

# БРЭГГОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ МЁССБАУЗРОВСКОГО $\gamma$ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИДЕАЛЬНОМ КРИСТАЛЛЕ

В.В.Склярский, Г.В.Смирнов, А.Н.Артемьев,  
 Б.Шестак, С.Кадечкова

В последние годы в работах Ю.М.Кагана и А.М.Афанасьева [1, 2] была развита теория когерентных явлений при резонансном взаимодействии  $\gamma$ -квантов с ядрами в регулярном кристалле. Было показано, что возбуждение ядер в таких кристаллах носит коллективный характер, что влечет за собой ряд интересных физических явлений [1 - 3].

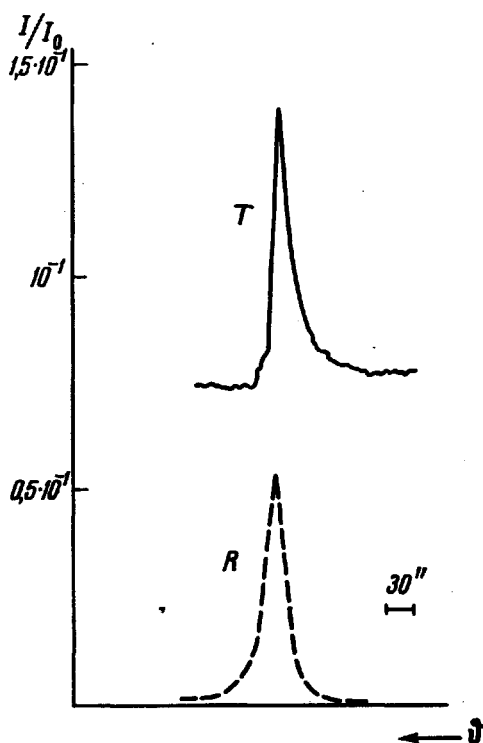


Рис.1. Лауэ-дифракция рентгеновского излучения Mo K на плоскостях (110) кристалла  $Fe^{57} + 3\% Si$ .

----- отраженное излучение ;  
 ————— прошедшее излучение

Для экспериментального исследования этих явлений необходимо иметь кристаллы с высокой степенью совершенства на основе ядер мёссбауэровского типа. Весьма подходящим является изотоп  $Fe^{57}$ . Действительно, как известно, в настоящее время можно получать почти идеальные монокристаллы железа с добавкой кремния. С другой стороны, малая энергия  $\gamma$ -кванта в случае  $Fe^{57}$  в сочетании с большой вероятностью эффекта Мёссбауэра в существенной степени облегчают условия наблюдения когерентных эффектов.

В качестве первого этапа работы мы провели исследование брэгговского рассеяния  $14 \text{ кэв}$  мёссбауэровского излучения ядер  $\text{Fe}^{57}$  на идеальном кристалле  $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$  из естественного железа. Нам удалось экспериментально показать, что рассеяние мёссбауэровского  $\gamma$ -излучения на идеальном кристалле резко отличается от рассеяния на мозаичном кристалле в соответствии с предсказаниями теории [2] <sup>1)</sup>.

