

ЯДЕРНАЯ КВАДРУПОЛЬНАЯ ДИФРАКЦИЯ РЕЗОНАНСНОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛЕ ТЕЛЛУРА

В. С. Засимов, Р. Н. Кузьмин, А. Ю. Александров, А. И. Фиров

Дифракция резонансного γ -излучения на ядрах, находящихся во внутрикристаллических полях, имеет ряд особенностей [1 – 6], которые обусловлены зависимостью амплитуды мессбауэровского рассеяния от направления магнитного поля и ориентации осей градиента электрического поля (ГЭП) в месте расположения рассеивающего ядра.

В настоящей работе сообщаются результаты дифракционных опытов по рассеянию резонансного γ -излучения изотопа Te^{125m} на монокристалле теллура, для которого ранее [7] было высказано предположение о возможности появления чисто ядерных брегговских квадрупольных отражений. Кинематическая теория дифракции при ядерном γ -резонансном рассеянии в кристаллах, содержащих мессбауэровские ядра с неоднородным электрическим полем, была развита Айвазяном и Беляковым [4], они также провели анализ условий возникновения ядерных квадрупольных отражений, однако до настоящего времени не было проведено экспериментальных исследований этой уникальной особенности мессбауэрографии.

Кристалл теллура принадлежит к тригональной сингонии (пространственная группа $R\bar{3}21$). Главные оси ГЭП на ядрах теллура направлены под одним углом к оси C , но разным образом ориентированы в спиральной цепочке из атомов теллура [8], поэтому химически эквивалентные атомы теллура становятся неэквивалентными рассеивателями в мессбауэровской дифракции. С учетом рассеяния ре-

зонансного γ -излучения как на электронах атомов, так и на ядрах, структурную амплитуду от плоскости (hkl) можно записать в виде:

$$F(hkl) = F_R(hkl) + F_N(hkl), \quad (1)$$

где $F_R(hkl) = \sum_i^N f_{Ri} \exp 2\pi i(\mathbf{r}_i, \mathbf{H})$ – релеевская часть;

$F_N(hkl) = \sum_i^n f_{Ni} \exp 2\pi i(\mathbf{r}_i, \mathbf{H})$ – ядерная часть структурной амплитуды; N – число атомов в элементарной ячейке, n – число резонансных ядер; f_{Ri} и f_{Ni} – амплитуды соответственно релеевского и резонансного рассеяний; $\mathbf{r}_j, \mathbf{r}_i$ – радиусы – векторы положений j и i – атомов внутри элементарной ячейки.

