

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Інституту фізики НАН України,  
головному науковому співробітнику  
відділу когерентної і квантової оптики  
доктору фізико-математичних наук  
Смірновій Т.М.

## ВІДГУК

офіційного опонента – Маслова Вячеслава Олександровича, доктора фіз.-мат. наук,  
професора кафедри квантової радіофізики  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем,  
Харківського національного університета імені В. Н. Каразіна  
на дисертаційну роботу

Мистецького Віктора Анатолійовича

*«Оптичне керування параметрами лазерних пучків методом  
двопроменевої взаємодії в нематичних рідких кристалах  
та їх композитах з золотими наночастинками»,*

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 10 - Природничі науки  
зі спеціальності 104 — Фізика та астрономія

### **1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами**

В сучасних системах оптоелектроніки рідкокристалічні (РК) матеріали та їхні композити знаходять багато застосувань, зокрема, для дисплеїв, просторових модуляторів світла, сенсорів, адаптивних оптичних елементів, “розумних вікон”, фазових модуляторів, та багато інших. Для цілей модуляції світла, в системах нелінійної фотоніки, як правило, використовується такий феноменологічний ефект, як зміна показника заломлення. В нематичних РК-матеріалах це відбувається під одночасною дією світла і електричного поля. В основі ефекту лежить механізм колективної переорієнтації молекул в комірці РК, який легко керується зовнішніми впливами – електричними або магнітними полями, температурою, напруженням, тощо. До пріоритетних напрямків матеріалознавства відноситься знаходження нових композитних РК-матеріалів, які демонструють передові характеристики, зокрема, високу ефективність і значне скорочення часів переключення.

Двопромінева взаємодія хвиль належить до методів динамічної голографії. Це відома методика по вивченню світлоіндукованих перетворень в матеріалах: зміни показника заломлення, і величини поглинання. З іншої сторони, методи динамічної голографії являються одними із перспективних для перетворень параметрів лазерних пучків і зображень. Вони охоплюють багато застосувань: керування параметрами лазерних пучків; розробка різноманітних датчиків; оптичне спряження фази, яке використовується для створення дзеркал з оберненим хвильовим фронтом, що є актуальним для лідарних систем і фотолітографії; системи оптичної логіки, оптичного комп'ютера і голографічного штучного інтелекту.

В дисертаційній роботі поєднані ці два сучасні перспективні напрямки фотоніки: теоретичні передбачення перспектив застосування РК та їхніх нанокompatитів і використання метода динамічної голографії на цих нових матеріалах. Ця демонструє актуальність роботи, її затребуваність та своєчасність.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової задачі сучасної фізики, яка стосується дослідження фоторефрактивних та плазмонних механізмів зміни показника заломлення в комірках нематичних рідких кристалів та їх композитів з наночастинками золота під дією лазерних пучків і прикладеної електричної напруги.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і великим значенням для прикладних застосувань. Тому тематика дисертації Мистецького В.А. є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному плані і становить великий інтерес для розробників апаратури терагерцового і оптичного діапазонів хвиль.

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації переконливо свідчить і те, що вона виконувалася в рамках чотирьох науково-дослідних робіт Інституту фізики Національної академії наук України, в яких здобувач брав участь як виконавець.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Представлені наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, є досить обґрунтованими. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано та переконливо. Дисертація Мистецького В.А складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, п'ятих розділів основного тексту, висновків до роботи і списку використаних джерел та одного додатка.

*Перший розділ* являється оглядовим. У ньому описано оптичні властивості нематичних РК, які характеризуються як анізотропні одноосні кристали, і для них використовується формалізм оптичної індикатриси. Проведено аналіз експериментальних досліджень двопрменевої взаємодії в РК та їх нанокompatитах з золотими НЧ.

*У другому розділі* розраховані кінетики переорієнтації директора в нематичних РК комірках та відповідна зміна незвичайного показника заломлення світла, що пройшло через зразок РК. Моделювання проведено з метою визначення закономірностей залежності часу переорієнтації директора від пружних і в'язких властивостей нематичного РК, величини напруженості електричного поля та ефектів утворення просторового заряду. У дисертаційній роботі використана модель Еріксена-Леслі для опису переорієнтації директора РК під дією постійних електричних полів. Моделювання виконано для просторово однорідного електричного поля, а також для просторово модульованого синусоїдального поля.

