

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертацію
Бугайчук Світлани Анатоліївни
“Дисипативні солітони взаємодії хвиль в динамічних
нелінійно-оптичних середовищах”
поданої на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук за спеціальністю
01.04.05 – оптика, лазерна фізика

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

Телекомунікаційні технології розвиваються по напрямку значних підвищень обсягів переданої інформації і швидкодії передачі. На часі стоїть доступна для широких верств користувачів передача через Інтернет 3D зображень та їх візуалізація в персональних мобільних пристроях і комп'ютерах. В той же час розширення мережі мобільного зв'язку потребує зменшення довжини хвилі несучої для передавального сигналу. Все це визначає розвиток технологій по передачі і обробці інформації, які охоплюють багато напрямків. Серед них: розробка нових ефективних методів керування сигналами в різних діапазонах хвиль від ультрафіолетового до мікрохвильового, новітніх методів модуляції і демодуляції цих сигналів включаючи методи перетворення зображень, забезпечення захисту інформації на апаратному рівні, створення нових матеріалів з швидкими часами відгуку на керуючі сигнали.

Для модуляції лазерних сигналів використовують лінійні і нелінійні методи по перетворенню параметрів цих пучків: інтенсивності, поляризації, частоти, форми імпульсів, тощо. Для цілей підвищення швидкодії відгуку використовуються електрооптичні та чисто оптичні методи. Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною являється основою нелінійних методів перетворень параметрів лазерних пучків і зображень.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової проблеми сучасної оптики, лазерної фізики – виявленню і дослідженню умов формування дисипативних солітонів взаємодії хвиль, які формуються при самодифракції хвиль в системах динамічної голографії, дослідженню різних типів дисипативних солітонів та їх залежність від конкретних параметрів нелінійної системи.

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

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації також свідчить і те, що вона виконувалася в рамках 10 держбюджетних науково-дослідних робіт Інституту фізики НАН України, гранта CRDF (США), проекту УНТС, в яких здобувач брала 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 достатньо обґрунтованими. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано і переконливо. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів основної частини, висновків та списку використаних джерел.

Вступ включає розгорнуту анотацію дисертації, а також приведено актуальність роботи, мету роботи, завдання і методи досліджень, наукову новизну одержаних результатів, їх практичне значення.

У **першому розділі** наведено огляд літератури по двом різним галузям фізики. По-перше, це динамічна голографія – основні ефекти і досягнення в цій галузі. І по-друге, приводиться огляд по теоретичним і експериментальним дослідженням солітонів і дисипативних солітонів. Наведені основні математичні моделі опису солітонів.

У **другому розділі** приводиться теоретичні і експериментальні дослідження дисипативних солітонів взаємодії хвиль, що формуються в системах динамічної голографії. Значна частина приділяється дослідженню властивостей стаціонарних розв'язків – світлих і темних одиночних солітонів, які формуються в різних конфігураціях геометрії взаємодії хвиль – пропускній або відбиваючій геометріях. Також приводяться результати експериментальних досліджень ефектів підвищення ефективності перекачки енергії при умові не рівних вхідних інтенсивностей пучків, як в об'ємних фоторефрактивних кристалах, так і в тонких комірках рідких кристалів.

У **третьому розділі** дисертації приводиться виведення нелінійних рівнянь Шредингера (для відбиваючої геометрії взаємодії хвиль) і комплексного рівняння Гінзбурга-Ландау (для пропускної геометрії) із базової системи, що описує самодифракцію хвиль в динамічній голографії. Відомо, що ці нелінійні еволюційні рівняння мають солітонні розв'язки і розглядаються як основні теоретичні моделі для досліджень дисипативних солітонів в різних фізичних системах.

У **четвертому розділі** розглядається виникнення автоосциляцій вихідних інтенсивностей, які здобувач пояснює формуванням нестаціонарних розв'язків дисипативних солітонів типу бризерів. Також розглядаються нестаціонарні розв'язки дисипативних солітонів, що виникають в результаті взаємодії імпульсного випромінювання. Серед них теоретично розглядаються умови виникнення таких ефектів, як звуження і підсилення лазерних імпульсів, та уповільнення імпульсів. Також досліджено взаємодія імпульсних серій, в результаті чого отримано сплески, або пригнічення, інтенсивностей окремих імпульсів, що здобувач пояснює складною нелінійною динамікою при записі і стиранні фазової ґратки, і як результат – виникнення “екстремальних подій”. “Екстремальні події” і “хвилі-убивці” являються новою тематикою, що інтенсивно досліджується останні роки в нелінійній фотоніці.

