

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 314 – 318

20 сентября 1970 г.

**РЕЗОНАНСНОЕ БРЭГГОВСКОЕ РАССЕЙЯНИЕ γ -ЛУЧЕЙ
НА ЯДРАХ В ВЫСОКИХ ПОРЯДКАХ ОТРАЖЕНИЯ
И ПОЛУЧЕНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ ПУЧКОВ
ЧИСТО МЕССБАУЭРОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, Л.Ф.Пажин,
Р.С.Силаков*

При переходе к высоким порядкам отражения интенсивность γ -излучения, резонансно рассеянного на ядрах в монокристалле, уменьшается по сравнению

с первым порядком только за счет изменения φ фактора Лоренца ¹⁾, в то время как сечение рэлеевского рассеяния на электронах падает очень резко. Это обстоятельство позволяет при ослаблении интенсивности отраженного ядрами излучения всего в 2 – 4 раза по сравнению с первым порядком практически полностью подавить рассеяние на электронах и наблюдать только ядерное рассеяние.

Дифракция на ядрах в высоких порядках отражения позволяет также получить направленные пучки чисто мессбауэровского излучения.

Схема экспериментальной установки для наблюдения резонансного брэгговского рассеяния γ -лучей монокристаллом изображена на рис. 1.

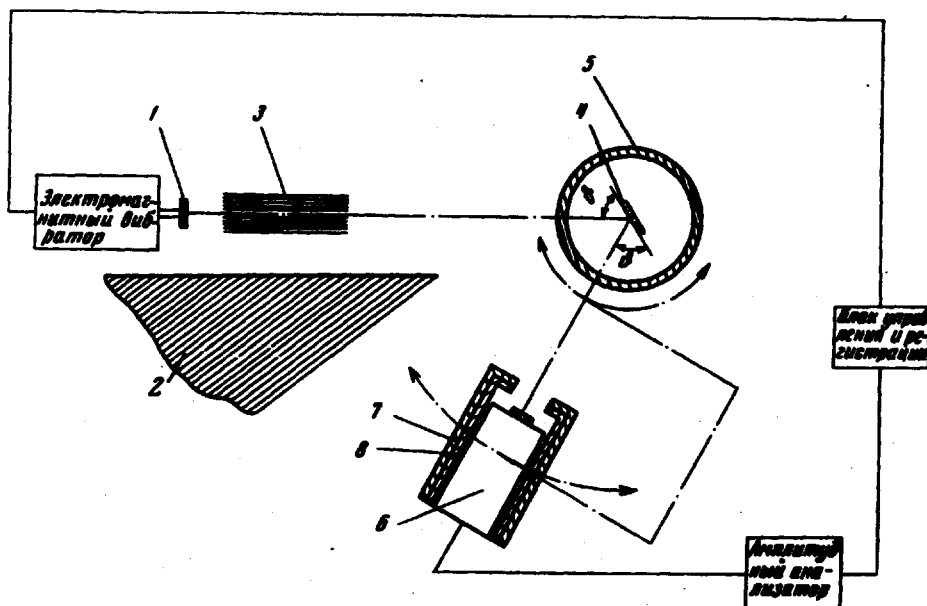


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – источник $\text{Sn}^{119\text{m}}\text{O}_2$, 2 – свинцовая защита, 3 – многощелевой коллиматор, 4 – кристалл-рассеиватель Sn^{119} , 5 – вакуумированная камера криостата, 6 – сцинтилляционный счетчик, 7 – свинцовый экран, 8 – стальной экран

Экспериментальное устройство представляет собой сочетание мессбауэровского спектрометра с постоянной скоростью и дифрактометра. Коллимированный пучок γ -квантов (источник излучения $\text{Sn}^{119\text{m}}\text{O}_2$) падает на монокристалл Sn^{119} под углом Брэгга. Поверхности кристалла параллельны кристаллографические плоскости (020). Отраженное кристаллом излучение регистрируется сцинтилляционным счетчиком (сцинтиллятор $\text{NaJ}(\text{I})$, φ отомножитель $\varphi 33-85$). Кристалл-рассеиватель закреплен на медном хладопроводе в вакуумированной камере криостата.

¹⁾ Сечение резонансной φ -флуоресценции от угла рассеяния зависит слабо.

