

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ НЕУПРУГОГО КАНАЛА ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РЕЗОНАНСНОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ С ЯДРАМИ И ЭЛЕКТРОНАМИ В МОНОКРИСТАЛЛЕ

В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, И.Ф.Пажин

При резонансном взаимодействии γ -квантов с ядрами, обладающими низколежащими уровнями, распад возбужденного ядра может реализовываться через различные каналы. Если отношение между шириной упругого и неупругого каналов $\Gamma_1/\Gamma_2 \ll 1$, то, поскольку величина резонансного сечения велика, уже очень тонкий слой вещества практически полностью поглощает пучок γ -квантов с конверсией их в электроны. Характер ядерных процессов, в частности, соотношение между упругой и неупругой шириной существенно изменяется, если взаимодействие ядер с γ -квантами становится коллективным.

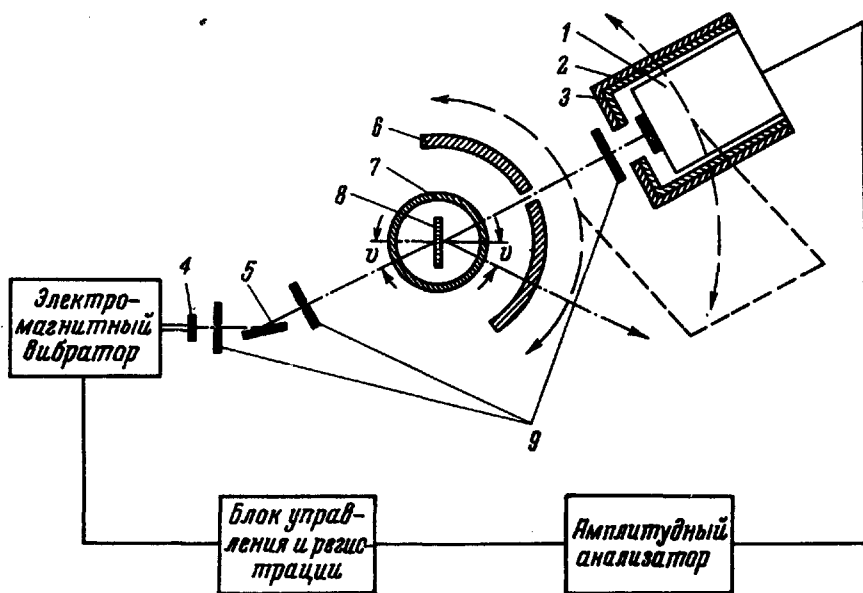


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – сцинтилляционный счетчик; 2 – свинцовый экран; 3 – стальной экран; 4 – источник $\text{Sn}^{119\text{m}}$; 5 – монохроматор; 6 – защита из железа; 7 – вакуумная камера криостата; 8 – кристалл Sn; 9 – диафрагмы

В идеальном кристалле при выполнении условий Брэгга состоянию с определенной энергией соответствует суперпозиция двух плоских волн. При определенных условиях амплитуды образования возбужденного ядра, а в простейших случаях напряженность электрического или магнит-

ного поля, для падающей и дифрагированной волн могут оказаться равными по величине и противоположными по знаку. При резонансном рассеянии γ -квантов на ядрах рассеянная волна когерентна первичной волне [1]. Следовательно, в рассматриваемом случае вероятность образования возбужденного ядра станет равной нулю и неупругий канал рассеяния будет полностью подавлен. Такой, парадоксальный для обычных представлений ядерной физики, результат строго обосновывается динамической теорией резонансного взаимодействия γ -излучения и нейтронов с регулярной системой ядер [2, 3]¹⁾.

Подавление неупругого канала ядерной реакции, приводящее к прозрачности ядер для резонансного γ -излучения, нами экспериментально обнаружено при исследовании Лауэ-дифракции в совершенном монокристалле олова естественного изотопного состава.

