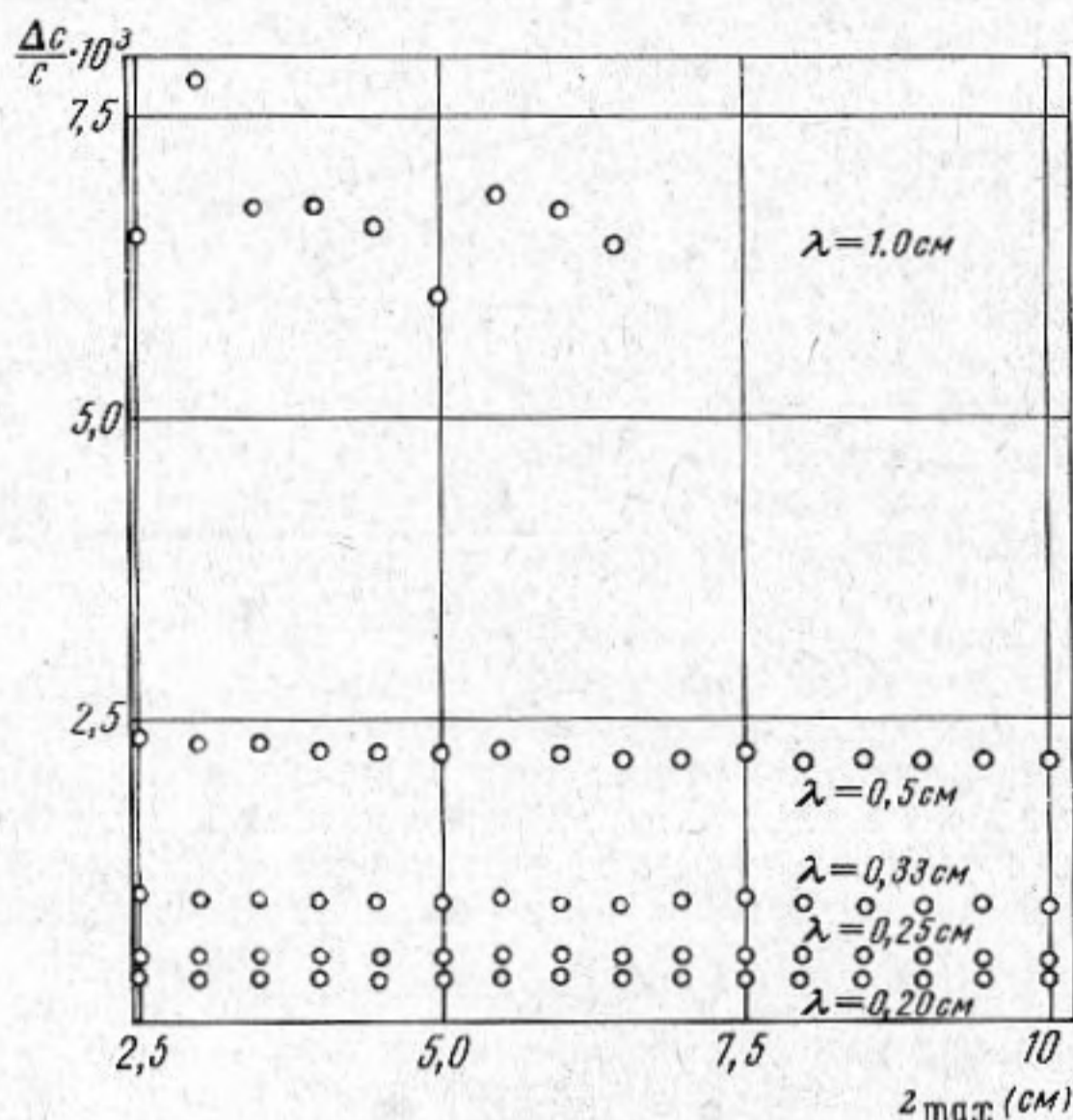


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОПРАВОК К СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ЖИДКОСТЯХ