Нарешті **п'ятий розділ** присвячений розгляду деяких конкретних застосувань двопучкової та чотирипучкової взаємодії хвиль. Показано, що самодифракція хвиль може ефективно застосовуватися для обернення

хвильового фронту, для створення перемикачів світла з оптичним керуванням, а також оптичних логічних елементів. Представляє інтерес використати отримані теоретичні передбачення для проектування таких реальних елементів, і не тільки в оптичному діапазоні.

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 рішення 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. Розроблена нова математична модель для самодифракції хвиль в динамічних нелінійних середовищах, яка описує формування дисипативних солітонів. Теоретично досліджуються різні типи таких солітонів – від стійких одиночних солітонів, до багатосолітонних розв'язків типу бризерів, що призводить до періодичних автоосциляцій вихідних інтенсивностей хвиль під дією неперервної накачки.
2. Вперше експериментально виявлено просторову локалізацію для амплітуди динамічної фазової ґратки, що формується при самодифракції хвиль в об'ємних фоторефрактивних кристалах.
3. Запропонована методика самодифракції Рамана-Ната для визначення нелінійно-оптичних констант різних матеріалів.
4. Проведені дослідження нелінійно-оптичних характеристик ряду нових матеріалів. Серед них іонні рідкі кристали, що включають наночастинки різних типів – напівпровідникові, металеві (золоті, срібні), а також гібридні типу ядро/оболонка.
5. Запропоновані, виготовлені і досліджені нові композитні комірки рідких кристалів, що містять фотонні кристали, або мезоскопічні плівки SiO_2 , TiO_2 на одній із підкладок. Виявлено, що в композитних комірках нелінійно-оптичні константи мають більш високі значення порівняно з традиційними комірками виготовленими на плоских підкладках. Також композитні комірки вирізняються швидким нелінійно-оптичним відгуком під одночасною дією лазерного випромінювання і електричної напруги.

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в даній дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і визначається коректністю постановки задач, а також тим, що при їх отриманні використовувалися відомі методи теоретичної фізики для досліджень дисипативних солітонів та нелінійно-оптичних систем, комп'ютерне моделювання нелінійних систем та їх розв'язків, всебічно апробовані експериментальні методи динамічної голографії на базі об'ємних фоторефрактивних кристалів і тонких фоточутливих матеріалів, експериментальні методи дослідження перетворень лазерних пучків в оптичних кореляторах.

В роботі отримано добре узгодження експериментальних результатів з

теоретичними передбаченнями. Ряд отриманих розрахунків по взаємодії імпульсів, що стосується ефектів уповільнення світла, а також автоосциляцій вихідних інтенсивностей, узгоджуються з експериментальними дослідженнями, проведеними іншими авторами в фоторефрактивних кристалах. Також автоосциляції при чотирипучковій взаємодії розглядалися теоретично іншими авторами. Окрім того, отримані математичні моделі – нелінійне рівняння Шредингера, комплексне рівняння Гінзбурга-Ландау, рівняння синус-Гордона і тангенс-Гордона є загальноприйнятими нелінійними рівняннями, які досліджуються в теорії дисипативних солітонів.

4. Завершеність і стиль викладу, повнота відображення результатів в публікаціях.

Дисертаційна робота Бугайчук С.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 проблеми яка стосується з'ясування закономірностей фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів виявлення і дослідження умов формування дисипативних солітонів взаємодії хвиль, які утворюються при самодифракції хвиль в системах динамічної голографії, дослідженню різних типів дисипативних солітонів та їх залежність від конкретних параметрів нелінійної системи.

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

Наукові результати, представлені в дисертації, опубліковані в 39 статтях у реферованих міжнародних журналах, з них 33 індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 10 належать до журналів з 1 та 2 квартилями цитування (Q1, Q2), 4 статті є одноособові. Результати роботи пройшли апробацію на 11 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. Зміст автореферату відповідає тексту дисертації.

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

Зі змісту дисертації видно, що автор цілком чітко уявляє практичну значимість проведених досліджень і, більш того, вибір завдань і об'єктів досліджень проводиться їм з урахуванням їх практичного застосування.

