

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ МЕССБАУЭРОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА МОНОКРИСТАЛЛЕ Fe_3VO_6 .
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЯДЕРНЫХ ПЕРЕХОДОВ**

*П.П.Коваленко¹⁾, В.Г.Лабушкин, А.К.Овсепян,
Э.Р.Саркисов, Е.В.Смирнов*

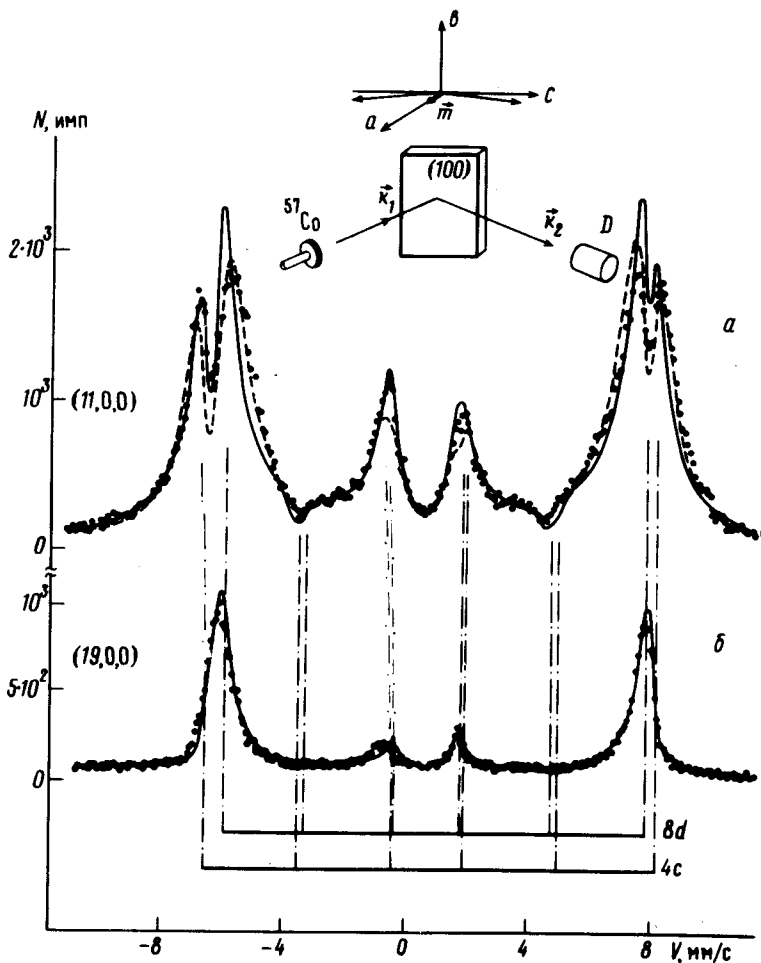
Изучены энергетические спектры брэгговского отражения мессбауэровского γ -излучения от слабоферромагнитного монокристалла $^{57}\text{Fe}_3\text{VO}_6$. Выявлено сильное влияние интерференции переходов в ядрах железа, находящихся в неэквивалентных позициях, на вид спектров и проведено сравнение результатов измерений с результатами теоретических расчетов.

Первые экспериментальные исследования дифракции мессбауэровского γ -излучения на магнитоупорядоченных кристаллах продемонстрировали возможности мессбауэровского диф-

¹⁾ ФТИ им. С.У.Умарова АН Тадж. ССР.

рационного метода исследования кристаллов, в частности, для изучения их магнитной структуры ^{1,2}. В этих экспериментах использовались, как правило, соединения с простой кристаллической и магнитной структурами — кристаллы Fe, α -Fe₂O₃, FeBO₃. В дальнейшем мессбауэровский дифракционный метод стал применяться для исследования соединений, обладающих более сложной магнитной структурой (см., например, ³).

