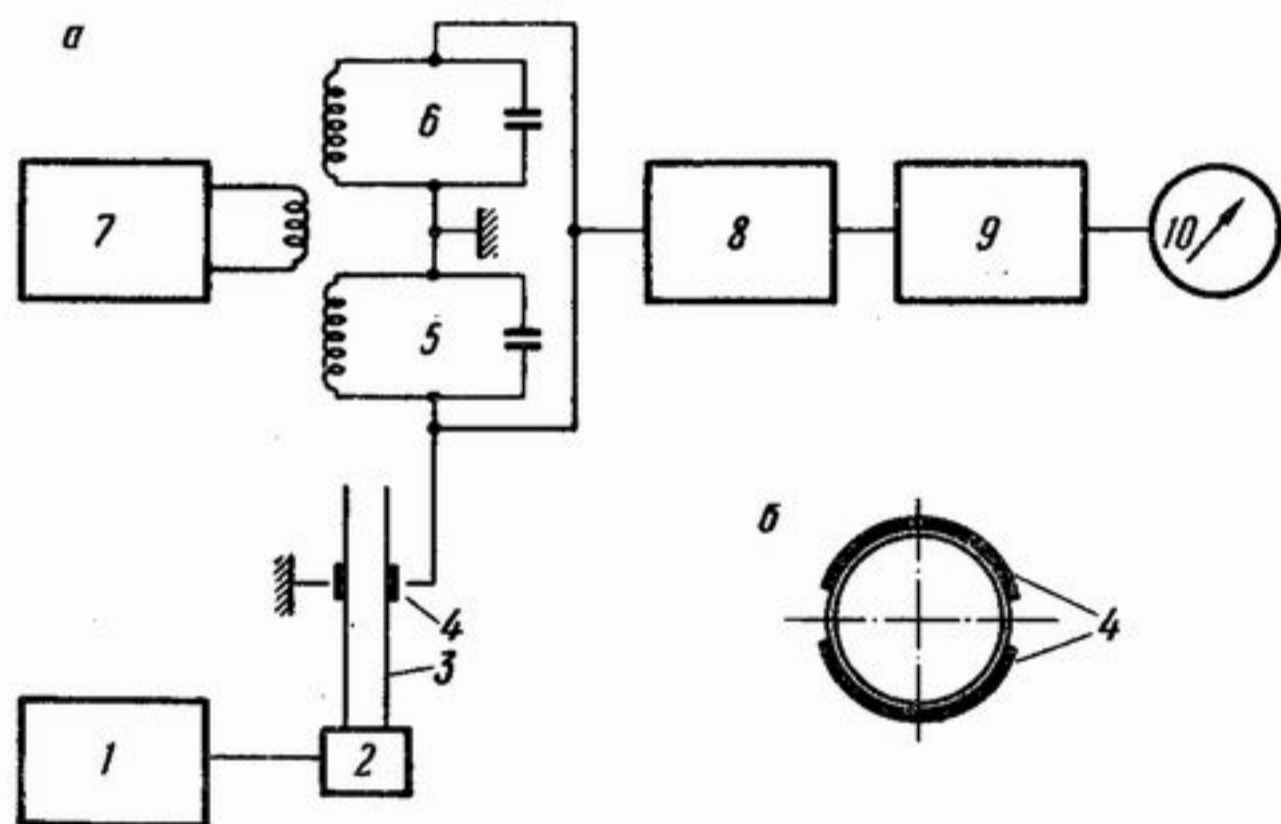


ЕМКОСТНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

В. А. Зверев, В. М. Боков и И. Е. Лурье

Описан опыт исследования звукового поля по зависимости диэлектрической проницаемости от давления. Опыт был произведен в жидкости. Изменение диэлектрической проницаемости воды на частоте 5 мгц под действием звука частоты 85 кгц, при давлении порядка 10^5 бар получилось порядка 10^{-6} .

