

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізичної оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Декан фізичного факультету

Руслан БОБК

серпень 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Метаматеріали для квантових комп'ютерів та діелектрометрії

Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	10 – природничі науки
Спеціальність	104 – фізика та астрономія
Освітня програма	фізика та астрономія в закладах освіти
Спеціалізація	
Вид дисципліни	за вибором
Факультет	фізичний

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою фізичного факультету.

Протокол від 30.08.2024 р. № 9.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

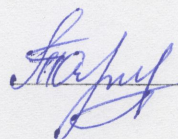
Тарапов Сергій Іванович, член-кореспондент НАНУ, професор, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри фізичної оптики

Маковецький Євген Дмитрович, канд. фіз.-мат. наук, доцент каф. фізичної оптики

Програму схвалено на засіданні кафедри фізичної оптики.

Протокол від 27.08.2024 р. № 1.

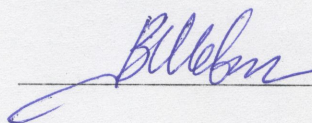
В. о. завідувача кафедри фізичної оптики



Сергій ТАРАПОВ

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія в закладах освіти».

Гарант освітньо-професійної програми

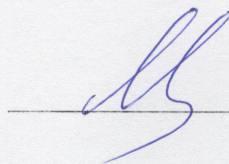


Василь ШЕВЧЕНКО

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету.

Протокол від 28.08.2024 р. № 1.

Голова методичної комісії



Микола МАКАРОВСЬКИЙ

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Метаматеріали для квантових комп'ютерів та діелектрометрії» складена відповідно до освітньої програми підготовки «магістр» зі спеціальності «104 – фізика та астрономія», освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія в закладах освіти».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни – оволодіти основоположними уявленнями про оптичні властивості метаматеріалів, про історію та сучасний стан експериментальних досліджень метаматеріалів та про відповідні теоретичні засади.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни – вивчити матеріал щодо властивостей метаматеріалів у рамках робочої програми даного курсу та додаткового матеріалу, який рекомендовано вивчити самостійно.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв'язувати складні комплексні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці, астрономії, методиках викладання фізики та астрономії, а також виховання (ІК 1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 1).
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК 2).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 3).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 4).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 5).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 6).
- Здатність до генерування нових ідей, виявлення та розв'язання проблем, ініціативності та підприємливості (ЗК 9).
- Володіння навичками критичного мислення (ЗК 10).
- Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (ФК 1).
- Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефаківцям (ФК 2).
- Здатність комунікувати із колегами усно та письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії (ФК 3).
- Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях (ФК 4).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ФК 8).

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	
Семестр	
2-й	
Лекції	
не передбачено навчальним планом	
Практичні, семінарські заняття	
48 год.	
Лабораторні заняття	
не передбачено навчальним планом	
Самостійна робота	
72 год.	
в тому числі індивідуальні завдання	
не передбачено навчальним планом	

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення даного курсу студент повинен знати: основні теоретичні положення для опису властивостей метаматеріалів в оптичному та мікрохвильовому діапазонах; головні відомі експериментальні результати досліджень метаматеріалів для прикладних цілей.

вміти: застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних при дослідженнях оптичних та мікрохвильових метаматеріалів.\

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем (ПРН 1).
- Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень (ПРН 2).
- Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (ПРН 3).
- Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії (ПРН 4).
- Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію (ПРН 5).
- Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані (ПРН 6).

- Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних і прикладних задач (ПРН 7).
- Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень (ПРН 8).
- Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження (ПРН 9).
- Розробляти та викладати фізичні та/або астрономічні навчальні дисципліни в закладах вищої, фахової передвищої, професійної (професійно-технічної), загальної середньої та позашкільної освіти, застосовувати сучасні освітні технології та методики, здійснювати необхідну консультативну та методичну підтримку здобувачів освіти (ПРН 10).
- Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді (ПРН 13).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Штучні діелектрики та штучні магнетики

Тема 1. Штучні діелектрики та штучні магнетики. Матеріальні параметри природних та штучних середовищ.

Тема 2. Рівняння Максвелла для природних та штучних середовищ.

Розділ 2. Фізична природа магнітної та діелектричної проникності

Тема 1. Магнітна проникність, її дисперсія. Джерела дисперсії. Магнітна проникність поблизу електронного спінового резонансу.

Тема 2. Фізична природа діелектричної проникності. Дисперсія діелектричної проникності. Закон Друде для природних провідників і діелектриків. Закон Друде для метаматеріалів.