В настоящей работе изучены особенности дифракции мессбауэровского излучения на слабоферромагнитном кристалле Fe₃VO₆. В этом соединении эффективные магнитные поля на мессбауэровских ядрах отличаются не только ориентацией, но и величиной, что обуславливает ряд интересных, главным образом интерференционных, эффектов в мессбауэровском рассеянии.



Энергетическая зависимость интенсивности дифрагировавшего γ -излучения для отражений *a* — (11, 0, 0) и *b* — (19, 0, 0) от кристалла ⁵⁷Fe₃VO₆. Сплошной и пунктирной линиями представлены результаты теоретических расчетов соответственно для идеального и мозаичного кристаллов ^{6,7}. Вертикальные штриховые линии задают положения резонансов для ядер железа, находящихся в 4с- и 8d-позициях. На вставке приведена схема эксперимента

Кристалл Fe₃VO₆ принадлежит к пространственной группе D_{2h}^{16} ($Pnma$), сведения о его кристаллической и магнитной структурах приведены в работах ^{4,5}. Схема эксперимента представлена на рисунке. Пучок γ -квантов от мессбауэровского источника ⁵⁷Co с энергией 14,4 кэВ и расходимостью 0,8° дифрагировал на монокристалле ⁵⁷Fe₃VO₆, обогащенном резонансным изотопом до 95%, и регистрировался полупроводниковым блоком детектирования *D*. На поверхность кристалла выходила плоскость (100), антиферромагнитная ось лежала в плоскости рассеяния ($k_1 k_2$), слабоферромагнитный момент *m* был направлен перпендикулярно плоскости (100). Измерения проводились при комнатной температуре.

В работе экспериментально исследовалось брэгговское рассеяние резонансного γ -излучения в ядерные магнитные максимумы (11, 0, 0) и (19, 0, 0). Результаты измерений и теоретических расчетов представлены на рисунке.

В кристалле Fe_3VO_6 ионы железа находятся в двух неэквивалентных $4c$ - и $8d$ -позициях ⁴. Эффективные магнитные поля на ядрах железа в c - и d -позициях различаются по величине примерно на 6%. Это различие, а также разная величина изомерного сдвига и различие в структуре градиентов электрических полей в неэквивалентных узлах ⁸, приводит к тому, что положение резонансных линий для ядер железа в c - и d -позициях (c - и d -линий), вообще говоря, не совпадает. Вклады в брэгговское рассеяние от ядер железа, находящихся в c - и d -позициях, интерферируют между собой, причем в отличие от ⁹, интерференционный член имеет заметную величину, поскольку энергетическое расстояние между c - и d -линиями, соответствующими одному и тому же мессбауэровскому переходу, невелико. Так, при комнатной температуре различие в положении c - и d -линий лежит в пределах от $\sim 0,5$ Г (для третьей линии в спектре) до ~ 6 Г (для первой линии в спектре), где Г — естественная ширина мессбауэровской линии.

Интерференция c - и d -линий существенно сказывается на форме спектра дифрагировавшего излучения. При конструктивной интерференции, когда структурные факторы для атомов железа в c - и d -позициях имеют одинаковый знак (отражение $(11, 0, 0)$), вклады c - и d -линий складываются на краях и вычитаются между линиями. При этом результирующая резонансная линия уширяется, а в центре линии может появиться провал. На рис. а провалы в энергетической зависимости отчетливо видны для крайних линий спектра, соответствующих ядерным переходам $-3/2 - -1/2$ и $3/2 - 1/2$. Для центральных линий, отвечающих переходам $1/2 - -1/2$ и $-1/2 - 1/2$, провалы практически не проявляются, поскольку расстояние между c - и d -линиями в этом случае мало ($\lesssim 1,2$ Г). Кроме того, ширина линии источника в нашем эксперименте составляла ~ 2 Г, что приводило к „замазыванию” тонких деталей спектра. Тем не менее, интерференция приводит к тому, что интенсивность третьей линии оказывается заметно больше, чем четвертой.

