

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕОБЫЧНОЙ СПИНОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ, ИНДУЦИРОВАННОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В DyFeO_3

А.М.Балбашов, П.Ю.Марчуков, И.В.Николаев, Е.Г.Рудашевский

При исследовании АФМР в DyFeO_3 при $T > T_M$ обнаружено, что в поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$ переориентация вектора антиферромагнетизма осуществляется последовательно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а переход из одной плоскости в другую является фазовым переходом первого рода.

При наложении магнитного поля вдоль оси \mathbf{a} ромбического кристалла в ортоферрите диспрозия DyFeO_3 в зависимости от температуры происходят различные спиновые переориентации (СП) между магнитными конфигурациями.

При $T > T_M$ (T_M — температура перехода Морина) наблюдается СП из состояния $\Gamma_4(M_Z, L_X)$, в котором вектор \mathbf{L} направлен вдоль оси \mathbf{a} , а \mathbf{M} — вдоль оси \mathbf{c} кристалла ($\mathbf{L} = \mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2$, $\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2$, $\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2$ — намагниченности подрешеток) в состоянии $\Gamma_2(M_X, L_Z)$; при этом СП происходит в плоскости \mathbf{ac} . При $T < T_M$ происходит СП $\Gamma_1(L_Y) \rightarrow \Gamma_2(M_X, L_Z)$, когда вектор \mathbf{L} переориентируется в плоскости \mathbf{bc} , перпендикулярной направлению магнитного поля.

Завершение СП является фазовым переходом второго рода и происходит в полях $H_{\Gamma_1}^{ac} (\Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_2)$ и $H_{\Gamma_1}^{bc} (\Gamma_{12} \rightarrow \Gamma_2)$. Обозначения и обзор литературы по СП см. в /1/.

В настоящей работе сообщается об обнаружении при $T > T_M$ некомпланарной СП, индуцированной магнитным полем $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$, при которой вектор \mathbf{L} , начав переориентироваться в плоскости \mathbf{ac} при некотором значении поля $H_{\Gamma_1}^{(1)} < H_{\Gamma_1}^{ac}$, из фазы Γ_{42} скачком переходит в фазу Γ_{12} , и СП завершается в плоскости \mathbf{bc} .

Были исследованы спектры АФМР в DyFeO_3 при СП в магнитном поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$ при $T = 58$ К. Методика эксперимента и точной установки ориентации образца в поле подробно описана в /2/.

В эксперименте осуществлялась запись линий поглощения образцом падающего электромагнитного излучения заданной частоты в зависимости от магнитного поля при постоянной температуре. На рис. 1 приведен пример записи линий АФМР, полученной на частоте 121,5 ГГц. При $H_{\Gamma_1}^{(1)} = 26 \pm 1$ кЭ происходит существенное изменение интенсивности прошедшего через образец сигнала. Подобного рода изменения интенсивности ("ступеньки") наблюдались и при других значениях частоты излучения в этом же поле $H_{\Gamma_1}^{(1)}$, величина которого оказалась чрезвычайно чувствительной к изменениям температуры. На рисунке также показана метка ЭПР в ДФПГ, по которой проводилась калибровка магнитного поля.

Результаты эксперимента приведены на рис. 2. Видно, что ветвь $\nu_2(H)$ наблюдается только при $H < H_{\Gamma_1}^{(1)}$ и, кроме того, экстраполяция зависимости $\nu_2(H)$ к нулевой частоте дает значение поля, которое заметно меньше поля завершения СП, определяемого по минимуму частоты моды ν_1 . Светлыми кружками показаны положения "ступеньки" на записях линий поглощения. Величины $\nu_1(0)$ и $\nu_2(0)$, полученные экстраполяцией зависимостей $\nu_1(H)$ и $\nu_2(H)$ к нулевому значению магнитного поля, совпали с частотами соответственно квазиферромагнитной и квазиантиферромагнитной мод АФМР, измеренными в отсутствие поля /3/.

Для интерпретации полученных результатов использован термодинамический потенциал, записанный в соответствии с симметрией орторомбических кристаллов и с учетом взаимодействия R-Fe /1, 2, 4/. Расчет устойчивости различных магнитных конфигураций в поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$ и $T > T_M$ показал /5/, что состояние Γ_{42} при определенных условиях может потерять устойчивость еще до завершения СП $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_2$. При этом вектор \mathbf{L} переходит из плоскости \mathbf{ac} в плоскость \mathbf{bc} в состояние $\Gamma_{12}(M_X, L_Y, L_Z)$, и при дальнейшем увеличении поля СП завершается как $\Gamma_{12} \rightarrow \Gamma_2$. Условия потери устойчивости фаз Γ_{42} и Γ_{12} не совпадают, поэтому СП $\Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12}$ является ФП первого рода, а поле перехода $H_{\Gamma_1}^{(1)}$ определяется равенством термоди-

