

КОГЕРЕНТНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ ЯДЕР СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*А.И. Чечин, Н.В. Андропова, М.В. Зеленухин,
А.Н. Артемьев, Е.П. Степанов*

Впервые наблюдалась дифракция синхротронного излучения на мессбауэровских ядрах. Измеренное временное распределение резонансно рассеянных квантов радикально отличается от закона распада изолированных ядер. Распад возбужденных ядер в кристалле носит направленный характер и происходит значительно быстрее.

Совокупность синхротронного излучения (СИ) и эффекта Мессбауэра дает уникальную возможность постановки ряда интересных экспериментов. В работе Ю.Кагана и др.¹ рассмотрены временные аспекты мессбауэровской дифракции и, в частности, предсказано радикальное изменение временных характеристик этого процесса по сравнению с распадом изолированных ядер.

Временной ход дифракции до сих пор не наблюдался ни на одном типе излучения. Основные трудности при постановке мессбауэровских экспериментов на СИ обусловлены крайне низким отношением числа мессбауэровских квантов к общему потоку (для $^{57}\text{Fe} - 10^{13}$). Мы предложили использовать для решения этой задачи чисто ядерные отражения от моно-

кристалла ². Другие варианты постановки этого эксперимента до сих пор успехом не увенчались ^{3, 4}.

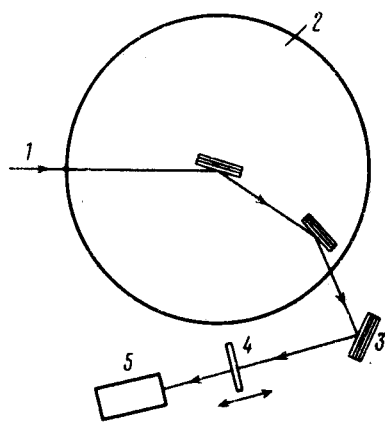


Рис. 1

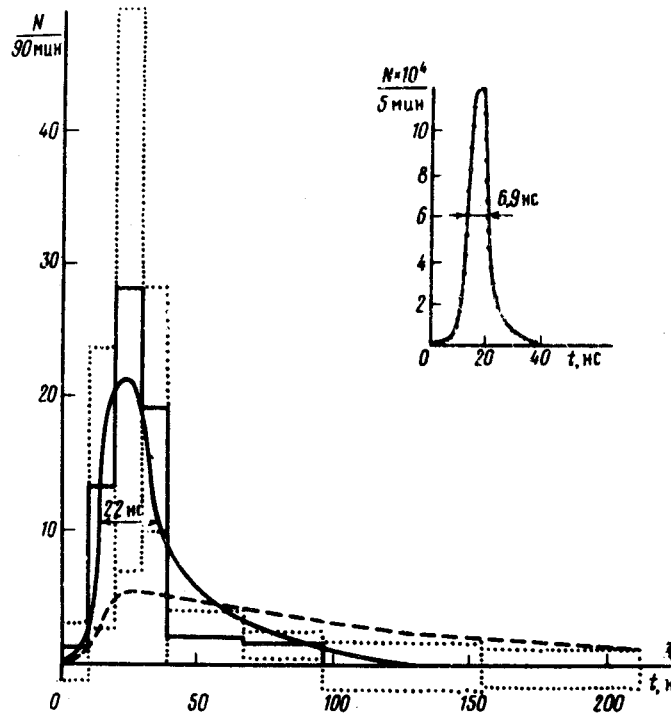


Рис. 2

Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – пучок СИ; 2 – монохроматор (два монокристалла Si в дисперсионном положении, отражение (111)); 3 – обогащенный монокристалл гематита $\alpha\text{-}^{57}\text{Fe}_2\text{O}_3$; 4 – поглотитель из поликристаллического гематита (10 мг/см²); 5 – сцинтилляционный детектор NaI(Tl) + ФЭУ-85

Рис. 2. Временное распределение резонансных квантов, дифрагировавших на монокристалле гематита. Сплошная кривая рассчитана для неэкспоненциального распада ¹, ($\chi^2 = 7$ для шести степеней свободы), пунктирная – для экспоненциального распада изолированных ядер ⁵⁷Fe ($\chi^2 = 14,55$ для шести степеней свободы). Точками на гистограмме изображены статистические ошибки измерений. На врезке показан возбуждающий импульс СИ, измеренный для мгновенно рассеянных нерезонансных квантов (аппаратурная функция)

Работа проводилась на пучке СИ сверхпроводящей "змейки" накопителя электронов ВЭПП-3 ИЯФ СО АН (энергия электронов $E_e = 1,94$ ГэВ, поле в "змейке" $H = 29$ кЭ, критическая энергия спектра СИ $\epsilon_c = 7,3$ кэВ, средний ток электронов $I_e = 10$ мА, длительность импульса СИ 1 нс, период повторения 250 нс ⁵). Схема эксперимента показана на рис. 1. Пучок СИ проходил через двухкристальный монохроматор с $\Delta E/E = 1,4 \cdot 10^{-4}$ (монокристаллы Si (111) в дисперсионном положении), предварительно настроенный на энергию мессбауэровского перехода $E_M = 14,4$ кэВ с помощью источника ⁵⁷Со. Доля резонансных квантов в вышедшем из монохроматора пучке составляла $2 \cdot 10^{-9}$. Этот пучок падал на монокристалл $\alpha\text{-}^{57}\text{Fe}_2\text{O}_3$ (обогащение 85%, мозаичность $\sim 30''$), установленный в положение чисто ядерного отражения (777), в котором электронное отражение структурно запрещено ⁶. Использование чисто ядерного отражения позволило настолько подавить когерентный нерезонансный фон, что основной вклад в счет детектора давали флюоресценция атомов железа в кристалле гематита и другие некогерентные процессы. Дополнительное снижение фона было получено за счет высокой степени поляризации СИ выбором отра-

жения с углом, близким к 90° ($2\theta_B(777) = 82^\circ$). Телесный угол гематит-детектор составлял $\sim 10^{-4}$ ср. Поиск чисто ядерного отражения осуществлялся в расчетной области, определенной по измеренным положениям разрешенных отражений (666) и (888). В каждой угловой точке измерялась интенсивность излучения на детекторе при покоящемся (N_0) и движущемся с „бесконечной” скоростью (N_∞) толстом мессбауэровском поглотителе из поликристаллического $\alpha\text{-}^{57}\text{Fe}_2\text{O}_3$. Специальная схема циклического переключения скорости поглотителя обеспечивала баланс каналов N_0 и N_∞ с точностью 0,1%.

