

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. М. Минкович, В. П. Яковлев. Теория синтеза антенн. М., «Советское радио», 1969.
2. Е. А. Васильцов, В. И. Короченцев. Синтез антенн, расположенных на цилиндрических поверхностях. Межвузовский сб. «Прикладная акустика», VI, Таганрог, 1973.

Дальневосточный политехнический институт  
им. В. В. Куйбышева

Поступила  
7 июня 1976 г.

УДК 534:548

### ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛНАХ НА ГРАНИЦЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО — ЖИДКОСТЬ

В. И. Васькова, И. А. Викторов, А. А. Талашев

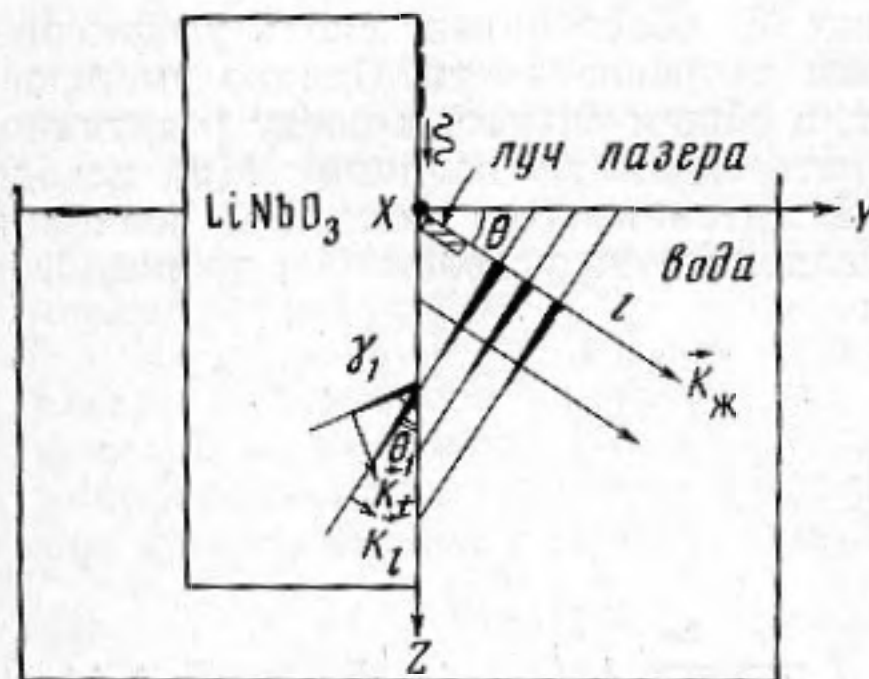
Одним из перспективных методов исследования характеристик и свойств рэлеевской волны, распространяющейся по свободной поверхности твердого тела, является метод дифракции когерентного света на периодических пространственных возмущениях, создаваемых волной [1—3]. Известны три способа наблюдения дифракции света на поверхностной рэлеевской волне: дифракция при отражении света от поверхности, по которой распространяется волна в твердом теле [4—6] и в жидкости [7]; дифракция при прохождении света через твердое тело перпендикулярно поверхности с рэлеевской волной [8]; дифракция при прохождении света сквозь среду с волной параллельно свободной поверхности [9].

Ниже описывается новый способ наблюдения дифракции — дифракция света на поверхностной волне на границе твердое тело — жидкость. В этом случае, наблюдая дифракцию света на отраженной звуковой волне в жидкости, можно получить характеристики указанной поверхностной волны. Теоретически акустические волны на границе твердое тело — жидкость были исследованы в работах [10, 11]. Под поверхностной волной мы понимаем здесь волну рэлеевского типа, распространяющуюся вдоль границы твердое тело — жидкость с фазовой скоростью  $c \approx c_R$  ( $c_R$  — фазовая скорость рэлеевской волны) и затухающую вдоль направления распространения вследствие излучения энергии в жидкость, поскольку практически всегда скорость волн в жидкости  $c_{ж} < c$ . Данная волна состоит из неоднородных продольных (волновой вектор  $K_l$ ) и поперечной  $K_t$  волны в твердом теле, очень похожих на соответственные компоненты рэлеевской волны, и неоднородной волны  $K_{ж}$  в жидкости [10]. Последняя распространяется под острым углом  $\theta$  к границе и ее амплитуда нарастает вдоль фронта при удалении от границы (фиг. 1).

