

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи
Національного університету
"Львівська політехніка"

І.В.Демидов

2021 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 1 фахового семінару кафедри прикладної математики

Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук
Національного університету "Львівська політехніка"

від 30 червня 2021 р.

1. ПРИСУТНІ: 21 із 22 науково-педагогічних працівників кафедри прикладної математики, а саме:

1. Костробій Петро Петрович, зав. кафедри, доктор фізико-математичних наук, професор;
2. Бунь Ростислав Адамович, доктор технічних наук, професор;
3. Токарчук Михайло Васильович, доктор фізико-математичних наук, професор;
4. Юзефович Роман Михайлович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор Центру математичного моделювання фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України;
5. Маркович Богдан Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор;
6. Антонова Тамара Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
7. Гнатів Богдан Васильович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
8. Мединський Ігор Павлович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
9. Пізюр Ярополк Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
10. Уханська Оксана Михайлівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

11. Сенік Андрій Петрович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
12. Пабірівський Віктор Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
13. Гладун Володимир Романович, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
14. Манзій Олександра Степанівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
15. Ярошко Світлана Михайлівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент;
16. Алексеєв Владислав Ігорович, кандидат технічних наук, доцент;
17. Гайдучок Олена Василівна, кандидат економічних наук, доцент;
18. Возна Світлана Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, старший викладач;
19. Любінський Богдан Богданович, кандидат технічних наук, доцент;
20. Рижа Ірина Андріївна, кандидат технічних наук, доцент;
21. Топилко Петро Іванович, кандидат технічних наук, асистент.

На фаховий семінар запрошені:

1. П'янило Ярослав Данилович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України;
2. Куриляк Дозислав Богданович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології.
3. Мусій Роман Степанович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри вищої математики, Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук.

З присутніх – 8 докторів наук та 16 кандидатів наук (фахівці за профілем представленої дисертації).

Голова засідання – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики Пізюк Я.В.

Секретар засідання – кандидат економічних наук, доцент кафедри прикладної математики Гайдучок О.В.

2.СЛУХАЛИ: Доповідь аспіранта кафедри прикладної математики Польового Віталія Євгеновича за матеріалами дисертаційної роботи: “Моделювання поширення плазмон-поляритонних хвиль в шаруватих структурах”, представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 *Прикладна математика*.

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук, професор Костробій П.П.

Тему дисертації затверджено 24 жовтня 2017 р. на засіданні Вченої ради інституту прикладної математики та фундаментальних наук, протокол № 64.

Робота виконана на кафедрі прикладної математики Національного університету “Львівська політехніка”.

По доповіді було задано 7 запитань, на які доповідач дав правильні та ґрунтовні відповіді. Питання задавали: д.т.н., проф. П’янило Я.Д.; д.т.н., проф. Бунь Р.А.; д.т.н., проф. Токарчук М.В.; д.ф.-м.н., проф. Маркович Б.М.; к.ф.-м.н., доц. Гнатів Б.В., д.ф.-м.н., проф. Мединський І.П.

3. ВИСТУПИ ПРИСУТНІХ

З оцінкою дисертаційної роботи **Польового В.Є.**, аспіранта кафедри прикладної математики, виступили рецензенти:

- д.ф.-м.н., проф. **Мединський Ігор Павлович**, професор кафедри прикладної математики;
- д.ф.-м.н., проф. **Токарчук Михайло Васильович**, професор кафедри прикладної математики,

які відзначили актуальність теми, наукову новизну і практичне значення основних результатів та висновків дисертації, особистий внесок здобувача, практичне застосування одержаних результатів. Загальна характеристика дисертаційної роботи – позитивна. Рецензенти запропонували рекомендувати дисертаційну роботу до подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

З оцінкою дисертаційної роботи також виступили присутні на фаховому семінарі:

Професор кафедри прикладної математики Національного університету “Львівська політехніка”, **д.ф.-м.н. Маркович Б.М.**, який підкреслив актуальність теми та наукову новизну одержаних результатів, яка полягає у розробленні математичних моделей поширення плазмонних збуджень в структурах діелектрик/метал/діелектрик. Робота є добре структурованою із чітким формулюванням мети дослідження, виведенням математичних моделей, проведенням обчислювальних експериментів та інтерпретацією отриманих результатів. За усіма ознаками відповідає рівню дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 *Прикладна математика*.

