

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІДИСПЕРСНИХ СЕРЕДОВИЩ ЗІ ЗМІННИМИ В ЧАСІ ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ СВІТЛОРІЗСІЮЮЧИХ ЦЕНТРІВ

Описана методика застосування матричного методу Мюлера для дослідження поляризаційних характеристик світлорозсіюючих об'єктів зі змінними в часі оптико-геометричними параметрами неоднорідностей. Подані результати вимірювань компонент матриці Мюлера нематичного рідкого кристала у процесі дії електричного імпульсу. Проведений загальний аналіз часових залежностей ненульових компонент матриці Мюлера нематичного рідкого кристала. Розглянута можливість використання електрокерованого нематичного рідкого кристала як модельного об'єкта для вивчення впливу форми, розміру і орієнтації несферичних неоднорідностей на величину компонент їх матриці Мюлера.

Method of using the matrix method optics of light-scattering media for research the polarization characteristics of objects with dynamically varying geometrical optic parameters is described. The results of measuring the Mueller matrix components of nematic liquid crystal (NLC) during the activity of electrical impulse are given. The character of transformation matrix and light scattering matrix symmetry of exploring medium are is determined. General analysis of nonzero components time dependencies of NLC Mueller matrix is given. The possibility of using the electrocontrollable liquid crystal as the model object for exploring the influence of the shape, size and orientation of nonspherical particles on the size of their Mueller matrix components is noted.

Матричний метод оптики світлорозсіюючих середовищ володіє високою інформативністю. Тому його успішно використовують для вирішення актуальних задач гідрооптики, біології, медицини, астрофізики, технології оптико-електронного приладобудування і т.д. Відповідно, теоретичні й експериментальні роботи в напрямку розвитку зазначеного методу мають актуальний характер. Енергетичні і поляризаційні характеристики світлового поля, утвореного при розсіянні поляризованого випромінювання системами несферичних частинок різноманітної форми, розміру, показника заломлення і ступеня орієнтованості досить складно розрахувати. Тому істотно зростає роль досліджень на об'єктах із відомими оптико-геометричними параметрами оптичних неоднорідностей. Подібний модельний експеримент припускає реалізацію тест-об'єкта з відомим, що послідовно змінюється від моделі до моделі, одним параметром при строго фіксованих інших. Дослідження в даному напрямку супроводжуються рядом технологічних і технічних проблем. При моделюванні об'єктів із різноманітним ступенем орієнтованості систем оптично анізотропних частинок виникають специфічні проблеми.

### Експериментальна установка і методика вимірювань

Вимірювання проводилися на лабораторному Стокс-гоніометрі. Зразок опромінювався монохроматичним світлом від лазерного діода з  $\alpha = 650$  нм, діаметром пучка  $d = 5$  мм, апертурні кути освітлювача і приймальної частини не перевищували  $12^\circ$ . Досліджуваний нематичний рідкий кристал (НРК) ( $\Delta\epsilon > 0$ ) знаходився в плоскому капілярі товщиною 10 мкм, на внутрішні сторони якого були попередньо нанесені прозорі струмопровідні покриття. Електричні імпульси від генератора тривалістю  $\tau = 0,75$  с з періодом  $T = 2,5$  с, амплітудою  $A = 5$  В подавалися до струмопровідних покриттів. Отже, НРК середовище було під впливом імпульсного електричного поля. Плоский капіляр із НРК термостатувався з точністю 0,05 К. Температура змінювалася в межах від 253 К до 303 К.

З огляду на те, що під впливом зовнішнього імпульсного електричного поля стан НРК середовища змінювався з часом, реєструвався промодульований об'єктом електрооптичний відгук у вигляді осцилограми. Далі аналоговий сигнал



