ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Радіоастрономічного інституту
НАН України
Захаренко В.В.
ПІБ
(підпис)
М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

Дослідження шляхів створення та властивостей невзаємних контрольованих оптичних
(назва Проєкту)
метаповерхонь

Назва конкурсу: Конкурс НФДУ "Підтримка досліджень провідних та молодих учених"
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0218

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0218 Дослідження шляхів створення та властивостей невзаємних контрольованих оптичних метаповерхонь
рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу "Підтримка досліджень провідних та молодих учених" (назва конкурсу) протокол від «16 – 17» вересня 2020 року № 21.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 6123830 шість мільйонів сто двадцять три тисячі вісімсот тридцять гривень

Вартість Проєкту по роках, грн.:
1-й рік 487430 чотириста вісімдесят сім тисяч чотириста тридцять гривень
2-й рік 2818200 два мільйона вісімсот вісімнадцять тисяч двісті гривень
3-й рік 2818200 два мільйона вісімсот вісімнадцять тисяч двісті гривень

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 6 виконавців, з них:
доктори наук 2;
кандидати наук 2;
інші працівники 2.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач – Радіоастрономічний інститут НАН України, 61002, м. Харків, вул. Мистецтв, 4.
Організації субвиконавці до виконання проєкту не залучались.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Мета проєкту – побудова фізичної моделі невзаємних компактних приладів фотоніки на основі оптичних метаповерхонь, що утворені з використанням магніто-оптичних середовищ, нелінійних матеріалів і порушення PT-симетрії.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Основні завдання проєкту:

- побудова чисельного та/або чисельно-аналітичного розв'язку задачі розсіяння світла періодичними структурованими у двох напрямках у площині невзаємними резонансними метаповерхнями;
- встановлення електромагнітних властивостей та фізичних закономірностей формування невзаємного відгуку на збуджуюче поле таких метаповерхонь та областей їх параметрів, які забезпечують цікаві для застосувань стани розсіяного поля.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Одним з ключових вузлів сучасної оптичної системи є хвильовий ізолятор або взаємний прилад із асиметричним відгуком на електромагнітне збудження. Розвиток теорії метаповерхонь оптичного діапазону довів перспективність їх застосування для побудови таких вузлів. На цей час відомі методи досягнення оптичного хвильового перемикання за допомогою зовнішніх полів та температури, але надзвичайно актуальною є задача підвищення його ефективності та швидкості.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Новизна проєкту полягає у створені теоретичних засад для побудови нових компактних приладів фотоніки, які здатні перелаштовуватись, на основі оптичних невзаємних металшарів з нелінійними та магніто-оптичними елементами, властивості яких можуть змінюватись з часом. З цією метою вивчатиметься взаємодія власних коливань метаповерхні поміж собою та з збуджуючим полем у присутності в її складі таких елементів.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Основою дослідження властивостей невзаємних оптичних метаповерхонь у проєкті є узагальнення леми Лоренца на випадок косокутної двоперіодичної планарної структури, яка може включати у свій склад нелінійні та магніто-оптичні елементи. З цією метою передбачається на різних етапах поєднання аналітичних та чисельних методів електродинаміки, які довели свою ефективність та коректність під час аналізу властивостей метаповерхонь в попередніх роботах.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Використовуючи дані наукових публікацій і досвід попередніх досліджень виконавців, щодо теорії взаємних метаповерхонь, зокрема, теорії резонансів на замкненій моді, властивостей

повністю діелектричної структурованої метаповерхні, кластерної періодичної комірки та таке інше, нами були обрані для подальшого дослідження відбиваючі взаємні метаповерхні двох типів. Одна з них являє собою періодичну систему кремнієвих циліндрів, які періодично розташовані на відбиваючий підкладці, а друга – подвійні схрещені решітки з діелектричних брусів. Ці структурі є новими у фотоніці. Побудовані математичні моделі тривимірного розсіяння електромагнітних хвиль обраними для дослідження метаповерхнями та отримано великий набір чисельних даних по дослідженню властивостей цих структур.

