

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОАНИЗОТРОПНОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОРИЕНТАЦИИ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.С.Лагутин

Российский научный центр "Курчатовский институт"
123182, Москва, Россия

Поступила в редакцию 25 августа 1992 г.

Изучено поведение линий резонансного поглощения СВЧ излучения в монокристалле $\text{Ho}_{0.4}\text{Y}_{2.6}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при изменении ориентации внешнего магнитного поля в плоскости (110), содержащей основные направления кубического кристалла: [100], [110] и [111]. Эксперименты выполнены в импульсных магнитных полях до 250 кЭ при температуре жидкого гелия на частоте 40,5 ГГц. Сравнение с результатами теоретического анализа, проведенного на основе модели изинговского упорядочения ионов гольмия, показало наличие существенных различий между теорией и экспериментом.

Известно, что в полях, сравнимых по величине с эффективным полем обменного взаимодействия между редкоземельной и железной подсистемами $\text{Ho}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($H_{\text{обм}}$), наблюдаются значительные аномалии статических свойств данного магнетика, причем как количество таких аномалий, так и их величины сильно зависят от ориентации внешнего поля относительно кристаллографических осей^{1,2}. Оказалось, что наряду с линиями поглощения, связанными с индуцированными магнитным полем магнитоструктурными переходами^{3,4}, имеется и ряд других резонансных линий, не связанных с такими переходами. Часть из таких резонансов интерпретирована в⁵ как следствие возникновения динамического магнитного эффекта Яна–Теллера², другие же могут быть обусловлены наличием статического магнитного эффекта Яна–Теллера⁶, при котором отсутствуют скачки намагниченности, но он может проявляться при исследовании динамики магнитной системы кристалла.

В данной работе предпринята попытка четко разделить две последние упомянутые части спектра поглощения гольмий-иттриевого феррита-граната. С этой целью проведено изучение ориентационных зависимостей полей магнитного резонанса при фиксированной частоте $\nu = 40,5$ ГГц в монокристалле

$\text{Ho}_{0,4}\text{Y}_{2,6}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$. Эксперименты проводились с помощью импульсного отражательного радиоспектрометра в полях до 250 кЭ при температуре 4,2 К. Образец был приклеен по плоскости типа (110) к поверхности вращающейся площадки, расположенной на широкой стенке стандартного восьмимиллиметрового волновода вблизи закорачивающего донышка. Внешнее магнитное поле, создаваемое импульсным соленоидом, всегда было направлено вдоль волновода. Учитывая резкую зависимость интенсивности и положения (по полю) линий поглощения ³, измерения спектров поглощения образца проводились с малым шагом по углу ($3-5^\circ$) в диапазоне от 0 до 360° . Погрешность в установке плоскости (110) не превышала 5° . Рабочая частота выбрана специально достаточно низкой, чтобы избежать дополнительного усложнения наблюдаемой картины резонанса, связанной не с изменением ориентации внешнего поля, а возникновением расщепления (по полю) резонансных линий на более высоких частотах

