

ЧЕТЫРЕ МАГНИТНЫХ ПОДРЕШЕТКИ ЖЕЛЕЗА В ИНДИЙ-ГАЛЛИЕВОМ ЖЕЛЕЗНОМ ГРАНАТЕ

П.Л.Грузин, М.Н.Успенский, И.С.Любушкин, Л.А.Алексеев

В настоящей работе сообщается об обнаружении четырех неэквивалентных положений для ионов железа Fe^{3+} в системе индий-галлиевых гранатов $Y_3In_xGa_{3-x}Fe_{5-2x}O_{12}$.

Исследовался эффект Мёссбауэра на ядрах Fe^{57} при температурах 78 и 300°К. Наиболее подробно изучено поликристаллическое соединение $Y_3In_{0,15}Ga_{0,15}Fe_{4,7}O_{12}$. На рис. 1, а и б показаны мёссбауэровские спектры этого граната, снятые с источником Co^{57} в Сг. В отличие от спектра, характерного для иттриевого железного граната [1], в индий-галлиевом гранате происходит дополнительное расщепление сверхтонких линий. Общий вид спектра согласуется с известной двухподрешеточной структурой иттриевого граната, однако крайние линии спектра приобретают дублетную структуру. (см. рис. 1, а и б). Создается впечатление, что октаэдрическая и тетраэдрическая решетки железа каждая разбиваются на две подрешетки. Интенсивности линий в дублетах неодинаковы.

Сложный спектр рис. 1 довольно просто можно разбить на четыре шестилинейных спектра, отвечающих четырем неэквивалентным положениям ионов железа Fe^{3+} в гранате а, а', d и d'. Значения эффективных магнитных полей $H_{эфф}$, действующих на ядра Fe^{57} в каждой подрешетке, приведены в таблице.

Для большей надежности Мёссбауэровские спектры граната $Y_3In_{0,15}Ga_{0,15}Fe_{4,7}O_{12}$ снимались несколько раз на различных установках и с различными источниками: Co^{57} в нержавеющей стали, в Сг и в Pd. Тщательнейший рентгеновский фазовый анализ указал на полное отсутствие какой-либо посторонней фазы. Постоянная решетки граната $Y_3In_{0,15}Ga_{0,15}Fe_{4,7}O_{12}$ равна $12,423 \pm 0,002 \text{ \AA}$. Проведенный химический анализ образцов не обнаружил ионов двухвалентного железа Fe^{2+} .

Чтобы выяснить природу четырех магнитных подрешеток железа были сняты нейтронограммы для исследуемого образца при температурах 4,2 ; 78 и 300°К. Для всех температур на нейтронограммах не было обнаружено дополнительных сверхструктурных пиков. Величина магнитного момента образца, измеренная при температуре жидкого гелия оказалась равной $4,88 \mu_B$. Это значение вполне согласуется с величиной магнитного момента для "нормальных" замещений железных

Значения некоторых параметров мёссбауэровских спектров: $H_{\text{эфф}}$ – эффективное магнитное поле на ядре Fe^{57} в соответствующей подрешетке; $(S_1 - S_2)$ – величина, характеризующая квадрупольное расщепление (S_1 – расстояние между первой и второй, а S_2 – между пятой и шестой линиями шести-линейного спектра); $\delta_a - \delta_{a'}$ и $\delta_d - \delta_{d'}$ – разности изомерных сдвигов для подрешеток a и a' , d и d'

$T, ^\circ\text{K}$	$H_{\text{эфф}}^a,$ кэ	$H_{\text{эфф}}^{a'},$ кэ	$H_{\text{эфф}}^d,$ кэ	$H_{\text{эфф}}^{d'},$ кэ	$(S_1 - S_2)^a,$ мм/сек	$(S_1 - S_2)^{a'},$ мм/сек	$(S_1 - S_2)^d,$ мм/сек	$(S_1 - S_2)^{d'},$ мм/сек	$\delta_a - \delta_{a'},$ мм/сек	$\delta_d - \delta_{d'},$ мм/сек
300	464 ± 5	442 ± 5	373 ± 5	367 ± 5	-0,18 $\pm 0,07$	-0,28 $\pm 0,07$	-0,18 $\pm 0,07$	-0,21 $\pm 0,07$	+0,05 $\pm 0,07$	+0,18 $\pm 0,07$
78	547 ± 6	530 ± 6	468 ± 6	470 ± 6	-0,16 $\pm 0,08$	-0,08 $\pm 0,08$	+0,04 $\pm 0,08$	+0,04 $\pm 0,08$	0 $\pm 0,08$	+0,36 $\pm 0,08$

