

РІШЕННЯ
РАЗОВОЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ
ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Здобувач **Раллев Максим Віталійович**, 1995 року народження, громадянин України.

Освіта вища: у 2017 році закінчив Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і здобув кваліфікацію: освітньо-кваліфікаційний рівень Спеціаліст, спеціальність: Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, професійна кваліфікація: інженер з розроблення, налагодження й випробувань.

Аспірант Інституту фізики НАН України з відривом від виробництва, за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Разова спеціалізована вчена рада Д 26.104.007 утворена наказом Інституту фізики НАН України, м. Київ від 13 травня 2026 р № 28 у складі:

Голови разової

спеціалізованої вченої ради –

Михайла Васнецова, доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача відділу оптичної квантової електроніки Інституту фізики НАН України;

Рецензентів:

Світлани Бугайчук, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, провідного наукового співробітника відділу фізики кристалів Інституту фізики НАН України;

Андрія Кадащука, кандидата фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника відділу фотоактивності Інституту фізики НАН України.

Офіційні опоненти:

Віктора Стрельчука, доктора фізико-математичних наук, професора, провідного наукового співробітника Центру колективного користування приладами «Діагностика напівпровідникових матеріалів, структур та приладних систем» Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України;

Владислава Кудрі, кандидата фізико-математичних наук, доцента кафедри експериментальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, на засіданні 30 червня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки Максиму Раллеву на підставі публічного захисту дисертації «Ефекти та механізми підсилення оптичних переходів молекул тиміну та гліцину на комбінованих наноструктурах Fe₃O₄ допованих благородними металами» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Дисертація виконана в Інституті фізики НАН України, відділ міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності, м. Київ.

Науковий керівник: Фесенко Олена Мар'янівна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу міжнародної науково-технічної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності Інституту фізики НАН України.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису українською мовою, який повністю відповідає вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом МОН України від 12.01.2017 р., № 40.

Робота виконувалась в Інституті фізики НАН України в межах наукових напрямів, пов'язаних із дослідженням оптичних, плазмонних, електрофізичних і структурних властивостей функціональних наноматеріалів.

Тематика роботи узгоджується з сучасними фундаментальними та прикладними дослідженнями у сфері нанофізики, плазмоніки, поверхнево-підсиленої спектроскопії, біосенсорики та нанобіомедицини.

У дисертаційній роботі вперше експериментально обґрунтовано можливість використання гібридних плазмонно-магнітних наноструктур $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{M}$ ($\text{M} = \text{Ag}, \text{Au}, \text{Pt}$) як універсальних підкладок для SEIRA- та SERS-детектування модельних біомолекул тиміну й гліцину. Показано, що *in-situ* декорування магнетиту наночастинками благородних металів без застосування низькомолекулярних стабілізаторів дає змогу поєднати магнітні властивості $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}$ із плазмонною активністю Ag, Au та Pt, що забезпечує відтворюване підсилення коливальних спектрів адсорбованих молекул.

Вперше для досліджених систем $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{M}$ встановлено узгоджену ієрархію ефективності підсилення сигналу $\text{Ag} > \text{Au} > \text{Pt}$. Для тиміну, адсорбованого на $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Ag}$, зафіксовано SERS-підсилення до 62×10^2 ; для гліцину на $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Au}$ — підсилення порядку $3-7 \times 10^2$, а для тиміну на $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Pt}$ отримано стабільне, але помірне SERS-підсилення близько 33 разів. Це дозволило порівняти внески електромагнітного та хімічного механізмів у реалізацію SEIRA/SERS-ефектів на магнітно-плазмонних наногібридах.

Для системи $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Ag}$ /тимін встановлено селективне підсилення коливальних мод, пов'язаних із $\text{N1H}/\text{N3H}$ -групами, порівняно з CH- та C=O- модами. Показано, що така спектральна поведінка зумовлена особливостями хемосорбції тиміну на Ag-вмісній поверхні, зокрема координацією переважно через депротонований центр N1 із можливою частковою участю N3.

