

НАБЛЮДЕНИЕ СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННОГО ПЕРЕХОДА В FeVO_3 ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

В.П.Глазков, В.В.Квардаков¹⁾, В.А.Соменков

Российский научный центр "Курчатовский институт"

123182 Москва, Россия

Поступила в редакцию 27 января 2000 г.

Методом дифракции нейтронов обнаружено, что в борате железа при давлении $P \sim 17$ кбар и комнатной температуре происходит спин-переориентационный переход из состояния с анизотропией "легкая плоскость" в состояние с анизотропией "легкая ось" – барический аналог температурного перехода Морина в гематите.

PACS: 61.12.-q

Борат железа – FeVO_3 при температуре, меньшей температуры Нееля $T_N \cong 348$ К, является слабым ферромагнетиком с анизотропией типа "легкая плоскость" [1]. Магнитные моменты подрешеток лежат в кристаллографической плоскости (111) и почти антипараллельны. Причиной неколлинеарности этих моментов, приводящей к существованию слабого ферромагнитного момента, являются слабые релятивистские взаимодействия (спин-решеточное и магнитное дипольное) и особенности магнитной симметрии кристалла [2].

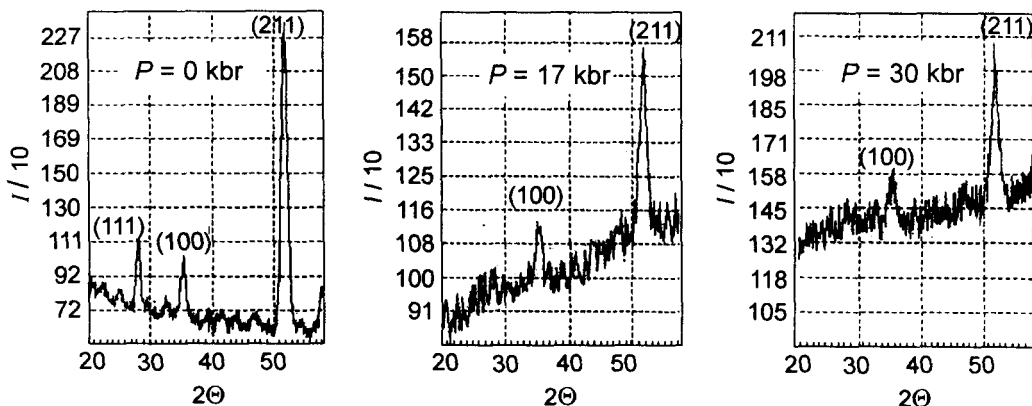
Изоморфный борату железа гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) при комнатной температуре также является слабым ферромагнетиком с анизотропией типа легкая плоскость, но при охлаждении ниже температуры $T_M \cong 250$ К он испытывает спин-переориентационный переход (переход Морина [3]), в результате которого магнитные моменты подрешеток ориентируются параллельно кристаллографической оси [111], так что кристалл становится антиферромагнетиком с анизотропией типа "легкая ось" [4]. Согласно феноменологической теории [2], причина перехода Морина заключается в изменении знака константы одноосной магнитной анизотропии.

Установлено, что гидростатическое давление приводит к увеличению температуры перехода Морина [5, 6]. Предсказывалось, что переход может быть реализован даже при комнатной температуре под действием давления [7]: с увеличением давления до некоторого критического значения угол θ между магнитными моментами и осью [111] должен уменьшаться, а при достижении критического давления – скачком обращаться в нуль. Однако в эксперименте [8] хотя и наблюдалось уменьшение угла θ с давлением, в то же время вплоть до давления 100 кбар завершения перехода в фазу легкая ось зафиксировано не было.

Ввиду сходства магнитных структур бората железа и гематита мы предположили, что внешнее давление может индуцировать спин-переориентационный переход типа перехода Морина и в FeVO_3 , где в отсутствие давления этот переход не наблюдается. В связи с этим цель настоящей работы заключалась в изучении влияния давления на магнитную структуру бората железа.

¹⁾ e-mail: kvardako@issph.kiae.ru

Для определения магнитной структуры измеряли дифракцию нейтронов ($\lambda = 2.343 \text{ \AA}$) на дифрактометре ДИСК [9] на реакторе ИР-8 в РИЦ "Курчатовский институт". Эксперименты проводили на порошке FeVO_3 при давлениях до 50 кбар. Для получения давления использовали сапфировые наковальни [10]. Давление измеряли по сдвигу флуоресцентной линии рубина. Объем образца в наковальнях составлял $\sim 1 \text{ мм}^3$. Характерное время измерения дифракционной кривой составляло сутки при мощности реактора около 5 МВт.



