Известия НАН Армении, Физика, т.37, №2, с.107-112 (2002)

УДК 538.2

ВОЗБУЖДЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ МЕХАНИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Р.С. АКОПЯН, Р.Б. АЛАВЕРДЯН, А.Г. АРАКЕЛЯН, Г.Л. ЕСАЯН, С.Ц. НЕРСИСЯН, Ю.С. ЧИЛИНГАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 31 октября 2001 г.)

Приводятся результаты первых экспериментов по возбуждению гидродинамических движений в нематических жидких кристаллах механическими колебаниями. Показано, что механические колебания и толчки через гидродинамические движения жидкого кристалла приводят к изменению направления директора, что, в свою очередь, изменяет оптические свойства жидкого кристалла.

1. Введение

В настоящее время общеизвестно, что жидкие кристаллы (ЖК) обладают высокой чувствительностью к внешним воздействиям [1-3], в том числе, к тепловым и гидродинамическим потокам [4]. Гидродинамические движения в ЖК можно возбуждать разными методами. При соответствующей геометрии эксперимента гидродинамические движения в слое ЖК могут быть возбуждены также механическими колебаниями. В этом случае механические колебания и толчки через гидродинамические движения ЖК приводят к изменению направления директора, что, в свою очередь, изменяет оптические свойства ЖК. Это означает, что жидкие кристаллы способны делать видимыми механические колебания и толчки, позволяя осуществлять преобразование механических колебаний в оптические. Более того, как показали наши исследования, распределение интенсивности в оптическом поле несет ценную информацию как об энергетических и частотных характеристиках, так и о направлении механических колебаний.

2. Эксперимент

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки. Она состоит из источника света 1 (светодиод), конденсора 2, поляризатора 3, плоско-параллельной стеклянной пластинки 4, на которой свободно установлена плоско-выпуклая линза 5. Пространство между пластинкой и линзой наполнено гомеотропно ориентированным нематическим жидким кристаллом (НЖК) 6. За ячейкой с НЖК расположены анализатор 7 и светочувствительные элементы 8 и 9 (8 – фотодиод для регистрации интенсивности света, прошедшего через систему; 9 – ССD-камера – компьютер для регистрации оптического поля). Для возбуждения колебаний плоскопараллельная стеклянная пластинка приводится в колебательное движение в горизонтальной плоскости вибратором 10. Амплитуда колебаний контролируется вибродатчиком 11. Сигнал от ССD-камеры подается на компьютер, который позволяет стробоскопически регистрировать распределение интенсивности в оптическом поле прошедшей через систему световой волны через каждые 0.04 сек.



Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – поляризатор; 4 – плоско-параллельная стеклянная пластинка; 5 – плоско-выпуклая линза; 6 – НЖК; 7 – анализатор; 8 – фотодиод; 9 – ССД-камеракомпьютер; 10 – вибратор; 11 – вибродатчик.

При отсутствии колебаний линза 5 неподвижна, анизотропные молекулы НЖК остаются ориетированными перпендикулярно к плоскости пластинки 4 и свет от источника 1, проходя через поляризатор 3, поляризуясь линейно, распространяется вдоль оптической оси НЖК, не меняя поляризацию, и падает на анализатор 7. Поскольку оптические оси поляризатора и анализатора скрещены, свет не проходит через анализатор и не попадает на фотоэлемент 8. При колебаниях пластины 4 и. следовательно, линзы 5 в НЖК возникают гидродинамические движения, которые переориентируют молекулы НЖК. При падении линейно поляризованного света на НЖК в слое возникают обыкновенная и необыкновенная волны, суперпозиция которых на границе слоя определяет деполяризацию падающей световой волны, частично прошедшей через анализатор и падающей на светочувствительный элемент 8.

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

Угол переориентации молекул НЖК пропорционален градиентам гидродинамических движений, возникающих в НЖК под действием колебания линзы. Как показали наши исследования, ЖК очень чувствительны к таким воздействиям. Например, при довольно слабых колебаниях, со скоростью порядка 10⁻³ мм/с, угол переориентации составляет 30°. На фотографии (см. рис.2) приведена визуальная картина на экране при прохождении света через систему поляризатор – ячейка с НЖК – анализатор. Темные области "лепестковой" структуры оптического поля совпадают с главными направлениями пропускания поляризаторов, а ее



Рис.2. Фотография оптического поля на экране компьютера при прохождении света через систему поляризатор – ячейка с НЖК – анализатор (объяснения в тексте).

середина – с точкой соприкосновения линзы и подложки. Это обусловлено тем, что вдоль направлений, совпадающих с темными областями оптического поля, плоскость поляризации падающего на ячейку света параллельна или перпендикулярна длинным осям молекул НЖК, и поэтому в этих направлениях двойное лучепреломление отсутствует. В светлых областях лепестковой структуры линейно поляризованный свет приобретает эллиптическую поляризацию и часть его проходит через анализатор.

