



**ZALEŻNOŚCI TEMPERATUROWE ABSORPCJI I PRĘDKOŚCI
ULTRADŹWIĘKOWEJ W 1-(TRANS-4-HEKSYLOCYKLOHEKSYLO)-4-
IZOTIOCYJANOBENZENIE**

**Temperature Dependencies of Ultrasonic Absorption and Velocity
in the 1-(*trans*-4-Hexylcyclohexyl)-4-isothiocyanatobenzene**

Andrzej Balcerzak

Institut Podstawowych Problemów Techniki PAN
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa
abalcerz@ippt.gov.pl

STRESZCZENIE

Wykonano pomiary absorpcji i prędkości ultradźwiękowych fal podłużnych w nematycznym ciekłym kryształach 1-(*trans*-4-heksylocykloheksylo)-4-izotiocyanobenzenie (6CHBT) w funkcji temperatury pomiędzy 24°C i 56°C dla częstotliwości 5,2 MHz. Zależność temperaturowa absorpcji ultradźwiękowej posiada wyraźne maksimum w obszarze przejścia fazowego nematyk – ciecz izotropowa, natomiast zależność temperaturowa prędkości ma w tym obszarze lokalne minimum. W celu obliczenia współczynnika rozszerzalności cieplnej i temperaturowego współczynnika ściśliwości adiabatycznej wykonano dodatkowe pomiary gęstości w zależności od temperatury. Obydwa te współczynniki podczas przejścia fazowego wykazują zachowanie krytyczne, które zostało zanalizowane. Obliczono i porównano z danymi literaturowymi wykładniki określające wzrost fluktuacji uporządkowania.

1. WPROWADZENIE

Przejście od krystalicznego ciała stałego do izotropowej cieczy w miarę wzrostu temperatury w substancjach zwanych ciekłymi kryształami następuje poprzez stany pośrednie – mezofazy – charakteryzujące się różnym stopniem uporządkowania cząsteczek. W temperaturze odległej od temperatury przejścia fazowego poszczególne fazy (mezofazy) są stabilne w sensie termodynamicznym. Jednak w pobliżu tej temperatury np. temperatury przejścia nematyk - ciecz izotropowa występują anomalie w zachowaniu się różnych wielkości fizyko-chemicznych, a w tym prędkości propagacji i absorpcji fali ultradźwiękowej oraz współczynników rozszerzalności cieplnej i ściśliwości adiabatycznej.

W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki pomiarów prędkości i absorpcji ultradźwiękowych fal podłużnych oraz gęstości w nematycznym ciekłym kryształach 1-(*trans*-4-heksylocykloheksylo)-4-izotiocyanobenzenie (6CHBT) w zależności od temperatury.

Zaprezentowane będą także zależności współczynnika rozszerzalności cieplnej oraz temperaturowego współczynnika ściśliwości adiabatycznej dla tego ciekłego kryształu wyznaczone na podstawie uzyskanych wyników pomiarów.

2. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Za przyczynę występujących w ciekłych kryształach anomalii w zależnościach wielkości fizyko-chemicznych od temperatury w pobliżu temperatury przejścia fazowego uważa się fluktuacje uporządkowania cząsteczek ciekłego kryształu charakteryzowanego przez tzw. parametr uporządkowania [1-4].

Fluktuacje gęstości, spowodowane fluktuacjami uporządkowania cząsteczek są zależne od temperatury, T , według zależności (1) [5]:

$$(\Delta\rho)^2 \sim (T - T^*)^{-\gamma} \quad (1)$$

gdzie T^* jest temperaturą przejścia fazowego, a γ oznacza wykładnik określający wzrost fluktuacji uporządkowania. Fluktuacje gęstości wywołują wzrost współczynnika rozszerzalności cieplnej α_T wyrażony wzorem (2)

$$\alpha_T = \alpha_0 + A(T - T^*)^{-\gamma} \quad (2)$$

oraz współczynnika temperaturowego ściśliwości adiabatycznej β_T według zależności (3):

$$\beta_T = \beta_0 + B(T - T^*)^{-\gamma-1} \quad (3)$$

gdzie α_0 i β_0 to odpowiednio współczynnik rozszerzalności cieplnej i współczynnik temperaturowy ściśliwości adiabatycznej w temperaturze odległej od temperatury przejścia fazowego, A i B – stałe.

Współczynnik rozszerzalności cieplnej jest zdefiniowany jako:

$$\alpha_T = \frac{1}{v_0} \frac{dv}{dT} \quad (4)$$

gdzie v jest objętością właściwą (równą odwrotności gęstości ρ), a v_0 to objętość właściwa wyznaczana w punkcie środkowym przejścia fazowego.