3

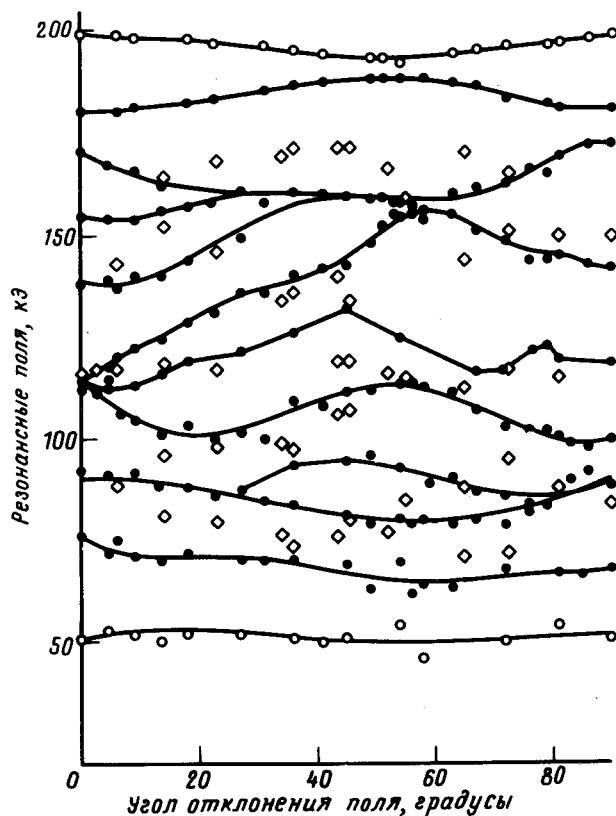


Рис.1. Экспериментальные фазовые $H_{\text{рез}} - \theta$ и $H_c - \theta$ диаграммы $\text{Ho}_{0,4}\text{Y}_{2,6}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в плоскости (110): залитые и незалитые точки – резонансные поля, ромбы – поля магнитных фазовых переходов из работы ¹

На рис.1 приведены усредненные по четырем квадрантам зависимости резонансных полей ($H_{\text{рез}}$) от угла отклонения (θ) магнитного поля (H) относи-

тельно направления [100]. Сплошные залитые точки на рис.1 соответствуют надежно идентифицированным линиям поглощения, которые наблюдались во всех квадрантах. Незалитые точки указывают на линии поглощения, наблюдавшиеся на 1–2 квадрантах. Сплошные линии проведены по методу наименьших квадратов. Ромбами показаны поля магнитных фазовых переходов, определенных в ¹ из измерений намагниченности (эти поля определялись по скачкам магнитного момента $M//H$). Наблюдавшийся в ¹ гистерезис кривых $M(H)$ исключен: за поле магнитного перехода принята полусумма критических полей при нарастании и спаде магнитного поля.

Видно, что в диапазоне полей от 80 до 170 кЭ все $H_{\text{рез}}$ хорошо соответствуют точкам магнитных фазовых переходов и связаны с наличием статического магнитного эффекта Яна–Теллера ^{4,6,7}. Можно отметить также характерную особенность приведенных на рис.1 зависимостей $H_{\text{рез}}(\theta)$ – при ориентации внешнего поля вдоль направлений с наибольшей симметрией имеет место вырождение фаз.

Линии поглощения при $H \approx 50$ кЭ и $H \approx 200$ кЭ обусловлены (как было показано в ⁵ для направлений [100] и [111]) существованием уже не статического, а динамического магнитного эффекта Яна – Теллера ², при котором среднее по времени изменение магнитной структуры кристалла равно нулю. Следовательно, можно утверждать, что резонансы в полях порядка 70 и 180 кЭ также связаны с магнитными фазовыми переходами, сопровождающимися статическим магнитным эффектом Яна – Теллера, при которых однако нет скачка магнитного момента.

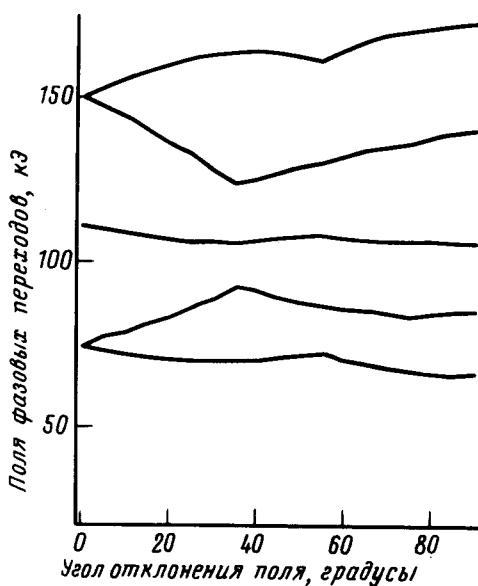


Рис.2. Теоретические фазовые $H_c - \theta$ диаграммы $\text{No}_{0.4}\text{Y}_{2.6}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при вращении магнитного поля в плоскости (110): θ – угол, отсчитываемый от направления [100]

