

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ НЕУПРУГОГО КАНАЛА ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ЯДЕРНОМ РАССЕЯНИИ γ -ЛУЧЕЙ В СОВЕРШЕННОМ МОНОКРИСТАЛЛЕ

*В.К.Войтовецкий, И.А.Корсунский, А.И.Новиков,
В.Ф.Лажин*

Ранее нами был обнаружен и исследован частный случай эффекта подавления неупругого канала ядерной реакции для γ -лучей [1], предсказанного теоретически Каганом и Афанасьевым на основе развитых ими представлений о взаимодействии резонансного излучения с ядрами в идеальном кристалле [2].

Сущность этого эффекта заключается в том, что при рассеянии резонансного излучения в идеальном кристалле, когда выполнены условия Брэгга, амплитуда образования составного ядра должна обратиться в нуль и, как следствие, должен быть подавлен канал ядерной реакции, в случае γ -лучей – электронная конверсия. Этот процесс строго реализуется для одной поляризации γ -квантов и при определенных условиях приближенно – для другой. Геометрия эксперимента в [1] была специально выбрана так (малый угол рассеяния), что эффект подавления имел место и для второй поляризации.

В [1] было обнаружено существенное ослабление резонансного поглощения мессбауэровского излучения, проходящего под углом Брэгга через монокристалл олова естественного изотопного состава¹). В таком кристалле когерентная часть амплитуды рассеяния γ -квантов на ядрах в резонансе $|f_{\text{я}}^{\text{р}}|$ меньше когерентной части амплитуды электронного рассеяния $f_{\text{э}}$ и формирование волновых полей связано в значительной степени с рассеянием на электронах.

Естественно, что наибольший интерес представляет обнаружение подавления неупругого канала в условиях, когда определяющим является ядерное резонансное рассеяние ($|f_{\text{я}}^{\text{р}}| > f_{\text{э}}$). Этот эффект возможен только при условии, что возбуждение ядер в кристалле носит коллективный характер, возбуждение "размазано" по кристаллу [3].

¹) В условиях эксперимента для резонансного излучения $\mu_{\text{я}}t = 64$. ($\mu_{\text{я}}$ – коэффициент резонансного ядерного поглощения, t – толщина кристалла).

С целью обнаружения эффекта подавления неупругого канала ядерной реакции для этого случая, а также для исследования всех возможных механизмов формирования волновых полей в кристалле, приводящих к подавлению неупругих каналов, мы провели эксперимент с совершенным монокристаллом олова, содержащим 88% Sn^{119} . (В кристалле с таким содержанием $\text{Sn}^{119} |f_{\text{н}}^{\text{р}}| > f_{\text{э}}$).

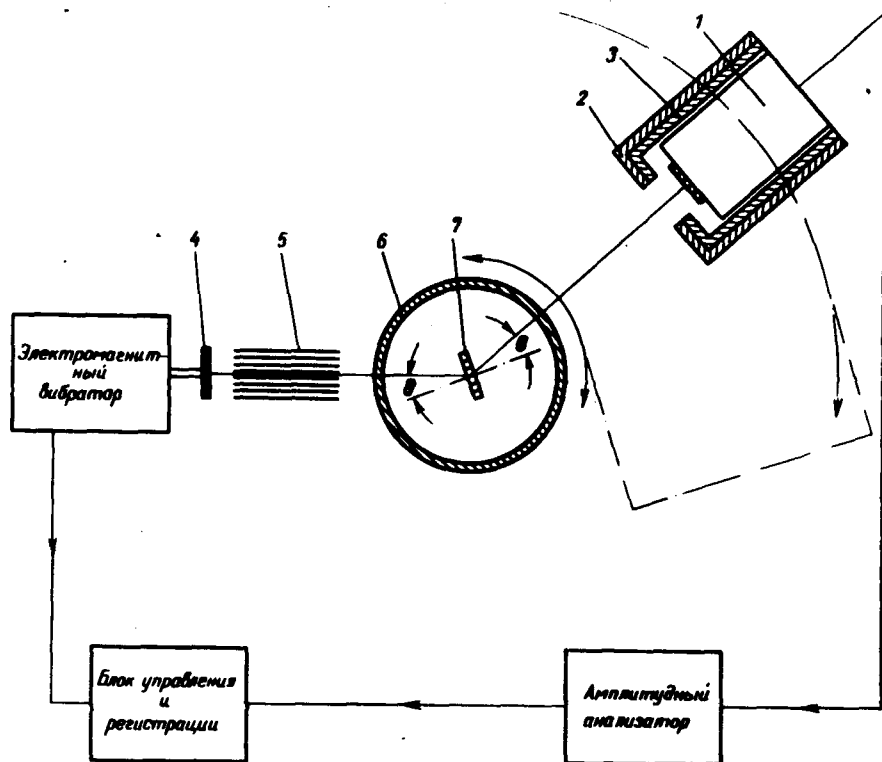


Рис.1. Схема эксперимента: 1 – спинтилляционный счетчик; 2 – свинцовый экран; 3 – стальной экран; 4 – источник $\text{Sn}^{119\text{m}}\text{O}_2$; 5 – многощелевой коллиматор; 6 – вакуумная камера криостата; 7 – кристалл Sn^{119}

