

УДК 534.29

ФОРМА МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА РАССЕЯНИЯ ПРИ МОДУЛЯЦИИ КОГЕРЕНТНЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ

Э. М. АРУТЮНЯН, А. Л. КОЧАРЯН, Л. А. КОЧАРЯН,
Г. А. АРУТЮНЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении

(Поступила в редакцию 15 октября 1997 г.)

Исследовано влияние когерентности ультразвуковых колебаний на форму мессбауэровского спектра рассеяния. В эксперименте в геометрии обратного рассеяния наблюдался эффект осцилляций интенсивностей компонент модуляционного мессбауэровского спектра. Получено практически полное затухание интенсивности линии гамма-резонанса, что соответствует когерентности ультразвукового поля в рассеивателе, близкой к 100%.

Исследование явления резонансного взаимодействия гамма-излучения с ядрами твердого тела, подверженного воздействию ультразвуковых колебаний, представляет большой интерес для изучения динамических характеристик ядер в твердом теле и основано на высокой чувствительности мессбауэровской спектроскопии к параметрам акустического воздействия. При ультразвуковой модуляции резонансного гамма-излучения выделяются два предельных случая: когерентный режим возбуждения ядер, когда все ядра колеблются синфазно и с одинаковой амплитудой, и некогерентный режим, когда ядра колеблются с неопределенными фазами и с амплитудами, имеющими релеевское распределение. В работе [1] удалось реализовать в эксперименте когерентный режим возбуждения мессбауэровских ядер поглотителя, что обеспечивает более эффективную модуляцию интенсивности излучения и позволяет исследовать временные и спектральные зависимости при различных степенях модуляции, а также расширяет применение мессбауэровской спектроскопии в различных областях науки и техники.

Большой интерес представляет экспериментальная реализация когерентной модуляции рассеянного мессбауэровского излучения, чему и посвящена настоящая работа. В отличие от экспериментов в геометрии на пропускание, геометрия обратного рассеяния позволяет получить намного большее отношение эффекта к фону, наблюдать гамма-резонансы с вероятностью эффекта $\sim 0,5\%$ и проводить угловой и энергетический анализ рассеянного излучения, что дает более богатую информацию о процессе взаимодействия излучения с веществом.

При синусоидальной модуляции атомов рассеивателя с частотой

Ω и амплитудой A_0 в частотно-модулированном спектре рассеянного излучения, кроме основной линии на частоте ω_0 , появляются спутники на частотах $\omega_0 \pm n\Omega$ ($n=0,1,2,\dots$). Интенсивности этих линий равны

$$W_n = \int_0^\infty J_n^2\left(\frac{A_0}{\lambda}\right) P(A_0) dA_0,$$

где $J_n(A_0/\lambda)$ — функция Бесселя n -го порядка, λ — длина волны гамма-излучения.

Если функция распределения $P(A_0) = \delta(A_0 - A)$, то зависимость $W_n(a) = J_n^2(a)$ характеризуется осцилляциями интенсивностей основной линии и спутников, где $a = A/\lambda$ — индекс модуляции. Это когерентный режим модуляции, при котором осуществляется синфазное и с одинаковой амплитудой колебание атомов рассеивателя. Если же функция распределения имеет вид релеевского $P(A_0) = \frac{A_0}{A} \exp\left(-\frac{A_0^2}{2A^2}\right)$, то

$W_n(a) = I_n(a^2) \exp(-a^2)$, где $I_n(a^2)$ — функция Бесселя n -го порядка от мнимого аргумента. При $n=0$ интенсивность основной линии монотонно убывает при увеличении a , и при всех a $W_{n+1}(a) < W_n(a)$.

Если не принимать особых мер [1], то в экспериментах обычно реализуется случай частичной когерентности $W_n = \alpha J_n^2(a) + (1-\alpha) \times I_n(a^2) e^{-a^2}$, где α — степень когерентности.

Основными причинами, из-за которых когерентные колебания трансформируются в некогерентные, являются, как было показано в работе [2], нарушения однородности ультразвукового поля при возбуждении преобразователя, прохождении УЗ волны через акустическую склейку и при возбуждении атомов рассеивателя. Эти нарушения приводят к пространственной неоднородности в распределении амплитуды УЗ колебаний в рассеивателе.

Ниже приводятся результаты наших экспериментов по когерентной модуляции мессбауэровского излучения и наблюдении осцилляции интенсивностей компонент модуляционного спектра в геометрии обратного рассеяния.

