

ЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА МАГНИТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ КВАЗИИЗИНГОВСКОГО МАГНЕТИКА

А.С.Лагутин, Г.Е.Федоров¹⁾

Институт молекулярной физики Российского научного центра "Курчатовский институт"
123182 Москва, Россия

Поступила в редакцию 2 февраля 2000 г.

Проведены исследования поглощения СВЧ излучения в монокристалле $Du_{0.3}Y_{2.7}Fe_5O_{12}$ в импульсных магнитных полях до 30 Тл на частотах от 37 до 85 ГГц при $T = 4,2$ К. Магнитное поле ориентировалось вдоль направления [100]. Обнаружено, что в полях, превышающих 4 Тл, имеется несколько мягких мод магнитного резонанса, большинство из которых обусловлено статическими фазовыми переходами, индуцированными сильным внешним магнитным полем. Не зависящие от поля линии поглощения вдали от точек фазовых переходов могут быть связаны с проявлением динамического магнитного эффекта Яна – Теллера.

PACS: 75.50.Gg, 76.30.Kg

Проведенные недавно экспериментальные исследования статических магнитных свойств (намагниченность и дифференциальная магнитная восприимчивость) смешанных ферритов-гранатов системы $Du_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ показали, что перестройка магнитной структуры таких кристаллов в сильных магнитных полях при низкой температуре сопровождается резкими скачками магнитного момента, причем их величина и количество зависят от ориентации внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей [1, 2]. Теоретический анализ индуцированных внешним магнитным полем фазовых переходов в $Du_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ показал [3], что удовлетворительное согласие эксперимента и теории достигается в предположении о квазиизингговском упорядочении ионов Du^{3+} . Последнее означает, что при низких температурах основное состояние редкоземельного (РЗ) иона можно рассматривать как изолированный дублет ($S_{eff} = 1/2$) с сильно анизотропным g -тензором [3, 4]. В рамках феноменологической модели наличие нескольких отличных от нуля компонент этого тензора разрешает уже не только 180-градусные перевороты РЗ магнитных моментов, как в чисто изингговской модели [5], но и вращение этих моментов к направлению внешнего поля.

Детальные исследования магнитного резонанса монокристаллов $Ho_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ в сильных магнитных полях при низких температурах [6] указали на существование в этих соединениях не только магнитного аналога статического эффекта Яна – Теллера, но и магнитного аналога динамического эффекта Яна – Теллера. Последний проявлялся в виде возникновения мягких мод магнитного резонанса вдали от точек магнитоструктурных фазовых переходов, то есть там, где основное состояние РЗ иона неизменно.

Поскольку система $Ho_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ до настоящего времени была единственной, в которой был обнаружен магнитный аналог динамического эффекта Яна – Теллера, поиск других кристаллов, обладающих аналогичными резонансными характеристиками, чрезвычайно важен и интересен для изучения свойств этого явления.

¹⁾ e-mail: fedorov@imp.kiae. ru

В качестве объекта исследований в данной работе выбраны смешанные диспрозий-иттриевые ферриты-гранаты, поскольку их кривые намагничивания похожи на кривые намагничивания $\text{Ho}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (в обоих случаях характерно наличие резких скачков магнитного момента, величина и количество которых зависят от ориентации внешнего поля), а основным состоянием при низких температурах также можно считать квазидублет с сильно анизотропным g -тензором [7, 8].

В данной работе изложены результаты исследования поглощения СВЧ излучения в монокристалле $\text{Dy}_{0.3}\text{Y}_{2.7}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в диапазоне частот от 37 до 85 ГГц и магнитных полях до 30 Тл при температуре 4.2 К. В экспериментах использовался один из образцов, статические магнитные характеристики которого были изучены ранее [1]. Внешнее магнитное поле было направлено вдоль оси [100] кристалла, а все измерения проводились с помощью радиоспектрометра отражательного типа, конструкция которого описана в работе [9].

Аналоговый сигнал с детектора поступал на предварительный усилитель ВЗ-57, после чего – на один из каналов цифрового регистратора однократных процессов DL1200, второй канал которого использовался для записи напряжения, пропорционального внешнему магнитному полю. Изучение магнитного резонанса проводилось на фиксированных частотах с разверткой по магнитному полю.

