АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXIV 1978 Вып. 6

УДК 534.29+539.122.17

ОСЦИЛЛЯЦИИ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ ЗВУКОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

А. Р. Аракелян, Г. А. Арутюнян, Р. Г. Габриелян, Л. А. Кочарян, А. Р. Мкртчян, Г. Н. Наджарян

Рассмотрено изменение формы мессбауэровского спектра поглощения в зависимости от характера и глубины модуляции γ-квантов звуковыми волнами. Определены частота собственного механического резонанса, добротность и коэффициент преобразования вибросистемы.

Вслед за открытием эффекта резонансного поглощения (испускания) γ-квантов ядрами без отдачи, который в основном определяется характером теплового движения ядер в твердых телах [1], были проведены исследования по изучению изменения динамики движения ядер под влиянием внешних возмущений [2–7]. В частности, в работах [2–6] исследовано влияние внешнего ультразвукового (УЗ) поля. Установлено, что возбуждение УЗ-колебаний в образцах приводит к изменению параметров мессбауэровских спектров поглощения и к появлению сателлитов. Эти изменения позволяют получить не только дополнительные сведения о величинах, характеризующих физико-химические свойства твердых тел, но и исследовать поведение и природу УЗ-колебаний. Например, по изменениям интенсивности отдельных компонент спектра и формы линии можно с большой точностью измерить скорость и затухание звука в любых конденсированных средах [8, 9], нелинейные эффекты в области УЗ и т. д. Однако в этих работах рассматривался случай, когда частота УЗ-колебаний $\Omega \gg \Gamma$ (Γ — ширина линии поглощения).

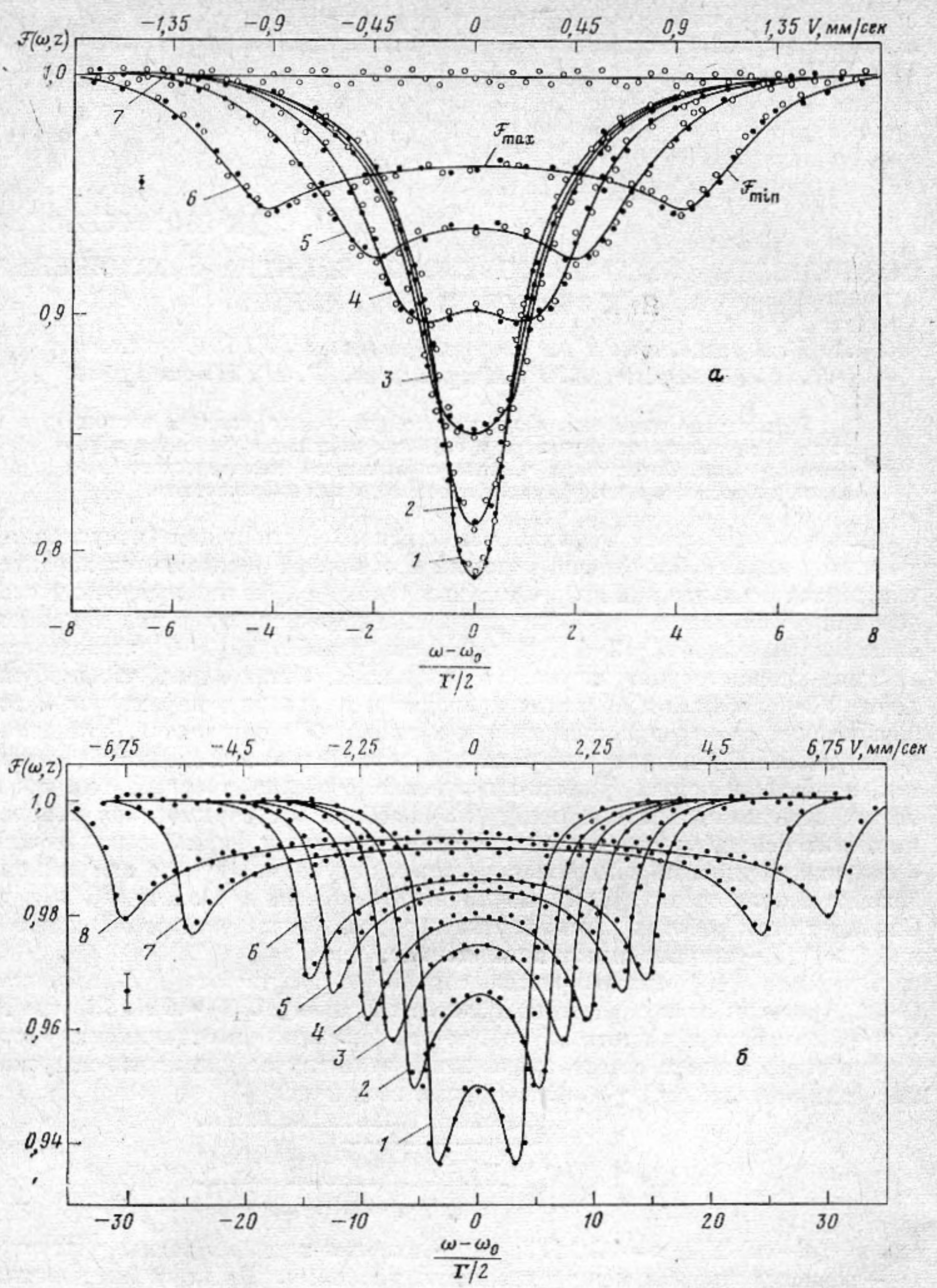
В работе [10] анализируется случай, когда частота УЗ-колебания $\Omega \ll \Gamma$. При этом если образец колеблется по закону $U(t)=A\sin\Omega t$ (где A и Ω — амплитуда и частота звука), то это приводит к осцилляции мессбауэровского спектра с частотой звука. В этом случае для линии испускания (или поглощения) γ-квантов ядрами получается

