

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, провідного наукового співробітника відділу теоретичної радіофізики Радіоастрономічного інституту НАН України, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Грибовського Олександра Володимировича на дисертаційну роботу Свистунова Олега Олександровича “Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями”, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

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

Технології, засновані на застосуванні терагерцового випромінювання є сьогодні важливим інструментом для багатьох практичних додатків, таких як неінвазивні методи діагностики та контролю в індустрії, медицині та біології, виявленні вибухових речовин. Новим напрямком у радіофізиці та лазерній фізиці, який отримав значний розвиток останнім часом, є вивчення закономірностей формування лазерних пучків з фазовими сингулярностями у світлових полях. Унікальність таких світлових полів полягає в особливій спіральній структурі хвильового фронту, що забезпечує наявність у них орбітального кутового моменту, який може бути переданий речовині та викликати обертальний рух нано- та мікрооб'єктів. В оптичному діапазоні встановлено фізичні принципи формування вихрових лазерних пучків із різними гвинтовими (спіральними) дислокаціями хвильового фронту. В даний час такі пучки активно використовуються для вирішення як прикладних, так і фундаментальних проблем оптики та фотоніки. В терагерцовому діапазоні до цього часу розрахунки та експерименти проводились з короткоімпульсним лазерним випромінюванням, взаємодія якого з речовиною значно відрізняється від взаємодії при безперервному випромінюванні.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової задачі сучасної фізики, яка стосується встановлення фізичних закономірностей просторової динаміки вихрових лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону в випадку їх поширення та фокусування в вільному просторі.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і великим значенням для прикладних застосувань. Тому тематика дисертації Свистунова О.О. 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 переконливо свідчить і те, що вона виконувалася на кафедрі квантової радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна за держбюджетною науково-дослідною темою «Електродинаміка вихрових лазерних пучків терагерцового діапазону», у якій автор приймав 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 Свистунова О.О. складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, чотирьох розділів основного тексту, висновків до роботи, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено систематичний аналіз літератури, який показує, що в квантовій радіофізиці активно розвивається новий науковий напрямок, пов'язаний з внутрішньорезонаторним і позарезонаторним формуванням, поширенням та фокусуванням вихрових пучків в терагерцовому діапазоні частот. Відзначено, що переважна більшість робіт у цій галузі виконано в оптичному діапазоні.

У другому розділі дисертації вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції у вільному просторі мод діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера у процесі їх взаємодії зі спіральною фазовою пластиною з різними топологічними зарядами ($n = 0, 1$ і 2). Чисельно вивчені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик отриманих вихрових пучків при їх поширенні в різних зонах дифракції. Представлені результати дозволяють простежити динаміку змін інтенсивності та фази вихрових пучків, збуджених спіральною фазовою пластиною, як з

однорідною лінійною, так і з неоднорідною азимутальною та радіальною поляризацією випромінювання.

Третій розділ присвячений результатам теоретичних та чисельних досліджень закономірностей гострого та помірнього фокусування терагерцових лазерних пучків безперервного випромінювання при різноманітних видах просторової поляризації, сформованих спіральною фазовою пластиною, у фокальній області сферичної лінзи. Показано, що у фокальній області лінзи хвильовий фронт із збільшенням топологічного заряду для лазерного пучка, збуджених основними хвилеводними модами, перетворюється зі сферичного на спіральний з різною кількістю гвинтових витків на осі. Показаний однаковий вклад поперечних компонент поля в загальну потужність випромінювання для лазерного пучка, збудженого TE_{01} модою з азимутальною поляризацією, і суттєвий внесок повздовжньої компоненти поля в загальну потужність випромінювання для лазерного пучка, збудженого TM_{01} модою з радіальною поляризацією.

У четвертому розділі вперше теоретично та експериментально встановлені фізичні особливості структури поля лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими модами з лінійною поляризацією діелектричного резонатора терагерцового лазера, при їх поширенні у вільному просторі та фізичних властивостей лазерних пучків, утворених даними модами, при їх помірному та гострому фокусуванні. Показано, що сумарна інтенсивність поля лазерного пучка, збудженого комбінованими модами, визначається усіма трьома компонентами. Центральні максимуми поля даних пучків значно зміщуються від геометричних фокусів досліджуваних лінз зі збільшенням свого порядку.

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. Вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції у вільному просторі мод діелектричного та металевих резонаторів терагерцового лазера у процесі їх взаємодії зі спіральною фазовою пластиною з різними топологічними зарядами. Чисельно встановлені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик вихрових лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону, сформованих спіральною фазовою пластиною, при їх поширенні у вільному просторі.

2. Вперше отримано аналітичні вирази для опису компонент полів випромінювання, утворених модами хвилевідного діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера, у процесі їх взаємодії зі спіральною фазовою пластиною, у фокальній області сферичної лінзи. Показано трансформації та локалізації сингулярної структури отриманих лазерних пучків із збільшенням топологічного заряду у випадках їх гострого та помірною фокусування.

3. Вперше теоретично та експериментально встановлені фізичні особливості структури поля лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими модами з лінійною поляризацією діелектричного резонатора терагерцового лазера, при їх поширенні у вільному просторі та фізичних властивостей лазерних пучків, утворених даними модами, при їх помірному та гострому фокусуванні. Показано, що сумарна інтенсивність поля лазерного пучка, збудженого комбінованими модами, визначається усіма трьома компонентами. Центральні максимуми поля даних пучків значно зміщуються від геометричних фокусів досліджуваних лінз зі збільшенням свого порядку.

