ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 15 Nr kol. 285

ZYGMUNT KLESZCZEWSKI
ALEKSANDER OPILSKI
Katedra Fizyki Technicznej

OSOBLIWOŚCI PROPAGACJI FALI AKUSTYCZNEJ W NIEKTÓRYCH CIECZACH BARDZO LEPKICH

Streszczenie: Zmierzono współczynnik pochłaniania fali ultradźwiękowej w trójoctanie glicerylu i glikolu trójetylenowym w przedziale temperatur -60°C do +40°C dla różnych częstotliwości. Stwierdzono wyraźną rozbieżność danych doświadczalnych z przewidywaniami teorii relaksacyjnej i teorii nielokalnej.

Badanie cieczy o dużej lepkości jest bardzo interesujące. Trzeba bowiem stwierdzić, że w zasadzie nie ma teorii która dobrze opisywałaby akustyczne zachowanie się tych cieczy.

Teoria relaksacyjna [1-3] która dobrze opisuje propagację dźwięku w cieczach o małej lepkości, jest w przypadku cieczy lepkich nieprzydatna, nawet jeśli przyjąć ciągłe widmo czasów relaksacji.

Z wyników dotychczasowych badań cieczy lepkich można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Różnica między prędkością dla bardzo dużej częstości i częstości mierzonej $V_\infty - V$ zmniejsza się ze wzrostem w proporcjonalnie do $\frac{1}{\sqrt{\omega\tau}}$. Z teorii relaksacyjnej wynika, że $V_\infty - V \sim \frac{1}{(\omega\tau)^2}$ gdzie:

ω - częstość cykliczna,

τ - czas relaksacji.

2. Przy dużych częstościach wyrażenie $\frac{\alpha}{\omega}$ jest proporcjonalne do $\frac{1}{\sqrt{\omega\tau}}$; natomiast teoria relaksacyjna przewiduje zależność $\frac{\alpha}{\omega} \sim \frac{1}{\omega\tau}$.

3. Maksymalna wartość α leży na początku krzywej dyspersji, a nie w jej środku, jak to ma miejsce w teorii relaksacyjnej, przy czym zależność α od $\omega\tau$ ma trochę inny przebieg.

Drugą najpoważniejszą w chwili obecnej teorią propagacji fali ultradźwiękowej w cieczach lepkich jest tzw. teoria nielokalna [4,5]. U jej podstaw leży założenie, że ciecz lepka jest niejednorodnym, dwufazowym ośrodkiem. Każda z faz tego ośrodka oprócz zwykłych zmiennych termodynamicznych jest charakteryzowana jeszcze dodatkowymi zmiennymi ξ_1 i ξ_2. Zmienne te określają koncentrację dziur w obydwu fazach.

Fala dźwiękowa powoduje zaburzenie ośrodka a więc i zmianę parametrów ξ_i względem stanu równowagi. Powrót do stanu równowagi zachodzi drogą dyfuzji, której czas określony jest wzorem:

$$\tau = \frac{a^2}{2D} \tag{1}$$

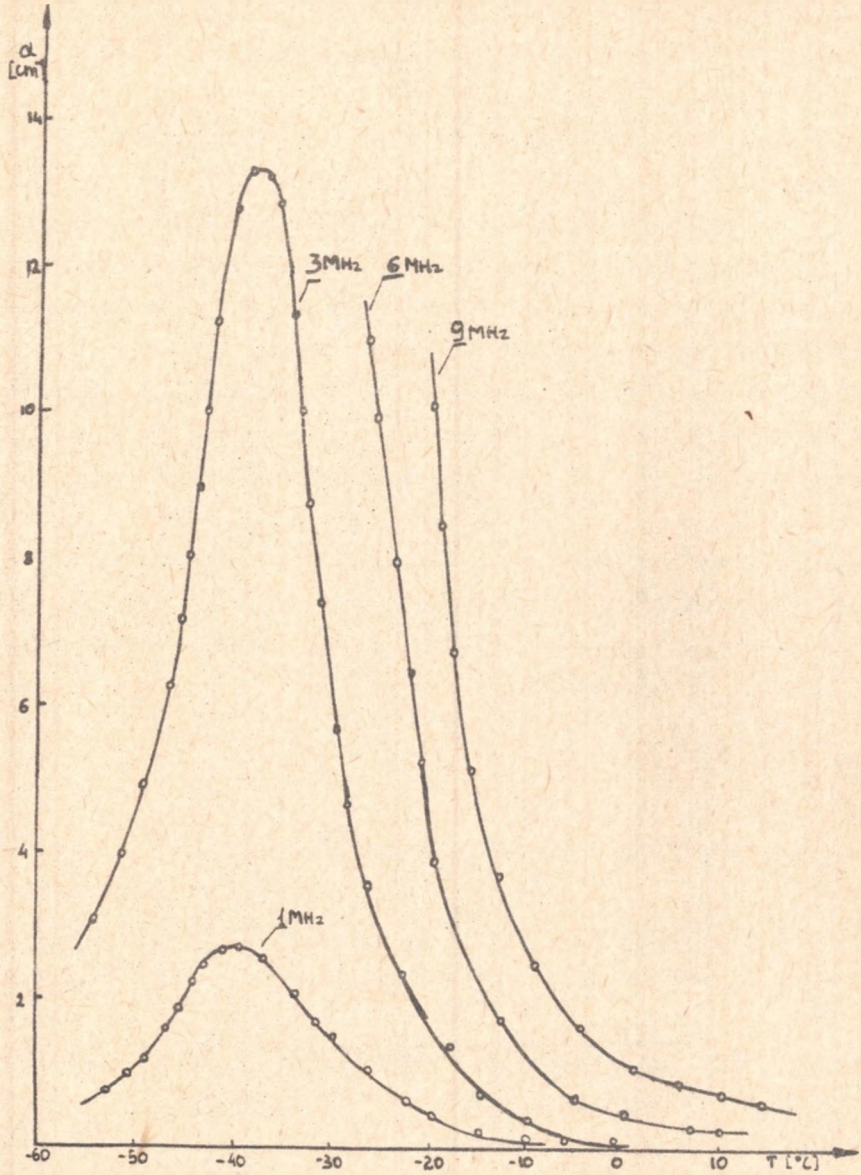
a- promień, charakteryzujący uporządkowaną strukturalnie fazę
D - współczynnik dyfuzji.

Opóźnienie powrotu ośrodka do stanu równowagi względem zmian ciśnienia fali ultradźwiękowej powoduje pochłanianie i dyspersję prędkości dźwięku.

W pracy niniejszej, która jest kontynuacją pomiarów rozpoczętych w roku ubiegłym wyznaczyliśmy współczynnik tłumienia dla niektórych cieczy bardzo lepkich w funkcji temperatury przy różnych częstotliwościach.

Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresach.

Rys. 1. Zależność współczynnika tłumienia fali ultradźwiękowej od temperatury w glikolu trójetylenowym

