УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИЕНТАЦИОННОЙ РЕЛАКСАЦИИ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

К.Г.Парпиев , А.Артыков

The acoustic properties of nematic N —96 and benzene solution one in a mesomorphic phase was investigated in rotational magnetic field. The effects of concentration, temperature, pressure and frequency of magnetic field rotation on ultrasonic absorption anizotropy are learned. Critical frequency values was determined by experiment. The relationship between the twist viscosity was calculated, the pressure anole temperature dependences of this ratio are also discussed.

Ўзгарувчан магнит майдонида анизотроп фазадаги Н-96 суюқ кристаллининг акустик хоссалари ўрганилди. Ультратовуш ютилиш коэффициенти анизотропиясининг концентрацияга, температурага, босимга ва магнит майдонининг айланиш частотасига боғлиқлиги тадқиқ этилди. Критик частотанинг катталиги ва унинг ҳолат параметрлари(Р,Т)га боғлиқлиги тажрибалар асосида аниқланди. Айланма қовушоқликнинг диамагнит киритувчанликнинг анизотропиясига нисбати ҳисобланди ва унинг температура ҳамда босимга боғлиқлик хусусиятлари ўрганилди.

Изучение динамических свойств растворов нематических жидких кристаллов (НЖК) в переменных магнитных полях при изменяющихся термодинамических параметрах состояния, представляет большой научный и практический интерес. Подобные исследования в частности, позволяют проверить основные положения неравновесной теории анизотропно-жидких сред в условиях периодического возмущения термодинамического состояния. Впервые поведение жидких кристаллов во вращающемся магнитном поле было исследовано В.Н Цветковым [1,2]. Результаты более поздних акустооптических исследований такого рода представлены в работах [3,4] и монографии [5].

Изучение влияния немезогена на ориентационную подвижность молекул и молекулярных комплексов растворов НЖК акустическим методом, позволяет получить ценную информацию о диссипативных кинетических коэффициентах тензора напряжения их гидродинамики. Для современных экспериментальных исследований наряду с другими, так же используют и развивают ультразвуковую методику [3,6]. В данной работе акустический метод используется как способ исследования динамики поведения растворов НЖК при воздействии переменных магнитных полей, то есть как средство измерения. Отсюда вытекает три основных требования, которым должна удовлетворять экспериментальная установка, основанная на акустическом методе измерения. Во-первых, возмущения, вносимые акустическим полем, должны быть значительно меньше возмущений, обусловленных влиянием внешнего магнитного поля на динамику ориентационной структуры растворов НЖК. В то же время энергетический ресурс акустического поля должен быть достаточным для надежного измерения относительных изменений акустических параметров, несущих информацию о динамике ориентационной структуры растворов НЖК. Параметры акустического тракта измерителя должны удовлетворять значениям, при которых обеспечивается безинерционный съем информации о временных и частотных изменениях параметров ориентационной структуры растворов НЖК. Кроме того:

- электронная часть установки должна обеспечивать надежного выделения полезного сигнала;
- механическая часть установки должна обеспечивать равномерность вращения вектора $\vec{H}$ напряженности магнитного поля в пределах рабочего диапазона угловой скорости;
- время установления выходящих напряжений должно быть значительно меньше времени ориентационной релаксации;
- возможность автоматической регистрации быстрых и сверхбыстрых процессов.

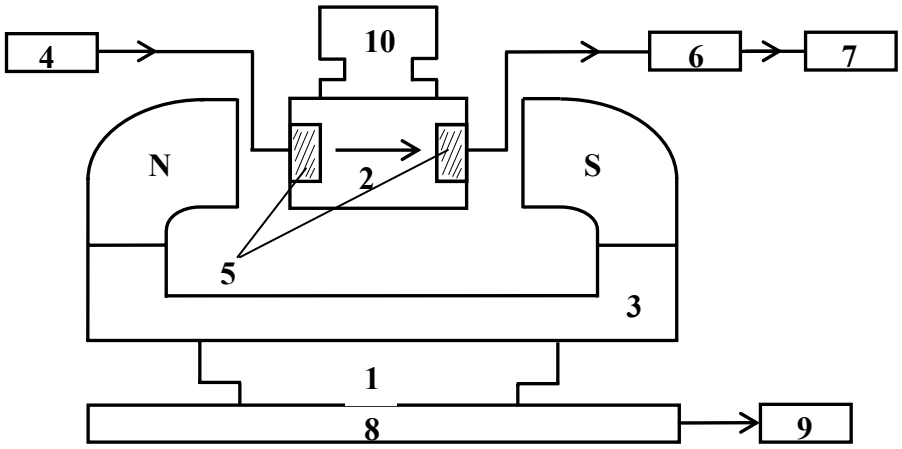

Рис. 1. Блок - схема ультразвуковой установки для исследования ориентационных свойств растворов НЖК во вращающихся и колеблющихся магнитных полях при высоких давлениях. 1 - основание, 2-акустичеекая камера высокого давления, 3-постоянный магнит, 4-генератор радиоимпульсов, 5 -передающий и приемный преобразователи, 6-усилитель-преобразователь, 7 – регистрирующее устройство, 8-подвижная платформа, 9-датчик угла поворота, 10-гидравлическая система высокого давления (НСВД – 2500).

