

**ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

**ФОКУСИРОВКА ЗВУКА ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ ГРАНИЦЫ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ**

*А. Н. Бархатов, И. И. Шмелев*

В [1] найдено уравнение каустики, образующейся при отражении звука от границы среды, в которой скорость звука изменяется по закону:

$$z < 0, \quad c^2(z) = \frac{c_0^2}{1 + az}, \quad a > 0, \quad (1)$$

если источник находится в однородной среде, для которой при  $z > 0$   $c(z) = c_0$ , и вычислено поле на каустике и вблизи нее. Последнее по амплитуде оказывается равным

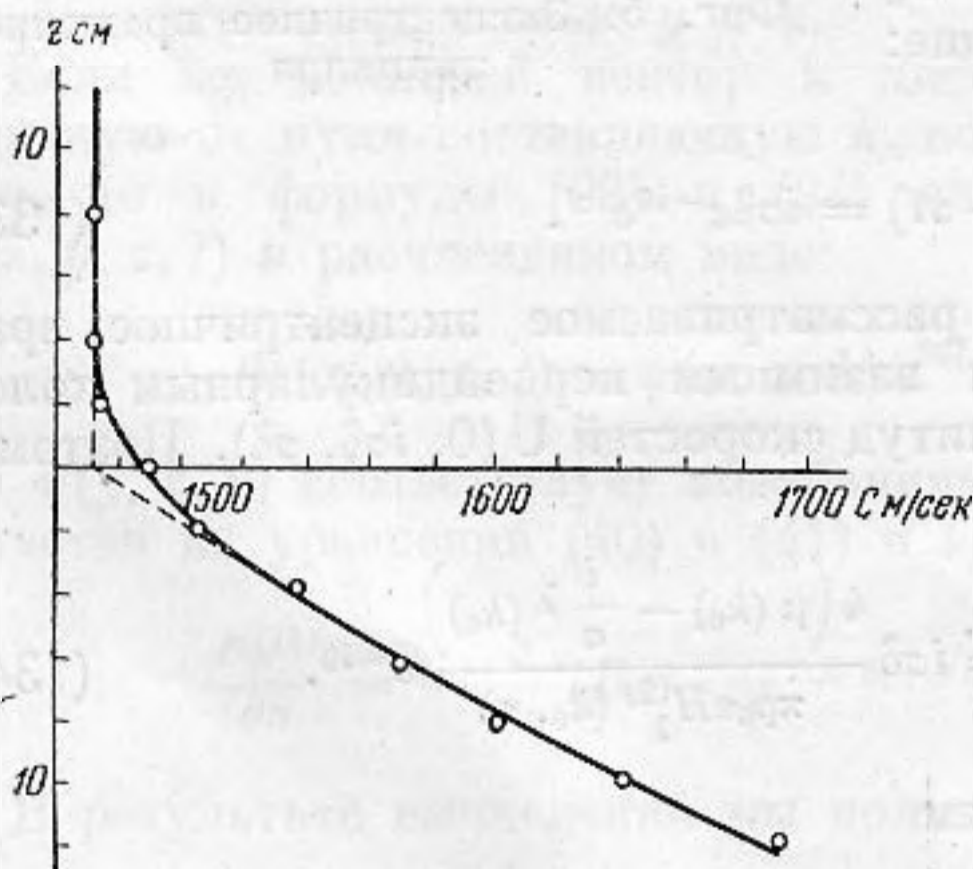
$$|\psi_{отр}| = \frac{\cos^{1/2}\chi_0}{(\cos 2\chi_0)^{1/2}} \cdot \frac{(2k_0^2 a)^{1/2}}{(2k_0 r)^{1/2}} v(t), \quad (2)$$

где  $\chi_0$  — угол скольжения падающего луча,  $k_0 = \omega/c_0$ ,  $r$  — горизонтальное расстояние до источника,  $v(t)$  — интеграл Эри от величины\*

$$t = -\frac{1}{2} u (ak_0^2 \operatorname{tg}^2 \chi_0 \cdot \operatorname{tg} 2\chi_0)^{1/2},$$

где  $u = r - r_0$  и  $r_0$  — расстояние от каустики до источника.