Е. М. Бурундуков, А. М. Лобанов

Известно, что изучение дифракционного завышения скорости ультразвука $\Delta c / c$ имеет как самостоятельное, так и прикладное значение. В первом случае имеется в виду исследование дифракции как явления волнового поля при различных значениях длины волны λ , размеров и формы пьезопреобразователей и т. д. Во втором случае $\Delta c / c$ изучается с целью введения поправок при измерениях молекулярной дисперсии скорости ультразвука. Однако, результаты как экспериментальных, так и теоретических опубликованных работ противоречивы. Во-первых, в экспериментальных работах показатель степени при λ для зависимости $\Delta c / c = f(\lambda)$ у разных авторов различен. В работе [1] $\Delta c / c \sim \lambda^{1,9}$, в работе [2] $\Delta c / c \sim \exp(-D / \lambda)$. В работах [3, 4] $\Delta c / c \sim \lambda^{1,5}$. Расхождение для изученного диапазона $D / \lambda > 13$ лежит, по-видимому,



Фиг. 1

в пределах ошибок опытов (D — диаметр пьезопреобразователей). Во-вторых, вопрос о зависимости $\Delta c / c$ от расстояния между пьезопреобразователем и отражателем (вторым преобразователем) z также однозначно не решен. Авторы работ [3, 4] указывают, что $\Delta c / c \sim z^{0,5}$, в то время как в работах [1, 2] утверждается, что $\Delta c / c$ от z не зависит. В теоретических работах тоже отсутствует однозначное решение вопроса о зависимости $\Delta c / c$ от z . Например, в работе [5] показано, что для поршневого излучателя, работающего в режиме бегущей волны, $\Delta c / c$ уменьшается с уменьшением λ и зависит от интервала измерения $\Delta z = z_{\max} - z_{\min}$ (z_{\max} и z_{\min} — соответственно максимальное и минимальное расстояния между преобразователями). Если поршневой излучатель работает в режиме стоячих волн, то, согласно [6], $\Delta c / c$ увеличивается пропорционально λ^2 и не зависит от z .

Для уточнения и дополнения экспериментальных данных, сравнения их с теорией, а также для выбора оптимальных условий введения поправок на дифракцию при измерениях молекулярной дисперсии мы провели исследование $\Delta c / c$ при $D / \lambda \geq 5$ и различных z_{\max} и z_{\min} .

