

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої вченої ради Д 64.051.02
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
Міністерства освіти і науки України
щодо дисертації **Каліберди Мстислава Євгеновича**
«Чисельно-аналітичні методи в теорії дифракції хвиль на плоских екранах»,
поданої до спеціалізованої вченої ради Д 64.051.02 на здобуття наукового
ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 –
«радіофізика».

Комісія спеціалізованої вченої ради Д 64.051.02 Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України у складі членів ради:

голова комісії: доктор фізико-математичних наук (01.04.03), професор
Шульга Сергій Миколайович;

члени комісії: доктор фізико-математичних наук (01.04.03), професор
Катрич Віктор Олександрович;

доктор фізико-математичних наук (01.04.03), старший
науковий співробітник
Бердник Сергій Леонідович;

розглянувши дисертаційну роботу й автореферат доцента Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України Каліберди Мстислава Євгеновича «Чисельно-аналітичні методи в теорії дифракції хвиль на плоских екранах» **дійшла висновків:**

У дисертації Каліберди Мстислава Євгеновича вирішена актуальна наукова задача розвитку чисельно-аналітичних методів в теорії дифракції хвиль на багатоелементних структурах, побудови фізично коректних моделей для всебічного дослідження електродинамічних характеристик таких систем, включаючи системи, які базуються на використанні як ідеально провідних, так і імпедансних плоских екранів, що дозволяє проводити строгий електродинамічний аналіз і виконувати оптимізацію параметрів періодичних, напівнескінчених періодичних і обмежених багатоелементних структур з метою ефективного керування характеристиками розсіяних полів. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, виконаним на кафедрі фізики надвисоких частот у рамках тематичного плану Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна та є складовою частиною наступних науково-дослідних робіт: «Електродинаміка хвильових процесів у широкосмугових хвилеведучих та коливальних системах НВЧ та КВЧ діапазонів» (номер ДР: 0111U010367, здобувач – виконавець),

«Електродинаміка хвильових процесів у штучних середовищах (метаматеріалах)» (номер ДР: 0112U000563, здобувач – виконавець), «Фізичні закономірності хвильової взаємодії в гібридних металеводіелектричних структурах» (номер ДР: 0115U000465, здобувач – виконавець), «Електродинаміка антен, частотно-селективних та поглинаючих структур на основі багат шарових фрактальних решіток та метаматеріалів» (номер ДР: 0116U000819, здобувач – виконавець), «Електромагнітне моделювання мікро та нано лазерів з резонансними графеновими елементами, на порозі стаціонарного випромінювання» (номер ДР: 0123U102871, здобувач – виконавець), «Математичні моделі та фізичні основи розробки метаматеріалів на основі металевих та магнітодіелектричних періодичних структур, розробка електродинамічних методів проектування мікрострічкових та хвилеводних антен» (номер ДР: 0116U000036, здобувач – виконавець), «Розроблення концепції побудови когерентних джерел випромінювання і пристроїв терагерцового діапазону на основі керованих бреггівських та фотоннокристалічних структур» (номер ДР: 0119U002540, здобувач – виконавець), «Фізика хвильових процесів у багатомодових металеводіелектричних електродинамічних структурах НВЧ та КВЧ діапазонів» (номер ДР: 0118U002038, здобувач – виконавець), «Електродинамічні характеристики багат шарових графенових структур» (номер ДР: 0117U004964, здобувач – керівник), «Фізичні принципи побудови багатомодових металеводіелектричних електродинамічних структур НВЧ, КВЧ та терагерцового діапазонів» (номер ДР: 0119U002535, здобувач – виконавець), «Електродинаміка багатофункціональних елементів та випромінюючих систем з включеннями багат шарових штучних середовищ (метаматеріалів) та планарних надтонких плівок» (номер ДР: 0122U001486, здобувач – виконавець), «Моделювання параметрів і створення експериментальних зразків багатофункціональних елементів, випромінюючих систем і частотно-селективних поверхонь НВЧ, КВЧ і терагерцового діапазонів» (номер ДР: 0122U001436, здобувач – виконавець), «Розробка методів та засобів маскування критично важливих та літальних об'єктів у широкому радіочастотному діапазоні» (номер ДР: 0124U000670, здобувач – керівник).

