Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 6

ФИЗИКА

В. НОЗДРЕВ и А. СУЛТАНОВ

ОБ УСТАНОВЛЕНИИ И ИЗУЧЕНИИ ДВУХ ОБЛАСТЕЙ РЕЛАКСАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЭТИЛАЦЕТАТЕ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 13 I 1955)

Возможности ультраакустических методов полнее всего используются при проведении исследования распространения и поглощения ультразвуковых волн на частотах, при которых в веществе возникают релаксационные явления. К таким веществам необходимо отнести, прежде всего, уксусную и муравьиную кислоты и их эфиры. В работах ([1–7]) показано отступление $\alpha = f(\nu)$ от квадратичной зависимости, т. е. $\alpha/\nu^2 \neq \text{const}$. Однако ни одна из выполненных работ не дает исследования хотя бы одной полной области релаксации объемной вязкости η'. Только при анализе всех имеющихся по этому вопросу работ, выполненных различными ультраакустическими методами, можно убедиться в том, что, действительно, явления релаксационного характера имеют место в некоторых жидкостях на частотах $10^5 - 10^7$ пер/сек.

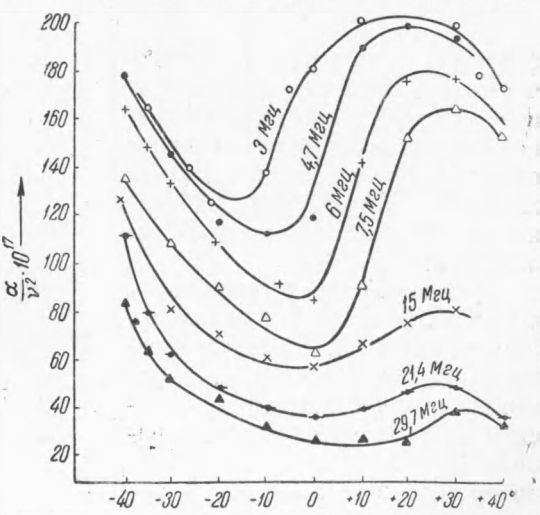

Рис. 1

Возможность перехода от этих исследований, носящих в основном чисто качественный характер, к количественным систематическим исследованиям распространения и поглощения ультразвуковых волн в жидкостях, релаксирующих на частотах, получаемых радиотехническими методами, создалась только после усовершенствования методики измерения поглощения ультразвука, позволяющей вести измерения α в широком интервале температур и частот ([9, 10]).

В настоящей работе дается изложение исследования поглощения в этиловом эфире уксусной кислоты (этилацетате). Исследования проводились в интервале температур от $-50°$ до $+40°$ и в интервале частот от 3 до 30 Мгц. Частоты, на которых проводились исследования, указаны непосредственно на рис. 1. Анализ кривых, представленных на этом рисунке, указывает на необычный ход зависимости поглощения ультразвуковых волн от температуры и частоты в указанном веществе.

В этилацетате в интервале температур от $-40°$ до $+40°$ значение α/ν^2 проходит через два экстремума (минимум и максимум), причем эти экстремумы сдвигаются в сторону более высоких температур с увеличе-

нием частоты. С ростом частоты минимум и максимум становятся все более и более пологими, так что, например, при частоте 29,7 Мгц минимум вырождается почти полностью. Обработка полученных экспериментальных данных приводит к очень интересным результатам.

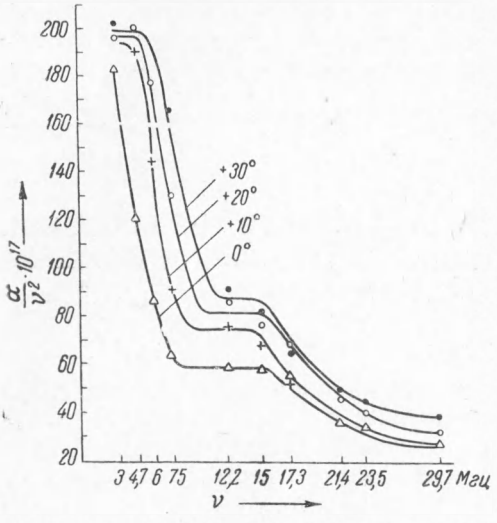

Рис. 2

На рис. 2 даются графики зависимости α/ν^2 от ν, обычно применяемые для выявления границ релаксационной области*.

Кривые рис. 2 показывают, что в этилацетате в указанном интервале температур и частот имеют место две области релаксации: одна в интервале частот 2—10 Мгц и другая — в интервале приблизительно 15—30 Мгц. Важно отметить, что интервал частот между первой и второй областями релаксации сужается с ростом температуры.

Не менее наглядно можно убедиться в наличии двух полных областей релаксации, если построить график зависимости коэффициента поглощения, приходящегося на длину волны ($\mu = \alpha\lambda$) от частоты ν. Известно ([7]), что в этом случае по числу максимумов на кривой $\mu = f(\nu)$ можно сделать однозначное заключение о числе областей релаксации. Частота же, соответствующая $\mu_{макс}$, будет являться частотой центра релаксации (ν_m).