Нами произведена проверка этих соотношений в модельных условиях. Среда указанного вида была создана нами в ванне в результате взаимной диффузии между раствором поваренной соли и водой. При помощи оптического рефрактометра определялся показатель преломления света в пробах раствора, которые брались на различных уровнях. Отсюда вычислялось распределение по глубине концентрации соли и скорости звука. Пример вертикального распределения скорости звука в отражающей среде и его аппроксимация по закону (1) показаны на фиг. 1. Схема эксперимента



Фиг. 1. Вертикальное распределение скорости звука в отражающей среде и его аппроксимация (пунктир) по формуле (1):

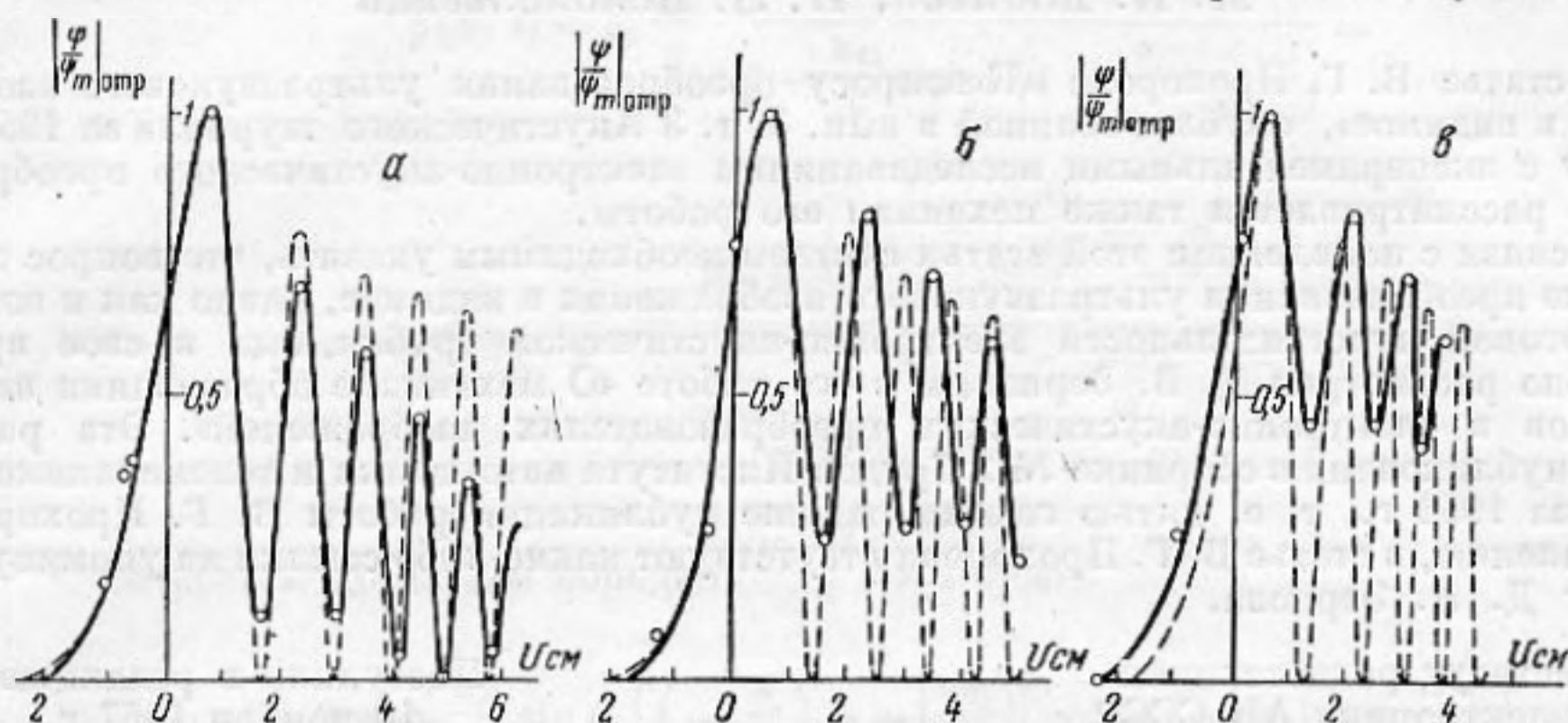
$$a = 0,02 \text{ 1/см}$$

была следующая: звуковой пучок, создаваемый излучателем, с раствором диаграммы направленности в вертикальной плоскости около  $20^\circ$ , находящимся в однородной среде, направлялся на границу отражающей среды. Работа проводилась на частоте 2,75 мгц. Поле в отраженной волне измерялось акустическим щупом — приемником, который мог перемещаться в горизонтальном направлении на различных уровнях. Для исключения приема прямого сигнала от излучателя последний на необходимой высоте экранировался вертикальным плоским экраном.

Примеры картин звукового поля в отраженной волне даны на фиг. 2. На горизонтальной оси откладывается расстояние от точки наблюдения до каустики ( $u$ ), на вертикальной — амплитуда отраженной волны по отношению к ее максимальному в

\* В цитированной работе ошибочно опущен множитель  $1/2$ .