Блок-схема экспериментальной установки изображена на фиг. 2. На поверхности Y-среза кристалла  $LiNbO_3$  с помощью гребенчатых металлических электродов (число пар электродов 24, апертура 11 мм) в непрерывном режиме на частоте 10,2 МГц возбуждалась рэлеевская волна, распространяющаяся вдоль оси z. Кристалл погружался в ванну с дистиллированной водой перпендикулярно поверхности жидкости.

Тонкий пучок света от гелий-неонового лазера ЛГ-36 ( $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ), вырезанный диафрагмой  $\mathcal{D}_1$ , проходил через ванну с водой и линзой L фокусировался на фотокатод фотоумножителя ФЭУ-28; сигнал регистрировался на осциллографе ИО-4. Перед фотоумножителем помещалась диафрагма  $\mathcal{D}_2$ .

Нами изучалось звуковое поле в жидкости. Диафрагма  $\mathcal{D}_1$  длиной 1,5 мм и шириной 0,25 мм устанавливалась под углом  $\theta = 25^\circ 9'$  к поверхности воды. Под этим углом распространялась волна, излученная с поверхности кристалла  $LiNbO_3$ . Участок жидкости, освещенный лучом лазера, на фиг. 1 заштрихован. Амплитуда  $U_{ж}$  звуковой волны в жидкости рассчитывалась по формуле для дифракции света на звуковой волне в жидкости [12]:



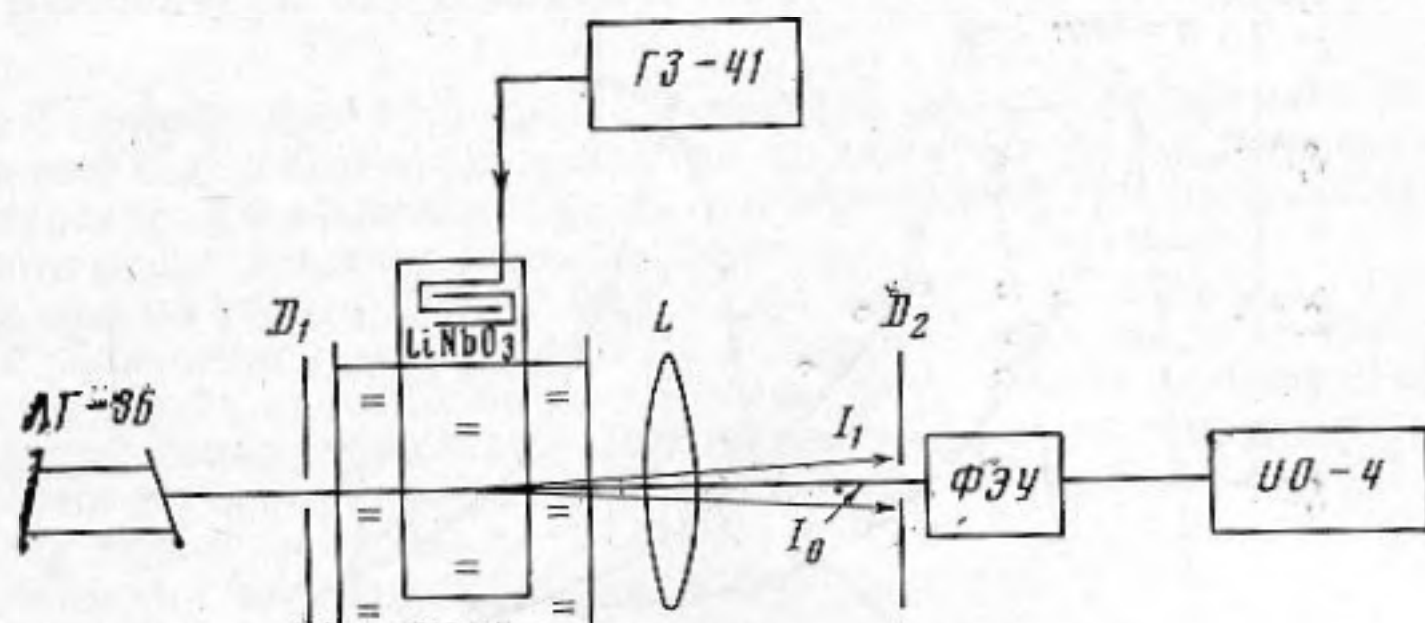
Фиг. 1. Поверхностная волна на границе  $LiNbO_3$  — вода. Толщина волновых фронтов пропорциональна амплитуде волны в данной точке