Схема эксперимента показана на рис. 1. В геометрии Лауэ исследовалась интенсивность отраженного пучка в зависимости от относительной скорости источника γ -лучей и кристалла Sn^{119} . Экспериментальное устройство идентично с приведенным в [1], но кристалл-монокроматор заменен многощелевым коллиматором с угловой расходимостью $5'$, позволившим без потери интенсивности выделить в отраженном пучке γ -излучение с энергией 23,8 кэв. Толщина кристалла 420 мк, кристалл выращен из специально очищенного материала. Плоскости отражения (200). Температура кристалла 90° К.

На рис. 2 приведен экспериментальный мессбауэровский спектр отраженного излучения α . (Пунктирная кривая соответствует расчету на

основе динамической теории [2]¹⁾). Он резко отличен от мессбауэровского спектра поглощения b , полученного для того же кристалла, но при падении γ -лучей на кристалл под углом, отличным от угла Брэгга. Различие этих двух спектров четко демонстрирует эффект подавления неупругого канала ядерной реакции. Именно с этим эффектом, очевидно, связана избыточная интенсивность прошедшего через кристалл излучения в спектре a (область A на рис. 2).

Особый интерес представляет сравнение кривых в области резонанса ($|f_{\text{я}}| \geq f_{\text{э}}$, $\mu_{\text{я}} \gg \mu_{\text{э}}$, $\mu_{\text{э}}$ – коэффициент фотопоглощения). В первую очередь отметим тот факт, что в этой части спектра a , где независимое поглощение на отдельных ядрах максимально (для резонансной энергии $\mu_{\text{я}} t = 640$), а формирование волновых полей происходит главным образом за счет ядерного рассеяния, поглощение существенно ослаблено. Это может иметь место только вследствие подавления неупругого канала, связанного в данном случае, как отмечалось, с коллективным характером возбуждения ядер.

Резкая асимметрия поглощения вблизи резонанса в спектре a обусловлена изменением полной амплитуды рассеяния за счет интерференции электронного и ядерного рассеяний. Слева от резонанса при энергетическом сдвиге $\Delta E = 3,3\Gamma/2$ (Γ – естественная ширина), действительная часть полной амплитуды рассеяния должна обратиться в нуль, что резко уменьшает эффект подавления. И действительно, как видно из рисунка, при этом значении сдвига по энергии резонансное поглощение в спектре a максимально и в пределах точности измерений совпадает с поглощением на отдельных ядрах (кривая b). Справа от резонанса, наоборот, интенсивность прошедшего излучения в спектре a возрастает, что вызвано увеличением суммарной амплитуды. Подчеркнем, что независимое поглощение на отдельных ядрах, хотя и в этом случае электронное и ядерное рассеяния интерферируют, симметрично относительно положения резонанса (кривая b).

Та область спектра, где $|f_{\text{я}}| < f_{\text{э}}$, но $\mu_{\text{я}} \gg \mu_{\text{э}}$, соответствует механизму эффекта, обнаруженного в [1], когда резонансное поглощение подавлено, но формирование волновых полей в кристалле происходит в основном за счет рассеяния на электронах. По мере удаления от резонанса все большую роль начинает играть атомный аналог эффекта подавления неупругого канала ядерной реакции – эффект Боррманна (область B на рис. 2). В эффекте Боррманна волновые поля формируются при рассеянии на электронных оболочках и подавлен фотоэффект (при чисто ядерном и смешанных механизмах формирования волновых полей фотоэффект также подавлен). Для немессбауэровской части γ -излучения эффект Боррманна, естественно, имеет место при любом значении энергетического сдвига (область B на рис. 2).

Теоретическая кривая воспроизводит все особенности экспериментально наблюдаемого мессбауэровского спектра отраженного излучения. Небольшое расхождение расчетной и экспериментальной зависимостей возможно связано с не абсолютной идеальностью кристалла.

¹⁾Расчет выполнен А.М.Афанасьевым и В.Г.Коном на ЭВМ.