Старший науковий співробітник, професор кафедри програмного забезпечення Національного університету “Львівська політехніка”, **д.ф.-м.н., проф. Мусій Р.С.**, який відзначив актуальність наукового дослідження і практичну цінність отриманих результатів, пов’язану з математичним моделюванням поширення плазмонних збуджень на поверхні металу. В цілому, робота відповідає спеціальності 113 *“Прикладна математика”* і може бути рекомендована до подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Директор Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, **д.т.н., ст.н.сп. П’янило Я.Д.**,

який зазначив наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Запропоновані математичні моделі дають можливість якісно оцінити вплив квантово розмірних ефектів на поведінку частотного спектру плазмонних збуджень на поверхні металу. Підтримав пропозицію рецензентів рекомендувати роботу до подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 *Прикладна математика*.

Доцент кафедри прикладної математики Національного університету “Львівська політехніка”, **к.ф.-м.н., доц. Гнатів Б.В.** підкреслив оригінальність розроблених математичних моделей, добре представлення результатів у наукових публікаціях та широку апробацію на конференціях різного рівня. Дисертант вирішив актуальне наукове завдання та отримав якісне та кількісне узгодження із експериментальними даними.

Виступаючі при обговоренні дали позитивну оцінку дисертації, підтвердили актуальність вирішеного наукової завдання – створення математичних моделей процесів збудження та поширення плазмон-поляритонних хвиль, вивчення залежності поведінки плазмон-поляритонних хвиль від характеристик матеріалів структури, як-от діелектричних проникностей середовищ, товщини атомно-тонких металевих плівок, наявності чи відсутності зовнішнього вимушуючого поля тощо. Представлена дисертаційна робота Польового В.Є. відповідає кваліфікаційним вимогам, відповідає спеціальності 113 *Прикладна математика* і може бути рекомендована до подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді без значних виправлень. Присутні на засіданні обговорили проект висновку, підготовлений рецензентами: д.ф.-м.н., проф. Мединським І.П. та д.ф.-м.н., проф. Токарчуком М.В.

З характеристикою наукової зрілості здобувач виступив науковий керівник доктор фізико-математичних наук, професор Костробій П.П., який відзначив, що за час перебування в аспірантурі аспірант проявив себе як цілеспрямований, сумлінний науковий працівник, здатний вирішувати складні наукові завдання. Він на високому науковому та професійному рівні виконав великий обсяг математично-модельних досліджень та здійснив їх ґрунтовний аналіз та інтерпретацію. Аспірант досконало оволодів сучасними методами аналітичних та чисельних методів. У нього достатньо багато публікацій, у тому числі чотири у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus. У процесі виконання наукових досліджень та написання дисертаційної роботи здобувач досягнув високого рівня наукової компетентності та зрілості. Дисертаційна робота є актуальним і завершеним дослідженням, відповідає встановленим вимогам. За науковою зрілістю та професійними якостями здобувач Польовий В.Є. є сформованим науковцем, а його дисертаційна робота з урахуванням стилістичних та композиційних правок рекомендується до подання у спеціалізовану вчену раду.

4. Заслухавши та обговоривши доповідь Польового Віталія Євгеновича, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі кафедри прикладної математики, прийнято наступні висновки щодо дисертаційної роботи “Моделювання поширення плазмон-поляритонних хвиль в шаруватих структурах”:

Висновок

фахового семінару кафедри прикладної математики Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету “Львівська політехніка” про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації “Моделювання поширення плазмон-поляритонних хвиль в шаруватих структурах” здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії Польового Віталія Євгеновича за спеціальністю