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

где $x=(\omega-\omega_0)/\Gamma/2$, $z=A\Omega/\lambda\!\!\!^{-}\Gamma/2$; ω, $\lambda\!\!\!^{-}$ — энергия и длина волны γ-кванта, ω_0 — разность энергии между ядерными уровнями. Из этого выражения видно, что форма спектра сильно изменяется в зависимости от амплитуды и частоты звука.

Экспериментальное наблюдение эффекта осцилляции спектра было осуществлено методом мессбауэровского поглощения. Эксперименты проводились на мессбауэровском спектрометре электродинамического типа. В качестве образца, в котором возбуждались низкочастотные волны, использовалась фольга из нержавеющей стали толщиной 15 *мк*. Преобразователем низкочастотных колебаний служил диффузор громкоговорителя марки 1 ГД-9, на который приклеивался мессбауэровский поглотитель.

Характерные мессбауэровские спектры поглощения в зависимости от частоты возбуждения (Ω) при постоянном напряжении $V=1B$ на преобразователе (спектры со сплошными кружочками) и с различными напря-

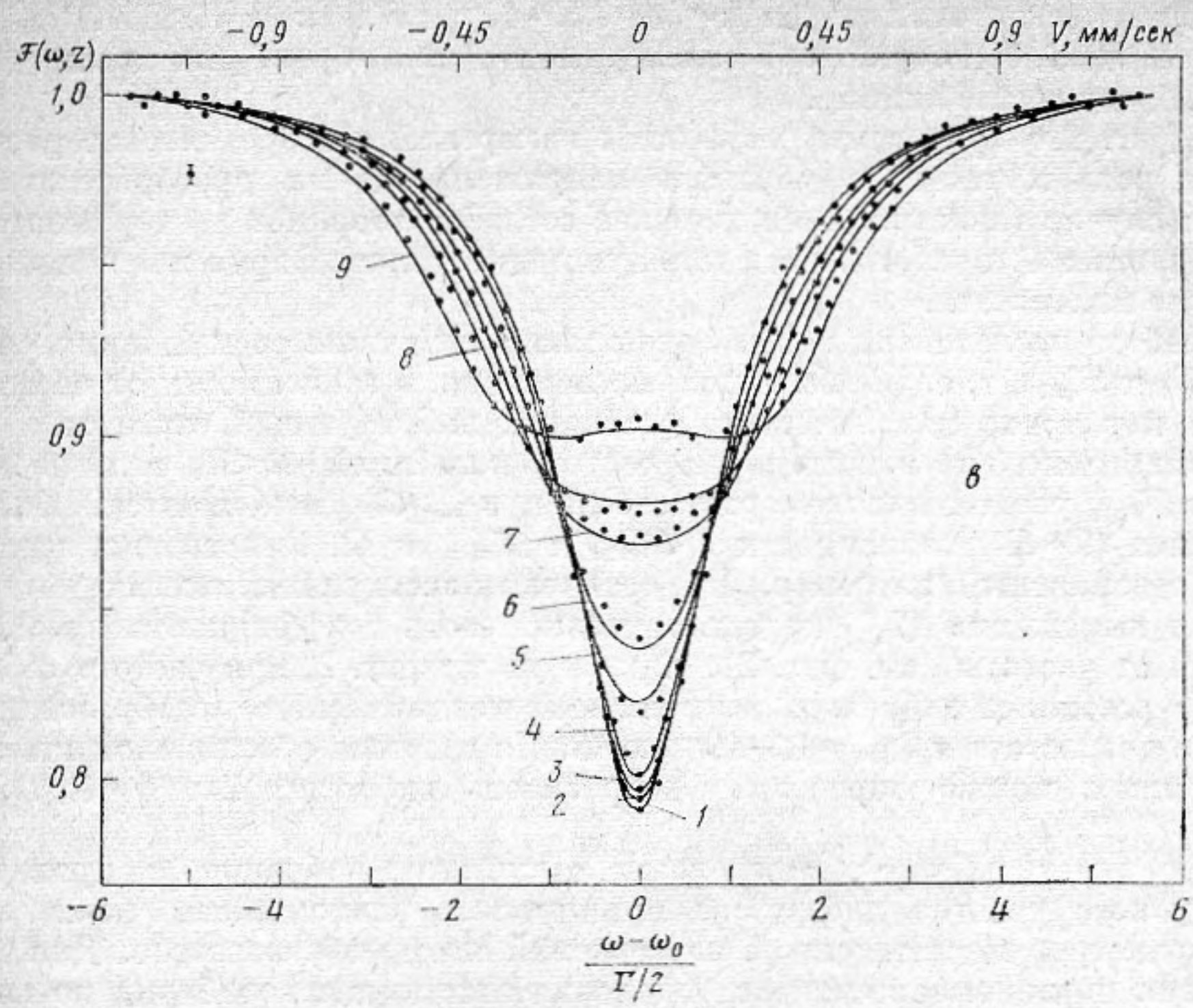


Фиг. 1 (*а*, *б*)

жениями при $\Omega=\text{const}$ (спектры со светлыми кружочками) приведены на фиг. 1, *а* ($\mathcal{F}(\omega,z)=1-fF(\omega, z)$).

На фиг. 1, *а* видно, что форма линии поглощения, начиная с $\Omega=1$ Гц ($V=1$ *В*), меняется. При частоте возбуждения 4 Гц одиночная линия расщепляется на две линии; с дальнейшим увеличением частоты величина расщепления увеличивается, а интенсивность компонент уменьшается.

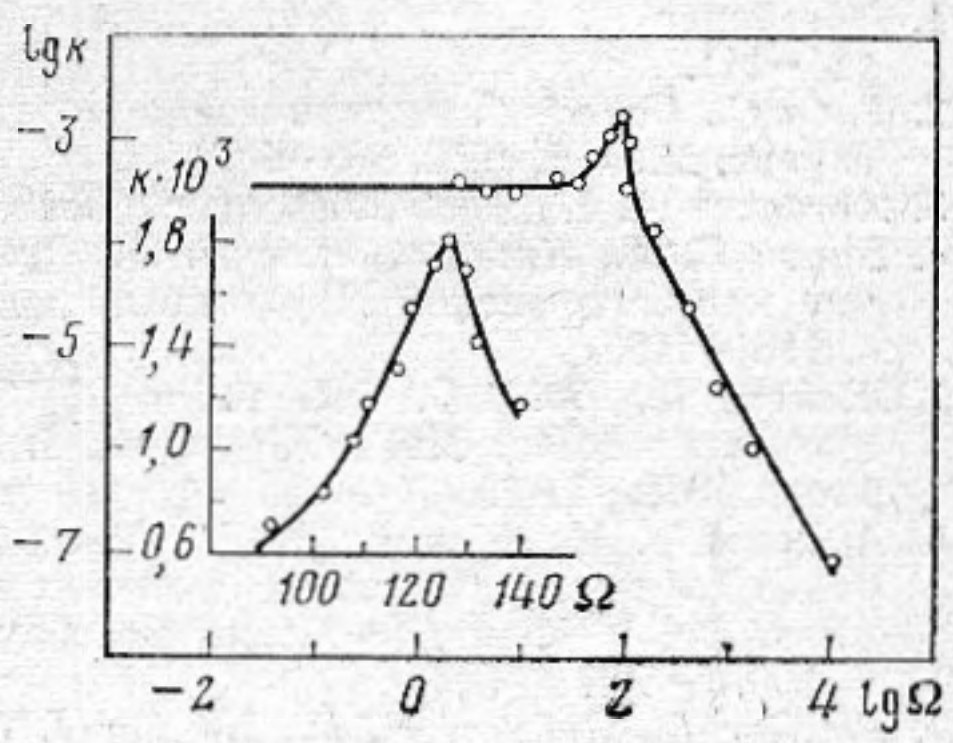
Аналогичная картина получается при различных напряжениях *VB* на преобразователе и постоянной частоте $\Omega=1$ *Гц*. Когда $V=60$ *В*, интенсивности линий становятся порядка интенсивности шумов.



