

## ВІДГУК

офіційного опонента Просвірніна Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Слюсаренко Ганни Олександрівни «Розсіяння електромагнітних хвиль двовимірно-періодичними структурами: розробка і реалізація строгих методів аналізу в часовій області», яка подана до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальних теоретичних задач електродинамічної теорії двовимірно-періодичних структур. Розглядаються дифракційні ґратки - періодичні в двох просторових напрямках і обмежені за товщиною, та 2-D фотонні кристали - нескінченні та просторово обмежені. Такі структури давно привертають увагу дослідників - вже накопичено достатньо великий обсяг результатів, та й проблемних питань виникло чимало. Останні, по суті, і є підставою для постановки ключових задач дисертації, тож її тему треба визнати актуальною, а зроблене дослідження - своєчасним, таким, що відповідає запитам як теорії, так і практики. Без достовірного аналізу фундаментальних і прикладних задач теорії двовимірно-періодичних структур практично неможливий прогрес у низці ключових областей науки і техніки, успішне створення і використання штучних матеріалів з нестандартними електромагнітними властивостями. Актуальність теми дисертації підтверджується і тим, що дослідження, які проведено, здійснювалися відповідно до плану науково-дослідних робіт Інституту радіофізики та електроніки ім. А.Я. Усикова НАН України в рамках фундаментальної держбюджетної НДР, що присвячена, зокрема, розробці та впровадженню нових методів обчислювальної радіофізики, теоретичному і експериментальному дослідженню трансформацій електромагнітних полів гіга-, терагерцевого і оптичного діапазонів в об'єктах і середовищах антропогенного і природного походження, аналізу і синтезу нових вузлів і пристроїв резонансної квазіоптики, твердотільної електроніки, імпульсної та антенної техніки.

**Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації та їх достовірності.** Отримані в дисертаційній роботі результати, зроблені з них висновки, не суперечать відомим загальноприйнятим положенням сучасної радіофізики. Достовірність і обґрунтованість аналітичних результатів і висновків, що на них базуються, не викликає сумнівів, тому що відповідний аналіз був проведений з використанням формально строгих математичних побудов і добре апробованих модельних припущень. Алгоритми і програми, що використовувалися при проведенні обчислювальних експериментів з вивчення фізики хвильових і коливальних процесів в просторово обмежених фотонних кристалах, попередньо були добре протестовані, в тому числі, й порівнянням з числовими результатами інших авторів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Дисертація складається зі вступу, трьох основних розділів і висновків. Вступ містить інформацію, яка стисло представляє стан проблеми, обґрунтування актуальності теми дисертації і вибору її ключових задач, мети дослідження, новизну і практичне значення отриманих результатів. Матеріал викладається логічно і грамотно. Перший розділ – це огляд літератури за темою дисертації. Тут правильно і досить повно відзначені всі основні досягнення у розвитку відповідного наукового напрямку і проблеми, вирішенню яких слід було б приділити увагу, і які далі були частково переформульовані у вигляді задач до подальшого розгляду в основних частинах дисертаційної роботи.

Основні оригінальні результати дисертації викладено в другому і третьому її розділах. Досить строгі з формальної точки зору підходи і методи, що використовуються і розвиваються автором, дозволили отримати цікаві як для теорії, так і для можливих практичних застосувань результати. Новизну деяких з них відзначаю окремо:

1) вперше здійснена математично і фізично коректна постановка модельних початково-крайових задач електродинамічної теорії двовимірно-періодичних ґраток, розв'язання яких, конвертоване в частотну область, дозволяє аналізувати нетривіальний випадок похилого падіння плоских хвиль на такі структури.

2) метод точних поглинаючих умов, що переконливо довів свою ефективність при розв'язанні широкого кола двовимірних скалярних початково-крайових задач обчислювальної електродинаміки, було акуратно узагальнено на випадок вивчення двовимірно-періодичних ґраток і 2-D просторово обмежених фотонних кристалів.

3) розвинуто метод транспортних операторів – просторово-часовий аналог методу узагальнених матриць розсіяння частотної області. Цей результат важливий для скорочення обчислювальних ресурсів під час розрахунку багаточарових ґраток і ґраток на однорідних товстих підкладнях методами кінцевих різниць та кінцевих елементів.

4) отримано ряд важливих аналітичних результатів, що пов'язані з аналізом частотних спектрів двовимірно-періодичних дифракційних ґраток і 2-D нескінченних фотонних кристалів. Розроблено ефективну схему аналітичної регуляризації спектральних задач теорії 2-D фотонних кристалів. Ці результати дають можливість розпочати побудову повноцінної спектральної теорії відповідних двовимірно-періодичних структур, теорії, без залучення положень якої важко говорити про достовірний фізичний аналіз процесів резонансного розсіяння хвиль такими електродинамічними об'єктами.