$$(1) \quad U_{ж} = \frac{\lambda_{ж} \lambda_c}{2\pi^2 (n-1) h} \sqrt{\frac{I_1}{I_0}},$$

где  $\lambda_{ж}$ ,  $\lambda_c$  — длины звуковой и световой волны в дистиллированной воде соответственно,  $n$  — показатель преломления света для воды,  $h$  — ширина звукового пучка по оси X,  $I_0$ ,  $I_1$  — интенсивности света в нулевом и первом дифракционных максимумах.

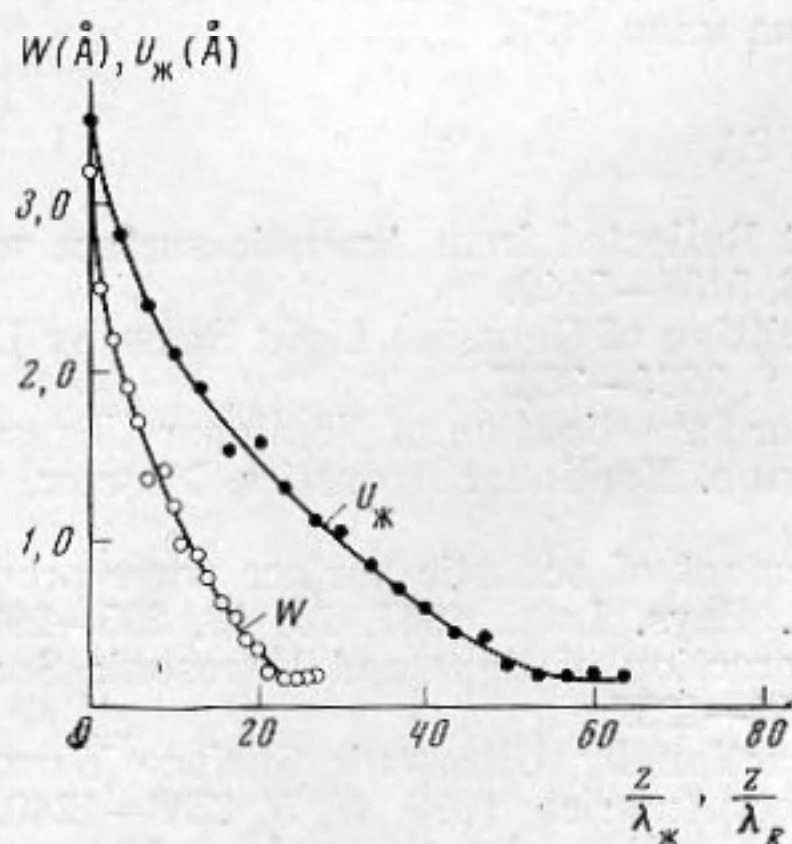
Ошибка измерения  $U_{ж}$  определялась нестабильностью лазера, а также неточностью установки щели и кристалла и составляла  $\approx 10\%$ .