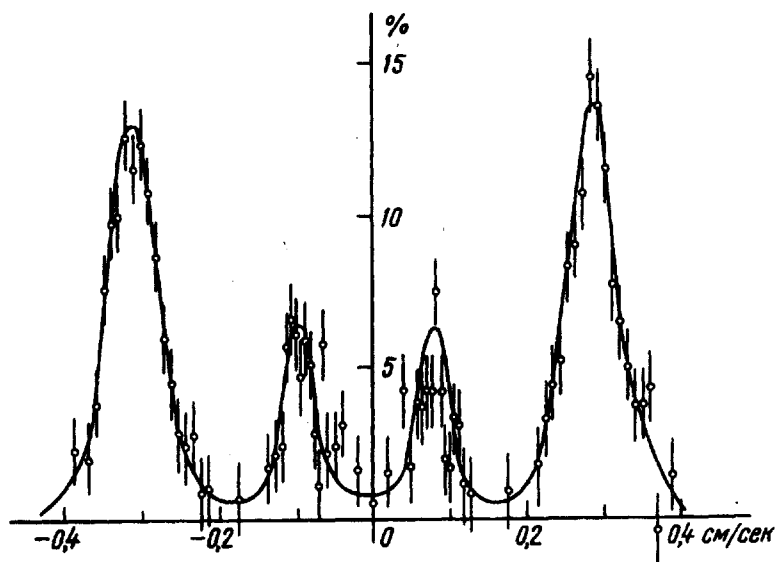


Рис.2. Центральная часть мёссбауэровского спектра идеального кристалла  $\text{Fe} + 3\% \text{Si}$  (образец № 1), помещенного в магнитное поле. Измерение проводилось в геометрии рассеяния под углом  $90^\circ$ . Внешние линии соответствуют переходам  $\Delta\pi = 0$

Для исследования были приготовлены три образца. Первый вырезан из монокристалла, полученного методом бестигельной зонной плавки, с последующим длительным отжигом при  $t = 1420^\circ\text{C}$  [9, 10]. Второй и третий вырезаны из одного зерна, полученного методом вторичной рекристаллизации. Для образования мозаичной структуры поверхность третьего образца подверглась механическому разрушению. Во всех образцах на поверхность выходила плоскость (110). По фактору поглощения для исследуемого излучения все три образца были толстыми

<sup>1)</sup> Рассеяние на мозаичном кристалле интенсивно изучалось, главным образом, с точки зрения выявления интерференции между резонансным ядерным и релеевским электронным рассеянием в работах Блэка и др. [4 – 7], а также позднее в работе Войтовецкого и др. [8], где четкая картина интерференции была выявлена при исследовании рассеяния на кристаллах олова.

( $\mu t > 10$ ). Степень совершенства полученных образцов определялась на двухкристальном рентгеновском спектрометре, собранном на основе дифрактометра ДРОН-1. Использовались излучение  $\text{Mo K}_{\alpha_1}$ , кристалл монохроматор-кварц (10 $\bar{1}$ 1). Измерялись интегральные интенсивности для отражения (110) и ширина кривых качания. Результаты измерений сведены в таблицу, где они сравниваются с теоретическими значениями, вычисленными из предположения идеальной и мозаичной структуры кристаллов.

№ Образца	Интегральные интенсивности <sup>1)</sup> $10^6$		Ширина кривых качания	
	Вычислено	Измерено	Вычислено <sup>1)</sup>	Измерено
1	51	$50 \pm 1$	17,2"	19"
2	—	$113 \pm 2$	—	3'
3	315	$202 \pm 4$	—	2°

Из таблицы видно, что взаимодействие излучения  $\text{Mo K}_{\alpha_1}$  ( $\lambda = 0,709 \text{ \AA}$ ) с образцом 1 носит ярко выраженный динамический характер. Аналогичная ситуация должна иметь место и для исследуемого мёссбауэровского излучения ( $\lambda = 0,86 \text{ \AA}$ ). Из этого следует, что образец 1 в хорошем приближении можно рассматривать как регулярную систему рассеивателей. К этому надо добавить, что на более тонком образце ( $\mu t = 2,5$ ), вырезанном из того же монокристалла рядом с образцом 1, нам удалось наблюдать эффект Бормана при Лауэ-дифракции на плоскостях (110). На рис. 1 приведены полученные кривые качания для прошедшего и отраженного пучков.

Поведение образца 3 во многом аналогично поведению мозаичного кристалла.

В образце 2 элементы субструктуры разориентированы и имеют размеры достаточно большие, чтобы первичная экстинкция играла заметную роль. По степени совершенства этот образец занимает промежуточное положение между идеальным и мозаичным.

Для исследования дифракции мёссбауэровского излучения на дифрактометре ДРОН-1 был смонтирован вибратор, входящий в состав мёссбауэровского спектрометра, работающего в режиме постоянных скоростей. Вибратор приводил в движение источник  $\text{Co } ^{57}$  в матрице Pd,

<sup>1)</sup> с учетом неполной идеальности монохроматора кварца.

