

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА В ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВЫХ ГРАНАТАХ

Л. А. Алексеев, П. Л. Грузин, М. Н. Успенский,  
М. Р. Грязнов

Обменное взаимодействие между октаэдрическими ( $a$ ) и тетраэдрическими ( $d$ ) ионами железа в ферромагнетиках должно оказывать влияние на колебательный спектр кристаллов [1]. В настоящей работе изучали температурную зависимость вероятности эффекта Мессбауэра  $f'$  на ядрах  $Fe^{57}$  в области температур 78 – 750°K в феррите-гранате  $Y_3Fe_5O_{12}$ , и замещенном феррите-гранате  $Y_3Fe_4Al_1O_{12}$ , физические свойства которых хорошо изучены. Эти гранаты являются "рыхлыми" в магнитном отношении материалами (температуры Кюри  $T_c = 548$  и 415°K соответственно) по сравнению с ферромагнетиками, у которых температура Кюри значительно выше. Это обстоятельство способствует большему выявлению влияния магнитного порядка на фактор Дебая – Валлера ( $D - B$ ) в ферромагнетиках. До настоящего времени нет экспериментальных работ по абсолютному определению  $f'$  по подрешеткам ферритов-гранатов в области температур ниже температуры Кюри, произведены только относительные измерения величины  $f'_a/f'_d$  [2], где  $f'_a$ ;  $f'_d$  – вероятность эффекта Мессбауэра на ядрах  $Fe^{57}$  в октаэдрах и тетраэдрах соответственно. Для определения  $f'$  мы использовали модифицированный метод Быкова и Фам Зуи Хиена [3], и метод эталонного поглотителя. В качестве эталона использовали железо армо, для которого значение  $f' = 0,84$  при комнатной температуре [4]. Отработка методики велась на  $Fe_2O_3$  для которой получено значение  $f' = 0,44 \pm 0,04$  при  $T = 300$ °K, что совпадает с ранее полученным значением [5]. Данные по  $f'$  для  $Y_3Fe_5O_{12}$  при температурах выше  $T_c$  взяты из [6]. Рентгенографический анализ не обнаружил в исследованных образцах наличия посторонней фазы; катионное распределение по подрешеткам данных гранатов следующее:  $Y_3(Fe_2)_a[Fe_3]_dO_{12}$  и  $Y_3(Fe_{1,84}Al_{0,16})_a[Fe_{2,16}Al_{0,84}]_dO_{12}$ , а постоянная решетки  $12,376 \pm 0,002$  Å и  $12,305 \pm 0,002$  Å соответственно. Расчет отношения интенсивностей линий для ионов железа в октаэдрах и тетраэдрах производился на ЭВМ с учетом коэффициентов разложения, полученных для хорошо разрешенных крайних линий резонансных спектров при температурах 78 и 300°K. Это соотношение выдерживалось и для более высоких температур. Экспериментальные значения  $f'$ , в функции  $T/T_c$  для октаэдрических и тетраэдрических положений ионов железа в исследованных гранатах представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, температурный ход  $f'$  существенно различен в области выше и ниже  $T_c$ . Переход из парамагнитного состояния в ферромагнитное сопровождается существенным возрастанием экспериментально наблюдаемого фактора Дебая – Валлера ( $-2W$ ) для ионов

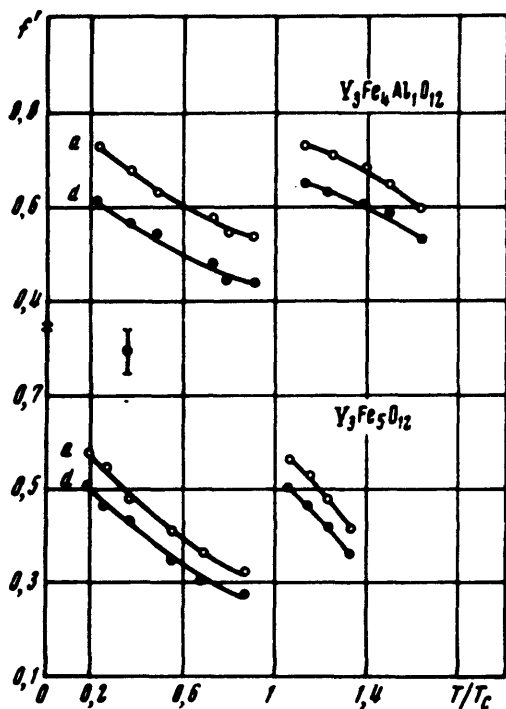


Рис. 1. Температурная зависимость  $f'$  на ядрах  $\text{Fe}^{57}$  в  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  и  $\text{Y}_3\text{Fe}_4\text{Al}_1\text{O}_{12}$ . Сплошные кривые (при  $T < T_c$ ) – рассчитаны по формуле (1)

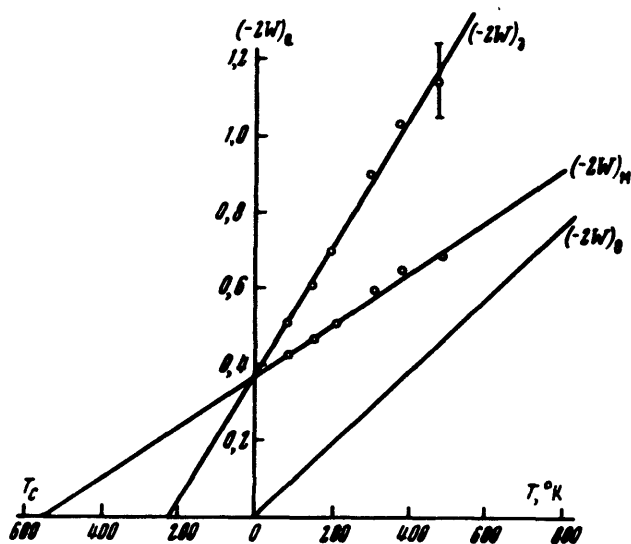


Рис. 2. Температурная зависимость фактора Д-В для  $\text{Fe}^{57}$  в октаэдрах  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ .  $(-2W)_э$  – экспериментальные значения фактора Д-В;  $(-2W)_м$  – магнитный вклад в фактор Д-В;  $(-2W)_о$  – Д-В фактор в парамагнитной области температур