Колебания линзы в первоначально гомеотропно ориентированном слое НЖК возбуждают гидродинамические движения, что приводит к максвелловской переориентации молекул НЖК. В результате в поле зрения наблюдаются цветная "лепестковая" структура для падающего белого света или осцилляции оптического пропускания для монохроматического света. Причина такого поведения оптического пропускания заключается в интерференции обыкновенного и необыкновенного лучей, которые после прохождения через слой НЖК приобретают разность фаз δ [1]. Показатель преломления необыкновенного луча вследствие неоднородной деформации слоя НЖК по толщине зависит от координаты *z* рассматриваемой точки и выражается через угол наклона молекул к плоскости подложки Θ как

$$n_e(z) = (n_o n_e) / (n_o^2 \cos^2 \Theta + n_e^2 \sin^2 \Theta)^{\frac{1}{2}}.$$

Здесь n_o – показатель преломления обыкновенного луча, n_e – показатель преломления необыкновенного луча, измеренный вдоль длинной оси молекулы. Интенсивность света, прошедшего через анализатор, равна

$$I = I_0 \sin^2 2\varphi \sin^2(\delta/2),$$

где I_0 – интенсивность света, вышедшего из поляризатора, φ – азимут рассмотренной точки.

На рис.За приведена зависимость пропускания системы $T = I/I_0$ от амплитуды ускорения механических колебаний. Как показывает эксперимент, эта зависимость хорошо аппроксимируется линией при не очень больших амплитудах ускорения a_m . При больших значениях $a_m > 80 \text{ мм/c}^2$ линейная зависимость нарушается, что связано с увеличением рассеяния света в слое ЖК. При постоянном значении $a_m < 80 \text{ мм/c}^2$ пропускание системы практически не зависит от частоты (см. рис.3b; измерения проведены на уровне пропускания $T \approx 0.2$), что дает возможность использовать исследованный эффект для регистрации и исследования сейсмических колебаний и толчков.



Рис.3. а) Зависимость пропускания системы $T = I/I_0$ от амплитуды ускорения механических колебаний при различных частотах колебаний: $\blacktriangle - 3$ Гц, o - 2 Гц, $\Diamond - 1$ Гц.

b) График, показывающий независимость пропускания системы от частоты механических колебаний при постоянном значении амплитуды ускорения ($a_m < 80 \text{ мм/c}^2$, x_m – амплитуда колебаний; измерения проведены на уровне пропускания $T \approx 0.2$).



Рис.4. Фотографии "лепестковой" структуры оптического поля сейсмометра.

При различных типах колебаний профиль переориентации молекул в горизонтальной плоскости НЖК и, следовательно, поля просветления различны. Поэтому предлагаемое устройство, если его использовать для исследования упругих колебаний грунта, позволит также классифицировать типы упругих колебаний последнего. На рис.4 приведены фотографии оптического поля такого "сейсмометра". С помощью лепестковой структуры оптического поля можно классифицировать типы сейсмических колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Л.М.Блинов. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1978.
- 2. А.П.Капустин, О.А.Капустина. Акустика жидких кристаллов. М., Наука, 1986.
- С.М.Аракелян, Ю.С.Чилингарян. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М., Наука, 1984.
- Р.Б.Алавердян, Р.С.Акопян, М.Ж.Оганисян, Ю.С.Чилингарян. Оптика и спектроскопия. 84, 762 (1998).

ՀԻԴՐՈԴԻՆԱՄԻԿ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԻ ԳՐԳՌՈՒՄԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ռ.Ս. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ռ.Բ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Գ.Լ. ԵՍԱՅԱՆ, Ս.Ց. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Յու.Ս.ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

Աշխատանքում բերված է մեխանիկական տատանումների միջոցով նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում հիդրոդինամիկ շարժումների գրգռման առաջին փորձնական հետազոտությունների արդյունքները։ Յույց է տրված, որ մեխանիկական տատանումներով և ցցումներով հեղուկ բյուրեղում առաջացած հիդրոդինամիկ շարժումները բերում են նրա ուղղորդի փոփոխության, որի արդյունքում փոխվում են նաև հեղուկ բյուրեղի օպտիկական հատկությունները։

EXCITATION OF HYDRODINAMIC MOTIONS IN LIQUID CRYSTALS VIA MECHANICAL VIBRATIONS

R.S. AKOPYAN, R.B. ALAVERDYAN, A.G. ARAKELYAN, G.L. YESAYAN, S.TS. NERSISYAN, YU.S. CHILINGARYAN

We report the results of first experiments on excitation of hydrodynamic motions in nematic liquid crystals by mechanical vibrations. It is shown that mechanical vibrations and pushes via hydrodynamic motions of liquid crystals lead to the change in the direction of liquid crystal director, which in its turn changes optical characteristics of the liquid crystal.