

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Настішина Святослава Юрійовича

«МАТРИЧНІ МЕТОДИ ОПИСУ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА ЧЕРЕЗ ДЕФОРМОВАНІ РІДКОКРИСТАЛІЧНІ СЕРЕДОВИЩА»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика

В наш час ми спостерігаємо стійкий процес неухильного розширення сфери застосування рідких кристалів (РК) в різних галузях науки і техніки. Постійно зростаючий попит на РК дисплеї, в т.ч. із вдосконаленими характеристиками та новими можливостями, створення РК бездзеркальних лазерів, в т.ч. точкових лазерів з перспективами застосування в медицині, створення і стрімкий розвиток композитних матеріалів на основі диспергування мікрокрапель РК в полімерні та рідинні матриці і виготовлення на їхній основі «розумних вікон», розробка і вдосконалення РК лінз як засобів адаптивної оптики, які дають перспективу створення «розумних» окулярів та контактних лінз та багато інших сучасних застосувань вимагають розробки як нових складних РК матеріалів, так і робочих елементів на їхній основі. Тому вдосконалення існуючих методів опису поширення електромагнітного випромінювання як в традиційних РК комірках із зумисне створеною або спонтанною неоднорідністю, так і в складних гетерогенних системах з використанням РК фаз, які дозволять спростити моделювання і розрахунок характеристик новітніх пристроїв, залишається важливим завданням сучасної оптики.

Саме на вирішення цього завдання і спрямована дисертаційна робота Святослава Настішина. Існуючі дотепер матричні методи опису похилого поширення поляризованого світла через деформовані рідкі кристали (метод 4×4 матриць Беремана та метод узагальнених матриць Джонса (УМД) у варіантах Єха і Льєна) є надто громіздкими та складними для формульного аналізу. В геометричній оптиці для розрахунку оптичних систем використовується метод 2×2 матриць траєкторії світлового променя (МТСП, ray tracing matrices), проте для неаксіальних пучків доводиться застосовувати складніші методи на основі 3×3 матриць, що значно збільшує громіздкість робочих виразів і ускладнює їхній аналіз. Тому безумовна **актуальність** дисертаційної роботи С.Ю. Настішина полягає у вдосконаленні перелічених матричних методів з метою спрощення аналітичних виразів і полегшення аналізу поширення світла через складні неоднорідні РК середовища та гетерогенні системи.

Актуальність дисертації додатково підтверджується тим, що вона виконувалась в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Львівського національного університету імені Івана Франка.

Загальна характеристика роботи.

Дисертаційна робота Святослава Настішина спрямована на вдосконалення методів опису похилого поширення світла через оптично неоднорідні РК середовища із застосуванням підходів узагальнених, диференційних та інтегральних матриць Джонса, поширення формалізму Джонса для опису явищ просторової дисперсії (ПД), у тому числі для холестеричних рідких кристалів у режимі селективного відбивання, а також на

вдосконалення методу траєкторії світлового променя шляхом врахування просторових неоднорідностей досліджуваного середовища для опису оптичних аберацій у конфокальній 3D мікроскопії, спричинених відмінністю та просторовим розподілом показників заломлення середовищ, через які проходить світловий пучок в деформованому рідкому кристалі.

Дисертація складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел, який нараховує 111 бібліографічних посилань. Обсяг основного тексту дисертації становить 7 авторських аркушів, вона містить 11 рисунків.

У першому розділі висвітлено основні сучасні положення в галузі дослідження і представлено об'ємний огляд літератури, що засвідчує глибоку обізнаність автора з розглянутою проблематики. Визначено актуальні проблеми, які виникають при описі похилого проходження світла через рідкокристалічний дисплей. Викладено існуючі підходи опису зміни стану поляризації світлової хвилі на основі формалізму Джонса, в т.ч. за допомогою узагальнених та диференційних матриць Джонса. В цьому ж розділі наводяться основи методу траєкторії світлового променя як матричного методу опису поширення світла через складні оптичні системи і висвітлюються проблемні моменти застосування цього методу для дослідження РК зразків у конфокальній 3D мікроскопії.

Оригінальна частина роботи включає чотири розділи, – з другого по п'ятий. Другий розділ присвячено виведенню компактного аналітичного представлення узагальненої матриці Джонса на основі підходу Л'єна та застосуванню диференційних матриць Джонса до УМД відштовхуючись від підходу Єха. У третьому розділі автор використав підхід диференційних та інтегральних матриць Джонса (ДМД та ІМД) для опису явищ оптичної ПД в анізотропних середовищах. В четвертому розділі автор продемонстрував, що розроблений ним підхід, який ґрунтується на ДМД, може бути використаний для опису розсіювання світла та поширення його в холестеріку. П'ятий розділ дисертації присвячений удосконаленню методу МТСП для опису оптичних аберацій у конфокальній мікроскопії деформованих рідких кристалів. Для позаосьового фокусування всередині краплі автор розробив узагальнений метод, що зберігає 2x2 розмірність МТСП.

Найсуттєвіші наукові результати та їхня наукова новизна полягають у тому, що в даній дисертаційній роботі автором вперше:

- Отримано компактні аналітичні форми *узагальнених матриць Джонса* та вирази *диференційної та інтегральної матриць Джонса* для опису похилого поширення світла через деформовані *нематичні* рідкі кристали. На їхній основі показано, що *гібридна нематична комірка* може обертати площину поляризації світла при похилому просвічуванні, а також що отриманий вираз азимута ефективної оптичної осі для *альтернативно-твістованої комірки* дозволяє визначати константи кручення нематика.
- Розроблено підхід для опису явищ *оптичної просторової дисперсії* за допомогою формалізму ДМД та ІМД, та встановлено зв'язок з традиційним підходом псевдо-тензора гірації. Показано, що цей підхід також є придатним для опису розсіювання світла на просторових неоднорідностях показника заломлення.
- Отримано диференційну та комплементарну до неї інтегральну матриці Джонса для *холестеріка* із довільним кроком закрутки, включаючи режим селективного відбивання.