Для системи $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Au}$ /гліцин експериментально підтверджено місткову бідентатну координацію карбоксилатної групи COO^- на поверхні наногібриду. Встановлено, що різні функціональні групи гліцину підсилюються неоднаково залежно від їхньої орієнтації та типу взаємодії з поверхнею, що розширює можливості використання таких наноструктур як універсальних біосенсорних платформ.

Вперше для систем $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{Pt}$ /тимін виявлено спектроскопічні маркери двоточкової координації тиміну на Pt-сайтах наногібриду за участі карбонільних груп C=O та атома N1 після депротонування. Такий висновок підтверджено зсувами $\nu(\text{C=O})$, послабленням коливань N-H та появою додаткових смуг близько ~ 744 і $\sim 830 \text{ cm}^{-1}$, що свідчить про формування стабільних поверхневих комплексів.

У роботі вперше систематизовано вплив типу благородного металу, умов допущання, фазового стану оксидної матриці, кількості осажденного матеріалу та природи молекулярних груп на підсилення ІЧ-поглинання й Раманівського розсіювання біомолекул, адсорбованих на наногібридах $\text{Fe}^{\text{II}}\text{O}-\text{M}$. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для подальшого розроблення селективних і відтворюваних SEIRA/SERS-підкладок для біосенсорики, молекулярної діагностики та аналізу надмалих кількостей речовин.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у розвитку фізичних уявлень про процеси підсилення оптичних переходів молекул на плазмонно-магнітних наноструктурах. У роботі показано, що ефективність SEIRA- та SERS-підсилення визначається не лише наявністю

наночастинок благородного металу, але й морфологією поверхні, характером адсорбції молекул, типом металу, орієнтацією молекулярних груп та специфікою міжфазної взаємодії.

Практичне значення отриманих результатів пов'язане з можливістю використання досліджених наногібридів як функціональних підкладок для детектування малих кількостей біомолекул. Такі матеріали можуть бути перспективними для створення біосенсорів, діагностичних платформ, систем екологічного моніторингу та аналітичних методик для виявлення низьких концентрацій органічних сполук.

Здобувач має 5 наукових публікацій за темою дисертації у періодичних фахових виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, та представлено на 5ти наукових міжнародних та всеукраїнських конференціях, а саме:

Rallev M., Fesenko O., Yaremkevych A., Lavrynenko O. «*Fe₃O₄-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)

Rallev M., Fesenko O., Leonenko Ye., Yaremkevych A., Lavrynenko O. «*Fe₃O₄-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)

M. Rallev, Ye. Leonenko, A. Yaremkevych, O. Pylypchuk, O. Lavrynenko O. Fesenko «*Magneto-Plasmonic Fe₃O₄-Pt Nanohybrids for SEIRA and SERS-Based Thymine Sensing*» Molecular Crystals and Liquid Crystals <https://doi.org/10.1080/15421406.2026.2619526>. (Q3)

A. Morozovska, E. Leonenko, M. Rallev, O. and all. «*Reentrant polar phase induced by the ferroionic coupling in Bi_{1-x}Sm_xFeO₃ nanoparticles*» PHYSICAL REVIEW B <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.110.224110>. (Q1)

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)

Якість та кількість публікацій відповідають «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 від 12 січня 2022 року № 44, зі змінами.

У дискусії взяли участь голова і члени разової спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

Михайло Васнецов, без зауважень.

Світлана Бугайчук,

1. При описанні властивостей тиміну і гліцину як біомаркерів доречно було б навести їх структурні формули (атомну будову молекул).

2. В розділі 3 вказано на сталеву підкладку. Але ніде не зазначено, що це за сталеві підкладки, який її склад, який її розмір.

3. У розділах зазначено, що магнетити (Fe_3O_4) і наногібриди з металевими НЧ були впресовані у матрицю KBr для дослідження FTIR спектрів. Але не описана методика приготування таких зразків.

Зазначені зауваження не знижують високого рівня наукової роботи та достовірності отриманих результатів. Вони носять редакційний і рекомендаційний характер та можуть бути враховані автором у подальших публікаціях.

