

УДК 535.34

АКУСТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК, СОПУТСТВУЮЩИЙ ВРМБ В ЖИДКОСТИ

А. И. Ерохин, Д. О. Замураев, К. В. Зотов

Зафиксированы звуковые волны, распространяющиеся из зоны ВРМБ в гексане. В направлении, перпендикулярном распространению взаимодействующих при ВРМБ волн, с помощью широкополосного приемника акустических колебаний зарегистрирован сигнал, коррелирующий с наличием процесса ВРМБ в жидкости.

Процесс ВРМБ связан с генерацией мощной гиперзвуковой волны (см., напр., [1, 2]). Известно, что акустические волны гиперзвукового диапазона частот в веществе быстро затухают ($\alpha_{\text{hs}} \gg 10^3 \text{ см}^{-1}$) и существуют только в области светоакустического взаимодействия. Интенсивность гиперзвуковой волны I_{hs} , участвующей в процессе ВРМБ в области насыщения, можно, согласно [1], оценить по формуле:

$$I_{\text{hs}} = I_{\text{pump}} \frac{\Omega_{\text{MB}} g_{\text{SBS}}}{\omega 2\alpha_{\text{hs}}},$$

где I_{pump} – интенсивность возбуждающего света; Ω_{MB} и ω – соответственно частоты гиперзвука и возбуждающего света; g_{SBS} и α_{hs} – инкременты усиления ВРМБ и затухания гиперзвука соответственно. Амплитуда приращения плотности в гиперзвуковой волне, нормированная на плотность жидкости, по этой оценке составит $\sim 10^{-3}$. Звук такой амплитуды является (см., напр., [3]), сильно нелинейным. Недаром в [4] предполагали, что его действие может вызвать разрушение в кристаллах и стеклах. Исследование нелинейности гиперзвука при ВРМБ, к сожалению, ограничивалось экспериментальным поиском его гармоник, которые явно присутствуют в плазме [5] и слабо проявляются в конденсированных средах [6]. Частота гиперзвуковых гармоник превышает Ω_{MB} , а значит они тем более локализованы внутри сфокусированного лазерного луча.

Цель данной работы – поиск акустических сигналов, выходящих за пределы каустики и определение их связи с ВРМБ.

В эксперименте использован одночастотный лазер на неодимовом стекле ($\lambda = 1.055$ мкм). Добротность резонатора лазера модулировалась кристаллом LiF, и длительность импульса t_{pump} составляла 25 нсек. Излучение лазера проходило через Фарадеевскую развязку, а затем фокусировалось линзой (4) в центр кюветы с гексаном (5) (рис. 1), в которой и происходила генерация ВРМБ. Приемниками излучения лазера и ВРМБ служили фотоэлементы ФК-19 (1), электрический отклик с которых поступал на вход осциллографа TDS 3032. Для регистрации акустического сигнала использовался широкополосный сегнетоэлектрический приемник (2) на основе $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ – пленки размером $2 \times 2 \times 0.01$ мм³, принимающий сигналы до частот $\sim 10^7$ Гц и согласованный со входом широкополосного усилителя. Ограниченная область каустики, в которой происходил процесс ВРМБ, отображалась акустической линзой 3, изготовленной нами из химически стойкого полимера (“фторакс”, скорость звука V_{s2} в котором, по нашим измерениям, составила $\sim 2.7 \cdot 10^5$ см/сек), на приемник 2. Применение акустической линзы позволило не только локализовать зондируемый объем, но и многократно повысить чувствительность аппаратуры.

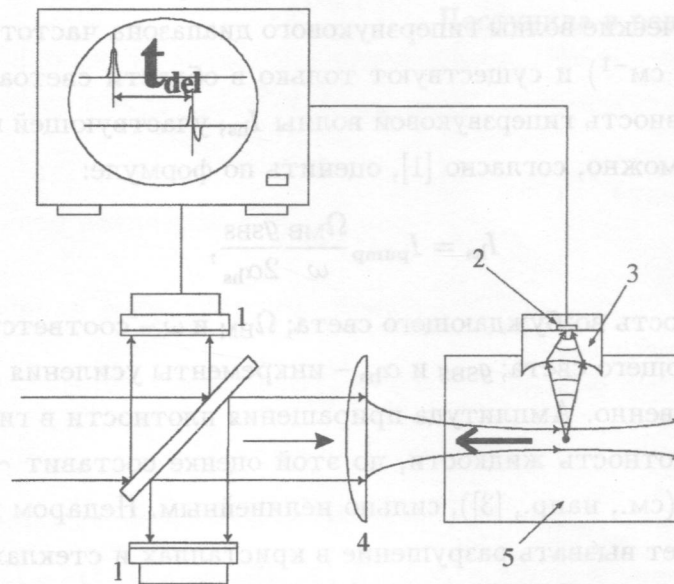


Рис. 1. Схема эксперимента. 1, 2 – приемники оптического и акустического излучения; 3, 4 – акустическая и оптическая линзы; 5 – кювета с гексаном.