Фиг. 1. Форма линии поглощения при звуковой модуляции: *1* – $\Omega=0$ *Гц*; *2* – $\Omega=1$ *Гц*, $V=1$ *В*; *3* – $\Omega=2$ *Гц*, $V=1$ *В* или $V=2$ *В*, $\Omega=1$ *Гц*; *4* – $\Omega=4$ *Гц*, $V=1$ *В* или $V=4$ *В*, $\Omega=1$ *Гц*; *5* – $\Omega=6$ *Гц*, $V=1$ *В* или $V=6$ *В*, $\Omega=1$ *Гц*; *6* – $\Omega=10$ *Гц*, $V=1$ *В* или $V=10$ *В*, $\Omega=1$ *Гц*; *7* – $V=60$ *В*, $\Omega>1$ *Гц* (*а*); форма линии поглощения при звуковой модуляции ($V=1$ *В*), *1* – $\Omega=14$ *Гц*; *2* – 20; *3* – 500; *4* – 400; *5* – 300; *6* – 50; *7* – 200, *8* – $\Omega=85$ *Гц* (*б*); форма линии поглощения при звуковой модуляции, *1* – $V=0$ *В*; *2* – $\Omega=50$ *кГц*, $V=12$ *В*; *3* – $\Omega=160$ *кГц*, $V=15$ *В*; *4* – $\Omega=30$ *кГц*, $V=5$ *В*; *5* – $\Omega=10$ *кГц*, $V=1$ *В* или $\Omega=20$ *кГц*, $V=5$ *В* или $\Omega=30$ *кГц*, $V=12$ *В*; *6* – $\Omega=20$ *кГц*, $V=9$ *В*; *7* – $\Omega=15$ *кГц*, $V=3$ *В*; *8* – $\Omega=10$ *кГц*, $V=3$ *В*; *9* – $\Omega=5$ *кГц*, $V=1$ *В* (*в*)

На фиг. 1, *а* приведены результаты расчетов формы линии в зависимости от параметра z. Как видно, при $z=0{,}47$; 0,94; 1,88; 2,82; 4,7, т. е. когда $\Omega=1$, 2, 4, 6, 10 *Гц* соответственно, а $V=1$ *В* или $V=1, 2, 4, 6, 10$ *В*, а $\Omega=1$ *Гц*, имеем хорошее согласие с экспериментальными результатами.

Указанная закономерность изменения формы линии от частоты продолжается до частоты 85 *Гц* (см. фиг. 1, *б*). Начиная с $\Omega=200$ *Гц*, имеет место обратная картина, т. е. с увеличением частоты величина расщепления уменьшается, а интенсивность пиков увеличивается. Это объясняется существованием собственного механического резонанса вибрирующей системы. Выражение для амплитуды колебания имеет вид



Фиг. 2. Зависимость коэффициента преобразования k от частоты Ω

$$A=\frac{\Omega_0^2 k_0 V}{\sqrt{(\Omega^2-\Omega_0^2)^2+4h^2\Omega^2}}, \tag{2}$$

где h — коэффициент затухания, Ω_0 — собственная частота. В случае $\Omega \ll \Omega_0$ ($A=k_0V$) параметр z увеличивается с увеличением Ω и, следовательно, увеличивается величина расщепления, а в случае $\Omega \gg \Omega_0$ ($A=k_0\Omega_0^2V/\Omega^2=kV$) с увеличением частоты z уменьшается из-за быстрого падения A.

Теоретические оценки при $k=k_0=0{,}59\cdot10^{-3}$ *см/В* и $k=k_0\Omega_0^2/\Omega^2$ ($\Omega\gg\Omega_0$) хорошо согласуются с экспериментальными результатами (см. фиг. 1, *б*, сплошные линии).

На фиг. 1, *в* приведены результаты измерений и теоретические расчеты для разных частот с разными напряжениями на преобразователе. В этом случае также имеется хорошее согласие теории с экспериментом. Когда частота Ω приближается к полуширине линии, форма несмещенной линии не изменяется.