В экспериментах была использована специальная акустическая кювета: кольцо из диэлектрика диаметром 30 мм с обеих сторон тщательно полируется. В качестве модулятора использовался однородный по пьезосвойству преобразователь из монокристалла кварца Х-среза диаметром 30 мм и толщиной 220 мкм, который крепился по всему периметру к кольцу с помощью клеевой композиции. Мягкое эластичное закрепление позволяет преобразователю колебаться максимально свободно и однородно по амплитуде. Электрическое напряжение к преобразователю подводится с помощью гибкой металлической струны, припаянной к металлическому электроду, напыленному на поверхность преобразователя. К другой стороне кольца тем же клеем прикрепляется мессбауэровский рассеиватель — фольга из нержавеющей стали толщи-

ной 12 мкм, равномерно натянутая между двумя концентрическими кольцами. В собранную таким образом акустическую кювету через отверстие в кольце заливается обработанный ультразвуком глицерин. С обеих сторон кювета коллимируется свинцовыми диафрагмами, чтобы рабочей являлась центральная часть преобразователя и рассеивателя диаметром 10 мм. Акустическая кювета помещается между мессбауэровским источником и детектором гамма-излучения. Для сравнения параметров мессбауэровских спектров, модулированных когерентным ультразвуком, в геометрии поглощения и обратного рассеяния сначала снимается мессбауэровский спектр поглощения нержавеющей стали в зависимости от напряжения на пьезопреобразователе. Подбором частоты и амплитуды ультразвука добиваемся максимальной однородности по амплитуде колебания атомов поглотителя и осцилляции интенсивностей компонент модуляционного спектра при минимальной интенсивности основной линии спектра.

Затем для получения когерентной модуляции и наблюдения осцилляций интенсивностей компонент модуляционного мессбауэровского спектра в геометрии обратного рассеяния детектор перемещается в положение, в котором он не "видит" мессбауэровский источник, а только "видит" рассеиватель со стороны источника и регистрирует только рассеянное излучение, в которое основной вклад дают ядерное рассеяние без отдачи и релеевское рассеяние. Вклады от других эффектов исключаются подбором большого угла рассеяния и электроникой. Так как релеевское рассеяние в основном направлено вперед, то при наблюдении рассеяния назад его вклад минимален.

В эксперименте используется гамма-излучение от источника Co^{57} ($E_\gamma = 14,4 \text{ кэВ}$), которое коллимируется и падает на поверхность рассеивателя. Рассеянное излучение регистрируется сцинтилляционным детектором, расположенным под углом 35° к нормали к поверхности рассеивателя. В детекторе гамма-кванты преобразуются в импульсы напряжения, которые поступают на усилитель и дискриминатор, а затем анализируются многоканальным анализатором, работающим в режиме временного анализа и накопления. В результате получаем мессбауэровский спектр рассеяния нержавеющей стали, в который дают вклад гамма-кванты от резонансного рассеяния и релеевского рассеяния. При возбуждении в рассеивателе ультразвуковых колебаний спектр рассеяния изменяется (рис.1): в нем, кроме несмещенной линии, появляются ультразвуковые спутники, расположенные симметрично по обе стороны от основной линии на частотах $\omega_0 \pm n\Omega$ (Ω — частота УЗ, $n=0,1,2,\dots$), а интенсивности спектральных линий изменяются в зависимости от напряжения U на пьезопреобразователе. С увеличением напряжения на преобразователе (т.е. амплитуды УЗ) интенсивность основной линии уменьшается, проходя через минимум, а интенсивности УЗ спутников сначала увеличиваются, проходя через максимумы, а затем уменьшаются, проходя через минимумы. Наблюдается картина осцилляции интенсивностей линии мессбауэровского спектра рассеяния, которая соответствует когерентной УЗ модуляции, и изменения интенсивностей подчиняются закону $J_n^2(A/\bar{\lambda})$. При $A/\bar{\lambda} = 2,4$ удалось практически получить затухание интенсивности основной линии, что соответствует степени

когерентности УЗ колебаний в рассеивателе, близкой к 100%. На рис.2 приведен график зависимости интенсивностей I_0 , I_1 , и I_2 от амплитуды когерентных УЗ колебаний.

