

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента на дисертацію Натарова Дениса Михайловича  
"Плазмонні та граткові моди в розсіянні, поглинанні та випромінюванні  
світлових хвиль скінченними решітками з нанониток",

представлену на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.03 - радіофізика

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

Прогрес в розвитку радіофізики завжди пов'язаний з освоєнням нових спектральних діапазонів і пошуком нових можливостей в уже освоєних. Короткохвильовим діапазнам (міліметровому, терагерцовому, оптичному) завжди приділялась велика увага, і на передній план виступав то один, то інший. В останні роки розвиток нанотехнологій викликав появу великої кількості наукових праць з застосування виявлених ефектів в оптиці. Пояснюється це тим, що з'явилась можливість побудови пристроїв, розміри яких порівняні або менші від довжини хвилі оптичного випромінювання. Це дало можливість створення нових пристроїв для керування параметрами оптичного випромінювання.

В дисертації Д.М. Натарова досліджуються ефекти взаємодії електромагнітного випромінювання з решітками, які складаються з елементів нанометрових розмірів – діелектричних та металевих нанониток. Такі конструкції мають цікаві особливості, які можуть знайти застосування в радіофізиці як наноантени, біосенсори, поглиначі випромінювання, фільтри та ін.

Розв'язання конкретних завдань в дисертації спрямоване на вирішення важливої наукової задачі – встановлення фізичних закономірностей і особливостей взаємодії електромагнітних хвиль з наноструктурами. Важливість проведених досліджень обумовлена як науковою цінністю одержаних результатів, так і великим значенням для прикладних застосувань. Одержані автором теоретичні результати дають напрямок для експериментальних досліджень в цій галузі. Тому тематика дисертації Д.М.Натарова актуальна як в теоретичному, так і в прикладному плані і становить інтерес для дослідників, які працюють в галузі радіофізики і в галузі нанотехнологій.

Про актуальність, наукову та практичну значимість дисертації свідчить і те, що вона виконувалася в рамках декількох держбюджетних науково-дослідних робіт ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України і в рамках співробітництва з науковими установами Франції, Чехії, Туреччини. Робота була підтримана декількома науковими стипендіями.

### **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна**

Дослідницьке завдання в дисертації Д.М. Натарова поставлене аргументовано і переконливо. Представлені наукові положення, висновки і рекомендації виглядають добре обґрунтованими. Це забезпечується добре апробованими методами розрахунків і ясним, логічним викладенням матеріалу.

Дисертація Д.М.Натарова складається зі вступу, що містить загальну характеристику роботи, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків.

**У розділі 1** проведено огляд літератури і методів, якими досліджувалась проблема розсіяння випромінювання на решітках з циліндричних елементів. Простежено їх розвиток по мірі змін конкретних задач і розвитку аналітичних та числових методів. Проаналізовані їх переваги і недоліки. Обґрунтовано вибір метода, яким користувався автор.

Розглянуте питання про діелектричну проникність срібла в оптичному діапазоні. Відомо, що її значення неоднакове для різних зразків. Тому важливо, щоб прийняте в роботі математичне наближення добре описувало характерні особливості поведінки цього параметра в вибраному діапазоні довжин хвиль. Автор зробив детальний огляд математичних моделей, які застосовуються зараз, і вибрав один з них. З непротиворечивості одержаних ним далі результатів витікає, що обрана ним модель хороша.

Перераховані основні параметри взаємодії випромінювання з об'єктами, які будуть досліджуватися в роботі – розсіяння, поглинання, послаблення, і наведені основні співвідношення для них.

Значну увагу автор приділив нанолазерам як одним з нових об'єктів досліджень. Проаналізована теперішня ситуація, і вибрано напрям робіт по цій темі.

**У розділі 2** описується розв'язання задачі дифракції електромагнітної хвилі на решітках з діелектричних та срібних нанониток. Розглянуті випадки одиночних ниток, нескінчених та скінчених решіток, Е – та Н – поляризацій випромінювання. Досліджено положення і характер резонансів – плазмонних і ґраткових. Розраховано розподіл поля біля ниток. На основі одержаних результатів пояснені особливості поведінки поверхневих хвиль, що з'являються при цьому.

Проведено порівняння результатів для скінчених і нескінчених решіток. Показано, при яких умовах ці результати однакові, а коли вони відрізняються один від другого.

**Розділ 3** присвячено аналізу характеристик взаємодії випромінювання з різними конфігураціями об'єктів з срібних нанониток – кутами, хрестами, одно – і багат шаровими решітками, параболічним рефлектором з нанониток. Досліджені особливості плазмонних та ґраткових резонансів в таких структурах. Знайдено розподіл ближнього поля біля них. Показано, що деякі структури можна використовувати як селективні поглиначі оптичного випромінювання в реальних системах, наприклад, в сонячних батареях.

Розглянуте питання про вплив на поглинання і розсіяння наявності зовнішнього середовища з нерегулярними характеристиками.

**У розділі 4** розглянута задача математичного моделювання процесів в нанолазерах на основі нановолокон. Розглянуто два їх типи – срібна нанонитка з акти-

вною оболонкою і срібна нанотрубка з активними оболонкою і серцевиною. Обчислені поля в таких волокнах.

В цих розрахунках важливу роль грає вибір математичного представлення спектральної залежності діелектричної проникності срібла. Це питання було проаналізоване, і порівняно декілька аналітичних моделей.

Проведено аналіз порогу самозбудження та довжин хвиль і мод, які можуть генеруватися. Зроблено висновок, що конфігурація нанотрубки з двома активними зонами більш приваблива.