В направлении, ортогональном развитию процесса ВРМБ (рис. 1), нами зарегистрирован акустический сигнал, приходящий на приемник с задержкой $t_{\text{del}} \sim 35$ мксек по

окончании оптического воздействия. Задержка включала время прохождения звуком гексана (толщиной 3.2 см со скоростью $V_{s1} = 1.08 \cdot 10^5$ см/сек) и материала линзы (3) (толщиной 1.5 см со скоростью V_{s2}). Сигнал исчезал в том случае, если мощности лазера не хватало для возбуждения ВРМБ. На рис. 2(а) представлено поведение эффективности преобразования лазерного излучения в стоксов сигнал (ВРМБ) в зависимости от энергии накачки W_{pump} . Зависимость 2(б) отражает поведение амплитуды акустического сигнала при изменении W_{pump} в том же диапазоне. Графики 2(а) и 2(б) имеют визуальное сходство и достигают насыщения при одинаковых уровнях возбуждения, а также имеют близкие пороги регистрации.

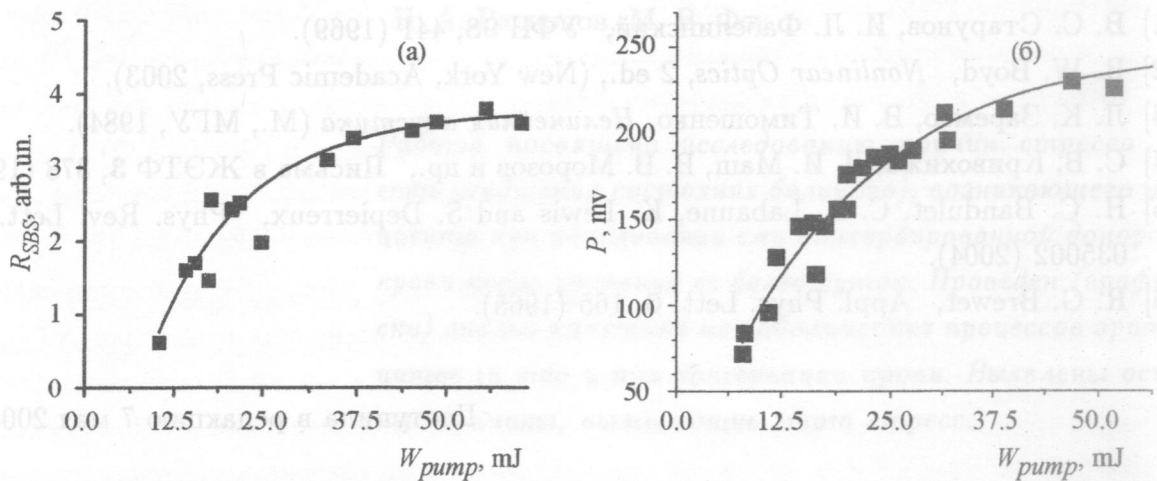


Рис. 2. Зависимости эффективности R_{SBS} процесса ВРМБ (а) и амплитуды P акустического сигнала (б) от энергии накачки W_{pump} .

Для анализа полученных данных сопоставим вклад теплового расширения жидкости в каустике и ее стрикционного сжатия. Относительное изменение плотности вещества за счет поглощения света k_w составляет: $\frac{\Delta \rho_T}{\rho} \approx \frac{I t_{\text{pump}} k_w}{\rho c_p} \beta$, где c_p – теплоемкость, а β – коэффициент теплового расширения. Для $I \sim 10^9$ Вт/см² и $t_{\text{pump}} \sim 2.5 \cdot 10^{-8}$ сек эта величина составит $\sim 2 \cdot 10^{-4}$. Обычное стрикционное сжатие в отсутствие ВРМБ, согласно [2], составило бы величину $\Delta \rho_{\text{str}} \approx \frac{\gamma_e I}{ncV_{s1}^2}$, на порядок меньшую, чем $\Delta \rho_T$. Наблюдаемая нами волна сжатия существенно отличается от обычной электрострикционной волны. Она уверенно регистрируется при достижении порога ВРМБ и ее амплитуда повторяет поведение гиперзвуковой волны. Между тем гиперзвуковая волна,

имеющая коэффициенты поглощения $\alpha_{\text{hs}} \sim 4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, не может достичь акустической линзы. К тому же полоса используемого акустического приемника ограничена частотой 10^7 Гц, следовательно фиксируется звук значительно меньшей частоты, чем гиперзвук, обусловленный ВРМБ.

Т.о. авторами впервые (насколько нам известно) зарегистрирована низкочастотная составляющая звука, сопутствующая ВРМБ.

Авторы благодарят В. В. Савранского за предоставление акустического приемника, а Ю. В. Митягина за предоставление осциллографа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. С. Старунов, И. Л. Фабелинский, УФН **98**, 441 (1969).
- [2] R. W. Boyd, *Nonlinear Optics*, 2 ed., (New York, Academic Press, 2003).
- [3] Л. К. Зарембо, В. И. Тимошенко, *Нелинейная акустика* (М., МГУ, 1984).
- [4] С. В. Кривохижа, Д. И. Маш, В. В. Морозов и др., Письма в ЖЭТФ **3**, 378 (1966).
- [5] H. C. Vandulet, C. L. Labaune, K. Lewis and S. Depierreux, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 035002 (2004).
- [6] R. G. Brewer, *Appl. Phys. Lett.* **6**, 165 (1965).

Поступила в редакцию 7 мая 2008 г.