- Вдосконалено підхід 2×2 матриць ТСП з врахуванням оптичних аберацій, спричинених відмінністю показників заломлення середовищ, через які проходить світловий пучок у флуоресцентному конфокальному мікроскопі. Для опису фокусування зондуємого світлового пучка в краплині, диспергованій у незмішуваній рідині, розроблено *узагальнений підхід*, який зберігає 2×2 розмірність МТСП.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що:

- компактне аналітичне представлення УМД для похилого поширення світла через деформований РК може бути використано для моделювання РК дисплеїв та пошуку шляхів вирішення проблеми кута огляду дисплеїв, а також для вимірювання пружної константи кручення нематиків;
- підхід ДМД та ІМД для опису оптичної активності може бути використаний для 1) моделювання оптичних пристроїв, робота яких ґрунтується на явищах ПД світла у т.ч. модуляторів, бездзеркальних РК лазерів, оптичних томографів тощо, 2) для аналітичного опису розсіяння світла в рамках формалізму Джонса;
- вдосконалений метод МТСП дозволяє моделювати оптичні аберації у конфокальній мікроскопії неоднорідних оптично анізотропних середовищ, у тому числі деформованих твердих кристалів, орієнтаційно деформованих рідких кристалів та біологічних об'єктів.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, викладених у роботі, забезпечується коректністю постановки завдань дисертації, застосуванням надійно апробованих підходів і методів поляризаційної та геометричної оптики, добрим узгодженням теоретичних розрахунків із експериментальними спостереженнями та відомими з літератури результатами інших авторів.

Публікація результатів роботи та їхня апробація.

Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 12-ти наукових працях в авторитетних закордонних і вітчизняних наукових виданнях, з них 5 у виданнях, включених до бази даних SCOPUS, серед яких одна стаття в "Ukrainian Journal of Physical Optics" (імпаکت-фактор (IF) 0,8; квартал Q4 за класифікацією SCImago Journal), три статті у "Physical Review A" (IF 2,9; квартал Q1) та одна в журналі "Applied Optics" (IF 1,4; квартал Q1). Окрім публікацій в журналах, що включені в базу даних SCOPUS, одна стаття надрукована у фаховому журналі «Електроніка та інформаційні технології». Результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 6 вітчизняних та міжнародних конференціях і семінарах і надруковані в 6-ти тезах. Опубліковані праці в повному обсязі містять всі наукові та практичні результати, представлені в дисертації.

Порівняльний аналіз тексту дисертації й автореферату свідчить, що основні положення дисертації адекватно відображені в авторефераті.

Разом з тим, дисертаційна робота має наступні **недоліки**:

- 1) В 3 розділі (формула (3.80)) вказується, що загальна ІМД $\exp(Nz)$, яка враховує ПД, дорівнює добутку $\exp(N^D z) * \exp(N^0 z)$ експонент ДМД N^0 без врахування ПД та корекційної матриці N^D , помножених на товщину z . При цьому в дисертації зазначається, що через те, що в загальному випадку (за наявності ПД) матриці N^0 та N^D не комутують між собою, вказаний добуток матричних експонент $\exp(N^D z) * \exp(N^0 z) \neq \exp((N^D + N^0)z)$. Цей факт значно ускладнює розрахунки. На мою думку, ця формула є важливою для практичного використання, а тому, розглядаючи

можливість спрощеного підходу, слід було провести оцінку величини ймовірної похибки, яка виникла би внаслідок заміни точної формули $\exp(Nz) = \exp(N^D z) * \exp(N^0 z)$ на наближену $\exp(Nz) = \exp((N^D + N^0)z)$.

- 2) Кілька разів у дисертації зустрічається незрозуміла фраза: «диференціальна матриця Джонса N є узагальненням для світлового хвильового вектора k », проте обґрунтування цього твердження не наводиться.
- 3) У 2 розділі (стор. 58) хвильовий вектор світла у поглинаючому середовищі позначається як $k = 2\pi(\kappa + in)/\lambda$, де n – показник заломлення, κ – показник поглинання, хоча має бути $k = 2\pi(n - i\kappa)/\lambda$.
- 4) Існує ряд недоліків оформлення дисертації, а саме: а) автор вживає окремі невдалі або некоректно перекладені терміни, наприклад: «твістований нематик» замість «закручений нематик», «альтернативно-твістувана комірка» замість «інверсно закручена комірка», «матриця траєкторії світлового променя» замість «матриця відслідковування променя» тощо; б) позначення і нумерація рисунків не завжди відповідають вимогам до оформлення дисертацій (стор. 32, 55, 163); в) трапляються окремі граматичні та стилістичні помилки.

Проте, висловлені зауваження жодним чином не ставлять під сумнів основні результати та висновки роботи і не впливають на загальну високу оцінку дисертації.

Висновок. Вважаю, що дисертаційна робота Святослава Юрійовича Настишина «Матричні методи опису поширення світла через деформовані рідкокристалічні середовища» є завершеним науковим дослідженням, яке за своєю актуальністю, науковою новизною, практичним значенням отриманих результатів, обґрунтованістю основних положень і висновків, а також за оформленням, повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Завідувач сектору поляриметрії
Інституту фізичної оптики імені О.Г. Влоха,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

О. М. Крупич

Підпис О.М. Крупича засвідчую

Вчений секретар
Інституту фізичної оптики імені О.Г. Влоха



М.С. Костирко