Результати проведених досліджень та отриманих результатів мають необхідну достовірність. Достовірність забезпечується коректністю постановки завдань, використанням методів теоретичної електродинаміки та математичної фізики, що добре апробовані і зарекомендували себе, а саме, дифракційних інтегральних перетворень Релея-Зоммерфельда. Також для підтвердження достовірності результатів проведено порівняння розрахунків поля дифракції у вільному просторі методом розкладання поля за плоскими хвилями, у гострому фокусі – використанням інтегральних перетворень Річардса-Вольфа. Для експериментального вивчення досліджуваних явищ в роботі застосовуються добре відомі методи вимірювань ТГц діапазону. В роботі отримано добре узгодження експериментальних результатів з теоретичними передбаченнями.

Ознакою наукової новизни та достовірності отриманих результатів є також те, що більшість результатів опубліковано в провідних міжнародних журналах, в яких всі статті проходять ретельне експертне рецензування.

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

Дисертаційна робота Свистунова О.О. 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 встановлення фізичних закономірностей просторової динаміки лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону в випадку їх поширення та фокусування в вільному просторі.

Дисертація написана цілком зрозуміло і грамотно, науково-технічна

термінологія використовується коректно, структура роботи є логічною.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях, серед яких 7 у наукових статтях, з яких 5 індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus і дві статті опубліковано у фахових наукових виданнях України, а також у 5 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Свистунова О. О. не виявлено. Посилання на дослідження інших авторів є коректним.

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

Актуальність цієї роботи обумовлена зростаючою потребою до підвищення обсягу переданих даних бездротових мереж. Перевагою застосування пучків з орбітальним кутовим моментом є можливість їхнього мультиплексування, тобто додавання в один просторовий канал множини пучків з різним топологічним зарядом, що передаються на одній частоті. Визначені в ході досліджень закономірності просторової динаміки вихрових лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону будуть затребувані для додатків, пов'язаних із завданнями мінімізації розсіювання енергії в системах терагерцевого зв'язку ближнього поля та підвищення контрасту зображень у системах терагерцевої візуалізації, створення терагерцових лідарів, розробка скануючих терагерцових систем з великою глибиною фокусування, діагностика поверхні матеріалів терагерцовим випромінюванням. Виявлені нові особливості поширення та фокусування вихрових лазерних пучків з неоднорідною поляризацією у вільному просторі мають самостійну цінність і можуть бути використані на практиці при розробці елементної бази для пасивних та активних компонентів та пристроїв, що працюють в ІЧ та ТГц діапазонах хвиль.

Дисертаційна робота представляє наукову і практичну цінність для фахівців в області мікрохвильовій радіофізики, квантової радіофізики, оптоелектроніки та ін. Результати, отримані при її виконанні, можна рекомендувати для застосування в різних установах як дослідницького, так і науково-виробничого напрямків.

6. Недоліки і зауваження

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

1. У першому розділі проведено огляд робіт, де розглядаються питання

поширення та фокусування вихрових пучків терагерцевого діапазону, але досить у конспективній формі. Бажано провести більш детальний та ґрунтовний порівняльний аналіз результатів цих робіт.

2. Під час проведення розрахунків поширення пучків у вільному просторі у другому розділі роботі використовуються векторні інтегральні перетворення Релея-Зоммерфельда. Було б доцільним провести порівняння результатів, отриманих цим методом та в рамках скалярного параксіального наближення.

3. У пункті 2.1.2 аналіз характеристик лазерного пучка в зоні Френеля було б доцільним проводити в області максимальної інтенсивності випромінювання, а не довільно вибраної області.

4. У 4 розділі наведено результати експериментів з фокусування комбінованих мод, однак відсутній аналіз можливих похибок у цих результатах.

5. На рис. 3.2 підписи не співпадають з позначками.

6. Одна і та ж літера p використовується для топологічного заряду і моди резонатора.

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 прикладної фізики, яка стосується встановлення фізичних закономірностей просторової динаміки лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцевого діапазону в випадку їх поширення та фокусування в вільному просторі.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Свистунова О.О. повністю відповідає спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях, що проводилися за тематикою досліджень.

Беручи до уваги усе вищесказане, вважаю, що розглянута дисертаційна робота Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцевого діапазону з фазовими сингулярностями», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали, повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «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 згідно з постановою Кабінету Міністрів

України № 341 від 21 березня 2022 р., характеризується єдністю змісту та послідовністю викладення, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, отримані здобувачем в процесі досліджень та не має порушень академічної доброчесності і здобувач – Свистунов Олег Олександрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
відділу теоретичної радіофізики
Радіоастрономічного інституту НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Олександр ГРИБОВСЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 10:30:43 07.05.2025

Назва файлу з підписом: Відгук_на_дис_Свистунова (1).doc.asice
Розмір файлу з підписом: 25.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук_на_дис_Свистунова (1).doc
Розмір файлу без підпису: 79.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ГРИБОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

П.І.Б.: ГРИБОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 1908801115

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 10:30:42 07.05.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000007C3E7D018F6B5D05