Андрій Кадашук:

1. У дисертації виявлено паралельне використання термінології українською та англійською мовами. Рекомендується забезпечувати єдність термінології та використовувати один мовний варіант для означення конкретного терміну. Це б полегшило сприйняття та зрозуміння тексту читачем та підсилило науковий характер дисертації.
2. У дисертації запропоновано пояснення різниці між підсилювальними властивостями систем $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Ag}$, $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Au}$ та $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Pt}$ через особливості плазмонного та хімічного механізмів підсилення. Разом з тим, кількісний розподіл внесків цих механізмів для досліджених систем не проведено, що дещо ускладнює однозначну інтерпретацію отриманих експериментальних результатів.
3. В якості модельних об'єктів дослідження обрано лише дві біомолекули - тимін та гліцин. Такий вибір є цілком обґрунтованим для досягнення поставленої мети, однак розширення переліку досліджуваних біомолекул дозволило б краще оцінити універсальність розроблених підсилювальних платформ та їх потенціал для практичного застосування в біосенсоричці. Крім того, при описанні властивостей тиміну і гліцину як біомаркерів доречно було б навести в дисертації структурні формули цих молекул, оскільки це є стандартною практикою в роботах, присвячених спектроскопії органічних сполук.
4. У дисертації наведено загальні теоретичні співвідношення для опису електромагнітного механізму SEIRA/SERS-підсилення, проте відсутній безпосередній зв'язок між цими теоретичними моделями та кількісними експериментальними результатами для досліджених систем $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Au}$, $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Ag}$ та $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Pt}$. Зокрема, не наведено розрахунків локального підсилення поля або моделювання плазмонних резонансів для реальної морфології отриманих наноструктур, що дозволило б більш повно інтерпретувати відмінності у величинах експериментально визначених коефіцієнтів підсилення.
5. В роботі відсутня статистика відтворюваності SERS/SEIRA-субстратів. Для практичного застосування важливо показати розкид інтенсивностей по різних ділянках підкладки та між різними серіями синтезу.
6. Недостатньо розкрито межі детектування (LOD). У вступі та анотації вони заявляються як один із результатів, але закономірно виникає питання щодо методики їх визначення та порівняння зі світовими аналогами.
7. Для Pt-систем твердження про плазмонний внесок виглядає дискусійним. У сучасній літературі Pt вважається значно слабшим плазмонним матеріалом порівняно з Au та Ag, тому хотілося б бачити більш розгорнуте обґрунтування внеску саме плазмонного механізму у $\text{Fe}[\text{O}]-\text{Pt}$.
8. Також у тексті дисертації трапляються окремі стилістичні неточності, повторення формулювань та незначні редакційні огріхи, які, однак, не впливають на сприйняття основних результатів дослідження. Наприклад, в дисертації використовується термін "коливальна спектроскопія," але зустрічається варіант "вібраційні моди", що є жаргонічною калькою з англійської мови.
9. В дисертації є розділ «Перелік умовних позначень і скорочень» (Ст.15), але в ньому відсутні розшифровки ряду скорочень використаних в роботі, таких наприклад як TG/DTG-DTA та ряду інших. Крім того, перелік самих скорочень варто давати в алфавітному порядку

Віктор Стрельчук:

1. У тексті дисертації недостатньо чітко відзначено новизну отриманих результатів в результаті дослідження магнітно-плазмонних гібридних наноструктур $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$ (Au, Ag, Pt) у порівнянні з існуючими літературними даними.
2. У деяких випадках аналіз експериментальних даних має переважно описовий характер і потребує більш доказового обґрунтування зроблених висновків. Зокрема:
 - при аналізі UV-VIS-спектрів поглинання наногібридів гліцин- $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$ (стор.101) автор лише констатує факт зміщення смуг без відповідної фізичної інтерпретації. Зокрема, зазначається, що декорування магнетиту НЧ золота зумовлює зсув його власної смуги поглинання від 2252 нм до 2294 нм (рис. 3.5, а), проте природа цієї смуги та причини її зсуву залишаються нез'ясованими.
 - аналогічно, для системи гліцин- $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Au}$ зафіксовано зсув смуг від 228 до 276 нм та зсув широкої плазмонної смуги НЧ золота від 569 до 566 нм (рис. 3.5, б), однак детальний аналіз таких змін відсутній. Аналогічне зауваження стосується і до пояснення результатів наведених на рис. 4.5, а (стор.118) і відмінність цих результатів із UV спектрами при добавці тиміну (рис.4.5б);
 - детального аналізу і пояснень потребують також UV спектри поглинання для наноструктур $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$, представлених на рис.5.8, а і рис.5.8, б (стор.138).
3. У п'ятому розділі (§5.7, стор.146-149) представлено результати оптичних раманівських і ІЧ досліджень впливу умов синтезу та температури термічної обробки на процеси фазоутворення та співіснування гексагональної (h-LuFeO_3) та орторомбічної (o-LuFeO_3) модифікацій з фериту лютецію (стаття здобувача "Temperature-induced hexagonal-orthorhombic phase transition in lutetium ferrite nanoparticles". AIP Advances, 14, 2024, 095124). Ці результати є цікавими з фізичної точки зору, проте здобувачу варто чіткіше окреслити їхній зв'язок із метою дисертаційного дослідження - механізми підсилення оптичних переходів | молекул тиміну та гліцину на комбінованих наногібридах $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-M}$.
4. У п'ятому розділі (§5.8, стор.150-152) поряд із результатами для $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Pt}$ представлено результати дослідження методом ІЧ спектроскопії нанопорошків $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ із різною концентрацією Bi (0,90 і 0,95) і Sm (0,10 і 0,05) (стаття здобувача "Reentrant polar phase induced by the ferroionic coupling in $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ nanoparticles" Physical Review B 110 (2024) 224110). В цій роботі досліджено вплив розмірних ефектів та фероїонного зв'язку на фазовий стан оксидної матриці, впорядкування різних фероїонних сегнетоелектричних фаз у мультифероїдних наночастинках у наночастинках $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$. Запропоновано наукове припущення, що фероїонна взаємодія здатна генерувати сильні локальні електричні поля поблизу поверхні сегнетоелектричних наночастинок. Цей ефект може впливати на інтенсивність та селективність підсилення коливних мод в SEIRA експериментах навіть за відсутності плазмонних наночастинок благородних металів. Водночас експериментальне підтвердження реалізації цього безплазмонного механізму потребує проведення окремих систематичних досліджень, що не є метою даної дисертації. Здобувачу рекомендується чіткіше аргументувати доцільність представлення цих даних у дисертаційній роботі.
5. У тексті дисертації зустрічаються редакційні та термінологічні неточності. В роботі зустрічають технічні помилки. Наприклад, у англomовній анотації зазначено 2025 рік, тоді як на титульній сторінці української версії вказано 2026 рік. У списку опублікованих праць здобувача (стор. 10) наведено неповні бібліографічні дані (відсутні відомості про співавторів, рік ви-

дання, том та сторінки). У назві розд. 1.3 допущено орфографічні помилки (Механізми підсилення оптичних переходів біоорганічних молекул адсорбованих на благородних наноструктурах); на рис. 4.3 відсутні позначення всіх рентгенівських рефлексів досліджуваної структури (стор. 115). Вказані недоліки не знижують у цілому позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Владислав Кудря:

