

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Баськова Романа Анатолійовича

“Поширення лазерного випромінювання у турбулентній атмосфері”,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Внаслідок наявності в земній атмосфері температурних неоднорідностей, і як наслідок, неоднорідностей густини і флюктуацій показника заломлення у атмосфері генеруються оптичні неоднорідності, розміри яких варіюються від кількох міліметрів до десятків метрів. Такий широкий діапазон розмірів неоднорідностей призводить до негативних ефектів, таких як розширення пучка, відхилення пучка як цілого, фрагментація пучка. Велика кількість зіткнень із такими неоднорідностями атмосфери призводить до зміни часово-просторових властивостей лазерного пучка, до флюктуацій інтенсивності випромінювання. Як відомо флюктуації інтенсивності визначаються так званим сцинтиляційним індексом (нормоване середньоквадратичне значення даних флюктуацій), який дозволяє оцінити відношення сигнал/шум для пучка у атмосфері. Наявні нині строгі теорії, що описують сцинтиляції, застосовні лише для асимптотичних випадків слабкої та сильної турбулентності. В той же час для області помірної турбулентності досі нема надійних розв'язків. Усе вищесказане обумовлює загальнонаукову і практичну актуальність дисертаційної роботи Баськова Р.А., у якій автору вдалось суттєво просунутися глибше якраз в зону помірної турбулентності.

Дисертаційна робота присвячена дослідженням часово-просторових властивостей лазерного випромінювання, що поширюється в оптично неоднорідний атмосфері. Ці дослідження проведено в рамках методу функції розподілу фотонів у фазовому просторі. Раніше було показано, що для великих відстаней еволюцію функції розподілу можна описати беззіткневим рівнянням Больцмана, де вплив атмосфери проявляється як плавна випадкова сила, що пов'язана із градієнтом показника заломлення. Дисертантом було проаналізовано більш загальний випадок, коли зміни імпульсів при зіткненнях із неоднорідностями неможливо описа-

ти в термінах класичної сили. В роботі було виведено рівняння Больцмана-Ланжевена, де вплив неоднорідності атмосфери було враховано за допомогою інтегралу зіткнень та ланжевенівського джерела флюктуацій. Інтеграл зіткнень враховує взаємодію між фотонами та неоднорідностями атмосфери, в той час як ланжевенівське джерело враховує стохастичну природу такої взаємодії. Застосувавши теорію збурень для розв'язування кінетичного рівняння було описано слабку та перехід слабка-помірна турбулентність. Важливо, що отримані результати суттєво відрізняються якраз в зоні переходу слабка-помірна турбулентність від результатів, отриманих на основі вже існуючих більш простих моделей досліджуваного явища.

В дисертації в рамках теорії флюктуацій інтенсивність вдалося побудувати теоретичні моделі для слабкої, сильної та переходів слабка-помірна, помірно-сильна турбулентності, які узгоджуються із експериментальними даними. В рамках вивчення властивостей перших моментів для інтенсивності та функції розподілу було отримано аналітичний вираз для середнього значення функції розподілу фотонів і показано, що більший вклад дають значення функції для якої вектори координати та імпульсу паралельні і що дрейф фотонів призводить до асиметрії функції розподілу у фазовому просторі.

Необхідно відмітити, що в кожній із задач, яку вирішував дисертант, ним використовувались найзручніші методи та підходи, що дозволило суттєво просунути фронт досліджень і поставити нові, значно складніші, питання для майбутніх дослідників. Фактично, всі проведені дослідження є новими.

Практичне значення роботи, на мою думку, в тому, що отримані в ній результати можуть бути застосовані при побудові класичних та квантових систем зв'язку, систем віддаленого зондування. Необхідно також виділити представлений у дисертації опис області помірної турбулентності, яка є найменш дослідженою в межах строгих теорій, в той же час є найбільш затребуваною для практичних цілей.

Варто підкреслити, що і в дисертації, і в авторефераті чітко, по пунктах, визначений особистий внесок здобувача. Вважаю, що він вагомий і задовільняє відповідним положенням до кандидатських дисертацій.

Автором за матеріалами дисертації, яка складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 95 найменувань та додатку, опубліковано 4 статті у наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, та 3 тезах конференцій, зроблено доповіді на 3 міжнародних конференціях та проведено обговорення на наукових семінарах у вітчизняних та закордонних наукових інститутах.

До основних результатів дисертаційної роботи, отриманих пошукачем, можна віднести, на мій погляд, такі:

1) Доведено, що в режимі помірної турбулентності кореляції фотонних траєкторій мають визначний вплив на значення сцинтиляційного індексу. Проте, показано, що і для помірної турбулентності можливо значно зменшити сцинтиляції при використанні фазового дифузатора. Також продемонстровано, що в цій же області найбільше проявляється залежність сцинтиляційного індексу від радіуса апертури джерела.

2) Виведено кінетичне рівняння Больцмана-Ланжевена для функції розподілу фотонів у фазовому просторі з врахуванням впливу ефектів, обумовлених турбулентністю.

3) Доведено існування двох механізмів видовження лазерних імпульсів при поширенні в земній атмосфері, що пов'язані із наявністю оптичної неоднорідності: один механізм пов'язаний із флюктуаціями модуля групової швидкості у поздовжньому напрямку, а другий зі збільшенням поперечного імпульсу фотонів.

4) Знайдено вираз для кореляційної функції четвертого порядку для оптичних полів у атмосфері в наближенні великих відстаней поширення і показано, що кореляція інтенсивності в точках r і r' визначаються значеннями функції розподілу в точці $(r+r')/2$.

Аналіз дисертаційної роботи Баськова Р.А.. показав, що поряд з великим позитивним надбанням, до неї можна пред'явити й певні претензії. Зокрема, на мою думку, слід було б зробити такі зауваження:

1. У формулах (4.1) та (4.29) приведено різні позначення при означенні сцинтиляційного індексу. В одному для усереднення флюктуацій інтенсивності використано нормальне упорядкування операторів, а в другому звичайне із додатковими поясненнями в тексті. Такі позначення можуть заплутати.

2. В рамках застосування фазового змішувача, окрім розглянутої просторової когерентності, цікавим є також вплив часової когерентності. Чи має вона та-кий самий ефект на зменшення флюктуацій інтенсивності?

3. У дисертації при розгляді статистичних властивостей флюктуацій показника заломлення використано спектр Татарського, в якому нехтують значеннями максимальних розмірів оптичних неоднорідностей, L_0 . Проте багатьох практичних задачах значення максимальних масштабів неоднорідностей можуть відігравати суттєву роль.

Але ці зауваження ніяк не впливають на загальну надзвичайно позитивну оцінку дисертації. Резюмуючи, зазначу, що дисертаційне дослідження **Баськова Романа Анатолійовича "Поширення лазерного випромінювання у турбулентний атмосфері"** є логічно завершеною працею, яка виконана на високому рівні і в якій отримано низку нових цікавих результатів, і цей рівень і обсяг результатів дисертації говорять, що дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, що висуваються до дисертацій фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика. Вважаю, що **Баськов Роман Анатолійович цілком заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – «теоретична фізика».**

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри квантової теорії
 поля Київського національного університету
 імені Тараса Шевченка



Підпис завідувача кафедри квантової теорії поля Київського національного університету імені Тараса Шевченка, професора Вільчинського Станіслава Йосиповича засвідчує:

Коробко А.А.