

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P14-94-430

Д.Георгиев, К.Крежов, В.В.Нитц

«СЛАБЫЙ» АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ
В YFeO_3 и HoFeO_3

1994

«Слабый» антиферромагнетизм в YFeO_3 и HoFeO_3

На спектрометре СНИМ-2 по времени пролета с использованием импульсного реактора ИБР-2 измерены компоненты слабого антиферромагнетизма ионов Fe^{3+} в YFeO_3 и HoFeO_3 . Отношения этих компонент к компонентам основного антиферромагнетизма равны 0,014 для YFeO_3 и 0,011 для HoFeO_3 (точность около 10%).

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им.И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Georgiev D., Krezhov K., Nietz V.V.

P14-94-430

Weak Antiferromagnetism in YFeO_3 and HoFeO_3

Weak antiferromagnetism of Fe^{3+} -ions in YFeO_3 and HoFeO_3 by neutron diffraction at the SNIM-2 spectrometer using a pulse reactor IBR-2 is measured.

The ratios between components of this antiferromagnetism and the main antiferromagnetic order are equal to 0.014 for YFeO_3 and 0.011 for HoFeO_3 (with precisions about 10%).

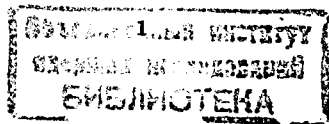
The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Кристаллическая симметрия YFeO_3 и HoFeO_3 описывается ромбической пространственной группой $D_{2h}^{16} - P_{\text{bmm}}$. В YFeO_3 при $T < 640$ К, а в HoFeO_3 в диапазоне от 63 до 640 К реализуется состояние Γ_4 , в котором основной вектор антиферромагнетизма $\mathbf{G} = \mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2 + \mathbf{M}_3 - \mathbf{M}_4$ (\mathbf{M}_i - намагниченности подрешеток железа) направлен по оси a и есть "примесь" вектора слабого ферромагнетизма $\mathbf{F} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \mathbf{M}_3 + \mathbf{M}_4$ и вектора слабого антиферромагнетизма $\mathbf{A} = \mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_3 + \mathbf{M}_4$, направленных, соответственно, по осям c и b . Наличие компонент F_c и A_b обусловлено симметрией кристалла, а величины их определяются, главным образом, антисимметричным обменным взаимодействием между ионами железа¹¹, величина которого на два порядка меньше изотропного обменного взаимодействия. Поэтому, в отличие от компоненты F_c , величина которой легко определяется, измерение антиферромагнитной компоненты A_b и, следовательно, определение соответствующей константы антисимметричного обмена не доступно для обычных магнитных методов.

Достаточно подходящим средством для определения A_b является дифракция нейтронов. И такие измерения были уже ранее выполнены¹². Но и в этой работе пришлось преодолевать трудности, обусловленные относительно малой интенсивностью дифракционных пиков, связанных с компонентой A_b . В измерениях на монокристалле YFeO_3 с поперечными размерами около 4 мм для выделения слабых дифракционных отражений на фоне сильных ядерных пиков и магнитных отражений, связанных с другими компонентами векторов намагниченности, использовалась дифракция поляризованных нейтронов с переворотом спинов. Представляются убедительными тщательные дополнительные измерения, позволившие исключить влияние многократного рассеяния на монокристалле. В результате было получено значение отношения A_b/G_a , равное 1.93×10^{-2} , что практически совпадает со значением 1.95×10^{-2} , полученным для ортоферрита иттрия теоретическими расчетами²⁻⁵¹. Основным моментом, вызывающим сомнение в корректности полученного¹² результата, является использованная там процедура нормировки интенсивностей слабых A_b -пиков на сильные ядерные и магнитные отражения, искаженные экстинкцией, учет которой, как известно, редко бывает достаточно точным при использовании кристаллов с такими размерами. Поэтому представлялось полезным выполнить измерения, не связанные с такой неудобной нормировкой.

Результаты измерений компоненты A_b , представленные в данной работе, получены с монокристаллами YFeO_3 (пластина толщиной 3 мм, весом 0.3 г) и HoFeO_3 (с размерами $5 \times 6 \times 8$ мм³) на спектрометре СНИМ-2⁶¹ по времени пролета. Использовалась при этом простейшая геометрия: активная зона ИБР-2 с замедлителем нейтронов - искривленный зеркальный нейтронотвод - образец на расстоянии 30 м от замедлителя - детектор нейтронов на расстоянии 2.17 м от образца.

Для исключения необходимости нормировки слабых дифракционных пиков относительно других пиков, сильно зависящих от экстинкции, измерялись



интенсивность и форма спектра первичного пучка. Для этого использовался ванадий, помещаемый на место образца, и тот же детектор, что и при измерении исследуемых образцов. Телесный угол детектора (цилиндрической формы с диаметром 45 мм) относительно образца обеспечивал регистрацию всего рассеянного на кристалле пучка нейтронов. При обработке дифракционных пиков их площадь нормировалась на спектр ванадия с учетом его объема.

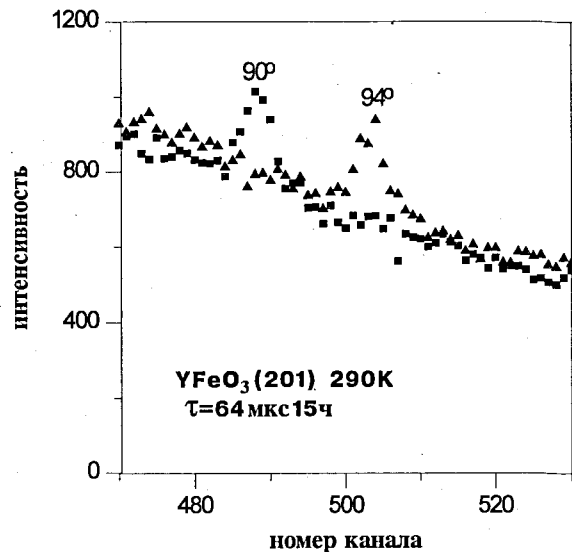


Рис.1 Нейтронограммы для $YFeO_3$ при двух указанных значениях углов рассеяния (τ - ширина канала временного анализатора).