113 Прикладна математика

4.1. Актуальність теми дисертації

Базовим застосуванням плазмон-поляритонних хвиль в так званих плазмонних структурах (тобто, структурах, в яких збуджуються плаزمони) є створення на їхній основі компактних високочутливих оптичних хвилеводів, плазмонних біосенсорів, призначених для вивчення різноманітних аналізів на наявність домішкових речовин, ДНК та дії ліків у реальних відрізках часу тощо, робота яких заснована на ефекті резонансу поверхневих плазмонів та пристроях лазерної стетоскопії. Також, оскільки на наномасштабах плаزمони характеризуються високою локалізацією та зростанням інтенсивності, то перспективною галуззю теж є керування хвилями світла саме на наномасштабах. Додатково варто відзначити, що ще одним важливим застосуванням плазмоніки є використання в якості провідного матеріалу планарного графену, який забезпечує високу активність носіїв заряду та, як наслідок, веде до менших втрат плазмонів.

Іще одне перспективне застосування плазмоніки, яке, власне, найширше розглянуте у роботі – це використання для збудження плазмонних хвиль гетерогенних структур метал-діелектрик, зокрема таких як, діелектрик/метал, метал/діелектрик чи діелектрик/метал/діелектрик. Використання різних матеріалів для металу чи діелектриків дають змогу отримати плазмонні хвилі з різними інтегральними характеристиками як-от частотою чи довжиною поширення.

На сучасному етапі плазмоніка завдячує своєму стрімкому розвитку тому, що для вивчення явищ, які описує ця наука, наявні усі необхідні засоби, а саме: технології для побудови структур у наномасштабах, високоточні та високочутливі оптичні технології для виміру характеристик, потужні у обчислювальному плані засоби моделювання. Зважаючи на широту застосування, різноманітні властивості цих хвиль та згадану уже наявність необхідного інструментарію для проведення досліджень як математичного, так й експериментального, ця тематика також притягує увагу багатьох вчених експериментаторів.

Усі вищенаведені фактори дозволяють стверджувати, що обрана тематика дослідження є актуальною та потребує побудови математичних моделей, які б враховували розвиток технологій в цій сфері на сучасному етапі.

4.2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками університету та кафедри

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри прикладної математики Національного університету "Львівська політехніка" "Математичне моделювання складних систем".

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Усі наукові результати дисертаційної роботи належать особисто здобувачеві. Завдання дослідження було сформульовано науковим керівником роботи доктор фізико-математичних наук, завідувачем кафедри прикладної математики П. П. Костробієм.

У спільних публікаціях автором самостійно виконано:

- аналітичне дослідження задачі поширення плазмон-поляритонних хвиль у гетерогенній плазмонній діелектрик/метал/діелектрик структурі, на основі системи рівнянь Максвелла та умов неперервності електромагнітних полів при різних варіантах опису елементів структури [1];
- розраховано та порівняно значення частотного спектру плазмон-поляритонних хвиль для моделей Друде та хаотичних фаз провідності металевого прошарку [1,5,6];
- розглянуто та досліджено різноманітні квантові підходи до опису атомно-тонких металевих прошарків з врахуванням просторової дисперсії;
- досліджено залежність частотного спектру плазмон-поляритонних хвиль від товщини металевого прошарку в межах опису атомно-тонких металевих прошарків в межах наближення невзаємодіючих електронів та розгляду діелектричного тензора, а отримані результати порівняно із результатами одержаними для моделі Друде та експериментальними даними [2,7,9];
- вивчено вплив умови електронейтральності на характеру поведінку частотного спектру плазмон-поляритонних хвиль та порівняно з експериментальними даними [3,8,11];
- розглянуто модель поведінки електронів в атомно-тонких металевих прошарках з врахуванням кулонівських кореляції та розраховано їх вплив на досліджувану систему [4,10-13];
- досліджено вплив вимушеного зовнішнього електромагнітного поля на частотний спектр та довжину поширення плазмон-поляритонних хвиль.

4.4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Аналіз змісту розділів дисертаційної роботи, розроблених математичних методів поширення плазмонних хвиль в шаруватих структурах з урахуванням різноманітних

квантово розмірних ефектів та проведеного наступного комп'ютерного моделювання дає можливість зробити висновок про належну обґрунтованість наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, повністю обґрунтовано теоретичним аналізом, результатами практичного використання та порівнянням із експериментальними даними.