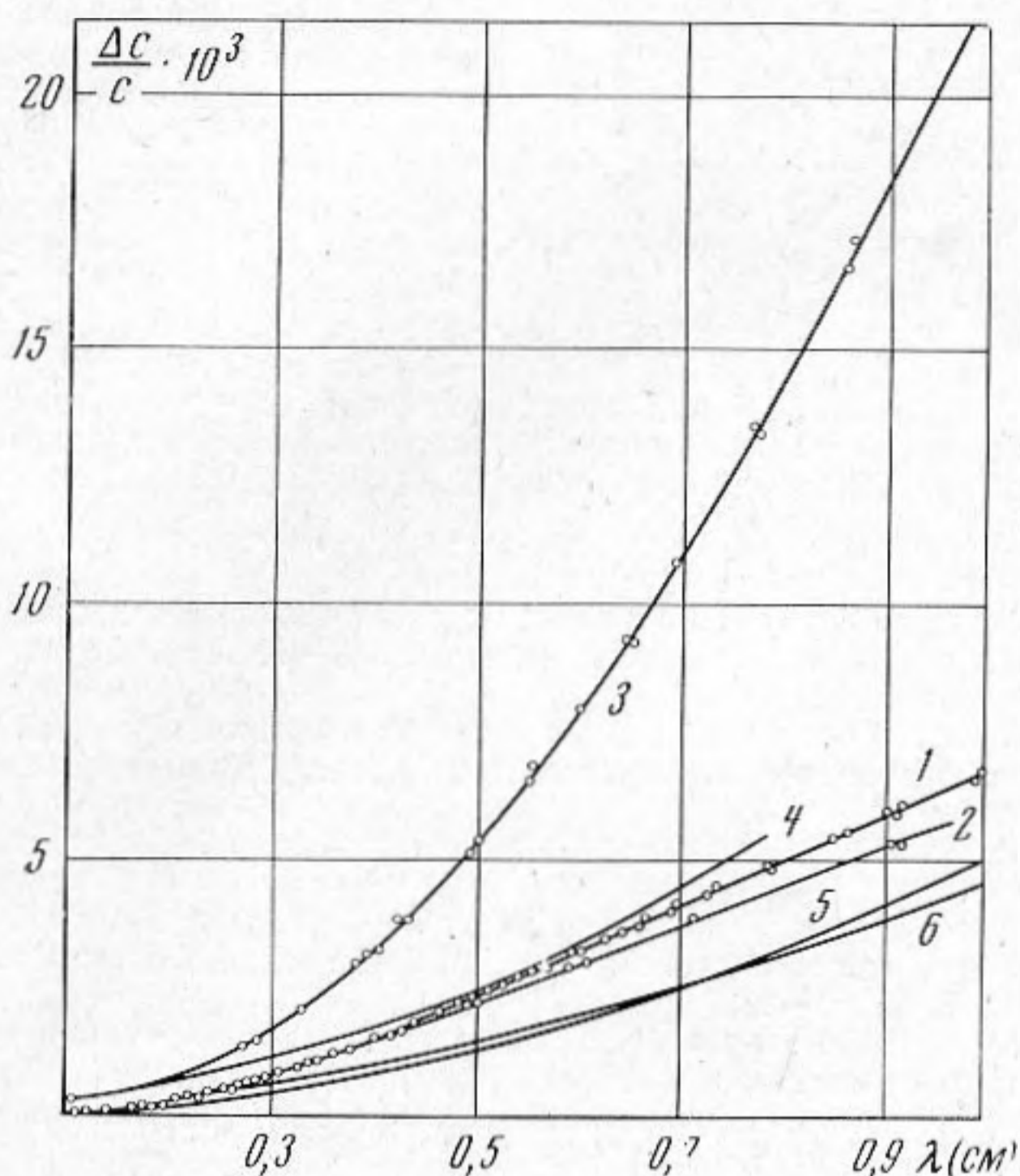
Измерения скорости ультразвука проводились методом работы [7] в спиртах, бензоле, воде и смесях метилового спирта с водой в диапазоне частот 0,1—15 Мгц. Диаметры излучающего и приемного пьезокварцев были равны 5 см, собственные частоты — 1 Мгц. В диапазоне частот 0,1—0,5 и 1,3—1,5 Мгц скорость ультразвука измерялась на произвольных частотах; выше 1,5 Мгц измерения проводились на частотах нечетных гармоник (3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 Мгц), а также вблизи этих гармоник. Кварцы вклеивались в кварцедержатели заподлицо эпоксидным клеем. Внешний диаметр кварцедержателей составлял 5,4 см; воздушная подложка кварцев обеспечивала практически одностороннее излучение и прием ультразвука. Результаты измерений скорости ультразвука в камерах диаметром 9 и 13 см, а также при многократных переключках пьезокварцев оказались совпадающими в пределах ошибок опытов.

Для выявления зависимости $\Delta c / c$ от расстояния между преобразователями были проведены исследования при $z_{\min} = 0,5$ см и z_{\max} от 2,5 до 10 см. На фиг. 1 представ-

лена часть результатов, характеризующих общую картину. Видно, что для $\lambda < 0,3$ см ($D/\lambda > 15$) дифракционное завышение скорости ультразвука в пределах ± 5 см/сек не зависит от Δz . При $\lambda > 0,3$ см ($D/\lambda < 15$) экспериментально обнаруживается зависимость $\Delta c/c$ от интервала измерения. Однако эта зависимость не монотонная, поэтому построение единой кривой $\Delta c/c = f(\lambda, z)$ с малой ошибкой не представляется возможным.

При измерениях молекулярной дисперсии, на наш взгляд, наиболее рационально нахождение $\Delta c/c$ для $z_{\min} = \text{const}$, $z_{\max} = \text{const}$ и $D = \text{const}$. При этом определяется зависимость $\Delta c/c$ только от одной переменной λ , вследствие чего поправки на дифракцию могут быть введены гораздо точнее, чем по обобщенной кривой $\Delta c/c = f(\lambda, z, D)$.

Кривые 1 и 2 на фиг. 2 построены по экспериментальным данным соответственно для $z_{\max} = 3,5$ и 5 см при $z_{\min} = 0,5$ см. Измерения скорости ультразвука проводились для дискретных λ так, чтобы $n\lambda/2 = 0,5$ см ($n = 1, 2, 3, \dots$). Однако в этом



Фиг. 2

случае на кривых получается малое число экспериментальных точек, в результате чего снижается надежность измерений молекулярной дисперсии.