*У третьому розділі* розроблено модель розрахунку інтенсивностей лазерних променів в перших дифракційних порядках при двопрменевої взаємодії лазерних хвиль в комірках нематичних РК. Глибина модуляції фазової динамічної ґратки розраховується в припущенні механізму зміни орієнтації директора РК під дією електричного поля, що призводить до зміни величини оптичного двозаломлення в РК комірці. Розраховуються як інтенсивності в режимі самодифракції для записуючих лазерних пучків, так і для пробного лазерного пучка при його дифракції на динамічній ґратці. Чисельні моделювання проводились в залежності від параметрів двопрменевої взаємодії: довжини хвиль записуючих лазерних пучків, величини поглинання в комірці РК, товщини комірки, величини зовнішньої напруги. Результати розрахунків вихідних інтенсивностей лазерних променів в перших порядках самодифракції і дифракції добре узгоджуються з експериментальними вимірюваннями. Зокрема, розроблена

модель пояснює залежність дифракційної ефективності від величини зовнішньої прикладеної напруги, що має добре виражений максимум.

**Четвертий розділ** присвячений дослідженню РК-нанокompозитів, що складаються із нематичного РК і золотих сферичних наночастинками (НЧ) малого радіуса, вбудованих в об'єм нематичної РК матриці. Застосовується метод діелектричної спектроскопії для нематичних РК-нанокompозитів з металевими НЧ, що дозволяє розрахувати зміну діелектричної проникності у цілій анізотропній матриці внаслідок збудження локалізованого поверхневого плазмонного резонансу (ЛППР) в НЧ. Ця теорія використана для визначення фотоіндукованої зміни для комплексного показника заломлення РК-нанокompозиту внаслідок збудження ЛППР в золотих НЧ. Показано, що можна записати динамічну ґратку під впливом інтерференційної картини, характеристики якої зумовлені ЛППР: величинами змін показника заломлення і коефіцієнта поглинання. Проведено чисельне моделювання для визначення амплітуди динамічної ґратки показника заломлення та її дифракційної ефективності в РК-нанокompозитах з НЧ Au, яка утворюється по механізму збудження ЛППР в металевих НЧ.

**У п'ятому розділі** досліджено властивості перетворення лазерного променя при двопучковій взаємодії в гібридних РК (ГРК) комірках, що містять наноострівцеву золоту плівку. Експериментально та теоретично досліджено зміну форми імпульсу пробного променя під дією вхідних прямокутних імпульсів. Вхідні імпульси подавали двома різними способами: – періодичною послідовністю сигнальних лазерних імпульсів, створених шопером, використовуючи безперервний лазерний промінь накачки і постійну напругу; – шляхом застосування періодичної напруги у вигляді прямокутних імпульсів і з безперервним лазерним освітленням для двох взаємодіючих променів. Розроблена теоретична модель, яка враховує динамічний процес запису та релаксації ґратки за участю двох констант  $\tau_1$  та  $\tau_2$ , відповідно. Експериментально і теоретично показано, що форма вихідних лазерних імпульсів, а також їх амплітуда, визначаються частотою та тривалістю вхідних імпульсів, що порівнюється відносно констант часу ГРК. Отримані результати чисельного моделювання добре узгоджуються з експериментальними даними на випадок застосування серії періодичних вхідних лазерних імпульсів. З порівняння теоретичних та експериментальних результатів визначені значення часових константи  $\tau_1$  та  $\tau_2$  для використаної комірки ГРК.

### **3. Наукова новизна та достовірність отриманих результатів**

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів природно впливає з актуальності й новизни вибору об'єкта досліджень, а фізично обґрунтований підхід до вибору і розв'язання необхідних для його повного вивчення завдань дозволяє автору переконливо це підтвердити.

