

ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ АНОМАЛЬНОГО ПРОПУСКАНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ γ -ЛУЧЕЙ Fe^{57} МОНОКРИСТАЛЛОМ $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$

*В.В.Скляревский, Г.В.Смирнов, А.Н.Артемьев,
Р.М.Мирзабабаев, Б.Тестах¹⁾, С.Кадечкова¹⁾*

В настоящей работе, исследовалась угловая зависимость пропускания резонансных $14,4 \text{ кэВ}$ γ -лучей Fe^{57} идеальным монокристаллом $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$ (из необогащенного железа) в области угла Брэгга (θ_B). Согласно теории Кагана и Афанасьева [1] при выполнении условий Брэгга имеет место полное или частичное подавление ядерного резонансного поглощения γ -лучей, причем интервал углов, для которых поглощение исчезает или заметно уменьшается порядка $10''$. Поэтому в угловой зависимости пропускания резонансных γ -лучей в области θ_B должен наблюдаться пик аномального пропускания. Экспериментальное наблюдение этого пика связано с двумя трудностями: 1) используемый пучок γ -лучей должен иметь малую угловую расходимость $\sim 10''$; 2) нерезонансное поглощение γ -лучей на электронах также ослабляется в области θ_B за счет эффекта Бормана. Поэтому необходимо измерить угловую зависимость интенсивности прошедших через кристалл γ -лучей $N(\theta)$ при двух условиях а) в отсутствие резонансного поглощения, т. е. вне резонанса (при $\nu = \infty$) $N_\infty(\theta)$ и б) в резонансе (при $\nu = \nu_{\text{рез}}$) $N_{\text{рез}}(\theta)$. Обе эти кривые должны иметь пики при $\theta = \theta_B$. Эффект аномального пропускания резонансных γ -лучей должен проявиться в угловой зависимости отношения $T_{\text{рез}}(\theta) = N_{\text{рез}}(\theta) / N_\infty(\theta)$, в котором угловая зависимость нерезонансного поглощения исключена.

Аномальное пропускание впервые наблюдалось для γ -лучей Sn^{119} и монокристалла олова [2]. Авторы использовали пучок γ -лучей с расходимостью $300''$, что естественно не позволило получить кривую $T_{\text{рез}}(\theta)$. В работе [2] приводятся только кривые $N_\infty(\theta)$ и $N_{\text{рез}}(\theta)$ и указывается, что из этих кривых следует наличие небольшого уменьшения резонансного поглощения в области $\theta = \theta_B$ по сравнению с поглощением при θ вдали от θ_B .

В настоящей работе аномальное пропускание исследовалось в существенно лучших условиях углового разрешения ($\sim 7''$) и была получена кривая $T_{\text{рез}}(\theta)$ с ярко выраженным пиком аномального пропускания в области $\theta = \theta_B$.

Условия опыта. Измерения проводились на двухкристальном мессбауэровском дифрактометре. Источником служил Co^{57} в нержавеющей стали активностью

¹⁾ Институт физики Академии наук Чехословацкой социалистической республики.

~70 мкюри, укрепленный на вибраторе, позволявшем приводить источник в движение с постоянной скоростью. γ -лучи от источника падали на кристалл-коллиматор-германий (отражающая плоскость (220)). Угловая расходимость пучка, отраженного от германия в положении Брэгга составляла $\sim 7''$. Вторым исследуемым кристаллом Fe + 3% Si (толщиной 54 мк) был ориентирован вблизи отражающего положения (110) в Лауэ-геометрии. Размер засвечиваемого γ -пучком участка кристалла Fe + 3% Si $3 \times 1 \text{ мм}^2$. Интенсивность прошедших через кристалл 14,4 кэв γ -лучей измерялась кристаллом NaI (Г1) размером $5 \times 10 \times 0,1 \text{ мм}^3$. Все измерения проводились при комнатной температуре. В предварительных измерениях было проверено совершенство засвечиваемого участка кристалла. При скорости источника $v = v_\infty$ была измерена кривая зависимости интенсивности прошедших через кристалл γ -лучей от угла поворота кристалла в области θ_B . В этой кривой (рис. 1) при $\theta = \theta_B$ проявляется интенсивный пик от эффекта Бормана. Экспериментальная полуширина пика равна $16''$. Таким образом наш кристалл близок к идеальному.