Схема эксперимента показана на рис. 1. В экспериментальной установке применен двукристалльный γ -спектрометр с модернизированным гониометром ГУР-4 и мёссбауэровский спектрометр с постоянной скоростью. Положение отражающих кристаллов (1 — 1) — Брэгг — Лауэ. Выделенное монохроматором излучение ²⁾ с энергией 23,8 кэв (источник излучения $\text{Sn}^{119\text{m}}\text{O}_2$) рассеивалось оловянным монокристаллом. Рассеянный и прошедший через кристалл пучки γ -лучей регистрировались сцинтилляционным счетчиком с одноканальным анализатором амплитуд. В сцинтилляционном счетчике применен кристалл $\text{NaI}(\text{Tl})$ и фотоумножитель ФЭУ-74, обладающий высокой чувствительностью и малым уровнем шумов. Собственный фон счетчика составлял 0,5 мкп/мин.

Использованные в экспериментах монокристаллы олова были выращены на ориентированных затравках в оптически полированных формах [5]. На значительных участках этих кристаллов наблюдался эффект Боррманна [6]. Длительный отжиг при температуре 224°C расширил область совершенной структуры практически на весь кристалл. Полученные с этими кристаллами экспериментальные мёссбауэровские спектры γ -излучения $\text{Sm}^{119\text{m}}$ при Брэгг-дифракции [7], а также от-

¹⁾ В [2] рассмотрен идеализированный случай, когда γ -излучение взаимодействует только с ядрами. В реальных условиях существенный (при незначительном содержании мёссбауэровского изотопа даже основной) вклад в формирование волновых полей вносит также рассеяние на электронных оболочках атомов [4].

²⁾ Угловая расходимость пучка γ -лучей $\sim 5'$.

носительные интенсивности рентгеновского излучения $Mo K_{\beta}$, рассеянного в различных порядках отражения [1], близки к расчетным для идеальных кристаллов.

На рис. 2 приведены зависимости интенсивности пропущенного I и рассеянного II излучения от угла поворота исследуемого кристалла

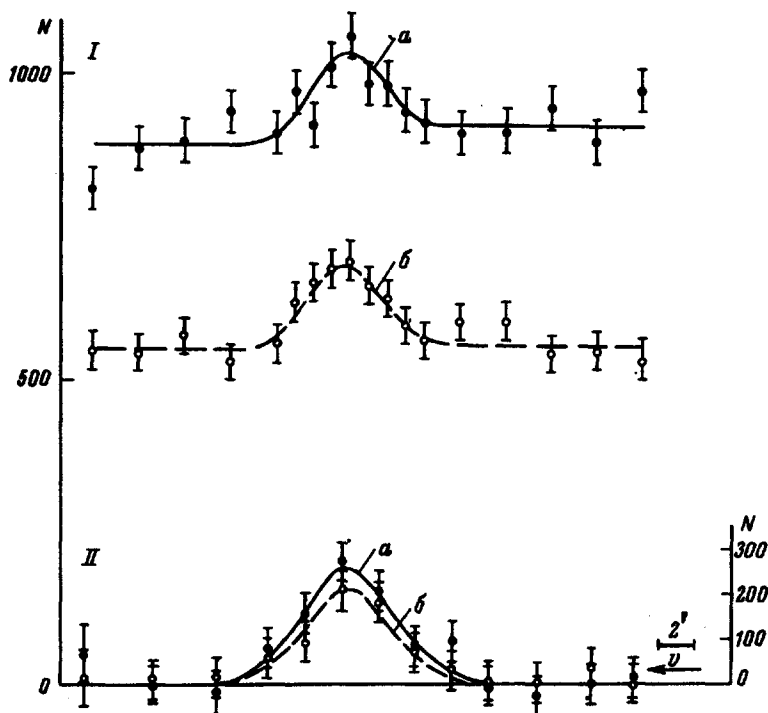


Рис. 2. Зависимость интенсивности пропущенного I и рассеянного II излучений от угла поворота кристалла около угла Брэгга при Лауэ-дифракции γ -излучения Sn^{119m} в монокристалле олова естественного изотопного состава: *a* – при относительной скорости источника и поглотителя 10 мм/сек; *b* – при резонансной скорости (2,55 мм/сек).

