

ЛАУЭ-ДИФРАКЦИЯ МЕССБАУЭРОВСКОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛЕ Fe_3VO_6 В ОКРЕСТНОСТИ СПИНПЕРЕОРИЕНТАЦИОННОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

И.Г.Толтекин, П.П.Коваленко, В.Г.Лабушкин,
Е.Н.Овчинникова, Э.Р.Саркисов, Е.В.Смирнов

Исследованы энергетические спектры лауэ-дифракции мессбауэровского γ -излучения в кристалле Fe_3VO_6 ниже и выше точки спиновой переориентации T_{SR} . В спектре отражения (001) обнаружены резонансные пики, обусловленные комбинированным сверхтонким взаимодействием. Обсуждается влияние спиновой переориентации и интерференции резонансных линий на вид спектров дифрагировавшего излучения.

Соединение Fe_3VO_6 является антиферромагнетиком со слабым ферромагнетизмом и характеризуется сложной структурой сверхтонких магнитных и электрических полей¹⁻⁴. Точка Нееля $T_N = 508$ К, при температуре $T_{SR} = 415$ К в кристалле происходит спинпереориентационный фазовый переход. При $T < T_{SR}$ антиферромагнитная ось лежит вдоль оси [001], а слабый ферромагнитный момент – вдоль [100], при $T_{SR} < T < T_N$ антиферромагнитная ось ориентирована вдоль [100], а слабый ферромагнитный момент – вдоль [001].

Первые исследования Fe_3VO_6 с помощью дифракции мессбауэровского γ -излучения⁵⁻⁷ позволили однозначно установить детали магнитной структуры кристалла и продемонстрировали эффективность этого метода при изучении кристаллов, обладающих сложной структурой сверхтонких (магнитных и электрических) полей. Кроме того, в этих работах была обнаружена и подробно исследована интерференция рассеяния мессбауэровского излучения на ядрах железа, занимающих кристаллографически неэквивалентные $4c$ - и $8d$ -позиции, и выявлено ее влияние на вид энергетических спектров брэгговского отражения.

В настоящей работе исследуется лауэ-дифракция мессбауэровского излучения на монокристалле $^{57}\text{Fe}_3\text{VO}_6$. Для выяснения влияния спиновой переориентации на интенсивность дифрагировавшего излучения измерения были проведены как ниже, так и выше T_{SR} . Экспериментально изучены спектры отражения (001) мессбауэровского γ -излучения изотопа ^{57}Fe с энергией 14,4 кэВ при температурах $T_1 = 410$ К и $T_2 = 420$ К.

Схема эксперимента представлена на вставке к рисунку. Пучок резонансного γ -излучения от источника $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$ активностью ~ 300 мКи падал на кристалл $^{57}\text{Fe}_3\text{VO}_6$ толщиной 15 мкм, помещенный в температурную камеру K и установленный в положение симметричного лауэ-отражения (001). Расходимость пучка составляла $0,5^\circ$, дифрагировавшее излучение регистрировалось полупроводниковым блоком детектирования D . Точность поддержания температуры в камере составляла 0,01 К, градиент температуры в образце не превышал 0,1 К. Результаты экспериментальных исследований и численных расчетов представлены на рисунке.

Наиболее важной особенностью экспериментального спектра при $T = T_1 < T_{SR}$ (рис. а) является наличие дифракционного рассеяния γ -квантов через переходы с $\Delta M = 0$ (вторая и пятая линии в спектре), где ΔM – разность магнитных квантовых чисел основного и возбужденного состояний ядра¹⁾. Существенно, что при $T = T_2 > T_{SR}$ рассеяние через эти переходы не проявляется (рис. б). Покажем, что дифракционное рассеяние через переходы с $\Delta M = 0$ не может быть объяснено наличием только магнитного или только квадрупольного взаимодействия, а обусловлено комбинированным сверхтонким взаимодействием⁸ в кристалле Fe_3VO_6 .

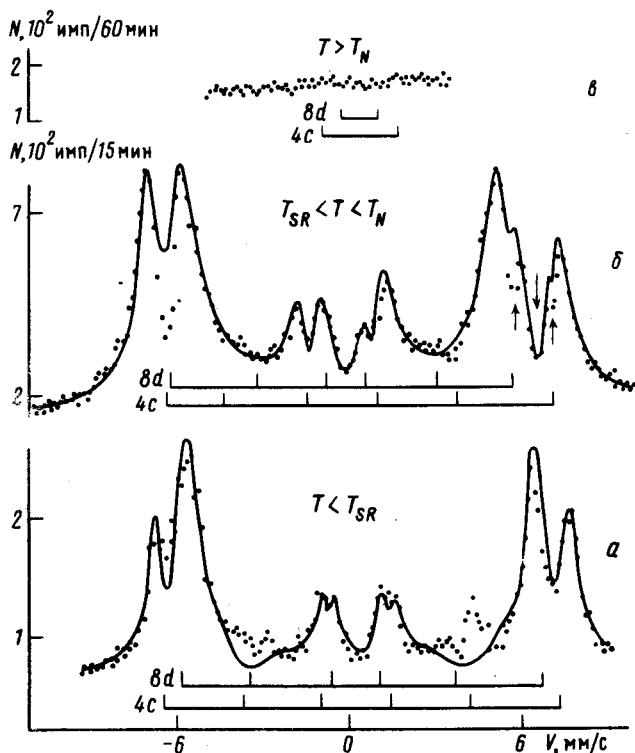
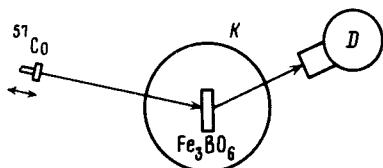
Отметим, что к настоящему времени определена только магнитная структура этого соединения^{2,6}. В отсутствие надежных данных о структуре градиентов электрических полей (ГЭП)

¹⁾ Здесь мы пользуемся классификацией переходов, соответствующей магнитному сверхтонкому взаимодействию.

