УДК 534.222.2

ТЕРМООПТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЗВУКА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПАРЕНИЯ

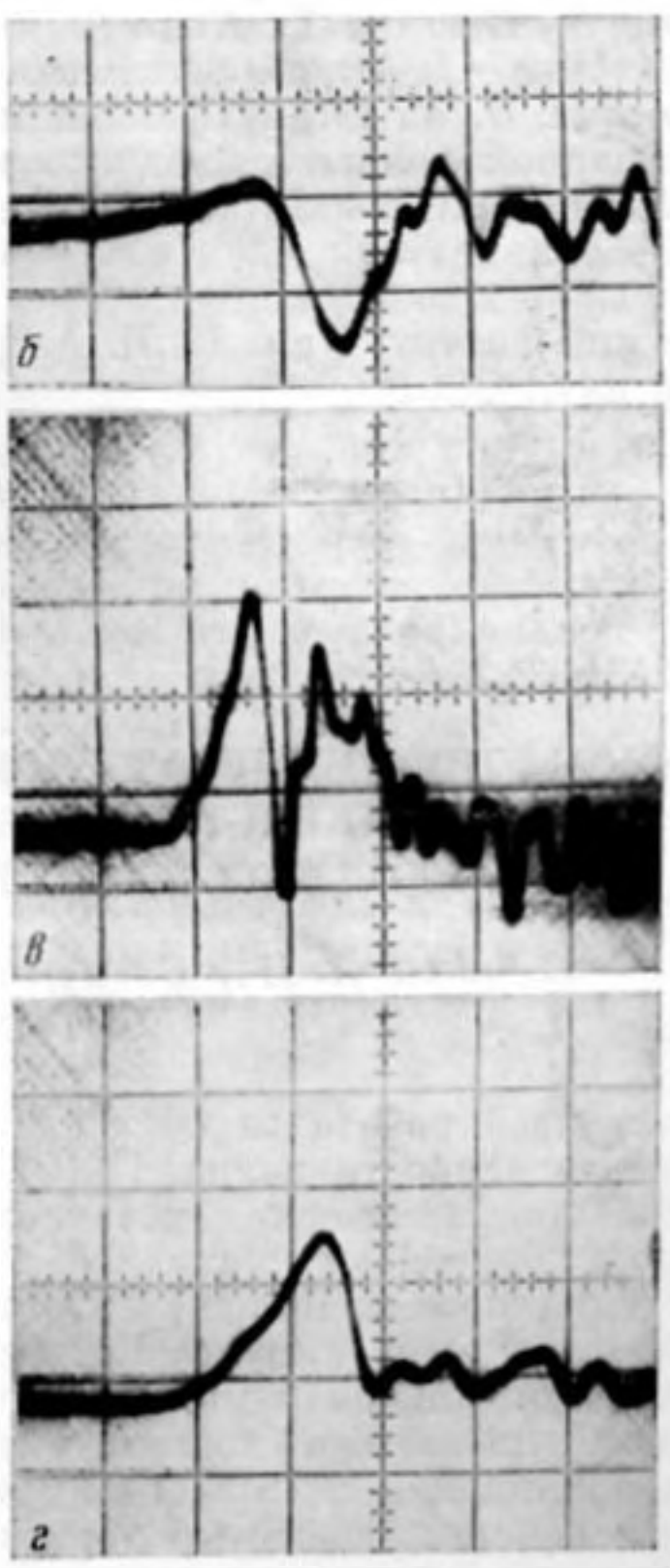
Егерев С. В., Лямшев Л. М., Наугольных К. А., Пашин А. Е., Участнов В. Н.

Экспериментально исследована термооптическая генерация звука в воде лазерным импульсом, связанная с тепловым расширением поглощающего лазерное излучение тонкого приповерхностного слоя жидкости. Процесс, наблюдающийся в условиях сильного поглощения света и интенсивного испарения воды, отличается от традиционной термооптической генерации звука в средах с умеренным коэффициентом поглощения [1] и характеризуется сильной тепловой нелинейностью. Давление на поверхность со стороны разлетающихся потоков пара (порядка единиц и десятков МПа) обеспечивает значительные перегревы приповерхностного слоя, и, следовательно, коэффициент объемного теплового расширения за время лазерного импульса возрастает на несколько порядков. Установлено, что в этих условиях амплитуда термооптических возмущений в объеме поглощающего слоя может быть сравнима и даже превосходить давление отдачи паров.