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Рецензія

офіційного рецензента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – радіофізика), старшого наукового співробітника, в.о. завідувача, професора кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Бердника Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

За останнє десятиліття наукові дослідження у терагерцовому діапазоні частот значно просунулися вперед, що зумовлено його перевагами в сфері зв'язку, візуалізації, спектроскопії та безпеки. Терагерцове випромінювання розташоване між діапазонами частот мікрохвильового та інфрачервоного випромінювань і може легко проникати через різні матеріали, включаючи біологічні тканини. Завдяки цьому терагерцові хвилі є надзвичайно цінними для застосування в біомедичних технологіях, матеріалознавстві та безконтактній діагностиці. Вихрові пучки та їх застосування залишаються однією з «гарячих» тем у спільноті оптики та фотоніки в останні роки. Оскільки ще в 1992 році було продемонстровано, що вихровий промінь із гвинтовим хвильовим фронтом несе орбітальний кутовий момент. Завдяки

цьому такі пучки можуть забезпечувати вирішення проблем отримання високороздільних зображень, що недоступно для хвиль нижчих частот. Усе це відкриває широкі можливості для створення сучасних технологій на основі цього діапазону частот у різних галузях науки та техніки.

Тематика дисертації є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному плані. Особливістю роботи є дослідження поширення та фокусування лазерних вихрових пучків терагерцового діапазону, збуджених модами хвилевідних резонаторів у режимі безперервного випромінювання.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3-х додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 188 сторінки, з них основного тексту 135 сторінок. Робота ілюстрована 1 таблицею та 76 рисунками. Список використаних джерел містить 167 найменувань. Також наявні анотації українською та англійською мовами.

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, визначено мету й основні задачі, об'єкт та предмет дисертаційного дослідження, описано методи дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, описано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, особистий внесок здобувача.

Перший розділ дисертації є оглядовим, і в ньому показано, що на сьогоднішній день дослідження вихрових пучків у терагерцовому діапазоні привертає значну увагу завдяки їхнім унікальним властивостям. Такі пучки, які поєднують переваги ТГц випромінювання та орбітального кутового моменту, є важливими для розв'язання як фундаментальних, так і прикладних задач. Вони знаходять застосування у терагерцовій і квантовій оптиці, надвисокоточній візуалізації, системах ТГц-зв'язку, оптичному захопленні й обертанні мікрооб'єктів, вивченні лінійних та нелінійних властивостей матеріалів, маніпулюванні електронними згустками, а також у дослідженнях астрофізичних джерел.

У **другому розділі** дисертації автором чисельно досліджено фізичні особливості отриманих вихрових лазерних пучків при їх поширенні в зоні Френеля та дальній зоні. За допомогою інтегральних перетворень Релея-Зоммерфельда вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції у вільному просторі мод діелектричного та металевих резонаторів терагерцового лазера. Дані моди взаємодіяли зі спіральною фазовою пластиною, яка мала різні значення топологічного заряду ($n = 0, 1$ і 2).

У **третьому розділі** роботи автором вивчено фізичні особливості лазерних вихрових пучків, які збуджуються модами резонатора на основі круглого діелектричного та металевих хвилеводів, при їх помірному та гострому фокусуванні. Дисертант отримав аналітичні вирази для опису компонент полів лазерного випромінювання у фокальній області лінзи для пучка, сформованого модами хвилевідного діелектричного та металевих резонаторів терагерцового лазера. Сформований пучок взаємодівав зі спіральною фазовою пластиною.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи йде мова про теоретичне та експериментальне встановлення автором фізичних особливостей лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими модами діелектричного резонатора терагерцового лазера, у випадку їх помірному та гострому фокусуванні у вільному просторі.

У **загальних висновках** подано компактне, логічне та послідовне узагальнення основних результатів, які були досягнуті в ході дослідження. Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність результатів проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано результати сучасних наукових досліджень провідних фахівців у цій галузі.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі квантової радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна в рамках

держбюджетної науково-дослідної роботи, в якій автор брав участь як виконавець: «Електродинаміка вихрових лазерних пучків терагерцового діапазону» (номер державної реєстрації 0124U000466).

4. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

У дисертаційній роботі отримано низку нових наукових результатів щодо встановлення фізичних закономірностей просторової динаміки лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону в випадку їх поширення та фокусування в вільному просторі:

1. За допомогою інтегральних перетворень Релея-Зоммерфельда вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції мод діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера, які взаємодіяли зі спіральною фазовою пластиною (СФП), яка мала різні значення топологічного заряду.

2. Чисельним шляхом вперше встановлені фізичні особливості вихрових лазерних пучків безперервного випромінювання в терагерцовому діапазоні, утворених спіральною фазовою пластиною, при їх поширенні в різних зонах дифракції.

3. Вперше на основі перетворень Релея-Зоммерфельда отримано аналітичні вирази, які описують компоненти поля випромінювання, що виникає у фокальній області лінзи внаслідок взаємодії мод хвилевідного діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера зі спіральною фазовою пластиною.

4. Вперше за допомогою чисельного моделювання досліджено фізичні особливості вихрових пучків випромінювання, утворених модами резонатора лазера на базі круглого діелектричного та металевого хвилеводів, у випадку їх помірного та гострого фокусування.