В работе исследована также зависимость величины расщепления (или z), $\mathcal{F}_{max}$ и $\mathcal{F}_{min}$, т. е. формы линии поглощения, в зависимости от частоты вблизи и в точке механического резонанса вибрирующей системы.

Установлено, что в интервале частот колебаний $\Omega<\Omega_0$ величина z, $\mathcal{F}_{max}$ и $\mathcal{F}_{min}$ увеличиваются с ростом Ω, а при $\Omega>\Omega_0$ уменьшаются. Вблизи резонанса ($\Omega\sim\Omega_0$) зависимости z, $\mathcal{F}_{max}$ и $\mathcal{F}_{min}$ от Ω, естественно, принимают резонансный характер. Из сравнения экспериментальных данных для z и выражения (2) определяем зависимость коэффициента преобразования от частоты (см. фиг. 2). Как видно из фиг. 2, при частоте собственного резонанса вибратора коэффициент механического преобразования k резко возрастает и $k_{рез}=1{,}8\cdot10^{-3}$ *см/В*. Из ширины резонансной кривой для k или z можно определить добротность вибросистемы $Q=\Omega_0/\Delta\Omega\approx\approx4{,}54$.

Надо отметить, что распределение амплитуды вибрации в пределах исследуемого участка диффузора принималось равномерным из-за малости размеров поглотителя и напряжения на преобразователе. Для наблюдения неравномерности распределения амплитуды колебаний по диффузору проведены специальные исследования.

Таким образом, модулирование мессбауэровской линии поглощения внешними низкочастотными колебаниями приводит к осцилляции формы спектра. Это позволяет детально исследовать вибросистемы. Например, можно снять топографию (т. е. определить распределение амплитуды по диффузору), определить собственный механический резонанс и добротность вибрирующей системы, исследовать коэффициент преобразования электрических колебаний в механические и т. д.

Авторы благодарят В. И. Гольданского за консультации и внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mössbauer R. L.* Nuclear resonant γ-fluorescence in Ir^{191}. Z. Phys., 1958, *151*, 1, 124–141.
2. *Раби С., Болеф Д.* Акустическая модуляция γ-излучения Fe^{57}. Сб.: Эффект Мессбауэра, М., ИЛ, 1962, 395–400.
3. *Abragam A.* L'Effect Mössbauer (Gordon and Breach., New York), 1964, 22–24.
4. *Буров В. А., Красильников В. А., Сухаревская О. Ю.* Ультразвуковое расщепление мессбауэровской линии поглощения в окиси олова $Sn^{119}O_2$. ЖЭТФ, 1962, *43*, 4, 1184–1186.
5. *Mishory L., Bolef D.* Interaction of Ultrasound with Mössbauer Gamma Rays, in: Mössbauer Effect Methodology, ed. I. J. Gruverman, v. 4, N. Y.– London, Plenum Press, 1968, 13–25.
6. *Айвазян Т. М., Айвазян Ю. М., Кочарян Л. А., Мкртчян А. Р.* К определению параметров мессбауэровских спектров поглощения при ультразвуковых возбуждениях. Тр. V Межд. конф. по мессбауэровской спектроскопии, Братислава, 1973, ч. 1, 600–607.
7. *Pfeiffer L., Heiman N. D., Walker J. C.* Mössbauer Sidebands by rf Excitation of Magnetic Materials. Phys. Rev. B., 1972, *6*, 1, 74–89.
8. *Мкртчян А. Р., Кочарян Л. А., Саакян А. А., Аракелян А. Р.* Измерение скорости звука в конденсированных средах методом гамма-акустического резонанса. Тр. Межд. конф. по мессбауэровской спектроскопии, Бухарест, 1977, ч. 1, 349–350.
9. *Мкртчян А. Р., Аракелян А. Р., Арутюнян Г. А., Карамян Л. Г., Кочарян Л. А., Туманян С. С.* Измерение коэффициента затухания ультразвуковых волн в вязких средах методом гамма-акустического резонанса. Тр. Межд. конф. по мессбауэровской спектроскопии. Бухарест, 1977, ч. 1, 351–352.
10. *Буев А. Р.* Спектр γ-излучения мессбауэровских ядер при звуковом возбуждении с частотой, меньшей ширины линии. ФТТ, 1976, *18*, 6, 1791–1793.

Ереванский государственный университет,
физический факультет

Поступила
10 октября 1977 г.
После исправления
15 мая 1978 г.