Во многих вопросах физической акустики встречается задача — исследовать звуковое поле без внесения в него искажений. Одним из средств решения такой задачи является исследование звукового поля на основании тех изменений свойств среды, которые вызваны распространением через нее звуковой волны. Так, например, изменение плотности среды, а с ней

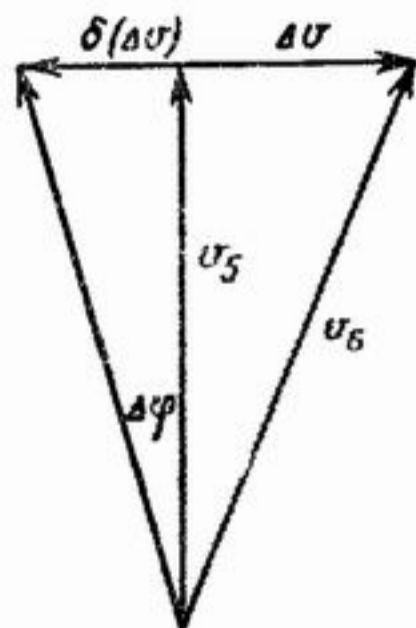


Фиг. 1

и показателя преломления используется для визуального наблюдения звуковых волн методом темного поля. В настоящей работе предлагается использовать изменение диэлектрической проницаемости среды для радиочастот под действием звукового поля. Это дает возможность изучения сравнительно низкочастотных полей. Идея метода состоит в следующем: изменение диэлектрической проницаемости среды ϵ под действием звуковых волн, происходящее с частотой звука, измеряется по изменению емкости конденсатора, диэлектриком которого служит исследуемая среда. Изменение емкости может быть весьма точно определено радиометодами на некоторой частоте. Верхняя граница исследуемой таким способом полосы звуковых частот определяется размерами конденсатора, который должен быть меньше половины длины звуковой волны.

Для экспериментального изучения работы анализатора была собрана установка, блок-схема которой изображена на фиг. 1, а. С генератора 1 напряжение с частотой $f_1 = 85$ кгц подавалось на излучатель 2, являющийся дном трубки 3, наполненной исследуемой жидкостью. На трубку были наклеены обкладки 4, как показано на фиг. 1, б. Обкладки 4 образуют

конденсатор с емкостью C_0 , причем диэлектриком является исследуемая среда, возмущаемая звуковым полем. Диаметр трубки был около 3 см, а осевая длина обкладок конденсатора 0,5 см, т. е. меньше половины длины звуковой волны, создаваемой излучателем в жидкости. Емкость C_0 является частью емкости колебательного контура 5, настроенного на частоту генератора 7 с частотой $f_2 = 5$ мГц. Изменение C_0 приводит к расстройке контура 5, что ведет к изменению фазы колебания, наводимого в нем генератором 7. Для обнаружения изменений фазы использовалась интерференционная схема, аналогичная примененной И. Л. Берштейном [4, 2] для измерения фазовых флюктуаций генератора. Колебания с частотой f_2 складываются так, как это показано на векторной диаграмме, изображенной на фиг. 2. Результирующее напряжение Δv будет меняться по амплитуде в том случае, если будет меняться угол между векторами v_5 и v_6 , что как раз и имеет место при изменении фазы v_5 . После детектора 8 получается напряжение с частотой f_1 , которое на выходе усилителя 9 измеряется прибором 10.



Фиг. 2

При помощи описанной установки была измерена величина $\Delta \epsilon$ при некотором звуковом давлении p . Изменение фазы колебания контура 5 при добротности Q под влиянием квазистатического изменения ϵ (что в нашем случае имело место) при общей емкости C будет

$$\Delta \varphi = Q \frac{\Delta \epsilon C_0}{\epsilon C}. \quad (1)$$

При таком периодическом изменении фазы напряжения v_5 на величину $\Delta \varphi$ из векторной диаграммы фиг. 2 можно получить выражение для глубины модуляции m напряжения Δv

$$m = \frac{\delta(\Delta v)}{\Delta v} = \frac{v_5}{\Delta v} \Delta \varphi \quad (2)$$

или

$$m = \frac{v}{\Delta v} Q \frac{\Delta \epsilon C_0}{\epsilon C}. \quad (3)$$

Величина m определяется путем сравнения отсчета по прибору 10 (фиг. 1), с отсчетом, получаемым при подаче на вход детектора 8 напряжения величины Δv с генератора 7 при известной глубине модуляции. Порядок величины ϵ определялся по расстройке, вносимой в контур 5 при заполнении жидкостью трубки 3. За емкость C_0 взята емкость, образуемая конденсатором с электродами 4 при наполненной трубке 3.