Теоретический анализ индуцированных магнитным полем фазовых переходов, выполненный на основе модели изинговского упорядочения ионов гольмия

в $\text{Ho}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при учете трех редкоземельных (РЗ) магнитных подрешеток показал ^{1,2,7}, что при произвольной ориентации внешнего поля последовательно (с ростом поля) реализуются восемь фаз. Эти фазы задаются направлением результирующего магнитного момента РЗ подсистемы кристалла m , который может ориентироваться в указанном модели лишь вдоль осей типа [111]. Модуль m равен $\frac{1}{6}x\mu_z M^{-1} \sum_{1,3,5} I_r$, где M – магнитный момент железной под-

системы, I_r – единичный вектор в направлении r -той РЗ подрешетки, μ_z – проекция магнитного момента РЗ иона на локальную изинговскую ось типа [100]. Линии фазовых переходов определяются выражением ²

$$h_{i \leftrightarrow k} = \frac{2m(q_i + q_k)}{4 - m^2(q_i - q_k)^2} + 2 \left\{ \frac{1 - m^2}{4 - m^2(q_i - q_k)^2} + \frac{m^2(q_i + q_k)^2}{[4 - m^2(q_i - q_k)^2]^2} \right\}^{1/2}.$$

где $h = H/H_{\text{обм}}$ – приведенное внешнее поле; $q_i = m_i h/mh$ – проекция магнитного момента РЗ иона в i -той фазе на направление поля.

Максимально возможное число переходов при произвольном направлении поля, когда вырождение фаз снимается полностью, равно семи. На рис.2 приведены расчетные зависимости $H_c(\theta) = h_{i \leftrightarrow k} H_{\text{обм}}$ для ситуации, когда внешнее поле "вращается" в плоскости (110) и при учете, что $H_{\text{обм}} = 125$ кЭ согласно данным работы ¹.

Сравнивая теоретические расчеты ² с данными статических и динамических экспериментов (см. рис.1), можно утверждать, что между теорией и экспериментом имеются качественные различия. Их природа связана, по-видимому с тем, что в модели изинговского упорядочения ионов гольмия ^{1,2}, во-первых, учитывается только два нижайших уровня в спектре этого иона, обусловливая наличие всего двух допустимых проекций РЗ магнитного момента на локальную ось квантования (изинговскую ось). Во-вторых, исходная зонтическая магнитная РЗ структура рассматривается как совокупность трех РЗ подрешеток, тогда как в $\text{Ho}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ реализуется двойная зонтическая структура из шести РЗ магнитных моментов ^{8,9}. Исследования динамических характеристик кристалла (сочетающееся со статическими – см. рис.1), указывают на реализацию с ростом поля существенно иной последовательности магнитных фаз, чем предсказывает теория, что может быть связано как влиянием более высоких уровней на основной квазидублет иона Ho^{3+} , так и с последовательной перестройкой двух зонтических РЗ структур.

1. В.И.Силантьев, А.И.Попов, Р.З.Левитин, А.К.Звездин, ЖЭТФ **78**, 640 (1980)
2. А.К.Звездин, В.М.Матвеев, А.А.Мухин, А.И.Попов, Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах, М.: Наука, 1985.
3. А.С.Лагутин, ЖЭТФ **99**, 336 (1991).
4. А.С.Лагутин, А.И.Попов, Письма в ЖЭТФ **54**, 90 (1991).
5. А.С.Лагутин, ЖЭТФ **102**, 262 (1992).
6. А.К.Звездин, А.И.Попов, А.А.Мухин, ЖЭТФ **72**, 1097 (1976).
7. К.П.Белов, А.К.Звездин, Р.З.Левитин, А.М.Кодомцева. Ориентационные переходы в ферритах и антиферромагнетиках, М.: Наука, 1979.
8. A. Herpin, P. Meriel, W.C. Koeler, and C.R. Acad. Sci., **251**, 1359 (1960).
9. F. Tcheou, E.F. Bertaut, and H. Fuess, Sol. St. Comm., **8**, 1751 (1970).