

ВЫНУЖДЕННОЕ И ТЕПЛОВОЕ РАССЕЙНИЕ МАНДЕЛЬШТАМА-БРИЛЛЮЭНА В РАСТВОРАХ И ДИСПЕРСИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В НИХ

И.М. Арефьев, В.С. Старунов, И.Л. Фабелинский

Измерения скорости и поглощения ультразвука в водных растворах третичного бутилового спирта, выполненные Бартоном [1], показали, что для измеряемых величин наблюдается отчетливый максимум при концентрации 0,045 и 0,011 молярных долей (м.д.) спирта соответственно. Величина α/f^2 , (α – амплитудный коэффициент поглощения, f – частота соответствующая максимуму кривой поглощения (см. штриховую кривую рис. 2), составляет $38,5 \cdot 10^{-15} \text{ сек}^2 \text{ см}^{-1}$. Эта величина на два порядка превосходит величину, рассчитанную для этой концентрации по гидродинамической формуле с учетом только сдвиговой вязкости.

Если большое значение α/f^2 в растворах определяется большим значением объемной вязкости, то на основании феноменологической теории Мандельштам-Леонтовича [2], развитой для релаксации объемной вязкости в жидкостях, можно попытаться оценить величину дисперсии скорости звука. Величина дисперсии [3]

Скорости ультразвука v_u и гиперзвука v_h и некоторые рассчитанные по ним параметры в водных растворах третичного бутилового спирта при $t = 21^\circ\text{C}$

Концентрация спирта в м.д.	$f_h^s \cdot 10^9, \text{ } \mu\text{}$ $\theta = 180^\circ$	$f_h^t \cdot 10^9, \text{ } \mu\text{}$ $\theta = 90^\circ$	$v_h^s, \text{ м.сек}^{-1}$	$v_h^t, \text{ м.сек}^{-1}$	$v_u, \text{ м.сек}^{-1}$	$\Delta v/v, \%$	$\alpha/f^2 \cdot 10^{15} ** \text{ сек}^2 \cdot \text{см}^{-1}$	$\tau \cdot 10^{10}, \text{ сек}$	$f_c = 1/2\pi\tau \times 10^9, \text{ } \mu\text{}$
0,000	5,61	4,42	1464 ± 16	1488,5 ± 1,3*	1488,5 ± 1,5	—	0,25	—	—
0,045	6,33	5,06	1642 ± 7	1686 ± 20	1622 ± 3	3,9 ± 1,4	10,7	11	0,145
0,110	6,09	4,94	1559 ± 10	1627 ± 15	1518 ± 2	7,0 ± 1,1	38,5	22	0,072
0,300	5,33	4,24	1351 ± 10	1383 ± 13	1337 ± 5	3,3 ± 1,3	17,0	17	0,094
1,000	4,64	3,66	1164 ± 6	1181 ± 8	1150 ± 2	2,7 ± 0,9	5,8	6	0,265

Объяснение индексов: s — вынужденное, t — тепловое; $v = \frac{1}{2}(v_u + v_h^t)$; θ — угол рассеяния.

* Измерения Тиганова [8]

** Измерения Бартона [1]

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{v}{4\pi^2 r} \frac{a_\eta}{f^2} \left(\frac{a}{a_\eta} - 1 \right) \approx \frac{v}{4\pi^2 r} \frac{a}{f^2}, \quad (1)$$

где $v = 1/2(v_\infty + v_0)$, a_η — коэффициент поглощения, обусловленный сдвиговой вязкостью, r — время релаксации. В области частот $(5 + 25) \cdot 10^6$ с^{-1} Бартон [1] не обнаружил дисперсии скорости звука, а это значит, что $r < 1/2\pi f_{\text{max}} \approx 6 \cdot 10^{-9}$ сек , и мы вправе ожидать дисперсии скорости звука $\Delta v/v > 2,5\%$.

Измерения скорости ультразвука выполнены нами на частоте $2 \cdot 10^6$ с^{-1} на установке, описанной в [4]. Измерения скорости гиперзвука выполнены по вынужденному и тепловому рассеянию Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ и ТРМБ) на установках, описанных в [5, 6]. Спектры ВРМБ получались при мощности лазерного излучения ~ 20 Мвт . Типичные спектры ТРМБ и ВРМБ показаны на рис. 1 (а и б) (см. вклейку).