В результаті проведених досліджень отримано ряд нових і принципово важливих результатів. Серед них необхідно визначити наступні:

1. Вперше проведено дослідження кінетики запису динамічної ґратки показника заломлення при дії просторово-неоднорідного електричного поля. Проведене моделювання виявило формування динамічної ґратки з малим часом життя під дією постійного синусоїдального електричного поля. Встановлено, що визначальним параметром швидкодії процесу являється обертова в'язкість РК – чим менша її величина, тим скоріше відбувається запис і релаксація ґратки. Показано, що час життя динамічної ґратки можна скоротити до десятків мікросекунд зменшуючи просторовий період синусоїдального електричного поля.

2. Вперше проведено теоретичне моделювання зміни показника заломлення і дифракційної ефективності при двопроменевій взаємодії в залежності від кута повороту директора молекул РК в комірці. Напрямок директора задається напрямком електричного поля,

що формується всередині комірки з урахування поля внутрішнього заряду. На основі розробленої теоретичної моделі визначався кут повороту директора, при якого досягалась максимальна дифракційна ефективність. Причому, цей кут повороту складав невеликі значення відносно початкової орієнтації молекул. Отримані результати дозволили також пояснити існування оптимального значення зовнішньої прикладеної напруги для досягнення максимальної дифракційної ефективності.

3. Вперше проведено моделювання зміни форми вихідних імпульсів в першому порядку дифракції в залежності від частоти і тривалості вхідних лазерних імпульсів згідно розробленої динамічної моделі запису ґратки в РК матеріалах. Теоретична модель включала систему зв'язаних хвиль для двох променів, що взаємодіють, і динамічне рівняння для ґратки, яке описує зміну амплітуди ґратки за рахунок дії двох процесів: (1) підсилення ґратки при освітлені інтерференційною картиною, сформованої двома записуючими пучками, та (2) релаксацію ґратки. Показано, що ця модель може бути застосована для знаходження часових констант запису і релаксації динамічної ґратки, які визначається шляхом апроксимації параметрів при порівнянні експериментальних залежностей зміни форми лазерного імпульсу з теоретичними розрахунками.

Теоретичні наукові дослідження в рамках дисертаційної роботи «проводились на базі сучасних знань і фізичних моделей в області нелінійної оптики, фізики рідких кристалів, оптичних і електронних властивостей наночастинок і нанокомпозитів, використанням загальнодоступних довідникових матеріалів по характеристикам РК, а також з використанням сучасного програмного забезпечення. Достовірність результатів роботи забезпечувалась інтерпретацією отриманих теоретичних результатів у відповідності з експериментальними результатами і публікаціями інших авторів, узгодженістю зі вже проведеними експериментами, або поясненням цих експериментальних даних. До позитивних сторін дисертації слід також віднести, що деякі теоретичні передбаченні, проведені на основі розроблених моделей, були реалізовані експериментально. Це забезпечує належний рівень обґрунтованості отриманих результатів, їх відтворюваність та відповідність сучасним науковим уявленням.

#### **4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності**

Дисертаційна робота Мистецького В.А. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні.

В ній викладені нові фізичні результати, що мають як самостійне, так і прикладне значення, оскільки ці результати в достатній мірі сприяють вирішенню важливої наукової задачі сучасної фізики яка стосується дослідження фоторефрактивних та плазмонних механізмів зміни показника заломлення в комірках нематичних рідких кристалів та їх композитів з наночастинами золота під дією лазерних пучків і прикладеної електричної напруги.

Дисертація написана цілком зрозуміло і грамотно, науково-технічна термінологія використовується коректно, структура роботи є логічною.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 13 наукових публікаціях, серед яких 3 у наукових статтях, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus. До апробації результатів увійшла одна стаття, яка опублікована в 2026 році в наукових виданнях, що віднесені до Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank та 9 опублікованих тез доповідей на міжнародних конференціях. Результати роботи повністю

відображені в зазначених публікаціях. Опубліковані статті за своїм змістом не дублюють одна одну. Всі опубліковані наукові праці відповідають темі дисертації.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Мистецького В.А не виявлено. Посилання на дослідження інших авторів є коректним.