Отримано векторні співвідношення поміж амплітудами просторових гармонік поля у прямому та зворотному сценаріях розсіяння на пласкій структурованій взаємній метаповерхні, як наслідки леми Лоренца. Ці співвідношення узагальнено на випадок відбиваючої метаповерхні із косокутною періодичною коміркою, що дозволило встановити області параметрів метаповерхні, які забезпечують існування однієї або декількох просторових гармонік у відбитому полі. Побудовані діаграми зон відповідних параметрів. Отримані векторні зв'язки поміж амплітуд просторових гармонік у падаючому та відбитому світлі на випадок періодичної структури із косокутною періодичною коміркою є новими та дозволяють дослідити вплив зміни форми періодичної комірки на властивості відбитого поля. Вперше показано можливість та отримані чисельні дані щодо керування властивостями (частотою резонансу і напрямком випромінювання просторових гармонік) з використанням кута у косокутній сітці.

З'ясовані умови автоколімації (схеми розповсюдження Литтроу), як часткового випадку недзеркального відбиття.

На прикладі частково прозорої і відбиваючої метаповерхні із кремнієвим циліндром на періоді встановлені закономірності впливу власних резонансних коливань діелектричного елементу на формування відбитого поля та отримані його амплітудно-частотні залежності для різних режимів роботи. Зокрема, показано можливість та досліджено умови реалізації повного резонансного недзеркального відбиття. Амплітудно-частотні залежності відбитого поля для метаповерхні із окремим кремнієвим циліндром на періоді, що обчислюються за різних параметрів метаповерхні і режимів роботи (кількість просторових гармонік у відбитому полі), це основа для вивчення впливу власних резонансних коливань діелектричного елементу (у тому числі, коливань на замкненій моді) на властивості відбитого поля. Останній результат не має аналогів у світі і отримано вперше.

Вперше продемонстровані переваги при збудженні у діелектричних циліндрах відбивної решітки гібридної моди $HEM_{11\delta}$. Використання цього типу коливання дає можливість сформувати недзеркальне відбиття без поляризаційної трансформації. Також є важливим, що збудження цього коливання не може бути заперечене ніякими особливостями хвилі, яка падає на структуру.

Вперше показано можливість механічного керування резонансними характеристиками подвійних схрещених граток з діелектричних брусів за рахунок значення кута поміж напрямками лент. Запропонована система буде ефективною для використання у оптичному діапазоні на відміну від металевого аналогу, який у такому разі буде демонструвати високий рівень дисипативних втрат.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Метаповерхні, які бурхливо дискутуються у фотоніці, мають періодичну комірку меншу за довжину хвилі та таким чином не продукують променів крім основного. Ми ж пропонуємо метаповерхню здатну випромінювати одночасно декілька просторових гармонік. Це може розширити функціональні можливості цього елементу, особливо маючи на увазі його доробку по Проєкту в якості невзаємного.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Результати першого етапу Проєкту є базою для подальших досліджень, так як на їх основі встановлені основні закономірності взаємодії світла із відбиваючими метаповерхнями із

косокутною періодичною коміркою з резонансних заздалегідь підібраних по фізичним властивостям елементів, що, в свою чергу, дозволить провести пошук цікавих за для невзаємних застосувань конфігурацій метаповерхонь.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Результати, що отримані, навіть без врахування невзаємності, яка буде досліджуватись під час подальшого виконання проєкту, є перспективними при розробці цілої низки систем фотоніки, зокрема, мова йде про багатопроменеві антени.

Результати виконання проєкту передбачають з одного боку створення нового знання щодо фізичних явищ та ефектів, що виникають у разі взаємодії електромагнітного випромінювання з невзаємними періодичними структурами складної композиції. Встановлені фізичні закономірності та розуміння щодо особливостей такої взаємодії є основою подальшого розвитку теоретичної бази електродинаміки, а також можуть бути використанні у підготовки кваліфікованих спеціалістів в області прикладної фізики.

З іншого боку проєкт спрямовано на розробку теоретичних засад створення нових компактних невзаємних приладів оптичного діапазону. Розробка таких приладів є основою для розв'язання цілої низки питань, що виникають у фотоніці, системах оптичного зв'язку, сенсоріки та інших важливих галузей сучасної техніки. Тому очікувані результати будуть важливі для цих галузей науки та техніки та матимуть суттєвий попит у суспільній практиці.

Таким чином, Індикатори виконання ТЗ досягнуті. Усі завдання ТЗ виконані в повнім обсязі.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту
головний науковий співробітник
Просвірнін С.Л.

(підпис)