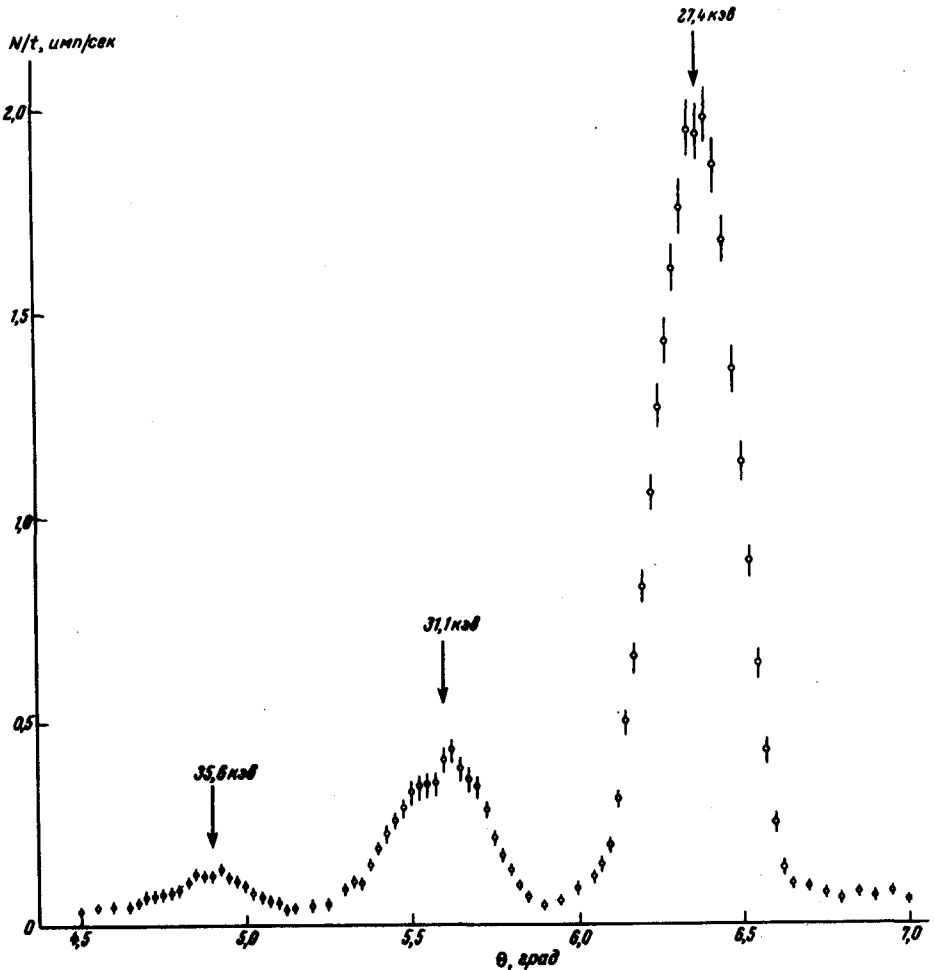


Рис. 1. Энергетический спектр излучения источника на основе изотопа Te^{125m} , полученный при отражении от плоскости (200) монокристалла LiF

Наличие винтовой оси 3_1 в структуре теллура в чисто релеевском (нерезонансном) рассеянии оставляет непогашенными отражения $\{000\ell\}$ с $\ell = 3n$, где n – порядок отражения. Для появления

чисто ядерных отражений при мессбауэровской дифракции необходимо, чтобы в [1] выполнялось условие $F_R(hk\ell) = 0$, что достигается для любых отражений $\{000\ell\}$ с $\ell \neq 3n$. Таким образом, в нашем случае отражение (0003) с брэгговским углом $\theta = 5^\circ 4'$ отвечает обоим вкладам F_{Rj} и F_{Ni} в структурную амплитуду, а отражения (0001) и (0002), брэгговские углы для которых соответственно равны $\theta = 1^\circ 41'$ и $\theta = 3^\circ 22'$, должны содержать только F_{Ni} и не будут погашенными.

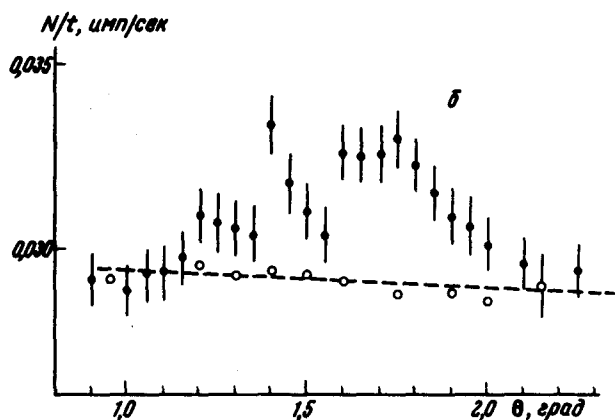
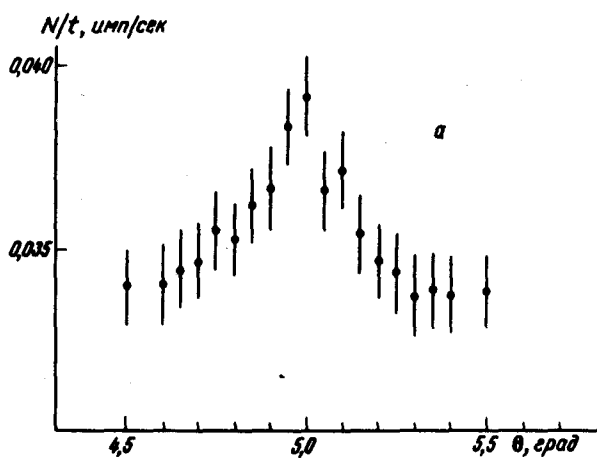


Рис. 2. Дифракционные спектры ядерного γ -резонансного излучения, рассеянного на монокристалле Te : а — при отражении от плоскости (0003) в отсутствие резонанса, $V = V_\infty$, б — при отражении от плоскости (0001) для случая включения ядерного резонансного механизма рассеяния $V = V_{\text{рез}} = 1,9 \text{ мм/сек}$