Акустическая камера-2 закреплена на неподвижном основании-1 между полюсами магнита-3, установленного на подвижной платформе поворотного стенда, ось вращения которой перпендикулярна волновому вектору $\vec{K}$ акустической волны в камере, так что векторы $\vec{K}$ и $\vec{H}$ лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Радиоимпульсы, сформированные генератором-4, подаются на передающий преобразователь-5, помещенный в камере-2, заполненной исследуемым раствором НЖК. Акустический сигнал после прохождения через исследуемый объект принимается приёмным преобразователем 5 и преобразуется в электрические импульсы той же частоты. Далее усиленные и преобразованные в блоке-6 сигналы поступают на регистрирующее устройство-7, позволяющее фиксировать изменение величины амплитуды акустического сигнала, обусловленное его прохождением через исследуемый объект.

Акустическая камера, представляющая собой автоклав, выполнена из немагнитной, нержавеющей стали марки (10х17Н13М2Т), содержит полость для исследуемого НЖК объемом $8 \times 10^{-6} м^3$. Наружный диаметр камеры ($5,5.10^{-2}$м) значительно меньше зазора магнита. Коаксиальные кабели введены внутрь камеры через конусообразные каналы малого диаметра, загерметизированны эпоксидной смолой.

Пъезопреобразователи размещены в ячейке, обеспечивающей их соосность и плоскопараллельность. Длина акустического пути 10^{-2}м. Разрушение остаточной ориентации растворов НЖК, вызываемой поверхностями акустического датчика осуществляется посредством создания гидродинамических потоков системой сильфонной мешалки. Разработанная новая система заливки обеспечивает сохранение чистоты исследуемых растворов НЖК в процессе проведения эксперимента.

С помощью созданной методом вращающейся магнитного поля исследованы нами зависимость анизотропии коэффициента поглощения ультразвука на частоте 6,2 МГц при изменяющихся Р,Т(термодинамических параметрах состояния) нематики Н-96 и его растворов с немезогеном [Н-96+C_6 H_6]. Если напряженность магнитного поля достаточно велика, для создания однородной ориентации во всем объеме жидкого кристалла, то вращающий момент, испытываемый жидким кристаллом, пропорционален угловой скорости.

В данном случае, согласно [1], изменение угла поворота директора определяется уравнением:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta\chi H^2}{2\gamma_1} \sin 2(\omega_H t - \varphi_0) = \omega_0 \sin 2(\omega_H t - \varphi_0) \qquad (1),$$

где φ-уголь поворота директора за время t , $\Delta\chi$- анизотропия диамагнитной восприимчивости жидкого кристалла, H-напряженность магнитного поля, γ_1-вращательная вязкость жидкого кристалла, ω_H-частота вращения магнитного поля.

Из уравнения (1) следует, что существует три режима движения директора: синхронный, промежуточный и асинхронный. В случае синхронного режима $\omega_H \le \omega_0$ стационарное решение (1) имеет вид:

$$\sin 2\theta = \frac{\omega_H}{\omega_0} = \frac{2\gamma_1 \cdot \omega_H}{\Delta x \cdot H^2} \qquad (2)$$

где $$\theta = \omega_H \cdot t - \varphi_0 \qquad (3)$$

Движение директора происходит синхронно с магнитным полем с постоянным углом запаздывания θ.

Явный вид вклада коэффициента поглощения ультразвука от времени получим, поставив значение θ в следующее выражение:

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_{SV} \cos^2\theta + \Delta\alpha_S \cos^4\theta \qquad (4)$$

где $\Delta\alpha_{SV}$ и $\Delta\alpha_S$ -параметры, определяемые «анизотропией» объемной и сдвиговой вязкости, соответственно. Значения $\theta = \omega_H .t - \varphi_0$ вычислены из уравнения (3), в синхронном режиме. Для $\Delta\alpha(\omega_H t)$ в синхронном режиме имеем:

$$\Delta\alpha(\omega_H t) = \frac{\Delta\alpha}{2}\left[\cos^2(\omega_H t - \varphi_0) + \frac{\Delta\alpha_S}{4\Delta\alpha}\cos^4(\omega_H t - \varphi_0)\right] \qquad (5)$$

Вращение магнитного поля с частотой ω_H приводит к периодическому изменению коэффициента поглощения ультразвука $\alpha(\omega_H t)$ с удвоенной частотой $2\omega_H$.При этом фазовый сдвиг θ,является функцией частоты вращения магнитного поля, давления и температуры.

