

УДК 534.29;539.122

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ЗВУКА. НА ЗВУКЕ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ МЁССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А. А. КОЧАРЯН, Р. Р. АЙДИНЯН

Институт прикладных проблем физики АН АрмССР

Исследовано комбинационное рассеяние звука на звуке с применением мёссбауэровской спектроскопии. Показано, что комбинационное рассеяние звука на звуке наблюдается и в той области звукового давления, которая считается областью линейной акустики.

Исследование нелинейных явлений при распространении упругих волн в твердых телах позволяет получить важные сведения о нелинейных упругих свойствах твердых тел для объяснения ряда кинетических процессов (теплопроводность, поглощение звука и др.). Изучение нелинейных эффектов, в частности комбинационного рассеяния звука на звуке, было проведено во многих работах [1—4] и показало, что порог звукового давления, при котором наблюдаются эти эффекты, равен нескольким атмосферам. Эта область звукового давления ранее считалась областью линейной акустики [5].

В настоящей работе сделана попытка расширения области звукового давления (в сторону ее уменьшения), в которой, применяя чувствительный метод мёссбауэровской спектроскопии, можно наблюдать комбинационное рассеяние звука на звуке. Это позволит более детально исследовать кинетические процессы в твердых телах, более точно измерить их упругие свойства и уменьшить влияние побочных процессов, возникающих из-за большой амплитуды звукового давления.

Эксперименты по наблюдению комбинационного рассеяния звука на звуке проводились на γ -резонансном спектрометре электродинамического типа. Источником γ -излучения с энергией 14,4 кэВ служил кобальт-57 в матрице хрома активностью 70 мКюри. В качестве мёссбауэровского поглотителя использовалась тонкая фольга из нержавеющей стали толщиной 20 мкм. Резонансные γ -кванты, проходя через блок из органического стекла, в котором возбуждались ультразвуковые колебания и на котором был закреплен мёссбауэровский поглотитель, поступали на детектор и анализировались многоканальным анализатором. В блоке с помощью пьезопреобразователей Q_1 и Q_2 , работающих в режиме самогенерации, возбуждались продольные ультразвуковые волны, которые пересекались под углом θ . Образующаяся в результате фонон-фононного взаимодействия в области пересечения волна комбинационной частоты падала на мёссбауэровский поглотитель и модулировала проходящее через нее γ -излучение.

Экспериментальные результаты приведены на рис. 1. Как следует из рисунка, в отсутствие ультразвуковых колебаний мёссбауэровский спектр поглощения нержавеющей стали представляет собой синглетную линию (рис. 1а). При возбуждении в органическом стекле ультразвуковых колебаний с амплитудой A_1 на частоте $f_1 = 11,60$ МГц в мёссбауэровском спек-