1. Актуальність роботи.

Математичне моделювання та теоретичне дослідження явища дифракції електромагнітних хвиль на плоских ідеально провідних або матеріальних перешкодах є невід'ємною частиною радіофізичної науки. Поодинокі стрічки, системи стрічок, дисків, отворів і їхні об'єднання у багат шарові структури стали природними компонентами частотно-селективних поверхонь, антенних систем, сенсорів, поглиначів, збуджувачів та інше. Створення нових елементів і пристроїв НВЧ та ТГц діапазону потребує подальшого розвитку та вдосконалення існуючого математичного апарату. Побудова узагальнюючих моделей, максимально наближених до реальних фізичних об'єктів, на основі строгих математично обґрунтованих методів і стійких обчислювальних схем, дає можливість всебічного дослідження характеристик систем, передбачення

можливих нових фізичних ефектів та властивостей. Такі моделі дозволяють створювати алгоритми розрахунків, які практично не мають обмежень, на відміну від чисто числових методів.

Чисто числові методи, наприклад, використовують наближені умови випромінювання, не враховують умову на ребрі, яка з математичної точки зору необхідна для єдиності розв'язку. Тим самим точність обмежується декількома знаками, а також є імовірність того, що буде отримано невірний розв'язок взагалі. Деякі схеми навіть є нестійкими. Наближені асимптотичні методи також дозволяють отримувати результати з обмеженою точністю, описати лише основні фізичні ефекти, проте за набагато менший комп'ютерний час.

Науковій тематиці, яка пов'язана з дифракцією хвиль на плоских екранах, присвячена велика кількість робіт вчених (в тому числі й авторів Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна). Вдосконалення математичного апарату є невід'ємною частиною та передумовою аналізу фізичних явищ і ефектів. Дослідження цілого класу важливих об'єктів, таких як періодичні системи зі збоєм періодичності, системи, які комбінують розсіювачі різних типів, проводилося з суттєвими обмеженнями, наприклад, при певному співвідношенні розмірів елементів і довжини хвилі, відстані між ними. Сучасна електродинаміка, яка орієнтована на складнокомпозиційні багатопарові структури з елементами різного формоутворення, розвиток якої пов'язано, в тому числі, і з появою нових матеріалів, потребує подальшого вдосконалення математичного апарату.

Таким чином, розвинення чисельно-аналітичних методів, що аналітично враховують умови випромінювання та на ребрі, й які дозволяють отримати результати з будь-яким наперед заданим ступенем точності (який обмежується лише машинною точністю), при довільних співвідношеннях параметрів і за прийнятний час комп'ютерний обчислень є актуальною задачею.

Однією з важливих задач теоретичного моделювання є скорочення витрат, пов'язаних з ресурсномісткими експериментальними дослідженнями, прогнозування властивостей перспективних матеріалів або прогнозування властивостей у недосяжних на цей час діапазонах частот, особливо у ближньому ТГц діапазоні.

Важливим є розробка методів, які дозволяють суттєво зменшити час обчислень. У роботі пропонується підхід, при використанні якого складна багатоелементна перешкода подається у вигляді об'єднання більш простих, якими можуть виступати поодинокі стрічка, диск, отвір у площині й інше. Розв'язок так званої ключової задачі, задачі про дифракцію на поодинокій перешкоді є відомим або його отримано методами, які розвиваються у роботі. Властивості всієї структури визначаються з операторних рівнянь, за допомогою операторного методу. Ці рівняння, у підсумку, зводяться до матричних або інтегральних з подальшою дискретизацією на базі схеми, яка використовує квадратурні формули. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити час обчислень, який зростає не кубічно, а лінійно до кількості шарів.