5) в обчислювальних експериментах з моделями методу точних поглинаючих умов отримані нові фізичні результати, які стосуються особливостей у формуванні заборонених зон обмежених за товщиною і компактних 2-D фотонних кристалів. Проаналізовано цікаві для практики ефекти накопичення енергії в резонансних порожнинах компактних кристалів та ефекти, які супроводжують поширення, розсіяння і випромінювання

імпульсних і монохроматичних хвиль в фотонних кристалах з «дефектами». Розроблено методику аналізу таких структур, яка дозволяє достовірно оцифровувати відповідні ефекти так, як це робиться в класичній теорії хвилеводів і різних хвилеводних елементів – розширень, розгалужень, поворотів та ін.

**Практичне значення** одержаних результатів дисертації полягає в тому, що вони доповнюють відомі уявлення про хвильові та коливальні процеси в двовимірно-періодичних дифракційних ґратках та 2-D просторово обмежених фотонних кристалах, які, завдяки своїм властивостям можуть знайти широке застосування в приладах і пристроях мікрохвильової та оптичної електроніки, при створенні нових штучних матеріалів, характеристики яких визначаються їх просторовою структурою, а не властивостями окремих речовин, з яких вони складаються. У дисертації побудована надійна аналітична база для розв'язання актуальних теоретичних і прикладних задач обчислювальної електродинаміки, що пов'язані з аналізом і синтезом розглянутих двовимірно-періодичних структур. Якісні та кількісні результати дисертаційної роботи, виявлені й вивчені закономірності та особливості в просторово-часових і просторово-частотних трансформаціях електромагнітних хвиль в «дефектних» просторово обмежених кристалах дають відповідь на низку питань, які давно стоять перед теоретиками та практиками і, безсумнівно, будуть з інтересом сприйняті в центрах передових радіотехнічних технологій, таких, наприклад, як Інститут радіофізики та електроніки ім. А. Я. Усикова НАН України та Радіоастрономічний інститут НАН України. З використанням основних результатів дисертаційної роботи можуть бути побудовані спеціальні курси для студентів і аспірантів, що спеціалізуються в області обчислювальної електродинаміки, радіофізики та електроніки, хвильової оптики.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Матеріали дисертації добре апробовані. Всі результати дисертації були детально і своєчасно опубліковані в 7 статтях у провідних реферованих журналах за фахом, як вітчизняних, так і закордонних, і в 7 тезах доповідей на міжнародних конференціях.

Дисертація є закінченою науковою роботою, всі поставлені задачі якої вирішені на досить хорошому рівні. Вона написана чіткою, ясною мовою з використанням загальноприйнятої термінології і належним чином оформлена. Текст автореферату досить повно відображає зміст дисертації.

#### **Недоліки та зауваження.**

1. Аналітичні результати підрозділів 2.5, 2.6 отримані для випадку, коли серед просторових гармонік повного поля в зонах відбиття та проходження двовимірно-періодичної ґратки немає таких, які відповідають тут ТЕМ-хвилям регулярних каналів Флоке. Тобто з розгляду випав важливий для практики випадок нормального падіння плоских хвиль на періодичну структуру.

2. У розділі 2 побудовані надійні й ефективні алгоритми числового розв'язання векторних початково-крайових задач електродинамічної теорії двовимірно-періодичних ґраток. Але обчислювальні експерименти, результати

яких представлені в дисертації, проведені тільки зі скалярними моделями методу точних поглинаючих умов.

**Загальний висновок.** В роботі вирішена актуальна наукова задача в області радіофізики, а саме: розроблено та реалізовано строгі та ефективні методи розв'язання початково-крайових задач електродинамічної теорії двовимірно-періодичних структур; отримано ряд нових фізичних результатів, що стосуються особливостей формування заборонених зон обмежених за товщиною і в компактних 2-D фотонних кристалах, цікавих для практики ефектів накопичення енергії в резонансних порожнинах компактних кристалів і ефектів, які супроводжують процеси поширення розсіяння і випромінювання імпульсних і монохроматичних хвиль в фотонних кристалах з «дефектами».

Зазначені недоліки і зроблені у зв'язку з цим зауваження не змінюють загальну високу оцінку рецензованої роботи. Вважаю, що вона повністю відповідає всім кваліфікаційним вимогам МОН України, що пред'являються до дисертацій, зокрема, п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Ганна Олександрівна Слюсаренко, заслуговує присвоєння їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент:

зав. відділом теоретичної радіофізики  
Радіоастрономічного інституту НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор  
«10» листопада 2017 р.

С.Л. Просвірнін

Підпис доктора фізико-математичних наук,  
професора Просвірніна Сергія Леонідовича засвідчую.

Вчений секретар РІ НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук  
«10» листопада 2017 р.



А.П. Удовенко