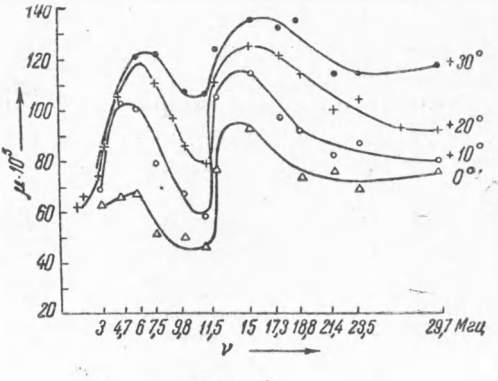

Рис. 3

Действительно, кривые рис. 3 обнаруживают два максимума, причем частота, соответствующая центру релаксации, с ростом температуры передвигается в сторону более высоких частот. Зависимость ν_m от температуры близка к линейной как для первой, так и для второй области релаксации.

Для описания основных экспериментальных результатов настоящей работы можно воспользоваться формулой:

$$\alpha = \frac{\pi\omega^2}{2\rho a^3}\,\frac{\eta_0'}{1+\omega^2\tau^2}, \qquad (1)$$

легко получаемой из феноменологической релаксационной теории ([1, 3, 7]).

В уравнении (1) η_0' обозначает коэффициент объемной вязкости при $\omega = 0$. Если допустить, что у рассмотренных веществ величина $\omega\tau$ по-

* На рис. 2 и на всех последующих рисунках мы будем рассматривать релаксационные явления только в интервале температур от 0 до 50°, т. е. в области температур, лежащих справа от температуры, соответствующей минимуму функции $\alpha/\nu^2 = \varphi(t)$ (см. рис. 1). Для интервала температур, лежащих слева от указанной температуры, обнаружено также две области релаксации. Они имеют некоторые специфические особенности, которые легко обнаружить при элементарной обработке данных рис. 1.

рядка единицы, то коэффициент $A_{\eta'}$ будет уменьшаться при увеличении частоты, что наглядно можно видеть на рис. 2. Здесь и для первой и для второй областей релаксации $A_{\eta'}$ падает с ростом частоты.

При постоянном значении $A_{\eta'}$ с изменением частоты коэффициент поглощения будет достигать предельных значений [1]

$$\alpha_0 = \frac{\omega^2 \eta_0'}{2\rho a^3} \tag{2}$$

при $\omega\tau \ll 1$,

$$\alpha_\infty = \frac{\eta_0'}{2\rho a^3 \tau^2} \tag{3}$$

при $\omega\tau \gg 1$.

В промежуточной области частота, при которой $A_{\eta'}$ будет иметь половину первоначального значения, определяет время релаксации объемной вязкости ($\omega = 1/\tau$).

Пользуясь известной формулой $\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C_0^2}(^4/_3\eta + \eta')$, легко рассчитать η' для области $A_{\eta'} = \text{const}$ при заданной температуре [2]. Для областей $A_{\eta'} \neq \text{const}$ такие расчеты можно привести только грубо ориентировочно при фиксированных значениях $\eta'(\omega)$.

На рис. 4 приведены кривые зависимости η' от частоты в этилацетате. Кривые зависимости $\eta' = f(\nu)$ качественно повторяют ход зависимости $A_{\eta'}$ от частоты (см. рис. 2).

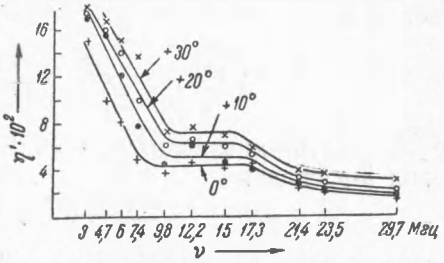

Рис. 4

Анализ наших экспериментальных данных однозначно показывает, что в исследованном нами случае обе релаксационные области относятся к релаксации объемной вязкости, так как суммарный коэффициент вязкости $\eta + \eta'$ остается больше коэффициента сдвиговой вязкости η исследованной области частот.

Что касается зависимости η' от температуры, то здесь наблюдается удовлетворительное согласие с экспериментальными данными Либермана [8], полученными путем непосредственного измерения объемной вязкости по «звуковому ветру».

Для установления конкретного механизма обнаруженных релаксационных явлений необходимо расширить область исследуемых частот и температур, а также провести исследования релаксационных явлений в смесях, обеспечивающих релаксацию на доступных в эксперименте ультразвуковых частотах.

Московский областной
педагогический институт

Поступило
13 I 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Михайлов, Распространение ультразвуковых волн в жидкостях, 1949. [2] Б. Кудрявцев, Применение ультраакустических методов в практике физико-химических исследований, 1952. [3] П. Бажулин, Тр. ФИАН, 5, 261 (1950). [4] Б. Шпаковский, ДАН, 18, 169 (1938). [5] J. Lamb, J. Pinkerton, Proc. Roy. Soc. (London), 199, 114 (1949). [6] Н. Колмакова, Диссертация, МОПИ, 1953. [7] И. Кнезер, Ann. d. Phys., 32, 5, 277 (1938). [8] L. Liebermann, Phys. Rev., 75, No. 9 (1949). [9] Н. И. Кошкин, В. Ф. Ноздрев, ДАН, 92, № 4 (1953). [10] В. Ф. Яковлев, Н. И. Кошкин, В. Ф. Ноздрев, ДАН, 96, № 2 (1954).