був перетворений АЦП і поданий для опрацювання до ЕОМ. Оскільки кожний дискретний стан об'єкта (800 станів точок за період) характеризується своєю матрицею перетворення, то в результаті розрахунку за оригінальною програмою ми одержуємо набір матриць перетворень, що відповідають визначеному стану електрокерованого середовища. Змінюючи зовнішні умови впливу на рідкий кристал (температуру, тривалість імпульсу, період повторення, амплітуду імпульсу), можна реалізовувати однакові (стаціонарні, періодично повторювані оптико-геометричні параметри модельного об'єкта). Підкреслили, що запропонована методика вимірів необхідних для розрахунку компонент матриці перетворення (МП) модельного об'єкта при стаціонарних положеннях поляризаційних елементів у процесі динамічних змін під впливом електричного імпульсу дозволяє досягти високої точності визначення компонент матриці перетворення  $f_{ik}$  і вірогідно зафіксувати їхні незначні зміни. Часові залежності розмірів ненульових компонент МП НРК при температурі  $T=291$  К і амплітуді імпульсів  $A=5$  В подані на рис.2 Структура МП НРК у даних умовах відповідає оптично анізотропному середовищу, що містить систему симетричних орієнтованих часток. Не аналізуючи отриманих часових залежностей  $f_{ik}$  МП, слід зазначити наявність нехай незначних, але впевнено зафіксованих величин практично всіх компонент МП. Технічні можливості системи опрацювання експериментальної інформації дозволяють провести детальну оцінку впливу зміни оптико-геометричних параметрів розсіюючі центрів модельного об'єкта на розмір ненульових компонент МП. Крім того, послідов-

ний розвиток даного способу виміру компонент МП НРК дозволить одержати інформацію про всю сукупність динамічних процесів, що відбуваються в ньому під впливом змінних зовнішніх умов.

#### Експериментальні результати і їх аналіз

Часові залежності компонент матриць Мюлера для НРК у різних експериментальних ситуаціях мають особливості. Розглянемо ситуацію, коли кут розсіювання  $\alpha=0^\circ$ . У цьому випадку ми працюємо з МП. Часові залежності для компонент  $f_{22}, f_{12}, f_{21}, f_{33}, f_{34}, f_{43}, f_{44}$  МП НРК зображені на рис.2,3. Симетрія компонент  $f_{12}=f_{21}, f_{34}=f_{43}, f_{33}=f_{44}$  чітко реалізується і зберігається як у процесі дії імпульсу напруженості електричного поля ( $E=5$  В,  $\tau=0,75$  с), так і в період його відсутності. Компонента  $f_{12} (f_{21})$  у початковий момент має від'ємне і близьке до одиничного значення, що вказує на переважну орієнтацію світлорозсіюючих неоднорідностей НРК середовища в горизонтальній площині [3]. На початку дії імпульсу спостерігаємо різке зменшення абсолютного значення  $f_{12} (f_{21})$ , що може бути пов'язано з розорієнтацією структурних елементів НРК. Основний час дії імпульсу супроводжується послідовним ростом абсолютного значення  $f_{12} (f_{21})$ , але початкова величина компоненти не досягається. Релаксаційне явище для  $f_{12} (f_{21})$  представляє особливу цікавість. Після зняття імпульсу електричного поля, протягом 0,25 с спостерігається зменшення значення компоненти  $f_{12} (f_{21})$  до 0,34, що відповідає величині степені орієнтованості в системі НРК порядку 0,37 [4]. Через 0,5 с вказана компонента досягає значення, близького початковому порядку 0,88, що відповідає  $B=0,9$  [5].

