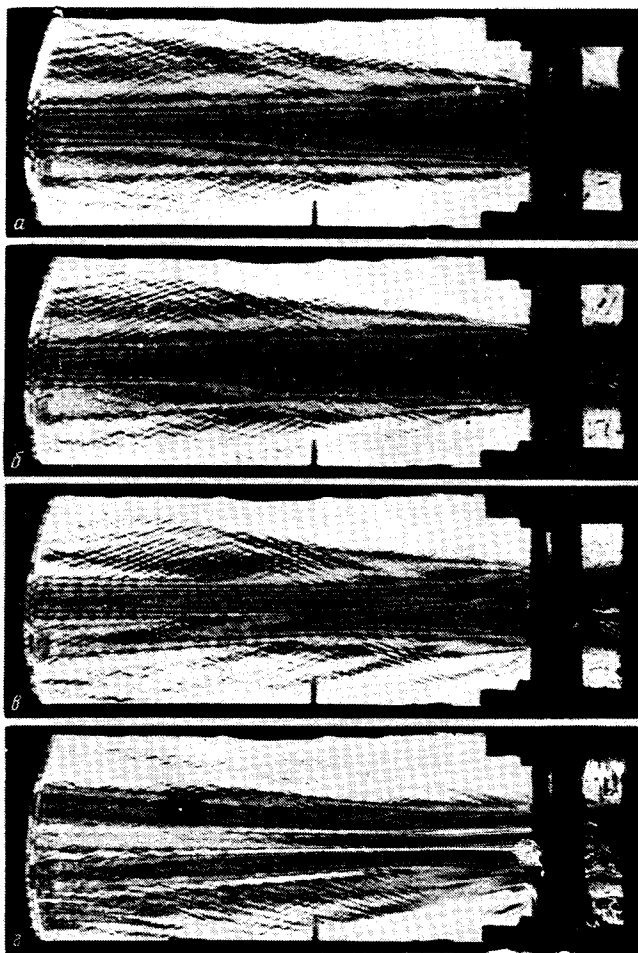


НАБЛЮДЕНИЕ ТЕПЛОВОГО САМОВОЗДЕЙСТВИЯ ЗВУКОВОГО ПУЧКА В ЖИДКОСТИ

*В.А.Ассман Ф.В.Бункин, А.В.Верник,
Г.А.Ляхов, К.Ф.Шипилов.*

Экспериментально исследован эффект самовоздействия звукового пучка в бензоле. Впервые наблюдается тепловая самофокусировка ультразвукового пучка на частоте 2 МГц при превышении порогового значения излученной энергии.

Экспериментальное обнаружение эффектов взаимодействия звука с незвуковыми движениями жидкости требует — из-за сильных конкурирующих процессов — выполнения жестких условий на параметры жидкости и звукового поля ¹. Самовоздействие звуковых пучков, как один из таких эффектов, было предсказано в ²; самый сильный (в обычных жидкостях) температурный механизм его



“Теневая” картина распределения интенсивности звукового пучка в бензоле. Входная мощность $P = 15$ Вт, время после включения источника: а – 0,2 с; б – 0,5 с; в – 1 с; г – 2 с. Излучатель расположен справа; виден теплофильтр перед ним

5 см

описан для непрерывного излучения в ³. Времена установления течений $\tau(v)$ и температуры $\tau(T)$ в сантиметровых пучках порядка $10 \div 10^2$ с. Поэтому, по оценкам ¹, при длительности звукового излучения $\tau < 10$ с дефокусирующее продольное течение не действует, если $A = c_p/c_0^2 |\gamma_p| < 1$ (c_p – удельная теплоемкость, c_0 – скорость звука, $\gamma_p = (\partial \ln c_0^2 / \partial T)_p$). Пороговый параметр самофокусировки в этом, по необходимости нестационарном, режиме – энергия: $W_{\Pi} = 0,15 \rho_0 c_p c_0^2 / \delta |\gamma_p| f^2$ (ρ_0 – плотность, δ – коэффициент поглощения, f – частота). Основные конкурирующие процессы – звукоиндуцированная конвекция, разрушающая пучок при $\tau > \tau_c = (\rho_0 c_p / \alpha g \delta I)^{1/3}$ (a – радиус пучка, α – коэффициент теплового расширения, g – ускорение свободного падения, I – интенсивность звука), а также каскадная генерация гармоник. Последняя полностью подавлена при $\tau > \tau_p = 39,5 c_p \epsilon^2 f^2 a^2 / \delta c_0^5 |\gamma_p|$ (ϵ – упругая нелинейность, a – радиус пучка); но и при $\tau < \tau_p$ не препятствует самофокусировке, затрудняя, однако, ее количественную интерпретацию – в частности, гармоники могут понижать наблюдаемый порог, так как $W_{\Pi} \sim f^2$.