1. У першому розділі роботи, де наведено огляд літератури, замало ілюстративного матеріалу стосовно умов виникнення плазмонного резонансу, особливо «гарячих точок» (hot spots), а також структури наночастинок (особливо для комбінованих наноструктур). Також бажано б було подати структурні формули модельних біологічних молекул тиміну та гліцину.
2. Текст роботи містить певну кількість граматичних, синтаксичних та пунктуаційних помилок.
3. У тексті роботи відсутня нумерація формул, що іноді ускладнює сприйняття відповідного матеріалу.
4. Частина списку використаних джерел оформлена не за вимогами, іноді відсутні назви журналів, рік видання, том, сторінки і, навіть, прізвища авторів.
5. У тексті роботи зустрічаються жаргонні вирази (с.38, «еластичне» та «нееластичне» розсіювання замість загальноприйнятих «пружне» та «непружне» розсіювання; с.58, «LSPR-резонанс зсувається у довші хвилі» замість «LSPR-резонанс зсувається у бік більших значень довжин хвиль», і т. п., а також певні неузгодження числових даних (с.34, дальня область ІЧ випромінювання « $400 \div 10 \text{ см}^{-1}$ » – це вже початок радіодіапазону, і т. п.).
6. Починаючи з параграфу 2.5.3 і далі по тексту, підпис до рис.4.5: не вдале означення UV-спектроскопії: в роботі цей термін означає лише оптичне поглинання, проте в науковій літературі цей термін означає не лише поглинання, а й люмінесценцію (для органічних сполук – флюоресценцію та фосфоресценцію).
7. Для спектральних приладів не наведено значення спектральної ширини щілини, зокрема Shimadzu UV-1800. В зв'язку з цим постає питання, чи є правомірним вести мову про спектральний зсув з 569 нм до 566 нм плазмонної смуги поглинання наносистеми $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Au}$ при додаванні до нього гліцину (с.101, рис.3.5,б) і пояснювати цей зсув саме взаємодією з гліцином?
8. На рисунках 1.6., 3.3., 5.3 присутні підписи недержавною (англійською) мовою. На рисунках 2.6, 3.1, 4.1, 5.1 не видно написів навіть при збільшенні масштабу. На рисунку 5.4 варто було б рознести залежності струму, опору та діелектричної проникності на різні рисунки.
9. Для дифрактограм (рис.3.3, 4.3) бажано було б пояснити зміст цифр в дужках.
10. Не пояснено природу та/або причину виникнення деяких смуг у спектрах, а саме: $\nu=3382 \text{ см}^{-1}$ та $\nu=3250 \text{ см}^{-1}$ у FTIR-спектрах $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Ag}$ з тиміном (рис.4.6, с.120); широкої довгохвильової смуги в діапазоні $\lambda=300 \div 700 \text{ нм}$ (рис.4.5,б, с.118) та смуг з максимумами $\lambda=708/711 \text{ нм}$ в УФ-видимих спектрах поглинання тиміну/ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Pt}$ з тиміном (рис.5.8,б, с.138).
11. Не вказано, діелектричні проникності яких середовищ (ϵ_1 та ϵ_2) наведено у формулі (1) на с.153.
12. На рис.4.5б (с.118) подані UV–VIS спектри поглинання для тиміну з наноструктурами $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Ag}$ та чистого тиміну. Автор роботи пов'язує зміну оптичної густини поглинання з невеличким підсиленням за допомогою $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Ag}$, хоча ця зміна є незначною і може бути пов'язана з експериментальною похибкою.

Проте зроблені зауваження жодним чином не знижують високу наукову якість, достовірність та практичну цінність основних результатів роботи і стосуються, в основному, оформлення роботи.

Враховуючи актуальність теми, наукову новизну, обґрунтованість основних положень і практичне значення результатів, вважаємо, що дисертаційна робота Раллева Максима Віталійовича 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», зі змінами, Раллев Максим Віталійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Всі члени ради взяли участь у дискусії. Кожен член ради відкрито висловив свою позицію **за присудження ступеня доктора філософії Максиму Віталійовичу Раллеву.**

Результати відкритого голосування:

«За»	<u>5</u>	членів ради
«Проти»	<u>0</u>	членів ради

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує РАЛЛЄВУ Максиму Віталійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

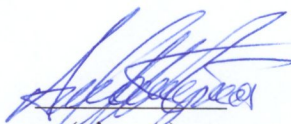
Голова разової спеціалізованої
вченої ради


(підпис)

Михайло ВАСНЄЦОВ

В.о. Вченого секретаря
Інституту фізики НАН України
к.т.н.




(підпис)

Олександр МАМУТА