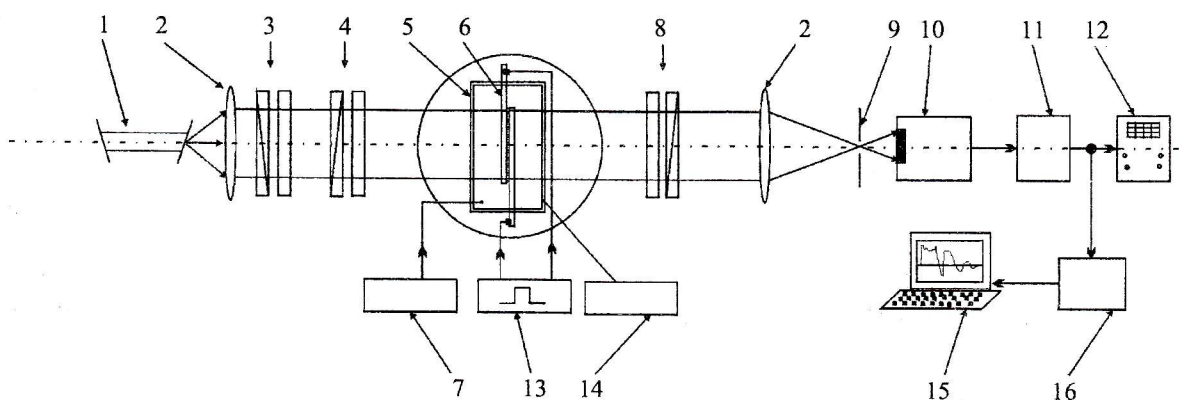


Рис.1. Схема експериментальної установки: 1 – лазерний діод ( $\lambda=0,65$  мкм), 2 – коліматор, 3 – циркулярний поляризатор, 4 – блок поляризаторів, 5 – оптична кювета-термостат, 6 – НРК у плоскому капілярі, 7 – гоніометр, 8 – блок аналізаторів, 9 – діафрагма, 10 – фотодетектор, 11 – підсилювач, 12 – осцилограф, 13 – терморегулятор, 14 – регулятор прямокутних імпульсів, 15 – комп'ютер, 16 – АЦП.

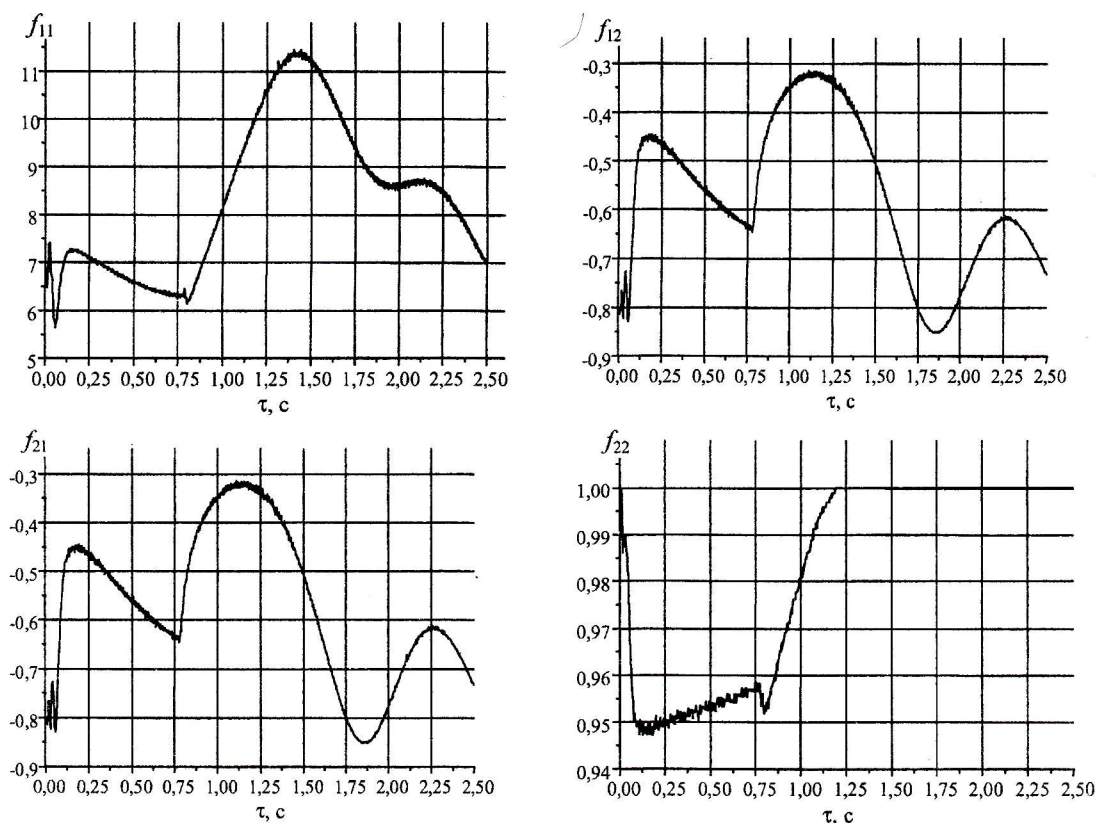


Рис.2. Часові залежності компонентів  $f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}$  МП електрокерованого НРК.