Нейтронные дифрактограммы бората железа при разных давлениях

На дифракционной кривой наблюдались пики, связанные с рассеянием на магнитной и ядерной подрешетках, а также на обеих решетках одновременно (смешанные рефлексы). С ростом давления возникновение новых дифракционных пиков зафиксировано не было, в то же время интенсивность магнитных пиков существенно менялась. Так, интенсивность магнитного рефлекса (100) увеличивалась с ростом давления примерно в ~ 1.7 раза, в то время как интенсивность магнитного рефлекса (111) уменьшалась практически до нуля при давлении ~ 17 кбар (см. рисунок).

Как известно, интенсивность магнитного рефлекса пропорциональна квадрату синуса угла между направлениями магнитного момента атома и вектора рассеяния [11]. Если обозначить через θ угол между осью [111] и магнитными моментами подрешеток, Δ – угол между вектором рассеяния и осью [111], то для интенсивности магнитных рефлексов на порошковом образце можно получить выражение

$$I \sim (1 - (\sin \Delta \cdot \sin \theta)^2 / 2 - (\cos \Delta \cdot \cos \theta)^2). \quad (1)$$

Учитывая, что для рефлексов (111) и (100) угол Δ составляет 0° и 72.4° , соответственно, можно оценить, что при переориентации магнитных моментов из легкой плоскости ($\theta = 90^\circ$) в легкую ось ($\theta = 0$) интенсивность рефлекса (111) должна обращаться в нуль (магнитные моменты становятся параллельными вектору рассеяния), а рефлекса (100) – возрастет в $2 \sin^2 \Delta / (2 - \sin^2 \Delta) \approx 1.66$ раз, что близко к измеренной величине (см. таблицу). Изменения интенсивности других магнитных рефлексов также соответствовали данной модели перехода.

Таким образом, экспериментальные факты указывают на то, что приложенное давление индуцирует в борате железа при комнатной температуре спин-переориентационный переход "легкая плоскость – легкая ось", аналогичный переходу Морина в гематите. В рамках феноменологического подхода это означает, что

константа магнитной анизотропии может менять знак не только под влиянием температуры, но и при изменении давления. Можно ожидать, что аналогичные спин-переориентационные переходы могут возникать под давлением и в других слабых ферромагнетиках ($MnCO_3$, $CoCO_3$, $CsMnF_3$,...), имеющих сходные с боратом железа и гематитом атомную и магнитную структуры.

Изменение относительной интенсивности магнитных рефлексов (111) и (100) под действием давления ($I_{(211)}$ – интенсивность ядерного рефлекса)

P , кбар	$I_{(111)}/I_{(211)}$	$I_{(100)}/I_{(211)}$
0	0.22	0.19
17	≈ 0	0.29
30	≈ 0	0.32

Авторы признательны С.Ш.Шильштейну и К.М.Подурцу за полезные обсуждения и Н.Н.Паршину за помощь в эксперименте. Работа поддержана программой “Нейтронные исследования конденсированных сред” и Российским фондом фундаментальных исследований.

-
1. R.Diehl, W.Jantz, B.I.Nolang et al., *Current Topics in Mater. Science*, Ed. E.Kaldis, Elsevier Science Pub. **11**, 241 (1984).
 2. И.Е.Дзялошинский, ЖЭТФ **32**, 1947 (1957).
 3. F.J.Morin, *Phys. Rev.* **78**, 819 (1950).
 4. C.G.Shull, W.A.Strauser, and E.O.Wollan, *Phys. Rev.* **83**, 333 (1951).
 5. N.Kawai and F.Ono, *Phys. Lett.* **21**, 279 (1966).
 6. H.Umabayashi, B.C.Frazer, G.Shirane et al., *Phys. Lett.* **22**, 407 (1966).
 7. А.С.Пахомов ФММ, **25**, 769 (1968).
 8. I.N.Goncharenko, J.-M.Mignot, G.Andre et al., *High Pressure Research* **14**, 41 (1995).
 9. V.P.Glazkov, I.V.Naumov, V.A.Somenkov et al., *Nucl. Instr. Methods* **A264**, 367 (1988).
 10. В.П.Глазков, И.Н.Гончаренко, *Физика и техника высоких давлений*, **1**, 56 (1991).
 11. Д.Бэкон, *Дифракция нейтронов*, М.: ИИЛ, 1957.