

## ВЛИЯНИЕ НЕКРАМЕРСОВСКИХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНОВ НА СПЕКТР МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН В ОРТОФЕРРИТАХ

В. Д. Бучельников, И. В. Бычков, В. Г. Шавров

Редкоземельная (РЗ) подсистема играет важную роль в статических и динамических свойствах редкоземельных ортоферритов (РЗО) даже в том случае, когда она находится в парамагнитном состоянии [1]. В этой работе было показано, что спектр колебаний РЗО с некрамерсовскими РЗ ионами состоит из четырех ветвей, две из которых описывают колебания РЗ подсистемы, а остальные — колебания железной (Fe) подсистемы. Оказалось, что мягкой модой вблизи ориентационных фазовых переходов (ОФП) может быть как Fe, так и РЗ мода. Связанные колебания Fe и упругой подсистем (магнитоупругие (МУ) волны) в РЗО исследовались в [2]. В данной работе исследуется спектр связанных колебаний Fe, РЗ и упругой подсистемы в области температурных ОФП, когда РЗ ионы неупорядочены. Предложено объяснение поведения скоростей упругих волн вблизи ОФП. Рассмотрены ОФП типа  $\Gamma_4-\Gamma_{24}$ ,  $\Gamma_2-\Gamma_{24}$  и  $\Gamma_2-\Gamma_{12}$ . Первые два перехода имеют место в РЗО тулия при температурах  $T_1 \cong 94$  и  $T_2 \cong 84$  К [3], а первый и последний — в РЗО гольмия при  $T_1 \cong 58$  и  $T_3 \cong 39$  К [1].

Динамику РЗО будем описывать методом, основанным на исследовании линеаризованных уравнений Ландау—Лифшица, Максвелла и упругости. Исследуем случай распространения МУ волн вдоль оси  $z$ . В фазе  $\Gamma_4$  решение дисперсионного уравнения для связанных колебаний РЗО в длинноволновом приближении имеет вид

$$\omega_1^2 = \omega_{5k}^2 \left[ 1 - \omega_{me5}^2 / (\omega_{1k}^2 - \omega_{1RF}^2 - \omega_E \omega_{dip}) \right],$$

$$\gamma_1 = \frac{\omega_{me5}^2 \omega_E (\Lambda_F + \Lambda_R \omega_{ex} \omega'_{ex} / \omega_R^2)}{s_5 (\omega_{1k}^2 - \omega_{1RF}^2 - \omega_{me5}^2 - \omega_E \omega_{dip})^{3/2} (\omega_{1k}^2 - \omega_{1RF}^2 - \omega_E \omega_{dip})^{1/2}},$$

$$\omega_{II}^2 = \begin{cases} \omega_{1k}^2 + \omega_{me5}^2 \omega_{5k}^2 / \omega_{1k}^2 + \omega_{1RF}^2 \omega_{1R}^2 / \omega_{1k}^2, & \omega_{1k} > \omega_{1R}, \\ \omega_{1k}^2 + \omega_{me5}^2 \omega_{5k}^2 / \omega_{1k}^2 - \omega_{1RF}^2, & \omega_{1k} < \omega_{1R}, \end{cases}$$

$$\omega_{III}^2 = \begin{cases} \omega_{1R}^2 - \omega_{1RF}^2 \omega_{5k}^2 / \omega_{1k}^2, & \omega_{1k} > \omega_{1R}, \\ \omega_{1R}^2 + \omega_{1RF}^2, & \omega_{1k} < \omega_{1R}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\omega_{1k}$ ,  $\omega_{5k} = s_5 k$ ,  $\omega_{1R}$  — ветви колебаний соответственно Fe, упругой и РЗ подсистем;  $\omega_{1RF}$  — частота взаимодействия РЗ и Fe подсистем, а  $\omega_{me5}$  — Fe и упругой подсистем;  $k$  — волновой вектор;  $\Lambda_F$ ,  $\Lambda_R$  — параметры затухания в Fe и РЗ подсистемах;  $\gamma_1$  — коэффициент затухания квазиупругой ветви  $\omega_1$ ,

$$\omega_{1R}^2 = \omega_R \omega'_R, \quad \omega_{1k}^2 = \omega_E \omega_{ac} + \omega_{1RF}^2 + \omega_{n\sigma}^2 + \omega_E \omega_{dip} + c^2 k^2,$$

$$\omega_{1RF}^2 = \omega_E \omega_{ex} \omega'_{ex} / \omega'_R, \quad \omega_{n\sigma}^2 = g \omega_E H_{me5}, \quad \omega_{dip}^2 = 16 \pi g M_0 F_0^2, \quad (2)$$

$c^2 = \omega_E g \alpha M_0$ ;  $g$  — гиромангнитное отношение;  $\alpha$ ,  $M_0$  — постоянная неоднородного обмена и намагниченность Fe подрешетки. Остальные обозначения совпадают с обозначениями в [1, 2]. Точка ОФП  $\Gamma_4-\Gamma_{24}$  определяется условием  $\omega_{ac} = 0$ . Отсюда следует, что в точке ОФП  $\Gamma_4-\Gamma_{24}$  одна из частот ( $\omega_1$ ), соответствующая поперечной квазиупругой ветви колебаний (с поляризацией вдоль оси  $x$ ), при  $k \rightarrow 0$  квадратично зависит от  $k$ :  $\omega_1 = s_5 c k^2 / \omega_{me5}$ . Скорость этой моды  $\omega_1/k$  линейно зависит от  $k$  и стре-