в Fe_3BO_6 (результаты ее исследования с помощью мессбауэровских экспериментов на пропускание ³ не согласуются с результатами симметричного анализа) численные расчеты спектров были проведены с учетом только магнитного сверхтонкого взаимодействия. Влияние ГЭП в расчетах учитывалось лишь на сдвиг резонансных линий, который определялся из спектров на пропускание. В этом приближении отражение (001) является чисто ядерным магнитным рефлексом, для которого рассеяние через переходы с $\Delta M = 0$ должно отсутствовать ⁹. Измеренный спектр также отвечает чисто ядерному отражению, причем сравнение теории и эксперимента выявляет хорошее согласие спектров в области переходов с $\Delta M = \pm 1$ и обнаруживает их различие в области переходов с $\Delta M = 0$. Следовательно, рассеяние через переходы с $\Delta M = 0$ не может быть объяснено наличием только магнитного упорядочения.

Результаты измерений при температуре выше точки Нееля, т.е. в условиях, когда магнитный порядок в кристалле исчезает, а упорядочение ГЭП остается, показали, что дифракционное рассеяние в рефлексе (001) отсутствует (рис. в), т.е. рассеяние через указанные переходы не может быть объяснено и только квадрупольным взаимодействием.

Таким образом, можно сделать заключение, что резонансное рассеяние мессбауэровских γ -квантов через переходы с $\Delta M = 0$ в спектре отражения (001) при $T < T_{SR}$ обусловлено комбинированным сверхтонким взаимодействием в кристалле Fe_3BO_6 . Отметим, что дифракционное рассеяние через переходы с $\Delta M = 0$ наблюдалось нами также для чисто ядерных отражений (005) и (007).



Энергетические спектры лауэ-отражения (001) мессбауэровского γ -излучения от кристалла Fe_3BO_6 , измеренные при различных температурах: а - 410 К, б - 420 К, в - 510 К. Сплошной линией даны результаты численных расчетов, выполненных в модели идеального кристалла

Еще одна интересная особенность исследуемых спектров связана с проявлением в лауэ-дифракции интерференции рассеяния мессбауэровских γ -квантов на ядрах ⁵⁷Fe, находящихся в

неэквивалентных позициях (интерференция рассеяния на ядрах, занимающих эквивалентные позиции, в случае кристалла FeVO_3 обсуждалась в работе ¹⁰). Так, для отражения (001) имеет место конструктивная интерференция ⁷, приводящая к уширению резонансных линий и расщеплению отдельных линий в спектре, наиболее отчетливо проявляющемуся для крайних линий. При достаточно большом энергетическом расстоянии между резонансами, отвечающими одному и тому же переходу для ядер ^{57}Fe в 4с- и 8d-позициях, расщепление резонансных линий может иметь своеобразную "тонкую структуру". В частности, для шестой линии в спектре на рис. б, для которой расстояние между резонансами для ядер железа в 4с- и 8d-позициях равно ≈ 12 Г, где Γ – естественная ширина мессбауэровской линии, реализуются три отдельных минимума, показанных на рисунке стрелками. Два крайних минимума обусловлены резонансным поглощением γ -квантов в кристалле, а их положение совпадает с положением соответствующих резонансов для ядер железа в 4с- и 8d-позициях. Центральный минимум обусловлен интерференцией в рассеянии γ -излучения и оказывается при данной толщине кристалла наиболее глубоким.

В заключение отметим, что в данной работе впервые наблюдалось дифракционное рассеяние мессбауэровского γ -излучения, обусловленное комбинированным сверхтонким взаимодействием. Наличие этого рассеяния при $T < T_{SR}$ и его отсутствие при $T > T_{SR}$ свидетельствует о сильной зависимости интенсивности рассеяния от взаимной ориентации магнитных и электрических полей в кристалле. Отметим также, что применение дифракции мессбауэровского излучения в геометрии Лауэ для исследования фазовых переходов позволяет изучать фазовый переход в объеме образца и менее чувствительно к влиянию поверхностных эффектов по сравнению с аналогичными исследованиями в геометрии Брэгга ¹¹.

Литература

1. Wolf R., Pierce R.D., Eibschütz M., Nielsen J.W. Solid. State Comm., 1969, 7, 949.
2. Мальцев В.И., Найден Е.П., Жиляков С.М., Смолин Р.П., Борисюк Л.М. Кристаллография, 1976, 21, 113.
3. Баяков О.А., Бузник В.М., Иконников Б.П., Петров М.И. ФТТ, 1976, 18, 2319.
4. Камзин А.С., Боков В.А. ФТТ, 1977, 19, 2030.
5. Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Овсепян А.К., Саркисов Э.Р., Смирнов Е.В. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 471.
6. Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Овсепян А.К., Саркисов Э.Р., Смирнов Е.В., Прокопов А.Р., Селезнев В.Н. ФТТ, 1984, 26, 3068.
7. Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Овсепян А.К., Саркисов Э.Р., Смирнов Е.В., Толпекин И.Г. ЖЭТФ, 1985, 88, 1336.
8. Колпаков А.В., Овчинникова Е.Н., Кузьмин Р.Н. Вестник МГУ, сер. физ., астр., 1978, 2, 28.
9. Беляков В.А. УФН, 1975, 115, 553.
10. Смирнов Г.В., Мостовой В.В. ЖЭТФ, 1980, 78, 1196.
11. Смирнов Г.В., Зелепухин М.В., ван Бюрк У. Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 274.