При деструктивной интерференции вклады в рассеяние от c - и d -линий гасят друг друга, что может приводить к сужению результирующей резонансной линии. Сужение линии при дифракционном рассеянии резонансного γ -излучения экспериментально наблюдалось нами для отражения $(19, 0, 0)$, результаты измерений представлены на рис. б. Для данного отражения сужение линии невелико и составляет для шестой линии в спектре $\sim 12\%$ по сравнению с шириной одиночной линии. Относительно небольшая величина эффекта объясняется тем, что структурные факторы для атомов железа в c - и d -позициях для отражения $(19, 0, 0)$ отличаются примерно в три раза, что не позволяет интерференции проявиться максимально сильно. Отметим, что из двух центральных линий в спектре отражения $(19, 0, 0)$ более интенсивной оказывается четвертая линия, а не третья, как это было для отражения $(11, 0, 0)$, что также является следствием деструктивной интерференции.

Сравнение экспериментальных спектров с теоретическими выявляет хорошее согласие теории и эксперимента. Спектр отражения $(19, 0, 0)$ хорошо описывается теоретическими кривыми как для идеального, так и для мозаичного кристаллов, совпадающими на рисунке в пределах толщины линии. Для отражения $(11, 0, 0)$ центральные линии в спектре лучше описываются в модели идеального, а крайние — в модели мозаичного кристалла, что может объясняться различной степенью совершенства исследуемого образца по глубине.

Исследование различных нечетных порядков отражения ($h00$) в кристалле Fe_3VO_6 позволяет изменять величину и знак вклада от c - и d -линий в чисто ядерное рассеяние резонансного γ -излучения, а настройка на тот или иной переход дает возможность менять расстояние между интерферирующими линиями. Таким образом, дифракция мессбауэровского γ -излучения на кристалле Fe_3VO_6 позволяет детально изучать интерференцию ядерных переходов и ее влияние на энергетическую зависимость интенсивности рассеянного излучения.

Кроме того, интерференция c - и d -линий оказывается чувствительной к типу магнитного упорядочения в кристалле и может быть использована для изучения магнитной структуры образца. Отметим, что выполненные нами эксперименты показывают, что магнитная структура Fe_3VO_6 совпадает со структурой, определенной ранее нейтронографическим методом ⁵.

Авторы благодарят В.Е.Дмитриенко и Р.Ч.Бокуна за полезные обсуждения результатов работы, а также В.Н.Селезнева и А.Р.Прокопова, вырастивших обогащенные мессбауровским изотопом монокристаллы Fe_3VO_6 .

Литература

1. Смирнов Г.В., Скляревский В.В., Восканян Р.А., Артемьев А.Н. Письма в ЖЭТФ, 1969, 9, 123.
2. Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Руденко В.В., Саркисян В.А., Селезнев В.Н. Письма в ЖЭТФ, 1977, 26, 92.
3. Коваленко П.П., Лабушкин В.Г., Прокопов А.Р., Саркисов Э.Р., Селезнев В.Н. II Всесоюзное совещание по методам и аппаратуре для исследований когерентного взаимодействия излучения с веществом, тезисы докл., Ереван, 1982, с. 79.
4. Diehl R., Brandt G. Acta Cryst., 1975, B31, 1662.
5. Мальцев В.И., Найден Е.П., Жиялков С.М., Смолин Р.П., Борисюк Л.М. Кристаллография, 1976, 21, 113.
6. Каган Ю., Афанасьев А.М., Перстнев И.П. ЖЭТФ, 1968, 54, 1530.
7. Беляков В.А. УФН, 1975, 115, 553.
8. Баюков О.А., Бузник В.М., Иконников В.П., Петров М.И. ФТТ, 1976, 18, 2319.
9. Степанов Е.П., Артемьев А.Н., Перстнев И.П., Скляревский В.В., Смирнов Г.В. ЖЭТФ, 1974, 66, 1150.

Всесоюзный
научно-исследовательский
институт
физико-технических измерений

Поступила в редакцию
10 апреля 1984 г.