Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

ФИЗИКА

Л. М. ЛЯМШЕВ

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА ТОНКОЙ ПЛАСТИНКОЙ В ВОДЕ

(Представлено академиком Н. Н. Андреевым 29 VII 1954)

1. В работе ([1]) было показано, что тонкая пластинка * в воде при определенных, достаточно больших углах падения звука дает сильное отражение в направлении, обратном падающей волне, так называемое незеркальное отражение, поскольку это обратное отражение имеет место при неперпендикулярном падении. В этой же работе было показано, что наблюдавшийся эффект связан с возникновением в пластинке под действием падающей волны сильных изгибных волн. Последние, как известно, выражены в наибольшей мере при угле падения, соответствующем равенству фазовой скорости падающей волны вдоль пластины и скорости изгибных волн в пластинке ([2]). Именно в области, близкой к этому углу, и наблюдалось незеркальное отражение.

2. Исследуя подробно незеркальное отражение тонких латунных, стальных и алюминиевых пластинок в воде в направлении, обратном падающей волне, мы обнаружили (об условиях эксперимента см. ниже) новый вид незеркального отражения, которое имеет место для значительно меньших углов падения, чем незеркальное отражение, связанное с изгибными волнами.

Для латунных пластинок, с которыми проводились первые эксперименты, независимо от толщины (и формы) пластинки это отражение наблюдалось при угле падения около 23°. Ю. М. Сухаревский указал на то, что новый вид незеркального отражения, вероятно, связан с возникновением в пластинке под действием падающей волны сильных продольных волн, возбуждающихся через поперечные сжатия пластинки, поскольку при угле 23° фазовая скорость падающей волны в воде вдоль пластинки равна скорости продольных волн в латунной пластинке.

Для стальной или алюминиевой пластинки соответствующий угол должен быть равен 16°, что и подтвердилось последующими экспериментами.

3. Измерения незеркального отражения пластинок проводились на установке, состоящей из наполненной водой ванны с поглощающими звук стенками размером $200 \times 50 \times 50$ см^3, генератора ультразвуковых импульсов, имеющих прямоугольную огибающую, кварцевого вибратора с кварцевой пластинкой X-среза с рассеивающей линзой из плексигласа (вибратор осуществлял как передачу, так и прием импульсов), приемного усилителя, наконец, импульсного осциллоскопа, служившего индикатором амплитуд эхо-сигналов. Длительность импульсов была 30 μ сек.; частота повторения импульсов 50 гц, а частота заполнения 1 Мгц; соответственно толщина пластинок была менее 1 мм; обычные размеры пластинок были 30×15 мм^2, а расстояние пластинок от вибратора 150 см. Пластинки крепились при помощи нитей на вращающейся прямоугольной раме, снабженной лимбом для отсчета углов.

* Под тонкими пластинками подразумеваются пластинки с толщиной, значительно меньшей длины продольной волны в материале пластинки.

4. Полярные диаграммы отражения нескольких латунных и алюминиевых пластинок приведены на рис. 1, 2 и 3. В соответствии со сказанным выше они относятся к отражению в направлении, обратном падающей волне. Сплошными линиями на рисунках показаны экспериментальные кривые, крестиками — теоретические значения вторичных

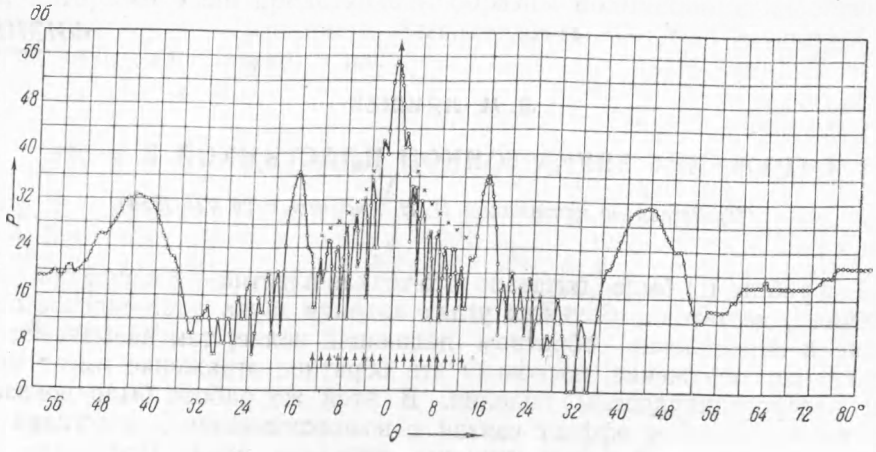


Рис. 1

максимумов для несжимаемой и неподвижной пластинки; стрелки показывают теоретические положения минимумов для такой пластинки.