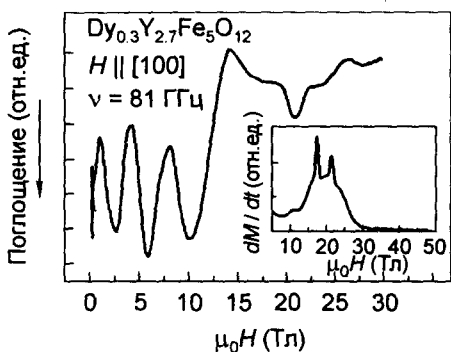


Рис.1. Запись сигнала поглощения монокристалла $\text{Dy}_{0.3}\text{Y}_{2.7}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при $T = 4.2$ К и $H \parallel [100]$. На вставке показана полевая зависимость dM/dt того же образца

Характерный вид спектра поглощения кристалла $\text{Dy}_{0.3}\text{Y}_{2.7}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ показан на рис.1. Видно, что во всем диапазоне использованных внешних полей имеется несколько ветвей магнитного резонанса. Вставка на рис.1 демонстрирует полевую зависимость дифференциальной магнитной восприимчивости (dM/dt) исследованного образца. Сравнение кривой поглощения на рис.1 с кривой dM/dt сразу же дает возможность связать часть из этих резонансов со статическими магнитными фазовыми переходами в области $H_1 < H < H_2$, где имеет место перемагничивание РЗ ионов [3]. Здесь $H_{2,1} = H_{ez}(1 \pm M_R/M_{Fe})$, где $H_{ez} = 21$ Тл [1] есть обменное поле между РЗ и железной подсистемами, а M_R и M_{Fe} суть их намагниченности. Как показано в [5], такие переходы в РЗ ферритах-гранатах можно описывать как результат проявления магнитного аналога статического эффекта Яна – Теллера, обусловленного вырождением основного состояния РЗ подсистемы, индуцированным внешним полем.

Эволюция линий поглощения в области $H_1 < H < H_2$ при изменении частоты СВЧ излучения показана на рис.2. Необычное свойство магнитного резонанса – поглощение в фиксированном поле на всех частотах (мягкая мода) – типично для всех

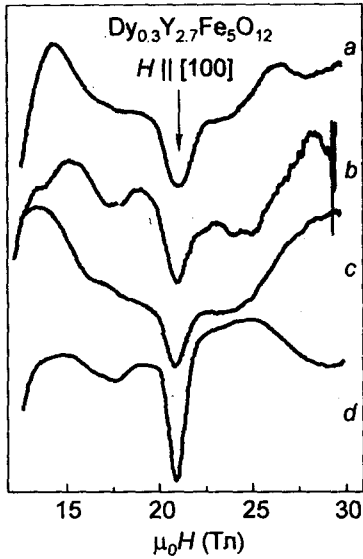


Рис.2. Эволюция линий магнитного резонанса монокристалла $Dy_{0.3}Y_{2.7}Fe_5O_{12}$ при $T = 4.2$ К и $H \parallel [100]$ при изменении частоты зондирования: $a - 81$ ГГц; $b - 66.9$ ГГц; $c - 51.62$ ГГц; $d - 41.16$ ГГц

линий СВЧ поглощения в данном диапазоне магнитных полей, но особенно четко и ясно оно видно на самой интенсивной линии (она указана стрелкой на рис.2).

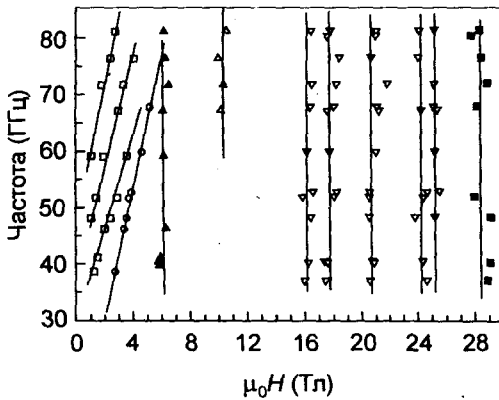


Рис.3. Картина магнитного резонанса $Dy_{0.3}Y_{2.7}Fe_5O_{12}$ при $T = 4.2$ К и $H \parallel [100]$: \square - размерные резонансы; ∇ - мягкие моды в области перемagnичивания редкоземельной подсистемы; Δ - резонанс в точке магнитного перехода $H = 10$ Тл; $\blacktriangle, \blacksquare$ - мягкие моды магнитного резонанса, не связанные с перемagnичиванием редкоземельной подсистемы; \circ - линия ферромагнитного резонанса