4.5. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розв'язанні наукового завдання розвитку математичних методів моделювання поширення плазмонних збуджень в структурах з атомно-тонким провідним прошарком. За результатами дисертаційної роботи: визначено межі застосування моделі Друде діелектричної проникності прошарку при розгляді металевих прошарків товщиною від кількох до десятків атомних моношарів (МШ) і в паралельному встановленні факту переваги застосування квантовомеханічного опису діелектричної проникності в цьому конкретному випадку.

- Вперше доведено необхідність врахування квантоворозмірних ефектів при розгляді атомно-тонких металевих прошарках;
- вперше показано вплив умови електронейтральності взаємодії в металі на частотний спектр плазмон-поляритонних хвиль;
- вперше показано вплив кулонівських кореляцій в металі на частотний спектр плазмон-поляритонних хвиль;
- вперше відзначено, що поведінка спектру залежить від типу та товщини атомно-тонких металевих прошарках.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Результати проведених наукових досліджень відображено у 13 наукових працях, з них 4 статті наукових періодичних виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, 9 публікацій у матеріалах конференцій.

Статті у наукових періодичних виданнях, яке включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kostrobij P., Polovyi, V., Pavlysh V., Nevinskyi D. SPP waves in “dielectric-metal-dielectric” structures: influence of exchange correlations // Math. Model. Comput. 2018. Vol. 4, no. 2, P.148-155.
2. Kostrobij P., Polovyi V. Surface plasmon polaritons in dielectric/metal/ dielectric structures: metal layer thickness influence // Math. Model. Comput. 2019. Vol.6, no.1, P. 109-115.

3. Kostrobij P., Markovych B., Polovyi V. Influence of the electroneutrality of a metal layer on the plasmon spectrum in dielectric-metal-dielectric structures // *Math. Model. Comput.* 2019. Vol.6, no.2, P. 297-303.
4. Kostrobij P., Markovych B., Polovyi V. Frequency spectrum of surface plasmon-polariton waves: influence of Coulomb correlations // *Math. Model. Comput.* 2020. Vol.7, no.1, P. 140-145.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Kostrobij P., Polovyi V. Plasmon-polariton waves in the structures "dielectric-metal-dielectric": Experiment and modeling // *XIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2016, P. 208-211.
6. Костробій П. П., Польовий В. Є. Поширення плазмон-поляритонних хвиль в структурах діелектрик-метал-діелектрик // *Сучасні проблеми математичного моделювання, обчислювальних методів та інформаційних технологій*, 2-4 березня 2018 року, Рівне, Україна, 2018, С. 57-58
7. Kostrobij P., Polovyi V. Influence of the thickness of a metal nanofilm on the spectrum of surface plasmons // *IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, 26 Feb.-2 March 2019, Polyana, Ukraine, 2019, P. 1-4
8. Kostrobij P., Polovyi V. The influence of the electroneutrality of the metal layer on the plasmon spectrum in "dielectric-metal-dielectric" structures // *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*, (3), 14-16 November, Rivne, Ukraine, 2019, P. 141-144
9. Kostrobij P., Polovyi V. The behaviour of the surface plasmon spectrum in heterogeneous structures depending on the thickness of the metal layer // *Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2019) : international research and practice conference*, 27-30 August 2019, Lviv, Ukraine : book of abstracts, 2019, P. 533.
10. Kostrobij P., Polovyi V. The behaviour of the surface plasmon spectrum in heterogeneous structures depending on the thickness of the metal layer // *Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2020) : international research and practice conference*, 26-29 August 2020, Lviv, Ukraine : book of abstracts, 2020, P. 501
11. Костробій П. П., Маркович Б. М., Польовий В. Є. Частотний спектр плазмон-поляритонних хвиль: вплив кулонівських кореляції // *16-та Відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (ІМФН) : збірник матеріалів конференції*, 6-7 лютого, Львів, 2020 р, 2020, С. 85-86
12. Kostrobij P., Polovyi V. Markovych B. Modeling of a Surface Plasmons Frequency Spectrum in Dielectric/metal/dielectric Structures: the Influence of the Coulomb Correlations // *IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 23-26 Sept. 2020, Zbarazh, Ukraine, 2020, P. 1-4