На фиг. 3—5 приведены результаты измерений. На фиг. 3 изображена зависимость амплитуды  $U_{ж}$  у поверхности ( $y=0$ ) кристалла  $\text{LiNbO}_3$  от безразмерной глубины  $z/\lambda_{ж}$ , на фиг. 4 — зависимость  $U_{ж}$  от расстояния  $l$  вдоль направления распространения волны в жидкости (вдоль  $\mathbf{K}_{ж}$ ). Эта зависимость наблюдалась для трех значений  $z$ :  $z=0$ ,  $z=2,5$  мм,  $z=5$  мм. На фиг. 5 представлена зависимость распределения амплитуды  $U_{ж}$  по фронту волны (координата  $d$ ). Отсчет  $d$  ведется от поверхности воды, кри-



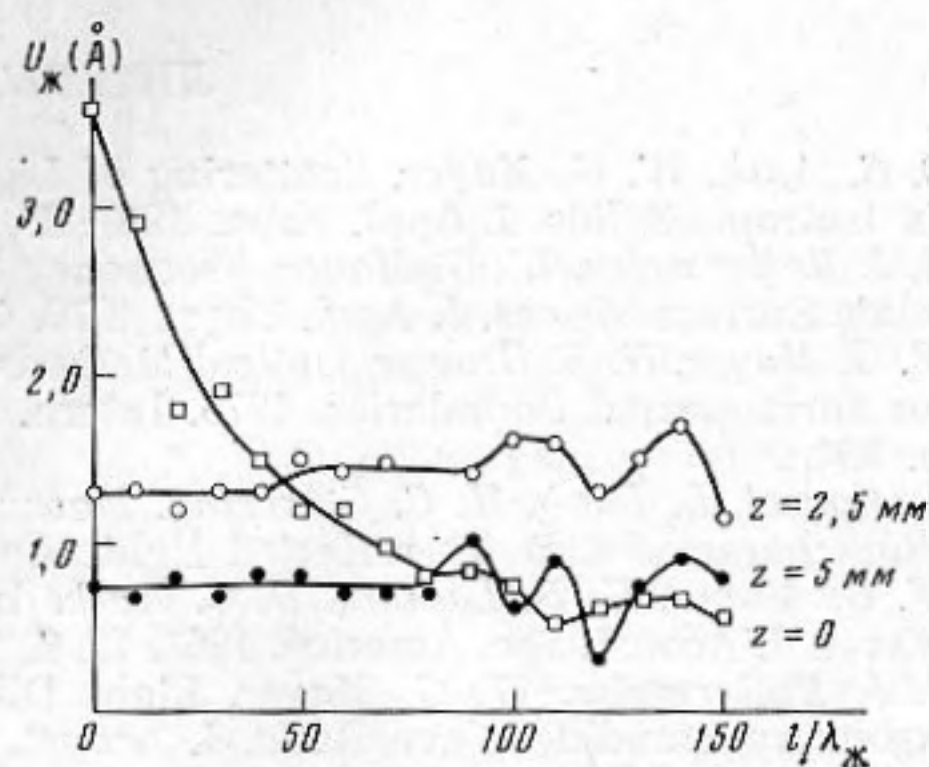
Фиг. 2. Блок-схема экспериментальной установки

вые получены для трех значений начальных точек отсчета:  $y=5, 10, 20$  мм. Как видно из графиков, амплитуда смещения в жидкости экспоненциально затухает вдоль поверхности  $\text{LiNbO}_3$ , экспоненциально нарастает в пределах границ звукового пучка вдоль фронта волны в жидкости и резко спадает при удалении от границы пучка в область тени; вдоль направления распространения волны в жидкости ( $\mathbf{K}_{ж}$ ) амплитуда  $U_{ж}$  несколько изменяется из-за дифракционного расхождения звукового пучка. Эти



Фиг. 3

Фиг. 3. Зависимости амплитуды волны в воде ( $U_{ж}$ ) и  $\text{LiNbO}_3$  ( $W$ ) на границе от безразмерной глубины  $z/\lambda_{ж}$  и  $z/\lambda_R$