На рис. 2 показан дифракционный пик, полученный при ядерном рассеянии в резонансе γ -лучей Sn^{119m} совершенным монокристаллом Sn^{119} в десятом порядке отражения (угол Брэгга 63°) при температуре 100°K . Полуширина дифракционного пика определяется, главным образом, угловой расходимостью коллимированного пучка ($20'$). При относительной скорости источника и рассеивателя (v), далекой от резонанса, дифракционный пик отсутствует. Аналогичный вид имеет угловая зависимость интенсивности отраженного излучения в одиннадцатом порядке отражения (угол Брэгга $79^\circ 30'$).

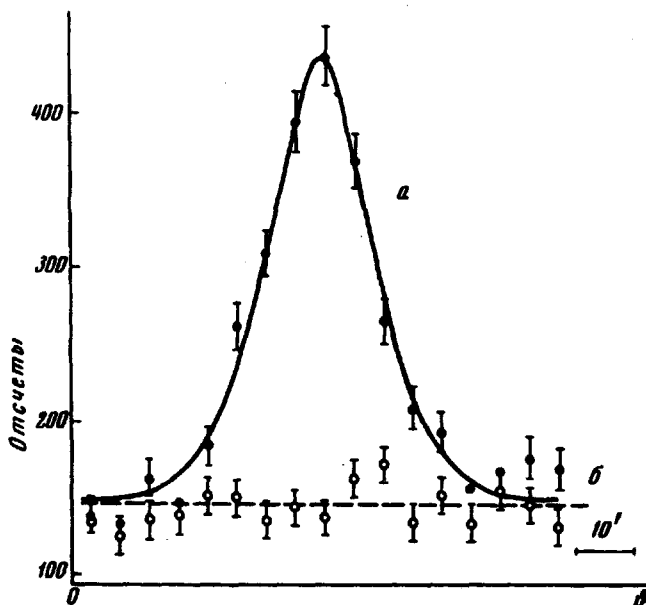


Рис. 2. Дифракция резонансного γ -излучения в совершенном монокристалле в десятом порядке отражения. Угловая зависимость интенсивности рассеянного излучения в области $\nu_B = 63^\circ$:
a — при резонансной скорости ($2,55 \text{ м/сек}$),
б — при скорости 13 м/сек

На рис. 3 приведены экспериментальные мессбауэровские спектры рассеяния (зависимость интенсивности рассеянного излучения от относительной скорости источника и рассеивателя) в десятом порядке отражения для монокристаллической пленки Sn^{119} толщиной 1 мк ($\mu t = 1,5$; μ — коэффициент резонансного поглощения, t — толщина кристалла) при 100°K и для совершенного монокристалла Sn^{119} толщиной 420 мк при 100 и 210°K . Кристаллы изготовлены из специально очищенного материала. На рис. 3 показаны также мессбауэровские спектры рассеяния для идеально мозаичных кристаллов Sn^{119} (толщина кристаллов 5 и 16 мк) при температуре 100°K .

Динамический характер резонансного взаимодействия γ -лучей с ядрами в толстом идеальном кристалле существенно сказывается на характере мессбауэровского спектра излучения, отраженного под углом Брэгга. В отличие от случая тонкого кристалла, для которого спектр рассеяния представляет собой узкую лоренцовскую линию с полушириной, близкой к 2Γ (Γ — естественная

ширина), в толстом идеальном кристалле спектр не имеет лоренцевской формы и описывается при больших значениях v зависимостью $1/v$ с пологими "хвостами" [1].

Как видно из рис. 3, в то время как в случае тонкого кристалла и кристаллов толщиной 5 и 16 мк экспериментальные спектр хорошо согласуются с расчетом для кристаллов идеально мозаичной структуры, для совершенного кристалла толщиной 420 мк форма спектра отлична от предсказываемого расчетом, выполненным в кинематическом приближении ²⁾.