5. Вперше на теоретичному та експериментальному рівнях досліджені фізичні особливості лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими модами з лінійною поляризацією діелектричного резонатора терагерцового лазера під час їх поширення у вільному просторі. Також

встановлені фізичні особливості даних пучків при умовах їх помірною та гострого фокусування.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їх достовірність.

Висновки та наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Достовірність отриманих дисертантом наукових результатів підтверджується проведеними ним особисто експериментальними дослідженнями та порівнянням з результатами, отриманими різними методами обчислень, такими як метод розкладання поля за плоскими хвилями та перетвореннями Річардса-Вольфа. Наукові результати були опубліковані в наукових фахових журналах та в матеріалах міжнародних наукових конференцій, в яких здійснюється незалежне анонімне рецензування. Перелік публікацій, який є в дисертації, а також список статей і тез автора достатньо повно охоплюють тему дослідження.

6. Апробація дисертації та публікації.

Основні результати дисертаційної роботи Свистунова О.О. викладено у 7 статтях, опублікованих у фахових періодичних наукових виданнях, із них 2 статті у наукових фахових виданнях України та 5 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus (згідно п. 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії – 6 наукових публікацій). Наукові результати також опубліковано в 5 тезах міжнародних наукових конференцій.

Основні наукові результати та висновки роботи оприлюднені та обговорені на багатьох міжнародних конференціях:

1. XIX International scientific conference electronics and applied physics APHYS 2023, Kyiv, Ukraine, October 2023.

2. 2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2024), Kyiv, Ukraine, 2024.

3. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція. Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем, 22–24 листопада 2023 р., м. Дніпро, Україна.

4. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2024, October 7–11.

5. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем MEICS–2024, 27–29 листопада 2024 р., м. Дніпро, Україна.

Таким чином, основні результати дисертації досить повно опубліковані, апробовані і відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

7. Практичне значення одержаних результатів.

Отримані в дисертаційній роботі результати з визначення фізичних особливостей терагерцових вихрових лазерних пучків можуть знайти застосування в багатьох передових технологіях. Наприклад, лазерний зв'язок великої ємності, вимірювання та виявлення обертання частинок, зображення з високою роздільною здатністю, голографічне шифрування, оптичні обчислення, а також квантові застосування.

Використання ТГц-випромінювання, збудженого модами вищих порядків, може надати додаткові можливості щодо впровадження нових рішень у галузях зв'язку, безпеки, матеріалознавства, медицини та інших напрямках.

8. Дотримання академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні.

9. Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення.

1) Недостатньо описані енергетичні параметри пучка, який взаємодіє зі спіральною фазовою пластиною.

2) В розділах 2 та 3 не було б зайвим показати формування вихору іншими оптичними елементами.

3) Частина пункту 3.1.1, що стосується отримання виразів для компонент поля, які описують дифракцію мод діелектричного резонатора на СФП, є повторенням п.2.1.1.

4) Частина пункту 3.2.1, що стосується отримання виразів для компонент поля, які описують дифракцію мод металевого резонатора на СФП, є повторенням пункту 2.2.1.

5) Присутні орфографічні та стилістичні помилки, зокрема: на с. 38 «спиральних» замість спіральних; на с. 39 «метаповерхностей» замість метаповерхонь; на с. 40 «голограмм» замість голограм; на с. 45 «підтвердження» замість підтвердження; на с. 139 та с.143 «Максимум поля мають центральні лепестки даних мод...»; для позначення словосполучення «спіральна фазова пластина» використовуються в тексті дисертації різні аббревіатури: СФП і СПФ; на с. 60 та с. 73 «для якої величини», правильно «для будь-якої величини».

Наведені зауваження жодним чином не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційної роботи та обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

10. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», є актуальною завершеною науковою роботою. Вона відповідає вимогам наказу МОН України від 12.01.2017 №40 (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України від 31.05.2019 № 759) «Про

затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 (зі змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор, Свистунов Олег Олександрович є кваліфікованим спеціалістом, який здатний самостійно провести глибоке наукове дослідження поставленої задачі та заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
в.о. завідувача, професор кафедри
фізичної і біомедичної електроніки
та комплексних інформаційних технологій
факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Сергій БЕРДНИК

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:21:05 11.05.2025

Назва файлу з підписом: Рецензія_Бердник-Свистунов.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 163.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецензія_Бердник-Свистунов.pdf
Розмір файлу без підпису: 171.6 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: БЕРДНИК СЕРГІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

П.І.Б.: БЕРДНИК СЕРГІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2857616877

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 20:21:03 11.05.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000F00690138CD8705

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої
ради Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Відгук

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – радіофізика), старшого наукового співробітника, в.о. заступника директора Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України з наукової роботи Когута Олександра Євгеновича на дисертаційну роботу Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Терагерцеві хвилі привертають увагу завдяки своїм унікальним властивостям, серед яких головними є висока когерентність і неіонізуючий характер випромінювання. Вихрові пучки терагерцевих хвиль поєднують ці переваги з орбітальним кутовим моментом, що додає додаткову ступінь свободи. Терагерцеві хвилі у порівнянні з хвилями інфрачервоного та оптичного діапазонів володіють високою проникаючою здатністю. Ця властивість робить їх особливо перспективними для застосувань у матеріалознавстві, високоточних біомедичних дослідженнях і безконтактних методах діагностики. Водночас, терагерцеві хвилі можуть забезпечувати надвисоку роздільну здатність, яка дозволяє детектувати і аналізувати дрібні структури на рівні мікроскопічних деталей, що недоступно для більш