Опыты состояли в следующем. Монокристалл теллура с естественным содержанием Te^{125} , выращенный так, что одна из граней имела индекс $\{000\ell\}$, юстировался на мессбауэровском дифрактометре [9] с постоянной скоростью движения источника, в качестве которого служило соединение Te^{125m} с одиночной линией испускания естественной ширины и вероятностью эффекта Мессбауэра $f = 0,50$. Активность источника $\sim 40 \text{ мкюри}$. Известно, что период полураспада изотопа Te^{125m} сравнительно небольшой $T_{1/2} = 58$ дней, а энергия мессбауэровского перехода $E_\gamma = 35,5 \text{ кэв}$ ($\lambda_\gamma = 0,348 \text{ \AA}$), т. е. значительно больше, чем у долгоживущих изотопов Co^{57} и Sn^{119m} , с которыми ранее проводились опыты по дифракции γ -резонансного излучения, поэтому нами предварительно был получен дифракцион-

ный спектр излучения источника с кристаллом LiF, рис. 1, который показал, что мессбауэровское излучение в спектре источника составляет только $1/16$ рентгеновского с $\lambda = 0,452 \text{ \AA}$ и $1/3$ с $\lambda = 0,398 \text{ \AA}$.

Для сокращения времени опытов мы провели исследование дифракционных спектров только двух отражений (0003) и (0001). γ -кванты, испущенные колеблющимся источником, через систему коллимации (канал $12 \times 1,0 \text{ мм}^2$ в свинцовом цилиндре) попадали на монокристалл теллура, закрепленный в держателе низкотемпературной камеры.

Рассеянные γ -кванты регистрировались сцинтилляционным детектором СРС-1, усиливались, дискриминировались по энергии и подавались на пересчетные схемы. Фон в окне регистрируемой энергии составлял $0,03 \text{ импульс/сек}$. Опыты проводились при температуре 90°K . Продолжительность съемки спектра 200 часов . Перед началом опытов по мессбауэровской дифракции снимались дифрактограммы от монокристалла теллура на рентгеновском излучении Mo K_α , в области углов существования отражений (0001), (0002), (0003), которые показали присутствие только отражения (0003).

На рис. 2, а приведен брэгговский пик (0003), полученный уже при отражении мессбауэровского γ -излучения от монокристалла Te при $V = V_\infty$, т. е. в отсутствие резонансного рассеяния γ -квантов. На рис. 2, б приведен чисто ядерный квадрупольный максимум (0001), угловая ширина которого больше ширины максимума (0003). Ядерный квадрупольный максимум получен при скорости источника $V = V_{\text{рез}} = 1,9 \text{ мм/сек}$, т. е. когда включается ядерный механизм рассеяния. Пунктирная линия рис. 2, б отвечает скорости счета в отсутствие резонанса $V = V_\infty$. Следует отметить, что само существование чисто ядерных квадрупольных максимумов прямо указывает только на наличие различных ориентаций ГЭП на мессбауэровских ядрах, дальнейший анализ поляризации и интенсивности сверхтонкой структуры брэгговских максимумов дает возможность определить ориентацию осей ГЭП и координаты резонансных ядер [10].

Опыты в этом направлении будут продолжены.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
25 февраля 1972 г.

Литература

- [1] G.S.Zhdanov, R.N.Kuzmin . Acta Cryst., B24, 29, 1968.
- [2] В.А.Беляков, Ю.М.Айвазян. Письма в ЖЭТФ, 7, 477, 1968.
- [3] М.А.Андреева, Р.Н.Кузьмин. ДАН СССР, 185, 1282, 1969.
- [4] Ю.А.Айвазян, В.А.Беляков. ЖЭТФ, 56, 346, 1969.

- [5] М.А.Андреева, Р.Н.Кузьмин. Кристаллография, 14, 708, 1969.
- [6] Г.В.Смирнов, В.В.Скляревский, Р.А.Восканян, А.Н.Артемьев. Письма в ЖЭТФ, 9, 123, 1969.
- [7] Р.Н. Кузьмин. Докт. диссертация. МГУ, Физ. фак. М., 1969.
- [8] R.N.Kuz'min, A.A.Opalenko, V.S.Shpinel. Proceedings of the Conference on the Application of the Mössbauer Effect, p.785, (Тихану, 1969).
- [9] В.С.Засимов, Р.Н.Кузьмин, А.И.Фиров. Вестник МГУ, сер. Физика, 3, 324, 1971.
- [10] М.А.Андреева, Р.Н.Кузьмин. Кристаллография, 17, №5, 1972.
-