Пик резонансной дифракции был зарегистрирован в двух независимых сериях с полной переэкспонировкой и калибровкой рентгенооптической схемы между сериями. В обнаруженном дифракционном пике (777) отношение скоростей счета при движущемся и покоящемся поглотителе составило в первой серии $N_\infty/N_0 = 1,29 \pm 0,16$, во второй — $1,18 \pm 0,09$ и по сумме двух серий $N_\infty/N_0 = 1,20 \pm 0,08$.

Одновременно с интенсивностью в каждой угловой точке измерялось временное распределение квантов в каналах N_0 и N_∞ . Детектор и временная электроника обеспечивали разрешение 6,9 нс⁷. На врезке рис. 2 изображен возбуждающий импульс СИ, измеренный для мгновенно рассеянных нерезонансных квантов (аппаратурная функция). На рис. 2 показано временное распределение резонансных квантов $N_r(t) = N_\infty(t) - N_0(t)$ в дифракционном пике. Сплошной линией изображена свертка аппаратурной функции с неэкспоненциальным законом распада¹ (для $t > 10$ нс распад описывается формулой $1/\tau \exp(-\tau)$, где $\tau = t/\tau_{ж}$; t — время, $\tau_{ж} = 142$ нс — время жизни возбужденного уровня ^{57m}Fe). Кривая, рассчитанная в приближении „черного” поглотителя, достаточно хорошо описывает экспериментальные точки — $\chi^2 = 7$ для 6 степеней свободы (подгоночный параметр — интенсивность). Аналогичная процедура была проделана для экспоненциального закона распада $\exp(-\tau)$, ($\chi^2 = 14,55$ для шести степеней свободы). Для более надежного выбора гипотезы экспериментальные данные были разбиты на 4 интервала (28,8 и $3 \times 57,6$ нс) и была повторена процедура, аналогичная описанной выше. Для экспоненциального закона распада было получено значение $\chi^2 = 18,34$ при двух степенях свободы, что с большой степенью достоверности позволяет отбросить эту гипотезу. (Вероятность получения $\chi^2 = 18,34$ при двух степенях свободы за счет статистических флуктуаций составляет $\approx 10^{-4}$). Для неэкспоненциального закона распада $\chi^2 = 2,9$ при двух степенях свободы, что не противоречит данной гипотезе.

Таким образом, нам удалось из пучка СИ с непрерывным спектром выделить пучок мессбауэровских квантов, интенсивность которых составляет 10^{-13} часть от общего потока СИ. Измерено временное распределение мессбауэровских квантов, дифрагировавших на монокристалле. Распад возбужденных ядер в кристалле, в отличие от изотропного распада изолированных ядер носит направленный характер и протекает значительно быстрее, что свидетельствует о коллективности процесса и согласуется с предсказаниями теории¹.

В заключение можно утверждать, что с появлением подобных временных экспериментов открывается новая область — исследование нестационарной дифракции γ -лучей.

Авторы благодарят сотрудников ИЯФ СО АН и ИАЭ им. И.В.Курчатова, Г.Н.Кулипанова, А.Н.Скринского и Н.А.Черноплекова за поддержку и внимание, Ю.Кагана и В.Г.Кона за постановку задачи и полезные обсуждения, К.П.Алешина, В.А.Кабанника, Ю.Н.Казакова, С.В.Крупина, Е.А.Мелешко, А.В.Светцова, Э.М.Трахтенберга, А.Д.Харитонова и М.А.Шеромова за помощь в проведении измерений.

Авторы особенно благодарны сотруднику Физического института ЧСАН (г. Прага) И.Новаку, вырастившему обогащенные кристаллы гематита.

Литература

1. Yu. Kagan, Afanas'ev A.M., Kohn V.G. Phys. Lett., 1978, 68A, 339.
2. Artem'ev A.N. et al. Nucl. Instr. Meth. 1978, 152, 215.

3. *Cohen R.L.* "Nuclear resonance experiments using synchrotron radiation sources". In: "Synchrotron radiation research" ed. by *Winick H., Doniach S.* Plenum Publ. Corp., N. Y., 1980, p. 647.
4. *Trammel G.T. et al.* "Coherent nuclear scattering of synchrotron radiation". Workshop on new directions in Mössbauer spectroscopy (Argonne 1977). AIP Conference Proceedings No. 38, N.Y. 1977, p. 46.
5. *Barkov L.M. et al.* Nucl. Instr. Meth., 1978, 152, 23.
6. *Степанов Е.П. и др.* ЖЭТФ, 1974, 66, 1150.
7. *Зеленухин М.В. и др.* Временные характеристики сцинтилляционного и Si(Li) детекторов в рентгеновском диапазоне энергий. В сб. Вопросы атомной науки и техники серия „Общая и ядерная физика” вып. 2 (20), изд ХФТИ, Харьков 1982, стр. 114.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
2 марта 1983 г.

После переработки
7 апреля 1983 г.