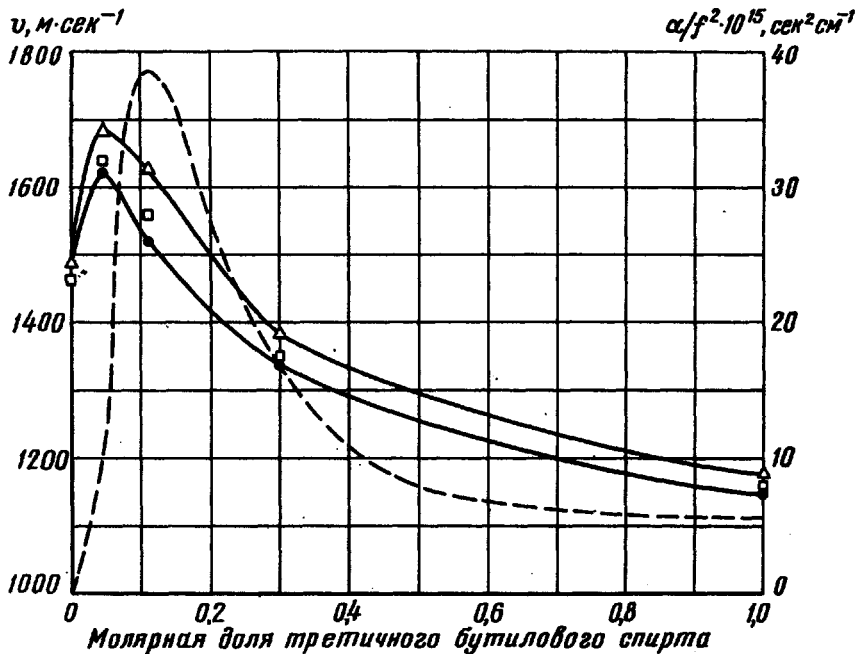


Рис.2. Скорости ультразвука (темные кружки) и гиперзвука, измененные по спектрам вынужденного (квадраты) и теплового (треугольники) рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в водных растворах третичного бутилового спирта при $t = 21^\circ\text{C}$. Штриховая кривая — поглощение ультразвука, измеренное Бартоном [1] в тех же растворах при $t = 27^\circ\text{C}$

Результаты измерений приведены в табл. 1 и на рис. 2. Дисперсия скорости звука определялась по данным ТРМБ. Ее максимальное значение соответствует максимуму поглощения ультразвука и составляет

7,0 ± 1,1%. С точки зрения теории [2] это означает, что исследованные растворы характеризуются временами релаксации $\sim 10^{-9}$ сек. Рассчитанные из наблюдаемой дисперсии по формуле (1) времена релаксации приведены в таблице.

Скорость ультразвука в исследуемых растворах была измерена также на частоте $2,55 \cdot 10^6$ гц при $t = 27,5^\circ \text{C}^*$. Эти измерения дали возможность определить температурный коэффициент скорости ультразвука $\Delta v_u / \Delta t$ в изучаемых растворах, приведенный ниже в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Концентрация спирта в м.д.	0	0,045	0,11	0,3	1,0
$\Delta v_u / \Delta t$, $\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$	+1,2(±1)	+3,8(±0,7)	+0,15(±0,5)	-0,7(±1)	-5(±0,5)

Из данных табл. 2 следует, что между концентрациями 0,11 и 0,3 м.д. раствор обладает температурным коэффициентом скорости ультразвука, близким к нулю или даже равным нулю. Такие среды имеют практическое значение для акустических модуляторов света.

Обращает на себя внимание, что значения скорости гиперзвука, полученные по спектрам ВРМБ, меньше тех же значений, полученных по спектрам ТРМБ (табл. 1). Ранее было высказано предположение, что это связано с нагреванием жидкости в объеме, где возникает ВРМБ [7]. Поскольку у воды и у растворов до 0,11 м.д. температурный коэффициент скорости звука положительный (см. табл.2), то здесь этот механизм, по-видимому, дает малый вклад, а сам эффект, возможно, объясняется другим механизмом [9, 10].

Следует отметить, что порог ВРМБ в третичном бутиловом спирте ниже порога ВРМБ для воды и растворов (см. рис. 1*а*).

Авторы выражают благодарность Г.И. Зайцеву, С.В. Кривохижа, Е.В. Тиганову и И.Я. Дихтер за помощь в работе.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
26 июня 1967 г.

Литература

- [1] Ch. T. Burton. J. Acoust. Soc. Amer., 20, 186, 1948.
- [2] Л.И. Мандельштам, М.А. Леонтович, ЖЭТФ, 7, 438, 1937.
- [3] И.Л. Фабелинский, Молекулярное рассеяние света, М., изд-во "Наука", 1965.
- [4] С.В. Кривохижа, И.Л. Фабелинский, ЖЭТФ, 50, 3, 1966.

- [5] Г.И. Зайцев, Ю.И. Кызыласов, В.С. Старунов, И.Л. Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 6, , 1967.
- [6] Д.И. Маш, В.С. Старунов, Е.В. Тиганов, И.Л. Фабелинский. ЖЭТФ, 49, 1764, 1965.
- [7] Д.И. Маш, В.В. Морозов, В.С. Старунов, Е.В. Тиганов, И.Л. Фабелинский. Письма ЖЭТФ, 2, 246, 1965.
- [8] Е.В. Тиганов. Письма ЖЭТФ, 4, 385, 1966.
- [9] R.G. Brewer, Appl. Phys. Lett., 9, 51, 1966.
- [10] А.А. Чабан. Письма ЖЭТФ, 3, 73, 1966.

* Эти измерения выполнены С.В. Кривохижа.