Практически наиболее приемлемым оказалось определение $\Delta c/c$ при $z_{\min} = 0,2-0,5$ см. Для $\lambda < 0,4$ см $z_{\min} \approx 0,2$ см и определялось конструкцией кварцедержателей, для $\lambda > 0,4$ см z_{\min} ограничивалось длиной полуволны ультразвука $\lambda/2 \leq 0,5$ см.

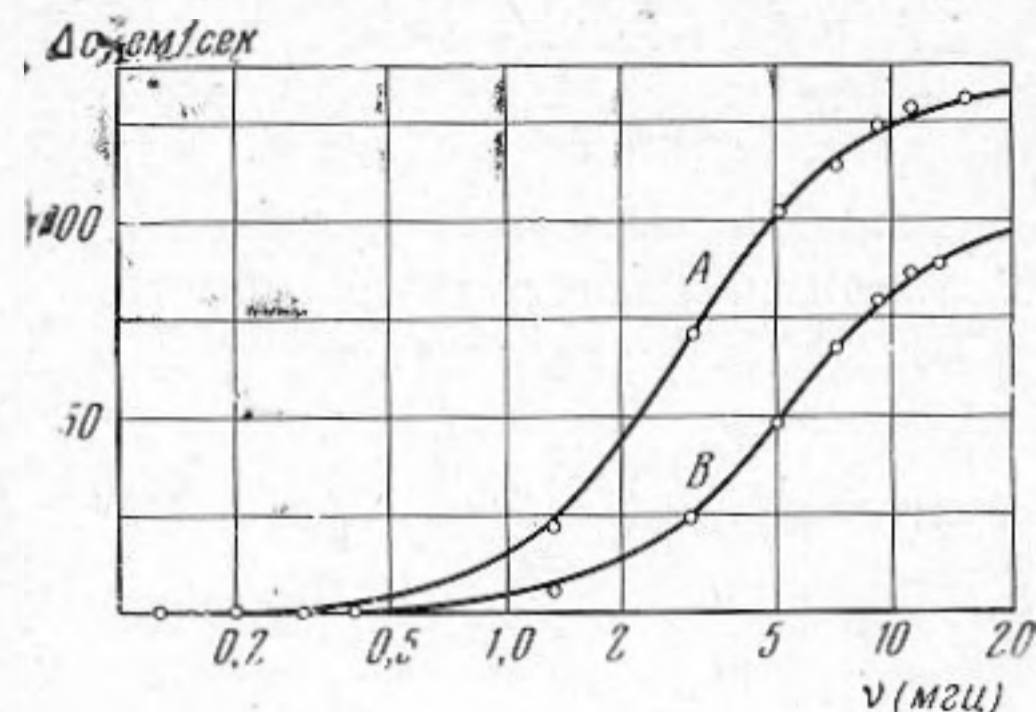
Экспериментальные точки при этих условиях в пределах ошибок опытов легли на кривые 1 и 2. Следует отметить, что эти кривые не могут быть описаны зависимостью $\Delta c/c = f(\lambda)$ с постоянным показателем степени при λ .

На фиг. 2 приведена также кривая 3, полученная для $z_{\max} = 3,5$ см при $z_{\min} = 0$. В этом случае $\Delta c/c$ существенно больше, чем при $z_{\min} \neq 0$. По-видимому, кроме дифракции измеренное значение скорости ультразвука содержит в себе изменение фазы акустического сигнала при отражении. Точный учет этого фазового сдвига представляет известные трудности. Поэтому введение поправок по кривой 3 нецелесообразно.

Для сравнения экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов на фиг. 2 приведены кривые 4—6, построенные согласно [5, 6, 8] соответственно. При этом было принято $z_{\max} = 5$ см и $D = 5$ см. Количественное различие опытных и теоретических данных лежит далеко за пределами ошибок эксперимента. Поэтому для изучения дифракции как явления в волновом поле необходимы дальнейшие систематические исследования. При измерениях же молекулярной дисперсии

скорости ультразвука в каждом конкретном случае необходимо проводить тарировочные опыты и строить поправочную кривую на дифракцию с наименьшим количеством переменных, а не искать обобщенную функциональную зависимость $\Delta c/c = f(\lambda, z, D)$.