железа как в  $a$ -, так и в  $d$ -положениях. Зависимость  $(-2W)_о$  для ядер  $\text{Fe}^{57}$  в октаэдрах  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  дана на рис. 2. Для области температур выше  $T_c$  характерно проявление ангарманизма колебаний ионов железа в обоих гранатах. В этой области, по-видимому, весьма существен-

но фонон-фононное взаимодействие, приводящее к появлению в факторе Д-В членов разложения четвертого и более высокого порядка [7].

Температурная зависимость  $f'$  в области температур ( $T < T_c$ ) (рис. 1) хорошо описывается, если представить экспериментально наблюдаемый фактор Д-В  $(-2W)_3$  в следующем виде:

$$(-2W)_3 = (-2W)_0 + (-2W)_M, \quad (T \geq 200^\circ\text{K}), \quad (1)$$

где  $(-2W)_0$  — фактор Д-В в парамагнитной области ( $T > T_c$ ),  $(-2W)_M$  — магнитный вклад в фактор Д-В ( $T < T_c$ ).

Для температур ( $T > T_c$ ) фактор Д-В записывается обычным образом

$$(-2W)_0 = \frac{AT}{\theta_0^2}. \quad (2)$$

Для  $\text{Fe}^{57}$  —  $A = 138$ ;  $\theta_0$  — значение характеристической температуры в отсутствие магнитного порядка. Вычитая из  $(-2W)_3$  значения  $(-2W)_0$ , найденное по температуре  $\theta_0$  (которая нам известна из парамагнитной области температур), получаем для области  $T < T_c$  (рис. 2):

$$(-2W)_M = \frac{A(T + T_c)}{\theta_M^2}, \quad (3)$$

где  $T_c$  — температура Кюри;  $\theta_M$  — парциальная характеристическая температура в области  $T < T_c$ .

Заметим, что обработка экспериментальных значений  $(-2W)_3$  произведена методом наименьших квадратов, используя известные значения  $T_c$  и  $\theta_0$ .

Значения характеристических температур  $\theta_0$  и  $\theta_M$  для ионов железа в октаэдрах (a) и тетраэдрах (d)

$\theta, ^\circ\text{K}$	$\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$		$\text{Y}_3\text{Fe}_4\text{Al}_1\text{O}_{12}$	
	a	d	a	d
$\theta_0$	$378 \pm 18$	$343 \pm 18$	$467 \pm 18$	$405 \pm 18$
$\theta_M$	$455 \pm 18$	$416 \pm 18$	$525 \pm 18$	$450 \pm 18$

Найденные значения  $\theta_0$  и  $\theta_M$  для a- и d-положений ионов железа приведены в таблице. Из (3) и (2) для температур  $T \geq 200^\circ\text{K}$  получаем

$$2W_M/2W_0 = \theta_0^2/\theta_M^2 (1 + T_c/T). \quad (4)$$

В первом приближении отношение  $\theta_M^2/\theta_0^2$  — характеризует отношение силовых констант ( $y = m\theta^2$ , где  $m$  — масса колеблющегося иона, а  $y$  — силовая константа) в магнитной и парамагнитной области температур.

Из данных таблицы нами определены отношения  $\theta_M^2/\theta_0^2$ . Они оказались одинаковыми для двух исследованных ферритов-гранатов и равными  $1,35 \pm 0,06$ . Из отношения  $\theta_M^2/\theta_0^2$  мы определили магнитный вклад  $x_M^2$  в среднеквадратичное смещение ядер  $Fe^{57}$  и он равен  $x_M^2 = 0,75 x_0^2$ , т. е. магнитный вклад в среднеквадратичные смещения ядер  $Fe^{57}$ , в среднем, составляет 0,75 от величины обычных тепловых среднеквадратичных смещений ионов железа в парамагнитной области температур. Приведенная оценка хорошо согласуется с данными [8].

Московский  
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию  
14 июля 1971 г.

### Литература

- [1] Sh. Sh. Bashkirov, G.Ya. Selytin. Phys. Status Solidi, 26, 253, 1968.
  - [2] J. van Loef. Physica, 32 2102, 1966.
  - [3] Г.А.Быков, Фам Зуи Хиен. ЖЭТФ, 43, 909, 1962.
  - [4] T.A.Kovats, J.C.Walker. Phys. Rev., 181, 610, 1969.
  - [5] E.T.Ritter, P.W.Keaton, Y.K.Lee, R.R.Stevens, I.C.Walker. Phys. Rev., 154, 287, 1967.
  - [6] Л.А.Алексеев, П.Л.Грузин, М.Н.Успенский. Изв. АН СССР, Сер. физ., 34, 955, 1970.
  - [7] A.I.F.Boyle, D.S.P.Bunbuny, C.Edwards, H.E.Hall. Proc. Phys. Soc., A77, 129, 1961.
  - [8] R.D.Lowde. Proc. Roy. Soc., A235, 305, 1956.
-