Задачі про дифракцію на поодиноких неоднорідностях, які є складовими складної багатоелементної перешкоди, представляють і самостійний інтерес.

Важливо розробити методологію, яка дозволяє однаково ефективно досліджувати як ідеально провідні структури, які є у певному сенсі спрощенням, так і матеріальні. У якості прикладу імпедансної стрічки у роботі розглянуто стрічку з реально існуючого матеріалу, яким є графен. Графен – це відносно новий матеріал, який має низку корисних властивостей. Він є доволі міцним, у 100 разів міцніше за сталь, здатен підтримувати поверхневі плазмон-поляритонні хвилі та відповідні плазмонні резонанси вже у ближньому ТГц діапазоні, його властивостями можна керувати динамічно за рахунок прикладання електростатичного або магнітостатичного поля, тим самим змінюючи хімічний потенціал графену та, як наслідок, його провідність. Всі ці властивості обумовлюють перспективність використання графену у перестроюваних пристроях.

Електромагнітні властивості нових матеріалів, таких як, наприклад, графен, доволі точно описуються за допомогою використання імпедансних граничних умов у припущенні, що провідність є комплексно значною скалярною функцією. Тому розширення методів аналізу ідеально провідних стрічок на імпедансні стрічки є актуальною задачею.

Дослідження впливу краю на характеристики розсіяних полів потребує розвинення методів аналізу напівнескінчених структур. На відміну від класичної нескінченної ідеально періодичної структури, напівнескінченна система у розсіяному полі має хвилі з неперервним і дискретним спектром. Подальшим розвиненням моделі напівнескінченної структури є модель нескінченної періодичної, але зі збоєм у періодичності розташування елементів.

Потребує розв'язання актуальна задача дистанційного виявлення дефектів у багат шарових багатоелементних періодичних структурах шляхом аналізу розсіяного електромагнітного поля. Потребують вивчення системи при різних розмірах поодинокого розсіювача, відстані між ними, відстані між шарами. Розвинена теорія також може бути застосована і при аналізі антен з можливістю керування діаграмою спрямованості за рахунок виключення елементів з періодичного масиву.

Для ефективного керування характеристиками розсіяних полів необхідно розв'язання задачі оптимізації. Детерміністичні алгоритми мають суттєвий недолік, проблему збіжності до локального, а не глобального максимуму. До того ж в плані розвитку комп'ютерних технологій чітко просліджується тенденція до багатоядерності, багатопотоковості. Тому актуальним є розвиток паралельних недетермінованих стохастичних алгоритмів, одним з яких є паралельний генетичний алгоритм.

2. Новизна наукових положень і результатів, отриманих особисто здобувачем і поданих на захист.

1. Розроблено фізико-математичні моделі напівнескінчених систем неоднорідностей різних типів. З використанням операторного методу у сукупності з методом сингулярних інтегральних рівнянь і методом моментів

створено високоефективні обчислювальні алгоритми для розрахунку розсіяних полів та електродинамічних параметрів неоднорідностей.

2. Вперше отримано строгий розв'язок задачі про дифракцію плоскої електромагнітної хвилі на напівнескінченній решітці типу жалюзі як з ідеально-провідних, так і з імпедансних нескінченно тонких стрічок. Запропоновано розв'язок для напівнескінченної плоскої решітки.

3. На базі строгих методів кількісно визначено вплив краю стрічкових решіток на характеристики розсіяних полів, які мають як дискретний (плоскі хвилі), так і неперервний (циліндричні хвилі) спектри. Показано, що рівень відбиття від краю у бік опромінювача можна зменшити за рахунок розміщення додаткової скінченної решітки певної складної геометрії.

4. Вперше запропоновано процедуру регуляризації для виключення особливостей ядер операторних рівнянь для напівнескінченних структур, схему дискретизації на базі квадратурних формул, а також ітераційну процедуру з параметром релаксації для розв'язання нелінійного операторного рівняння.