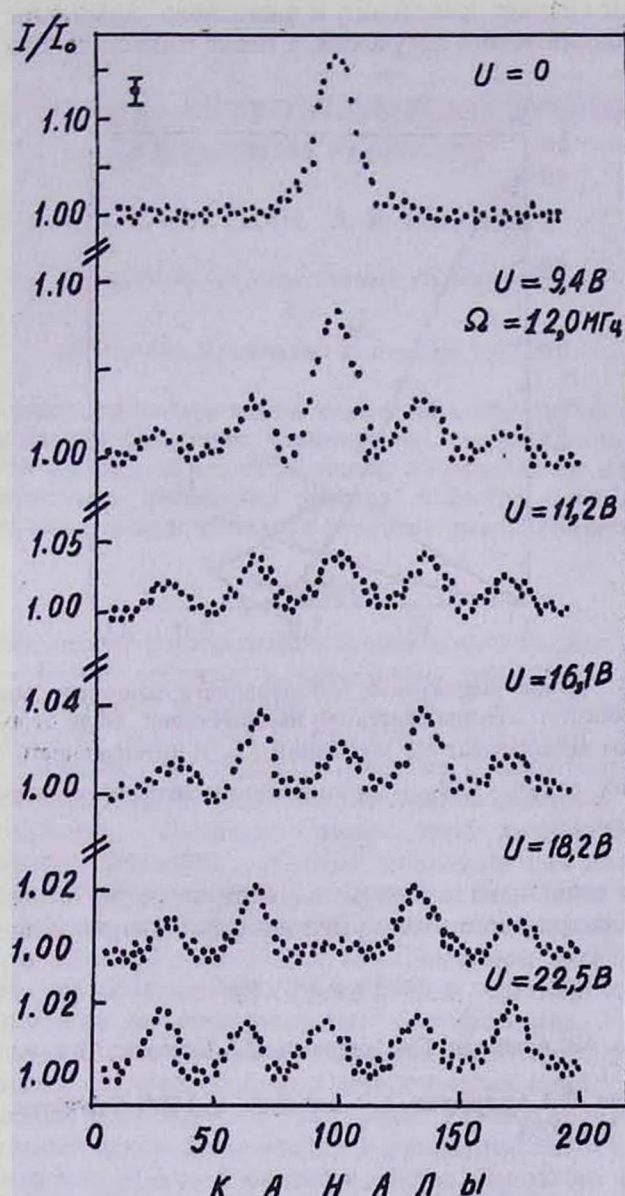


Рис.1. Мессбауэровский спектр рассеяния фольги из нержавеющей стали под воздействием когерентных УЗ колебаний (U — напряжение на пьезопреобразователе, Ω — частота УЗ колебаний).

Таким образом, в эксперименте на рассеянии удалось реализовать когерентную УЗ модуляцию интенсивности рассеянного излучения, наблюдать эффект осцилляции интенсивностей компонент модуля-

сионного мессбауэровского спектра, получить практически зануление основной линии, что соответствует степени когерентности УЗ поля в рассеивателе, близкой к 100%. Полученный результат может быть использован при анализе временного и частотного поведения модулированного мессбауэровского излучения, а также в акустике поверхности.

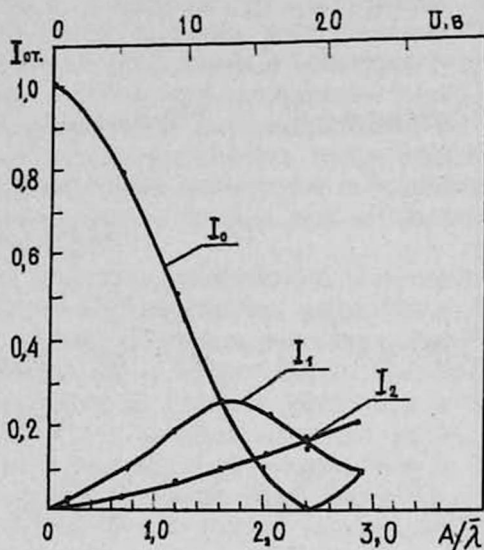


Рис.2. График зависимости интенсивности компонент мессбауэровского спектра рассеяния нержавеющей стали от амплитуды когерентных УЗ колебаний (I_0 – интенсивность основной линии, I_1, I_2 – интенсивности первого и второго спутников).

Работа выполнена в рамках научной темы 96-707 за счет государственных централизованных источников финансирования РА.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Р.Мкртчян, А.Р.Аракелян, Г.А.Арутюнян, Л.А.Кочарян. Письма в ЖЭТФ, 26, 599 (1977).
2. A.R.Mkrtychyan, G.A.Arutyunyan, A.R.Arakelyan, and R.G.Gabrielyan. Phys. Stat. Sol. (b), 92, 23 (1979).

MÖSSBAUER SCATTERING SPECTRUM SHAPE IN THE PRESENCE OF MODULATION BY COHERENT ULTRASOUND

E. M. HARUTYUNYAN, A. L. KOCHARIAN, L. A. KOCHARIAN, G. A. HARUTYUNYAN

The influence of ultrasound field coherence on the shape of Mössbauer scattering spectrum was investigated. In back-scattering-geometry experiment the effect of intensities oscillation of the modulation Mössbauer spectrum components was observed and the zeroing of the gamma-resonance line intensity was obtained which corresponds to the ~100% coherence of ultrasound field.