около угла Брэгга. Температура рассеивателя $120^{\circ}K$. Толщина кристалла 400 мк. Плоскости отражения (200). Кривые I, *a* и II, *a* получены при далекой от резонанса относительной скорости источника и рассеивателя (10 мм/сек) и соответствуют аномальному пропусканию γ -лучей электронными оболочками атомов. Кривые I, *b* и II, *b* получены в условиях резонанса (химический сдвиг для $Sn^{119}O_2$ составляет $20,5 \cdot 10^{-8}$ эв или 2,55 мм/сек). Каждая точка экспериментальных кривых представляет собой полную интенсивность прошедшего через кристалл или рассеянного γ -излучения.

Когда углы между направлениями падающего излучения и отражающей кристаллографической плоскостью значительно отличаются от угла Брэгга, резонансное поглощение в кристалле составляет $(38,5 \pm 2)\%$. мёссбауэровская компонента излучения, проходящего через кристалл аномально (часть этого излучения представлена на кривых пиком), поглощается значительно слабее. В области углов, соответствующих пику на кривых (эта область ограничена отклонениями среднего угла падения пучка от угла Брэгга, лежащими в пределах расходимости пучка) даже для всего излучения, падающего на кристалл, уменьшение резонансного поглощения в среднем достигает 10%. При угловой расходимости пучка $\sim 5^\circ$ большая часть излучения падает на кристалл под углами, далекими от угла Брэгга, и проходит, поглощаясь нормально, что резко занижает эффективное значение ослабления поглощения¹⁾. Ослабление резонансного поглощения при таком положении кристалла, когда для некоторой части падающего на кристалл излучения выполняется условие Брэгга, является прямым доказательством существования эффекта подавления неупругого канала ядерной реакции.

Для количественной оценки эффекта подавления неупругого канала ядерной реакции были сопоставлены интенсивности дифрагированного пучка вне резонанса и в резонансе (кривые II, а и II, б); в этом случае влияние излучения, падающего на кристалл под углами, далекими от угла Брэгга, совершенно исключено. Для повышения статистической точности просуммированы интенсивности дифрагированного излучения для всех углов на кривых II, а и II, б. Экспериментальное значение резонансного поглощения в дифрагированном пучке составляет $(22,6 \pm 6)\%$, что хорошо согласуется с теоретическим значением этой величины для монокристалла олова. За счет подавления неупругого канала ядерной реакции резонансное поглощение ослабляется в 1,7 раза.

Следует отметить, что подавление неупругого канала ядерной реакции обнаружено в монокристалле олова, обладающем анизотропией эффекта Мёссбауэра. В таком кристалле при выполнении условия Брэгга ядра не становятся узлами магнитного поля (переход в $\text{Sn}^{119} - \text{M1}$), но для γ -квантов с одной поляризацией вероятность образования возбужденного ядра равна нулю. Обнаруженный эффект не имеет места в нерегулярных системах и, следовательно, впервые экспериментально по-

¹⁾ На величине эффективного значения ослабления поглощения сказывается также отклонение кристалла от идеальности.

казано, что результат ядерной реакции существенно зависит от того, как ядра расположены в пространстве.

Авторы благодарны Ю.М.Кагану и А.М.Афанасьеву за обсуждения, И.П.Перстневу за выполнение расчетов, а также А.А.Сироткину, П.Ф.Самарину, И.А.Семинову и Ю.Н.Пшонкину, участвовавшим в измерениях.

Поступило в редакцию

9 сентября 1968 г.

Литература

- [1] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Ю.Ф.Пажин. Phys. Lett., 27A, 244, 1968; ЖЭТФ, 54, 1361, 1968.
- [2] А.М.Афанасьев, Ю.М.Каган. ЖЭТФ, 48, 327, 1965.
- [3] Ю.М.Каган, А.М.Афанасьев. ЖЭТФ, 49, 1504, 1965.
- [4] Ю.М.Каган, А.М.Афанасьев, И.П.Перстнев. ЖЭТФ, 54, 1530, 1968.
- [5] Ю.В.Шарвин, В.Ф.Гантмахер. ПТЭ, 6, 165, 1963.
- [6] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Ю.Ф.Пажин. Phys. Lett., 27A, 207, 1968.
- [7] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Ю.П.Пажин. Письма ЖЭТФ, 8, 563, 1968.