

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. директора
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О. Я. Усикова НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
член-кореспондент НАН України
Юрій ЛОГВІНОВ



«23» грудня 2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи Полевого Сергія Юрійовича на тему «Електромагнітні властивості керованих метаповерхонь мікрохвильового діапазону та їхнє застосування», поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 «Радіофізика» (Витяг з протоколу засідання наукового семінару відділу теоретичної фізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України № 1 від 17 грудня 2024 р.)

Тему докторської дисертації Полевого С. Ю. «Електромагнітні властивості керованих метаповерхонь мікрохвильового діапазону та їхнє застосування», структурний підрозділ для проведення попередньої експертизи дисертації та рецензентів затверджено на засіданні Вченої ради Інституту радіофізики та електроніки (ІРЕ) ім. О. Я. Усикова НАН України (протокол № 10 від 5 грудня 2024 р.). Науковим консультантом призначено доктора фізико-математичних наук, професора, члена-кореспондента НАН України, завідувача відділу радіоспектроскопії ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України Тарапова Сергія Івановича.

Заслухавши та обговоривши доповідь Полевого С. Ю., а також за результатами попередньої експертизи поданої дисертації ухвалили прийняти такий висновок:

1. Актуальність теми дослідження

У сучасному світі для створення як оптичних, так і мікрохвильових пристроїв усе частіше застосовують метаматеріали, які завдяки своїй внутрішній структурі мають електромагнітні властивості, що відмінні від властивостей їхніх складових елементів. Також зараз активно досліджується такий різновид метаматеріалів як метаповерхні, або планарні метаматеріали, які завдяки своїй малій товщині можуть використовуватися як складові елементи НВЧ пристроїв, що мають компактні розміри. Іншою важливою задачею є можливість швидкого управління такими НВЧ пристроями. Це може бути реалізовано, якщо метаповерхні будуть мати можливість перебудови їхніх електромагнітних властивостей, наприклад, механічним способом або за допомогою зовнішнього магнітного поля. Така можливість додає гнучкості розробленим на їхній основі НВЧ пристроям.

Дисертаційну роботу Полевого С. Ю. присвячено питанню розвитку принципів керування спектральними й поляризаційними властивостями метаповерхонь та інших планарних метаматеріалів у мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль, а також їхнім практичним застосуванням у квантових перетворювачах частоти та системах контролю

якісних параметрів рідин. При цьому в дисертаційній роботі розглянуто особливості взаємодії електромагнітних хвиль мікрохвильового діапазону з метаповерхнями та планарними фотонними кристалами, що є важливим з фундаментальної точки зору. Отже, можна стверджувати, що обрана тема досліджень є актуальною.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано у відділі радіоспектроскопії ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України в рамках досліджень, проведених за держбюджетними науково-дослідними роботами:

- «Вивчення взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених часток з твердотільними структурами» (шифр «Кентавр-5», номер держреєстрації 0112U000211, термін виконання 2015–2016 р., виконавець);
- «Дослідження взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених частинок з наноструктурами та метаматеріалами» (шифр «Кентавр-6», номер держреєстрації 0117U004038, термін виконання 2017–2021 р., виконавець);
- «Дослідження взаємодії електромагнітних хвиль, а також заряджених частинок з наноструктурами та метаматеріалами» (шифр «Кентавр-7», номер держреєстрації 0122U001687, термін виконання 2022–2024 р., виконавець);
- спільний українсько-польський науково-дослідний проєкт «Невзаємні топологічні хвилі у лініях передач із резонансами з магнітною перебудовою у мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль» (шифр «Топаз», номери держреєстрації 0120U103409, 0121U113757, термін виконання 2020–2021 р., виконавець);
- грант НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України «Діелектричні метаповерхні з поляризаційно-виродженим спектром для високоточного детектування кіральних речовин» (шифр «Стокс», номер держреєстрації 0122U002101, термін виконання 2022–2023 р., керівник роботи);
- науково-дослідний проєкт програми НАТО «Наука заради миру та безпеки» «Конвертаційні технології для квантової сенсорики та безпеки комунікацій» (шифр «Квант», номери держреєстрації 0123U103737, 0124U003555, термін виконання 2023–2024 р., виконавець);

а також у рамках досліджень, проведених під час участі в міжнародних проєктах:

- проєкт NATO SPS G5005 (програма НАТО «Наука заради миру та безпеки») "Magnetic resonance&MW detection of improvised explosive and illicit materials"/ «Магнітний резонанс та мікрохвильове детектування потенційно-вибухових та небезпечних матеріалів», головна установа Технічний Університет Гебзе (Туреччина), термін виконання 2016–2019 рр., виконавець;
- проєкт NATO SPS G5859 (програма НАТО «Наука заради миру та безпеки») "Conversion Technologies for Quantum Sensing&Secure Communications"/ «Технології перетворення для квантового зондування і безпечного зв'язку», головна установа Технічний Університет Гебзе (Туреччина), номер держреєстрації №94/114, термін виконання 2021–2024 р., виконавець.

3. Наукова новизна роботи

У дисертаційній роботі одержано такі нові наукові результати:

1. Вперше в мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль для феродіелектричної метаповерхні на основі паралелепіпедів:

– продемонстровано посилення ефекту Фарадея на частоті ґраткової моди в 5 разів;

– здійснено регулювання власною частотою метаповерхні шляхом зміни геометричних параметрів феритових елементів.

2. У мікрохвильовому діапазоні встановлено вплив форми канавок на поверхні феритової пластини на частоту феромагнітного резонансу (ФМР). При цьому:

- вперше пояснено механізм зростання частоти ФМР зі збільшенням глибини канавок;
- вперше визначено діапазон магнітних полів, у разі яких залежність частоти ФМР від глибини канавок стає монотонною.

3. Отримано спектральні характеристики метаповерхонь, в основі створення яких лежить ефект муару. Вперше в мікрохвильовому діапазоні:

- здійснено перестроювання частоти резонансного поверхневого коливання в межах 90% шляхом зміни кута схрещування двох однакових періодичних структур із гексагональною симетрією елементарної комірки;

- продемонстровано можливість регулювання частотою поверхневих коливань магнітоактивної муарової метаповерхні з гексагональною симетрією елементарної комірки шляхом зміни напруженості зовнішнього магнітного поля;

- здійснено регулювання величиною резонансного мінімуму в спектрі метаповерхні з масивів схрещених металевих смуг, що розділені тонким тefлоновим прошарком, шляхом зміни товщини прошарку та кута схрещування смуг.

4. Вперше в мікрохвильовому діапазоні розроблено спосіб безконтактної експрес-ідентифікації рідин у радіопрозорих ємностях, що базується на виникненні поверхневого коливання в неоднорідному мікросмужковому планарному фотонному кристалі. При цьому:

- розроблено методику безконтактного детектування домішок метилового спирту у водних розчинах етилового спирту;

- знайдено діапазон частот, де вплив товщини стінки ємності на результати ідентифікації рідин зневажливо малий.

5. Вперше в мікрохвильовому діапазоні реалізовано фотон-магнетонний зв'язок (ФМЗ) планарного резонатора у вигляді розрізаного кільця з феримагнітним зразком, сила якого регулюється щільністю силових ліній змінного магнітного поля в зразку. Зокрема:

- продемонстровано збільшення сили ФМЗ для резонатора у вигляді розрізаного кільця при розширенні утворюючої смужкової лінії, навантаженого феримагнетиком, завдяки концентрації поля в центрі резонатора;

- чисельно продемонстровано збільшення сили ФМЗ для подвійного резонатора у вигляді розрізаного кільця, навантаженого феримагнетиком, на частоті зв'язаних коливань;

6. Вперше продемонстровано можливість ефективного регулювання робочою частотою електромагнітного аналога топологічного ізолятора, що сформований двоперіодичним гексагональним масивом еліптичних циліндрів із кварцу та є хвилеводом поверхневих хвиль, шляхом вибору напрямку одноосової анізотропії кварцу. Зокрема:

- показано, що ширина забороненої зони збільшується при співпадині головної осі анізотропії кварцу і геометричної осі циліндра;

- розроблено методику ефективного керування частотами поверхневих хвиль в системі комбінованого топологічного ізолятора, сформованого двома структурами з різними параметрами елементарної комірки.

4. Ступінь наукової обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Чисельні розрахунки в дисертаційній роботі проведено добре апробованими методами розрахунку та з використаннями відомих пакетів і програм чисельного електромагнітного

моделювання, такими як MIT Photonic Bands та CST Studio Suite. Експериментальні дослідження проведено на сучасному обладнанні. Наприклад, спектральні та поляризаційні властивості структур отримано з використанням векторного аналізатору кіл, генератора частоти, лабораторних електромагнітів із датчиками магнітного поля. Магніторезонансні властивості структурованих елементів вимірювалися за допомогою магнітного радіоспектрометра мікрохвильового діапазону на базі векторного аналізатора кіл. Отримано добре узгодження експериментальних результатів із результатами чисельного моделювання або теоретичними розрахунками. Тому наукова обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, є високою.

5. Теоретичне та практичне значення наукових результатів роботи

З точки зору фундаментальної науки проведені в дисертаційній роботі дослідження розширюють відомі дані про електромагнітні властивості метаповерхонь і про ефективні способи керування цими властивостями за допомогою зовнішнього магнітного поля та механічної перебудови їхніх ефективних матеріальних параметрів. Це дає можливість розвивати новий напрямок у фізиці керованих метаповерхонь.

З точки зору практичних застосувань проведені дослідження дають можливість розробки нових компактних мікрохвильових пристроїв (фільтрів, поляризаторів, ліній передачі з малими втратами, випромінювачів хвиль, сенсорів), електромагнітними властивостями яких можна ефективно керувати. Розроблена методика швидкісної безконтактної ідентифікації рідин у радіопрозорих ємностях перспективна для успішного застосування в системах контролю якості рідин і в системах безпеки. Дослідження можливості підвищення фотон-магнетонного зв'язку планарних резонаторів із магнітною плівкою перспективні для розробки ефективних перетворювачів частоти з мікрохвильового діапазону в оптичний діапазон.

6. Апробація результатів дисертації

Результати досліджень було представлено й обговорено на науковому семінарі відділу теоретичної фізики ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, а також на 21 міжнародних конференціях, симпозіумах і семінарах:

- 2016 9th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves, MSMW'2016, June 21–24 2016, Kharkiv, Ukraine;
- 9th URSI – France 2017 Workshop “Radio Science for Humanity”, JS'17, February 1–3, 2017, Sophia Antipolis, France;
- The European Conference “Physics of Magnetism 2017”, PM'17, June 26–30, 2017, Poznań, Poland;
- International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), September 25–28, 2017, Dnipro, Ukraine;
- 6th International Conference on Superconductivity and Magnetism, ISCM'2018, April 29 – May 4, 2018, Antalya, Turkey;
- 9-th International Conference for Professionals & Young Scientists “Low Temperature Physics–2018”, 4–8 June 2018, Kharkov, Ukraine;
- 3rd International Advanced School on Magnonics, IASM'2018, 17–21 September 2018, Kyiv, Ukraine;
- 23-го міжнародного молодіжного форуму «Радіoeлектроніка і молодь у XXI столітті», 16–18 квітня 2019 г., Харків, Україна;
- 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL'2019), 06–09 September, 2019, Sozopol, Bulgaria;

- 2019 Conference “Kleinheubacher Tagung 2019”, September 23–25, 2019, Miltenberg, Germany;
- 20th International Young Scientists Conference “Optics and High Technology Material Science”, SPO–2019, September 26–29, 2019, Kyiv, Ukraine;
- The Fifth Poznań Symposium on Quantum Technologies, Nonlinear Optics, Magnonics, and Metamaterials, QuTecNOMM–2019, October 15 – November 18, 2019, Poznan, Poland;
- “Photonics & Electromagnetics Research Symposium” (PIERS–2022), April 25–28, 2022, Hangzhou, China;
- International Conference On Quantum Materials And Technologies (ICQMT2022), October 16–22, 2022, Milas–Bodrum, Turkey;
- Online conference “2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week” (UkrMW’2022), November 14–18, 2022;
- “Quantum 2.0 Conference”, June 18–22, 2023, Denver, USA;
- “Photonics & Electromagnetics Research Symposium” (PIERS–2023), July 3–6, 2023, Prague, Czech Republic;
- 2023 IEEE 13th International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties” (IEEE NAP–2023), September 10–15, 2023, Bratislava, Slovakia;
- NATO Advanced Research Workshop “Functional Spintronic Nanomaterials for Radiation Detection and Energy Harvesting”, September 25–27, 2023, Kyiv, Ukraine;
- 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), October 02–06, 2023, Kharkiv, Ukraine;
- 2023 IEEE 6th International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics” (UkrMiCo), November 13–18, 2023, Kyiv, Ukraine.

7. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційну роботу виконано автором самостійно, вона відповідає вимогам щодо уникнення академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації результатів досліджень і містить посилання на джерела при цитуванні.

8. Перелік публікацій за темою дисертації

Результати дисертації опубліковано в 38 роботах, з них 16 статей у спеціалізованих наукових журналах [1–16] (з них по класифікації Scimago Journal and Country Rank 4 статті Q1 [1, 10, 13, 15], 1 стаття Q2 [5], 6 статей Q3 [2, 4, 7, 8, 14, 16]), 1 стаття Q4 [6]), і 22 тези доповідей на конференціях [17–38] (1 без співавторів [34]).

Статті у наукових виданнях:

1. Yachin V., Ivzhenko L., **Polevoy S.**, Tarapov S., Resonant response in mechanically tunable metasurface based on crossed metallic gratings with controllable crossing angle. *Applied Physics Letters*. 2016. Vol. 109, no. 22. P. 221905 (1–4). URL: <https://doi.org/10.1063/1.4971191> (Scopus Q1).
2. **Polevoy S. Y.**, Vakula A. S., Nedukh S. V., Tarapov S. I. Fast Identification of Liquids Using Planar Metamaterial. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2017. Vol. 76, no. 3. P. 237–243. URL: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i3.40> (Scopus Q3).
3. Nedukh S. V., **Polevoy S. Y.**, Tarapov S. I., Vakula A. S., Identification of liquids in different containers using a microwave planar metamaterial. *Radiofizika I Elektronika*. 2017. Vol. 22, no. 4. P. 69–73. URL: <https://doi.org/10.15407/rej2017.04.069>
4. **Polevoy S. Y.**, Michaylichenko V. A., Vakula A. S., Nedukh S. V., Tarapov S. I. Principal parameters for optimization of experimental technique for fast remote identification of liquids at microwaves. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2018. Vol. 77, no. 18. P. 1639–1648.

- URL: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v77.i18.60> (Scopus Q3).
5. Yachin V. V., **Polevoy S. Yu.**, Ivzhenko L. I., Tarapov S. I., Nakhimovych M. I. Experimental verification of Faraday rotation enhancement by all-ferroelectric metasurface. *Journal of the Optical Society of America B*. 2019. Vol. 36, no. 2. P. 261–266.
URL: <https://doi.org/10.1364/josab.36.000261> (Scopus Q2).
 6. **Polevoy S. Y.**, Tarapov S. I. Controlling Surface States of Planar Metamaterial Based on Moire Effect. *Progress In Electromagnetics Research M*. 2019. Vol. 84. P. 187–195.
URL: <https://doi.org/10.2528/pierm19060708> (Scopus Q4).
 7. **Polevoy S. Y.**, Rudenko D. A., Vakula A. S., Tarapov S. I. Control of spectrum of coaxial photonic crystal with magnetic layers. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, no. 6. P. 501–510. URL: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v78.i6.40> (Scopus Q3).
 8. Vakula A. S., **Polevoy S. Yu.**, Nedukh S. V., Tarapov S. I. Portable 2.0-2.5 GHz oscillator-detector unit for liquids identification by planar photonic crystal technique. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, no. 9. P. 813–819.
URL: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v78.i9.70> (Scopus Q3).
 9. **Polevoy S. Yu.**, Vakula A. S., Nedukh S. V., Tarapov S. I. A technique for non-contact identification of liquids in closed containers using microwave planar metamaterial. *URSI Radio Science Bulletin*. 2019. Vol. 2019, no. 371. P. 53–62.
URL: <https://doi.org/10.23919/ursirsb.2019.9117244>
 10. Ivzhenko L. I., **Polevoy S. Y.**, Tarapov S. I., Yachin V. V., Kurselis K., Kiyan R., Chichkov B. N. Experimental observation of tunable Wood type resonances in an all-ferroelectric periodical metasurface. *Optics Letters*. 2020. Vol. 45, no. 19. P. 5514–5517.
URL: <https://doi.org/10.1364/ol.402936> (Scopus Q1).
 11. **Polevoy S. Yu.**, Kharchenko G. O., Tarapov S. I., Kravchuk O. O., Kurselis K., Kiyan R., Chichkov B. N., Slipchenko N. I. A magnetoactive metamaterial based on a structured ferrite. *Radiofizika I Elektronika*. 2021. Vol. 26, no. 1. P. 28–34.
URL: <https://doi.org/10.15407/rej2021.01.028>
 12. Ivzhenko L. I., **Polevoy S. Yu.**, Odarenko E. N., Tarapov S. I. Dispersion properties of artificial topological insulators based on an infinite double-periodic array of elliptical quartz elements. *Radiofizika I Elektronika*. 2021. Vol. 26, no. 3. P. 11–17.
URL: <https://doi.org/10.15407/rej2021.03.011>
 13. Girich A., Nedukh S., **Polevoy S.**, Sova K., Tarapov S., Vakula A. Enhancement of the microwave photon-magnon coupling strength for a planar fabricated resonator. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13, no. 1. P. 924(1–8). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27285-6> (Scopus Q1).
 14. Vakula A. S., **Polevoy S. Yu.**, Sova K. Yu., Nedukh S. V., Girich A. A., Tarapov S. I., Special features of low-temperature microwave ferromagnetic resonance in nanometer ferrite layer patterned by macroporous silicon substrate. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, no. 4. P. 467–472. URL: <https://doi.org/10.1063/10.0017591> (Scopus Q3).
 15. **Polevoy S.**, Yermakov O. Excitation of Surface Waves With On-Demand Polarization at Self-Complementary Metasurface. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2023. Vol. 22, No. 8. P. 1962–1966. URL: <https://doi.org/10.1109/lawp.2023.3270456> (Scopus Q1).
 16. Girich A., S. Nedukh, **Polevoy S.**, Sova K., Tarapov S., Vakula A., Enhancement of photon-magnon coupling strength by inverted split-ring resonator at GHz. *AIP Advances*. 2024. Vol. 14, no. 2. P. 025138(1–8). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0187796> (Scopus Q3).

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

17. Ivzhenko L., **Polevoy S.**, Tarapov S., Yachin V. Crossed metallic gratings as metasurface with tuned crossing angle. *2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*, Kharkiv, Ukraine, 20–24 June 2016. 2016. P. 1–3. URL: <https://doi.org/10.1109/msmw.2016.7538127>
18. **Polevoy S.**, Vakula A., Nedukh S., Tarapov S. Planar photonic crystals for express analysis of liquids. *9th URSI-France 2017 Workshop "Radio Science for Humanity" (JS'17)* : Conf. Proc., Sophia Antipolis, France, 1–3 February 2017. 2017. P. 27–30. URL: https://www.ursi-france.org/fileadmin/journees_scient/docs_journees_2017/data/articles/000033.pdf
19. Tarapov S., Girich A., **Polevoy S.**, Nedukh S., Vovk R. Magnetic Microwave Planar Metamaterials: Experimental Results. *The European Conference "Physics of Magnetism 2017", PM'17: Abstracts*, Poznań, Poland, 26–30 June 2017. Poznań, 2017. P. 113. URL: https://www.ifmpan.poznan.pl/pm17/abst/143-tarapov_ire_kharkov_ua-2017-02-24-15-08-58.pdf
20. **Polevoy S. Yu.**, Ivzhenko L. I., Tarapov S. I., Yachin V. V. Faraday rotation enhancement by gyrotropic metasurface. *2017 XXII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, Dnipro, 25–28 September 2017. 2017. P. 269–272. URL: <https://doi.org/10.1109/diped.2017.8100617>
21. **Polevoy S.**, Rudenko D., Tarapov S., Vakula A. Coaxial Magnetophotonic Crystal for Detection of Illicit and Dangerous Liquids. *6th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ISCM'2018)*: Abstract book, Antalya, Turkey, 29 April–4 May, 2018. P. 593.
22. Kravchuk O., **Polevoy S.** Electromagnetic properties of metamaterial based on structured ferrite. *IX International Conference for Professionals & Young Scientists "Low Temperature Physics" (ICPYS LTP 2018)*: Book of Abstracts, Kharkiv, 4–8 June 2018. P. 79.
23. Nedukh S., Vakula A., **Polevoy S.**, Vovk R., Tarapov S. Synthesis of FMR spectra of patterned magnetic nanostructures for access control and identification systems. *3rd International Advanced School on Magnonics IASM'2018* : Abstracts, Kyiv, 17–21 September 2018, P. 144.
24. Кравчук О. А., **Полевой С. Ю.** Расчет частоты ФМР магнитоактивного метаматериала на основе структурированного феррита. *23-й міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь в XXI сторіччі»*. Матеріали форуму, Харків, 16–18 квітня 2019 р. Харків, 2019, Т. 1, С. 6162.
URL: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/9019>
25. Tarapov S., Ivzhenko L., **Polevoy S.**, Vakula A. Experimental Implementation of Non-uniformity Effects in Artificial Media : (Invited). *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, Sozopol, Bulgaria, 6–8 September 2019. 2019. P. 46–49. URL: <https://doi.org/10.1109/caol46282.2019.9019487>
26. Polevoy S., Pogorily A., Tarapov S. Magnetoactive Surface States in Moire Metamaterials. *2019 Conference "Kleinheubacher Tagung 2019"* : Conf. Proc., Miltenberg, Germany, 23–25 September 2019. 2019. P. 46–48. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8890131>
27. Kravchuk O., **Polevoy S.** Numerical modelling the FMR frequency of a magnetically active metamaterial based on structured ferrite. *Twentieth International Young Scientists Conference "Optics & High Technology Material Science", SPO-2019*: Scientific works, Kyiv, 26–29 September 2019. P. 45–46.
28. Ivzhenko L., **Polevoy S.**, Yachin V., Chichkov B., Tarapov S. Experimental and numerical identification of Faraday effect enhancement by all-ferroelectric metasurface. *The Fifth Poznań Symposium on Quantum Technologies, Nonlinear Optics, Magnonics, and Metamaterials*,

- QuTecNOMM-2019: Abstracts*, 15 October – 18 November 2019, Poznan, Poland. P. 15. URL: <https://mtpr.amu.edu.pl/former-seminars/>
29. Girich A. A., Nedukh S. V., **Polevoy S. Yu.**, Sova K. Yu., Vakula A. S., Tarapov S. I. Photon-magnon Coupling in the Planar Photonic Crystal with Magnetic Defect. *Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS-2022)*. Hangzhou, China, 25–28 April 2022. P. 1–2. URL: https://author2021.piers.org/ac_api/preview.php?t=ab&id=210713160409
 30. **Polevoy S. Yu.**, Tarapov S. I., Girich A. A., Vakula A. S., Nedukh S. V., Sova K. Yu. Large Photon-Magnon Coupling in a Pi-Shaped Resonator with a Magnetic Sample. *International Conference On Quantum Materials And Technologies (ICQMT2022)* : Abstract book, Milas-Bodrum, Turkey, 16–22 October 2022. P. 245.
 31. **Polevoy S.**, Girich A., Tarapov S., Vakula A., Nedukh S., Sova K. Influence of the Magnet Filling Factor by the Field of Planar Resonators on the Photon-Magnon Coupling Strength. *2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Ukraine, 14–18 November 2022. 2022. P. 105–108. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmw58013.2022.10036988>
 32. **Polevoy S.**, Kharchenko G., Kalmykova T., Ostrizhnyi Y., Ivzhenko L., Yermakov O. Polarization-Controlled Excitation of Surface Waves at Self-Complementary Metasurface. *2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Ukraine, 14–18 November 2022. 2022. P. 222–225. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmw58013.2022.10036966>
 33. Girich A. A., Nedukh S. V., **Polevoy S. Yu.**, Sova K. Yu., Vakula A. S., Tarapov S. I. Strong Photon-magnon Coupling in a System of Two Coupled Resonators: Planar Photonic Crystal with Defect and Inverted Split-ring Resonator. *2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, Prague, Czech Republic, 3–6 July 2023. 2023. P. 200–204. URL: <https://doi.org/10.1109/piers59004.2023.10221554>
 34. **Polevoy S.** Increasing of the Photon-Magnon Coupling Strength in a System of Coupled Microwave Resonators with a Magnetic Sample. *2023 IEEE 13th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP)*, Bratislava, Slovakia, 10–15 September 2023. 2023. IMT05. P. 1–4. URL: <https://doi.org/10.1109/nap59739.2023.10310809>
 35. **Polevoy S. Yu.**, Tarapov S. I., Vakula A. S., Nedukh S. V., Girich A. A., Sova K. Yu. Spin magnetism for frequency converting at quantum computing technologies. *NATO Advanced Research Workshop “Functional Spintronic Nanomaterials for Radiation Detection and Energy Harvesting”*. Kyiv, 25–27 September 2023, 1 p. URL: http://spinnano.kpi.ua/images/abstracts/SPINNANO_Abstract_Polevoy.pdf
 36. Sova K., Vakula A., **Polevoy S.**, Tarapov S., Girich A., Nedukh S. Planar Waveguide Defect Features for Photon-Magnon Coupling Strength Increasing / K. Sova et al. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2–6 October 2023. 2023. 4 pp. URL: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312993>
 37. **Polevoy S.**, Tarapov S., Yermakov O. Role of Dielectric Substrate on Excitation of Surface Waves with Preselected Polarization State at Self-Complementary Metasurface in Microwaves. *2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Kyiv, Ukraine, 13–18 November 2023. 2023. P. 331–334. URL: <https://doi.org/10.1109/ukrmico61577.2023.10380418>
 38. Girich A. A., Nedukh S. V., **Polevoy S. Yu.**, Rami B., Sova K. Yu., Tarapov S. I., Vakula A. S., Magnetic Nanocomponents for Frequency Converting in Quantum Computing Technologies. *Functional Magnetic and Spintronic Nanomaterials*. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics. Eds.: I. Vladymyrskyi et al. Dordrecht, Netherlands, 2024. P. 197–206. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2254-2_9

9. Особистий внесок здобувача

Автором особисто запропоновано й реалізовано методику експериментального [1, 5, 6, 10, 13] та чисельного [6, 13] дослідження ближніх електромагнітних полів поблизу метаповерхонь мікрохвильового діапазону.

Автор брав основну участь в експериментальних дослідженнях спектральних властивостей метаповерхонь, що механічно перебудовуються, на основі масиву схрещених металевих смужок [1, 17]. Автор особисто провів експериментальні дослідження [6], чисельне моделювання і аналіз спектральних властивостей муарових метаповерхонь у вільному просторі [6, 26].

Автор брав основну участь у проведенні експериментальних досліджень спектральних і поляризаційних властивостей гіротропних метаповерхонь у мікрохвильовому діапазоні [5, 10, 20, 28] (налагодження розробленої та створеної раніше автором експериментальної установки з поздовжнім намагнічуванням, реєстрація спектрів у магнітному полі, аналіз результатів).

Автор брав основну участь у проведенні експериментальних досліджень [11, 22] і чисельному моделюванні мікрохвильових магніторезонансних властивостей феритових елементів зі структурованою поверхнею [11, 24, 27].

У роботі [12] автор провів аналіз результатів чисельного моделювання дисперсійних властивостей топологічних ізоляторів і картин просторового розподілу електромагнітного поля.

Автор проводив розрахунки спектральних властивостей шаруватих середовищ із магнітними елементами в коаксіальному хвилеводі, а також брав основну участь у виготовленні експериментальних структур, проведенні експериментальних досліджень і аналізі отриманих результатів [7, 21].

Автор брав участь у розробці й виготовленні експериментальних структур, а також проведенні експериментальних досліджень із безконтактної ідентифікації рідин в ємностях на основі методики з використанням неоднорідного планарного фотонного кристалу (ПФК) та в аналізі результатів [2–4, 8, 9, 18, 25]. Він розробив спеціалізовану комп'ютерну програму [2–4, 8, 9, 18] для обробки експериментальних результатів у вигляді залежності резонансної частоти й оберненої добротності ПФК від відстані до ємності з рідиною для її безконтактної ідентифікації.

Автор проводив чисельні розрахунки спектрів коефіцієнту проходження та величини сили фотон-магнітного зв'язку для планарних резонаторів із магнітними зразками [13, 30, 31, 38] та брав участь у виготовленні досліджуваних планарних резонаторів, проведенні експериментальних досліджень і в аналізі результатів [13, 14, 16, 30, 31]. Він особисто розробив спеціалізовану комп'ютерну програму для реєстрації та візуалізації результатів експериментів з дослідження спектрів планарних резонаторів із магнітними зразками в магнітному полі, яка застосовувалася в роботах [13, 31, 34, 36, 38].

Вибір адекватної аналітичної моделі подвійних планарних мікрохвильових резонаторів, а також чисельне моделювання та формування висновків виконані автором одноосібно в роботі [34].

Автор виконав чисельне моделювання дисперсійних властивостей самокомплементарних метаповерхонь і картин просторового розподілу електромагнітного поля поблизу їхньої поверхні [15, 32, 37].

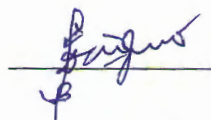
Автор брав повноцінну участь в обговоренні й аналізі результатів, формуванні висновків і написанні всіх публікацій, які лягли в основу даної дисертації роботи [1–38].

10. Висновок

Науковий семінар **вважає**, що дисертація Полевого Сергія Юрійовича на тему «Електромагнітні властивості керованих метаповерхонь мікрохвильового діапазону та їхнє застосування», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, є завершеною науковою працею та за своєю актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням повністю відповідає спеціальності 01.04.03 «Радіофізика» згідно напрямів досліджень, що вказані в паспорті даної спеціальності. За змістом, структурою та оформленням дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, п. 7 та п. 9.

Науковий семінар **рекомендує** дисертаційну роботу Полевого Сергія Юрійовича на тему «Електромагнітні властивості керованих метаповерхонь мікрохвильового діапазону та їхнє застосування», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, до захисту в Спеціалізованій вченій раді Д 64.157.01 Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України за спеціальністю 01.04.03 «Радіофізика».

Головуючий на засіданні семінару
відділу теоретичної фізики
кандидат фізико-математичних наук



Дмитро КАДИГРОБ

Рецензент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Олександр КОГУТ

Рецензент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Юрій ПРОКОПЕНКО

Рецензент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Ігор ВОЛОВІЧЕВ