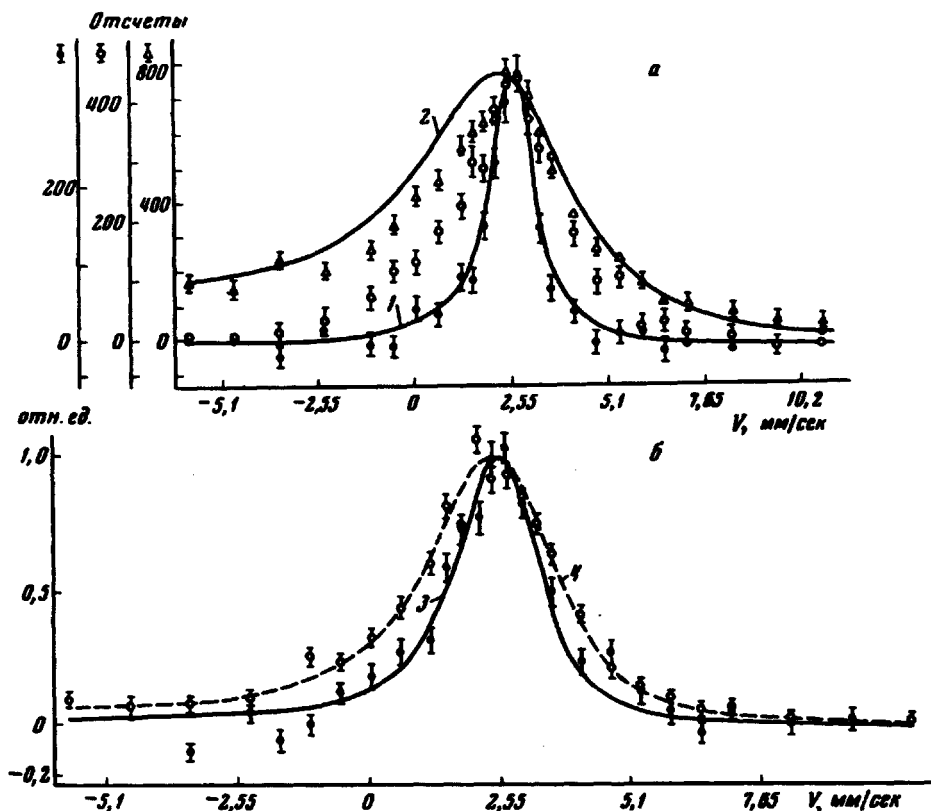


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные (в кинематическом приближении) мессбауэровские спектры рассеяния при брэгговском отражении в десятом порядке: а — 1 и 2 — для тонкого кристалла (1 мк), $T = 100^\circ\text{K}$; 3 и 4 — для совершенного кристалла толщиной 420 мк, $T = 210^\circ\text{K}$; 5 и 6 — для совершенного кристалла толщиной 420 мк, $T = 100^\circ\text{K}$; б — 1 и 2 — для мозаичного кристалла (5 мк), $T = 100^\circ\text{K}$; 3 и 4 — для мозаичного кристалла (16 мк), $T = 100^\circ\text{K}$

²⁾ Расчет спектра, соответствующий динамической теории, связан со значительными трудностями, так как для отражений $(20, 0, 0)$ и $(22, 0, 0)$ двухволновое приближение, которое обычно используется в динамической теории, несправедливо. Однако следует отметить, что сравнение формы мессбауэровских спектров в этих порядках отражения со строгим расчетом представляет самостоятельный интерес, позволяя экспериментально проверить результаты динамической теории резонансного взаимодействия γ -лучей с регулярной системой ядер не только в двухволновом приближении.

Для мессбауэровских спектров на рис. 3 характерна резкая асимметрия. Эта асимметрия является следствием интерференции резонансного ядерного и электронного рэлеевского рассеяния: для случая, когда когерентная часть амплитуды резонансного рассеяния $-f_{\text{Я}}^{\text{Р}}$ очень велика по сравнению с амплитудой электронного рассеяния $-f_{\text{Э}}$. (В десятом порядке отражения для одной из поляризаций $f_{\text{Я}}^{\text{Р}}/f_{\text{Э}} = 150$, для другой $f_{\text{Я}}^{\text{Р}}/f_{\text{Э}} = 50$.) Рассеяние наблюдается под углом Брэгга $\nu_{\text{Б}} > \pi/4$, поэтому в полном сечении знак перед слагаемым, соответствующим интерференции, меняется, и асимметрия спектра противоположна асимметрии, наблюдавшейся в низких порядках отражения [2]. При повышении температуры асимметрия в мессбауэровских спектрах рассеяния проявляется значительно слабее.

Авторы благодарны Ю.М.Кагану и А.М.Афанасьеву за обсуждения, Б.Г.Кону за расчеты на ЭВМ, а также П.Ф.Самарину, И.А.Семинову и Ю.Н.Пшонкину за участие в измерениях.

Поступила в редакцию
19 августа 1970 г.

Литература

- [1] Ю.Каган, А.М.Афанасьев, И.И.Перстнев. ЖЭТФ, 54, 1530, 1968.
[2] Б.К.Боктоевский, И.Л.Корсунский, А.И.Новиков, Ю.Ф.Пажин. Phys. Lett., 27A, 244, 1968; Б.К.Боктоевский, И.Л.Корсунский, А.И.Новиков, Ю.Ф.Пажин. ЖЭТФ, 54, 1361, 1968.
-