низькочастотних хвиль. Це відкриває нові горизонти для високоточних досліджень і технологій, де потрібна максимальна деталізація зображень чи вимірювань. Загалом, терагерцеві вихрові пучки мають великий потенціал для різноманітних досліджень та технологій завдяки своїй унікальній здатності маніпулювати не тільки амплітудою і фазою, а й орбітальним моментом.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової задачі сучасної прикладної фізики, яка стосується вивчення поширення лазерних вихрових пучків, збуджуваних модами хвилевідних резонаторів в безперервному режимі випромінювання, в різних зонах дифракції та в випадку їх помірною і гострого фокусування. Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і значним значенням для прикладних застосувань.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3-х додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 188 сторінки, з них основного тексту 135 сторінок. Робота ілюстрована 1 таблицею та 76 рисунками. Список використаних джерел містить 167 найменувань. Також наявні анотації українською та англійською мовами.

Перший розділ дисертації є оглядовим, і в ньому достатньо повною мірою показано, що дослідження вихрових пучків терагерцевого діапазону на даний час викликає значний інтерес. Такі лазерні пучки, що поєднують у собі переваги терагерцевих хвиль і орбітальний кутовий момент, необхідні для вирішення важливих фундаментальних і прикладних завдань у галузі терагерцевої та квантової оптики, візуалізації зображень з надвисокою роздільною здатністю, терагерцевих комунікаційних систем зв'язку, захоплення та обертання мікрооб'єктів, вивчення лінійних та нелінійних відгуків матеріалів, прискорення та маніпулювання електронними згустками, виявлення астрофізичних джерел.

У **другому розділі** дисертації автором на основі дифракційних інтегралів Релея-Зоммерфельда вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції у вільному просторі мод діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера у процесі їх взаємодії зі спіральною фазовою пластиною з різними топологічними зарядами ($n = 0, 1$ і 2). Вивчені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик отриманих вихрових пучків при їх поширенні в різних зонах дифракції. Це надає уявлення, щодо умов формування вихорів терагерцових хвиль і їх подальшого поширення у вільному просторі.

В **третьому розділі** дисертаційної роботи автором вперше отримано аналітичні вирази для опису компонент полів випромінювання у фокальній області лінзи для лазерного пучка, утвореного модами хвилевідного діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера, у процесі їх взаємодії в вільному просторі зі спіральною фазовою пластиною. Досліджені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик вихрових лазерних пучків випромінювання, які збуджуються модами резонатора лазера на основі круглого діелектричного та металевого хвилеводів, при їх помірному та гострому фокусуванні

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений теоретичному та експериментальному встановленню автором фізичних особливостей структури поля лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими $TE_{0n} + EH_{2n}$ та $EH_{-1n} + EH_{3n}$ модами ($n = 1, 2, 3$) діелектричного резонатора терагерцового лазера, при їх поширенні та фізичних властивостей лазерних пучків, утворених даними модами, при їх помірному та гострому фокусуванні у вільному просторі.

У **висновках** подано компактне, логічне та послідовне узагальнення основних результатів, які були досягнуті в ході дослідження. У переліку використаних джерел вказані посилання на відповідні наукові роботи, опубліковані у спеціалізованих виданнях, а також на авторські публікації, пов'язані із темою дисертації.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертація виконувалася на кафедрі квантової радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна в рамках держбюджетної науково-дослідної теми й є складовою частиною цієї науково-дослідної роботи, в якій автор брав участь як виконавець: «Електродинаміка вихрових лазерних пучків терагерцового діапазону» (номер державної реєстрації 0124U000466).

4. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Новизна та її наукова та практична значущість отриманих результатів чітко відображені в дисертаційній роботі. Серед найбільш вагомих отриманих дисертантом результатів хотілось би виділити наступні:

1. На основі дифракційних інтегралів Релея-Зоммерфельда вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксимальної дифракції у вільному просторі мод діелектричного та металевого резонаторів терагерцового лазера у процесі їх взаємодії зі спіральною фазовою пластиною з різними топологічними зарядами ($n = 0, 1$ і 2). Вони повною мірою відображають умови формування вихрових пучків терагерцових хвиль.
2. Вперше чисельно встановлені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик вихрових лазерних пучків безперервного випромінювання терагерцового діапазону, сформованих спіральною фазовою пластиною, при їх поширенні у вільному просторі.
3. Вперше чисельно встановлені фізичні особливості просторово-енергетичних характеристик вихрових лазерних пучків випромінювання з різною просторовою поляризацією поля, які збуджуються модами резонатора лазера на основі круглого діелектричного та металевого хвилеводів, при їх помірному та гострому фокусуванні.