Фиг. 4

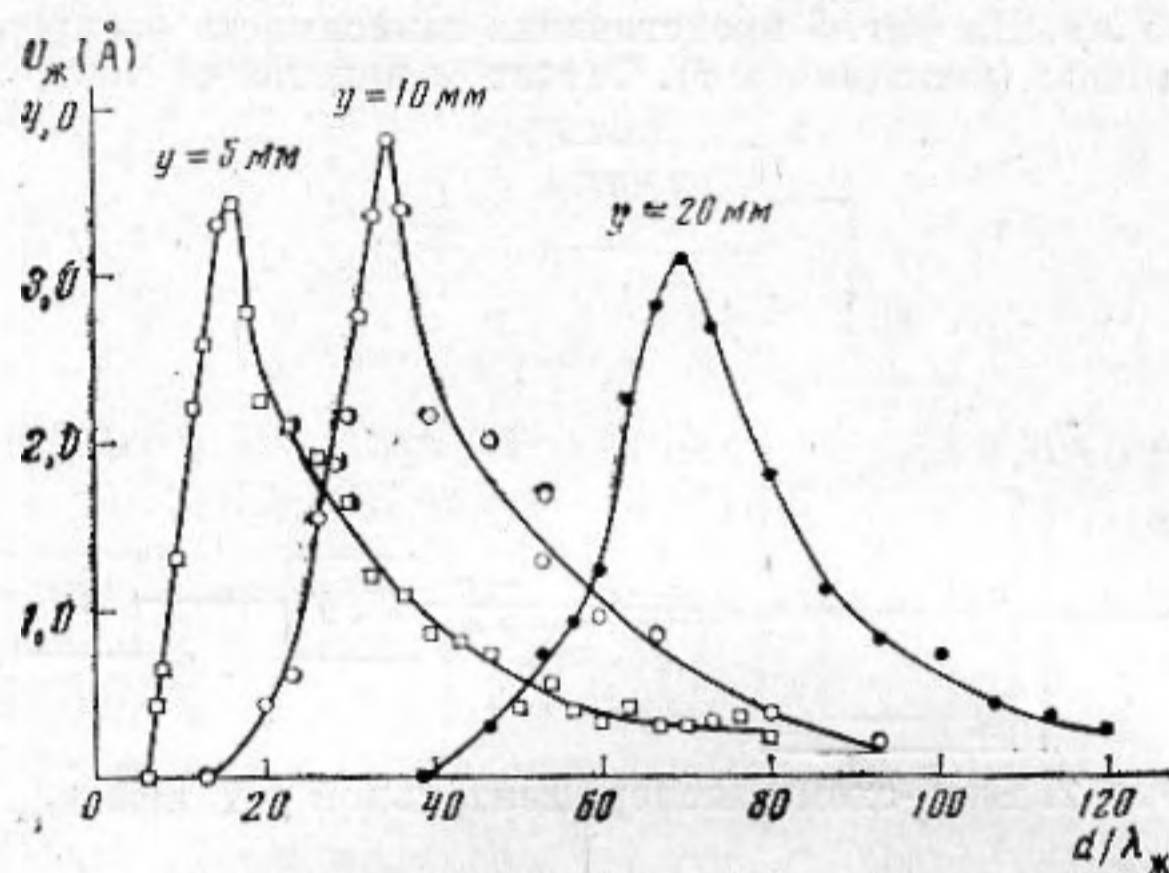
Фиг. 4. Зависимость амплитуды волны в воде от расстояния вдоль направления распространения волны в жидкости

данные подтверждают картину звукового поля в жидкости, рассчитанную в работах [10, 13].

Согласно граничным условиям, нормальные смещения в жидкости и твердом теле на плоскости  $y=0$  равны. Поэтому, наблюдая дифракцию света в жидкости, можно определить смещения в поверхностной волне в  $\text{LiNbO}_3$  на границе. Зависимость амплитуды этих смещений  $W$  от расстояния вдоль границы в долях  $\lambda_R$  ( $\lambda_R$  — длина рэлеевской волны) изображена на фиг. 3. Как видно из графика, коэффициент затухания поверхностной волны на пути  $\lambda_R$  из-за излучения в жидкость составляет  $\approx 0,1$ , т. е. волна затухает в  $e$  раз на пути  $\approx 10 \lambda_R$ . Это хорошо согласуется с расчетным значением для  $\text{LiNbO}_3$ , полученным по формулам работы [13].

