

ОСЦИЛЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИИ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА ПРИ МОДУЛЯЦИИ КОГЕРЕНТНЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ

*А.Р.Мкртчян, А.Р.Аракелян, Г.А.Арутюнян,
Л.А.Жочарян*

Экспериментально установлена возможность генерации когерентных акустических волн в мессбауэровских поглотителях, проявляющейся в осцилляциях интенсивностей компонент мессбауэровского спектра.

Вслед за открытием Мессбауэром эффекта резонансного поглощения (испускания) γ -квантов ядрами без отдачи, который в первую очередь определяется характером теплового движения ядер [1], были поставлены эксперименты по изучению влияния внешнего воздействия посредством ультразвука, меняющего динамику движения ядер в твердых телах [2 – 5].

Теоретические основы для понимания и анализа такого влияния были заложены еще в работе Шапиро [6], а в дальнейшем более подробная теория была изложена в работах [5, 7, 8].

Воздействие ультразвука на мессбауэровские спектры приводит к возникновению дополнительных линий, сдвинутых относительно центральной линии на энергии, кратные частоте ультразвуковых колебаний $\Omega_{\text{уз}}$. Согласно результатам работ [5, 7, 8], интенсивности центральной и боковых полос зависят в существенной степени от характера ультразвукового возбуждения. Обычно выделяются две предельные ситуации [5]: а) ширина полосы генерации $\Delta\omega \ll \Gamma$ (Γ – ширина резонансного уровня) – так называемый когерентный режим, б) случай $\Delta\omega \gg \Gamma$ – некогерентное возбуждение.

В последнем случае предполагается, что уширение ультразвуковой полосы происходит за счет релаксационных процессов [5]. Интенсивности несмещенной линии и сателлитов в зависимости от интенсивности ультразвука определяются в этих случаях разными законами. В случае а) интенсивности компонент в спектре определяются

$$W_n = J_n^2(kA), \quad (1)$$

где k — волновой вектор γ -кванта, A — амплитуда УЗ волны. При $n = 0$ эта формула дает интенсивность центрального пика, а при $n = 1, 2, 3, \dots$ — интенсивность n -го сателлита.

В случае б) теория дает следующую зависимость:

$$W_n = e^{-\xi} I_n(\xi), \quad \xi = (kA)^2. \quad (2)$$

Между этими зависимостями имеется принципиальное отличие. В случае а) интенсивности W_n должны осциллировать по мере изменения амплитуды УЗ колебаний, а при некоторых значениях kA , например, $kA = 2, 4$, центральный пик должен полностью исчезнуть. В противоположность этому во втором случае осцилляции отсутствуют: центральный пик монотонно падает, а интенсивности сателлитов вначале возрастают, а затем падают до нуля.

Эксперименты, проведенные Раби и Болефом [2] на нержавеющей стали, показали, что в данном случае реализуется ситуация б) т. е. зависимость W_n от интенсивности УЗ с большой точностью следовала формуле (2). Этому было дано следующее объяснение. Утверждалось, что в нержавеющей стали время жизни ультразвуковых фононов очень мало $\sim 10^{-11}$ сек, так что происходит быстрая релаксация УЗ поля, и, тем самым, автоматический выход на режим (б).

В дальнейшем был поставлен целый ряд экспериментов, однако всюду наблюдаемые зависимости соответствовали случаю некогерентного возбуждения. При этом было принято [2, 4, 5], что реализации первого случая мешает также неоднородность в коэффициенте передачи ультразвука от генератора к образцу. Но, тем не менее, до настоящего времени не был осуществлен эксперимент в условиях когерентных возбуждений. Интерес к этому вопросу в последнее время значительно возрос в связи с работой Гольданского и Намиота [9], в которой предполагается использовать эффект Мессбауэра как уникальный способ для пространственного разрешения ультрамалых объектов. Вся идея этой работы базируется целиком на реализации УЗ когерентного воздействия.

Ниже впервые сообщается о возможности генерации когерентного звука в мессбауэровских поглотителях, проявляющейся в осцилляциях интенсивностей компонент спектра в зависимости от амплитуды УЗ.

