

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, провідного наукового співробітника відділу теоретичної радіофізики Радіоастрономічного інституту НАН України Грибовського Олександра Володимировича на дисертаційну роботу Острижного Євгенія Михайловича «Електродинамічні властивості кіральних об'єктів зі штучною оптичною активністю в мікрохвильовому діапазоні», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – фізика та астрономія

**Актуальність роботи** полягає у застосуванні сучасних методів обчислювальної електродинаміки для пошуку та конкретної реалізації нових пристроїв мікрохвильової техніки. В роботі розглянуто хвилевідні вузли, що перетворюють поляризацію сигналів шляхом використання метаматеріальних комірок (так званих метаатомів), що забезпечують штучну оптичну активність. Такі метаматеріали зазвичай реалізуються у вигляді багат шарових двовимірно-періодичних структур, що мають властивості змінювати поляризацію падаючої хвилі. Серед численних публікацій на цю тему підхід автора відрізняється вибором саме хвилевідної метакомірки в круглому хвилеводі як об'єкта дослідження. Оскільки особливості симетрії об'єкта відіграють визначальну роль у його електродинамічних властивостях, цей вибір цілком виправданий: тут і сам тракт має обертальну симетрію нескінченного порядку, і використані ключові елементи також дають простір для вибору конфігурації метакомірки.

У результаті вдалося реалізувати, і суто **теоретичну мету** представленої роботи, яка полягає в оцінюванні впливу різних параметрів топології розсіювачів на їх незвичайні (метаматеріальні) властивості. Досі було запропоновано велике різноманіття різних геометрій метакомірок в екранах: від четвірок розірваних кілець і багат шарових гамадіонів до

багатошарових структур з проміжними екранами. Однак все ще не було об'єднуючого дослідження щодо основних елементів топології, які регулюють та пояснюють АЧХ (амплітудно-частотну характеристику).

З огляду на вищезазначене, **новизна** представленого дослідження полягає у виявленні кількох загальних фактів, що характеризують метакомірки як в екранах, так і у хвилеводах, таких як:

1) Різниця фаз у  $90^\circ$  між коефіцієнтами відбиття та проходження дозволяє розглядати спряжену двошарову структуру як двопортовий елемент у спеціальних координатах із застосуванням відомих висновків теорії ланцюгів до властивостей метакомірки. До них відносяться наявність точок повного узгодження, можливість грубої аналітичної оцінки характеру можливої АЧХ за спектром власних частот та параметрів зближення або злиття цих точок.

2) Збільшення ступеня обертальної симетрії спряженого об'єкта-метакомірки може регулювати частоту резонансів оптичної активності.

3) Ускладнення топології двошарової структури шляхом введення нових концентричних кілець у метакомірку дозволяє створити систему нових резонансів оптичної активності.

4) Дієдральна симетрія 3D-геометрії розсіювача забезпечує штучну оптичну активність навіть у випадку, коли окремі компоненти двошарової структури не є плоско-кіральними,

5) Це вперше дозволило запропонувати оригінальний поляризатор на гофрованих фланцях: «об'єкт поза тілом хвилеводу», як його назвав автор.

**Достовірність результатів** дисертації забезпечується використанням добре апробованого підходу до розрахунку структур з дискретним просторовим спектром, заснованого на відомих чисельно-аналітичних рішеннях з різними проєкційними базисами в декартовій і циліндричній системах координат. Важливо відзначити, що принциповий факт  $90^\circ$  зсуву фаз відбитого і переданого сигналів неможливо було помітити раніше, використовуючи сіткові алгоритми в комерційних пакетах на зразок

Microwave Studio або HFSS. Відомі похибки таких алгоритмів, хоча і невеликі, «приховали» б цей факт, тоді як проєкційні рішення забезпечують таке співвідношення з точністю до  $10^{-5}$ - $10^{-6}$ , що одразу привертає увагу.

Крім того, найбільш важливі факти підтверджено шляхом реального експерименту в мікрохвильовому діапазоні. Тут важливо підкреслити, що математична модель використовувалася також для підбору конфігурації макета, що містить вимірювану комірку. Йдеться про «зсув» паразитних резонансів «макета в цілому» від досліджуваних резонансів 3D-кіральної двошарової структури.

**Практична значимість** результатів дисертації безсумнівна. Справа в тому, що відомі перетворювачі поляризації мають значні поздовжні розміри, які забезпечують потрібний зсув фаз і необхідне узгодження. У дисертації розглянуті компактні перетворювачі (поздовжні розміри становлять частки довжин хвиль), засновані на принципово новому механізмі, а саме на багатомодовій взаємодії та зближенні власних коливань.

Крім того, безпосередній інтерес представляє описана можливість механічного (а можливо й електронного) перемикування площини поляризації.

Як **недолік** представленого дослідження можна зазначити найбільш популярне застосування метаматеріалів з плоско-кіральними періодичними ґратками.

Однак наведених фактів про хвилевідну метакомірку вже більше ніж достатньо для здобуття бажаного ступеня доктора філософії. Періодичні метаповерхні, сподіваємося, стануть предметом подальших досліджень Є. Острижного.

### **Висновок щодо відповідності нормам.**

Вважаю, що дисертаційна робота Острижного Є.М. «Електродинамічні властивості кіральних об'єктів зі штучною оптичною активністю в мікрохвильовому діапазоні» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних і достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для розробки компактних

обертачів площини поляризації міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) 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, Острижний Євгеній Михайлович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та Астрономія».

Опонент

доктор фіз.-мат. наук,  
старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник  
відділу теоретичної радіофізики  
Радіоастрономічного інституту  
НАН України



Олександр ГРИБОВСЬКИЙ

Підпис Грибовського О.В. засвідчую

Вчений секретар

Радіоастрономічного інституту

НАН України

к.ф.-м.н.

24.09.2024



Юлія АНТОНЕНКО