мится к нулю при  $k \rightarrow 0$ . Однако такое сильное уменьшение скорости звука в точке ОФП  $\Gamma_4 - \Gamma_{24}$  экспериментально не наблюдается из-за большого затухания в РЗ подсистеме (ширина линии зависит от температуры и при высоких температурах порядка самой частоты [1]), которое определяет затухание квазиупругих волн  $\gamma_1$ . Ограничение изменения скорости звука в области данного ОФП обусловлено также узостью самого перехода: чтобы добиться 50%-ного уменьшения скорости, необходимо подойти к точке ОФП на  $\Delta T \sim 10^{-4}$  К. Эти эффекты подтверждаются экспериментально и в  $\text{TmFeO}_3$  [3], и в  $\text{HoFeO}_3$  [4]. Остальные две моды при  $k=0$  имеют активации. В случаях  $\omega_{1k} > \omega_{1R}$  и  $\omega_{1k} < \omega_{1R}$  активация ветви Fe подсистемы  $\omega_{II}$  определяется как

$$\omega_{II}^2(0) = \omega_{1RF}^2 + \omega_{me5}^2 + \omega_E \omega_{dip}, \quad \omega_{1k} > \omega_{1R}, \quad (3a)$$

$$\omega_{II}^2(0) = \omega_{me5}^2 + \omega_E \omega_{dip}, \quad \omega_{1k} < \omega_{1R}. \quad (3б)$$

Активация РЗ моды в этих же случаях выражается формулами

$$\omega_{III}^2(0) = \omega_{1R}^2 (\omega_{me5}^2 + \omega_E \omega_{dip}) / (\omega_{1RF}^2 + \omega_{me5}^2 + \omega_E \omega_{dip}), \quad \omega_{1k} > \omega_{1R}, \quad (3в)$$

$$\omega_{III}^2(0) = \omega_{1R}^2 + \omega_{1RF}^2, \quad \omega_{1k} < \omega_{1R}. \quad (3г)$$

Из (3) видно, что в точке ОФП  $\Gamma_4 - \Gamma_{24}$  при  $\omega_{1k} > \omega_{1R}$  мягкой модой является РЗ мода, а при  $\omega_{1k} < \omega_{1R}$  — Fe мода. Величина активации мягкой моды в первом случае при  $\omega_{me5} > \omega_{dip}$  меньше величины МУ щели  $\omega_{me5}$ , а во втором случае — всегда больше ее.

Рассмотрим далее фазу  $\Gamma_2$ . Анализ дисперсионного уравнения связанных колебаний показывает, что в этой фазе РЗ подсистема практически не влияет на частоты колебаний Fe и упругой подсистем. Таким образом, в точках ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$  и  $\Gamma_2 - \Gamma_{12}$  мягкими модами являются моды Fe подсистемы, а величина их активаций определяется МУ и дипольным взаимодействиями. Например, в точке ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$  величина активации квазиферромагнитной моды равна  $\omega_{II}^2(0) = \omega_E (\omega_{me5} + \omega_{dip})$ . Изменение скоростей упругих колебаний вблизи данных ОФП обусловлено их связью с Fe подсистемой. В точке ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$  уменьшение скорости поперечного звука  $s_5$  (с поляризацией вдоль оси  $x$ ) резко ограничено дипольным взаимодействием:  $\tilde{s}_5 = s_5 [\omega_{dip} \omega_E + c^2 k^2] / (\omega_{me5} + \omega_E \omega_{dip})^{1/2}$ . В точке ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{12}$  дипольное взаимодействие не влияет на ограничение скорости поперечного звука  $s_4$  (с поляризацией вдоль оси  $y$ ):  $\tilde{s}_4 = s_4 c k / \omega_{me4}$ . Отсюда следует, что уменьшение скорости звука  $s_4$  в области ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{12}$  должно быть больше, чем уменьшение скорости звука  $s_5$  в точке ОФП  $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$ . Это различие в поведении скоростей  $s_4$  и  $s_5$  действительно наблюдается в эксперименте [3, 4].

Таким образом, полученные здесь результаты позволяют объяснить результаты экспериментальных работ по исследованию МУ волн в РЗО с некрамерсовскими РЗ ионами вблизи рассмотренных ОФП.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Балбашов А. М., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Мухин А. А., Провин Ю. А., Прохоров А. С. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. № 3. С. 1092—1107.
- [2] Дикштейн И. Е., Тарасенко В. В., Шавров В. Г. // ФТТ. 1977. Т. 19, № 4. С. 1107—1113.
- [3] Gorodetsky G., Shaft S., Wanklyn B. M. // Phys. Rev. B. 1976. V. 14. N 5. P. 2054—2056.
- [4] Данышин Н. К., Жерлицын С. В., Звада С. С., Мухин А. А., Сдвижков М. А., Филь В. Д. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 5. С. 198—204.