Тема 3. Частотна та просторова дисперсія магнітної та діелектричної проникності метаматеріалів.

Тема 4. Області негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності.

Розділ 3. Фотонні кристали

Тема 1. Формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала. Просторово обмежений та необмежений фотонний кристал.

Тема 2. Метод матриць передачі. Хвиля Блоха в одновимірному фотонному кристалі. Дисперсійне рівняння для фотонного кристала як аналог дисперсійного рівняння для хвилі де Бройля.

Тема 3. Магнітофотонний кристал. Звичайні та незвичайні хвилі.

Тема 4. Стан Тамма, його природа. Задача Ліфшиця–Пекара. Поверхневі стани у спектрі фотонного кристала як електродинамічний аналог станів Тамма у природному кристалі.

Тема 5. Вісесиметричний фотонний кристал. Збільшення ефекту Фарадея.

Тема 6. Дефекти у фотонному кристалі. Спотворення спектра, дефектні моди. Керування дефектними модами у магнітоактивному (електроактивному) фотонному кристалі.

- Тема 7.* Планарні фотонні кристали. Аналітичне рішення задачі про планарні фотонні кристали.
- Тема 8.* Чисельне рішення задачі про планарні фотонні кристали. Умови обмеження рішення. Неноднорідні та однорідні планарні фотонні кристали.

Розділ 4. Лівобічні метаматеріали

- Тема 1.* Загальні уявлення про природу від'ємної рефракції. Граничний перехід від фотонного кристала до метаматеріалу у вигляді «суцільного середовища».
- Тема 2.* Від'ємна діелектрична проникність і її природа у: а) природних середовищах; б) штучних середовищах. Від'ємна магнітна проникність і її природа у: а) природних середовищах; б) штучних середовищах.
- Тема 3.* Формування зворотної хвилі в одновимірному шаруватому метаматеріалі. Фізичне обґрунтування появи зворотної хвилі в одновимірному метаматеріалі.
- Тема 4.* Лівобічні середовища та перехід фотонних кристалів у такі середовища.
- Тема 5.* Негативна рефракція.

Розділ 5 Кіральні метаматеріали

- Тема 1.* Оптична активність у фізиці твердого тіла. Гіротропія. Плоско- та циркулярно поляризовані хвилі.
- Тема 2.* Магнітна гіротропія. Ефект Фарадея. Загальне та відмінне в ефекті Фарадея для природних середовищ та штучних (метаматеріалів).
- Тема 3.* Фотонний кристал з лівобічними елементами. Формування зонної.
- Тема 4.* Магнітофотонний кристал з лівобічними елементами. Формування зонної структури в такому кристалі. Способи підвищення ефекту Фарадея в лівобічному кіральному метаматеріалі.

Розділ 6 Квантові комп'ютери та метаматеріали. Фізичні принципи

- Тема 1.* Квантові комп'ютери. Уявлення Фейнмана.
- Тема 2.* Оптичні комп'ютери. Принципи формування алгоритмів та побудування хардвейру.
- Тема 3.* Переплутані квантові стани.
- Тема 4.* Принципи конвертування мікрохвильового випромінювання у оптичне та навпаки.
- Тема 5.* Методи утворення сильної взаємодії магнітоспінових та електромагнітних коливань у оптичному та мікрохвильовому діапазонах частот.

Розділ 7 Метаматеріали та діелектрометрія. Фізичні принципи

- Тема 1.* Діелектрична проникність у технологічних матеріалах, що потребують контролю якості.
- Тема 2.* Мікрохвильові/оптичні резонатори та метаматеріали для діелектрометрії.
- Тема 3.* Планарний одновимірний ціпковий метаматеріал для діелектрометрії рідин та пласких структур.
- Тема 4.* Фізичні принципи утворення діелектрометра для експрес аналізу якості рідин у закритих контейнерах.
- Тема 5.* Фізико-технологічні особливості існуючих / розроблених діелектрометрів.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Штучні діелектрики та штучні магнетики												
Тема 1	4					4						
Тема 2	4		4									
Разом за розділом 1	8		4			4						
Розділ 2. Фізична природа магнітної та діелектричної проникності												
Тема 1	2					2						
Тема 2	4		4									
Тема 3	2					2						
Тема 4	4					4						
Разом за розділом 2	12		4			8						
Розділ 3. Фотонні кристали												
Тема 1	8		4			4						
Тема 2	4					4						
Тема 3	4					4						
Тема 4	4		4									
Тема 5	4		4									
Тема 6	4					4						
Тема 7	4					4						
Тема 8	4					4						
Разом за розділом 3	36		12			24						
Розділ 4. Лівобічні метаматеріали												
Тема 1	4		4									
Тема 2	2					2						
Тема 3	2					2						
Тема 4	4					4						
Тема 5	4					4						
Разом за розділом 4	16		4			12						
Розділ 5. Кіральні метаматеріали												
Тема 1	4		4									
Тема 2	2					2						
Тема 3	2					2						
Тема 4	4					4						
Разом за розділом 5	12		4			8						
Розділ 6. Квантові комп'ютери та метаматеріали. Фізичні принципи												
Тема 1	4		4									
Тема 2	2					2						
Тема 3	2					2						
Тема 4	4					4						
Тема 5	4		4									
Разом за розділом 6	16		8			8						

