

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СВЯЗИ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕССБАУЭРОВСКОГО КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ С МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ КРИСТАЛЛА

П.П.Коваленко, В.Г.Лабушкин, В.А.Саркисян

Впервые экспериментально наблюдалась связь поляризационных характеристик когерентного мессбауэровского рассеяния на кристалле с его магнитной структурой. Получены зависимости степени поляризации и направления вектора поляризации от направления магнитного поля на ядрах в кристалле.

В связи со спецификой когерентного резонансного рассеяния гамма-квантов в мессбауэровской дифракции должны проявляться зависимости поляризационных характеристик рассеянного излучения от магнитной структуры кристаллов [1]. Отличие поляризационных свойств мессбауэровского рассеяния от случая рассеяния излучений других типов, в частности, рентгеновских лучей, обусловлено взаимодействием гамма-квантов с ядрами.

Поляризационные характеристики взаимодействия мессбауэровского излучения с веществом изучались только в экспериментах на пропускание [2 – 4]. Вопрос о поляризационных свойствах когерентного рассеяния мессбауэровского излучения оставался экспериментально неисследованным, хотя в теоретических работах были предсказаны интересные поляризационные зависимости.

В настоящей работе впервые экспериментально исследованы поляризационные свойства мессбауэровского когерентного рассеяния и их зависимость от магнитной структуры кристалла на примере антиферромагнитного монокристалла FeVO_3 .

В кинематическом приближении теории дифракции в магнитных дифракционных максимумах поляризация рассеянного излучения не зависит от кристаллической структуры антиферромагнетика и энергии мессбауэровских квантов, а определяется только ориентацией антиферромагнитной оси в кристалле [1]. В связи с этим экспериментальное исследование поляризационных характеристик было выполнено на антиферромагнитном кристалле в магнитном дифракционном максимуме.

Согласно теории [1], в случае неполяризованного первичного пучка, излучение, рассеянное в магнитный дифракционный максимум, оказывается частично линейно поляризованным. Причем ориентация плоскости поляризации и степень поляризации рассеянного излучения зависят от направления полей на мессбауэровских ядрах в кристалле. В случае симметричного брегговского отражения, который исследовался нами, при условии, что антиферромагнитная ось лежит в рассеивающей плоскости, параметры Стокса ξ_i , определяющие степень поляризации

$P(P = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \xi_i^2})$ и ориентацию плоскости поляризации рассеянного излучения, следующим образом зависят от взаимной ориентации антиферромагнитной оси и угла Брэгга θ_B

$$\xi_1 = \frac{\cos \theta \sin 2\Phi (\cos^2 \alpha - \sin^2 \theta_B \sin^2 \alpha) + \sin^2 \Phi \sin \theta_B \sin 2\alpha (1 + \cos^2 \theta)}{2 \cos^2 \theta + \sin^4 \theta \sin^2 \Phi}$$

$$\xi_2 = 0 \quad (1)$$

$$\xi_3 = \frac{\cos \theta \sin 2\Phi \sin \theta_B \sin 2\alpha - \sin^2 \Phi (1 + \cos^2 \theta) (\cos^2 \alpha - \sin^2 \theta_B \sin^2 \alpha)}{2 \cos^2 \theta + \sin^4 \theta \sin^2 \Phi},$$

где θ — угол между антиферромагнитной осью и направлением падения первичного пучка, Φ — разность азимутальных углов направлений первичного и рассеянного пучков, отсчитанных вокруг антиферромагнитной оси, α — угол между антиферромагнитной осью и нормалью к плоскости рассеяния.

Углы θ и Φ следующим образом выражаются через θ_B и α :

$$\cos \theta = \cos \theta_B \sin \alpha \quad (2)$$

$$\sin \Phi = \frac{\sin^2 \theta_B \cos \alpha}{1 - \cos^2 \theta_B \sin^2 \alpha}.$$

Отметим, что в отличие от [1], выражения (1) дают значения параметров Стокса в системе координат, ось x которой лежит в плоскости рассеяния, а ось y перпендикулярна ей.

Экспериментально параметры Стокса ξ_i определялись с помощью анализа поляризационных свойств рассеянного излучения в предположении, что оно частично линейно поляризовано ($\xi_2 = 0$). Для этого анализа использовался различным образом ориентированный относительно плоскости рассеяния избирательно поглощающий линейную поляризацию анализатор.

Схема эксперимента приведена на рис. 1.

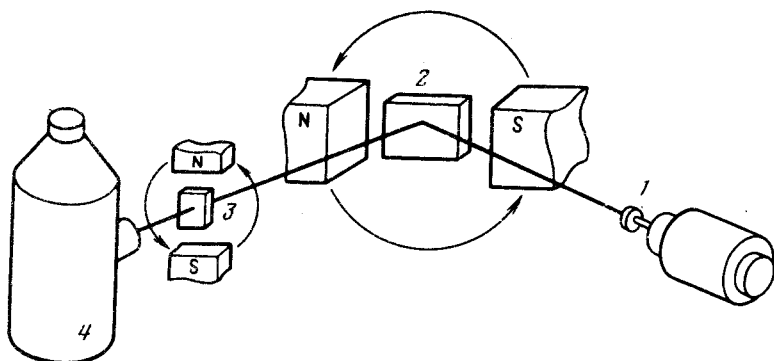


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – мессбауэровский источник, 2 – образец, 3 – анализатор, 4 – Si(Li) полупроводниковый блок детектирования

Анализатор представлял собой монокристалл бората железа толщиной 50 мкм, помещенный в поле постоянного магнита и являлся "черным" поглотителем для одной линейной поляризации. Изменение ориентации избирательно поглощаемой поляризации осуществлялось путем поворота магнита вокруг оси, перпендикулярной поверхности кристалла, в результате которого менялась ориентация магнитного поля на ядрах.