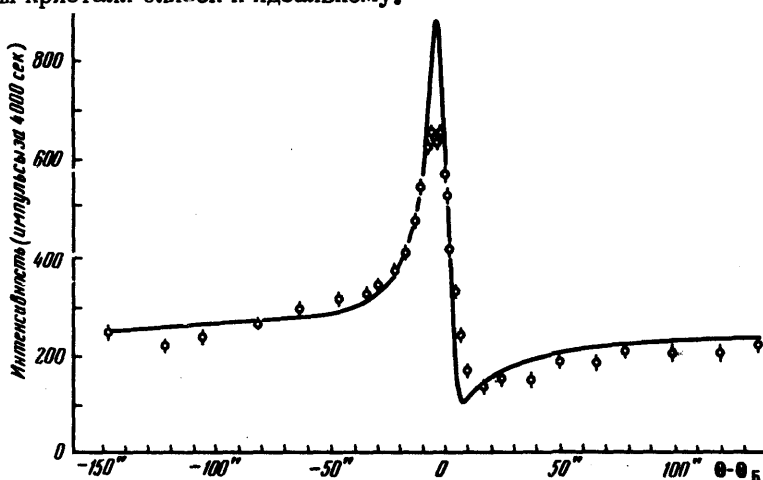


Рис. 1. Угловая зависимость нерезонансного ($v = v_\infty$) пропускания 14,4 кэв γ -лучей Fe⁵⁷ в монокристалле Fe + 3% Si. Сплошная линия – теоретическая кривая для идеального кристалла

В основных измерениях для ряда угловых положений кристалла Fe + 3% Si измерялась интенсивность прошедшего через кристалл γ -пучка при двух значениях скорости источника: $v = v_\infty (N_\infty)$ и $v = 0,31 \text{ см/сек} (N_{\text{рез}})$. Скорость $v = 0,31 \text{ см/сек}$ соответствует энергии одного из шести переходов магнитного сверхтонкого расщепления Fe⁵⁷ в Fe + 3% Si. Кристалл был намагничен в направлении [100], перпендикулярном плоскости рассеяния. В этих условиях в возбуждении перехода $-1/2 \rightarrow -1/2$ участвуют γ -лучи только одной поляризации (для которой магнитный вектор перпендикулярен плоскости рассеяния). Именно для этой поляризации имеет место полное подавление ядерного поглощения γ -лучей. Фактор нормального поглощения (в условиях θ вдали от θ_B и $v = v_{\text{рез}}$) для γ -лучей с этой поляризацией $\mu t = (\mu t)_{\text{эл}} + (\mu t)_{\text{яд}} = 2,8 + 2,7 = 5,5$. Длительность отдельного измерения (для каждой из двух скоростей) составляла 4000 сек. Из этих измерений для каждого угла определялась величина $T_{\text{рез}}(\theta) = N_{\text{рез}}(\theta) / N_\infty(\theta)$. (Из значений $N_{\text{рез}}$ и N_∞ предварительно вычитался фон, составлявший $\sim 60 \text{ имп}$ за 4000 сек.)

Результаты и обсуждение. Величина $T_{\text{рез}}(\theta)$ характеризует угловую зависимость пропускания, обусловленную только ядерным резонансным поглощением. Заметим, что $T_{\text{рез}} = 1 - \epsilon(\theta)$, где $\epsilon(\theta) = [N_{\infty}(\theta) - N_{\text{рез}}(\theta)] / N_{\infty}(\theta)$ обычная величина эффекта резонансного поглощения.