Розглянуто і деякі конфігурації з решітками. Наявність ґраткових резонансів показує, що це може понизити поріг самозбудження.

Проведено аналіз конфігурацій власних мод, які можуть збуджуватися, для різних варіантів нанониток.

### **3. Достовірність та наукова новизна отриманих результатів**

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, визначаються коректністю постановки задач, і тим, що при розв'язанні задач використовувалися добре апробовані методи теоретичної радіофізики, математичні і обчислювальні моделі, а також коректністю прийнятих допущень, збіжністю обчислювальних процесів.

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів полягає в наступному:

1. В результаті розв'язання задач дифракції електромагнітного випромінювання на решітках з нанониток виявлені нові фізичні ефекти – наявність декількох типів резонансів на плазмонних та ґраткових модах. Ці резонанси – причина прозорості решіток на деяких частотах.

2. Проведено порівняльний аналіз основних властивостей скінчених і нескінчених решіток. Визначено, коли ці властивості відрізняються і коли вони близькі між собою.

3. Виявлено, наскільки резонанси чутливі до відхилень від регулярності. Це питання важливе для проблеми практичного застосування решіток.

4. Проведена оцінка частот генерації, порога збудження і конфігурації мод нанолазерів на основі срібних нанониток з активними серцевинами і оболонками.

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

Аналіз сукупності наукових результатів і положень дозволяє зробити висновок про їх внутрішню єдність і про завершеність роботи.

Дисертація написана цілком зрозумілою мовою, грамотно, науково-технічна термінологія використовується вірно, згідно з існуючими стандартами, структура роботи логічна.

Основні результати опубліковані в 7 статтях у профільних наукових виданнях та в 30 роботах у збірниках праць наукових конференцій. Основні положення дисертації пройшли апробацію більш, ніж на 15 міжнародних наукових конференціях і на наукових семінарах. Результати роботи повністю відображені в зазначених публікаціях. Опубліковані статті за своїм змістом не дублюють одна одну.

Всі опубліковані наукові праці відповідають темі дисертації. Зміст автореферату відповідає тексту дисертації.

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

Наукова і практична значимість результатів дисертаційної роботи Д.М.Натарова полягає в тому, що отримані в ній результати дозволяють розширити фізичні уявлення про взаємодію електромагнітного випромінювання з структурами на основі діелектричних та металевих нанониток. Вони мають фундаментальне значення, а також можуть знайти застосування при проектуванні приладів антенної техніки, біосенсорів, в лазерній техніці тощо.

Дисертаційна робота представляє наукову і практичну цінність для фахівців в області обчислювальної електродинаміки, квантової радіофізики, лазерної техніки. Результати, отримані при її виконанні, можна рекомендувати для застосування в установах як науково-дослідницького, так і виробничого напрямків.

## **6. Недоліки та зауваження**

1. В дисертації аналізуються властивості нанониток і резонансні явища, в основному, в нитках з діаметрами від 50 до 500 нм. Але, можливо, якісь цікаві ефекти можуть спостерігатись і в більш тонких, і в більш товстих нитках. Якщо такий аналіз і проводився, то про це в дисертації не сказано.

2. В розділі 3 дослідження проведені тільки для Н-хвилі. А що буде для Е-хвилі? Про це нічого не сказано.

3. Чому в розділі 3 вибрані саме такі конфігурації (хрест, кут і т. д.)? Чим цікаві саме вони?

4. При вивченні впливу на резонанси відхилень від періодичності був вибраний не прямий шлях до цього, а вивчався вплив хаотичного зовнішнього середовища. Це цікаве питання, але не зовсім те, яке планувалось дослідити.

5. Є неточності в термінології:

- Діелектрична проникність середовища в дисертації називається діелектричною функцією.
- Повний переріз розсіяння (ППР) – це, як видно з тексту, переріз розсіяння + поглинання. Тоді це – послаблення.
- Світлове випромінювання за визначенням в літературі займає спектр від 240 нм до 1 мм. Той спектральний діапазон, який досліджується в дисертації – це видимий діапазон спектру.

## **7. Висновки**

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку дисертації Д.М.Натарова і не стосуються її основних результатів і висновків. Подана до захисту робота є завершеним дослідженням і містить важливі наукові результати. Автором розроблений алгоритм обчислень для дослідження взаємодії електромагнітного випромінювання з решітками металевих та діелектричних нанониток. Його застосування дозволило вивчити явища плазмового та ґратового резонансів, оцінити

розсіяння, поглинання та пропускання випромінювання такими решітками і конструкціями з них. Одержані результати мають самостійне значення для фізики і, безперечно, будуть корисні при проведенні експериментальних досліджень.

Важливо, що дисертація показує напрямки експериментальних досліджень, які треба провести.

За тематикою проведених досліджень, змістом і результатами дисертація Д.М. Натарова відповідає спеціальності 01.04.03 – радіофізика. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і представлені на конференціях і симпозіумах, що проводилися за тематикою досліджень.

Автореферат відповідає змісту дисертації.

Виклад матеріалу в дисертації і авторефераті відповідає сучасним вимогам, вона написана грамотно, хорошою науково-літературною мовою.

Вважаю, що за актуальністю, обсягом та новизною дисертація «Плазмонні та ґраткові моди в розсіянні, поглинанні та випромінюванні світлових хвиль скінченними решітками з нанониток» відповідає вимогам, зазначених у п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Натаров Денис Михайлович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор кафедри фізики  
Національного фармацевтичного університету

Кокодій М.Г.

13 березня 2019 року

Підпис Кокодія М.Г. засвідчую.  
Начальник відділу кадрів  
Національного фармацевтичного університету



Подстрелова З.Ф.