Параметры Стокса ξ_1 и ξ_3 из результатов измерений определялись по формулам

$$\begin{aligned} \xi_1 &= I_{135} - I_{45} \\ \xi_3 &= I_0 - I_{90} \end{aligned} \quad (3)$$

где I_0 , I_{45} , I_{90} и I_{135} – интенсивности дифрагировавшего пучка, прошедшего через анализатор, образующий с плоскостью рассеяния угол 0, 90, 45 и 135 соответственно.

В эксперименте рассеяние в образце и поглощение в анализаторе происходило через переход $3/2 \rightarrow 1/2$.

В качестве образца, на котором производились измерения поляризационных зависимостей, служил монокристалл $\text{Fe}^{57}\text{VO}_3$, подробные данные о котором изложены в работе [5].

На рис. 2 приведены измеренная и рассчитанная зависимости степени поляризации дифрагировавшего мессбауэровского излучения от ориентации антиферромагнитной оси в кристалле FeVO_3 , а на рис. 3 — зависимость ориентации плоскости поляризации дифрагировавшего излучения от направления антиферромагнитной оси в кристалле.

Экспериментальные результаты находятся в качественном согласии с теоретическими как для степени поляризации P , так и для ориентации плоскости поляризации относительно плоскости рассеяния.

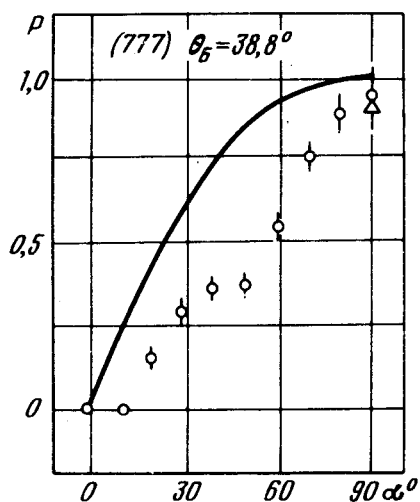


Рис. 2. Измеренная и рассчитанная (сплошная кривая) зависимости от ориентации антиферромагнитной оси степени поляризации дифрагировавшего на кристалле FeVO_3 мессбауэровского излучения

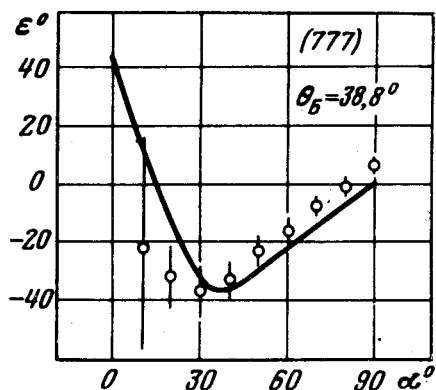


Рис. 3. Измеренная и рассчитанная (сплошная кривая) зависимости от направления магнитного поля на ядрах в кристалле FeVO_3 ориентации плоскости поляризации дифрагировавшего пучка мессбауэровских квантов

Количественное отличие экспериментальных и теоретических кривых не удивительно, поскольку используемый образец достаточно совершенен, а расчет кривых выполнен по кинематической теории. Следует ожидать, что расчет кривых по более совершенной динамической теории приведет к лучшему согласию теории и эксперимента.

Кинематическое приближение теории предполагает независимость поляризационных характеристик дифрагировавшего излучения от энергии первичного пучка гамма-квантов в рассмотренном выше случае. Значение степени поляризации, полученное при расстройке от резонанса $3/2 \rightarrow$

→ $1/2$ на величину $0,25$ мм/сек (обозначено треугольником на рис.2), доказывает справедливость этого утверждения.

Авторы благодарят В.А.Белякова за постоянный интерес к работе и ценные замечания, Р.Ч.Бокуна – за помощь в проведении расчетов.

Всесоюзный
научно-исследовательский институт
физико-технических и
радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
30 сентября 1978 г.

Литература

- [1] В.А.Беляков. УФН, **115**, 553, 1975; V.A.Belyakov, R.Ch.Bokun. Acta Cryst., **A31**, 6, 738, 1975.
 - [2] M.Blume, O.C.Kistner. Phys. Rev., **171**, 417, 1968.
 - [3] R.W.Grant, R.M.Hously, U.Gonser. Phys. Rev., **178**, 523, 1969.
 - [4] В.Г.Лабушкин, С.Н.Иванов, Г.В.Чечин. Письма в ЖЭТФ, **20**, 349, 1974.
 - [5] П.П.Коваленко, В.Г.Лабушкин, В.В.Руденко, В.А.Саркисян, В.Н.Селезнев. Письма в ЖЭТФ, **26**, 92, 1977.
-