5. Побудовано строгі розв'язки задач про дифракцію власних електромагнітних хвиль круглого хвилеводу на скінченній та напівнескінченній періодичних системах аксіально-симетричних неоднорідностей. Застосовано рекурентну процедуру до запису операторних рівнянь, що дозволило скоротити час обчислень. Проведено процедуру оптимізації параметрів на базі паралельного генетичного алгоритму.

6. Створено узагальнюючу теорію розсіяння електромагнітних хвиль на нескінченних періодичних решітках зі збоєм періодичності. Отримано строгі розв'язки задач про дифракцію та детально проаналізовано характеристики полів, які виникають за рахунок порушення періодичності.

7. Вперше з використанням розроблених строгих методів отримано результати про електродинамічні властивості каналу, сформованого на місці відсутніх стрічок двошарової нескінченної періодичної решітки.

8. Встановлено ступінь взаємозв'язку ідеально провідних і графенових стрічок у періодичних решітках, проаналізовано направляючі властивості таких структур.

9. Вперше показано, що у випадку графенової нескінченної решітки, на відміну від решіток з ідеально провідних стрічок, у яких спостерігалася сильна взаємодія стрічок лише поблизу аномалій Релея-Вуда, взаємодія графенових стрічок є помітно сильнішою як поблизу аномалії Релея-Вуда, так і поблизу плазмонних резонансів.

10. Вперше показано, що у випадку двошарової нескінченної графенової решітки без скінченної кількості стрічок шириною головної пелюстки діаграми спрямованості поля, яке пройшло, можна керувати, окрім зміни частоти або періоду, як у решітці з ідеально-провідних стрічок, ще й динамічно, за рахунок зміни хімічного потенціалу графену.

11. Розроблено узагальнюючу методологію для дослідження взаємодії імпедансних розсіювачів нульової товщини з плоскими електромагнітними хвилями.

12. Вперше отримано результати щодо електродинамічних характеристик графенових решіток, в тому числі напівнескінченної графенової стрічкової решітки у вакуумі та розміщеної в діелектричному хвилеводі, напівнескінченної системи шарів нескінченних графенових решіток у діелектричній плиті.

13. Виявлено та ретельно описано ефекти збудження цілої низки резонансів, що підтримуються розглянутими структурами, та їх вплив на характеристики полів: плазмонних резонансів, власних резонансів діелектричного шару, декількох типів резонансів, пов'язаних з періодичністю (резонанси поблизу аномалій Релея-Вуда, резонанси на решіткових модах, а також два типи резонансів, пов'язаних з періодичністю у розташуванні шарів). Проведено класифікацію резонансів.

14. Запропоновано способи керування характеристиками структур. Виявлено параметри, при яких спостерігається резонансне максимальне поглинання та розсіяння падаючої плоскої хвилі. Запропоновано способи розширення смуги поглинання за рахунок збудження вказаних резонансів.

15. Вперше показано, що одночасне збудження плазмонних резонансів та резонансів на решіткових модах забезпечує можливість суттєвого керування потужністю, яку переносять власні хвилі діелектричного хвилеводу.

16. Розроблено ефективний алгоритм оптимізації параметрів розглянутих електродинамічних структур на базі паралельного генетичного алгоритму.

17. Операторний метод розвинено для дослідження характеристик структур, розсіяні поля в яких формуються циліндричними та сферичними хвилями, а також є суперпозицією хвиль трьох типів: плоскої, циліндричної і сферичної. Запропоновано уніфіковану процедуру запису рівнянь, застосування єдиних процедур регуляризації та дискретизації.

18. Вперше операторний метод застосовано для аналізу дифракції плоскої електромагнітної й акустичної хвилі на нескінченно тонкому кільці або кільцевій щілині у площині.

19. Вперше отримано строгий розв'язок задачі про дифракцію плоскої електромагнітної хвилі на ідеально провідній структурі, яка складається з напівплощини та системи дисків.