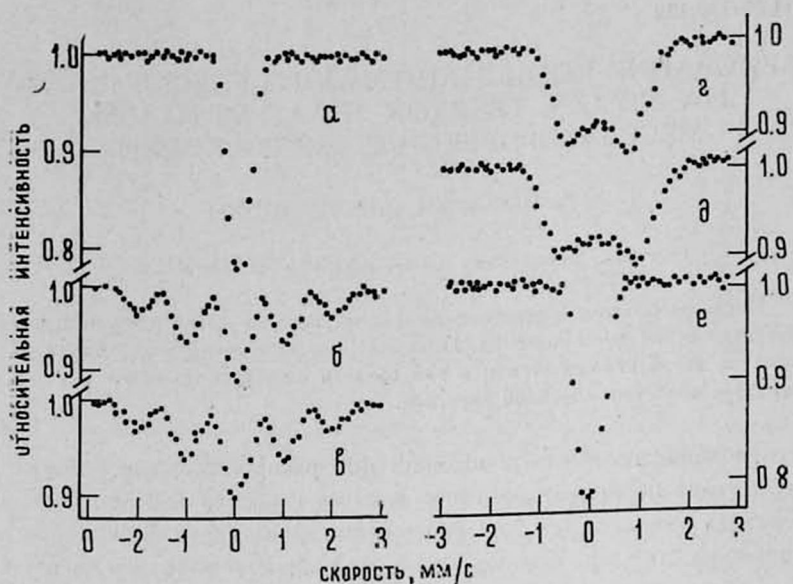


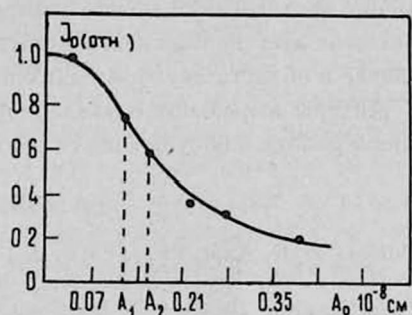
Рис. 1. Характерные мёссбауэровские спектры нержавеющей стали при наличии в блоке из органического стекла ультразвуковых волн: а — ультразвуковые волны отсутствуют; б — присутствует УЗ волна с $f_1 = 11,6$ МГц, $A_1 = 0,11 \cdot 10^{-8}$ см; в — присутствует УЗ волна с $f_2 = 11,63$ МГц, $A_2 = 0,16 \cdot 10^{-8}$ см; г — присутствуют одновременно две УЗ волны с $f_1 = 11,6$ МГц, $A_1 = 0,11 \cdot 10^{-8}$ см и $f_2 = 11,63$ МГц, $A_2 = 0,16 \cdot 10^{-8}$ см; д — присутствуют одновременно две УЗ волны с теми же частотами, но с большими амплитудами; е — присутствуют две УЗ волны с $f_1 = f_2 = 11,6$ МГц и $A_1 = A_2 = 0,16 \cdot 10^{-8}$ см.

тре появляются дополнительные линии, расположенные симметрично относительно несмещенной линии, — ультразвуковые сателлиты (рис. 1б). Если в органическом стекле возбуждаются ультразвуковые колебания только на частоте $f_2 = 11,63$ МГц с амплитудой A_2 , в мёссбауэровском спектре опять наблюдается сателлитная структура (рис. 1в). Вид мёссбауэровского спектра резко меняется, когда в плексигласе одновременно возбуждаются ультразвуковые колебания с частотами f_1 и f_2 и соответственно амплитудами A_1 и A_2 . В этом случае в спектре наблюдается уширенная линия с двумя минимумами. При увеличении A_1 и A_2 линия еще больше уширяется и расстояние между минимумами увеличивается. Такая форма линии наблюдается в том случае, когда мёссбауэровский поглотитель колеблется под воздействием низкочастотных акустических волн [6]. Если же частоты волн, возбуждаемых в органическом стекле, равны ($f_1 = f_2$), то в спектре опять наблюдается синглетная линия, как и при отсутствии ультразвуковых волн.

Посмотрим, вследствие каких явлений при распространении в органическом стекле двух ультразвуковых волн могла появиться третья волна низкой частоты. Из известных явлений, которые могут привести к возникновению низкочастотных волн, это может быть биение или комбинационное рассеяние звука на звуке. Чтобы выяснить, какое из этих явлений наблюдается в эксперименте, определим параметры первичных ультразвуковых волн и низкочастотной волны.

Из формы мёсбауэровского спектра, когда на поглотитель воздействуют первичные волны с частотами f_1 и f_2 , можно определить амплитуды этих волн A_1 и A_2 [7]. Для этого строим график зависимости интенсивности несмещенной мёсбауэровской линии J_0 от амплитуды ультразвуковых волн A_0 . Так как в эксперименте пьезопреобразователи Q_1 и Q_2 приклеиваются к блоку с помощью твердых склеек, то не обеспечивается когерентный режим возбуждения ультразвуковых волн [8] и интенсивность определяется выражением [7] $J_0 = e^{-\xi} I_0(\xi)$, где $\xi = (kA)^2$, I_0 — модифицированная функция Бесселя, k — волновой вектор γ -кванта. Из графика зависимости J_0 от A_0 (рис. 2) определяем значения амплитуд, которые равны: $A_1 = (0,11 \pm 0,008) \cdot 10^{-8}$ см, $A_2 = (0,16 \pm 0,008) \cdot 10^{-8}$ см.

Рис. 2. Зависимость относительной интенсивности несмещенной мёсбауэровской линии J_0 (отн.) от амплитуды A_0 УЗ волн.



Амплитуду низкочастотной волны A_3 определим по методике, использованной в [6], из выражения для формы мёсбауэровского спектра при низкочастотной модуляции по закону $a(t) = A_0 \sin \Omega t$:

$$F(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{V(x^2 - z^2 - 1)^2 + 4\gamma^2 - (x^2 - z^2 - 1)}{(x^2 - z^2 - 1)^2 + 4x^2}},$$

где $x = (\omega - \omega_0)/(\Gamma/2)$, $z = A_0 \Omega / \lambda (\Gamma/2)$, ω , λ — энергия и длина волны γ -кванта, ω_0 — разность энергий между ядерными уровнями. Для амплитуды низкочастотной волны получаем значение $A_3 \approx 3 \cdot 10^{-7}$ см при $z = 2,5$.

