

УДК 534.222

Р. Б. АЛАВЕРДЯН, Ю. С. ЧИЛИНГАРЯН

ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ЗВУКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

В работе впервые зарегистрирован и экспериментально исследован эффект обращения волнового фронта звука на поверхности раздела нематический жидкий кристалл (НЖК)—воздух. Экспериментально установлено возрастание интенсивности обращенного звука вблизи точки термодинамического фазового перехода (НЖК—изотропная жидкость) по сравнению с областями наибольшей устойчивости фаз.

1. Обращению волнового фронта (ОВФ) с помощью объемных динамических голограмм (четырёхволновое ОВФ) в настоящее время посвящено достаточно большое число работ. Проведенные исследования позволили в значительной степени расширить имеющиеся представления об ОВФ оптического излучения, привели к существенному продвижению излучения в другие диапазоны длин волн (ультрафиолетовый и инфракрасный).

В работах [1—4] исследованы возможности реализации ОВФ в акустике. Один из наиболее простых способов ОВФ звука заключается в использовании в качестве динамической голограммы границы раздела двух сред [1, 2]. Наибольшие коэффициенты отражения акустических волн с ОВФ удается реализовать в условиях, когда параметры нелинейной среды модулированы во времени с удвоенной частотой звука. Например, в работе [3] показано, что с помощью кристаллов LiNbO_3 , к которым прикладывается переменное электрическое поле, могут быть достигнуты очень высокие коэффициенты отражения в обращенную волну ($R \sim 10^6$).

В связи с расширением области приложений явления ОВФ все большую актуальность приобретает поиск перспективных сред с сильной нелинейностью. Это важно для понижения интенсивностей волн, участвующих в процессах нелинейного взаимодействия. В этой связи следует указать на среды с большим временем релаксации возмущений показателя преломления. Наиболее широко исследуются возможности использования этих сред для схем ОВФ на основе четырехволнового взаимодействия. В таких схемах частота сигнальной волны должна совпадать с частотой интерферирующей с ней волны накачки (или отличаться от указанной частоты на очень малую величину). В указанных условиях было осуществлено ОВФ в жидких кристаллах (ЖК) в оптическом диапазоне (см., например, [5] и библиографию).

В данной работе впервые зарегистрирован и экспериментально исследован эффект ОВФ звука на поверхности раздела нематический жидкий кристалл (НЖК)—воздух.

2. В работе [6] исследованы физические механизмы, позволяющие реализовать ОВФ в акустике, и обсуждены вопросы практических приложений звуковых ОВФ—зеркал. В звуковом диапазоне, как и в оптике, можно реализовать ОВФ за счет вынужденных рассеяний, но наи-

более перспективным представляется четырехволновое взаимодействие, обеспечивающее беспороговое ОВФ при значительных коэффициентах усиления.

При взаимодействии звуковых волн с поверхностью жидкость—газ на поверхности жидкости возникает плоская фазовая голограмма. Под действием радиационного давления за счет изменения формы поверхности возникает набеги фазы, который зависит от интенсивности звука. В качестве нелинейного элемента взаимодействия звуковых пучков в этом случае выступает возвышение поверхности, которое квадратично зависит от давления звука [6].

Две когерентные плоские звуковые волны, распространяясь под малым ($\theta \ll 1$) углом относительно друг друга, накладываются на поверхности жидкость—газ, создавая плоскую периодическую интерференционную решетку. Сигнальная волна, рассеиваясь на наведенной таким образом фазовой решетке, порождает волну с ОВФ. При этом коэффициент усиления можно оценить с помощью формулы [6]

$$|K|^2 = [4K_1 I_0 / c(\rho_0 g + \sigma K^2 \sin^2 \theta)]^2, \quad (1)$$

где $K_1 = 2\pi f / C$, f —частота ультразвука, C —скорость звука в жидкости.