Эксперименты проводились на образцах из нержавеющей стали толщиной ~ 20 мк. Продольные УЗ возбуждения с частотой 10,56 мГц подавались от кварцевого преобразователя x -среза на образец через передающую среду. В качестве передающей среды использовался глицерин, причем толщина $t_{ГД}$ подбиралась так, что имело место $t_{ГД} = n\lambda_{УЗ}/2$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ При этом осуществлялась максимальная передача УЗ от кварца к поглотителю. Как показали многочисленные эксперименты, результаты в существенной степени зависят от точности условия $t_{ГД} = n\lambda_{УЗ}/2$ по всему образцу.

Поэтому в этом опыте были предприняты специальные усилия для обеспечения однородности свойств передачи УЗ интенсивности. Для этого проводилась тщательная полировка кварца, поглотителя, верхней и нижней части кюветы.

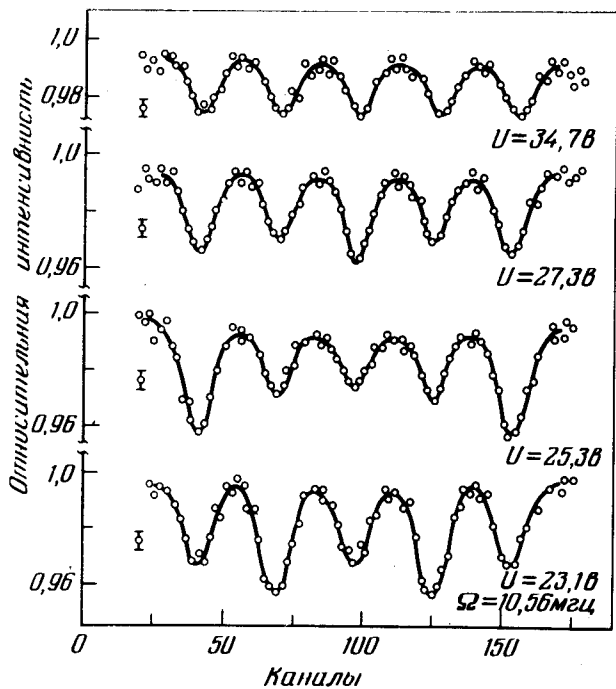
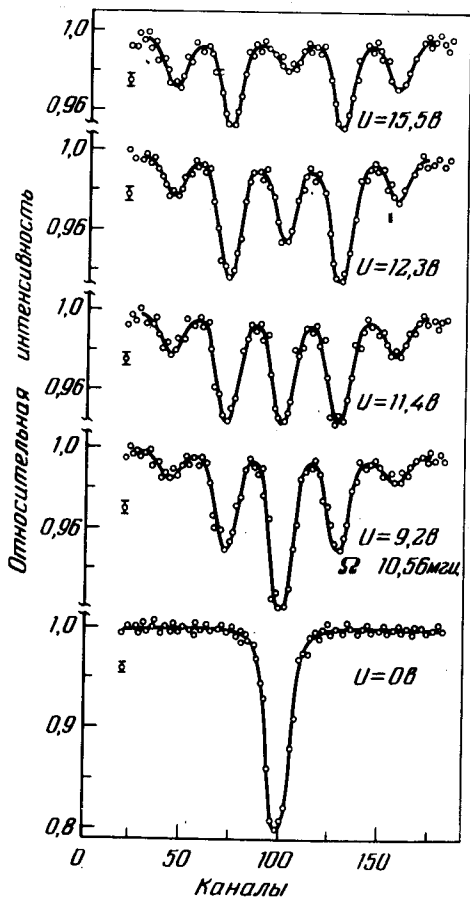


Рис. 1, а, б. Мессбауэровские спектры поглощения в нержавеющей стали в зависимости от амплитуды УЗ волн

Характерные мессбауэровские спектры и результаты эксперимента представлены на рис. 1, а, б и рис. 2, соответственно.

Как видно на рис. 1, а и б, до некоторой амплитуды УЗ интенсивность центральной компоненты больше, чем первых сателлитов, затем становится намного меньше. Дальнейшее увеличение амплитуды УЗ приводит к относительному возрастанию центрального пика по отношению к первому сателлиту ($U = 27,3 \text{ в}$) и затем к выравниванию ($U = 34,7 \text{ в}$).

Из рис. 2 также видно, что осцилляции в интенсивностях имеют место как между центральной линией и вторым сателлитом, так и первым и вторым сателлитом.