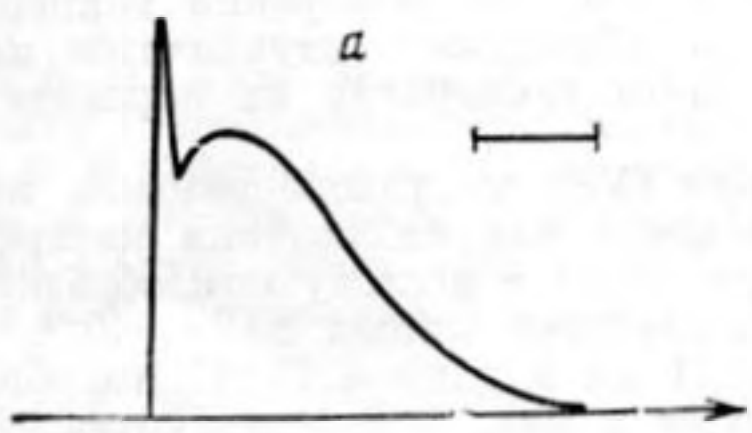
В эксперименте использовалось импульсное инфракрасное излучение с длиной волны $\lambda=10{,}6$ мкм, полной длительностью $\tau=4$ мкс. Энергия импульса изменялась в диапазоне $E=0{,}1\div0{,}5$ Дж. Коэффициент поглощения излучения с данной длиной волны в воде составлял $\alpha=870$ см$^{-1}$. На поверхности воды излучение фокусировалось в пятно $d=1$ мм. Огибающая оптической интенсивности имела вид, характерный для излучения углекислотных лазеров: короткий головной импульс длительностью по полуширине $\tau_1=100$ нс и более длинный пьедестал (осциллограмма фиг. 1, *а*). Именно первый короткий импульс ответственен за термооптическую генерацию звука в данных условиях, т. к. эффективность процесса в средах с сильным оптическим поглощением обратно пропорциональна длительности энерговыделения.

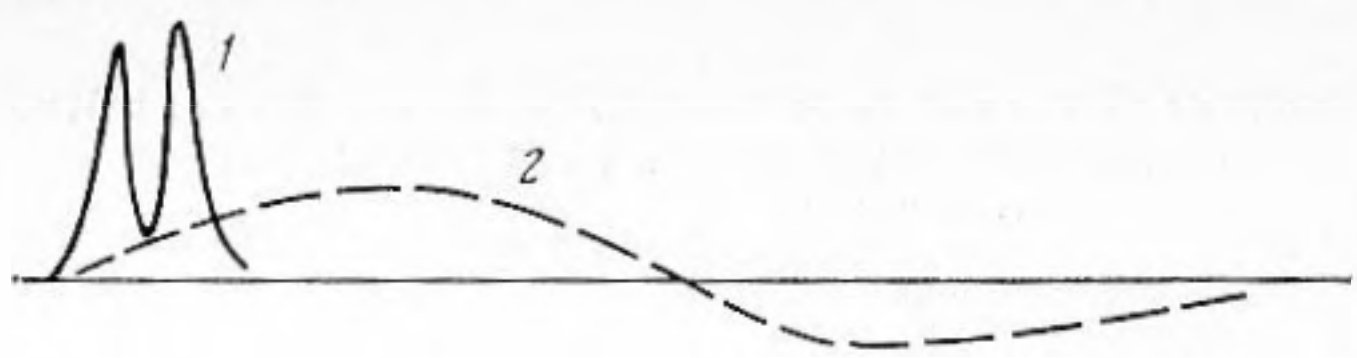
Акустическое давление регистрировалось в дальнем поле источника в осевом направлении с помощью пленочного пьезодатчика. Расстояние от поверхности — 20 мм, временное разрешение датчика — 30 нс, чувствительность — 1 мкВ/Па.

Некоторые осциллограммы сигналов, зарегистрированных в дальнем поле акустического излучения в осевом направлении, приведены на фиг. 1, *б—г*. Из осциллограмм следует явная трансформация профиля сигнала с увеличением энерговклада. В отличие от ранее проведенных экспериментов (например [2]) удается выявить чисто термооптическую природу приведенных сигналов. Плавное по энерговкладу искажение М-образного импульса (фиг. 1, *б*, *в*) связано с ростом пикового давления во второй фазе сжатия за счет тепловой нелинейности. Вклад испарительного давления



