

## САМОФОКУСИРОВКА И ФОКУСИРОВКА УЛЬТРА- И ГИПЕРЗВУКА

Г. А. Аскарьян

В последнее время появились новые источники интенсивных ультра- и гиперзвуковых волн - мощные лучи лазеров, дающие в среде поток объемных волн, вызывающих вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна.

В данной статье отмечается возможность самофокусировки и фокусировки гиперзвуковых лучей от таких или иных источников, оцениваются условия появления и возможные следствия этих эффектов.

В основе рассматриваемых эффектов лежат нелинейные процессы, создающие перепад свойств среды внутри и вне звукового луча. В частности, эффекты самофокусировки звука напоминает нелинейные эффекты самофокусировки электромагнитных лучей в средах [1-6].

### 1. Фокусировка звукового луча "следом" светового луча

Световой луч может вызвать такое изменение свойств среды, которое изменит распространение звуковой волны. Например, поглощение света и нагрев среды изменит скорость и распространение звука в тех участках среды, по которым прошел свет (так называемый "след" светового луча). В плотных средах (жидкость, твердое тело) обычно скорость звука уменьшается при выделении энергии в среде:  $dc_s/dT < 0$ , поэтому тепловой след луча или части луча повышенной интенсивности (световой нити) может служить звуководом, отражая звук на границе следа.

Если угол  $\varphi$  скольжения между направлением падения и слоем скачка на границе нагретой зоны таков, что  $\cos \varphi > c_{s \text{ внутри}} / c_{s \text{ вне}}$ , т.е. для малых значений  $\varphi < \sqrt{-\Delta c_s / c_s}$ , то будет осуществляться полное внутреннее отражение звука и световой след будет служить звуководом. Обычно  $\Delta c_s / \Delta T \sim k \cdot 10^2$  см сек<sup>-1</sup> град<sup>-1</sup>, где  $k$  - число порядка нескольких единиц. Например, для  $\Delta T \sim 0,1^\circ$  и  $c_s \approx 10^5$  см/сек получим

$$\varphi_{кр} \approx 10 \sqrt{k \Delta T / c_s} \sim 3 \cdot 10^{-2};$$

отражение звуковых волн на границе или в слое скачка может вызвать фокусировку звуковых волн внутри следа, причем расстояния между фокусными точками  $L_f \sim a / \varphi$ ; где  $a$  - радиус следа.

Температурный канал сохраняется в течение времени  $t \sim a^2 / \chi$ ; где  $\chi$  - температуропроводность среды. Например, для  $\chi \approx 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/сек даже для  $a > 10^{-2}$  см получим  $t > 10^{-2}$  сек; за это время звук может

пройти достаточно большое расстояние  $L \sim c_s t \sim 10$  м, т.е. звук достаточно долго "помнит" прошедший свет.

Нагрев среды в луче света может регулироваться в широких пределах подбором или добавлением веществ, заметно поглощающих свет.

## 2. Самофокусировка звукового луча

Сам звуковой луч может создать при больших интенсивностях заметный перепад акустических свойств среды внутри и вне луча, обеспечивающий самофокусировку звукового луча. Например, нагрев среды в звуковом луче, изменение среднего давления упругости среды и т.п., — все это может вызвать подфокусировку и фокусировку звукового луча возникающим скачком свойств. Например, нагрев  $\Delta T \sim \alpha_s I_s t / \rho C$ , где  $C$  — теплоемкость среды,  $I_s$  — плотность потока звуковой радиации,  $\alpha_s$  — линейный коэффициент поглощения звуковых волн,  $t$  — время от начала тепловыделения. Так, звуковая волна подфокусируется идущей впереди частью звуковой волны. Большие достижимые плотности потока звука, генерируемого лучами лазеров  $I_s \approx \frac{(\Delta p)^2}{\rho c_s} \sim (\epsilon'_p E^2 / 4\pi)^2 \frac{1}{\rho c_s}$  порядка сотен киловатт/см<sup>2</sup> при поле световой волны  $E \sim 3 \cdot 10^7$  в/см делают эффекты заметными даже при небольшом  $\alpha_s$ .

Условие порога самофокусировки будет выполнено при  $\varphi_{дифр.} \approx \approx \lambda_s / a \approx \sqrt{\frac{-\Delta C_s(t)}{C_s}}$ . При больших  $|\Delta C_s|$  может произойти схождение луча и резкое увеличение концентрации энергии, амплитуд и градиентов давления.

Возможны также эффекты фокусировки звука на нестационарных волнах расширения от боковой поверхности луча, создающих трубчатую зону пониженной (относительно центра луча) температуры, отражающую внутрь луча расходящиеся подлучи, что аналогично рассмотренной недавно нестационарной самофокусировке луча света волнами разрежения [7].

Эффекты самофокусировки и фокусировки звуковых волн могут представлять интерес в связи с проблемой разрушения твердых тел в фокусных областях, образования кавитаций в жидкостях, получения больших концентраций гипер- и ультразвукового излучения, переноса и направленной передачи их энергии и т.п.

В заключение выражаю благодарность И.Л.Фабелинскому за ценные обсуждения.

Физический институт

им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступило в редакцию

8 июня 1966 г.

#### Литература

- [1] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, 42, 1563, 1962.
- [2] В.И.Таланов. Известия ВУЗов, Радиофизика, 7, 564, 1964.
- [3] R.Y.Chiao, E.Garmire, C.H.Townes. Phys. Rev. Lett., 13, 479, 1964; 14, 1056, 1965; 16, 347, 1966.
- [4] Н.Ф.Пилипецкий, А.Р.Рустамов. Письма ЖЭТФ, 2, 88, 1965.
- [5] С. А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. ЖЭТФ, 50, 1537, 1966.
- [6] R.L.Kelley. Phys. Rev. Lett., 15, 1005, 1965.
- [7] Д.П.Райзер. Письма ЖЭТФ, см. настоящий номер журнала, стр. 124.