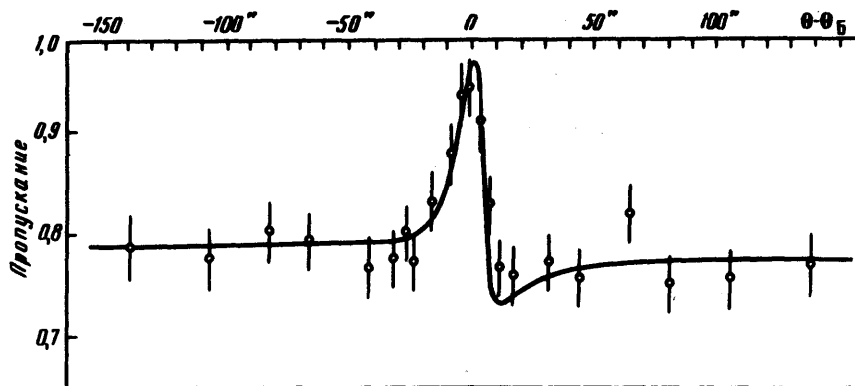


Рис. 2. Угловая зависимость резонансного ($\nu = \nu_{\text{рез}}$) пропускания 14,4 кэв γ -лучей Fe^{57} в монокристалле $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$. $T_{\text{рез}}(\theta) = N_{\text{рез}}(\theta) / N_{\infty}(\theta)$. Сплошная линия — теоретическая кривая для идеального кристалла

На рис. 2 показаны результаты измерений $T_{\text{рез}}(\theta)$, полученные после усреднения по четырем сериям измерений. Сплошная линия получена на основе теории [1], причем при ее расчете проведено интегрирование по углу и энергии для падающих на кристалл γ -лучей. Согласие экспериментальных результатов с теорией хорошее. Отметим две главные особенности полученной кривой $T_{\text{рез}}(\theta)$: 1) зависимость $T_{\text{рез}}(\theta)$ имеет при $\theta = \theta_B$ ярко выраженный пик с полушириной $\sim 20''$. Резонансное поглощение γ -лучей вдали от θ_B составляет $\sim 23\%$, а в области θ_B падает до $\sim 5\%$. Таким образом налицо резкое уменьшение ядерного резонансного поглощения γ -лучей. Коэффициент поглощения $\mu_{\text{я}}$ вдали от θ_B равен 500 см^{-1} и уменьшается до 60 см^{-1} вблизи θ_B , то есть в 8,4 раза. Неполное подавление ядерного поглощения ($\epsilon = 5\%$, а не 0 при $\theta = \theta_B$) объясняется главным образом недостаточно малой угловой расходимостью падающих на кристалл γ -лучей. 2) зависимость $T_{\text{рез}}(\theta)$ имеет несколько асимметричную дисперсионную форму, причем уровень $T_{\text{рез}}$ справа и слева от θ_B различен. Это объясняется тем, что исследованный нами кристалл недостаточно толстый. Согласно теории [1] при дифракции наряду со слабо поглощаемым волновым состоянием образуется сильно поглощаемое состояние, которое не полностью поглощается в нашем кристалле и создает асимметрию в $T_{\text{рез}}(\theta)$.

Для нашего кристалла $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$ отношение амплитуд рассеяния γ -лучей на ядрах и электронах равно $f_{\text{яд}} / f_{\text{эл}} = 0,08$. Поэтому волновое поле в кристалле формируется в основном за счет дифракции на электронах. Сейчас мы проводим измерения на кристалле $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ из обогащенного ($\sim 85\% \text{Fe}^{57}$) железа. В этом случае $f_{\text{яд}} / f_{\text{эл}} \approx 10$ и эффект аномального пропускания резонансных γ -лучей будет обусловлен главным образом дифракцией на ядрах.

Авторы благодарят Ю.Кагана, А.М.Афанасьева и В.Кона за полезные обсуждения и М.А.Волкова, И.Б.Филиппова и С.А.Александровского за участие в эксперименте.

Поступила в редакцию
13 апреля 1970г.

Литература

- [1] А.М.Афанасьев, Ю.Каган. ЖЭТФ, 48, 327, 1965; Ю.Каган, А.М.Афанасьев. ЖЭТФ, 49, 1504, 1965.
 - [2] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Ю.Ф.Пажин. Письма в ЖЭТФ, 8, 611, 1968.
-