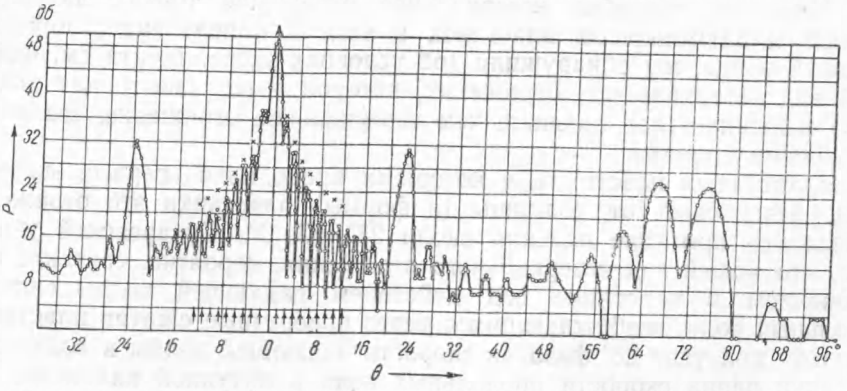


Рис. 2

5. Незеркальное отражение, связанное с изгибными волнами, для алюминиевой пластинки толщиной 0,8 мм видно при угле 43° (см. рис. 1), а для латунной пластинки толщиной 0,58 мм при угле 66—74° (см. рис. 2); для латунной пластинки толщиной 0,38 мм скорость изгибных волн меньше скорости звука в воде, и незеркального отражения, связанного с изгибными волнами, не возникает (см. рис. 3). Незеркальное отражение, связанное с продольными волнами, хорошо видно на полярных диаграммах всех трех пластинок: для латунных при угле около 23°, а для алюминиевой пластинки при угле около 16°.

6. Теоретическая часть работы будет опубликована нами позднее. Здесь мы ограничимся только несколькими замечаниями.

Исходным уравнением является волновое уравнение для поперечных колебаний сжатия пластинки, имеющее вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - c_1^2 \nabla^2 v = \sigma_1^2 \frac{a}{E_1} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}, \qquad (1)$$

где v — поперечное смещение; c_1 — скорость продольных волн; σ_1 — коэффициент Пуассона; $2a$ — толщина пластинки; E_1 — модуль упругости для тонкой пластинки; p — давление, действующее на поверхность пластинки.

Критический угол, при котором возникает незеркальное отражение, связанное с продольными волнами, в соответствии со сказанным выше, определяется выражением

$$\sin\varphi = \frac{c_0}{c_1}, \qquad (2)$$

где c_0 — скорость звука в среде, в которую погружена пластинка.

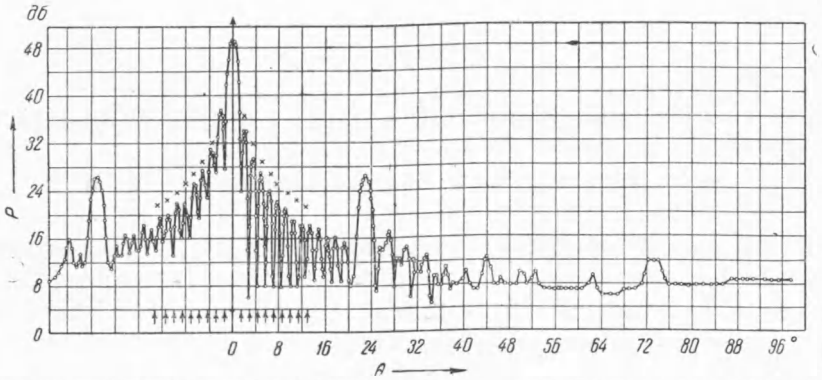


Рис. 3

В случае безграничной пластинки достаточно малой толщины или малой плотности условие (2) соответствует практически полному зеркальному отражению звука пластинкой с переменой фазы при отражении, а в случае безграничной пластинки достаточно большой толщины (но попрежнему малой толщины по сравнению с длиной продольной волны в пластинке) или большой плотности это условие соответствует практически полному прохождению звука через пластинку также с переменой фазы. Незеркальное отражение в пластинках конечных размеров обусловлено действием продольных (или изгибных) волн, отраженных границами пластинки.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Ю. М. Сухаревскому и Г. Д. Малюжинец за ценные указания.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступило
27 VII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] W. J. Finney, JASA, **20**, 5, 626 (1948). [2] L. Cremer, Akust. Zs., **7**, 81 (1942).