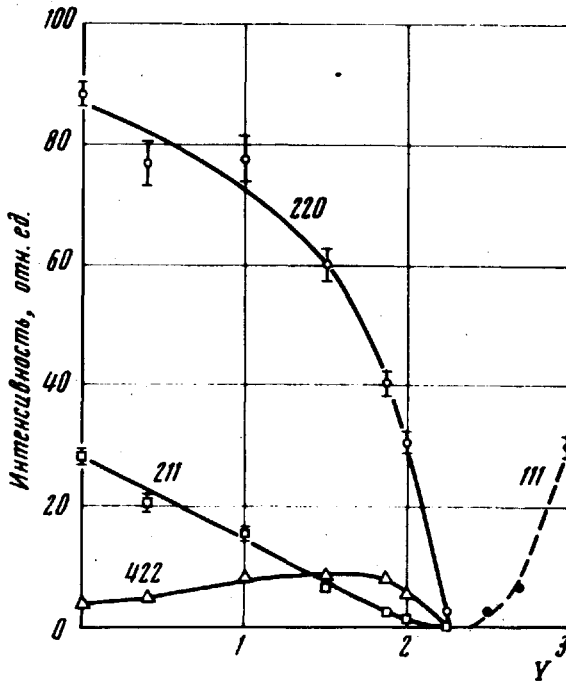


Рис. 2. Зависимость интенсивности магнитных отражений 211, 220, 422, 111 от содержания Si^{4+} в тетраэдрических узлах (система II).

При реальных соотношениях между обменными параметрами ($|J_{\alpha\alpha}|, |J_{dd}| \ll |J_{\alpha d}|; J_{\alpha\alpha}, J_{dd}, J_{\alpha d} < 0$), характеризующими внутриподрешеточные ($J_{\alpha\alpha}, J_{dd}$) и междодрешеточное ($J_{\alpha d}$) взаимодействия, наблюдаемые изменения магнитного упорядочения можно объяснить следующим образом. Магнитный атом, помещенный в незаполненную подрешетку антиферромагнитного граната, будет ориентировать спины всех своих соседей параллельно друг другу, т. е. разрушать антиферромагнитный порядок. Дальний антиферромагнитный порядок полностью разрушится, когда концентрация магнитных атомов в незаполненной подрешетке будет порядка $1/z$, где z — координационное число. Спины двух, трех и т. д. соседних атомов в незаполненной подрешетке оказываются связанными сильным междодрешеточным взаимодействием $J_{\alpha d}$ и образуют конфигурации, близкие к ферромагнитным. Средний размер таких ферромагнитных кластеров будет расти по мере заполнения подрешетки. Очевидно, что при сколь угодно низкой температуре необходимым условием возникновения дальнего ферромагнитного порядка является образование непрерывной и пронизывающей весь кристалл сетки атомов, связанных взаимодействием $J_{\alpha d}$, — кластера бесконечных размеров.

В математической статистике рассматриваются две различные задачи о распределении кластеров по размерам, поставленные Хаммерсли [9], как задачи о просачивании жидкости через периодическую ре -

шетку, в которой случайным образом размещены пропускающие жидкость узлы (связи). В этих задачах вычисляется критическая вероятность пропускающих узлов (связей), при достижении которой жидкость, поданная к одному узлу, просочится через всю решетку. Домб и Сайкс [10] обратили внимание на то, что задача о просачивании жидкости через решетку со случайно размещенными узлами является математическим аналогом разбавленного ферромагнетика. Нетрудно заметить, что задача о просачивании жидкости через решетку со случайно размещенными связями является аналогом разбавленного двухподрешеточного ферромагнетика, в котором магнитные атомы из разбавленной подрешетки можно рассматривать как связи для неразбавленной подрешетки. Критическая вероятность связей соответствует концентрации магнитных атомов в разбавленной подрешетке, при достижении которой может возникнуть дальний ферромагнитный порядок.

Критические вероятности просачивания для некоторых решеток были вычислены по методу Монте-Карло в работе [11]. При этом оказалось, что различные решетки с одинаковым координационным числом имеют одну и ту же критическую вероятность. В частности, при $z = 4$ критическая вероятность связей в решетке кварца составляет $0,388 \pm 0,010$, а в решетке алмаза $0,390 \pm 0,011$. Эти значения в пределах ошибок совпадают с критической концентрацией магнитных атомов в октаэдрической подрешетке граната, которые являются связями для тетраэдрической подрешетки ($z = 4$). Так же хорошо согласуется критическая вероятность связей $0,254 \pm 0,013$ в простой кубической решетке ($z = 6$) и критическая концентрация магнитных атомов в тетраэдрической подрешетке граната, которые образуют связи для октаэдрической подрешетки ($z = 6$).

Обнаруженные фазовые переходы позволяют объяснить различия в магнитном поведении систем при малых и больших разбавлениях [5]. При разбавлениях меньше критического существует дальний ферромагнитный порядок и макроскопический спонтанный момент, в то время как при разбавлениях больше критического намагниченность появляется в результате выстраивания во внешнем поле отдельных ферромагнитных кластеров. Следует отметить, что это важное обстоятельство не учитывалось ни в одной из работ [1 - 4].

В заключение мы хотели бы поблагодарить Г.М. Дробкина, И.Я. Коренблита и Г.А. Смоленского за обсуждение результатов.

Институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 июня 1973 г.

Литература

- [1] M. A. Gilleo. J. Phys. Chem. Solids, 13, 33, 1960.
- [2] В.П. Поляков. ФТТ, 9, 2830, 1967.
- [3] I. Nowik. Phys. Rev., 171, 550, 1968.
- [3] I. Nowik. J. Appl. Phys., 40, 5184, 1969.

- [5] S.Geller, H.Williams, G.P.Espinosa, R.C.Sherwood. Bell. Syst. Techn. J., 43, 565, 1964.
 - [6] E.F.Bertaut, F.Forrat, A.Herpin, P.Meriel. C.R., 243, 898, 1956.
 - [7] V.P.Plakhty, I.V.Golosovskii. Phys. Stat. Solidi (b), 53, K37, 1972.
 - [8] В.Ю.Плахтий, И.В.Полосовский. ФТТ, 14, 2760, 1972.
 - [9] S.R.Broadbent, J.M.Hammersley. Proc. Cambridge Phil. Soc., 53, 629, 1957.
 - [10] C.Domb, M.F.Sykes. Phys. Rev., 122, 77, 1961.
 - [11] V.A.Vyssotsky, S.B.Gordon, H.L.Frisch, J.M.Hammersley. Phys. Rev., 123, 1566, 1966.
-