

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ ЯДЕРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ γ -ЛУЧЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛАУЭ-ДИФРАКЦИИ. ЭФФЕКТ ОСЦИЛЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ

Г.В.Смирнов, В.В.Скляревский, А.Н.Артемьев

При дифракции резонансных γ -лучей на идеальном кристалле должно иметь место полное или частичное подавление ядерного резонансного поглощения, обусловленное коллективным характером взаимодействия γ -лучей с кристаллом [1]. Мы уже сообщали о наблюдении этого эффекта в условиях, когда дифракция происходит главным образом на электронах [2, 3]. Настоящая работа представляет собой исследование эффекта подавления для случая дифракции преимущественно на резонансных ядрах, то есть когда отношение амплитуд $f_{\text{яд}}^{\text{рез}} / f_{\text{эл}} \gg 1$. Исследовалась Лауэ-дифракция γ -лучей на толстом $((\mu t)^{\text{рез}} \gg 1)$ кристалле. Такие измерения не требуют малой расходимости падающего пучка, так как регистрируются только γ -лучи, прошедшие через кристалл в узком интервале углов, как раз таких, для которых ожидается подавление поглощения.

Подавление поглощения должно проявиться в зависимости интенсивности Лауэ-дифрагированных γ -лучей от энергии падающих γ -лучей, т. е. от относительной скорости источника и рассеивателя: $I(\nu)$. Действительно, если подавления поглощения нет, то все резонансные γ -лучи будут полностью поглощены $((\mu t)^{\text{рез}} \gg 1)$ и спектр $I(\nu)$ будет представлять собой симметричный относительно центра резонанса $\nu = \nu_{\text{рез}}$ минимум. При наличии эффекта подавления кристалл не полностью поглощает резонансные γ -лучи и часть последних выходит из кристалла.

В этом случае форма спектра определяется амплитудой когерентного рассеяния, которая имеет интерференционную структуру за счет того, что рассеяние происходит как на ядрах, так и на электронах. Поэтому спектр $I(\nu)$ должен иметь асимметричную относительно центра резонанса, дисперсионную форму. Это и наблюдалось нами в настоящей работе для Лауэ-дифракции 14,4 кэВ γ -лучей

Fe^{57} на очень толстом ($(\mu t)^{\text{рез}} = 210$) идеальном кристалле $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3 \left(\frac{f_{\text{яд}}^{\text{рез}}}{f_{\text{эл}}} = 10 \right)^{1)}$.

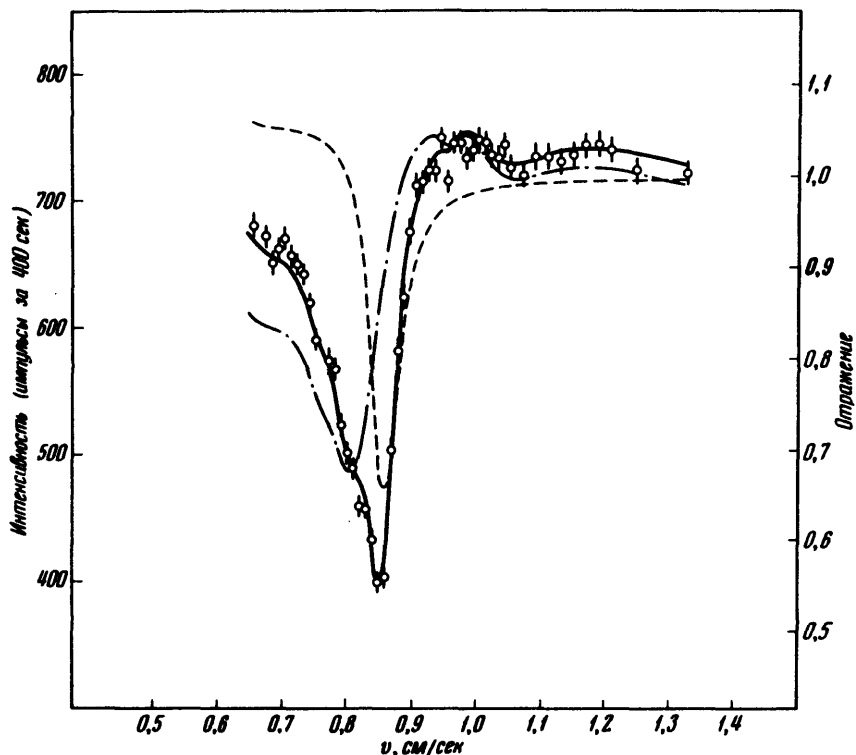
В дополнение к ожидаемой дисперсионной форме мы обнаружили осцилляции интенсивности $I(\nu)$, что как и эффект подавления поглощения является следствием коллективного характера взаимодействия γ -лучей с кристаллом.