В случае биений, которые возникают при сложении двух гармонических колебаний с близкими частотами, распространяющихся в одном направлении, их амплитуда может меняться от $A_1 + A_2 = 0,27 \cdot 10^{-8}$ см до $A_2 - A_1 = 0,05 \cdot 10^{-8}$ см, тогда как $A_3 \approx 3 \cdot 10^{-7}$ см, т. е. $A_3/(A_1 + A_2) \approx 10^2$. С другой стороны, отметим, что биения распространяются в том же направлении, что и составляющие волны, и не могут быть зарегистрированы мёсбауэровским поглотителем. Остается предположить, что низкочастотная акустическая волна образовалась вследствие комбинационного рассеяния звука на звуке при пересечении двух ультразвуковых волн с частотами $f_1 = 11,6$ МГц и $f_2 = 11,63$ МГц и ее частота равна $f_3 = f_2 - f_1 = 30$ кГц.

Для проверки этого предположения был проведен эксперимент, в котором мёссбауэровский поглотитель с помощью вибратора колебался с частотой 30 кГц и амплитудой $3 \cdot 10^{-7}$ см. При этом форма мёссбауэровского спектра оказалась идентичной форме спектра, приведенного на рис. 1, когда взаимодействуют две волны с частотами f_1 и f_2 .

Были проведены эксперименты, в которых разность частот первичных волн составляла 20, 10 и 1,0 кГц. И в этом случае в мёссбауэровском спектре наблюдалось появление волны с указанными частотами.

В общем случае при взаимодействии двух пересекающихся волн могут образоваться волны с частотами $f_1 + f_2$ и $f_1 - f_2$. Однако из-за поляризации взаимодействующих и рассеянных волн в органическом стекле и выполнении законов сохранения энергии и импульса взаимодействующих фононов в эксперименте реализуется случай образования только волны с частотой $f_1 - f_2$ [5].

Проведенные энергетические оценки показывают, что передача энергии от взаимодействующих волн в волну комбинационной частоты может привести к тому, что амплитуда этой волны будет порядка десятков атм. Оценки звукового давления взаимодействующих волн дают величины $P \sim 10^{-2}$ атм.

Таким образом, на основании результатов проведенных экспериментальных исследований можно утверждать, что метод мёссбауэровской спектроскопии дает возможность исследовать комбинационное рассеяние звука на звуке в области звуковых давлений $\sim 10^{-2}$ атм.

Авторы выражают благодарность А. Р. Мкртчяну за постоянное внимание к работе и обсуждение ее результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rollins F. R. Appl. Phys. Lett., 2, 147 (1963).
2. Rollins F. R., Taylor L. H., Todd P. H. Phys. Rev., A 136, 597 (1964).
3. Гунь Сю-фень, Зарембо Л. К., Красильников В. А. Акустический журнал, 11, 112 (1965).
4. Гунь Сю-фень, Зарембо Л. К., Красильников В. А. ЖЭТФ, 48, 1598 (1965).
5. Зарембо Л. К., Красильников В. А. УФН, 102, 549 (1970).
6. Аракелян А. Р. и др. Акустический журнал, 24, 809 (1978).
7. Mishory J., Bolef D. In "Mössbauer Effect Methodology". Ed. I. Gruverman. Plenum Press, New York v. 4, p. 13, 1968.
8. Мкртчян А. Р. и др. Письма в ЖЭТФ, 26, 599 (1977).

ՊԻՆԴ ՄԱՐՄԻՆԵՐՈՒՄ ՉԱՅՆ-ՉԱՅՆԱՅԻՆ ԿՈՄԲԻՆԱՅԻՈՆ ՑՐՄԱՆ
ՌԵՍՈՆԱՆՍԻՐՈՒՄԸ ՄՅՈՍԲԱՈՒԵՐՑԱՆ ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱՅՈՎ

Լ. Ա. ՔՈՉԱՐՅԱՆ, Ռ. Ռ. ԱՅԴԻՆՅԱՆ

Փորձնականորեն ցույց է տրված, որ մյուսբաուերյան սպեկտրոսկոպիան կարող է հաջողությամբ կիրառվել պինդ մարմիններում ոչ գծային ակուստիկ երևույթների ուսումնասիրման համար փոքր ակուստիկ ճնշումների տիրույթում:

INVESTIGATION OF SOUND-SOUND SCATTERING IN SOLIDS BY MEANS OF MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

L. A. KOCHARYAN, R. R. AJDINYAN

The Mössbauer spectroscopy is experimentally shown to be successfully applied to investigations of nonlinear acoustic effects in solids in low pressure acoustic fields.