4. Вперше теоретично та експериментально встановлені фізичні особливості структури поля лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими $TE_{0n}+EH_{2n}$ та $EH_{-1n}+EH_{3n}$ модами ($n = 1, 2, 3$) з лінійною поляризацією діелектричного резонатора терагерцового лазера, при їх поширенні у вільному просторі та фізичних властивостей лазерних пучків, утворених даними модами, при їх помірному та гострому фокусуванні.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Висновки та наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Перелік публікацій, що додається до дисертації, а також список статей і тез автора достатньо повно охоплюють тему дослідження. Результати, отримані в ході числових розрахунків підтверджуються низкою експериментальних досліджень. Для підтвердження достовірності результатів проведено порівняння розрахунків полів у випадку їх поширення методом розкладання поля за плоскими хвилями, у випадку гострого фокусування – інтегральним перетворенням Річардса-Вольфа. При дослідженні фізичних властивостей структури поля лазерних пучків вищого порядку, збуджених комбінованими модами, отримано добре узгодження експериментальних результатів з проведеними теоретичними розрахунками.

6. Практичне значення одержаних результатів.

Дослідження фізичних особливостей терагерцевих вихрових лазерних пучків відкривають нові можливості для високошвидкісних систем терагерцевого зв'язку, томографії, досліджень матеріалів та астрофізичних джерел. Нові особливості поширення лазерних пучків у вільному просторі, виявлені в ході дослідження, мають самостійне наукове значення та можуть бути використані на практиці при розробці елементної бази пасивних і

керованих компонентів та пристроїв для ІЧ і ТГц діапазонів. Результати фокусування терагерцових пучків необхідні для задач, пов'язаних з діагностикою матеріалів, біологічних об'єктів і створенням високочутливих сенсорів.

Застосування ТГц-випромінювання вищого порядку дозволяє отримувати зображення з надвисокою роздільною здатністю, ефективно передавати інформацію та розширювати взаємодію з матеріалами. Це сприяє розвитку передових технологій у медицині, комунікаціях, матеріалознавстві, тощо.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача та наукових праць здобувача встановлено, що дисертація виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Зауваження до структури, змісту роботи та оформлення.

- В дисертаційній роботі відсутній детальний опис використаного резонатора, не розглянуто його спектральні та енергетичні характеристики. Саме добротність резонатора обумовлює ширину смуги робочих частот, а спектральні характеристики визначають робочі моди. Не показано умови узгодження та виводу енергії резонансного поля з них. Також незрозумілим є використання одночасного існування резонаторних мод хвилевідного типу ТМ або ТЕ разом з гібридними ЕН або НЕ модами, які належать різним резонаторам.

- Для опису резонаторних мод незрозумілим є використання лише двох індексів, які використовуються для мод хвилеводів в режимі бігучої хвилі.

- В підрозділах 2.1.2 та 3.1.2, де вказані розподіли вихрових пучків, збуджених TM_{01} модою, не досліджені розподіли магнітних полів.

- В роботі проголошується можливість застосування отриманих результатів у мультиплексних системах зв'язку, але відсутні подробиці з цього приводу. Це, на мій погляд, потребує докладнішого розкриття.

- В роботі є помилки. Так, на стор. 58 введено скорочення СФП (спіральна фазова пластина), а на стор. 60 зустрічається вже аббревіатура СПФ.

Однак, зазначені зауваження в цілому не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційної роботи та обґрунтованість наведених здобувачем висновків.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Вважаю, що робота Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями» є завершеною роботою. Вона відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Свистунов Олег Олександрович є кваліфікованим спеціалістом, який заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
в.о. заступника директора
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова Національної академії
наук України з наукової роботи

Олександр КОГУТ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 12:00:01 06.05.2025

Назва файлу з підписом: pb_2578416012.jks.asice
Розмір файлу з підписом: 9.8 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: pb_2578416012.jks
Розмір файлу без підпису: 6.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: КОГУТ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ
П.І.Б.: КОГУТ ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2578416012
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 12:00:10 06.05.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000A4C769013E9C2805
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Рецензія

офіційного рецензента, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – радіофізика), доцента, в.о. завідувача, доцента кафедри теоретичної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Хардікова Вячеслава Володимировича на дисертаційну роботу Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Терагерцовий діапазон переповнений незліченними спектральними особливостями, пов'язаними з фундаментальними фізичними процесами, такими як обертальні переходи молекул, коливальні рухи органічних сполук з великою амплітудою, коливання кристалічної решітки в твердих тілах, внутрішньозонні переходи в напівпровідниках та енергетичні щілини в надпровідниках. Ці особливості взаємодії випромінювання терагерцового діапазону з речовиною є основою для великої низки перспективних практичних застосувань. Серед останніх основними є ТГц-

спектроскопія, нейрунівний контроль (системи візуалізації, безпекові системи тощо), системи зв'язку тощо. Розвиток техніки ТГц діапазона потребує створення компактних та потужних джерел випромінювання із контрольованими характеристиками. В цьому напрямку використання хвиль, що несуть орбітальний кутовий момент (ОКМ), є дуже цікавим та перспективним. Попередні дослідження вказують на великі перспективи використання таких хвиль у системах дистанційного зондування та зв'язку, що обумовлено 2ма факторами. По-перше, контрольований фазовий розподіл здатний нести додаткову інформацію про об'єкт, який досліджується. А, по-друге, взаємоортогональність ОКМ хвиль з різним топологічним зарядом дозволяє модове мультиплексування багатьох каналів в межах однієї системи. У той же час, не зважаючи на перспективність даного напрямку, він залишається все ще слабо вивченим. У тому числі, однією з актуальних задач є розробка джерел випромінювання хвиль з ОКМ, у тому числі, в ТГц діапазоні. Тому вважаю обґрунтованим напрямок роботи, що рецензується, який полягає у дослідженні лазерних пучків терагерцового випромінювання з фазовими сингулярностями.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної джерел та 3-х додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 188 сторінки. Робота виконана на кафедрі квантової радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна та повною мірою відповідає всім вимогам, що висуваються для проведення процедури захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня «доктор філософії».

