

[9] Павлов П.В., Пашков В.И., Чигринская Т.Ю. Тез. докл. Всес. сов. Высокотемпературные физико-химические процессы на границе раздела твердое тело - газ, Звенигород, 30.10 - 2.11.1984 г., М., Наука, 1984, с. 68-70.

Поступило в Редакцию
28 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22 26 ноября 1988 г.

НАБЛЮДЕНИЕ ЯДЕРНЫХ КВАДРУПОЛЬНЫХ МАКСИМУМОВ
В ДИФРАКЦИИ МЕССБАУЭРОВСКОГО
 γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛЕ Fe_3BO_6

И.Г. Толпекин, В.Г. Лабушкин,
Е.Н. Овчинникова, Е.В. Смирнов

Уникальной особенностью дифракции мессбауэровского γ -излучения на кристаллах по сравнению с другими видами излучений является возможность существования ядерных квадрупольных максимумов, обусловленная зависимостью амплитуды резонансного рассеяния от ориентации градиентов электрических полей (ГЭП) на мессбауэровских ядрах [1]. К настоящему времени ядерные квадрупольные максимумы в мессбауэровской дифракции наблюдались на двух кристаллах: натриевом нитропруссиде [2] и теллуре [3], структура ГЭП которых была заранее известна. В данной работе сообщается об обнаружении и исследовании ядерных квадрупольных максимумов на кристалле бората железа Fe_3BO_6 , обладающем достаточно сложной структурой ГЭП, однозначная информация о которой в настоящее время отсутствует. Показано, что вид энергетического спектра дифрагировавшего γ -излучения содержит важную информацию о структуре ГЭП кристалла Fe_3BO_6 .

Чисто ядерное рассеяние мессбауэровского γ -излучения на кристалле Fe_3BO_6 при температуре ниже точки Нееля $T = 508K$ наблюдавшееся в работах [4, 5], было обусловлено наличием в кристалле магнитного упорядочения, а также комбинированным характером сверхтонкого взаимодействия. При $T > T_N$ кристалл находится в парамагнитном состоянии, и возможность чисто ядерного рассеяния мессбауэровского излучения определяется только квадрупольным сверхтонким взаимодействием, в частности характером упорядочения осей ГЭП на мессбауэровских ядрах.

Амплитуда когерентного рассеяния мессбауэровского γ -излучения элементарной ячейкой кристалла в общем случае имеет вид

$$\hat{F} = \sum_j f_j^{(R)} \hat{E} e^{iHr_j} + \sum_q \hat{f}^{(N)} e^{iHr_q}, \quad (1)$$

где $f_j^{(R)}$ - амплитуда релеевского рассеяния на электронах атомов, $f_q^{(N)}$ - амплитуда ядерного резонансного рассеяния, H - вектор обратной решетки, r_j задает положение j -го атома в элементарной ячейке. Значок \wedge отмечает тензорный характер амплитуды, \hat{E} - единичная матрица второго порядка. Суммирование в первом слагаемом в (1) ведется по всем атомам элементарной ячейки, а во втором - только по мессбауэровским атомам, которые в кристалле Fe_3BO_6 занимают кристаллографически неэквивалентные $4c$ - и $8d$ -позиции, различающиеся параметрами сверхтонких полей.

В случае неосесимметричного тензора ГЭП в отсутствие сверхтонкого магнитного расщепления (при температуре кристалла $T > T_N$) амплитуды ядерного резонансного рассеяния для ядер ^{57}Fe в $4c$ - и $8d$ -позициях пропорциональны следующему выражению:

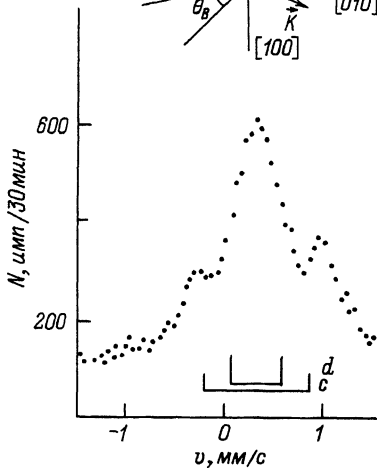
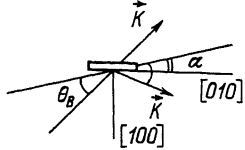
$$F_{G_1 G_2} \sim \sum_{m_e, m_g, M, q} A(m_e, m_g, M) D_{Mm'}^{(1)}(z_q \rightarrow z_{kp}) D_{m' G_1}^{(1)}(z_{kp} \rightarrow k_1) \times \times D_{Mm''}^{(1)}(z_q \rightarrow z_{kp}) D_{m'' G_2}^{(1)}(z_{kp} \rightarrow k_2) e^{iHr_q} \quad (2)$$

где $D_{Mm}^{(1)}$ - элементы матрицы конечных вращений, $z_q \rightarrow z_{kp}$ - набор углов Эйлера между главными осями тензора ГЭП на q -ом ядре в элементарной ячейке и кристаллографическими осями, $z_{kp} \rightarrow k_i$ - набор углов Эйлера между кристаллографическими осями и волновыми векторами K_1 и K_2 соответственно падающего на кристалл и рассеянного излучений, G_1 и G_2 - поляризационные индексы, все остальные обозначения и явный вид множителя $A(m_e, m_g, M)$ приведены в [6].