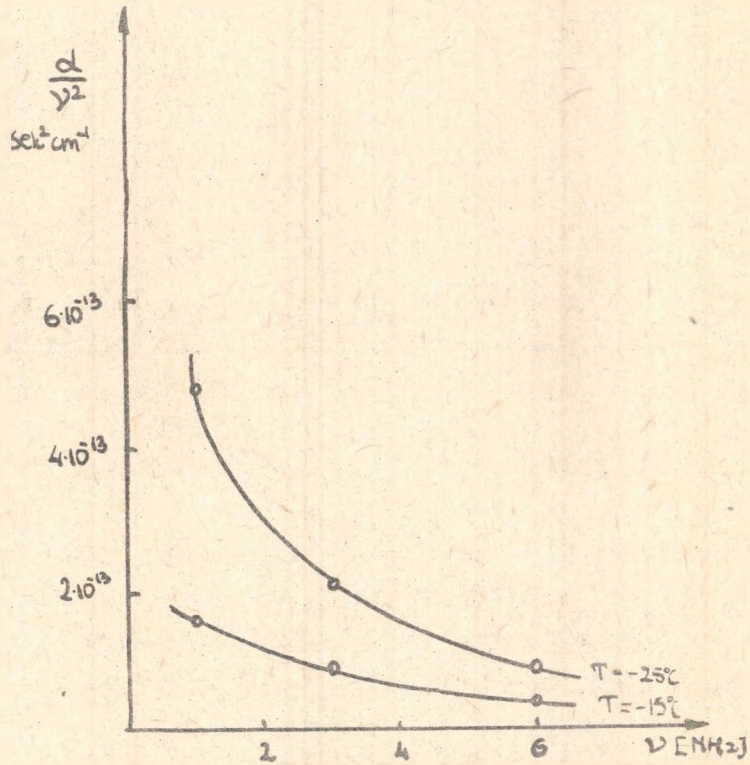


Rys. 2. Zależność współczynnika tłumienia fali ultradźwiękowej od temperatury w trójoctanie glicerylu

Wg teorii nielokalnej w badanym przedziale częstości i temperatury ($\omega\tau \ll 1$) współczynnik tłumienia wyraża się wzorem

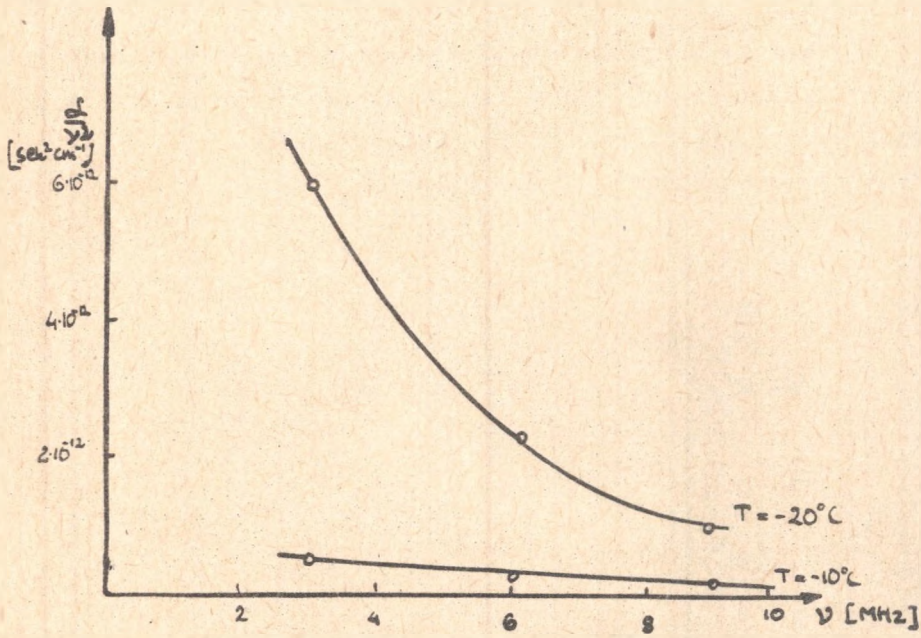
$$\frac{\alpha}{\omega^2} = \frac{2}{5}\tau \frac{V_\infty^2 - V_0^2}{V_0^2 V_\infty} \tag{2}$$

Z powyższego wynika niezależność wyrażenia $\frac{\alpha}{\omega^2}$ od ω. Wyznaczone natomiast doświadczalnie zależności $\frac{\alpha}{\omega^2}$ od ω dla badanych cieczy przedstawiają się następująco:
Odstępstwo od wzoru (2) jest wyraźne.