В дисертаційній роботі вперше показано теоретично і експериментально, що в нелінійній системі самодифракції хвиль в динамічному середовищі з релаксацією виникають дисипативні солітони взаємодії хвиль. Вони представляють собою новий різновид просторових солітонів, що утворюються в системах динамічної голографії. Показано, що утворення різних типів дисипативних солітонів при динамічній самодифракції хвиль може призводити до нових ефектів для вихідних взаємодіючих хвиль.

Багато теоретичних і експериментальних напрацювань, отриманих в дисертаційній роботі, направлені на розвиток нових практичних застосувань. Розвинутий математичний апарат може використовуватися для досліджень дисипативних солітонів взаємодії хвиль для різних частотних інтервалів електромагнітного випромінювання, включаючи низькочастотні діапазони від інфрачервоного до гігагерцового.

Практичну цінність проведених в дисертаційній роботі досліджень представляє підхід, згідно якому для модуляції вихідних інтенсивностей лазерних сигналів використовується вхідне просторово модульоване світлове поле, яке утворюється двома когерентними пучками. В той же час при традиційному підході, як правило, модулюється тільки один вхідний пучок. Запропонована методика дає додаткові можливості для маніпуляцій вихідних інтенсивностей, і може бути застосована для трансформацій пучків в інших частотних діапазонах.

Також перспективними для практичних застосувань є дослідження ефектів підсилення лазерних пучків в оптичному кореляторі, що містить дві тонкі голографічні ґратки. Використання системи постійних або динамічних тонких ґраток в оптичних схемах і резонаторах представляє інтерес для перетворення параметрів вихідних пучків, в тому числі їх інтенсивностей, фаз і поляризацій, і навіть для обробки зображень. В таких системах можуть бути знайдені нові методи перетворень лазерних пучків, корисних для практичних застосувань, зокрема в телекомунікаційних системах.

6. Недоліки і зауваження

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

1. В теоретичних розрахунках ефекту звуження імпульсів представлені графіки для випадку світлових імпульсів, що мають прямокутний профіль. Але в більшості експериментальних установок імпульси мають гаусівський розподіл інтенсивності. Чи будуть залежати ці ефекти від форми вхідних імпульсів? Бажано було б провести більш детальний і ґрунтовний огляд цих досліджень.

2. Недостатньо проаналізовано фактори, що впливають на точність вимірювань.

3. Чи можна адаптувати отримані результати теоретичних досліджень взаємодії оптичних лазерних пучків в нелінійно-оптичних матеріалах для умов випромінювання в терагерцовому діапазоні?

4. Які можна очікувати ефекти від застосування розробленої теорії взаємодії когерентних лазерних пучків для випадку управління параметрами мод в резонаторах.

5. В тексті подекуди зустрічаються друкарські помилки, однак їх кількість незначна, враховуючи загальний обсяг дисертації.

7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку рецензованої

роботи і не стосуються принципових результатів і висновків дисертації. Деталізований аналіз дозволяє зробити висновок, що представлена до захисту робота є завершеним дослідженням.

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову проблему сучасної оптики, лазерної фізики яка стосується з'ясування закономірностей фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів виявлення і дослідження умов формування дисипативних солітонів взаємодії хвиль, які формуються при самодифракції хвиль в системах динамічної голографії, дослідженню різних типів дисипативних солітонів та їх залежність від конкретних параметрів нелінійної системи.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Бугайчук С.А. повністю відповідає спеціальності 01.04.05 – оптика, лазерна фізика. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно представлені на конференціях і симпозіумах, що проводилися за тематикою досліджень.

Автореферат повністю відповідає змісту дисертації. Виклад матеріалу в дисертації відповідає сучасним вимогам, вона написана чітко, хорошою науково-літературною мовою.

Беручи до уваги усе вищесказане, вважаю, що дисертаційна робота “Дисипативні солітони взаємодії хвиль в динамічних нелінійно-оптичних середовищах” задовольняє усім вимогам МОН України до докторських дисертацій, зокрема, пп. 9, 10 та 12 “Порядку присудження наукових ступенів і наукового звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Бугайчук Світлана Анатоліївна, безумовно заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.05 – оптика, лазерна фізика.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри квантової радіофізики
факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем,
доктор фізико-математичних наук, професор

В.О. Маслов

16 лютого 2021 року

Начальник Служби управління персоналом
доктор пед. наук, професор

С.М. Куліш