Условия опыта. Эксперимент проводился на мессбауэровском дифрактометре [2]. Пучок 14,4 кэВ γ -квантов с расходимостью $0,5^\circ$ в горизонтальной плоскости и 6° в вертикальной плоскости непосредственно от источника (20 мкюри Co^{57} в Pd) падал на монокристалл гематита $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ толщиной 95 мк, обогащенный до 85% изотопом Fe^{57} . На поверхность кристалла выходила плоскость (111). Кристалл устанавливался в положение симметричного брэгговского отражения (10 $\bar{1}$) в Лауэ геометрии ($\theta_{\text{Б}} = 9^\circ 54'$). В контрольных измерениях было установлено, что кристалл по своим свойствам близок к идеальному: при дифракции на плоскостях (10 $\bar{1}$) рентгеновского излучения $\text{Mo K}_{\alpha 1}$ наблюдался эффект Бормана. Условия опыта были выбраны так, что в эффекте подавления ядерного поглощения участвовала только одна компонента γ -излучения с поляризацией 1 (магнитный вектор колеблется перпендикулярно плоскости рассеяния). Для этого на кристалл накладывалось магнитное поле ~ 1 кэ перпендикулярно плоскости рассеяния и исследовался переход $-1/2 \rightarrow -3/2$. Факторы поглощения кристалла были следующие: за счет взаимодействия с электронами $\mu_{\text{эл}}^{\text{т}} \approx 2,3$, а за счет взаимодействия с ядрами в резонансе для поляризации 1 $\mu_{\text{я}}^{\text{т}(1)} = 210$, для поляризации 2 $\mu_{\text{я}}^{\text{т}(2)} = 6,2$.

Результаты и обсуждение. На рисунке показаны результаты измерений зависимости $I(\nu)$. Экспериментальные точки получены после усреднения по четырем сериям измерений. Распределение экспериментальных точек представляет собой асимметричную кривую дисперсионной формы. Теоретическая кривая (сплошная линия на рисунке) рассчитана на основе динамической теории дифракции резонансных γ -лучей [1], причем учтено влияние соседней линии (соответствующей переходу $-1/2 \rightarrow -1/2$), проведено интегрирование по энергетическому распределению γ -лучей в падающем пучке и суммирование по поляризациям. Но, как мы уже отмечали, роли поляризаций в эффекте подавления резко различаются. Хорошее совпадение экспериментальных точек с теоретической кривой позволяет провести анализ распределения экспериментальных точек для каждой поляризации в отдельности. Для компоненты γ -излучения с поляризацией 2 эффекта подавления нет, и соответствующая ей $I(\nu)$ имеет практически симметричную форму относительно $\nu = \nu_{\text{рез}}$ (штрихованная линия на рисунке). Центр этой линии совпадает с центром линии, измеренной нами при обычном мессбауэровском поглощении. Компонента γ -излучения с поляризацией 1 ведет себя совершенно иначе. Для нее выполняется условие полного подавления ядерного поглощения. Как видно зависимость $I(\nu)$ для этой компоненты (точечная кривая на рисунке) имеет резко дисперсионную форму, а центр миниму-

1) Для Лауэ-дифракции γ -лучей Sn^{119} на кристалле олова недавно аналогичный эксперимент был независимо проведен Войтовецким и др. [4].

ма значительно смещен от положения резонанса (которое указывает линия, соответствующая поляризации γ). Таким образом в узкой области углов для этой компоненты γ -излучения кристалл из сильно поглощающего становится только рассеивающим.



Зависимость интенсивности Лауэ-дифрагированного на кристалле $\alpha - \text{Fe}_2^{57}\text{O}_3$ пучка $14,4 \text{ кэВ}$ γ -лучей Fe^{57} от скорости источника (относительно кристалла) в области перехода $-1/2 \rightarrow -3/2$. Интенсивность нормирована к значению $I(v = \infty)$, соответствующему интенсивности рассеяния только на электронах

Кроме того для рассматриваемой компоненты γ -излучения обнаруживаются осцилляции интенсивности Лауэ пучка [1]. Этот эффект обусловлен интерференцией двух когерентных волн, которые распространяются в кристалле с разными коэффициентами преломления. Разность хода этих волн на выходе из кристалла определяется, во-первых, толщиной кристалла и, во-вторых, амплитудой рассеяния (действительной частью). Колебания интенсивности в нашем случае имеют место при изменении разности хода за счет уменьшения амплитуды рассеяния при выходе из резонанса. Интересно отметить, что вследствие уменьшения скорости изменения амплитуды рассеяния при удалении от резонанса период колебаний увеличивается. Обнаруженный эффект является ядерным аналогом известного в оптике рентгеновских лучей эффекта "Pendellosung" [5]. Но там колебания интенсивности связаны только с изменением толщины. Важно подчеркнуть, что само наличие этих колебаний в нашем спектре, как и эффект подавления ядерного поглощения γ -лучей, является доказательством коллективности характера взаимодействия γ -лучей с кристаллом.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.Кагану и А.М.Афанасьеву за обсуждение результатов, В.Кону – за помощь в расчетах и М.А.Волкову и И.Б.Филиппову за участие в эксперименте. Обогащенный изотопом Fe^{57} материал был получен в Госфонде стабильных изотопов СССР.

Поступила в редакцию
12 мая 1970 г.

Литература

- [1] А.М.Афанасьев, Ю.Каган. ЖЭТФ, 48, 327, 1965.
 - [2] Б.В.Скляревский, Г.В.Смирнов, А.Н.Артемьев, Б.Шестак, С.Кадечкова. Письма в ЖЭТФ, 8, 295, 1968.
 - [3] Б.В.Скляревский, Г.В.Смирнов, А.Н.Артемьев, Р.М.Мирзабабаев, Б.Шестак, С.Кадечкова. Письма в ЖЭТФ, 11, 531, 1970.
 - [4] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, А.И.Новиков, Ю.Ф.Пажин. Письма в ЖЭТФ, 11, 149, 1970.
 - [5] B.W.Batterman, H.Cole. Rev. Mod. Phys., 36, 681, 1964.
-