Współczynnik temperaturowy ściśliwości adiabatycznej wyraża się wzorem:

$$\beta_T = \frac{1}{\beta_{ad}^0} \frac{d\beta_{ad}}{dT} \quad (5)$$

gdzie β_{ad} jest ściśliwością adiabatyczną, a β_{ad}^0 oznacza maksymalną wartość ściśliwości adiabatycznej występującą w pobliżu temperatury przejścia fazowego.

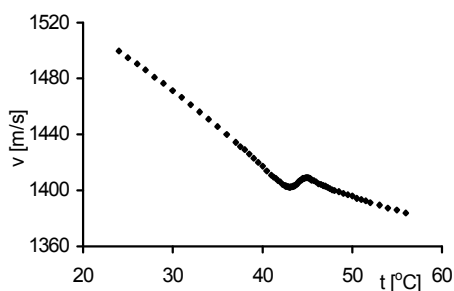
3. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Prędkość ultradźwiękową wyznaczano mierząc czasy przejścia impulsów ultradźwiękowych przez warstwę ciekłego kryształu przy dwu różnych odległościach ultradźwiękowych sond pomiarowych. Współczynnik absorpcji określono ze stosunku amplitud przechodzących impulsów ultradźwiękowych dla dwu położzeń sond. Pomiaru te wykonywano przy częstotliwości 5,2 MHz. Gęstość ciekłego kryształu zmierzono gęstościomierzem MG-2 (Unilab, Polska) działającym na zasadzie pomiaru częstotliwości drgań U-rurki wypełnionej badaną cieczą. Temperaturę badanego ciekłego kryształu utrzymywano za pomocą termostatu z dokładnością do $\pm 0,01^\circ\text{C}$. Prędkość zmierzono

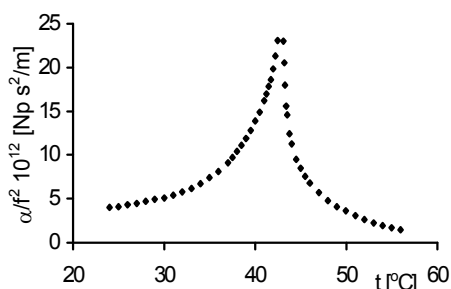
z dokładnością do 0,5 m/s, współczynnik absorpcji $\alpha/f^2 - 2 \cdot 10^{-13} \text{ Np} \cdot \text{s}^2/\text{m}$, natomiast gęstość $\rho - 5 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$.

Wyniki pomiarów prędkości i absorpcji fali ultradźwiękowej oraz gęstości w zależności od temperatury przedstawiono na rys.1÷3. Zależność prędkości fali ultradźwiękowej, v , wykazuje minimum (rys.1), natomiast współczynnik absorpcji ultradźwiękowej, α/f^2 , osiąga maksimum (rys.2) w pobliżu temperatury przejścia fazowego. W obszarze przejścia fazowego krzywa zależności gęstości, ρ , od temperatury posiada charakterystyczne przegięcie (rys.3).

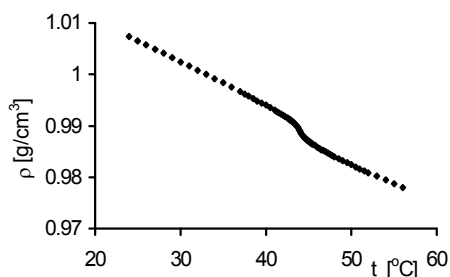
Ścisłość adiabaticzną obliczono z zależności $\beta_{ad}=1/(\rho v^2)$; jej zależność od temperatury przedstawiono na rys.4.



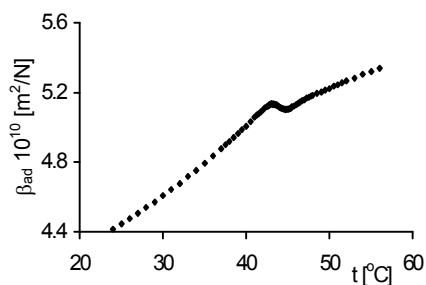
Rys.1. Zależność prędkości dźwięku, v , od temperatury.



Rys.2. Zależność współczynnika absorpcji ultradźwiękowej, α/f^2 , od temperatury.



Rys.3. Zależność gęstości, ρ , od temperatury.



Rys.4. Zależność ścisłości adiabaticznej, β_{ad} , od temperatury.

Korzystając z zależności (4) oraz (5) wyznaczono odpowiednio wartości współczynnika rozszerzalności cieplej, α_T , oraz temperaturowego współczynnika ścisłości adiabaticznej, β_T w zależności od temperatury – rys.5 i 6. Linie ciągłe na wykresach są obrazami funkcji określonych wzorami (2) i (3) z wartościami parametrów wyznaczonymi metodą regresji nieliniowej. Wartości te zamieszczono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Parametry równania (2).