## **5. Науково-практична значимість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування**

Практична цінність дисертації зумовлена тим, що більшість результатів отриманих в дисертаційній роботі спрямовані на створенні нових композитів на основі нематичних РК, або використанні оптимальних експериментальних конфігурацій, при яких час релаксації внаслідок дії електричних та/або оптичних полів можна значно скоротити. Так показано переваги використання просторово-неоднорідних світлових полів для отримання швидкісного динамічного запису.

Передбачено перспективи застосування РК-нанокомпозитах з наночастинками Au, в яких збуджується поверхневий плазмонний резонанс – фактично електронний механізм зміни показника заломлення, який характеризується швидкими часами збудження і релаксації. Цей механізм призводить до значного зменшення часу відгуку – запису та стирання динамічної ґратки, – порівняно з механізмом колективної переорієнтації молекул РК.

Проведені дослідження відкривають перспективні можливості для розробки нових надшвидких комутованих пристроїв на основі нематичних РК, зокрема тих, що використовуються для обробки зображень та трансформації параметрів лазерних променів, а саме: електричних та повністю оптичних просторових модуляторів світла, оптичних кореляторів, оптичних криптографічних систем тощо.

## **6. Недоліки і зауваження**

Поряд з високим рівнем проведених теоретичних досліджень та цінністю отриманих результатів, мушу зазначити деякі недоліки і зауваження щодо дисертаційної роботи, що розглядається:

1. У другому розділі здобувач робив дослідження кінетики запису динамічної ґратки для чисто-оптичного відгуку, де електричне поле являється світлоіндукованим внутрішнім полем просторового заряду. Але в дисертаційній роботі не зазначено, чи відомі подібні експериментальні дослідження по запису динамічної ґратки в РК за рахунок чисто-оптичного відгуку.

2. У третьому розділі досліджуються характеристики двопроменевої взаємодії в нематичних РК без домішок. При цьому акцент робиться на фотрелактивному механізмі, який враховує створення внутрішнього поля просторового заряду. Для повноти викладення в дисертації доцільно було б навести огляд процесів, за рахунок яких відбувається формування внутрішнього заряду, що виникає в матриці органічних молекул РК під дією світла.

3. У п'ятому розділі дисертації наведені результати експериментальних досліджень зміни форми вихідних імпульсів під дією періодичних імпульсів напруги, що мають прямокутну форму. Показано, що при збільшенні частоти імпульсів напруги вихідні лазерні імпульси набувають трикутної форми. Однак детальне пояснення механізмів, за рахунок яких утворюються вузькі імпульси лазерного випромінювання, у роботі не розроблено. Також не вказано максимальну частоту, при якій можуть “працювати” такі перетворення.

## 7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку рецензованої роботи і не стосуються принципових результатів і висновків дисертації.

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу сучасної фізики яка стосується дослідження дослідження фоторефрактивних та плазмонних механізмів зміни показника заломлення в комірках нематичних рідких кристалів та їх композитів з наночастинками золота під дією лазерних пучків і прикладеної електричної напруги.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Мистецького В.А. повністю відповідає спеціальності 104 – фізика та астрономія. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях, що проводилися за тематикою досліджень.

Беручи до уваги наукову цінність проведених в рамках дисертаційної роботи досліджень, з урахуванням актуальності теми роботи, наукової новизни, достовірності та практичного значення отриманих результатів, вважаю, що дисертаційна робота Мистецького Віктора Анатолійовича «Оптичне керування параметрами лазерних пучків методом двоприменової взаємодії в нематичних рідких кристалах та їх композитах з золотими наночастинками» відповідає вимогам, що викладені в постанові Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зі змінами, внесеними постановами КМ № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р. та № 507 від 03.05.2024 р., а її автор Мистецький Віктор Анатолійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент,  
професор кафедри квантової радіофізики  
факультету радіофізики, біомедичної  
електроніки та комп'ютерних систем  
Харківського національного університету  
імені В. Н. Каразіна, доктор фізико-  
математичних наук, професор



Вячеслав МАСЛОВ

Підпис Вячеслава Маслова засвідчую:  
Начальник відділу кадрів Харківського  
національного університету імені В. Н. Каразіна



Олена ГРОМИКО