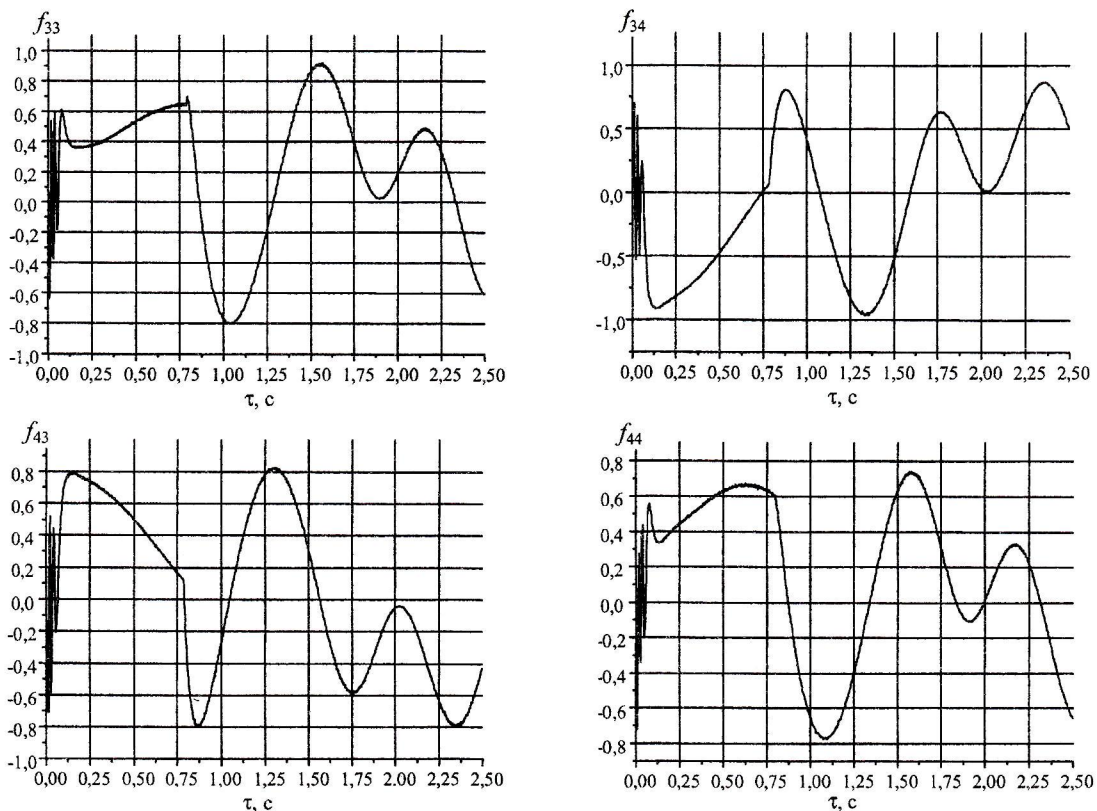


Рис.3. Часові залежності компонентів  $f_{33}, f_{34}, f_{43}, f_{44}$  МП електрокерованого НРК.