размером  $10 \times 1 \text{ мм}^2$ , активностью 20 мкюри, дающий нерасщепленную линию. Все измерения проводились при комнатной температуре.

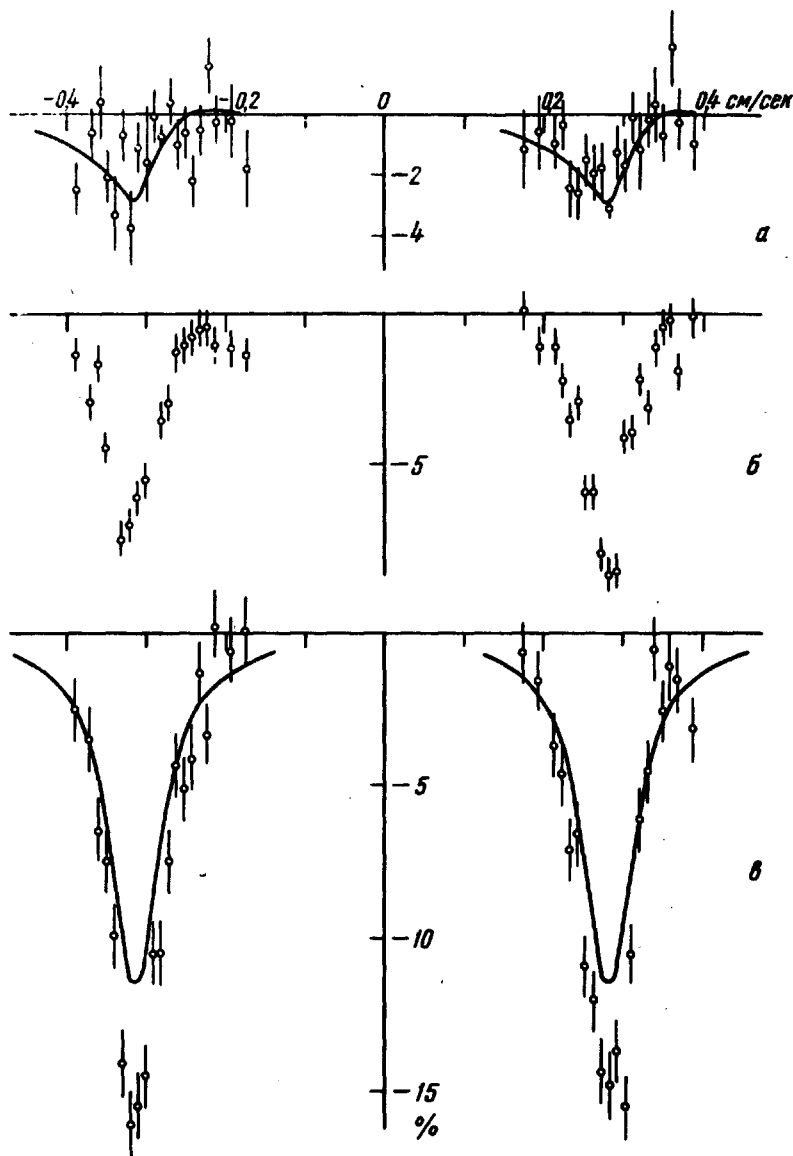


Рис.3. Мёссбауэровские спектры (линии  $\Delta m = 0$ ), полученные при рассеянии излучения под углом Брэгга  $12^\circ 20'$  для различных образцов Fe + 3% Si, помещенных в магнитное поле: а – идеальный кристалл (образец 1); б – реальный кристалл (образец 2); в – мозаичный кристалл (образец 3)

Пучок  $\gamma$ -квантов с горизонтальной расходимостью  $0,5^\circ$  и вертикальной расходимостью  $6^\circ$  падал на исследуемый образец. Мёссбауэровский спектр для наших рассеивателей состоит из 6 линий магнитного сверх-

тонкого расщепления. Нами были выбраны линии, соответствующие переходам  $\Delta m = 0$ . Чтобы усилить эти линии, образцы помещались в магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости рассеяния, причем направление легкого намагничивания в кристалле  $[100]$  совпадало с направлением поля. Для определения магнитной упорядоченности образцов были сняты мёссбауэровские спектры в геометрии рассеяния  $[11]$  на угол  $90^\circ$ . На рис. 2 изображены четыре внутренние линии спектра для образца 1. Полученное из этих спектров отношение интенсивностей переходов с  $\Delta m = \pm 1$  и  $\Delta m = 0$  составляет  $3,9 \pm 1,0$ . Образцы 2 и 3 дали подобные спектры в пределах экспериментальной точности. Это свидетельствует о высокой степени магнитной упорядоченности образцов.