13. Kostrobij P., Markovych B., Polovyi V. Frequency spectrum of surface plasmon-polariton waves: influence of Coulomb correlations. // XXII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids, June 17-19, 2020 Lviv, Ukraine, P. 23

4.7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні результати дослідження доповідались та обговорювались на конференціях та семінарах: 11th, 15th International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (Львів, 2016 та Збараж, 2020), International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM) (Поляна, 2019), Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference (Рівне, 2019), Nanotechnology and nanomaterials (NANO) (Львів, 2019 та 2020), 16-та Відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (Львів, 2020), XXII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids (Львів, 2020).

4.8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів в програмі навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукова цінність результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що в ній розроблено математичну модель поширення плазмон-поляритонних хвиль на поверхні ультратонких металевих прошарків та її поясненню використовуючи суміш класичних підходів та методів разом із застосуванням моделей квантової механіки для вивчення впливу провідного середовища на поведінку характеристик плазмон-поляритонних хвиль. Отримані результати, на думку автора, доповнюють уявлення про природу виникнення та поширення плазмон-поляритонних хвиль у структурах діелектрик/метал/діелектрик та показують взаємозв'язок цього явища з іншими фізичними явищами.

4.9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства, або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Математичні моделі розроблені та розвинуті в дисертаційному дослідженні можуть бути використанні при побудові високоточних оптичних приладів, дія яких заснована на явищі плазмонного резонансу, в яких в ролі провідного середовища використовується атомно-тонкі металеві плівки. Також, варто зазначити, що отримані

результати можуть бути введені в освітні курси пов'язані з математичним моделюванням складних фізичних систем чи електродинамікою суцільних середовищ.

4.10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація у цілому має логічну структуру, яка визначається метою та етапами вирішення поставлених завдань. Дисертаційна робота складається зі анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Структура дисертації є обґрунтованою. Мова та стиль викладення матеріалу дисертації не викликають суттєвих зауважень.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

У ході обговорення дисертації до здобувача не було висунуто жодних зауважень, щодо суті самої роботи.

5. З урахуванням вище зазначеного, на фаховому семінарі кафедри прикладної математики Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету “Львівська політехніка” ухвалили:

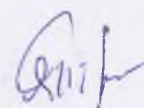
- 5.1 Дисертаційна робота Польового Віталія Євгеновича на тему “Моделювання поширення плазмон-поляритонних хвиль в шаруватих структурах” є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання розвитку математичних методів моделювання поширення плазмонних збуджень в структурах діелектрик/метал/діелектрик, з урахуванням впливів квантово розмірних ефектів що відповідає спеціальності 113 *Прикладна математика* та має важливе значення для галузі знань 11 *математика та статистика*.
- 5.2 У 13 наукових публікаціях повністю висвітлено матеріали дисертації Польового В.Є., з них 4 статті у наукових періодичних виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, 9 наукових праць, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.
- 5.3 Дисертація Польового В.Є. відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р., № 167).

5.4 З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Польового В.Є. дисертаційна робота “Моделювання поширення плазмон-поляритонних хвиль в шаруватих структурах” рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	24 (одностайно)
проти	-	немає
утримались	-	немає

Головуючий на засіданні фахового семінару,
кандидат фізико-математичних наук, доцент



Пізюр Я.В.

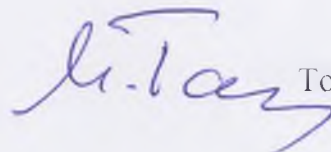
Рецензенти:

професор кафедри прикладної математики,
доктор фізико-математичних наук, професор



Мединський І.П.

Професор кафедри прикладної математики,
доктор фізико-математичних наук, професор



Токарчук М.В.

Відповідальний у ННІ за атестацію PhD

професор кафедри прикладної математики,
доктор фізико-математичних наук, професор



Маркович Б.М.