Враховуючи, що у матриці розсіяння світла (МРС) системи орієнтованих ізотропно поглинаючих частинок компоненти  $f_{33}$  і  $f_{44}$  при  $\alpha=0^\circ$  завжди приймає позитивне значення [6], то зміна знака їх величини під дією електричного імпульсу (рис.3) вказує на складність процесів, які проходять у НРК. Початок імпульсу має чітко виражену анізотропію поглинання, в процесі імпульсу – ізотропне поглинання, по його закінченні – знову анізотропію. Максимальне значення, яке набувають  $f_{44}$  у процесі дії електричного імпульсу, дорівнює 0,6, що відповідає ступеню орієнтованості в системі НРК порядку 0,8 і відрізняється від отриманого раніше значення  $f_{12}$ . Компоненти  $f_{33}$ – $f_{44}$  (рис.4) мають однакові часові залежності, що характерно для МРС асиметричних частинок. Але в процесі дії електричного імпульсу, навіть при  $\alpha=0^\circ$  (напрямок поширення – вперед), їх значення менше одиниці ( $f_{33}=f_{44}=0,6$ ), що можливо лише при наявності переважної орієнтації структурних елементів НРК. Крім того, початково (до початку дії імпульсу) реалізуються від'ємні значення компоненти  $f_{33}$  ( $f_{44}$ ), а в процесі релаксації НРК компоненти  $f_{33}$  ( $f_{44}$ ) його МРС встигають декілька разів, зі зменшенням амплітуди, змінити знак. Подібна закономірність часової залежності компонент  $f_{33}$  і  $f_{44}$  можлива для МРС-середовищ, в яких реалізовано переважну орієнтацію анізотропно поглинаючих частинок [7].

Отже, зображені на рис.2,3 результати оцінки залежності ненульових компонент матриці перетворення НРК у процесі дії енергетичного імпульсу вказують, з одного боку на складність механізмів взаємодії структурних елементів НРК з електричним полем, з іншого, – мають ефективну можливість реалізації модельного середовища з певними оптико-геометричними параметрами.

#### Висновки

Аналізуючи отримані часові залежності  $f_{ik}$  компонентів матриці Мюлера електрокерованого НРК, зазначимо відмітити такі особливості:

1. Структура матриці Мюлера НРК за цих умов відповідає оптично анізотропному середовищу, яке включає систему симетричних орієнтованих частинок під температурою  $T=291$  К і амплітудою імпульсу  $A=5$  В.
2. Симетрія компонент  $f_{12}=f_{21}$ ,  $f_{34}=f_{43}$ ,  $f_{33}=f_{44}$  легко реалізується і фіксується як під час дії електричного імпульсу ( $E=5$  В,  $\tau=0,75$  с), так і за його відсутності (рис.2).

3. Компонента  $f_{12}$  ( $f_{21}$ ) у початковий момент має від'ємне і близьке до одиничного значення, що вказує на переважну орієнтацію світлорозсіюючого гетерогенного середовища.
4. На початку дії імпульсу спостерігається різка зміна абсолютної величини  $f_{12}$  ( $f_{21}$ ), що може бути пов'язано з деорієнтацією структурних елементів НРК.
5. Зміна знака компоненти  $f_{33}$ ,  $f_{44}$  при  $\alpha=0^\circ$  під дією електричного імпульсу (рис.3) вказує на складність процесів, що проходять у НРК.
6. Під час дії електричного імпульсу, навіть при  $\alpha=0^\circ$  (напрямок поширення вперед), значення компонентів менші за одиницю ( $f_{33}=f_{44}=0,6$ ), що можливо лише в присутності переважної орієнтації структурних елементів НРК.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Капустин А.П. Экспериментальное исследование жидких кристаллов. - М.: Наука, 1978.
2. Шерклиф У. Поляризованный свет. - М.: Мир, 1965.
3. Розенберг Г.В. Физические основы спектроскопии рассеяния света веществом // УФН. - 1967. - **94**, №4. - С.569-608.
4. Сидько Ф.Я., Лопатин В.Н., Парамонов Л.Е. Поляризационные характеристики взвесей биологических частиц. - Новосибирск: Наука, 1990.
5. Подкамень Л.И., Гуминецкий С.Г., Архелюк А.Д. Влияние ориентации на характеристики рассеянного или поляризованного излучения // Изв.АН СССР: Физика атмосферы и океана. - 1989. - **220**, №12. - С.1287-1292.
6. Podkamen L.I., Arkhelyuk A.D. Optical diagnostics of surface layers containing oriented particles // Proc. SPIE. - 1991. - **1723**. - P.152-156.
7. Podkamen L.I., Arkhelyuk A.D. System diagnostics of oriented particles in polarized light // Proc. SPIE. - 1995. - **2647**. - P.475-484.