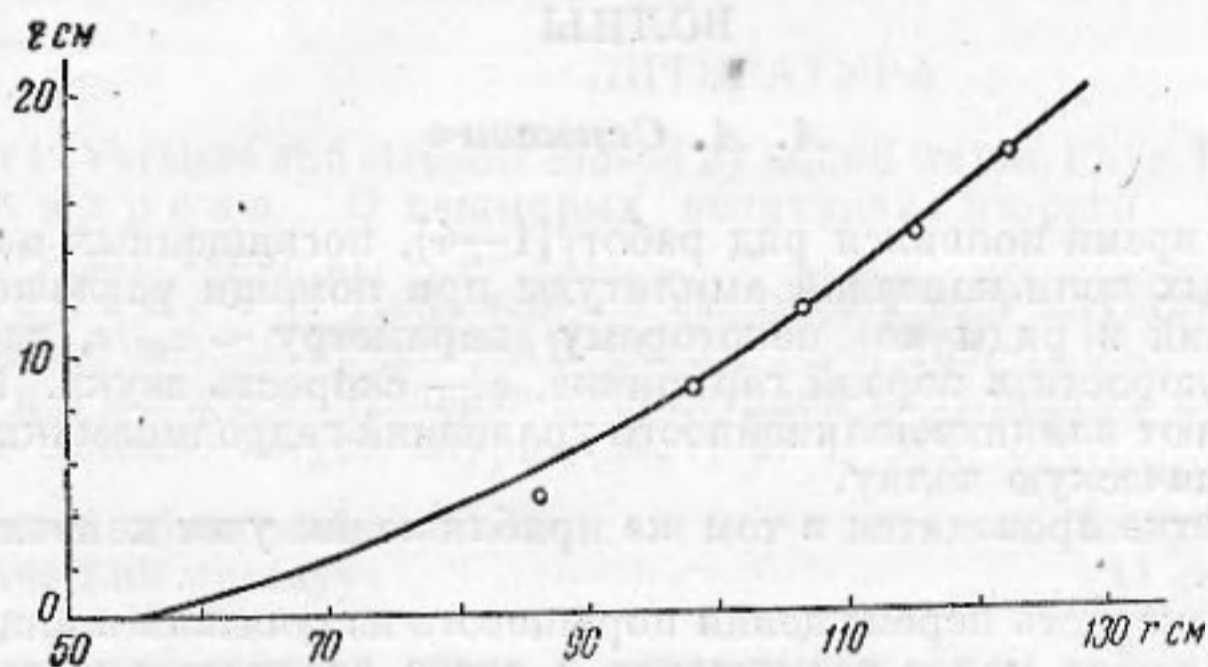
данном опыте значению. На тех же графиках пунктиром изображена амплитуда поля, вычисленная по формуле (2). В области геометрической тени, где амплитуда меняется монотонно, экспериментальные точки хорошо ложатся на теоретическую кривую. В освещенной области наблюдается некоторое расхождение экспериментальных данных с теоретическими. Прежде всего, на опыте, в отличие от теории, амплитуда никогда



Фиг. 2. Амплитуда звукового поля в отраженной волне:

а —  $a = 0,02$  1/см,  $z_0 = 4$  см,  $z = 11,5$  см; б —  $a = 0,02$  1/см,  $z_0 = 4$  см,  $z = 14,5$  см; в —  $a = 0,03$  1/см,  $z_0 = 2$  см,  $z = 10$  см

не спадала до нуля, что может быть, по-видимому, связано с трудно учитываемыми фазовыми соотношениями на поверхности излучателя, имеющего конечные размеры, и при распространении звука, а также с усредняющим действием приемника звука.



Фиг. 3. Положение каустики:

$a = 0,02$  1/см,  $z_0 = 4$  см

Далее следует отметить, что на опыте пространственный период осцилляции получался, как правило, больше теоретического, особенно при удалении приемника от границы неоднородной среды. Впрочем, по порядку величины экспериментальный и теоретический периоды совпадают. На каустике ( $u = 0$ ), как это следует из свойств

функции Эри, величина  $\left| \frac{\psi}{\psi_{\max}} \right|$  равна 0,62927. При помощи этого соотношения по положению точек с максимальной амплитудой определялось место экспериментальной каустики. На фиг. 3 сплошная кривая изображает каустику в однородной среде, вычисленную по формулам, приведенным в [1]. Координата  $r$  равна горизонтальному расстоянию от точки наблюдения до излучателя, координата  $z$  — вертикальному расстоянию от нее до условной границы неоднородной среды (фиг. 1). Точки на фиг. 3 соответствуют каустике, определенной экспериментально. Как видно из фигуры, местоположения вычисленной и опытной каустик удовлетворительно согласуются.

В проведении экспериментов принимала участие студентка С. В. Чугунова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Б р е х о в с к и х. Фокусировка звуковых волн неоднородными средами. Акуст. журн., 1956, 2, 2, 124—132.

Горьковский государственный университет

Поступило в редакцию  
30 августа 1957 г.