

В. Ф. НОЗДРЕВ и В. И. СТРЕМОУСОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА  
В ОДНОАТОМНЫХ СПИРТАХ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕМЕНТА С УСИЛИТЕЛЕМ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 25 II 1954)*

Среди различных методов исследования вещества значительное место занимают ультраакустические методы, выгодно отличающиеся своей простотой и довольно высокой точностью даваемых результатов.

Исследование скорости и поглощения ультразвука в жидкостях дает возможность изучения молекулярной структуры вещества, определения адиабатической сжимаемости, теплоемкости, объемной вязкости и др., которые не всегда могут быть определены при помощи других методов.

Исследованию поглощения ультразвука в жидкостях посвящено гораздо меньшее число работ, чем исследованию скорости распространения, что объясняется значительными трудностями методического характера. Вследствие этого вопросы разработки новых экспериментальных методов весьма актуальны.

Для исследования поглощения ультразвука в жидкостях на частотах  $10^6$  —  $10^8$  гц наиболее эффективными являются импульсные и оптические методы. Импульсные методы позволяют производить измерения с наибольшей степенью точности <sup>(1)</sup>, однако вследствие значительной конструктивной сложности и дороговизны они еще не получили достаточного распространения.

В оптических методах как для измерения скорости, так и для измерения поглощения ультразвука используется главным образом явление дифракции света на ультразвуковой решетке. Так как интенсивность дифракционных спектров  $\pm 1$ -го порядков пропорциональна интенсивности ультразвука (при малых интенсивностях), то по спадаанию интенсивности диффрактированного света по мере удаления от источника колебаний можно определить поглощение ультраакустических волн средой.

Следует заметить, что сравнение интенсивностей спектров можно производить двумя способами: 1) фотографированием с последующим фотометрированием и 2) с применением фотоэлемента. Из литературы известно <sup>(7)</sup>, что для исследования поглощения ультразвука в подавляющем большинстве случаев применяется фотометрирование. На наш взгляд, игнорирование применения фотоэлементов не оправдано. Помимо громоздкости самого процесса фотометрирования, этот метод не свободен от ряда недостатков, влияющих на точность измерений (качество пластинок, проявитель и т. п.), в то время как метод с фотоэлементом свободен от этих недочетов. Кроме того, что особенно удобно для экспериментатора, результаты получаются непосредственно в ходе измерений. Это дает возможность устранять возникающие ненормальности в работе установки в процессе исследования.

Все перечисленные соображения и заставили нас остановить выбор на оптических методах с применением фотоэлемента.

§ 1. Экспериментальная установка. Схема применяемой установки приводится на рис. 1, где  $S$  — источник света (ртутная лампа ПРК-4),  $K$  — конденсор,  $D$  — щель,  $L_1$  и  $L_2$  — объективы,  $M$  — модулятор света,  $T$  — рабочий сосуд с термостатом,  $B$  — непрозрачная полоска, закрывающая спектр нулевого порядка,  $\Phi$  — фотоэлемент,  $P$  — поглотитель ультразвуковых волн,  $Q$  — излучатель,  $H$  — окно.

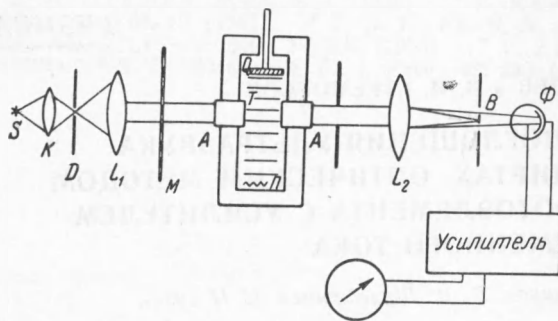


Рис. 1. Схема установки

сложность схемы и др.) заставил нас отказаться от использования их для измерения поглощения ультразвука. Применяемый усилитель представляет собой четырехкаскадный резонансный усилитель низкой частоты ( $\nu_{\text{рез}} = 550$  гц), работающий на пентодах высокой частоты и триоде 6Ф5. Необходимость использования резонансной схемы вызывалась значительным влиянием различного рода помех.

Опробование в одном из первых вариантов установки широкополосного усилителя показало его полную непригодность для наших целей, так как наводки имели уровень такой же или даже более высокий, чем уровень сигнала.

Для получения на входе усилителя пульсирующего напряжения световой поток, падающий на фотоэлемент (серно-талливое фотосопротивление), модулировался при помощи непрозрачного диска  $M$  с радиальными щелями, вращаемого электромотором. Частота прерываний света совпадала с резонансной частотой усилителя. Важным качеством применяемого усилителя являлась его линейная амплитудная характеристика, что значительно упрощало методику измерений. Усилитель имел четыре степени усиления, что давало возможность подбирать оптимальные условия в зависимости от выбора исследуемых жидкостей. Максимальный коэффициент усиления равнялся 5000.