Записи спектров СВЧ поглощения для каждой из частот зондирования обрабатывались таким образом, что за поля магнитного резонанса принимались магнитные поля, соответствовавшие максимумам поглощения. Полученные зависимости частот магнитного резонанса от внешнего магнитного поля приведены на рис.3. Видно, что во всем диапазоне полей имеется несколько хорошо отделенных друг от друга линий поглощения, представленных на рис.3 различными значками. Так, в слабых полях (до 5 Тл) наблюдается 4 ветви резонанса с линейной зависимостью частоты от поля (светлые квадраты и кружки на рис.3), при этом лишь для одной из них (светлые кружки) экстраполяция к $H = 0$ дает $\nu = 0$. Именно ее логично интерпретировать как ферромагнитный резонанс, поскольку для нее значение $\gamma = 2\pi\nu/H$ близко к величине, наблюдавшейся как в чистом железо-иттриевом гранате, так и в смешанных ферритах-гранатах при той же температуре [10, 11]. Другие ветви резонанса с

линейной зависимостью частоты от поля (светлые квадраты на рис.3) представляют собой размерные резонансы.

Как и предполагалось нами, мягкие моды магнитного резонанса в $Du_{0.3}Y_{2.7}Fe_5O_{12}$ существуют не только в области $H_1 < H < H_2$ ($14 < H < 25$ Тл), но имеются и вдали от этой области, аналогично тому, как это наблюдалось ранее в $Ho_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ [6]. При этом лишь одной из них (при $H = 10$ Тл) можно сопоставить аномалию магнитной восприимчивости, которая не связана с изменением ориентации РЗ моментов [3]. Другие же две характерные линии поглощения (темные квадраты и треугольники на рис.3) обнаруживаются в полях, где никаких изменений магнитной восприимчивости не имеется (см. вставку на рис.1).

По нашему мнению, именно эти резонансы могут быть связаны с проявлением магнитного аналога динамического эффекта Яна – Теллера, обнаруженного ранее только в гольмий-иттриевых ферритах-гранатах [6]. Однако окончательное заключение о существовании этого явления в диспрозий-иттриевых ферритах-гранатах можно будет сделать лишь при исследовании динамических магнитных фазовых диаграмм $Du_{0.3}Y_{2.7}Fe_5O_{12}$ на плоскости “поле – температура” и сравнении полученных результатов с данными статических магнитных исследований, что и планируется осуществить в ближайшем будущем.

-
1. A.S.Lagutin, G.E.Fedorov, A.V.Kopylov et al., JETP Lett. **67**, 584 (1998).
 2. A.S.Lagutin, G.E.Fedorov, A.V.Kopylov et al., Physica **B246-247**, 520 (1998).
 3. A.S.Lagutin, G.E.Fedorov, J.Vanacken, and F.Herlach, JMMM **195**, 97 (1999).
 4. Г.А.Бабушкин, В.А.Бородин, В.Д.Дорошев и др., ЖЭТФ **87**, 989 (1984).
 5. А.К.Звездин, В.М.Матвеев, А.А.Мухин, А.И.Попов, *Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах*, М.: Наука, 1985.
 6. A.S.Lagutin, Sov. Phys. JETP **75**, 138 (1992).
 7. Р.З.Левитин, В.И.Силантьев, Изв. АН СССР, сер. физ. **44**, 1433 (1980).
 8. В.И.Силантьев, А.И.Попов, Р.З.Левитин, А.К.Звездин, ЖЭТФ **78**, 640 (1980).
 9. A.S.Lagutin, Pros. Intern. Workshop on Res. in High Pulsed Magn. Fields, Toulouse (France) 1993, J3-1.
 10. А.Г.Гуревич, *Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках*, М.: Наука, 1973.
 11. С.Крупичка, *Физика ферритов*, М.: Мир, 1976.