В нашем эксперименте по наблюдению теплового самовоздействия звукового пучка в качестве рабочей среды, исходя из названных требований, был избран бензол. Жидкость находилась в прямоугольной кювете (4 × 6 × 20 см) с дисковым излучателем (керамика ЦТС-19, диаметр 14 мм, резонансная частота 1,972 МГц) на одном торце и акустическим поглотителем из стекловаты на другом. Для предотвращения нежелательного нагрева среды в области звукового пучка теплом, выделяющимся в излучателе при работе, перед ним поме-

шался трехслойный теплофильтр из фторопластовой пленки толщиной 0,05 мм. Кювета имела боковые окна из оптического стекла. Пространственное распределение интенсивности звука в жидкости исследовалось оптическим методом "темного поля" (в нашем случае — "светлого"). Акустическая мощность определялась с погрешностью не более 30% по числу чередующихся темных и светлых полос внутри пучка, результаты сопоставлялись с данными электрических измерений.

В контрольном эксперименте с водой, в которой самофокусировка невозможна ($\gamma_p > 0$, к тому же δ очень мало) изменений профиля пучка при мощности $P = 15$ Вт за время $t \gg 10$ с не обнаружено.

Эксперимент с бензолом ($\gamma_p < 0$) показал, что изменение структуры пучка становится заметным, когда энергия $W = Pt$ достигает $2 \div 3$ Дж. Основное изменение состоит в сужении пучка — до двукратного при $W \cong 15$ Дж — рис. 1, а — в. Край сужающегося пучка отчетливо виден на этих фотографиях. (Размытые полосы в верхней и нижней частях снимков отвечают боковым лепесткам диаграммы излучателя и отражениям от стенок кюветы). С течением времени от момента включения источника постоянной мощности наблюдается движение образовавшейся перетяжки пучка к излучателю. При дальнейшем увеличении излученной энергии пучок распадается на отдельные нити (рис. 1, з). При $W \gtrsim 30$ Дж ($t \gtrsim 2$ с) наблюдается турбулентное размытие пучка, фронт которого движется к излучателю. На рис. 1 видно также, что тепловые потоки от излучателя не проникают в рабочую область.

Оценки по результатам¹ для условий нашего эксперимента дают $A = 0,14$, $W_{II} = 3,9$ Дж, $\tau_c = 1,4$ с. Величина $\tau_p \cong 3,6$ с — то есть генерация гармоник происходит, хотя и не в развитом режиме; с этим мы связываем наблюдаемое понижение порога до $2 \div 3$ Дж. Расслоение пучка при $W \gtrsim 20$ Дж ($\gtrsim 5 W_{II}$) обусловлено тем, что при таких уровнях энергии пороговое ее значение "набирается" на отдельных неоднородностях входного профиля. С теоретическими предсказаниями согласуется и скорость движения перетяжки (характерная длина фокусировки составляет $L_{\phi} = 8,8 t^{-1/2}$ при $P = 15$ Вт).

Таким образом, в нашем эксперименте наблюдалась тепловая самофокусировка звукового пучка на частоте $f = 2$ МГц; результаты наблюдений хорошо согласуются с теорией¹.

Литература

1. Бункин Ф.В., Воляк К.И., Ляхов Г.А. ЖЭТФ, 1982, 83, 575.
2. Аскарьян Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1966, 4, 144.
3. Заболотская Е.А., Хохлов Р.В. Акуст. журн. 1976, 22, 28.