При переходе к углу рассеяния, равному углу Брэгга  $12^\circ 20'$  для отражения  $(110)$ , картина резко меняется. Мёссбауэровские спектры, снятые для переходов с  $\Delta m = 0$ , изображены на рис. 3. Скорость счета была 3 – 4 импульса в секунду, и время для снятия спектра с необходимой статистической точностью составляло величину от 100 до 300 час. Малое значение эффекта на рис. 3, а не позволило нам определить форму линии за разумное время. С хорошей точностью было измерено значение эффекта в резонансе.

Для всех случаев интегральная интенсивность брэгговского пика при включении ядерного канала взаимодействия вблизи резонанса достигает минимального значения, вследствие увеличения ядерного поглощения. Но глубина минимума для мозаичного кристалла оказывается в 5 раз больше, чем для идеального, что находится в хорошем согласии с теорией. Это означает, что роль ядерного поглощения при рассеянии от идеального кристалла под углом Брэгга резко снижается по сравнению со случаем рассеяния от мозаичного кристалла. Можно сказать, что результирующий выход ядерной реакции существенным образом зависит от того, в какой системе рассеивателей происходит распространение ядерного излучения: регулярной или нерегулярной.

Сплошные кривые, нанесенные на спектры, рассчитаны на основе работы [2] для конкретных экспериментальных условий<sup>1)</sup>. Спектр для образца 2 соответствует промежуточному положению образца по степени совершенства.

<sup>1)</sup> Причины некоторого расхождения теории и эксперимента для случая рассеяния от мозаичного кристалла пока нами не выяснены.

В настоящее время готовятся кристаллы, обогащенные по изотопу  $Fe^{57}$ , на которых исследования будут продолжены.

Авторы благодарят А.П.Александрова, И.К.Кикоина, Б.Н.Самойлова за содействие в выполнении и интерес к работе; Ю.М.Кагана, А.М.Афанасьева и И.П.Перстнева за обсуждение результатов и помощь в расчетах, А.М.Волкова и С.Г.Кутукова за помощь в измерениях.

Поступило в редакцию  
10 июля 1968 г.

### Литература

- [1] А.М.Афанасьев, Ю.М.Каган. ЖЭТФ, 48, 327, 1965.
- [2] А.М.Афанасьев, Ю.М.Каган, И.Перстнев. ЖЭТФ, 54, 1530, 1968.
- [3] Ю.М.Каган, А.М.Афанасьев. ЖЭТФ, 50, 271, 1966.
- [4] P. I. Black, P. V. Moon Nature, 188, 481, 1960.
- [5] P. I. Black, D. E. Evans, D. A. O' Connor. Proc. Roy. Soc., A-270, 168, 1964.
- [6] P. I. Black D. Longworth, D. A. O' Connor. Proc. Phys. Soc. 83, 925, 1964.
- [7] P. I. Black, D. Longworth. D. A. O' Connor. Proc. Phys. Soc, 83, 941, 1964.
- [8] В.К.Войтовецкий, И.Л.Корсунский, А.И.Новиков, Ю.Ф.Пажин. ЖЭТФ, 54, 1361, 1968.
- [9] S. Kadečková, P. Šestak. British J. App. Phys., 14, 927, 1963.
- [10] S. Kadečková, B. Šestak, Kristall und Technik, 2, 497, 1967.
- [11] А.Н.Артемьев, В.В.Скляревский, Г.В.Смирнов, Е.П.Степанов. ЖЭТФ, 52, 1157, 1967.