Увеличение частоты ω_H и давления P приводит к возрастанию θ, а увеличение температуры T уменьшает его значение. Результаты этих экспериментальных данных иллюстрированы на графике рисунка 2. В котором кривые 1 и 2 соответствуют температуре 26 и 50°C, соответственно.

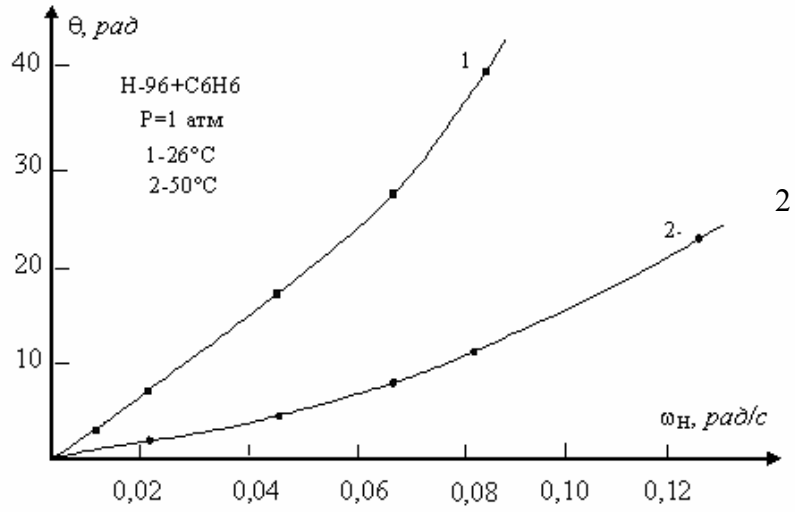

Рис.2. Зависимость фазового сдвига θот частоты ω_H при разных температурах.
1. T=299 K, P=1 ат. 2. T=323 K, P=1 ат.

В синхронном режиме фазовый сдвиг θ определяется выражением (3). Вычисленные значения критической частоты ω_0 по формуле (2) представлены в табл.1

Табл.1.Значения $\omega_0 \cdot 10^2$,(рад/с) в зависимости от температуры и давления

T, K / P, at	$H-96$			$H-96+C_6H_6$		
	300	313	323	300	313	323
1	9,25	17,8	39,6	13,5	29,0	37,5
300	5,93	12,0	25,5	9,42	19,3	28,1
600	3,66	7,33	19,6	6,28	12,74	19,7

Экспериментальные исследования показывают, что увеличение давления и понижение температуры приводит к уменьшению ω_0. Полученные экспериментальные значения ω_0 позволяют рассчитать отношение $\gamma_1 / \Delta\chi = H^2 / 2\ \omega_0$ при различных температурах и давлениях. Анализ зависимости $\gamma_1 / \Delta\chi = H^2 / 2\ \omega_0$ от температуры и давления показывает, что эта зависимость может быть описана следующим уравнением:

$$\gamma_1 / \Delta\chi = \gamma_{10} \cdot \exp\left[(E^{\neq} + VP)/(RT)\right] \qquad (6)$$

где, γ_{10} и V -постоянные, практически не зависящие от температуры, $E^{\neq}$-энергия активации. Значения параметров γ_{10}, $E^{\neq}$ и V для исследованных веществ приведены в табл.2.

Табл.2

Параметры	$H-96$	$H-96+C_6H_6$
$E^{\neq} \cdot 10^{-3}, ДЖ / моль \cdot К$	36	35
$V \cdot 10^5, м^3 / моль \cdot Па$	3,6	3,3
$\gamma_{10} \cdot 10^6, Па \cdot с$	2,2	3,9

Для теоретической трактовки характера эмпирических зависимостей динамических параметров в исследованных растворах от концентрации, давления и температуры существует модели типа теории «свободного объема». Более детальный анализ в рамках этих моделей следует в последующих публикациях.

Литература:

1. Цветков В.Н. Движение анизотропных жидкостей во вращающемся магнитном поле. // ЖЭТФ, 1939, Т.9, №5, С. 603-615

2. Хабибуллаев П.К., Геворкян Э.В., Лагунов А.С. Реология жидких кристаллов.- Т.: Фан, 1992.- 244 с.

3. Богданов Д.Л., Геворкян Э.В., Лагунов А.С.//Акустический журнал.- 1980.-Т.26.-№1.- **С**.28- 34

4. Цветков В.Н., Коломиец И.П., Рюмцев Е.И., Алиев Ф.М.//Докл.АН СССР.- 1973.- Т.209.- №5.- С.1074-1078

5. Блинов А.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов.- М.: Наука, 1978

6. Шмелев О.Я., Пронин В.Н. Установка для прецизионных акустических иследований в жидких кристаллах. // Применение ультраакустики к иследованию вещества. Вып.35.- М.,1983.- **С**.16-23

Андижон давлат университети,
2009 йил 3 сентябрда қабул қилинган.
(Тақризчи: проф. И.Н.Каримов)