

А. А. КАРПАЧЕВА, Л. Д. РОЗЕНБЕРГ и Б. Д. ТАРТАКОВСКИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОКУСИРУЮЩИХ
СВОЙСТВ ЗОНАЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 25 I 1947)

1. При помощи установки, описанной в работе (1), были произведены дальнейшие экспериментальные исследования фокусирующих свойств зональных пластинок при расположении источника звука на главной оптической оси*. За исключением специально оговоренных случаев, измерения производились при длине волны $\lambda \cong 2,5$ см, что соответствует частоте ~ 13 кгц.

Прежде всего было исследовано распределение звуковой энергии в области главного фокуса; для этого снимались кривые распределе-

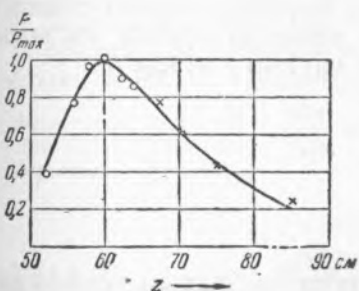


Рис. 1

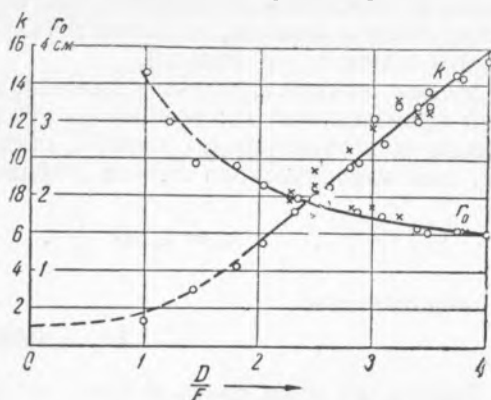


Рис. 2

ния давления в плоскостях, параллельных зональной пластинке, на различных от нее расстояниях z . Эти измерения проводились с зональной пластинкой с расчетным главным фокусным расстоянием $F=58$ см, при наружном диаметре последнего кольца $D=75,6$ см, на длине волны $\lambda=2,43$ см.

Получающиеся при этом кривые распределения имеют обычный для дифракционных кривых вид. Они имеют основной максимум на главной оптической оси и побочные максимумы в стороне.

На рис. 1 изображено изменение максимального давления вдоль главной оптической оси. Из кривой видно, что наибольшая концентрация давления получается для $z=60$ см, что соответствует фокусу

* Несмотря на то, что исследования производились на звуковых волнах, в дальнейшем изложении мы всюду пользуемся оптической терминологией, как более привычной.

зональной пластинки в условиях данного эксперимента (источник на конечном расстоянии). При удалении от фокуса, кроме ослабления давления в центре дифракционного пятна, происходит еще размытие и относительное увеличение подобных максимумов.

2. Далее была исследована зависимость фокусирующих свойств зональных пластинок от отношения D/F . Для этой цели были проведены измерения 12 зональных пластин с одинаковым расчетным главным фокусным расстоянием $F = 20$ см, различавшихся наружными диаметрами таким образом, что величина D/F менялась в пределах от 1 до 4. Измерения показали, что фокусное расстояние f с увеличением D/F монотонно менялось в пределах от 20,8 до 24 см. Непостоянство отклонения экспериментального фокусного расстояния от расчетного, которое (отклонение) при неподвижном источнике не должно изменяться, по видимому, объясняется тем фактом, что в исследованных пластинках значения D/F сильно отличаются от обычно применяемых в оптике.

Для каждой пластинки снималась кривая распределения давления в плоскости, проходящей через фокус перпендикулярно главной оптической оси. Как и следовало ожидать, с увеличением D/F радиус дифракционного кружка сжимается. На рис. 2 показана зависимость радиуса первого темного кольца r_0 от отношения D/F ; при вычислении аргумента подставлялось значение F , полученное из эксперимента.

На том же рисунке представлена зависимость коэффициента усиления k , представляющего собой отношение максимального давления в центре дифракционного кружка к давлению падающей звуковой волны в плоскости зональной пластинки, от D/F . Пунктиром обозначены участки кривых, соответствующие пластинкам с очень малым числом колец (1—3 кольца).

Можно показать, что для фокусирующих систем с осевой симметрией произведение коэффициента усиления на радиус первого темного кольца пропорционально первой степени диаметра зрачка системы. Так, для классического случая дифракции круглого отверстия

$$r_0 = 1,22\lambda \frac{F}{D}, \quad k = \frac{\pi D^2}{4\lambda F},$$

и, следовательно,

$$kr_0 = 0,96D.$$

Такого же рода соотношение, но с другим численным коэффициентом должно существовать и для зональных пластинок. Этим обстоятельством можно воспользоваться для проверки результатов измерений таких независимых друг от друга величин, как r_0 и k . Подсчет показывает, что с небольшим разбросом эти точки действительно аппроксимируются прямой

$$kr_0 = 0,28D.$$

3. Одним из факторов, определяющих четкость изображения, является отношение звуковых давлений в основном и в первом побочном максимумах.

На рис. 3 эта зависимость изображена для исследованной серии зональных пластинок как функция D/F . Любопытно отметить, что при малых значениях аргумента кривая близко подходит к величине $P_0/P_1 = 7,53$, известной из теории дифракции круглого отверстия. При больших значениях аргумента кривая спадает вследствие того, что распределение давления в фокальной плоскости приближается к картине стоячих волн с равными давлениями в пучностях.

4. Хотя каждая зональная пластинка рассчитывается на вполне определенную частоту, представляет интерес рассмотреть поведение ее в некотором диапазоне частот. Это было сделано для пластины с расчетным главным фокусным расстоянием $F = 20$ см и внешним диаметром последнего кольца $D = 91,6$ см. При этом было обнаружено, что ее фокусное расстояние уменьшается с ростом частоты,

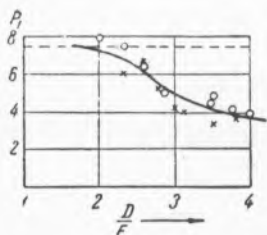


Рис. 3

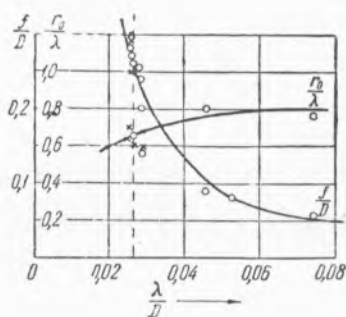


Рис. 4

т. е. наблюдается своеобразная хроматическая аберрация, сопровождающаяся размытием дифракционного кружка.

Результаты этих измерений приведены на рис. 4. Пунктиром отмечена расчетная длина волны для данной пластинки. В пределах изменения частоты $\pm 5\%$ от расчетной расстояние меняется значительно ($\pm 15\%$), при малом размыте дифракционного кружка. При дальнейшем уменьшении частоты дифракционное пятно сильно расплывается. Несмотря на то, что отношение r_0/λ в общем мало меняется в измеренном диапазоне частот, угловая разрешающая способность зональной пластинки с увеличением длины волны падает вследствие сильного уменьшения фокусного расстояния.

В проведении экспериментальных работ принимали участие В. Я. Эйхенгольц и Ю. Н. Сильвестров.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
25 I 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Карпачева, Л. Д. Розенберг и Б. Д. Тартаковский, ДАН, 54, 399 (1946).