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 7. Метаматеріали та діелектрометрія. Фізичні принципи												
Тема 1	6		4			2						
Тема 2	4					4						
Тема 3	4		4									
Тема 4	2					2						
Тема 5	4		4									
Разом за розділом 7	20		12			8						
Усього годин	120		48			72						

4. Теми семінарських занять

№ з/п	Теми	Кільк. годин
1	Діапазони негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності	4
2	Формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала	4
3	Поверхневі стани (як випадок стану Тамма) у спектрах кристалів	4
4	Дефекти у фотонному кристалі	4
5	Від'ємна діелектрична проникність	4
6	Магнітна гіротропія	4
7	Дефектні моди у фотонному кристалі	4
8	Від'ємна магнітна проникність	4
9	Стани Тамма у спектрах кристалів	4
10	Від'ємна магнітна гіротропія	4
11	Керування від'ємною магнітною гіротропією магнітним полем	4
12	Поверхневі хвилі	4
	Разом	48

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Ознайомитись із типами штучних діелектриків та штучних магнетиків	4
2	Ознайомитись із впливом матеріальних параметрів середовищ на розв'язання рівнянь Максвелла	4
3	Ознайомитись із розв'язанням рівняння Блоха для магнітного моменту.	4
4	Ознайомитись із законом Друде для природних провідників, діелектриків та метаматеріалів	4
5	Ознайомитись із діапазонами негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності	8
6	Ознайомитись із засадами формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала	8

7	Ознайомитись із методом матриць передачі	4
8	Ознайомитись із звичайними та незвичайними хвилями у магнітофотонному кристалі	4
9	Ознайомитись із станами Тамма та їхньою природою	8
10	Ознайомитись із ефектом Фарадея у фотонному кристалі	4
11	Ознайомитись із спотвореннями спектра та дефектними модами у фотонному кристалі	4
12	Ознайомитись із явищами оптичної активності, гіротропії	8
13	Ознайомитись із властивостями лівобічних кіральних метаматеріалів	8
	Разом	72

6. Індивідуальні завдання

Навчальним планом не передбачені.

7. Методи навчання

1. Проведення практичних занять
2. Самостійна робота студентів з вивчення додаткових матеріалів з курсу

8. Методи контролю

1. Поточний контроль при проведенні аудиторних занять
2. Екзамен

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання		Екзамен	Сума
Поточний контроль на заняттях	Разом		
60	60	40	100

Досягнення студентів з навчальної дисципліни «Метаматеріали для квантових комп'ютерів та діелектрометрії» оцінюються в балах, загальна сума яких становить 100. Вона складається з 60 балів, які студент може отримати протягом семестру, та 40 балів, які може отримати при проходженні підсумкового контролю у вигляді екзамену.

60 балів протягом семестру нараховуються при проведенні практичних занять, по 5 балів за кожні 4 години занять.

Екзамен проводиться у письмовому вигляді шляхом написання студентами відповідей на запитання екзаменаційного білету. Максимальною оцінкою за екзаменаційну роботу є 40 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90–100	відмінно	зараховано
70–89	добре	
50–69	задовільно	
1–49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Introduction to Solid State Physics, Ch. Kittel, J. Wiley & Sons, 8th ed. (2005).
2. Classical Electrodynamics, J. Jackson, (1962).
3. Nonlinear, Tunable and Active Metamaterials, I. Shadrivov, M. Lapine, Yu. Kivshar, Springer (2015)
4. An Introduction to Metamaterials and Nanophotonics, C. Simovski, S. Tretyakov, Cambridge Univ, (2020)
5. Introduction to Photonic and Phononic Crystals and Metamaterials, Arthur R. McGurn, by Morgan & Claypool, (2020)
6. Chiral Nanophotonics. Chiral Optical Properties of Plasmonic, M. Schäferling, Springer, (2017)
7. Course of theoretical physics, v5, Landau–Lifshitz. Electrodynamics of continuous media. Pergamon, (1984)
8. S. Serdukiy, I. Senchenko, S. Tretyakov, A. Sihvola Electromagnetic Properties of Bi-anisotropic Materials: Theory and Applications A, Gordon and Breach Science Publishers, 2001, 312 p.
9. Ricardo Marques, Ferran Martin, Mario Sorolla Metamaterials with Negative Parameters, Theory, Design, and Microwave Applications, – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2008. – 315 p.
10. Z. Shen *et al.*, “Coherent coupling between phonons, magnons, and photons,” [Phys. Rev. Lett. 129, 243601 \(2022\)](#).
11. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, Can quantummechanical description of physical reality be considered complete, *Phys. Rev.* 47, 777 (1935)
12. C. Kittel, On the theory of ferromagnetic resonance absorption, *Phys. Rev.* 73, 155 (1948)
13. D. Bouwmeester, J.-W. Pan, M. Daniell, H. Weinfurter, and A. Zeilinger, Observation of three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement, *Phys. Rev. Lett.* 82, 1345 (1999)
14. W. Dür, G. Vidal, and J. I. Cirac, Three qubits can be entangled in two inequivalent ways, *Phys. Rev. A* 62, 062314 (2000)
15. J. O. S. Yin and S. J. van Enk, Entanglement and purity of one- and two-photon states, *Phys. Rev. A* 77, 062333 (2008)
16. D. Salart, O. Landry, N. Sangouard, N. Gisin, H. Herrmann, B. Sanguinetti, C. Simon, W. Sohler, R. T. Thew, A. Thomas, and H. Zbinden, Purification of single-photon entanglement, *Phys. Rev. Lett.* 104, 180504 (2010)
17. H. Wang, M. Mariani, R. C. Bialczak, M. Lenander, E. Lucero, M. Neeley, A. D. O’Connell, D. Sank, M. Weides, J. Wenner, T. Yamamoto, Y. Yin, J. Zhao, John

- M.Martinis, and A. N. Cleland, Deterministic entanglement of photons in two superconducting microwave resonators, *Phys. Rev. Lett.* 106, 060401 (2011)
18. Y. Zhao, L. Wang, J. Xue, Q. Zhang, Y. Tian, S. Yan, L. Bai, M. Harder, Q. Guo, and Y. Zhai, Measuring the magnon phase in a hybrid
 19. J. Chen, C. Liu, T. Liu, Y. Xiao, K. Xia, G. E.W.Bauer, M. Wu, and H. Yu, Strong interlayer magnon-magnon coupling in magnetic metal-insulator hybrid
 20. Y. Tabuchi, S. Ishino, A. Noguchi, T. Ishikawa, R. Yamazaki, K. Usami, and Y. Nakamura, Coherent coupling between a ferromagnetic magnon and a superconducting qubit, *Science* 349, 405 (2015)
 21. D. Lachance-Quirion, S. P. Wolski, Y. Tabuchi, S. Kono, K. Usami, and Y. Nakamura, Entanglement-based singleshot detection of a single magnon with a superconducting qubit, *Science* 367, 425 (2020)
 22. J.-K. Xie, S.-L. Ma, and F.-L. Li, Quantum-interference-enhanced magnon blockade in an yttrium-iron-garnet sphere coupled to superconducting circuits, *Phys. Rev. A* 101, 042331 (2020)
 23. Enhancement of the microwave photon-magnon coupling strength for a planar fabricated resonator, Aleksey Girich, Sergiy Nedukh, Sergey Polevoy, Kateryna Sova, Sergey Tarapov, Arthur Vakula, *Scientific Reports*, 2023, 13, 924(1-8).
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-27285-6>, <https://www.nature.com/articles/s41598-022-27285-6>
 24. Identification of Liquids in Different Containers Using Microwave Planar Metamaterial, Nedukh S.V., Polevoy S.Y., Tarapov S.I., Vakula A.S., *Radiophysics and Electronics*, 2017, v.22, № 4 p.69-73.

Допоміжна література

1. Photon-magnon Coupling in the Planar Photonic Crystal with Magnetic Defect, A.A.Girich, S.V. Nedukh, S.Yu. Polevoy, K.Yu. Sova, A.S. Vakula, and S.I. Tarapov, *Abstracts of Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS-2022)*. April 25–28, 2022, Hangzhou, China, p. 2
2. Magnon-photon coupling in hybrid quantum structure based on planar periodical structure and YIG film, S.Y.Polevoy, S.I. Tarapov, A.A. Girich, A.S. Vakula, S.V. Nedukh, K.V.Sova, and B.Z.Rameev, *Proc. of Quantum 2.0 Conference and Exhibition, Technical Digest Series (Optica Publishing Group, 2022)*, Turkey, paper QW2A.20.
3. Large photon-magnon coupling in a Pi-shaped resonator with a magnetic sample, S.Polevoy, S.Tarapov, A.Girich, A.Vakula, S.Nedukh, K.Sova, *Abstract book for International Conference On Quantum Materials And Technologies, (ICQMT2022)*, October 16-22, 2022, Milas-Bodrum, Turkey, p. 237.
4. Coupling Strength in a System of Planar Resonators with a Magnetic Sample, S. Polevoy, S. Tarapov, A. Girich, A.Vakula, S. Nedukh, K. Sova, *Abstract book for International Conference on Quantum Materials And Technologies (ICQMT2022)*. October 16-22, 2022, Milas-Bodrum, Turkey, p.241.
5. Influence of the Magnet Filling Factor by the Field of Planar Resonators on the Photon-Magnon Coupling Strength, S. Polevoy, S. Tarapov, A. Girich, A. Vakula, S. Nedukh, K. Sova., *Proc. Of IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week: Int. Conf.*, November 14–18: *Conf. Proc. Kharkiv, Ukraine, 2022*, p.105-108. [10.1109/UKRMW58013.2022.10036988](https://doi.org/10.1109/UKRMW58013.2022.10036988)
6. Planar Waveguide Defect for Photon-Magnon Coupling Improvement, S. Polevoy, S. Tarapov, A. Girich, A. Vakula, S. Nedukh, K. Sova., *Proc. Of IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week: Int. Conf.*, November 14–18: *Conf. Proc. Kharkiv, Ukraine, 2022*, p. .118-122 [10.1109/UKRMW58013.2022.10036992](https://doi.org/10.1109/UKRMW58013.2022.10036992)

7. Impact of External DC Magnetic Bias Field and Frequency on the Bistability Features of a Non-linear Microwave Meta-atom, Aleksey A. Girich, and Sergey I. Tarapov, PIERL, 2019, v.82, p.81-87.
8. Portable 2.0-2.5 GHz Oscillator-Detector Unit for Liquids Identification by Planar Photonic Crystal Technique, A.S. Vakula, S.Yu. Polevoy, S.V. Nedukh, S.I. Tarapov, Telecommunications and Radio Engineering, 2019, 78 (9), p.813-819.
9. Pendry J.B., Holden A.J., Robbins D.J., Stewart W.J. // J. Phys.: Condens Matter. - 1998. -V.10. - P. 4785-4809.
10. Optical Metamaterials Fundamentals and Applications, Wenshan Cai, Vladimir Shalaev, Springer Science+Business Media, LLC 2010, 206P
11. Microwaves in Dispersive Magnetic Composite Media (Review Article), S.I. Tarapov, and D.P. Belozorov, Low Temperature Physics (AIP Publ.), 2012, v.38, p.603-625
12. Resonant features of planar Faraday metamaterial with high structural symmetry. Study of properties of a 4-fold array of planar chiral rosettes placed on a ferrite substrate, Sergey Y. Polevoy, Sergey L. Prosvirnin, Sergey I. Tarapov, and Vladimir R. Tuz, The European Physical Journal Applied Physics, 2013, v.61, N 03, pp.30501(1-7).
13. Pendry J.B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens. // Phys. Rev. Lett. - 2000.-V.85.- P.3966-3969
14. Pendry J. A chiral route to negative refraction // Science. 2004. - V. 306. - P. 1353- 1955.
15. Nonlinearities in Periodic Structures and Metamaterials, C.Denz, S.Flach, Yu.Kivshar, Springer (2010)
16. Theory and Phenomena of Metamaterials, Edited by F. Capolino, by Taylor and Francis Group, LLC, (2009)
17. Magnetic Resonance for Optoelectronic Materials Investigating, S.I. Tarapov, Yu.P. Machehkin, and A.S. Zamkovoy, Collegium, Kharkov (2008)
18. A Technique for Non-Contact Identification of Liquids in Closed Containers Using Microwave Planar Metamaterial, S.Y. Polevoy, A.S. Vakula, S.V. Nedukh, and S.I. Tarapov, Radio Science Bulletin, No 371, December 2019, 53-62.