Рис. 1. Пример записи линий поглощения на частоте 121,5 ГГц. Пояснения в тексте

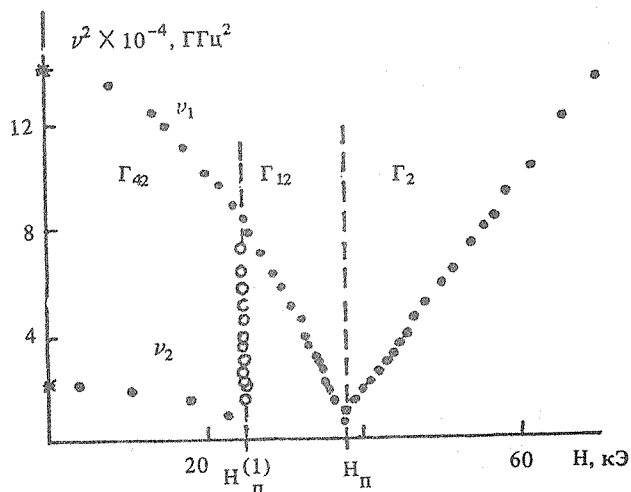
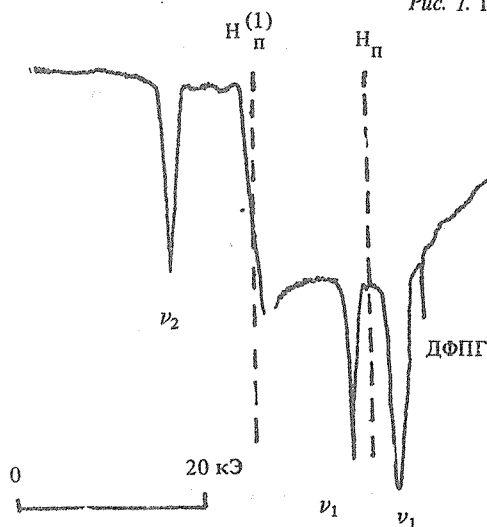


Рис. 2. Зависимость $\nu_{1,2}(H)$ при СП $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12} \rightarrow \Gamma_2$. Звездочками обозначены данные работы /3/.

намических потенциалов обеих фаз. Расчеты показали /5/, что при $T > T_M$ условие потери устойчивости относительно выхода вектора L из плоскости переориентации при СП $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_2$, индуцированной полем $H \parallel a$, совпадает с выражением для частоты квазиантиферромагнитной моды АФМР $\nu_2(H)$ при $H = H_{tr}^{ac}$ (т.е. в точке завершения СП $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_2$). Таким образом, условие осуществления исследуемого перехода, сформулированное в виде требования к спектру АФМР, состоит в обращении в нуль $\nu_2(H)$ при $H < H_{tr}^{ac} < H_{tr}^{bc}$. Именно эта ситуация и реализуется в нашем эксперименте. Обращение в нуль частоты ν_2 свидетельствует о потере устойчивости исходной магнитной конфигурации относительно выхода вектора L из плоскости ac , а наличие "ступеньки" указывает на изменение магнитной структуры при переходе $\Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12}$. При записи "ступеньки" отсутствовали какие-либо гистерезисные явления. По-видимому, СП $\Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12}$ идет через промежуточное состояние /6/ — термодинамически устойчивую структуру из доменов двух фаз. Область существования промежуточного состояния, определенная по разнице между началом и концом "ступеньки", не превышала 3 кЭ. Таким образом, обнаруженная СП $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12} \rightarrow \Gamma_2$ представляет собой совокупность двух ФП первого ($\Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_{12}$) и второго ($\Gamma_{12} \rightarrow \Gamma_2$) родов.

Авторы признательны академику А.М.Прохорову за постоянное внимание к работе и обсуждение результатов. Искренне благодарим В.Г.Веселаго и Л.П.Максимова за содействие при проведении экспериментов на установке "Соленоид", М.А.Черникова, П.А.Иванова и Н.А.Горичева за помощь при разработке и изготовлении криостата, на котором проводились измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов К. П. и др. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М., Наука, 1979.
2. Балбашов А. М. и др. ЖЭТФ, 93, 302 (1987).
3. Балбашов А. М. и др. ЖЭТФ, 88, 974 (1985).
4. Звездин А. К. и др. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. М., Наука, 1985, гл. 14.
5. Марчук П. Ю., Рудашевский Е. Г. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 7, 53 (1987).
6. Барьяхтар В. Г. и др. ЖЭТФ, 62, 2232 (1972).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 20 января 1988 г.