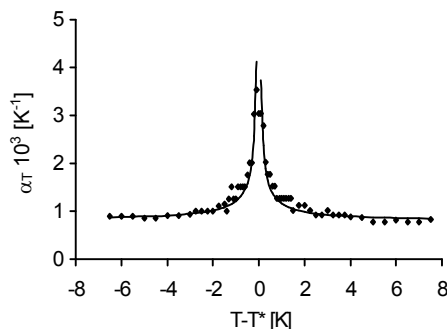
mezofaza	$\alpha_0 [10^{-3} \text{ K}]$	$A [10^{-4}]$	γ
nematyczna	7,9	4,2	0,90
izotropowa	7,8	3,8	0,89

Tabela 2. Parametry równania (3).

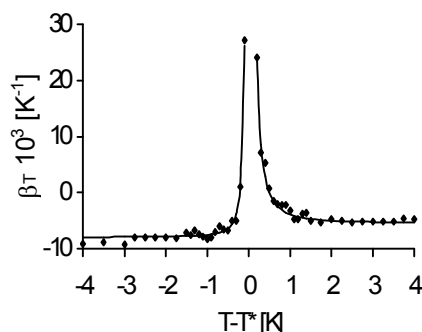
mezofaza	$\beta_0 [10^{-3} \text{ K}]$	$B [10^{-4}]$	γ
nematyczna	-8,0	4,2	0,91
izotropowa	-5,5	15,7	0,82

Obliczone wartości parametrów α_0 i β_0 to wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej oraz współczynnika temperaturowego ściśliwości adiabatycznej po stronie mezofazy nematicznej i izotropowej w temperaturze odległej od temperatury przejścia fazowego.

Wyznaczone wartości parametru γ z zależności współczynnika rozszerzalności cieplnej, α_T , jak i temperaturowego współczynnika ściśliwości adiabatycznej, β_T , od temperatury są stosunkowo bliskie jedności, co jest zgodne z doniesieniami literaturowymi, m. in. [1,6].



Rys.5. Zależność współczynnika rozszerzalności cieplnej, α_T , od temperatury.



Rys.6. Zależność temperaturowego współczynnika ściśliwości adiabatycznej, β_T , od temperatury.

4. PODSUMOWANIE

W wyniku pomiarów ultradźwiękowych w ciekłym kryształcie 1-(*trans*-4-heksylocykloheksylo)-4-izotiocyanobenzenie (6CHBT) uzyskano zależności prędkości i absorpcji fali ultradźwiękowej od temperatury. W pobliżu temperatury przejścia fazowego nematyk – ciecz izotropowa wartość absorpcji ultradźwiękowej osiąga maksimum, natomiast wartość prędkości - lokalne minimum.

Obliczone wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej, α_T , i temperaturowego współczynnika ściśliwości adiabatycznej, β_T , w zależności od temperatury zachowują się zgodnie z potęgową zależnością wynikającą z teorii fluktuacji daną równaniami (2) i (3), tj. w pobliżu temperatury przejścia fazowego ich wartości gwałtownie rosną. Wyznaczone metodą regresji nieliniowej wartości parametru γ są bliskie jedności, co jest zgodne z przewidywaniami teoretycznymi i badaniami eksperymentalnymi.

LITERATURA

1. P.G. DE GENNES, J. PROST, Physics of liquid crystals, Clarendon Press, Oxford 1998.
2. Y. KAWAMURA, Y. MAEDA, K. OKANO, S. IWAYANAGI, Anomalous ultrasonic absorption and dispersion of nematic liquid crystals near the clearing point, Jap.J.Appl.Phys., **12**, 1510-1521 (1973).
3. Y.V. SPERKACH, V.S. SPERKACH, O. ALIOKHIN, A.L. STRYBULEVYCH, M. MASUKO, Temperature dependence of acoustical relaxation times involving the vicinity of N-I phase transition point in 5CB liquid crystal, Mol.Cryst. and Liq.Cryst, **366**, 183-202 (2001).
4. G.G. NATALE, The contribution of ultrasonic measurements to the study of liquid crystals. I. Nematics, J.Acoust.Soc.Am., **63**, 1250-1278 (1978).
5. A.K. GEORGE, On critical phenomena in liquid crystals, Acustica, **73**, 287-290 (1991).
6. P.H. KEYES, J.R. SHANE, Tricritical exponents for the isotropic-nematic transition: an experimental verification, Phys.Rev.Lett. **42**, 722-725 (1979).