$I_0 = \rho_0 C \frac{|V|^2}{2}$ —плотность потока энергии падающей волны, ρ_0 —плот-

ность, а σ —поверхностное натяжение жидкости. Оптимальная частота, при которой эта величина максимальна, определяется выражением

$$K_1 = K_{1\text{опт}} \sqrt{\frac{\rho_0 g}{\sigma}} \cdot \sin^{-1} \theta.$$

При этом

$$|K_0|^2_{\text{max}} = 4I_0 (C^2 \sigma \rho_0 g \sin^2 \theta)^{-1}. \quad (2)$$

Сделаем оценки на примере НЖК-МББА (для которого в глубокой нематической фазе $\rho_0 \approx 10^3$ кг/м³, $C \approx 1550$ м/с, $\sigma \approx 4 \cdot 10^{-3}$ н/м): $K_{1\text{опт}} \approx 5,2 \cdot \sin^{-1} \theta$ см⁻¹, $f_{\text{опт}} \approx 1,2$ МГц при $\theta \approx 4^\circ$; $|K|^2_{\text{max}} \approx 5 \cdot 10^8$ при $I_0 = 2$ Вт/см².

3. Для исследования ОВФ звука была собрана экспериментальная установка, которая схематически изображена на рис. 1 (см. также [6]).

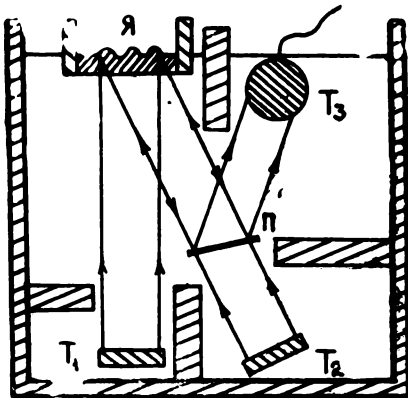


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования ОВФ-звука на поверхности жидкого кристалла.

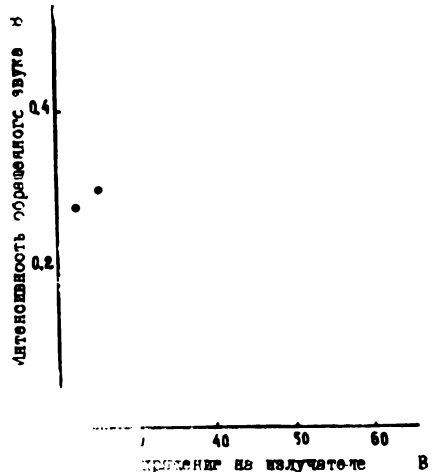


Рис. 2. Зависимость интенсивности обращенного звука от интенсивности накачки при температуре $T \approx 25^\circ\text{C}$.

Излучатели T_1 и T_2 , разделительная пластинка Π и ЖК-ячейка были установлены с помощью юстировочного лазера, причем T_1 устанавливалась таким образом, чтобы звуковой пучок падал перпендикулярно к поверхности жидкости (слой НЖК, толщиной ~ 3 мм, разделялся от воды с помощью тефлоновой прокладки, толщиной 10 мкм). Керамические излучатели работали на частоте 2,6 МГц. Звуковой сигнал от излучателя T_2 попадал на поверхность ЖК в том же месте, куда попадала накачка. На поверхности раздела НЖК—воздух возникала фазовая акустическая голограмма. Излучение накачки дифрагировалось на голограмме, порождая ОВФ-волну, распространяющуюся к излучателю T_2 . Часть ОВФ-сигнала отражалась от разделительной пластинки Π ($R \sim 4\%$) и регистрировалась гидрофоном T_3 (пьезокерамический гидрофон размерами 2×4 мм²). Все измерения в эксперименте были проведены в стационарном режиме. Для регистрации ОВФ-сигнала нами применялась та же методика, что и в [6]. В нашем эксперименте превышение сигнала над шумом было порядка $\beta \sim 2,5$ (определение β см. в [6]). В эксперименте был использован НЖК-МББА, для которого температура просветления составляла $T_{\text{иж}} \approx 41^\circ\text{C}$.