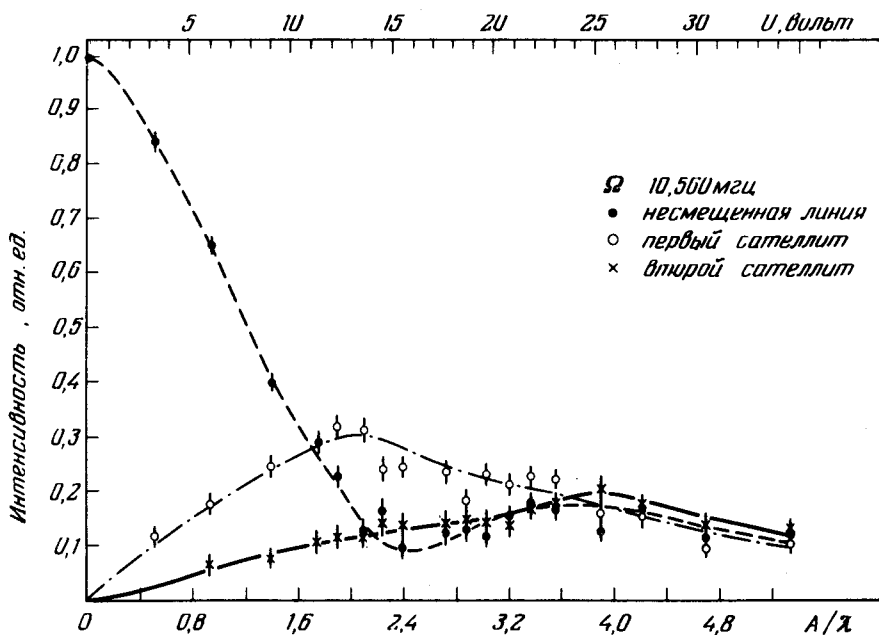


Рис. 2. Изменение вероятности компонент спектра поглощения в нержавеющей стали в зависимости от амплитуды УЗ, нормированной к вероятности несмещенной линии

Нами были проделаны также абсолютные измерения вероятности линий поглощения. Для этого тщательно измерялась площадь всей кривой поглощения без ультразвука, и на эту величину нормировались площади компонент в присутствии ультразвука. Результаты такого анализа приведены на рис. 2.

Данные на этом рисунке так же, как и на рис. 1, а, б убедительно показывают наличие осцилляции и хорошо согласуются с предсказаниями теории при когерентном возбуждении УЗ колебаний (случай а).

Приведенные данные показывают, что в данной ситуации релаксация УЗ колебаний в нержавеющей стали довольно слабая и не оказывает никакого существенного влияния. Это физически понятно, так как в нашем случае (как и в ранних работах) толщина образца $t_{об} \ll \lambda_{уз}$, и, практически, образец колеблется, как единое целое. С другой стороны, однородность возбуждения и передачи УЗ по образцу играет существенную роль.

Авторы выражают глубокую благодарность член-корр. АН СССР В.И. Гольданскому и доктору физ.-мат. наук А.М. Афанасьеву за плодотворные обсуждения и постоянное внимание к работе.

Ереванский
государственный университет

Поступила в редакцию
19 сентября 1977 г.

Литература

- [1] R.L.Mössbauer. *Zs. Naturforsch.*, **14a**, 211, 1959.
 - [2] S.L.Ruby, D.I.Bolef. *Phys. Rev. Lett.*, **5**, 5, 1960.
 - [3] Т.М. Айвазян, Ю.М. Айвазян, Л.А. Кочарян, А.Р. Мкртчян. Материалы V Междунар. конф. по Мессбауэровской спектроскопии. Братислава, 1973.
 - [4] T.E.Grانشaw, P.Reivari. *Proc. Phys. Soc.*, **90**, 1059, 1960.
 - [5] J.Mishory, D.I.Bolef. In *Mössbauer Effect Methodology*, ed. I.J.Gruverman Plenum Press. New-York, **4**, 13, 1968.
 - [6] Ф.Л. Шапиро. *УФН*, **72**, 685, 1960.
 - [7] A.Abragam. *C.R.Ac. Sci.*, **250**, 4334, 1960.
 - [8] Т.М. Айвазян, Ю.М. Айвазян, А.Р. Мкртчян, Л.А. Кочарян. *Phys. Stat. Sol (b)*, **64**, 757, 1974.
 - [9] В.А. Намиот, В.И. Гольданский. Письма в ЖЭТФ, **2**, 727, 1976.
-