Обычно для изучения интенсивности диффрагированного света на разных расстояниях от ультразвукового излучателя применяют или прозрачные сосуды или сосуды, имеющие несколько пар окон, что дает возможность пучку света пронизывать акустическое поле в разных местах. Наличие большого числа окон, естественно, ухудшает термостатирование. Кроме того, все стекла должны быть установлены строго параллельно, все это приводит к известным техническим трудностям. Поэтому мы решили остановиться на такой конструкции рабочего сосуда с термостатом, которая имела бы всего одну пару окон. Сам кварцедержатель при помощи микрометрического винта перемещается относительно светового пучка. Помимо других преимуществ, подобная конструкция позволила производить непрерывное, плавное изучение акустического поля, что особенно важно при изучении таких жидкостей, как спирты, поглощение в которых меняется очень сильно с температурой. Более подробно применяемая установка описывается в работе одного из авторов (2).

Описанная конструкция позволила добиться хорошего термостатирования. Интервал температур, в котором, в основном, производились исследования, от  $-70^\circ$  до  $+100^\circ$ . Низкие температуры получались при помощи смеси твердая углекислота — этиловый спирт.

Измерения осуществлялись следующим образом. Так как интенсивность дифракционных спектров  $\pm 1$ -го порядков пропорциональна интенсивности ультразвука, а усилитель фототока имеет линейную амплитудную характеристику, то показания гальванометра на выходе усилителя

$$m = kI, \quad (1)$$

т. е. в свою очередь пропорциональны интенсивности акустических колебаний ( $k$  — коэффициент пропорциональности).

Известно, что интенсивность ультразвука падает по экспоненциальному закону по мере удаления от источника колебаний, т. е.

$$I_2 = I_1 e^{-2d(x_1 - x_2)}, \quad (2)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — интенсивности на расстояниях  $x_1$  и  $x_2$  от кварца.

Комбинируя (1) и (2), получаем простую формулу для расчета амплитудного коэффициента поглощения  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\ln \left( \frac{m_1}{m_2} \right)}{2(x_2 - x_1)}, \quad (3)$$

где в числителе стоит натуральный логарифм отношения показаний гальванометра, соответствующих двум положениям кварца, а в знаменателе — удвоенное расстояние между этими положениями.

Установка была проверена рядом предварительных измерений на ранее исследованных веществах (бензоле, толуоле, четыреххлористом углероде).

§ 2. Результаты исследований. При помощи описанной выше установки было исследовано поглощение ультразвука в 10 представителях гомологического ряда предельных одноатомных спиртов: метилом, этиловом, *n*-пропиловом, *n*-бутиловом, *n*-гексиловом, *n*-нониловом, вторичном октиловом, изо-пропиловом, изо-бутиловом и изо-амиловом. Для изучения брались химически-чистые жидкости.

Исследования проводились, в основном, на трех частотах: 6, 12 и 18 Мгц. Результаты измерений приводятся на рис. 2, А и Б.

Как следует из графиков, характер температурной зависимости поглощения во всех исследованных спиртах одинаков: резкий спад с ростом температуры при низких температурах и очень медленный — при температурах выше комнатных.

Полученные результаты были сопоставлены с классической теорией Стокса — Кирхгофа. Коэффициент поглощения звука был подсчитан по формуле  $\alpha = \frac{8\pi^2 v^2 \eta}{3\rho v^3}$ . Значения коэффициента сдвиговой вязкости были

взяты из (8), скорости ультразвука  $v$  — из работ (3, 4), а также промерены нами в октиловом и нониловом спиртах и в некоторых спиртах при низких температурах. Плотности  $\rho$  были также измерены нами.

Сравнение с классической теорией показывает, что она дает качественно правильную картину температурного хода коэффициента поглощения. В количественном же отношении результаты опыта превышают теоретические в 1,5—4 раза. В тех интервалах температур, где удалось провести измерения на нескольких частотах, выполняется требуемая классической теорией пропорциональность коэффициента поглощения квадрату частоты ультразвука.