В силу того, что взаимная ориентация осей ГЭП на ядрах ^{57}Fe определяется преобразованиями симметрии точечной группы кристалла и оказывается различной для всех кристаллографически эквивалентных ядер в элементарной ячейке, функции $D_{Mm}^{(1)}(z_q \rightarrow z_{kp})$ для этих ядер также различны. Поэтому амплитуды $f_q^{(N)}$ для ядер, занимающих эквивалентные позиции, оказываются различными, и условие погасания релеевской и ядерной составляющих амплитуды (1) не совпадают, что может приводить к возникновению чисто ядерных квадрупольных максимумов в рассеянии мессбауэровского излучения на кристалле Fe_3BO_6 . В данной работе ядерные квадрупольные максимумы в рассеянии мессбауэровского излучения на кристалле Fe_3BO_6 экспериментально обнаружены для отражений типа (hko) с нечетным значением h .

Экспериментальные исследования квадрупольных максимумов проводились на кристалле Fe_3BO_6 , помещенном в температурную камеру [5] при температуре $T = 520$ К. Исследуемый кристалл ориентировался таким образом, чтобы плоскость рассеяния (плоскость $k_1 k_2$) была перпендикулярна базисной плоскости (100) (см. вставку к рисунку).

Предварительно в этой же геометрии были выполнены рентгеновские дифракционные измерения (излучение $MoK\alpha$), показавшие



Энергетический спектр ядерного квадрупольного отражения (11, 2, 0) мессбауэровского γ -излучения от кристалла Fe_3BO_6 . Плоскость (11, 2, 0) образует с плоскостью (100) угол $\alpha = 12.1^\circ$.

наличие отражения для рефлексов ($h k 0$) при четных значениях h и его отсутствие при нечетных h .

Для наблюдения рассеяния мессбауэровского излучения в ядерный квадрупольный максимум было выбрано отражение (11, 2, 0). Пучок γ -квантов от источника направлялся на исследуемый кристалл, установленный под углом Брэгга $\theta_B = 28.9^\circ$.

При энергии мессбауэровских квантов, лежащей в резонансной области, в угловой зависимости интенсивности рассеянного излучения наблюдались пики, отсутствующие в соответствующей зависимости для рентгеновского излучения. Интенсивности этих пиков были сравнимы с интенсивностью ядерных магнитных максимумов в кристалле Fe_3BO_6 при комнатной температуре [4]. Энергетический спектр отражения (11, 2, 0), измеренный в эксперименте, приведен на рисунке.

Характерной особенностью данного спектра является наличие интенсивного пика, расположенного вблизи центров квадрупольных дублетов для ядер железа в $4c$ - и $8d$ -позициях, на склоне которого в области резонансных значений энергий имеются небольшие провалы. Наличие центрального пика обусловлено как интерференцией компонент дублета для ядер железа в $4c$ - и $8d$ -позициях, так и интерференцией резонансных линий для этих ядер (c - и d -линий). Провалы на склонах пика реализуются в области между c - и d -резонансными линиями и являются следствием их интерференции и поглощения γ -квантов в кристалле. Отметим, что наблюдаемая на эксперименте форма спектра — наличие максимума отражения в центре дублетов и провалов вблизи резонансов — позволяет сделать заключение, что для отражения (11, 2, 0) структурные амплитуды для ядер железа в $4c$ - и $8d$ -позициях имеют одинаковые знаки.

Наряду с отражением (11, 2, 0) нами наблюдались ядерные квадрупольные отражения (910), (13, 5, 0) и (710). Спектры отражений (910) и (13, 5, 0) имеют качественно такой же вид, как и спектр отражения (11, 2, 0). Таким образом, для каждого из этих отражений знаки структурных амплитуд для ядер железа

в $4s$ - и $8d$ -позициях также совпадают. Спектр отражения (710) имеет качественно иной вид: в центре спектра имеется провал, а максимумы интенсивности достигаются вблизи s - и d -резонансных линий. Такая форма спектра свидетельствует о том, что знаки структурных амплитуд для ядер железа в $4s$ - и $8d$ -позициях различны.

В заключение отметим, что в настоящей работе впервые наблюдался энергетический спектр ядерного квадрупольного отражения, а также интерференция ядерных резонансных переходов в условиях сверхтонкого квадрупольного расщепления мессбауэровской линии в кристалле при чисто ядерном рассеянии. Результаты данной работы позволили по виду спектров исследуемых отражений установить соотношение между знаками структурных амплитуд для ядер железа в $4s$ - и $8d$ -позициях и совместно с результатами, полученными ранее при $T < T_N$ [4, 5], могут быть использованы для определения структуры ГЭП кристалла Fe_3BO_6 с помощью дифракции мессбауэровского γ -излучения. Отметим, что ядерные квадрупольные максимумы могут реализоваться также для отражений типа ($ok\bar{l}$) при нечетном значении суммы $k+l$.

Авторы благодарят В.Е. Дмитриенко за полезные обсуждения результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Беляков В.А., Айвазян Ю.М. - Письма в ЖЭТФ, 1969, т. 9, с. 637-638.
- [2] Mirzababaev R.M., Smirnov G.V., Sklyarevskii V.V., Artem'ev A.N., Izvailenko A.N., Babkov A.V. - Phys. Lett., 1971, 37A, p. 441-442.
- [3] Засимов В.С., Кузьмин Р.Н., Александров А.Ю., Фиров А.И. - Письма в ЖЭТФ, 1972, т. 15, в. 7, с. 394-398.
- [4] Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Овсепян А.К., Саркисов Э.Р., Смирнов Е.В., Толпекин И.Г. - ЖЭТФ, 1985, т. 88, в. 4, с. 1336-1347.
- [5] Толпекин И.Г., Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Овчинникова Е.Н., Саркисов Э.Р., Смирнов Е.В. - ЖЭТФ, 1988, т. 94, в. 2, с. 329-342.
- [6] Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская гамма-оптика. М.: МГУ, 1982. 327 с.

Поступило в Редакцию
22 июля 1988 г.