Перший розділ містить огляд сучасних методів генерації вихрових пучків у терагерцовому діапазоні та їх використання в практичних застосунках. На основі зробленого огляду автор окреслює існуючий пробіл у розробці джерел вихрових пучків на основі компактних джерел терагерцового випромінювання на основі молекулярних лазерів та обґрунтовує вибір напрямку свого дослідження.

У *другому розділі* автором побудована числова модель для обчислення поширення у вільному просторі вихрових пучків лазерного випромінювання, які утворені за допомогою оснащення лазерного резонатору спіралью-фазовою пластиною (СПФ). Побудована модель спирається на інтегральні перетворення Релея-Зомерфельда та найпростішу модель спіралью-фазової пластини, яка фактично замінена комплексною функцією пропускання. Автор вперше отримав аналітичні вирази, які дозволяють проаналізувати основні закономірності взаємодії основних мод кругового металевих та кругового порожнистого діелектричного хвилеводу із СПФ, яка вносить різний топологічний заряд $(0, 1, 2)$.

Третій розділ містить результати дослідження особливостей фокусування вихрових пучків лазерного випромінювання з різними топологічними зарядами. Отримано аналітичні вирази для опису компонентів полів лазерного випромінювання у фокальній області лінзи. Розглянуто випадки помірного та гострого фокусування.

У *останньому четвертому розділі* автор наводить результати експериментального та теоретичного дослідження особливостей фокусування у вільному просторі лінійно поляризованих лазерних пучків, які утворені комбінованими модами лазерного резонатору, що утворений з круглого порожнистого діелектричного хвилеводу. Ці результати отримані вперше для випадків гострого та помірного фокусування

У висновках автор детально наводить всі основні результати, які були отримані під час виконання дисертаційних досліджень і знайшли своє відображення у тексті, та відображає їх наукову новизну.

Список використаних джерел містить 167 посилань, серед яких є роботи автора та його керівника.

Додатки А-В містять перелік публікацій автора із зазначенням його внеска в них, додаткові розподіли позовжньої компоненти поля лазерних пучків при їх поширенні у вільному просторі, порівняння результатів методів, що обрані автором у своєму дослідженні, із відомими аналогами, відповідно.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

В дисертації наведено результати досліджень, в яких брав участь автор, що є складовою частиною науково-дослідної роботи «Електродинаміка вихрових лазерних пучків терагерцового діапазону» (номер державної реєстрації 0124U000466), яка виконувалась на кафедрі квантової радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Автор є виконавцем цієї науково-дослідної роботи.

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

- Вперше отримано аналітичні вирази для опису непараксіальної дифракції мод круглих порожнистого діелектричного та металевого хвилеводів на спіральній фазовій пластині на основі дифракційних інтегралів Релея-Зоммерфельда. Формули дозволяють розглянути дифракцію різних мод відповідних хвилеводів на пластинах з різними топологічними зарядами (0, 1 і 2).

- На основі отриманих формул вперше виявлені основні закономірності просторово-енергетичних характеристик вихрових лазерних пучків, які утворені внаслідок взаємодії радіально (TM_{01}), азимутально (TE_{01}) та лінійно (HE_{11} та TE_{11} в залежності від типу хвилеводу) поляризованих мод круглих хвилеводів із спіральною фазовою пластиною, яка здатна вносити у поле різний за величиною топологічний заряд.
- За допомогою дифракційних інтегралів Релея-Зомерфельда вперше отримані аналітичні вирази у фокальній площині для компонент полів вихрових лазерних пучків, що фокусуються. Вихрові пучки є наслідком взаємодії мод круглого хвилеводу із спіральною фокальною пластиною, а отримані формули можуть бути застосовані без змін для випадків помірного та гострого фокусування.
- На основі отриманих формул вперше теоретично проаналізовані в фокальній площині розподіли полів вихрових пучків, що утворені за рахунок спіральної фокальної пластини на виході круглого хвилеводу, при гострому та помірному фокусуванні пучків. Виявлені закономірності зміни параметрів фокальної плями від величини топологічного заряду, що вносить спіральна фазова пластина.
- Вперше проведено експериментальне та теоретичне дослідження особливостей лазерних лінійно поляризованих пучків, що утворені комбінованими модами діелектричного резонатору, при їх поширенні у вільному просторі та фокусуванні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовано в дисертаційній роботі.

Отримані результати та сформульовані наукові положення та висновки роботи, що рецензується, є обґрунтованими та достовірними. Це

підтверджується, по-перше, списком публікацій автора, серед яких є публікації в рецензованих профільних наукових виданнях та тези на профільних міжнародних конференціях. не викликають жодних сумнівів. По-друге, тим фактом, що результати збігаються із відомими результатами для прототипних структур та систем. По-третє, експериментальними даними, що отримані під час виконання роботи.