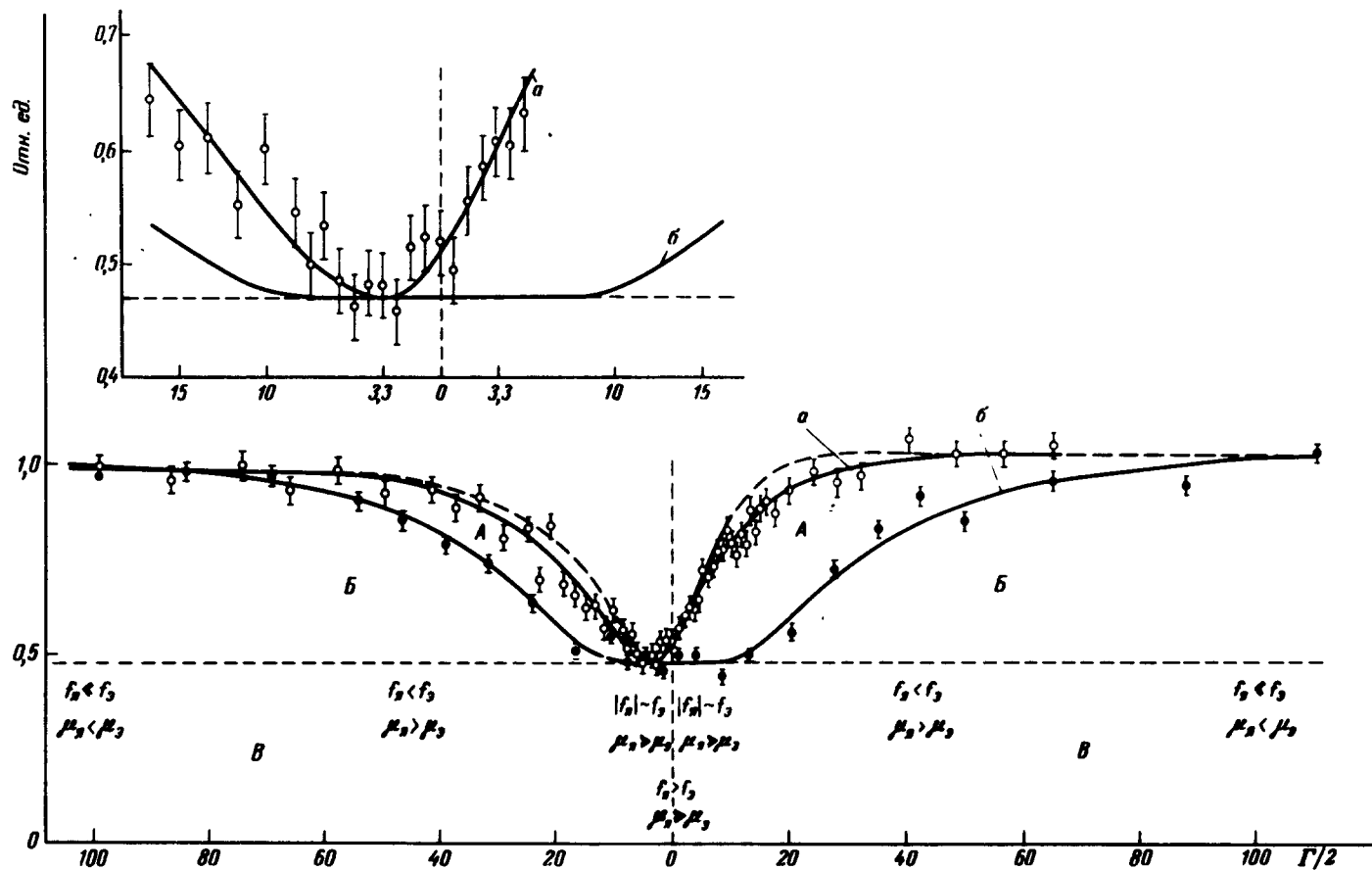


Рис.2. Зависимость интенсивности γ -излучения Sn^{119m} , отраженного при Лауэ-дифракции в монокристалле Sn^{119} *a* и прошедшего через кристалл под углом, отличным от угла Брэгга *б*, от относительной скорости источника и кристалла. Пунктирная кривая – расчет [2], сплошные кривые *a* и *б* проведены по экспериментальным точкам

Авторы благодарны А.П.Александрову за интерес к работе, Ю.М.Кагану и А.М.Афанасьеву за обсуждения и полезные советы, а также Р.С.Силакову, А.А.Сироткину, П.Ф.Самарину, И.А.Семинову и Ю.Н.Пшонкину за участие в проведении экспериментов.

Поступило в редакцию
16 декабря 1969 г.

Литература

- [1] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Ю.Ф.Пажин. Письма в ЖЭТФ, 8, 611, 1968; *Phys.Lett.*, 28A, 779, 1969.
 - [2] А.М.Афанасьев, Ю.Каган, ЖЭТФ, 48, 327, 1965; Ю.Каган, А.М.Афанасьев, ЖЭТФ, 49, 1504, 1965.
 - [3] Ю.Каган, А.М.Афанасьев. ЖЭТФ, 50, 271, 1966; А.М.Афанасьев, Ю.Каган. Письма в ЖЭТФ, 2, 130, 1965.
-