К сожалению, мы не имели возможности измерить величину звукового давления в месте расположения обкладок конденсатора. Поэтому величина давления, создаваемого излучателем, нами оценивалась приближенно, по величине приложенного к нему напряжения и пьезомодулю (кварцевая пластинка работала на частоте, много меньше резонансной). Оценка давления, исходя из мощности, затрачиваемой на излучение на электрической стороне, дала тот же результат. Во время опыта столб жидкости в трубке 3 резонировал на частоту генератора 1, причем в месте расположения обкладок 4 была пучность давления. Поэтому можно было считать, что давление в месте расположения пластин примерно такое же, как и на поверхности излучателя. Результаты экспериментов приведены в таблице. По этим данным для величины

$$x = \rho \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial p} \right)$$

получаем значение, близкое по порядку величины к измеренному Г. П. Мотулевич и И. Л. Фабелинским оптическим путем [4].

Таблица

Вещество	Δp бар	ϵ	v , в	$\delta(\Delta v)$, мв	Q	C_{pF}	$C_0 pF$	$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}$	$\kappa, \frac{1}{\text{бар}}$
Дистиллированная вода	10^5	5	40	1,6	33	56	7	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-11}$
Обычная вода	10^5	13	30	0,5	20	65	13	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$

В силу адиабатичности изменения плотности в звуковой волне имеет место изменение температуры. Диэлектрическая проницаемость является функцией как давления, так и температуры. Нами был поставлен опыт с целью выяснения роли изменения температуры. Основанием для постановки опыта послужили следующие соображения. Из термодинамики следует

$$\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial p}\right)_T + \frac{T\alpha}{C_p} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T}\right)_p, \quad (4)$$

где T — абсолютная температура, α — температурный коэффициент расширения, C_p — теплоемкость.

Если в (4) второй член правой части много больше первого, то адиабатическое изменение ϵ есть следствие изменения температуры. Однако по данным, имеющимся в литературе [3], в правой части (4) преобладает первый член, и влияние изменения температуры оказывается несущественным. Однако все эти данные относятся к тому случаю, когда в среде распространяются световые волны, т. е. под ϵ надо понимать квадрат показателя преломления для световых волн. Если же воспользоваться для воды формулой, полученной из статистических измерений: $\epsilon \approx 88 - 0,35(T - 273)$, то мы получим, что второй член в правой части (4) по порядку величины совпадает с измеренным нами значением величины $\frac{\partial \epsilon}{\partial p}$, т. е. отнюдь не мал по сравнению с первым членом. В наших экспериментах звуковое поле возмущало ϵ при частоте 5 мгц, которую нельзя считать заранее настолько высокой, чтобы не принимать в расчет статистических данных. Эксперимент, который был поставлен с целью выяснения роли изменения температуры, основывался на том, что величина α , входящая в (4), при 4° для воды обращается в нуль. При этой температуре часть эффекта, обусловленная зависимостью ϵ от температуры, пропадает. На опыте при охлаждении воды до 4° изменения величины эффекта не наблюдалось. Это говорит о том, что и для частоты 5 мгц изменение температуры вследствие адиабатичности процесса не играет заметной роли.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Берштейн. Изв. АН СССР, Сер. физическая, 1950, 14, 2, 145.
2. И. Л. Берштейн. ДАН, 1950, 75, 5, 635.
3. Ramap and Venkata Ramap. Proc. Roy. Soc., 1939, 171, 137.
4. Г. П. Мотулевич и И. Л. Фабелинский. Изв. АН СССР, Сер. физическая, 1950, 14, 4.

Горьковский исследовательский
физико-технический институт
Горьковского государственного университета

Поступила в редакцию
6 февраля 1955 г.