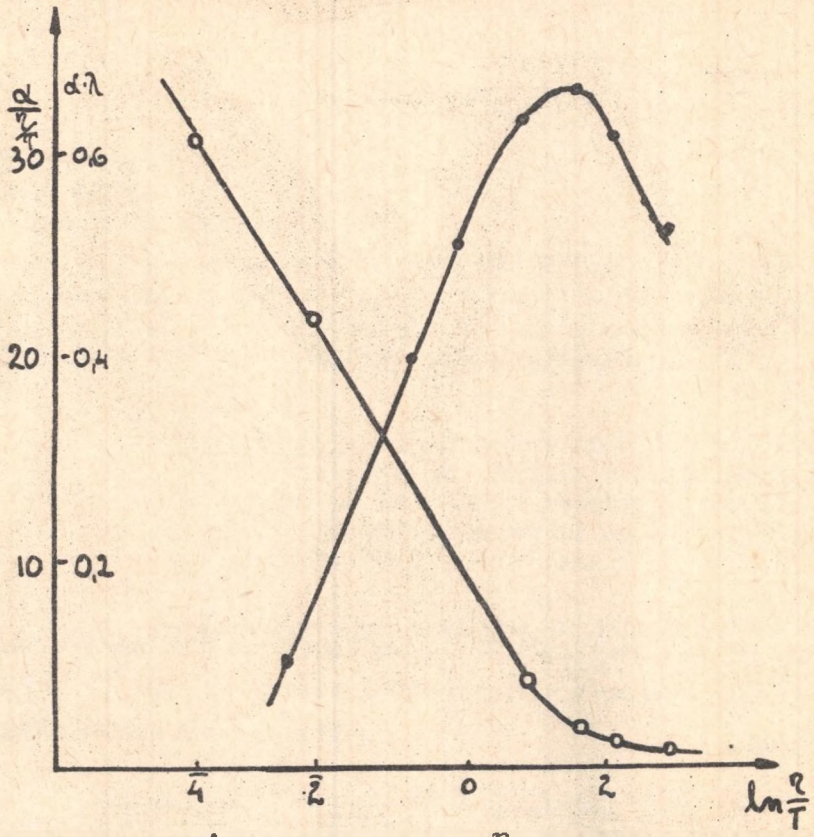
Rys. 3. Zależność $\frac{\alpha}{\nu^2}$ od ν w glikolu trójetylenowym

Obydwie teorie nie wyjaśniają również dlaczego maksymalna wartość $\alpha\lambda$ jest przesunięta względem krzywej $\frac{\alpha}{\tau}$ od τ. Winno ono przypadać w punkcie $\omega = \frac{1}{\tau}$.



Rys. 4. Zależność $\frac{\alpha}{\nu^2}$ od ν w trójoctanie glicerylu

Zwróciliśmy tu tylko uwagę na najbardziej charakterystyczne cechy propagacji fal akustycznych w cieczach bardzo lepkich. Bardziej zasadnicze wnioski dotyczące zgodności teorii nielokalnej z danymi doświadczalnymi będzie można wyciągnąć po zbadaniu obszaru $\omega\tau > 1$. Ze względów wspomnianych na wstępie zawiera on ważne informacje z interesującego nas punktu widzenia. Z powodu bardzo dużego pochłaniania pomiary te będą możliwe tylko poprzez badanie stymulowanego i cieplnego rozpraszania Mendelsztama-Brillouina. Będzie to stanowiło najbliższy etap naszych prac.



Rys. 5. Zależność $\frac{\alpha}{\tau}$(o) i $\alpha\lambda$(.) od $l_n \frac{\eta}{T}$ w trójoctanie glicerylu ν=1 MHz

LITERATURA

[1] Mandelsztam L.J., Leontowicz M.A., - K tieorii pogłoszczienija zwuka w żidkostjach, ZETF, 7, 438, (1937).

[2] Michajłow I.G. - Osnowy molekularnej akustiki. Izd. Nauka (1964).

[3] Nozdriew M.A. - Primienienije ultraakustiki w molekularnoj fizikie. Fizmatgis (1938).

[4] Isakowicz M.A., Czaban I.A. - Rasprastranienije wełn w silnowjazkich żidkostjach ZETF, 50, 1343 (1966).

[5] Isakowicz M.A., Czaban I.A. - DAN SSSR 1963, 299 (1965).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА
В НЕКОТОРЫХ СИЛЬНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЯХ

Р е з ю м е

Измерено поглощение ультразвука в триацетине и триэтиленгликоле в интервале температур от -60°C до +40°C. Доказано, что экспериментальные данные не согласуются с данными вытекающими из релаксационной и нелокалной теории.

SOME PECULIARITIES OF ACOUSTIC WAVE PROPAGATION
IN VERY VISCOUS LIQUIDS

S u m m a r y

The coefficients of an ultrasound wave absorption in triacetin and triethylen glycol within the temperature interval from -60°C to + 40°C. for various frequencies, have been measured. A very distinct difference of experimental results between the relaxation and nonlocal theories has been stated.