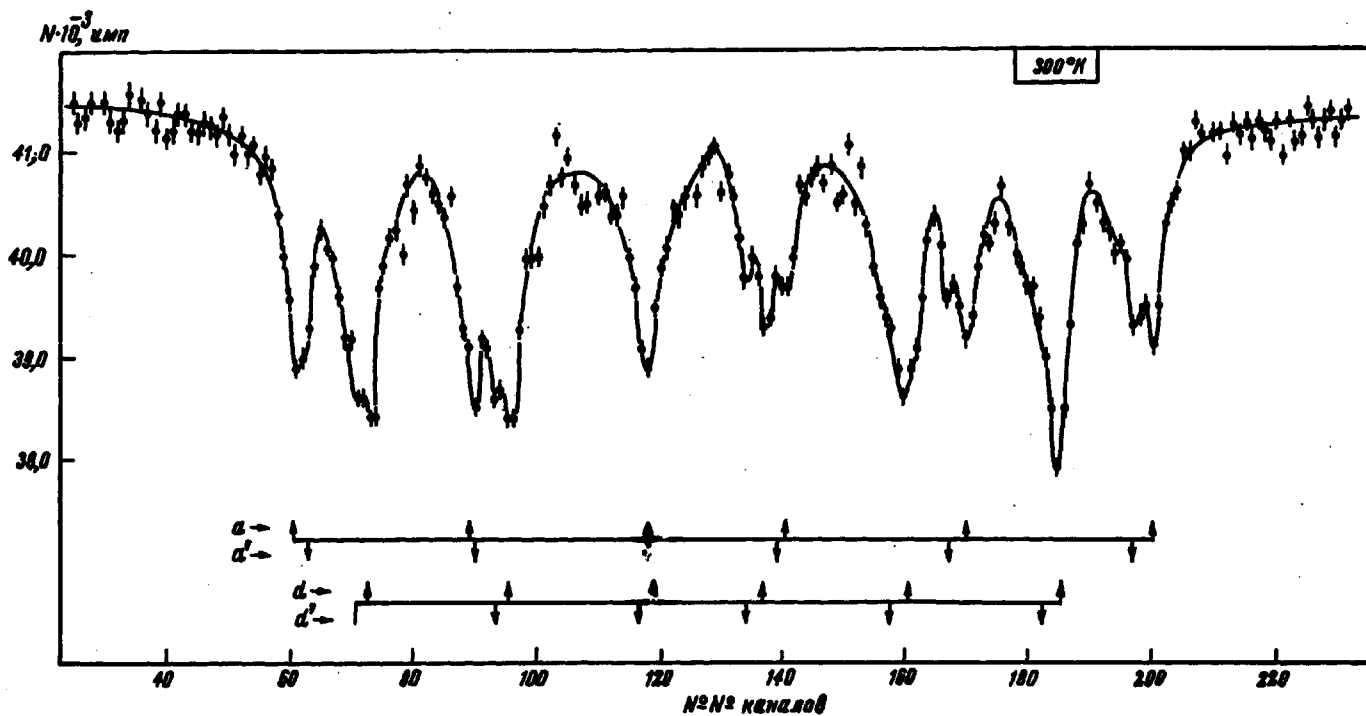


Рис. 1,а. Мёсбауэровские спектры поглощения ядер Fe^{57} в гранате $\text{Y}_3\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.15}\text{Fe}_{4.7}\text{O}_{12}$ при температуре 78°K