Таким образом, наблюдение дифракции света на поверхностных волнах на границе твердое тело — жидкость дает возможность изучить картину звукового поля в жидкости, определить амплитуду поверхностной волны в твердом теле и закон ее

затухания вдоль границы. Кроме того, этим способом можно измерять амплитуду рэлеевской волны в исследуемом образце, если перечисленные выше известные методы дифракции неудобны (например, поверхность образца шероховатая, кристалл фоточувствителен и воздействие на него светом нежелательно и т. д.). Для этого нужно поместить образец в жидкость (фиг. 1) и измерить амплитуду поверхностной



Фиг. 5. Зависимость амплитуды волны в воде от расстояния вдоль фронта волны

волны в образце вблизи границы жидкость — воздух (окрестность точки  $z=0$  на фиг. 1). Эта амплитуда будет с точностью  $\approx 20-30\%$  равна амплитуде рэлеевской волны на свободной границе, поскольку влияние жидкости на возбуждение рэлеевской волны во всех практических случаях весьма мало [13].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. D. C. Auth, W. G. Mayer. Scattering of Light Reflected from Acoustic surface waves in Isotropic Solids. *J. Appl. Phys.*, 1967, 38, 13, 5138—5140.
2. R. J. Hallermeier, W. G. Mayer. Frequency Shifting of Gaussian Light Beam by Ultrasonic Surface Waves. *J. Appl. Phys.*, 1970, 41, 9, 3664—3667.
3. W. G. Mayer, N. B. Brower. Optical Methods for Investigation of Nonlinear Ultrasonics on Surfaces and Boundaries. 1975. Intern. Symp. Nonlinear Acoustics, Moscow, 1975, p. 164.
4. A. Korpel, L. Laub, H. C. Sievering. Measurement of acoustic surface wave propagation characteristics by reflected light. *Appl. Phys. Lett.*, 1967, 10, 10, 295—297.
5. W. G. Mayer, G. B. Lamers, D. C. Auth. Interaction of light and Ultrasonic Surface waves. *J. Acoust. Soc. America*, 1967, 42, 6, 1255—1257.
6. R. J. Hallermeier, W. G. Mayer. Light Diffraction by Ultrasonic Surface Waves of Arbitrary Standing-Wave Ratio. *J. Acoust. Soc. America*, 1970, 47, 5, 1236—1240.
7. F. Wagner. Light Scattering from superfluid helium by thermal surface waves. *Phys. Letters*, 1972, 42A, 3, 265—266.
8. Д. В. Петров, И. Б. Яковкин. Исследование характера упругих волн, возбуждаемых преобразователем встречно-штыревого типа, методом дифракции света. *ЖТФ*, 1972, 42, 12, 2556—2559.
9. С. В. Богданов, И. Б. Яковкин. Оптические свойства изотропного твердого пространства с поверхностной волной. *Акуст. ж.*, 1972, 18, 1, 130—133.
10. Л. М. Бреховских. Волны в слоистых средах. М., Изд-во АН СССР, 1957.
11. H. L. Bertoni, T. Tamir. Unified Theory of Rayleigh-Angle Phenomena for Acoustic Beams at Liquid-Solid Interfaces. *Appl. Phys.*, 1973, 2, 4, 157—172.
12. G. W. Willard. Criteria for Normal and Abnormal Ultrasonic Light Diffraction Effects. *J. Acoust. Soc. America*, 1949, 21, 2, 101—108.
13. И. А. Викторов. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэля и Лэмба в технике. М., «Наука» 1966.

Акустический институт  
Академии наук СССР

Поступила  
1 июля 1976 г.