20. Запропоновано процедуру регуляризації для виключення особливостей ядер в інтегральних рівняннях. Розроблено схему дискретизації рівнянь.

21. Показано, що навіть у випадку, коли диск не освітлюється падаючою плоскою хвилею, а цілком знаходиться у області тіні від напівплощини, відбувається збудження циліндричних хвиль.

Наукові положення і результати, які виносилися на захист у кандидатській дисертації Каліберди Мстислава Євгеновича «Метод спектральних операторів розсіяння у задачах дифракції хвиль на багатоеlementних послідовностях неоднорідностей» у 2013 році,

спеціальність 01.04.03 – «радіофізика», не винесені на захист у його докторській дисертації

3. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, що виносяться на захист, забезпечуються коректним використанням фундаментальних підходів і методів математичної фізики, методів числового аналізу та оптимізації. Формулювання граничних умов і постановку граничних задач виконано в рамках широко відомих ідеалізацій (двомірність задач, ідеальна провідність стрічок, скалярна природа провідності графену та ін.). Ці ідеалізації дозволяють адекватно описувати фізичні процеси. Методи, які розвинені, є математично обґрунтованими, збіжність наближеного розв'язку до точного підкріплюється відповідними математичними теоремами. В кожному розділі проведено числове дослідження збіжності. Показано, що похибка спадає при збільшенні кількості вузлів інтерполяції, порядку редукції матриці. Числові результати, отримані в дисертації, у деяких граничних випадках порівнюються з результатами, отриманими іншими авторами та відомими з літератури, або з результатами, отриманими за допомогою комерційних пакетів. В роботі розв'язки низки задач отримано різними методами та проведено їх порівняння. Проведено перевірку виконання закону збереження енергії. Все вищезазначене дозволяє бути впевненим у вірності отриманих результатів, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

4. Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь використання (впровадження)

Сукупність отриманих результатів на базі розвинених строгих методів і узагальнення методології моделювання електродинамічних характеристик плоских екранів, в тому числі з імпедансними границями, зробили вагомий внесок в розвиток наукового напрямку – електродинаміку періодичних структур, розширили фундаментальні знання про фізичні процеси взаємодії полів різної природи зі складними композиційними електродинамічними структурами.

Побудовані та реалізовані у вигляді алгоритмів багатокритеріального моделювання параметрів розглянутих структур математичні моделі дозволили реалізувати ще один етап в еволюції важливого напрямку прикладної електродинаміки, який пов'язано зі створенням систем автоматизованого проєктування частотно-селективних поверхней, антенних систем, фільтрів, цілого класу керованих збуджувачів, поглиначів надвисокочастотного, субтерагерцового та терагерцового діапазонів частот. Привабливість запропонованих і реалізованих алгоритмів у порівнянні з різними комерційними пакетами полягає в тому, що ці алгоритми дозволяють здійснювати контроль точності розрахунків на всіх етапах моделювання та створювати систему взаємозв'язку між різними алгоритмами, що є істотним при проведенні процедури оптимізації параметрів.

На базі запропонованого підходу встановлено потенційні можливості електродинамічних структур, які моделюють реальні об'єкти, при наявності ряду факторів, що впливають на процеси взаємодії електромагнітних хвиль у них. При розв'язанні задач дефектоскопії в реальних багатоелементних періодичних об'єктах наявність дефекту може бути встановлено по розсіяних полях на базі побудованих моделей систем зі збоєм періодичності, при створенні датчиків для контролю та вимірювання діелектричної та магнітної проникностей матеріалів і сумішей вагомими є результати розрахунків електродинамічних характеристик хвилеводних систем з матеріальними включеннями, при створенні перестроюваних частотно-селективних поверхонь, поглиначів і антенних систем з контрольованою діаграмою спрямованості практично важливими та перспективними є багатопарові періодичні структури зі збоєм періодичності та графеновими включеннями.