На рис. 2 представлена зависимость ОВФ-сигнала от интенсивности накачки. Как видно, при больших интенсивностях, как и в случае поверхности вода—воздух, эта зависимость немонотонна, притом здесь немонотонность наступает раньше, чем на поверхности вода—воздух (ср. с [6]). Такая зависимость объясняется самофокусировкой накачки на поверхности жидкости, когда под действием радиационного давления поверхность становится сферической. Однако в случае НЖК надо отметить, что существенную роль могут играть и тепловые эффекты.

На рис. 3 представлена зависимость интенсивности обращенного звука от температуры при напряжении ~ 40 В на излучателе T_1 . Видно, что при приближении температуры к температуре фазового перехода жидкого кристалла $T_{\text{иж}}$ интенсивность ОВФ-сигнала возрастает по сравнению с областями наибольшей устойчивости фаз. Такое возрастание можно объяснить критическим уменьшением скорости распространения звука при приближении температуры к температуре фазового перехода изотропная жидкость—НЖК. В заключение отметим, что в области фазового перехода НЖК—ИЖ критически возрастает поглощение ультразвука в МББА, поэтому вблизи $T_{\text{иж}}$ появляется также тепловая решетка, которая хорошо наблюдается в эксперименте. Такая тепловая решетка в дальнейшем может быть использована для получения больших коэффициентов отражения.

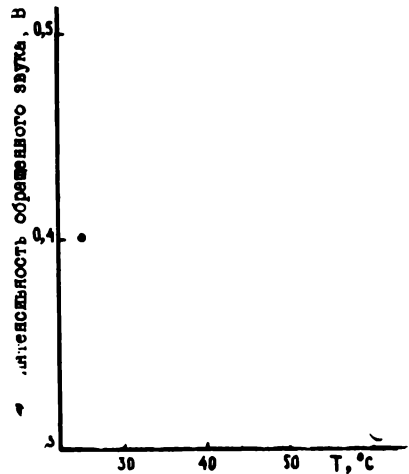


Рис. 3. Зависимость интенсивности ОВФ-сигнала от температуры при напряжении на излучателе ≈ 40 В.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бункин Ф. В., Власов Д. В., Крайцов Ю. А. Обращение волнового фронта и самофокусировка звука за счет нелинейного взаимодействия с поверхностью жидкости.—Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 6, с. 325.

2. Андреева Н. П., Бункин Ф. В., Власов Д. В., Каршиев К. Экспериментальное наблюдение явления обращения волнового фронта звука на поверхности жидкости.— Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, № 2, с. 104.
3. Брысев А. П., Бункин Ф. В., Власов Д. В., Казаров Ю. Е. Экспериментальная реализация модели параметрического обращающего фазу усилителя звука (ПОФУЗ) на ниобате лития.— Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, № 9, с. 546.
4. Бункин Ф. В., Власов Д. В., Заболотская Е. А., Кравцов Ю. А.— Температурный и пузырьковый механизмы четырехфононного обращения волнового фронта звуковых пучков.— Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 9, с. 560.
5. Аракелян С. М., Чилингарян Ю. С. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1984, 360 с.
6. Бункин Ф. В., Власов Д. В., Кравцов Ю. А. Препринт № 90, М.: ФИАН, 1982; Бункин Ф. В., Власов Д. В., Кравцов Ю. А. Обращение волнового фронта в акустике. В сб. научных трудов. Горький: Изд-во ИПФАН, 1982, с. 63—90.

Բ. Բ. ԱՎԵՐԴՅԱՆ, ՅՈՒ. Ս. ՉԻԼԻՆԳՐՅԱՆ

ՉԱՅՆԻ ԱԼԻՔԱՅԻՆ ՃԱԿԱՏԻ ՇՐՋՈՒՄԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՎՐԱ

Ա մ ֆ ո ֆ ո լ մ

Աշխատանքում առաջին անգամ գրանցված և փորձնականորեն հետազոտված է ձայնի ալիքային ճառագարի շրջման երևույթը նեմատիկ հեղուկ բյուրեղ—օդ բաժանման մակերևույթի վրա: Փորձնականորեն հաստատված է շրջված ձայնի ինտենսիվության աճ թերմոդինամիկական ֆազային անցման կետի մոտակայքում: