

4.05.26  
«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Директор

Інституту фізики НАН України

Академік НАН України

Доктор фіз.-мат. Наук

Бондар М. В.

«7» травня 2026 р.

## ВИТЯГ

з протоколу № 3 засідання розширеного наукового семінару Відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності

Інституту фізики НАН України від 27 квітня 2026 року.

### Присутні:

- Головуючий на семінарі - Провідний науковий співробітник відділу фізики магнітних явищ Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор *Морозовська Г. М.*

З відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності:

- Провідний інженер *Ткаченко В. С.*;
- Зав. Відділом, старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук *Фесенко О. М.*
- Науковий співробітник, кандидат хімічних наук *Леоненко Є.В.*
- Провідний інженер, аспірант *Ковadlo В.П.*
- Провідний інженер, *Старинець С.*

### Запрошені:

З відділу лазерної спектроскопії Інституту фізики НАН України

- Головний науковий співробітник, доктор фіз.-мат наук, член-кор. НАН України, професор кафедри прикладної фізики Національного технічного університету України *Негрійко А.М.*

З відділу когерентної та квантової електроніки Інституту фізики НАН України:

- Головний науковий співробітник, доктор фіз.-мат. Наук *Смірнова Т.М.*
- Завідувач відділу, академік, професор, доктор фіз.-мат наук, *Яценко Л. П.*
- Молодший науковий співробітник *Гринь В. О.*

З відділу фізики кристалів Інституту фізики НАН України:

- Провідний науковий співробітник, доктор фіз.-мат. Наук *Бугайчук С. А.*

З відділу електроніки твердого тіла Інституту фізики НАН України:

- Старший науковий співробітник, кандидат фіз.-мат наук *Пилипчук О. С.*
- Інженер, аспірант *Березніков О. В.*

З відділу фізики магнітних явищ Інституту фізики НАН України:

- Інженер, аспірант *Стеценко Д. О.*

З відділу оптичної квантової електроніки Інституту фізики НАН України:

- Молодший науковий співробітник, доктор філософії *Голуб П. В.*

З фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка:

- Доцент кафедри експериментальної фізики, кандидат фіз.-мат наук *Кудря В. Ю.*

З відділу функціональних матеріалів на основі рідкісних земель Інституту проблем матеріалознавства ім. Францкевича

- Провідний науковий співробітник, доктор хімічних наук, старший науковий співробітник *Лавриненко О. М.*

Присутні 17 людей. Серед них 5 докторів фіз.-мат. наук, 1 доктор хім. наук, 1 кандидат хім. наук, 4 кандидати фіз.мат наук, 1 молодший науковий співробітник, 2 провідні інженери, 3 аспіранти

### **Порядок денний:**

Обговорення дисертаційного дослідження провідного інженера Відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності Раллева Максима Віталійовича на тему: «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $Fe_3O_4$  допованих благородними металами» поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» щодо його рекомендації для попереднього розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

### **Слухали:**

Здобувач Раллев Максим Віталійович представив презентацію за основними положеннями своєї дисертації «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $Fe_3O_4$  допованих благородними металами», на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Тема дисертації затверджена 11 вересня 2025 року, протоколом № 8 Засідання Вченої ради Інституту фізики НАН України.

Науковий керівник – Зав. Відділом, старший науковий співробітник відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності Інституту фізики НАН України, кандидат фізико-математичних наук *Фесенко О. М*

Доповідач обґрунтував вибір теми дослідження, визначив мету та завдання, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, вказав на наукову новизну отриманих результатів, науково-практичну значущість роботи, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист.

Доповідач відзначив, що метою роботи є експериментальне дослідження механізмів та закономірностей підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину у присутності гібридних наноструктур  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$ , де  $\text{M} = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Pt}$ . Для досягнення поставленої мети було синтезовано плазмонно-магнітні наногібриди, охарактеризовано їх морфологію, структуру та оптичні властивості, досліджено особливості адсорбції тиміну та гліцину, кількісно визначено коефіцієнти підсилення в SEIRA та SERS, а також проведено порівняння внесків електромагнітного та хімічного механізмів підсилення.

Доповідач відзначив, що актуальність роботи зумовлена поєднанням у магнетиті  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  магнітних властивостей із плазмонними властивостями благородних металів Ag, Au та Pt, що робить такі системи перспективними для підсилення оптичного відгуку біомолекул. Було підкреслено, що в роботі використано два взаємодоповнювальні методи SEIRA та SERS, які дозволяють не лише підвищити чутливість детектування, а й встановити характер взаємодії молекул із поверхнею наногібридів.

У доповіді були представлені результати досліджень трьох систем:  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$  / гліцин,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  / тимін та  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$  / тимін. Було показано, що наногібриди  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$  забезпечують ефективно підсилення сигналів гліцину, який адсорбується переважно за участю карбоксилатних груп. Для системи  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  встановлено, що тимін хімічно адсорбується на поверхні гібриду переважно через атоми азоту, а ця система забезпечує найбільше підсилення серед досліджених. Для системи  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$  показано, що Pt істотно впливає на структуру та електрофізичні властивості композиту, а тимін координується переважно через карбонільні групи та атом N1. Було відзначено, що для Pt-вмісної системи хемосорбція відіграє особливо важливу роль у формуванні підсиленого спектрального відгуку.

У завершальній частині доповіді було узагальнено, що вперше експериментально показано можливість використання плазмонно-магнітних наноструктур  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , модифікованих Ag, Au та Pt, як універсальної платформи для SEIRA- та SERS-детектування біомолекул тиміну та гліцину. Встановлено, що допування магнетиту благородними металами зберігає магнітні властивості  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і додає плазмонні властивості, а ефективність

підсилення для досліджених систем підпорядковується наступному порядку  $Ag > Au > Pt$ .

По завершенню доповіді Раллева М. В, присутніми були поставлені наступні запитання:

**Доктор фіз.-мат. Наук Бугайчук С. А.:** У мене 2 запитання.

- 1) Чим FTIR спектри відрізняються від SERS спектрів?
- 2) Який особистий внесок у роботу було здійснено дисертантом?
- 3) Хто саме синтезував такі частинки? Дисертант самостійно, чи хтось інший їх синтезував?

**Раллєв М. В.:** FTIR та SERS принципово різні методики, FTIR фіксує зміну дипольного моменту, а SERS залежить від зміни поляризованості адсорбованих молекул та взаємодії молекули з поверхнею. Особистий внесок – пробо підготовка, вимірювання спектрів та опис спектрів. Частинки було синтезовано спеціально під ці дослідження в інституті проблем матеріалознавства ім. Францкевича НАН України.

**Доктор фіз.-мат. наук Негрійко А.М.** зачитав зауваження, які попередь зазначив у первинній рецензії:

- 1) Варто переглянути текст на предмет усунення граматичних помилок та невдалих висловів
- 2) У цитування робіт вкралися якісь збої
- 3) У переліку задач варто вирівняти форму подачі
- 4) Треба знайти місце в дисертації для представлення результатів робіт 4 і 5 списку праць дисертанта, бо вони відображені дуже коротко на 1 стр дисертації.
- 5) Приберіть жаргон або неперекладені терміни
- 6) Було б дуже бажано відзначити, яку роль у результатах досліджень відіграли магнітні властивості наночасток
- 7) Також, було б доречно додати порівняння з іншими дослідженнями подібних частинок –  $Fe_3O_4$ -M

**Раллєв М. В.:** дисертаційна робота була додатково перевірена. Усунуто граматичні помилки, відредактовано список використаних джерел, коректно перекладено терміни, окремим підрозділом було додано дослідження магнітних явищ досліджуваних зразків та розширено розділ присвячений 4 та 5й роботам. Щодо досліджень іншими командами, під час роботи з цими композитами ми заштовхнулися з тим, що робіт на цю тему дуже мало, особливо для  $Fe_3O_4$ -Pt / тимін, тож в деякому сенсі можна сказати, що ми першопроходці.

**В обговоренні дисертації взяли участь:**

- Доктор фіз.-мат. наук, Головний науковий співробітник Відділу лазерної спектроскопії Інституту фізики НАН України *Негрійко А. М.*;
- Провідний науковий співробітник, доктор фіз.-мат. Наук *Бугайчук С. А.*
- Провідний науковий співробітник, доктор хімічних наук, старший науковий співробітник *Лавриненко О. М.*
- Старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук *Фесенко О. М.*

Вони вказали, що дисертація Раллева Максима Віталійовича є завершеною науковою працею, що відповідає вимогам до досліджень такого рівня. Слід відзначити високий рівень обґрунтованості наукових положень і висновків, їхню достовірність, забезпечену коректною постановкою задач, використанням сучасного обладнання та ефективних методів дослідження.

Також, було зазначено, що враховуючи актуальність теми, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, дисертаційна робота Раллева Максима Віталійовича *«Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> допованих благородними металами»*, подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», з останніми змінами, внесеними постановами КМ № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р. та № 507 від 03.05.2024 р.

Також було озвучено висновок наукового керівника – старшого наукового співробітника відділу відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності, кандидата фізико-математичних наук Фесенко Олени Мар'янівни:

Здобувач Раллев Максим Віталійович закінчив аспірантуру Інституту фізики Національної академії наук України за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», в повному обсязі виконав відповідну освітньо-наукову програму, завершив написання дисертаційної роботи на актуальну тему *«Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> допованих благородними металами»*.

За період роботи над дисертацією Раллев М. В. оволодів сучасними спектральними методами і методиками, такими як оптична, ІЧ та Раманівська спектроскопія та поверхнево підсилена спектроскопія, досліджував механізми реалізації SEIRA та SERS ефектів. Зокрема, засвоїв методики вимірювань спектрів поглинання на спектрометрі видимого діапазону Shimadzu, FTIR спектрометрі BRUKER та спектрів Раманівського

розсіювання на micro-Raman спектрометрі, модель inVia, виробництва Renishaw.

У процесі виконання індивідуального навчального плану Раллев М. В. виявив високу працездатність, наполегливість та ерудицію в опануванні нових навчальних дисциплін. Склав заліки та іспити з навчальних дисциплін: «Філософія науки та культура», «Методологія, організація та технологія наукових досліджень», «Основи фізики рідких кристалів», «Ієрархія структурної будови твердих тіл», «Фізика лазерів і лазерна спектроскопія», «Актуальні проблеми фізичної та молекулярної електроніки», «Навчально - педагогічна практика», «Коливальна спектроскопія біологічних молекул». Також пройшов курси з англійської мови професійного спрямування та склав відповідний іспит. Усе це засвідчує набуття Раллевим В. М. нових знань, умінь, навичок та компетентностей, які допомогли йому на високому рівні виконати наукове дослідження.

Під час навчання в аспірантурі Раллев М. В. зарекомендував себе кваліфікованим спеціалістом, ініціативним науковцем, здатним самостійно ставити та розв'язувати практичні задачі, аналізувати та узагальнювати отримані результати, порівнювати їх із наявними літературними даними.

Він брав активну участь в проведенні досліджень оптичних властивостей і, насамперед, у вимірюванні ІЧ та Раманівських спектрів молекул тиміну та гліцину адсорбованих на різних типах металевих наночастинок.

Дисертаційна робота виконувалась на базі міжнародної лабораторії поверхнево-підсиленої спектроскопії відділу міжнародної наукової та інноваційної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності Інституту фізики Національної академії наук України в рамках виконання відомчої наукових тем та грантів:

- В/199 “Дослідження оптичних, плазмонних та електрофізичних властивостей метало-вуглецевих наноструктур” РН 0119U001518
- НАТО SPS (NUKR.SFPP) G5980 «Гнучкі наносегнетоелектрики для швидкого охолодження кобальтової електроніки» програми «Наука заради миру і безпеки», РК 142/787
- №М/99; європейського проекту №778070 в рамках програми H2020-MSCA-Risw-2017 «Оксиди перехідних металів з метастабільними фазами: шлях до покращених властивостей»,
- МОН № РН/23-2023 в рамках програми «Горизонт-2020» «Вплив розмірних ефектів на електрофізичні властивості графен-сегнетоелектричних наноструктур». РН 0123U102727
- № 22БФ51-07 «Електронно-оптичні процеси в 1D та 2D розмірних наносистемах, перспективних для новітніх застосувань у наноелектроніці, енергетиці та нанобіомедицині» (2023) РН 0122U001970

Результати наукової роботи здобувача обговорювались на міжнародних наукових конференціях:

- Міжнародна конференція аспірантів та молодих вчених ІЕФ-2023. Ужгород 15-18 травня 2023;
- 11та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2023». Буковель 14-19 серпня 2023;
- Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА-2024. 14-16 травня 2024 р. Львів;
- 12та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2024». Ужгород 21-24 серпня 2024.
- 13та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2025». Буковель 20-23 серпня 2025.

Усі положення наукової новизни та основні результати дослідження Раллева М. В. опубліковано в 5 наукових працях у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах даних Web of Science та Scopus. З них 2 роботи належать до квартилю Q1, а інші 3 - до квартилю Q3, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Матеріали дисертації є результатом власних досліджень здобувача. Ідеї та елементи наукових праць інших науковців супроводжуються належними посиланнями на авторів та джерела інформації. Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, наведено у вступі до дисертації.

Крім того, результати роботи Раллева Максима Віталійовича були відзначені стипендією Президента України для молодих науковців (2024-2026) та премією Верховної Ради України для молодих науковців (2025).

З урахуванням усього зазначеного вище вважаю, що дисертаційна робота Раллева М. В. за темою: «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $Fe_3O_4$  допованих благородними металами», що подається до захисту є завершеною науковою роботою, яка за своєю актуальністю та наукової новизною і практичним значенням відповідає вимогам освітньо-науковій програмі PhD рівня, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» 10 «Природничі науки».

#### **УХВАЛИЛИ:**

Прийняти висновок щодо дисертаційної роботи Раллева Максима Віталійовича на тему: «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $Fe_3O_4$  допованих благородними металами».

## **ВИСНОВОК**

Інституту фізики НАН України  
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення  
результатів дисертації

Раллева Максима Віталійовича на тему:

«Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  допованих благородними металами».

### **Обґрунтування вибору теми дослідження**

За умов швидкого розвитку нанонауки зростає інтерес до властивостей гібридних наноструктур, що поєднують магнітні та плазмонні властивості, зокрема феритів і магнетитів допованих благородними металами. Нині з'явився важливий тренд використання наноструктур  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , допованих благородними металами (Au, Ag, Pt), які формують клас плазмонно-магнітних наноструктур, де  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  забезпечує магнітну сепарацію та керовану агрегацію, а Au/Ag/Pt — локалізований плазмонний резонанс із “hot-spots”, що різко підсилює коливальні спектри біологічних молекул за допомогою SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) і SEIRA (Surface Enhanced Infrared Absorption) спектроскопії. Наночастинки благородних металів створюють локальні плазмони, що підсилюють поблизу поверхні електромагнітне поле; як наслідок, зростає інтенсивність Раманівського розсіювання (SERS) та ІЧ-поглинання (SEIRA) адсорбованими молекулами. Такий підхід розкриває деталі взаємодій на наноінтерфейсі й дозволяє працювати з ультра малими кількостями речовини, що суттєво розширює можливості молекулярних досліджень у фізиці, хімії та біології.

Керуючи розміром і формою металевих або напівпровідникових наночастинок, можна спектрально узгодити їхні оптичні параметри, зокрема частоту плазмонного резонансу з смугами поглинання/розсіювання молекул, розташованих поблизу наноструктур. Такі дослідження розкривають природу взаємодій на межі «наноструктура–молекула» та відкривають нові можливості для створення каталізаторів медичних діагностичних систем, біосенсорів, та інших високотехнологічних рішень. Отже, аналіз механізмів підсилення оптичних переходів у гібридних структурах має як фундаментальну, так і прикладну цінність.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційну роботу виконано на базі Міжнародної лабораторії поверхнево-підсиленої спектроскопії Інституту фізики НАН України в межах таких тем та проектів:

- В/199 “Дослідження оптичних, плазмонних та електрофізичних властивостей метало-вуглецевих наноструктур” РН 0119U001518

- NATO SPS (NUKR.SFPP) G5980 «Гнучкі наносегнетоелектрики для швидкого охолодження кобальтової електроніки» програми «Наука заради миру і безпеки», РК 142/787
- №М/99; європейського проекту №778070 в рамках програми H2020-MSCA-Risw-2017 «Оксиди перехідних металів з метастабільними фазами: шлях до покращених властивостей»,
- МОН № РН/23-2023 В рамках програми «Горизонт-2020» «Вплив розмірних ефектів на електрофізичні властивості графен-сегнетоелектричних наноструктур». РН 0123U102727
- № 21БФ51-07 «Електронно-оптичні процеси в 1D та 2D розмірних наносистемах, перспективних для новітніх застосувань у наноелектроніці, енергетиці та нанобіомедицині» (2023) РН 0122U001970

### Мета і завдання

Метою цієї дисертаційної роботи є експериментальне дослідження механізмів та закономірностей підсилення оптичних переходів біологічних молекул тиміну та гліцину у присутності гібридних наноструктур  $Fe_3O_4-M$  ( $M = Ag, Au, Pt$ ).

Для реалізації сформульованої мети були поставлені та реалізовані наступні завдання:

- 1) Синтезувати гібридні плазмонно-магнітні наноструктури  $Fe_3O_4-M$  ( $M = Ag, Au, Pt$ ) із *in-situ* декоруванням металом без низькомолекулярних стабілізаторів.
- 2) Розробити чутливу методику на основі ефектів SEIRA та SERS з використанням металевих та магнітних наноструктур, для реєстрації і визначення структурних особливостей тестових молекул (тиміну та гліцину);
- 3) Охарактеризувати морфологію й структуру плазмонно-магнітні наноструктури  $Fe_3O_4-M$  ( $M = Ag, Au, Pt$ ) за допомогою SEM/TEM, XRD, TG/DTG-DTA, а також їх оптичні властивості методами UV-Vis, FTIR та Раманівської спектроскопії;
- 4) Визначити оптимальні структурні параметри підсилюючих плазмонно-магнітних наноструктур (типу металу, геометрії поверхні, структури та методу синтезу та допування гібридних матеріалів) для отримання максимального підсилення в SEIRA та SERS ефектах адсорбованими молекулами;
- 5) Дослідити особливості адсорбції тестових біомолекул (тимін, гліцин) на гібридних наноструктурах: вплив допування, орієнтації та типу взаємодії біологічних молекул з гібридними наноструктурами та їх спектральні властивості;
- 6) Кількісно визначити коефіцієнти підсилення у SEIRA та SERS ефектах,

- межі детектування (Limit of Detection) для вибраних маркерних смуг;
- 7) Порівняти електромагнітний (LSPR, «гарячі точки») і хімічний (зарядо-перенос/координація) механізми для SEIRA/SERS для гібридних наноструктур  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$  ( $\text{M} = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Pt}$ );
  - 8) Порівняти системи  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$  між собою і визначити найбільш оптимальні параметри вибору матеріалів і режимів для реалізації SEIRA/SERS ефектів;
  - 9) Аналіз та узагальнення спектроскопічних результатів щодо впливу різних механізмів підсилення.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у тому, що в ході дослідження встановлено та експериментально підтверджено такі результати:

1. Створено універсальні магнітно-плазмонні підкладки на основі наногібридів  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$  ( $\text{M} = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Pt}$ ) з *in-situ* допуванням металом без низькомолекулярних стабілізаторів, що поєднують плазмонні та магнітні властивості і забезпечують відтворювані SEIRA/SERS-вимірювання для тестових біомолекул;
2. Вперше оцінено підсилення для тестових біомолекул (тиміну та гліцину) на наногібридах  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$  і встановлено узгоджену ієрархію підсилення  $\text{Ag} > \text{Au} > \text{Pt}$ . Для системи тиміну адсорбованого на  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  зафіксовано SERS підсилення до  $52 \cdot 10^2$ , для гліцину з  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$  зафіксовано SERS підсилення близько  $3\text{-}7 \cdot 10^2$ , тоді як для тиміну з  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$  отримано стабільне, але помірне підсилення, близько 33 разів;
3. Для  $\text{Thy}$  з  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  встановлено селективне підсилення  $\text{NH}/\text{NH}_3$ -мод порівняно з  $\text{CH}$  і  $\text{C=O}$ , що відображає іншу геометрію/тип адсорбції на  $\text{Ag}$ -поверхні та доповнює картину зв'язування нуклеобаз із благородними металами;
4. Для системи  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$ /гліцин експериментально підтверджено місткову бідентатну координацію карбоксилату ( $\text{COO}^-$ ) у SEIRA і отримано оцінки SERS-підсилення (до  $\sim 10^3$  для окремих мод), що розширює номенклатуру біозондів і демонструє універсальність платформи;
5. Вперше для систем  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$  показано спектроскопічні маркери двоточкової координації тиміну на  $\text{Pt}$ -сайтах  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$ : участь  $\text{C=O}$  та  $\text{N1}$  (після депротонування), зсуви  $\nu(\text{C=O})$ , послаблення  $\text{N-H}$  та поява смуг  $\sim 744$  і  $\sim 830$   $\text{cm}^{-1}$ , що вказує на формування стабільних поверхневих комплексів;
6. Вперше проведено систематичне дослідження магнітно-плазмонних підкладок та впливу низки факторів (типу наночастинок металу, умов допування, фазовий стан оксидної матриці (LFO, BSFO), кількості осажденного матеріалу, типу молекулярних груп) на підсилення ІЧ поглинання та Раманівського розсіювання біологічних молекул адсорбованих на наногібридах  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$  ( $\text{M} = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Pt}$ ) в SEIRA/SERS експериментах.

## Особистий внесок здобувача

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці експериментальних зразків до вимірювань і виконанні експериментальної частини роботи, зокрема у реєстрації спектрів поглинання UV–Vis, ІЧ (FTIR) та Раманівських спектрів. Здобувач брав активну участь в обговоренні та інтерпретації результатів, а також формулювання висновків сформульовано спільно з науковим керівником. Автор безпосередньо готував матеріали до публікацій і представляв результати на міжнародних наукових конференціях.

## Публікації

Статті у періодичних фахових виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank:

1. Rallev M., Fesenko O., Yaremkevych A., Lavrynenko O. «*Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Au nanohybrids as novel SEIRA and SERS substrate for Glycine detection*» *Molecular Crystals and Liquid Crystals* <https://doi.org/10.1080/15421406.2023.2260077>. (Q3)  
*Особистий внесок – Виконано підготовку зразків, зняття UV–Vis спектрів наночастинок і FTIR-спектрів гліцину на фериті та Au-НЧ; проведено опрацювання експериментальних даних і узагальнення висновків; підготовлено текст публікації, здійснено рецензування/редагування, підготовлено візуальний супровід і виконано публічний захист результатів.*
2. Rallev M., Fesenko O., Leonenko Ye., Yaremkevych A., Lavrynenko O. «*Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Ag nanohybrids as novel SEIRA and SERS substrate for Thymine detection*» *Molecular Crystals and Liquid Crystals* <https://doi.org/10.1080/15421406.2024.2434336>. (Q3)  
*Особистий внесок – Автор виконав підготовку зразків, зняття UV–Vis спектрів наночастинок і ІЧ спектрів тиміну за наявності фериту та срібних наночастинок; провів аналітику експериментальних даних і сформулював висновки; підготував публікацію, здійснив огляд і редактуру, створив ілюстративний супровід та представив роботу публічно.*
3. M. Rallev, Ye. Leonenko, A. Yaremkevych, O. Pylypchuk, O. Lavrynenko O. Fesenko «*Magneto-Plasmonic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Pt Nanohybrids for SEIRA and SERS-Based Thymine Sensing*» *Molecular Crystals and Liquid Crystals* <https://doi.org/10.1080/15421406.2026.2619526>. (Q3)  
*Особистий внесок – До внеску здобувача належали: підготовка серії зразків; вимірювання UV–Vis (НЧ) та ІЧ спектрів тиміну в присутності фериту й платинових наночастинок; аналіз і узагальнення даних; формування висновків; написання, рецензування/редагування статті; розроблення ілюстрацій; усна презентація.*
4. A. Morozovska, E. Leonenko, M. Rallev, O. and all. «*Reentrant polar phase induced by the ferroionic coupling in Bi<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> nanoparticles*» *PHYSICAL REVIEW B* <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.224110>. (Q1)  
*Особистий внесок – Особистий внесок здобувача охоплює підготовку*

зразків, реєстрацію ІЧ-спектрів композиту, опрацювання експериментальних даних, формулювання частини висновків та співавторство рукопису.

5. O. Fesenko, A. Morozovska, M. Rallev, Andrii V Bodnaruk and all. «Temperature-Induced Hexagonal-Orthorhombic Phase Transition in Lutetium Ferrite Nanopowders», Journal of Physics and Chemistry of Solids, <https://doi.org/10.1063/5.0225063>. (Q1)

Особистий внесок – Автор підготував зразки, провів вимірювання ІЧ-спектрів композитного матеріалу, проаналізував отримані результати, сформулював окремі висновки та долучився до підготовки рукопису.

### **Апробація результатів дисертації**

- Міжнародна конференція аспірантів та молодих вчених ІЕФ-2023. Ужгород 15-18 травня 2023;
- 11та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2023». Буковель 14-19 серпня 2023;
- Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА-2024. 14-16 травня 2024 р. Львів;
- 12та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2024». Ужгород 21-24 серпня 2024.
- 13та Міжнародна науково-практична конференція Нанотехнології і наноматеріали «НАНО-2025». Буковель 20-23 серпня 2025.

### **Структура роботи**

Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, 5 розділів, висновків та списку літератури.

### **Оцінка мови та стилю дисертації**

Дисертація виконана українською фаховою мовою з правильним вживанням спеціальної термінології. Стиль викладення в дисертації матеріалів досліджень, наукових положень та висновків забезпечує доступність їх сприйняття. Оформлення дисертаційної роботи відповідає стилю науково-дослідницької літератури.

За результатами попередньої експертизи дисертаційного дослідження, виконаного Раллевім М. В., а також вивчення повноти публікацій основних результатів дослідження

### **УХВАЛЕНО**

- Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Раллева Максима Віталійовича на тему «**Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> допованих**

**благородними металами»;**

- Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертації Раллева М. В. відповідає спеціальності 104 “Фізика та астрономія” та вимогам “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 року, зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 341 від 21 березня 2022 р., № 502 від 19 травня 2023 р. і № 507 від 3 травня 2024 р.
- Рекомендувати дисертаційну роботу «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> допованих благородними металами», подану Раллевым Максимом Віталійовичем на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 “Природничі науки” за спеціальністю 104 “Фізика та астрономія”.
- Рекомендувати Вченій раді Інституту фізики НАН України утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

Завідувач відділу оптичної квантової електроніки, провідний науковий співробітник Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат.наук *Васнецов М. В.*;

Рецензенти:

Провідний науковий співробітник відділу фізики кристалів Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат. Наук *Бугайчук С. А*

старший науковий співробітник відділу Фотоактивності Інституту фізики НАН України, кандидат фіз.-мат. Наук *Кадащук А. К.*

Опоненти:

Доцент кафедри експериментальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат фіз.-мат наук *Кудря В. Ю.*

Провідний науковий співробітник Центру колективного користування приладами «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем» НАН України Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, доктор фізико-математичних наук, *Стрельчук В.В.*

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Раллева М.В. на тему «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах  $Fe_3O_4$  допованих благородними металами» на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»:

«За» - 17

«Проти» - немає

«Утримались» - немає

Головуючий на семінарі - Провідний науковий співробітник відділу фізики магнітних явищ Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат. Наук, професор



МОРОЗОВСЬКА Г. М.