Ще одним фактором, який визначає практичну цінність, – є фактор ресурсозбереження. Розвинені методи та побудовані моделі дозволяють передбачати характеристики тієї чи іншої структури і, при цьому, істотно скоротити матеріальні та часові затрати при створенні реальних функціональних пристроїв, що є дуже важливим при застосуванні дорогих матеріалів і елементів (наприклад, графена).

Побудовані алгоритми реалізовано у вигляді комп'ютерних програм, на які отримано авторські свідоцтва на право інтелектуальної власності.

В дисертації отримано фундаментальні теоретичні результати про взаємодію хвиль різної природи з системами неоднорідностей, які складаються з плоских екранів, розроблена уніфікована методологія розв'язання цілого класу задач про дифракцію. Побудовані у роботі математичні моделі й алгоритми сприятимуть подальшому розвитку важливого наукового напрямку прикладної електродинаміки, орієнтованого на розробку теоретичних основ автоматизованого проектування цілого класу сучасних антенних систем і пристроїв різного призначення НВЧ, терагерцового та субтерагерцового діапазонів хвиль.

Результати роботи впроваджено у курси, які викладаються на кафедрі фізики надвисоких частот "Теорія інтегральних рівнянь", "Фізичні основи оптоволоконних приладів", "Методи розв'язання електродинамічних задач", "Моделювання параметрів НВЧ приладів", "Дифракція електромагнітних хвиль на метаматеріалах".

5. Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації.

Основний зміст дисертації та положення, що виносяться на захист, повністю відображено в поданих **79** наукових працях, серед яких **4** монографії (**1** з яких англomовна у видавництві Cambridge Scientific Publishers), **11** статей у наукових фахових виданнях України, **29** статей у фахових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, **1** стаття у фахових закордонних виданнях (які не входять до SCOPUS), **34** тези доповідей

на наукових конференціях. Також наукові результати додатково відображено у 7 статтях, 2 тезах доповідей, 9 свідоцтвах про авторське право.

Усі публікації відповідають сучасному рівню науки, опубліковано за тематикою дисертації.

Публікації повністю відображають зміст дисертації та опубліковані згідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 р. №1220. Всі нові наукові результати, що містяться в тексті дисертації, опубліковано у фахових виданнях необхідного рівня.

На підставі вивчення дисертації здобувача, автореферату дисертації, наукових праць здобувача та довідки про наявність запозичень з інших документів в антиплагіатній системі Strikeplagiarism.com комісія спеціалізованої вченої ради дійшла висновку, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності. Довідка додається.

6. Особистий внесок.

У роботах [1], [3] здобувач виконав постановку та розв'язання граничних задач, комп'ютерне моделювання, аналіз та узагальнення отриманих результатів. У роботах [2], [4] здобувач виконав розв'язання задач дифракції на структурах, розсіяні поля в яких мають одночасно дискретний та неперервний спектр, розв'язання задач дифракції на системах перешкод у хвилеводах, оптимізація параметрів, аналіз та узагальнення отриманих результатів. У роботах [5], [6], [12], [15], [16], [18], [38], [40], [41], [42], [43], [44] здобувач виконав побудову математичної моделі, аналіз фізичних результатів. У роботах [8], [9], [17], [22] здобувач виконав постановку задачі, вибір методу розв'язання, побудову математичної моделі, аналіз фізичних результатів. У роботах [13], [14], [24], [25], [26], [28], [30], [31], [35], [36] здобувач виконав постановку задачі, вибір методу розв'язання, отримав сингулярне інтегральне рівняння, провів аналіз фізичних результатів. У роботах [10], [19], [21], [23], [27], [29], [33], [34], [45] здобувач виконав вибір методу розв'язання, отримав сингулярне інтегральне рівняння, провів аналіз фізичних результатів. У роботах [11], [37], [39] здобувач виконав постановку задачі, вибір методу розв'язання, отримав сингулярне інтегральне рівняння, провів оптимізацію параметрів, виконав аналіз фізичних результатів. У роботах [20], [32] здобувач вибрав метод розв'язання, побудував математичну модель, провів аналіз фізичних результатів. У роботі [7] здобувач виконав постановку задачі, провів оптимізацію параметрів, виконав аналіз фізичних результатів.