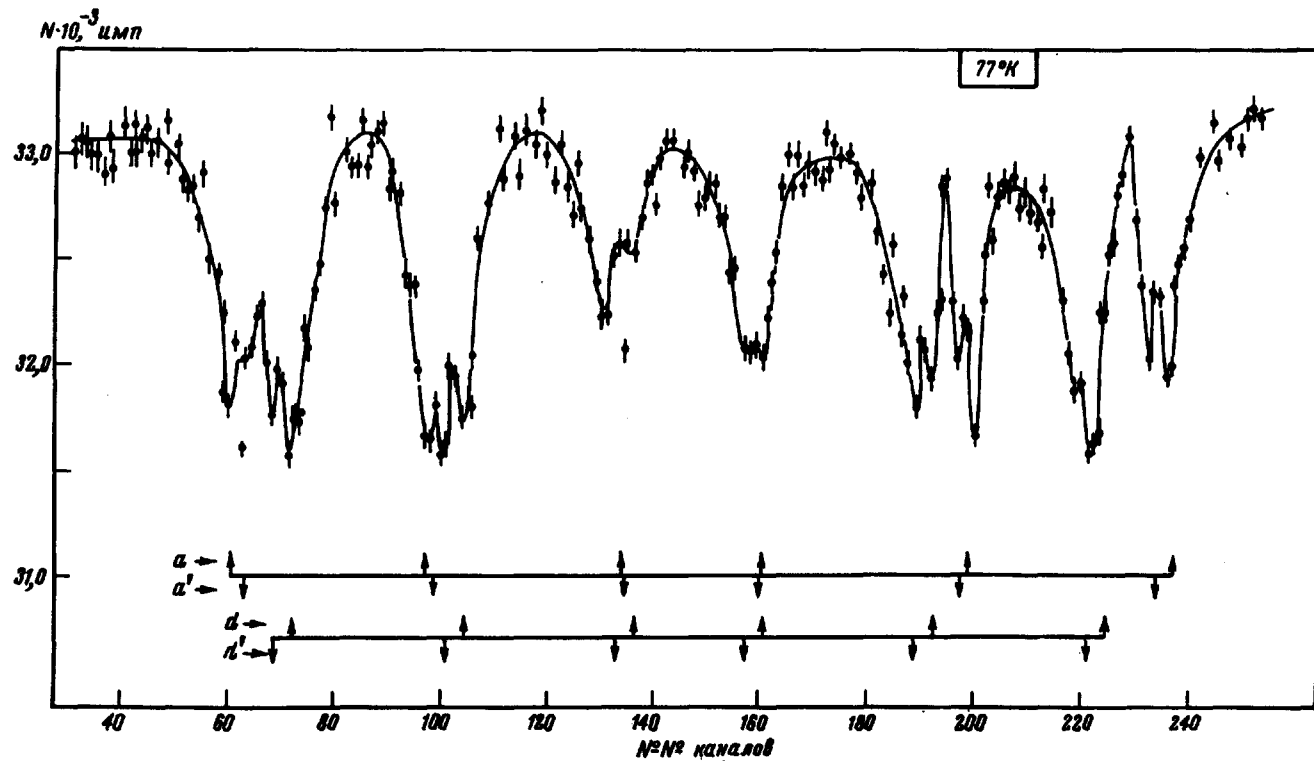


Рис. 1,б. Мёссбауэровские спектры поглощения ядер Fe^{57} в гранате $Y_3In_{0,15}Ga_{0,15}Fe_{4,7}O_{12}$ при температуре $300^\circ K$

гранатов [2], при замещении ионов Fe^{3+} немагнитными ионами одновременно в тетра- и октаэдрической подрешетках.

Нам представляется затруднительным объяснение наличия четырех неэквивалентных положений для ядер Fe^{57} в индий-галлиевых железных гранатах. Имеются несколько причин, могущих привести к наблюдаемому эффекту: во-первых, возможно появление в гранате так называемой "cantd-структуры", когда одна из магнитных подрешеток разбивается на две с магнитными моментами, направленными под углом друг к другу (эта схема недавно предложена Геллером и др. [2]). Такая структура существует внутри каждой, отдельно взятой элементарной ячейки, но не имеет трансляционной повторяемости в кристалле ввиду хаотической ориентации магнитных моментов разных ячеек. Поэтому эта структура не фиксируется методом нейтронной дифракции и может быть обнаружена только с помощью эффекта Мёссбауэра. Во-вторых, к сложному мёссбауэровскому спектру может привести зависимость наблюдаемого градиента электрического поля (ГЭП) от угла между осью ГЭП и полем $H_{эфф}$ (которое совпадает с осью легчайшего намагничивания). Этот случай подробно рассмотрен в работах [1, 3] и, по-видимому, экспериментально наблюдался Ван-Лоэфом [4].

Предварительный анализ показывает, что наблюдаемый нами эффект не может быть полностью объяснен каким-либо из упомянутых механизмов.

Авторы благодарят Л.М.Исаков за внимание и интерес к работе, Т.М.Крылову за представленные образцы.

Московский
инженерно-физический институт

Поступило в редакцию
11 сентября 1968 г.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Литература

- [1] И.С.Любутин, Е.Ф.Макаров, В.А.Повицкий. ЖЭТФ, 53, 65, 1967.
- [2] S. Geller, H. J. Williams, G. P. Espinosa, R. C. Sherwood. Bell System Techn. J., 43, 565, 1964.
- [3] C. Alf, G. K. Wertheim. Phys. Rev., 122, 1414, 1961.
- [4] J. J. van Loef. Intern. Congress on Magnetism, Boston, 1967.