На основании этого можно, как показал М. А. Леонтович (5), объяснить завышенное по сравнению с классической теорией поглощение

наличием объемной вязкости. Тогда коэффициент объемной вязкости можно подсчитать по формуле

$$\eta'_1 = \frac{A_{\text{экс}} - A_{\text{кл}}}{\alpha \pi^2} \rho v^3.$$

Результаты подсчета  $\eta'_1$  даются на рис. 2 В. Видно, что характер зависимости объемной вязкости от температуры такой же, что и сдвиговой вязкости. Такая же зависимость  $\eta'_1$  от температуры получится, если исходить из теории Я. И. Френкеля и Ю. Н. Образцова (6), которые пред-

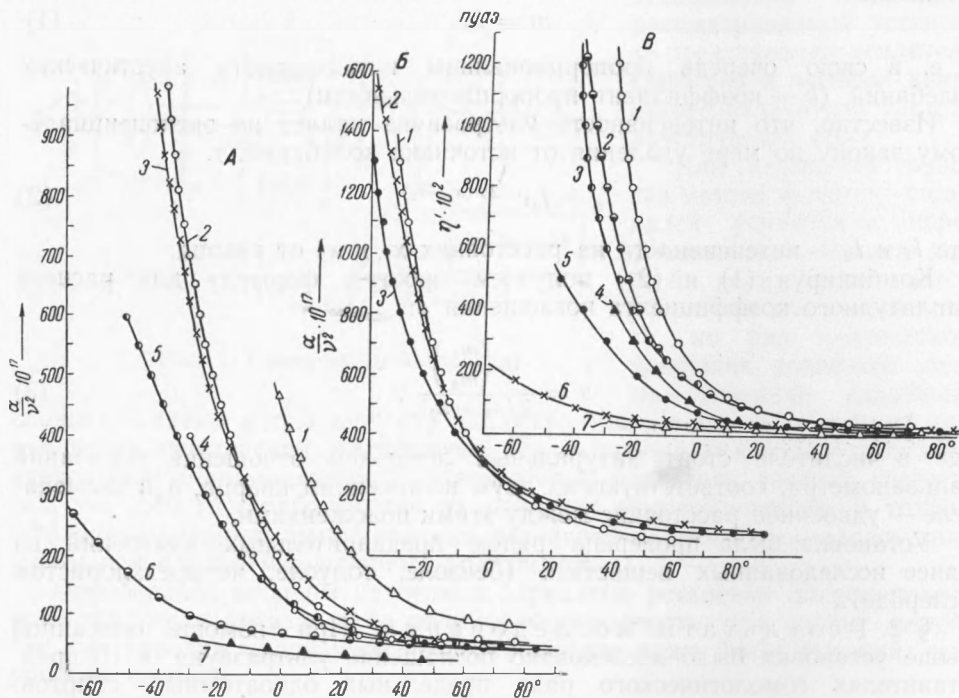


Рис. 2. А: 1 —  $n\text{-C}_9\text{H}_{19}\text{OH}$ ; 2 —  $n\text{-C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ ; 3 —  $n\text{-C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ ; 4 —  $n\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ; 5 —  $n\text{-C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; 6 —  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ; 7 —  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Б: 1 —  $\text{изо-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ; 2 —  $\text{изо-C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; 3 —  $\text{изо-C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ . В: 1 —  $\text{изо-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ; 2 —  $\text{изо-C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; 3 —  $\text{изо-C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ ; 4 —  $n\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ; 5 —  $n\text{-C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; 6 —  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ; 7 —  $\text{CH}_3\text{OH}$

полагают, что существование объемной вязкости обусловлено изменением величины или типа ближнего порядка молекул.

Из анализа экспериментальных данных видно (см. рис. 2), что в ряду нормальных первичных спиртов поглощение растет при переходе от низших спиртов к высшим (исключая  $n$ -пропиловый спирт при температурах ниже  $0^\circ$ ). Это обстоятельство показывает, что точка зрения (7) с тем, что наибольшим поглощением должны обладать жидкости, имеющие симметричные молекулы, неправильна. Если молекулы спиртов представлять в виде цепочек, то наиболее симметричными должны быть молекулы низших спиртов. Установлено также, что в исследованных температурных интервалах поглощение в нормальных спиртах меньше, чем в соответствующих изоспиртах.

Московский областной педагогический институт

Поступило  
21 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Кошкин, В. Ноздрев, ДАН, 92, № 4 (1953). <sup>2</sup> В. И. Стремоусов, Диссертация, МОПИ, 1953. <sup>3</sup> Н. И. Ларионов, Диссертация, МОПИ, 1952. <sup>4</sup> З. И. Авдусь, Диссертация, МОПИ, 1950. <sup>5</sup> М. А. Леонтович, ЖЭТФ, 6, 561 (1936). <sup>6</sup> Я. И. Френкель, Ю. Н. Образцов, ЖЭТФ, 9, 9 (1939). <sup>7</sup> П. А. Бажулин, Докторская диссертация, ФИАН, 1948. <sup>8</sup> Справочник химии, I, 1953.