7. Відповідність дисертації обраній спеціальності та профілю спеціалізованої вченої ради.

Напрямок наукових досліджень і зміст дисертації **Каліберди Мстислава Євгеновича** «Чисельно-аналітичні методи в теорії дифракції хвиль на плоских екранах» відповідають кваліфікаційним ознакам паспорту спеціальності 01.04.03 – «радіофізика» за напрямками: теорія електромагнітних хвиль та

коливань; дифракція, інтерференція, розсіювання, поляризація хвиль; розповсюдження хвиль в багат шарових та неоднорідних структурах і надрешітках; поля та хвилі у відкритих системах; дослідження та математичне моделювання в електродинамічних системах та середовищах. Роботу присвячено вивченню процесів розповсюдження, дифракції та розсіювання електромагнітних хвиль.

Зміст дисертації **Каліберди Мстислава Євгеновича** відповідає профілю спеціалізованої вченої ради Д 64.051.02.

8. Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження наукових ступенів».

За актуальністю, рівнем наукової новизни, обсягом виконаних досліджень, достовірністю сформульованих висновків та практичною цінністю дисертаційна робота **Каліберди Мстислава Євгеновича** «Чисельно-аналітичні методи в теорії дифракції хвиль на плоских екранах» повністю відповідає вимогам “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197 (зі змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024).

9. Рекомендовані офіційні опоненти:

Мележик Петро Миколайович, доктор фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), академік, старший науковий співробітник, радник при дирекції Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України, м. Харків;

Куриляк Дозислав Богданович, доктор фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), професор, провідний науковий співробітник відділу теорії хвильових процесів та оптичних систем діагностики Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України, м. Львів;

Ячин Володимир Васильович, доктор фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), старший дослідник, завідувач науково-дослідного відділу теоретичної радіофізики Радіоастрономічного інституту Національної академії наук України, м. Харків.

Автореферат відповідає змісту дисертації і може у поданому вигляді бути надрукований у кількості 100 примірників після опублікування Повідомлення про захист дисертації на сайті МОН України.

Перелік адрес для розсилки автореферату додається.

У цілому комісія вважає, що дисертаційна робота **Каліберди Мстислава Євгеновича** виконана на високому рівні, є цілісним науковим дослідженням, відповідає вимогам до докторських дисертацій.

Комісія рекомендує спеціалізованій вченій раді:

1. Прийняти дисертацію **Каліберди Мстислава Євгеновича** до захисту.

2. Призначити офіційними опонентами:

Мележика Петро Миколайовича, доктора фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), академіка, старшого наукового співробітника, радника при дирекції Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України, м. Харків;

Куриляка Дозислава Богдановича, доктора фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), професора, провідного наукового співробітника відділу теорії хвильових процесів та оптичних систем діагностики Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України, м. Львів;

Ячина Володимира Васильовича, доктора фізико-математичних наук (01.04.03 – «радіофізика»), старшого дослідника, завідувач науково-дослідного відділу теоретичної радіофізики Радіоастрономічного інституту Національної академії наук України, м. Харків.

3. Затвердити перелік адрес розсилки автореферату (перелік додається);

4. Автореферат відповідає змісту дисертації та може бути в поданому вигляді надруковано українською мовою у кількості 100 примірників на правах рукопису після опублікування Повідомлення про захист дисертації на сайті МОН України.

Голова Комісії

доктор фізико-математичних наук,
професор

Сергій ШУЛЬГА

Члени комісії:

доктор фізико-математичних наук,
професор



Віктор КАТРИЧ

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Сергій БЕРДНИК

05 ГРУДНЯ 2024 Р.