Фиг. 1. Осциллограммы оптического (*а*) и звуковых (*б—г*) импульсов. *а* — масштаб по горизонтали 1 мкс/дел; *б* — $I=8\cdot10^6$ Вт·см$^{-2}$, масштаб по горизонтали 0,2 мкс/дел, масштаб по вертикали 10^4 Па/дел; *в* — $I=1{,}6\cdot10^7$ Вт·см$^{-2}$, масштаб по горизонтали 0,2 мкс/дел, масштаб по вертикали $2\cdot10^4$ Па/дел; *г* — $I=2\cdot10^7$ Вт·см$^{-2}$, масштаб по горизонтали 0,1 мкс/дел, масштаб по вертикали $5\cdot10^4$ Па/дел





Фиг. 2. Схема формирования профиля сигнала в условиях сильного испарения. *1* – импульс термооптической генерации звука; *2* – импульс испарительной генерации звука

в сигнал заключается в некотором смещении профиля вверх относительно средней линии (фиг. 1, *в*). На фиг. 2 пояснена схема формирования профиля сигнала в этих условиях. Схема приводит в соответствие профиль фиг. 1, *в* с требованием равенства нулю импульса во всем сигнале. Обнаружено, что в диапазоне интенсивностей ($2\cdot10^5$–$2\cdot10^7$) Вт·см$^{-2}$ зависимость амплитуды давления $P(I)$ пропорциональна I^n, где n зависит от диаметра пятна. Так, например, при d=2,5 мм имеем n=1; при d=1,5 мм – n=1,5; при d=1 мм – n=3,5. При интенсивности $I>2\cdot10^7$ Вт·см$^{-2}$ состояние приповерхностного слоя становится неустойчивым, при этом исчезает свободная граница, играющая важную роль в формировании привычного профиля термооптического сигнала, что приводит к его искажению (фиг. 1, *г*). Не исключено, что разрушение неустойчивого состояния инициируется значительным разрежением при разгрузке в объеме поглощающего слоя. Напомним, что аналогичное явление наблюдается при отражении ударной волны от поверхности [4]. Взрывное вскипание слоя приводит к цугу звуковых импульсов, замыкающему сигнал, оно неэффективно с точки зрения звукообразования. Сходная осциллограмма приведена в работе [3] без пояснения.

Полученные результаты дают основания пересмотреть представления о соотношении вкладов термооптического и испарительного механизмов в генерацию звука, по крайней мере, в осевом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лямшев Л. М., Седов Л. В.* Оптическая генерация звука в жидкости. Тепловой механизм. (Обзор).– Акуст. журн. 1981, т. 27, № 5, с. 5–21.
2. *Sigrist M., Kneubuhl F.* Laser generated stress waves in liquids.– J. Acoust. Soc. Amer., 1978, v. 64, N 6, p. 1652–1663.
3. *Emmony D., Geerken T., Klein-Baltink T.* Laser-generated high-frequency sound waves in water.– J. Acoust. Soc. Amer., 1983, v. 73, p. 220–224.
4. *Кедринский В. К.* О двухфазной модели развития зоны кавитации при отражении ударной волны подводного взрыва от свободной поверхности жидкости.– VI Междунар. симпоз. по нелинейн. акустике, М. 1975. Тез. докл. Моск. ун-т, с. 299–302.

Акустический институт им. Н. Н. Андреева
Академия наук СССР

Поступило в редакцию
29.XI.1984

УДК 539.213+534.23

АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ЗВУКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАЛЛАХ В ОБЛАСТИ ИХ ПЕРЕХОДА ИЗ ПЛАСТИЧЕСКОГО В ХРУПКОЕ СОСТОЯНИЕ

Недбай А. И., Смирнов А. М., Ходжахонов И. Т., Шутилов В. А.

В настоящей работе за счет повышенной точности измерений температурного коэффициента скорости звука (ТКС) впервые обнаружено ступенчатое изменение ТКС в поликристаллических металлах в области температур их перехода из пластического в хрупкое состояние.

Измерения производились ультразвуковым (УЗ) импульсно-фазовым методом с двумя задержанными импульсами. Использование для наблюдения интерференции УЗ импульса, прошедшего максимальное расстояние в исследуемом образце (3÷7-го эхоимпульса), позволило повысить чувствительность метода до $\sim3\cdot10^{-6}$. Образцы металлов цилиндрической формы диаметром 11 мм и длиной 15÷17 мм обрабатывались с плоскопараллельностью торцов не хуже 1 мкм. В качестве пьезопреобразователей использовались пластинки X- и AC-срезов кварца. Охлаждение образцов