Измерялся дифракционный пик (201), связанный только со слабоантиферромагнитной компонентой A_b . На рис.1 представлены две нейтронограммы для $YFeO_3$, полученные, соответственно, при $2\theta = 90^\circ$ и 94° . А на рис.2 приведена соответствующая диаграмма рассеяния (при $2\theta = 90^\circ$) вместе с сечением обратной кристаллической решетки.

Основное, экваториальное сечение сферы Эвальда "размазано" в предположении угловой расходимости первичного пучка в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 0.5^\circ$. Действительная ширина распределения (на половине высоты) на выходе зеркального нейтронотода для нейтронов с длиной волны $\lambda = 3.5 \text{ \AA}$, соответствующей плоскости (201), равна $10'$, причем особенность пропускания нейтронов через нейтронотод такова, что угловые распределения не имеют затянутых "хвостов". Показано также сечение сферы Эвальда следующим, ближайшим слоем обратной кристаллической решетки. Узел (104), находящийся вблизи от сферы Эвальда, соответствует только компонентам упорядочения C и a, отсутствующим в состоянии Γ_4 . А узел (203), подобно узлу (201), связан только с малой компонентой A, и поэтому не может оказывать заметного влияния на отражение (201). Из аналогичной диаграммы для $2\theta = 94^\circ$ следует, что и в этом случае на сферу Эвальда не попадают какие-либо узлы обратной решетки, которые могли бы исказить интенсивность (201).

Отсюда следует, что влияние на результаты измерений дифракционного рассеяния, связанного с другими кристаллографическими плоскостями, отсутствует.

Результатом обработки нейтронограмм для (201) ортоферрита иттрия являются следующие значения компонент эффективных спинов (отнесено к одному иону железа), направленных по оси b : $S_b(2\theta = 90^\circ) = 0.0337$, $S_b(2\theta = 94^\circ) = 0.0360$.

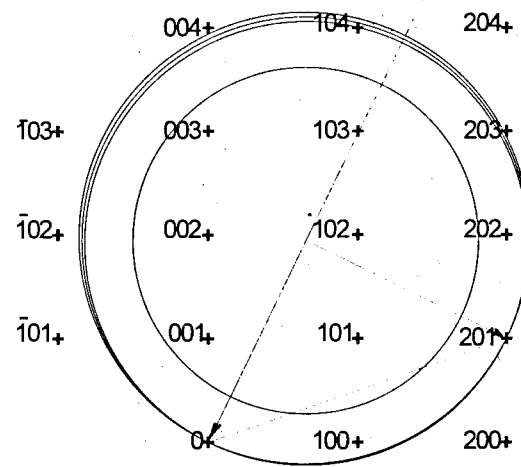


Рис.2 Диаграмма рассеяния при $2\theta = 90^\circ$ и сечения сферы Эвальда обратной кристаллической решетки.

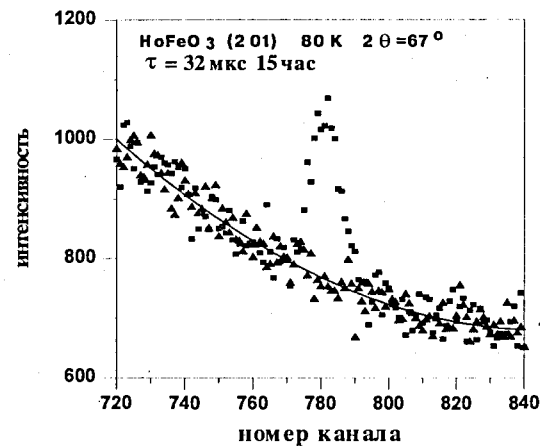


Рис.3 Нейтронограмма для $HoFeO_3$. Треугольниками показан спектр, полученный при повороте кристалла на 1.5° от дифракционного положения.

На рис.3 приведена нейтронограмма для $HoFeO_3$, полученная при $2\theta = 67^\circ$, $T = 80 \text{ K}$. С помощью диаграммы рассеяния, подобной той, что представлена на рис.2, можно убедиться в том, что и в этом случае исключено влияние дифракции на других

плоскостях. В результате обработки этой нейтронограммы получается значение компоненты S_b в HoFeO_3 , равное 0.0268.

Полагая эффективный спин иона железа равным $5/2$, получаем средние значения отношений $A_b/G_a = S_b/S_a$ равными: 0.014 для YFeO_3 и 0.0107 для HoFeO_3 (точность около 10%).

Литература

1. G.Gorodetsky, D.Treves, Phys. Rev., v.135A, 97, 1964.
2. В.П.Плахтий, Ю.П.Черненко, Ж.Швейцер, М.Н.Бедризова, ЖЭТФ, т.80, в.6, 1981.
3. А.С.Москвин, Е.В.Синицын, Физика твердого тела, том 14, N 9, 2535, 1972.
4. T.Yamaguchi, J. Phys. Chem. Solids, v.35, 479, 1974.
5. А.С. Москвин, Е.В. Синицын, Физика твердого тела, том 17, N 8, 2495, 1975.
6. Б.Н.Ананьев и др., ОИЯИ, P13-89-517, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1994 года.