В заключение в качестве примера приводим результаты измерений дисперсии скорости ультразвука в изомасляной и изовалериановой кислотах марки «ч».



Фиг. 3

ленные на фиг. 3 кривые (А — для изовалериановой, В — для изомасляной кислот) являются расчетными, точки представляют экспериментальные данные. Значения c_0 равны соответственно $(1178,10 \pm 0,40)$ м/сек и $(1153,05 \pm 0,38)$ м/сек.

Поправки на дифракцию вводились по кривой 1 фиг. 2. Ошибки измерения дисперсии с учетом неточности введения дифракционной поправки для интервалов частот 15—5; 15—0,4; 15—0,25; 15—0,15; 15—0,10 Мгц соответственно не превышали $\pm 5, \pm 6, \pm 8, \pm 10, \pm 13$ см/сек.

Полная дисперсия $c_\infty - c_0$ и частота релаксации ν_m в изомасляной кислоте, рассчитанные из экспериментальных данных в предположении одиночного релаксационного процесса, соответственно составили (106 ± 10) см/сек и $(5,2 \pm 0,3)$ Мгц при $t = 20,1^\circ \text{C}$. В изовалериановой кислоте $c_\infty - c_0 = (135 \pm 10)$ см/сек и $\nu_m = (2,9 \pm 0,2)$ Мгц при $t = 22,0^\circ \text{C}$. Здесь c_0 — скорость ультразвука на частотах $\nu \ll \nu_m$, c_∞ — на частотах $\nu \gg \nu_m$. Представ-

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Кононенко, В. Ф. Яковлев. Прецизионный метод для измерения скорости ультразвука в жидкостях на частотах 0,8—30 Мгц. Акуст. ж., 1969, 15, 1, 78—82.
2. В. Илгунас, О. Кубилиене, А. Япертас. Прецизионный интерферометр для измерения скорости ультразвука в жидкостях в диапазоне частот 1—12 Мгц. Акуст. ж., 1964, 10, 1, 54—59.
3. Н. J. Meskimen. Effect of diffraction velocity of sound. J. Acoust. Soc. America, 1961, 33, 4, 539.
4. S. V. Subrahmanyam, V. Hyder Khan, C. V. Raghavan. Interferometric Measurement of Ultrasonic Velocity in Liquids—Effect of Diffraction. J. Acoust. Soc. America, 1969, 46, 1, 272—273.
5. М. Б. Гитис, А. С. Химунин. О поправках на дифракцию при измерениях коэффициента поглощения и скорости звука. Акуст. ж., 1968, 14, 3, 363—370.
6. П. Е. Краснушкин. О дифракционных эффектах при измерениях скорости и поглощения ультразвука, Докл. АН СССР, 1968, 181, 6, 1361—1364.
7. К. М. Бурндуков, А. М. Лобанов. Способ прецизионного измерения дисперсии скорости ультразвука в жидкостях. Акуст. ж., 1970, 16, 2, 311—313.
8. Сб. «Физическая акустика», т. 1, ч. А. Под редакцией У. Мэсона. М., «Мир», 1966, 345.

Тюменский государственный педагогический институт

Поступила
22 июня 1970 г.

УДК 534.222.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОБСТВЕННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕЙ И АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

Л. К. Зарембо, В. Б. Пиотух, С. С. Секоян

Резонансное акустическое детектирование [1—3] является, по-видимому, одним из наиболее чувствительных методов исследования упругих нелинейных свойств твердого тела. Особенности детектирования определяются структурой линейных собственных колебаний акустического резонатора. Нами проведено детальное исследование линейных собственных частот резонаторов в виде цилиндрических стержней, что позволило выяснить некоторые дополнительные особенности детектирования.

Измерения проводились на стальных (сталь 60С2Н2А) и дюралюминиевых (Д16Т) стержнях диаметром (d) от 20 до 40 мм и длиной (L) от 160 до 700 мм, стержни подвергались термообработке и старению. Непараллельность торцев стержней не превышала ± 5 мк. Стержни закреплялись посередине образующей тремя острыми винтов и вместе с держателем помещались в воздушный термостат, температура в