Апробація дисертації та публікації.

За результатами дисертаційного дослідження було опубліковано 7 статей в наукових фахових виданнях, 5 з яких проіндексовані в міжнародній наукометричній базі Scopus, а також пройшли апробацію на 5 фахових конференціях, 3 з яких міжнародні та їх тези проіндексовані Scopus.

Оформлення дисертації.

Дисертація є завершеною науковою працею, використано загальноприйняті та зрозумілі позначення фізичних величин, основні наукові положення роботи сформульовано повно та зрозуміло. Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що висуваються до такого виду робіт і наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Текст дисертації написаний українською мовою в науковому стилі.

Практичне значення результатів дисертації.

Дисертація спрямована на розв'язання важливої практичної задачі, що полягає у створенні методів генерації та керування вихровими лазерними пучками терагерцового діапазона. Такі пучки є важливим елементом цілої низки практичних застосувань, до яких можна віднести

системи маніпулювання молекулами, візуалізації та діагностики з підвищеною розділовою здатністю, захищеного зв'язку тощо.

Дотримання академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації результатів роботи відсутні. Текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

В дисертаційній роботі присутні текстові помилки, наприклад:

- на стор. 31 останнє речення стверджує, що «ТГц вихрові пучки ... можуть забезпечувати ... космічне мікрохвильове фонове випромінювання»;
- на рис. 1.3, 1.4 та 1.6 в підписах згадується частина «б», а на малюнках вона позначена латинською «b»;
- на стор. 55 та 69 стверджується, що « U_{11} і U_{01} – корені рівняння $J_{n-1}(U_{nm}) = 0...$ » в той час, як я би очікував, що U_{01} – перший корінь функції Бесселя нульового порядку, а не -1 порядку, тобто $J_0(U_{nm}) = 0$.

Крім того, є низка зауважень і до наукової складової роботи:

- Для опису спіральної фазової пластини в роботі використана комплексна функція пропускання у полярній системі координат у стандартному вигляді (формули (2.6) та (3.5)). Зрозуміло, що це є наближення, яке не враховує дифракцію хвилі в межах пластинки та амплітудну модуляцію, яка є наслідком цієї дифракції. В оригінальних роботах для оптичного та міліметрового діапазонів, де ця формула була введена, чітко сформульовано, що це наближення

записано для певного класу пучків, які відомі в літературі під назвою пучки Лагера-Гаусса. Ці пучки мають певну структуру поля, що дозволяє їм розповсюджуватись у вільному просторі без зміни структури. В роботі ніде не наводяться результати порівняння властивостей розподілів полів для мод круглого хвилеводу та пучків Лагера-Гаусса. І хоча наявні експериментальні роботи підтверджують адекватність запропанованого наближення в реальних оптичних системах, але в роботі цей аналіз був би доречним.

- В роботі наведені результати числового моделювання розподілів пучків при їх взаємодії із спіральними фазовими пластинами з певним топологічним зарядом. Але, як на мою думку, в деяких випадках не вистачає детального аналізу розподілів, які виникають. Мова йде, наприклад, про розподіли фаз E_y компоненти у зоні Френеля для пучків, що формуються на основі TE_{01} (Рис. 2.6 а3 та а4) та TM_{01} (Рис. 2.10 б1 та б3) мод. На цих розподілах виникає асиметрія та петля фази поля. Більш того, не зовсім зрозуміло з яким топологічним зарядом ми маємо справу, на відміну від випадку HE_{11} хвилі (Рис. 2.3) Ще більш цікавим є зсув розподілів фази E_z компоненти поля вздовж осі Ox поблизу $y = 0$ в дальній зоні пучків на основі HE_{11} та TE_{11} мод (див. Рис. Б.2 та Б.4). Скоріш за все ці явища є результатом відмінності реальних розподілів полів відповідних мод від розподілів притаманних пучкам Лагера-Гаусса. І ці результати бажано було б підтвердити моделюванням іншими методами або експериментом, а також надати пояснення їх природі.

Слід зазначити, що наведені зауваження жодним чином не впливають на новизну та високе, на мою особисту думку, практичне значення отриманих в дисертації результатів і не заперечують обґрунтованість та наукову цінність наведених здобувачем висновків.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Свистунова Олега Олександровича «Динаміка лазерних пучків терагерцового діапазону з фазовими сингулярностями», є завершеним науковим дослідженням за актуальним напрямком та має наукову новизну та практичну значущість. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 – «Природничі науки», вимогам передбаченими наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44).

Вважаю, що здобувач Свистунов Олег Олександрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Кандидат фізико-математичних наук,
доцент, в.о. завідувача, доцент кафедри
теоретичної радіофізики факультету
радіофізики, біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Вячеслав ХАРДІКОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 21:23:20 11.05.2025

Назва файлу з підписом: рецензія_Хардіков ВВ_Свистунов.pdf.p7s
Розмір файлу з підписом: 451.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: рецензія_Хардіков ВВ_Свистунов.pdf
Розмір файлу без підпису: 434.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ХАРДІКОВ ВЯЧЕСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

П.І.Б.: ХАРДІКОВ ВЯЧЕСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2823209850

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 21:23:19 11.05.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000008253400123664C06

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00